8⁰ ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ



ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ / ΜΕΤΑΣΥΓΚΟΜΙΣΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "ΕΛΠΙΔΑ"

Π. Μουζάκης, Μ. Σάββας, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος και Γρ. Λαμπρινός

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4029, Fax. 210 529 4032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της φυσιολογικής συμπεριφοράς και της μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών καρπών τομάτας "Ελπίδα" οι οποίοι συντηρήθηκαν συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα σε δύο θερμοκρασίες 10 και 20 °C. Οι συσκευασίες αποτελούνταν από πλαστικά φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) πάχους 50 μm και 78 μm. Οι ατμόσφαιρες που επιτεύχθηκαν ήταν σχετικά πλούσιες σε O₂ (6.0-9.0%) και αναμενόμενες σε CO₂ (3.0–6.0%). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τροποποιημένη ατμόσφαιρα μείωσε σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα και τις απώλειες μάζας των καρπών και στις δύο μελετηθείσες θερμοκρασίες. Η περιορισμένη αναπνευστική δραστηριότητα οδήγησε τους συσκευασμένους καρπούς σε καθυστέρηση ωρίμασης με σημαντική παράλληλη καθυστέρηση στην αλλαγή χρώματος και στην μεταβολή της υφής.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα, τροποποιημένη ατμόσφαιρα, απώλεια μάζας, καθυστέρηση ωρίμασης.

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS AND MODIFIED ATMOSPHERE ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF "ELPIDA" TOMATOES

P. Mouzakis, E. Savvas, G. Xanthopoulos, E. Aravantinos-Karlatos & Gr. Lambrinos Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, lera Odos 75, 11855 Athens Tel. +30 210 5294029, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The aim of this paper is to test the effect of modified atmosphere packaging on the respiratory activity, mass loss, texture and colour changes of cultivated tomatoes (hybrid "Elpida"). The results show that the used polyethylene films (LDPE-50, LDPE-78) reduced significantly the respiratory activity of the fruits stored at 10°C and 20°C and retarded colour variation. Additionally, the mass loss of the fruits was significantly reduced compared to the control sample. The decreased physiological activity of the packaged fruits led to ripening retardation with significant changes in texture.

Key words: tomato, modified atmosphere, mass loss, ripening retardation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ποιοτικές και ποσοτικές απώλειες στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ συγκομιδής και κατανάλωσης, αποτελούν ένα αναπόφευκτο γεγονός. Η ενδεικνυόμενη συντήρηση με ψύξη μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό τις απώλειες αυτές, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι μπορεί και να τις αποτρέψει. Επιπλέον, με τη συμπληρωματική χρήση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας επιτυγχάνεται η περαιτέρω επιμήκυνση της μετασυλλεκτικής ζωής των φρέσκων φρούτων και λαχανικών.

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τη . χρήση συντήρηση καρπών τομάτας με τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Vidigal et al, 1979; Batu and Thompson, 1998; Ali et al., 2004; Ait-Oubahou, 2006). Όπως προκύπτει από αυτές, η τροποποιημένη ατμόσφαιρα φαίνεται να ασκεί σημαντική επίδραση στην επιμήκυνση της εμπορικής ζωής του προϊόντος και στη διατήρηση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Πρόσφατες έρευνες (Ali et al., 2004; Κατσογιάννη κ.α., 2011) έδειξαν ότι η συσκευασία και η τροποποιημένη ατμόσφαιρα περιορίζουν σημαντικά тпу αναπνευστική δραστηριότητα της βιολογικής επιτραπέζιας τομάτας και τις απώλειες μάζας, ενώ βοηθούν σημαντικά στη διατήρηση του χρώματος

και της υφής, καθυστερώντας την ωρίμαση των καρπών.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της συμπεριφοράς συσκευασμένων καρπών επιτραπέζιας τομάτας, υβρίδιο «Ελπίδα», με χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι τομάτες που χρησιμοποιήθηκαν ανήκαν στο υβρίδιο «Ελπίδα», το οποίο κατηγοριοποιείται ως μεσόκαρπο, στρογγυλό, με μέσο βάρος 240 – 260 g, προοριζόμενο για καλλιέργεια υπό κάλυψη το φθινόπωρο και το χειμώνα. Το πείραμα περιελάμβανε δύο πειραματικές σειρές, με τομάτες σταδίου ωριμότητας 4 (Pink) (1ο χέρι συγκομιδής) και 3 (Turning) (4ο χέρι συγκομιδής), στη πρώτη και δεύτερη σειρά αντίστοιχα, οι οποίες συλλέχθηκαν από θερμοκήπιο στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Η παραλαβή των καρπών γινόταν νωρίς το πρωί και η μεταφορά οδικώς στο εργαστήριο για να πραγματοποιηθεί διαλογή, πλύσιμο των καρπών και στέγνωμα. Ακολουθούσαν μετρήσεις υφής με δοκιμές στη συμπίεση (καταστρεπτικά τεστ) σε 20 αντιπροσωπευτικά δείγματα σε κάθε σειρά και μετρήσεις χρώματος 100 δειγμάτων σε κάθε σειρά Οι καρποί που προορίζονταν για συντήρηση χωρίς συσκευασία (μάρτυρες) χωρίς άλλη επεξεργασία τοποθετήθηκαν σε ειδικά πλαστικά τελάρα και έπειτα σε θαλάμους με θερμοκρασίες 10 oC και 20 oC. Η μέτρηση της αρχικής αναπνοής στις ασυσκεύαστες τομάτες έγινε την επόμενη μέρα της τοποθέτησής τους στους ψυκτικούς θαλάμους.

Οι τομάτες που προορίζονταν να συντηρηθούν συσκευασμένες, μετά τη διαλογή τους χωρίστηκαν σε τετράδες και τοποθετήθηκαν στους θαλάμους στους 10 °C και 20 °C μαζί με τις πλαστικές συσκευασίες για 24 ώρες, προκειμένου να επέλθει θερμική εξισορρόπηση και να αποφευχθεί η δημιουργία συμπυκνωμάτων κατά τη συσκευασία τους. Μετά την πάροδο 24 ωρών σταθεροποίησης, οι τομάτες ζυγίστηκαν ατομικά και ανά τετράδες τοποθετήθηκαν σε δισκάκια από διογκωμένη πολυστερίνη και σφραγίστηκαν μέσα στις πλαστικές συσκευασίες (η σφράγιση των συσκευασιών έγινε θερμοσυγκολλητικό Jμ ειδικό μηχάνημα). Ακολούθησε μέτρηση тпс μάζας των συσκευασμένων καρπών (τετράδες) και οριστική τοποθέτησή τους στους θαλάμους συντήρησης. Οι συσκευασίες αποτελούνταν από πλαστικά φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) πάχους 50 μm και 78 μm.

Н ανάλυση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών αέριων Ο2 και CO2 μέσα στις συσκευασίες γινόταν καθημερινά με τη βοήθεια αναλυτή O2/CO2 (CHECK MATE 9900 PBI, Dansensor Co., Denmark). Για τη δειγματοληψία των ατμοσφαιρικών αερίων από τις συσκευασίες, είχε επικολληθεί σε κάθε μία από αυτές ειδικό διάφραγμα(septum). Η δειγματοληψία του μίγματος των αερίων (2 mL) γινόταν με τη βοήθεια ειδικής υποδερμικής βελόνας η οποία εισερχόταν στη συσκευασία διαπερνώντας το septum το δε αέριο μίγμα μεταφερόταν με αντλία στον αναλυτή. Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών αερίων έγιναν μέχρι τη σταθεροποίησή τους.

Οι μετρήσεις της αναπνοής τόσο των ασυσκεύαστων καρπών (μάρτυρα), όσο και των συσκευασμένων μετά τη σταθεροποίηση της εσωτερικής ατμόσφαιρας πραγματοποιήθηκαν με τη φορητή διάταξη RIKCLOS (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός κ.ά., 2006; Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2006).

Για τη μέτρηση της απώλειας μάζας χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός ζυγός KERN 440 ακρίβειας ±0.01 g.

Οι μετρήσεις του χρώματος των καρπών έγιναν με χρωματόμετρο MINOLTA CR-300 (Minolta Corp. Japan), η δε χρησιμοποιηθείσα κλίμακα ήταν η CIE 1976 με χρωματικούς δείκτες L* (φωτεινότητα), α* (πράσινο- κόκκινο) και b* (μπλε- κίτρινο). Κάθε φορά λαμβάνονταν τέσσερις μετρήσεις σε κάθε τομάτα στην περιοχή του κάλυκα.

Ο προσδιορισμός της αντίστασης των καρπών στη συμπίεση έγινε με τη βοήθεια αναλυτή υφής TA.XT2i (SMS, England) εφοδιασμένου με έμβολο κινούμενου με σταθερή ταχύτητα 8 cm/min και δίσκο συμπίεσης διαμέτρου 7 cm. Δοκιμή καταστρεπτικής συμπίεσης πραγματοποιήθηκε στην αρχή και στο τέλος της συντήρησης κάθε τύπου συσκευασίας και πειραματικής σειράς. Μη καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα από 10 ανά θερμοκρασία ασυσκεύαστες τομάτες (μάρτυρας), μετρήσεις δε λαμβάνονταν στο ίδιο δείγμα κάθε δύο μέρες. Κατά τη δοκιμή μη καταστρεπτικής συμπίεσης, η παραμόρφωση που εκτελούσε ο δίσκος συμπίεσης ήταν 3 mm από την επαφή του δίσκου συμπίεσης με τον καρπό. Ο καρπός ετοποθετείτο πάντοτε με τον πολικό άξονα παράλληλο στη πλάκα συμπίεσης ώστε η δοκιμή να γίνεται στην περιοχή του ισημερινού της τομάτας. Στην καταστρεπτική συμπίεση η διαδικασία τερματιζόταν όταν σημειωνόταν ρήξη TOU επιδερμικού ιστού.

Η ανάλυση της διασποράς (ANOVA) των πειραματικών δεδομένων έγινε με τα προγράμματα Statgraphics Centurion XVI σε επίπεδο σημαντικότητας Ρ≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τελικές ατμόσφαιρες που δημιουργήθηκαν μέσα σε κάθε συσκευασία πολυαιθυλενίου, μετά τη σταθεροποίηση που επετεύχθη μεταξύ της 6^{ης} και της 8^{ης} ημέρας συντήρησης.

Οι ατμόσφαιρες ήταν σχετικά πλούσιες σε O₂ (6-9%) ώστε με κανένα από τα χρησιμοποιηθέντα πλαστικά και σε καμία θερμοκρασία συντήρησης, δεν επιτεύχθηκε ατμόσφαιρα σύστασης 3% O₂ και 2-4% CO₂ όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία (Sargent and Moretti, 2004).

Ο ρυθμός αναπνοής των συσκευασμένων τοματών, που μετρήθηκε μετά τη σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών αερίων, παρουσίασε σημαντική μείωση, ειδικά στους 20 °C (Πίνακας 2). Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα δείχνει να έχει σημαντική επίδραση στην αναπνευστική δραστηριότητα του συγκεκριμένου υβριδίου.

Οι απώλειες μάζας στις συσκευασμένες τομάτες ήταν σημαντικά μικρότερες από τις απώλειες μάζας στις ασυσκεύαστες (μάρτυρας). Οι ημερήσιες απώλειες σε καμία περίπτωση δεν υπερέβησαν τα 100 mg ανά kg συσκευασμένου προϊόντος. Οι συνθήκες κορεσμού μέσα στις συσκευασίες περιόρισαν τις απώλειες μάζας των καρπών μόνον σε αυτές που οφείλονται στην αναπνοή και στη διαπνοή (φυσιολογικές απώλειες).

Πίνακας 1. Συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών αερίων O₂ και CO₂ μετά τη σταθεροποίηση, για κάθε τύπο πλαστικής συσκευασίας στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης των καρπών βιολογικής τομάτας.

	_	Ατμοσφαιρικά αέρια (σταθεροποίηση)		
Θερμοκρασία (°C)	Ι Ιλαστικό φιλμ	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	
	LDPE50	6.0-8.8	3.0 -4.1	
10	LDPE78	5.9 -7.0	4.0-5.0	
	LDPE50	7.6 -9.0	3.5 -4.9	
20	LDPE78	6.9 -9.1	5.0 -6.2	

Πίνακας 2. Μέσοι όροι του ρυθμού αναπνοής των καρπών του μάρτυρα κατά την έναρξη (RR₀) και το τέλος του πειράματος (RR_{final}) σε σύγκριση με το ρυθμό αναπνοής των συσκευασμένων καρπών μετά τη σταθεροποίηση του αναπνευστικού ρυθμού (RRmap).

Asouorogaisc	Πειραματική	Πλαστικό		Avaπvoές(gCO2/h/kg)	
σερμοκράσιες	σειρά	TINGOTIKO	RR₀	RRmap	RR _{fnal}	RRmap/RR₃v
		LDPE-50		4,2964		0,68
10ºC		LDPE-78	7,6931	4,7442	4,9120	0, 75
	1η	LDPE-50		11,3294		0,60
20°C		LDPE-78	23,5025	11,1691	14,2501	0,59
		LDPE-50		6,8950		0.69
10ºC		LDPE-78	10,4794	6,1328	9,5301	0,95
	2η	LDPE-50		11,3014		0,40
20°C		LDPE-78	34,4743	10,6338	22,7383	0,37

Μεταξύ των συσκευασμένων τοματών δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά ως προς τις απώλειες μάζας στους 10 °C και στους 20 °C.



Σχήμα 3. Απώλειες μάζας συσκευασμένων (LD50 και LD78) και ασυσκεύαστων καρπών (Μάρτυρας) σε θερμοκρασία συντήρησης 20 °C (2^η πειραματική σειρά)

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων των απωλειών μάζας έδειξε ότι η θερμοκρασία δεν έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στις απώλειες μάζας των καρπών τομάτας και για τα δύο πλαστικά (LD50 και LD78). Επίσης ο χρόνος συντήρησης εμφανίζεται να μην έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στις απώλειες μάζας και για τα δύο πλαστικά.

Οι Πίνακες 3 και 4 παραθέτουν τη μεταβολή των χρωματικών παραγόντων L*, a* και b* στην αρχή και στο τέλος των πειραμάτων των συσκευασμένων καρπών τομάτας 1^ης και 2^{ης} πειραματικής σιεράς.

Από τη στατιστική σύγκριση προκύπτει ότι η παράμετρος α* (κοκκίνισμα) διαφέρει σημαντικά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων στις δυο συσκευασίες. Ομοίως η παράμετρος L* (φωτεινότητα) διαφέρει μεταξύ του μάρτυρα και των συσκευασμένων δειγμάτων, ενώ ανάμεσα στους δύο τύπους πλαστικών δεν υπάρχει σημαντική διαφορά. Τέλος η παράμετρος b* (κιτρίνισμα) ενώ διαφέρει μεταξύ του μάρτυρα και των συσκευασμένων Πίνακας 3. Μέσες τιμές και τυπική απόκλιση των παραμέτρων L*, a*, b*, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, στις συσκευασμένες τομάτες σε δύο θερμοκρασίες συντήρησης (1^η πειραματική σειρά).

ΗΜΕΡΕΣ	1º ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ LDPE-50						
		10ºC			2000		
	α*	b*	L*	а	b	L	
1	14,609±4,93	20,99± 2,74	49,32±2,56	7,17±6,34	22,40±2,93	49,30±2,16	
10				16,60±5,46	19.96±2.55	43.57±11.38	
20	19.77±0.46	18.743±0.467	47.43±0.70				
ΗΜΕΡΕΣ		1		ΚΗ ΣΕΙΡΑ LC	DPE-78		
		10°C		20°C			
	а	b	L	a	В	L	
1	14.60± 4.93	20.99± 2.74	49,32±2,56	7.17±6.34	22,40±2,93	49,30±2,16	
10				14,86±5,35	21.25±2.73	47.68±2.54	
20	19.77±0.46	18.74±0.46	47,43±0,70				

Πίνακας 4. Μέσες τιμές και τυπική απόκλιση των παραμέτρων a*, b*, L συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, στις συσκευασμένες τομάτες (LD50) σε δύο θερμοκρασίες συντήρησης (2^η πειραματική σειρά).

ΗΜΕΡΕΣ	2ª ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ LD50					
	10°C				20°C	T
	a	b	L	a	b	L
1	-1,03±4,19	21,76±2,38	50,68±2,25	-2,80±3,20	21,88±2,35	51,49±2,12
14				8,79±7,77	22,76±2,80	51,82±3,60
20	11,05±5,72	19,70±2,35	48,23±1,86			
ΗΜΕΡΕΣ			2º ∏EIPAMA	ΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ Ι	.D78	
		10°C		20°C		
	a	b	L	a	b	L
1	-1,03±4,19	21,76±2,38	50,68±2,25	-2,80±0,41	21,88±2,35	51,49±2,12
14				2,93±4,00	22,23±2,10	53,05±1,48
20	7,89±4,32	20,48±3,22	49,30±1,87			

Από τη στατιστική σύγκριση προκύπτει ότι η παράμετρος α* (κοκκίνισμα) διαφέρει σημαντικά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων στις δυο συσκευασίες. Ομοίως η παράμετρος L* (φωτεινότητα) διαφέρει μεταξύ του μάρτυρα και των συσκευασμένων δειγμάτων, ενώ ανάμεσα στους δύο τύπους πλαστικών δεν υπάρχει σημαντική διαφορά. Τέλος η παράμετρος b* (κιτρίνισμα) ενώ διαφέρει μεταξύ του μάρτυρα και των συσκευασμένων δειγμάτων με LDPE-78, δεν διαφέρει μεταξύ των δειγμάτων των δύο συσκευασιών.

Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ* συσκευασμένων και ασυσκεύαστων καρπών συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C και 20 °C για τις δύο πειραματικές σειρές παρουσιάζεται στα Σχήματα 4 και 5.

Όπως είναι φανερό, η τροποποιημένη ατμόσφαιρα προκαλεί σημαντική καθυστέρηση στην ανάπτυξη του χρώματος. Από την ανάλυση διασποράς συμπεραίνεται ότι οι μέσες τιμές της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ* των καρπών (Fisher's LSD test) μεταξύ 10 °C και 20 °C δεν εμφανίζουν από στατιστικής πλευράς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο πειραματικών σειρών.



Σχήμα 4. Μεταβολή του ΔΕ* για τις ασυσκεύαστες και συσκευασμένες τομάτες συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C και 20 °C, 1^η πειραματική σειρά.



Σχήμα 5. Μεταβολή του ΔΕ* για τις ασυσκεύαστες και συσκευασμένες τομάτες συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C καιν 20 °C, 2^η πειραματική σειρά.

Η μεταβολή της αντίστασης των τοματών στη συμπίεση (καταστροφική), εκφράστηκε τόσο με τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης του καρπού στη συμπίεση (αρχή – τέλος) όσο και με τη μεταβολή της μέγιστης αντίστασης στη συμπίεση. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μεταβολές της κλίσης της αντίστασης των καρπών στη συμπίεση της 2^ης πειραματικής σειράς.

Από τη στατιστική σύγκριση προκύπτει ότι στην 1^η και 2^η πειραματική σειρά δεν υπάρχει σημαντική διάφορα στην κλίση της καμπύλης συμπίεσης ούτε στις συσκευασμένες τομάτες (LD50, LD78) ούτε στις ασυσκεύαστες (Μάρτυρας).



Σχήμα 6. Μεταβολή της κλίσης της καμπύλης συμπίεσης των ασυσκεύαστων και συσκευασμένων τοματών συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, κατά τη συντήρηση τους στους 10 °C και 20 °C στη 2^η πειραματική σειρά.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων των μέσων τιμών της κλίσης στην καταστρεπτική συμπίεση έδειξε ότι η θερμοκρασία έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στην κλίση της καμπύλης συμπίεσης των καρπών και στις δύο σειρές. Αντιθέτως ο χρόνος συντήρησης εμφανίζεται να μην έχει σημαντική επίδραση στην 1^η πειραματική σειρά, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στο προχωρημένο στάδιο ωριμότητας που βρίσκονταν οι καρποί της σειράς αυτής.

Από τη στατιστική σύγκριση των τιμών της μέγιστης δύναμης ανάμεσα στις συσκευασμένες και ασυσκεύαστες τομάτες προέκυψε ότι και στις δύο πειραματικές σειρές και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης (10 °C και 20 °C), δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις τιμές του μάρτυρα και των δύο συσκευασιών.

Έπειτα από 19 ημέρες συντήρησης, οι συσκευασμένες τομάτες στους 10 °C εμφάνισαν την ίδια συμπεριφορά στην υφή με αυτήν που παρουσίασαν οι ασυσκεύαστες την 10^η ημέρα συντήρησης στην ίδια θερμοκρασία ενώ οι συσκευασμένοι καρποί που συντηρήθηκαν στους 20 °C, παρουσίασαν την ίδια υφή την 10^η ημέρα συντήρησης. Από τα παραπάνω και σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές (Batu and Thompson, 1998; Ali *et al.*, 2004; Κατσογιάννη κ.α., 2011), μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι συσκευασμένη τομάτα διατηρεί για σημαντικά περισσότερο χρόνο συντήρησης την υφή της.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συσκευασία και η τροποποιημένη ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις 6.0-9.0% O2 και 3.0-6.0% CO2 περιορίζουν σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα και τις απώλειες μάζας της τομάτας υβρίδιο «Ελπίδα», βοηθώντας στη διατήρηση του χρώματος και της υφής και γενικά καθυστερώντας σημαντικά την ωρίμαση των καρπών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ait-Oubahou A., 2006. Modified Atmosphere Packaging of Tomato Fruit, CIHEAM - Options Mediterraneennes. www.ressources.ciheam.org/om/pdf

/c42/CI020464.pdf.

- Ali Md. Sayed, Kohei Nakano, Maezawa Shigenori, 2004. Research note: Combined effect of heat treatment and modified atmosphere packaging on the colour development of cherry tomato, *Postharvest Biology and Technology* 34:113– 116.
- Batu Ali, Thompson Keith A., 1998. Effects of Modified Atmosphere Packaging on Post Harvest Qualities of Pink Tomatoes, *Journal of Agriculture and Forestry* 22: 365-372.
- Sargent S.A. and Moretti C.L., 2004. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. Agriculture Handbook Number 66, http://usna.usda.gov/hb66/contents.htm.
- Vidigal J.C., Sigrist J.M.M., Figueiredo I.B. and Medina J.C., 1979 Cold storage and controlled

atmosphere storage of tomatoes. *Boletin do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Brasil* 16, 421-442.

- Κατσογιάννη, Α., Ψυχογυιού Στ, Ξανθόπουλος Γ., Χατζής Ε., Μανωλοπούλου Ε., Αραβαντινός– Καρλάτος Ε.και Λαμπρινός Γρ., 2011. Συντήρηση συσκευασμένης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Πρακτικά 7ου πανελλήνου συνεδρίου της ΕΓΜΕ. Αθήνα, 24-27 Νοεμβρίου 2011.
- Λαμπρινός Γ. και Μητρόπουλος Δ., 2004. Φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών. Οργανισμός Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας

(OBI). Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1004590/2004.

- Λαμπρινός Γ., και Μητρόπουλος Δ., Φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών που είναι συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οργανισμός Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας (OBI). Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1005204/2006.
- Λαμπρινός Γ., Μανωλοπούλου Ε και Μητρόπουλος
 Δ., Αναπνευστικός θάλαμος, φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών.
 Οργανισμός Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας (OBI).
 Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1005205/2006.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "ΕΛΠΙΔΑ"

Ε. Σάββας, Π. Μουζάκης, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος και Γρ. Λαμπρινός

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4029, Fax. 210 529 4032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών τομάτας ποικιλίας "Ελπίδα", συντηρούμενων σε δύο θερμοκρασίες (10 και 20 °C) και τεσσάρων σχετικών υγρασιών. Μελετήθηκαν οι απώλειες μάζας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, η αντοχή στη συμπίεση (καταστρεπτική και μη) και η μεταβολή του χρώματος συναρτήσει του χρόνου και της θερμοκρασίας συντήρησης. Το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (ΔΡν) όσο και οι ημέρες συντήρησης επιδρούν σημαντικά στο ρυθμό απωλειών μάζας. Τα ημερήσια ποσοστά απωλειών μάζας (ML/day) δίνονται από μια δευτεροβάθμια σχέση συναρτήσει του ΔΡν. Η μεταβολή των χρωματικών παραγόντων L*, a*, ΔΕ με το χρόνο συντήρησης, ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερη στους 20 °C από ότι στους 10 °C. Η καμπύλη πρόβλεψης της μεταβολής του δείκτη ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ συναρτήσει της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης είναι εκθετική τύπου Arrhenius, με υψηλό προσαρμοσμένο συντελεστή προσδιορισμού

(R²_{adj}). Η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση μειώνεται με το χρόνο και υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά

ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης και στις δυο διαδοχικές πειραματικές σειρές που εξετάστηκαν.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα, συντήρηση με ψύξη, ρυθμός αναπνοής, απώλειες μάζας, χρώμα, υφή

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF "ELPIDA" TOMATOES

E. Savvas, P. Mouzakis, G. Xanthopoulos, E. Aravantinos-Karlatos & Gr. Lambrinos Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens

Tel. +30 210 5294029, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The aim of the present paper is to study the effect of storage conditions on the quality characteristics of "Elpida" tomatoes, stored in two temperatures (10 kai 20 °C) and four relative humidity levels. The paper discusses, firstly, the mass loss due to storage time, temperature, and relative humidity, secondly, the resistance to compression (both destructive and non-destructive) and, finally, the colour variation related to storage time and temperature. The water vapour pressure deficit (WVPD), as well as the storage period, have a significant effect on the mass loss rate. The daily mass losses (ML/day, %) were calculated using a second degree equation vs. the WVPD. The variation of the colour values L*, a*, ΔE according to storage time was, in all cases, greater at 20°C than at 10°C. The prediction correlation of the total colour variation (ΔE) vs. temperature and storage time takes the form of an Arrhenius exponential with a high R². The slope of the deformation resistance is decreased over time, while a considerable statistical difference is observed between the two storage temperatures and series.

Key words: "Elpida" tomato, cold storage, respiration rate, mass loss, colour, texture

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σκληρότητα και το χρώμα είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που χαρακτηρίζουν την ποιότητα της τομάτας. Κατά την αποθήκευση τοματών της ποικιλίας Monroe στους 5 °C και στους 10 °C παρατηρήθηκαν μεγάλη μείωση στη σκληρότητα της σάρκας σε διάστημα 24 ημερών και αλλαγή στο χρώμα του καρπού που ήταν εμφανέστερη στους 10 °C (Požrl, 2010). Η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση υπό σταθερή παραμόρφωση μπορεί να περιγραφεί με μια εκθετική συνάρτηση που λαμβάνει υπ' όψιν τη θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης (Κατσογιάννη, 2010). Σε έρευνα των Sirisomboon et al. (2012) σε τομάτες της ποικιλίας "Momotaro" τριών σταδίων ωριμότητας ("Mature green", "Pink", "Red") με και χωρίς φλούδα, εξήχθη το συμπέρασμα ότι όλες οι παράμετροι υφής σχετίζονται με το στάδιο ωριμότητας. Η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση των καρπών αύξανε όσο πιο ώριμες ήταν οι τομάτες, ενώ οι τομάτες που δεν

ήταν ώριμες παρουσίαζαν μεγαλύτερη ελαστικότητα από τις ώριμες.

Η απώλεια υγρασίας μεταβάλλεται εκθετικά με το χρόνο μέχρι ενός ορίου το οποίο αποτελεί το μέγιστο ποσοστό υγρασίας που μπορεί να χάσει και το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία, ή καλύτερα από το έλλειμμα πίεσης υδρατμών το οποίο είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (Van Dijk et al., 2006; Ψυχογυιού κ.ά., 2009). Η προσπάθεια να προσεγγιστεί η απώλεια υγρασίας λόγω του ελλείμματος πίεσης υδρατμών έχει αναλυθεί και σε άλλες διατριβές (Sastry και Buffington, 1983) όπου εκφράζεται ως ο ρυθμός διαπνοής με πολύ συγκεκριμένες παραδοχές. Η προσέγγιση αυτή δίνει έμφαση στο φυσικό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα, παραγκωνίζοντας το φυσιολογικό φαινόμενο, όπου η αναπνοή στη συγκεκριμένη μελέτη θεωρήθηκε μόνο ως παράγοντας θερμογένεσης, που επηρεάζει μόνο το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών.

Οι Ψυχογυιού κ.α. (2009) από πειράματα σε συσκευασμένες και ασυσκεύαστες τομάτες βιολογικής καλλιέργειας (υβρίδιο Alma) σε θερμοκρασίες 5 °C, 10 °C, 15 °C και 20 °C, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών εκφράζεται μέσω μιας πολυωνυμικής σχέσης, ενώ το φυσιολογικό φαινόμενο μέσω μιας εκθετικής.

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες προτυποποίησης της μεταβολής του χρώματος σε διάφορες συνθήκες ψυχροσυντήρησης. Σε εργασία των Tijskens και Evelo (1993) σε έξι θερμοκρασίες συντήρησης (10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C) παρατηρήθηκε ότι η πρόβλεψη της συμπεριφοράς του χρώματος εξαρτάται σημαντικά από το στάδιο ωριμότητας του προϊόντος, ενώ η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη από πρασινωπή τομάτα είναι σχεδόν αδύνατη. Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη μόνο (στάδιο ωριμότητας "Pink") έδωσε αρκετά καλά αποτελέσματα. Οι Pinheiro et al. (2012) μελέτησαν τομάτες της ποικιλίας Zinac ως προς το χρώμα, τις απώλειες μάζας, την υφή, και την περιεκτικότητα σε φαινόλες και χρησιμοποίησαν ως μοντέλο πρόβλεψης μια τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius, η οποία έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα για τις θερμοκρασίες συντήρησης (2, 5, 10, 15 και 20 °C) σε σχέση με τους παράγοντες που μελετήθηκαν. Οι Ψυχογιού к.α. (2009) στη μελέτη που προαναφέρθηκε ανέπτυξε μεταξύ άλλων και μοντέλα που αφορούν την ολική μεταβολή του χρώματος (ΔΕ), τη μεταβολή της μέγιστης αντίστασης και την κλίση της μέγιστης αντίστασης στη συμπίεση λαμβάνοντας υπ' όψη τόσο το χρόνο όσο και τη θερμοκρασία συντήρησης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών τομάτας υβριδίου "Ελπίδα", σταδίων "Pink" και "Turning", η οποία συντηρήθηκε στους 10 και 20 °C και σε τέσσερις συνθήκες σχετικής υγρασίας. Μελετήθηκαν οι απώλειες μάζας και η αντίσταση στη συμπίεση (καταστρεπτική μέθοδος) συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας συντήρησης, ενώ η αναπνοή, η μεταβολή του χρώματος και η αντοχή στην συμπίεση (μη καταστρεπτική μέθοδος) συναρτήσει μόνο του χρόνου και της θερμοκρασίας συντήρησης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι τομάτες που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα ανήκαν στο υβρίδιο "Elpida", το οποίο κατηγοριοποιείται ως μεγαλόκαρπο, στρογγυλό, με μέσο βάρος 240 - 260 g, προοριζόμενο για καλλιέργεια υπό κάλυψη το φθινόπωρο και το χειμώνα. То πείραμα περιελάμβανε δύο πειραματικές σειρές, με τομάτες σταδίου ωριμότητας 4 "Pink" (1° χέρι συγκομιδής) και 3 "Turning" (4° χέρι συγκομιδής), στη 1^η και 2^η σειρά αντίστοιχα, οι οποίες συλλέχθηκαν από θερμοκήπιο στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Η παραλαβή των καρπών γινόταν νωρίς το πρωί και η μεταφορά οδικώς στο εργαστήριο για να πραγματοποιηθεί διαλογή, πλύσιμο των καρπών και στέγνωμα. Ακολουθούσαν μετρήσεις υφής με δοκιμές στη συμπίεση (καταστρεπτικά τεστ) σε 20 αντιπροσωπευτικά δείγματα σε κάθε σειρά και μετρήσεις χρώματος 100 δειγμάτων σε κάθε σειρά. Στη συνέχεια τα δείγματα, σε ομάδες των δέκα, τοποθετήθηκαν σε θαλάμους στους 10° C και 20° C, ενώ οι μετρήσεις της αναπνοής λάμβαναν χώρα την αμέσως επόμενη ημέρα προκειμένου οι τομάτες να ψυχθούν στη θερμοκρασία συντήρησής τους.

Οι συνθήκες διαφόρων σχετικών υγρασιών επιτεύχθηκαν ύστερα από τοποθέτηση υπέρκορων διαλυμάτων αλάτων NaOH, LiCl και NaCl, σε κελιά των 80 λίτρων.

Οι μετρήσεις των συνθηκών στα κελιά και στους θαλάμους γίνονταν με ενσύρματους θερμοϋγρασιακούς αισθητήρες/καταγραφείς Hobo 8H (Onset Computer Corporation Massachusetts, USA) διακριτικής ικανότητας και ακρίβειας 0.4 °C, ±0.7 °C και 0.5%, ±4.0% για τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία αντίστοιχα.

Στις τομάτες που ήταν αποθηκευμένες σε συνθήκες ψυκτικού θαλάμου λάμβανε χώρα μέτρηση χρώματος (κάθε 2-3 ημέρες) και καθημερινή μέτρηση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας και της μάζας τους. Οι μετρήσεις μάζας στις τομάτες που βρίσκονταν στις υπόλοιπες σχετικές υγρασίες (εντός των κελιών) γινόταν ανά διήμερο, ενώ οι μετρήσεις που αφορούσαν την υφή κάθε 2-3 ημέρες.

Οι μετρήσεις χρώματος πραγματοποιήθηκαν με χρωματόμετρο MINOLTA CR-300 (Konica Minolta, Japan). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε βασιζόταν στους χρωματικούς δείκτες L*, a*, b*. Κάθε φορά λαμβάνονταν τρείς μετρήσεις σε κάθε τομάτα στην ίδια περιοχή αντιδιαμετρικά του κάλυκα. Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ* (Total Color Difference) όπως περιγράφεται από τη σχέση $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ χρησιμοποιήθηκε στην περιγραφή της ολικής

μεταβολής του χρώματος των υπό μελέτη δειγμάτων. Για τη μέτρηση της αναπνοής (CO₂) χρησιμοποιήθηκε η φορητή συσκευή RICKLOS RI 411Α (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός κ.ά., 2006; Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2006). Η κλίμακα μέτρησης του οργάνου κυμαίνεται από 0 ως 5,000 ppm CO₂ με διακριτική ικανότητα 25 ppm και ακρίβεια ± 1% της πλήρους κλίμακας.

Για την μέτρηση της μάζας χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακριβείας της εταιρίας AND (μοντέλο FA-2000) με ακρίβεια ±0.02 g.

Για τον προσδιορισμό της υφής των καρπών (αντίσταση στη συμπίεση) χρησιμοποιήθηκε αναλυτής υφής Texture analyzer TA.XT2i (Stable Micro Systems, Ltd. UK). Για την εκτέλεση των (καταστρεπτικών δοκιμών υφής και un) χρησιμοποιήθηκε δίσκος συμπίεσης. Καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε στην αρχή και στο τέλος της συντήρησης κάθε πειραματικής σειράς. Μη καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα από 10 ασυσκεύαστες τομάτες ανά συνθήκη, μετρήσεις δε, λαμβάνονταν στο ίδιο δείγμα κάθε δύο μέρες. Κατά τη μη καταστρεπτική συμπίεση η παραμόρφωση που εκτελούσε ο δίσκος συμπίεσης ήταν 3 mm από την επαφή με τον καρπό. Ο καρπός ετοποθετείτο πάντοτε με τον πολικό άξονα παράλληλο στη πλάκα συμπίεσης ώστε η δοκιμή να γίνεται στην περιοχή του ισημερινού της τομάτας. Στην καταστρεπτική συμπίεση η διαδικασία τερματιζόταν όταν σημειωνόταν ρήξη του επιδερμικού ιστού.

Οι καρποί πριν την εκτέλεση των δοκιμών υφής αφήνονταν για μία ώρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η επεξεργασία των δεδομένων της υφής έγινε με το πρόγραμμα TEXTURE EXPONENT 32 (ver. 6.0.4.0).

Για την στατιστική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο Statgraphics Centurion XV.I, οι δε επεξεργασίες έλαβαν χώρα σε επίπεδο σημαντικότητας Ρ≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

0 ρυθμός αναπνοής των καρπών που συντηρήθηκαν στους 10 °C είναι σημαντικά χαμηλότερος από τον αντίστοιχο των καρπών που συντηρήθηκαν στους 20 °C και στις δύο πειραματικές σειρές (Σχήμα 1). Από την ανάλυση διασποράς (ANOVA) προκύπτει ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και ο χρόνος συντήρησης είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στην αναπνευστική δραστηριότητα των τοματών και στις δύο πειραματικές σειρές. Συγκρίνοντας τις δύο σειρές μεταξύ τους για κάθε θερμοκρασία συντήρησης ξεχωριστά (Fisher's Least Significant Differences test), προκύπτει ότι οι αναπνευστικοί ρυθμοί των τοματών (μέσοι όροι) ήταν στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί μεταξύ των δύο σειρών και στις δυο θερμοκρασίες συντήρησης.



Σχήμα 1. Αναπνευστικοί ρυθμοί τομάτας (mgCO₂/h kg_{καρπού}) στους 10 °C και 20 °C για την 1^η και 2^η πειραματική σειρά.

Όπως και στο Σχήμα 2 φαίνεται αρχικά ότι ο χρόνος, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία συντήρησης επηρέασαν την τελική τιμή των απωλειών μάζας. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων απώλειας μάζας στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης και στα διαφορετικά επίπεδα σχετικής υγρασίας μέσω του ελλείμματος πίεσης υδρατμών έδειξε ότι τελικά το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών (WVPD) είναι ο βασικός παράγοντας που μαζί με το χρόνο συντήρησης επηρεάζουν σημαντικά την απώλεια μάζας. Μεταξύ των δυο σειρών δεν εντοπίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές Ρ≤0.05.



Σχήμα 2. Μεταβολή των απωλειών μάζας συντηρούμενων τοματών στους 20 °C και σε 4 σχετικές υγρασίες (1^η πειραματική σειρά).

Η σχέση που αναπτύχθηκε και παρέχει ικανοποιητική προσέγγιση των απωλειών μάζας είναι:

 $ML \% = (a WVPD^2 + b WVPD + c T) t$ (1)

όπου, ML(%) οι απώλειες (%) επί αρχικής μάζας; WVPD το έλλειμμα πίεσης υδρατμών σε kPa; T η θερμοκρασία σε K; t ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες και α, b, c οι συντελεστές της παλινδρόμησης οι οποίοι δίδονται στο Πίνακα 1. Ο παράγοντας cT εκφράζει τις φυσιολογικές απώλειες οι οποίες είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Πρέπει να αναφερθεί ότι η στατιστική ανάλυση δεν έδειξε διαφορές στις απώλειες μάζας μεταξύ των δύο σειρών.

Αν από τις τιμές που προκύπτουν από την προηγούμενη σχέση, αφαιρέσουμε τις τιμές στις οποίες το έλλειμμα πίεσης υδρατμών είναι μηδενικό, (απώλειες που οφείλονται σε φυσιολογικά φαινόμενα), και διαιρώντας και τα δύο μέλη της με το χρόνο συντήρησης t, προκύπτουν τα ημερήσια ποσοστά απωλειών μάζας (ML%/day) που οφείλονται αποκλειστικά στο φυσικό φαινόμενο (έλλειμμα πίεσης υδρατμών).

Πίνακας 1. Τιμές των παραμέτρων, συντελεστής προσδιορισμού (R²_{adj}) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της Σχέσης (1) για τις δυο πειραματικές σειρές.

	a ± s.e.	b±s.e.	c±s.e.	R²adj.	S.E.E.
1η και 2η Σειρά	-0.139±0.007	0.537±0.014	0.0002±0.00001	0.86	0.68

Η ποσοστιαία μεταβολή τόσο της λαμπρότητας L* όσο και της αύξησης του κόκκινου χρώματος a* στους 20 °C είναι μεγαλύτερη και σημαντικά διαφορετική απ' ότι στους 10 °C. Όσον αφορά το δείκτη συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ, παρουσιάζει και αυτός σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών συντήρησης, και στις δυο πειραματικές σειρές. Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) έδειξαν ότι η θερμοκρασία και ο χρόνος συντήρησης έπαιξαν σημαντικό ρόλο και διαφοροποίησαν τα L*, a*, και ΔΕ.

Μετά από προσαρμογή του εμπειρικού μοντέλου πρόβλεψης της Κατσογιάννη (2010) ο δείκτης

συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ είναι δυνατόν να προβλεφθεί από τη Σχέση 2:

$$\Delta E = \frac{\alpha \times (1 - e^{-bt})}{e^{-c\theta}} \tag{2}$$

όπου t ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες, θ η θερμοκρασία σε °C και a, b, c, οι παράγοντες της Σχέσης 2 που παρατίθενται στον Πίνακα 2 με τις αντίστοιχες στατιστικές παραμέτρους.

Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων, συντελεστής προσδιορισμού (R_{adj}) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της Σχέσης (2) για τις δυο πειραματικές σειρές.

	α ± s.e.	b±s.e.	C ± S.e.	R^{2}_{adj} (%)	S.E.E.
1η Σειρά	4.30 ± 0.33	0.48 ± 0.06	0.07 ± 0.004	0.99	0.72
2 ^η Σειρά	10.1 ± 0.75	0.22 ± 0.03	0.05 ± 0.005	0.97	1.23

Για την πρόβλεψη του ΔΕ υιοθετήθηκε η παρακάτω τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius των Xanthopoulos et al. (2013):

$$A - A_0 = \kappa_{T_{ref}} \cdot t^n \cdot e^{\left[\frac{-E_a}{R} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right]}$$
(3)

όπου: Α το υπό μελέτη μέγεθος ΔΕ, Α₀ η αρχική τιμή του υπό μελέτη μεγέθους (στην περίπτωσή μας ΔΕ₀=0), k_{Tref} η σταθερά αντίδρασης στη θερμοκρασία αναφοράς (d⁻¹), t ο χρόνος συντήρησης (d), n εκθετικός παράγοντας, E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (Kj/mol), R η σταθερά των αερίων (8.314 Kj/mol K), T η θερμοκρασία σε K, T_{ref} η θερμοκρασία αναφοράς σε K (μέσος όρος των θερμοκρασιών συντήρησης, 15 °C ή 278.16 K). Οι τιμές για τους παράγοντες k_{Tref}, n και E_a (Πίνακας 3) υπολογίζονται μέσω μη-γραμμικής παλινδρόμησης.

Πίνακας 3. Παράγοντες, συντελεστής προσδιορισμού (R²_(adj)) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της Εξίσωσης (3) για τις δυο πειραματικές σειρές.

	$K_{\text{Tref}} \pm s.e.$	n±s.e.	Ea ± s.e.	R ² adj (%)	S.E.E
1η Σειρά	3.13 ± 0.32	0.28 ± 0.04	51,974 ± 2,910	0.99	0.70
2 ^η Σειρά	3.79 ± 0.38	0.42 ± 0.03	33,773 ± 2,605	0.98	0.97

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι πειραματικές τιμές σε σύγκριση με αυτές των δύο αναφερθέντων μοντέλων πρόβλεψης.

Σε ό,τι αφορά τη μη καταστρεπτική συμπίεση (σταθερή παραμόρφωση), τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση μειώνεται με το χρόνο και υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες και στις δυο πειραματικές σειρές. Τόσο ο χρόνος όσο και η θερμοκρασία συντήρησης επηρεάζουν σημαντικά την παραπάνω μεταβολή, (P=0.001< 0.05).

Συγκρίνοντας τις δυο σειρές μεταξύ τους διαπιστώνεται ότι στους 10 °C δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στους 20 °C όμως, οι δύο σειρές διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους (P= 0.0007<0.05). Η διαφορά αυτή πού εκδηλώθηκε στους 20 °C ίσως να οφείλεται στο διαφορετικό στάδιο ωριμότητας των καρπών των δύο σειρών.



Σχήμα 3. Πειραματικές (σημεία) και εκτιμώμενες (γραμμές) τιμές των δύο σχέσεων πρόβλεψης του ΔΕ συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C και 20 °C για την 1^η (άνω) και 2^η (κάτω) πειραματική σειρά.

Η γενική εξίσωση που μπορεί να περιγράψει καλύτερα τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη παραμόρφωση είναι της γενικής μορφής:

$$grad(\frac{f}{h}) = \frac{G_0}{1 + a * G_0 * t * \theta^n}$$
(4)

όπου, grad $\left(\frac{J}{h}\right)$ η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση σε N/m, f η ασκούμενη δύναμη στην επιφάνεια σε N, h η απόσταση που διανύει ο δίσκος συμπίεσης κατά τη παραμόρφωση, G₀ η αρχική κλίση της αντίστασης στη συμπίεση σε N/m, t ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες, θ η θερμοκρασία συντήρησης σε °C, a, n παράγοντες προσδιορισμού που δίνονται στο Πίνακα 4.

Πίνακας 4 Στατιστικοί παράγοντες, συντελεστές προσδιορισμού (R²adj) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της σχέσης (4) για τις δυο πειραματικές σειρές.

	a ± s.e×10 ⁻⁷	n±s.e.	R^{2}_{adj}	S.E.E
1η Σειρά	0.20±0.05	2.48±0.08	0.99	83.3
2 ^η Σειρά	2.93±1.25	1.56±0.16	0.96	229.2

Σε ό,τι αφορά τη καταστρεπτική συμπίεση, η ανάλυση διασποράς που έγινε στα δεδομένα της κλίσης της αντίστασης στην καταστρεπτική συμπίεση, έδειξε ότι στατιστικά σημαντική διαφορά υπάρχει ομοίως (όπως και στη μη καταστρεπτική συμπίεση) μόνο στους 20 °C (P=0.019<0.05), ενώ στη μέγιστη δύναμη δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ούτε στους 10 °C ούτε στους 20 °C.

Προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η μη καταστρεπτική συμπίεση μπορεί να υποκαταστήσει την καταστρεπτική όσον αφορά την εκτίμηση της υφής έγινε σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων. Η σύγκριση αυτή αφορά το μοντέλο πρόβλεψης που αναπτύχθηκε μέσω της μη-γραμμικής παλινδρόμησης (Σχέση 4) και της τελικής τιμής της κλίσης της καταστρεπτικής συμπίεσης (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Σύγκριση του μοντέλου πρόβλεψης της κλίσης της αντίστασης στη παραμόρφωση και της τελικής αντίστοιχης τιμής της καταστροφικής διαδικασίας στους 10 °C (άνω) και στους 20 °C (κάτω) για στην 1^η πειραματική σειρά.

Η σύγκριση παρ' όλα αυτά είναι δύσκολη όπως φαίνεται, καθώς δεν γνωρίζουμε την ακριβή μορφή της καμπύλης που ακολουθεί η κλίση στη καταστρεπτική συμπίεση, κάτι που θα μπορούσε να γίνει πειραματικά με λήψη μετρήσεων σε ενδιάμεσα τακτά χρονικά διαστήματα, θα απαιτούσε όμως μεγάλο αριθμό δειγμάτων προκειμένου να μειωθεί η παραλλακτικότητα στις προβλεπόμενες τιμές.

Το μοντέλο τελικά πρόβλεψης που αναπτύχθηκε μέσω της μη-γραμμικής παλινδρόμησης για τη μηκαταστρεπτική συμπίεση, συγκρινόμενο με τις τελικές τιμές της κλίσης στην καταστρεπτική συμπίεση, δείχνει ότι δεν είναι τόσο επαρκές για να υποκαταστήσει και να προβλέψει την καταστρεπτική συμπίεση παρουσιάζοντας αποκλίσεις μέχρι και 15%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θερμοκρασία, ο χρόνος συντήρησης, όπως επίσης και το στάδιο συλλογής του καρπού (χωρίς να ληφθεί υπόψη η θέση του καρπού πάνω στο φυτό) επηρεάζουν σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα των τοματών καθώς οι δύο σειρές διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Το έλλειμμα της πίεσης των υδρατμών (WVPD) ήταν αυτό που διαδραμάτιζε σημαντικότερο ρόλο στις απώλειες μάζας. Οι απώλειες μάζας μπορούν να περιγραφούν συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης υδρατμών και των ημερών συντήρησης λαμβάνοντας υπόψη και την αναπνοή η οποία εξαρτάται και από τη θερμοκρασία συντήρησης με μια πολυωνυμική εξίσωση.

Η μεταβολή των χρωματικών παραγόντων L*, a*, ΔΕ με το χρόνο συντήρησης, ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερη στους 20 °C απ΄ ότι στους 10 °C. Η καμπύλη πρόβλεψης της μεταβολής του ΔΕ συναρτήσει της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης είναι εκθετική με υψηλό R²=0.99 και R²= 0.97 για την 1^η και τη 2^η σειρά αντίστοιχα.

Η μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη συμπίεση (μη καταστρεπτική) διαφέρει μεταξύ των δυο θερμοκρασιών και στις δύο πειραματικές σειρές. Η καμπύλη πρόβλεψης της κλίσης της αντίστασης στη μη καταστροφική συμπίεση εξαρτάται από την αρχική κλίση της αντίστασης στη συμπίεση, τη θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης με υψηλό R²=0.99 και R²=0.96 για την 1^η και 2^η σειρά αντίστοιχα.

Δεν επιτεύχθηκε η ταυτοποίηση του τρόπου με τον οποίο επηρεάζει το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη συμπίεση οπότε θα ήταν σκόπιμο σε μελλοντικά πειράματα με ενδιάμεσα σπασίματα κατά τη συντήρηση να γίνει επαλήθευση της τελικής καμπύλης μεταβολής της κλίσης με το χρόνο συντήρησης και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης.

Βιβλιογραφία

- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E.M., Silva, C.L.M., 2012. Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (Solanum lycopersicum, cv 'Zinac') during storage, *Journal of Food Engineering*, 114(3):338-345.
- Požrl T., Žnidarčič D., Kopjar M., Hribar J., Simčič M., 2010. Change of textural properties of tomatoes due to storage and storage temperatures, Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.8 (2): 292– 296.
- Sastry S.K., Buffington D.E., 1983. Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes. *International Journal of Refrigeration*, 6(2):84-96.
- Sirisomboon, P., Tanaka, M., Kojima, T., 2012. Evaluation of tomato textural mechanical properties. Journal of Food Engineering, 111:618– 624.
- Tijskens L.M.M., Evelo R.G., 1994. Modelling colour of tomatoes during postharvest storage, *Postharvest Biology and Technology 4:* 85-98
- Van Dijk C., Boeriu C., Peter F., Stolle-Smits T., Tiskens L.M.M, 2006. The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 1. Kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss, *Journal of Food Engineering* 77:417-26.
- Xanthopoulos G., Nastas, C.V., Boudouvis, A.G. and Aravantinos-Karlatos, E., 2013. Colour and mass transfer kinetics during air-drying of pre-treated

Oyster mushrooms (Oyster Pleurotus spp.). Drying Technology (In print).

- Κατσογιάννη Α., 2010. Μεταβολή φυσιολογικών, μηχανικών και λοιπών ποιοτικών χαρακτηριστικών συντηρούμενης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, ΓΠΑ, Αθήνα.
- Λαμπρινός Γ. και Μητρόπουλος Δ., 2004. Φορητή συσκευή και μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού αναπνοής καρπών. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI). Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1004590/2004.
- Λαμπρινός Γ., Μανωλοπούλου Ε. και Μητρόπουλος Δ., (2006). Αναπνευστικός θάλαμος, Φορητή συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του Ρυθμού Αναπνοής Καρπών, ΔΕ αριθ. 1005205 / 02-05-2006.
- Λαμπρινός Γρ. και Μητρόπουλος Δ., 2006. Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού Αναπνοής Καρπών που είναι συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI). Αρ. Ευρεσιτεχνίας 1005305/02–07–2006.
- Ψυχογυιού, Στ., Κατσογιάννη, Α., Μανωλοπούλου, Ε., Ξανθόπουλος, Γ., Λαμπρινός, Γρ., 2009. Εκτίμηση των απωλειών μάζας νωπής τομάτας βιολογικής καλλιέργειας κατά τη συντήρησή της με ψύξη. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΓΜΕ. Θεσσαλονίκη, 8-10 Οκτωβρίου 2009.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY"

Δ. Λέντζου, Ι. Καρούσος, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα. Τηλ. 210 529 4031, Fax. 210 529 4032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών καρπών τομάτας τύπου "cherry" συντηρούμενων ασυσκεύαστων σε δύο επίπεδα θερμοκρασίας (10 και 20 °C) και τρία επίπεδα σχετικής υγρασίας (97%, έως 50%) και συσκευασμένων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι: (i) Η μεταβολή των χρωματικών παραγόντων παρουσιάζει αύξηση με το χρόνο συντήρησης, είναι δε σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερη στους 20 °C από ότι στους 10 °C. Η καμπύλη πρόβλεψης της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ συναρτήσει της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης είναι εκθετική τύπου Arrhenius, με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού και στις δύο διαδοχικές πειραματικές σειρές. (ii) Σε ό,τι αφορά την υφή, η αρχική κλίση της καμπύλης συμπίεσης παρουσιάζει μείωση με το χρόνο συντήρησης, που είναι πολύ έντονη στους 20 °C. Η ίδια τάση εμφανίζεται και στις δοκιμές σταθερής παραμόρφωσης. Η σχέση που περιγράφει τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στην παραμόρφωση με το χρόνο, είναι εκθετική και στις δύο διαδοχικές πειραματικές σειρές που εξετάστηκαν. Σημαντική ήταν η μείωση της κλίσης στις χαμηλές σχετικές υγρασίες συντήρησης. (iii) Τέλος, οι απώλειες μάζας στις διάφορες συνθήκες συντήρησης συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης των υδρατμών εκφράστηκαν από μια εκθετική σχέση.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα "Cherry", τροποποιημένη ατμόσφαιρα, ποιότητα, απώλεια μάζας

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF "CHERRY" TOMATOES

D. Lentzou, I. Karousos. G. Xanthopoulos and Gr. Lambrinos

Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens Tel. +30 210 5294031, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The aim of this paper is the study of the changes in quality characteristics of "cherry" tomatoes stored either unpackaged in two temperatures (10 °C and 20 °C) and three relative humidity levels (97%, 85% and 55%), and in modified atmosphere packaging (MAP). The results show that: (i) colour variation is increased depending on storage time, while it is always more observable in 20 °C than in 10 °C. The prediction correlation of the total colour variation (ΔE) vs. temperature and storage time takes the form of an Arrhenius exponential with a high coefficient of determination (R^{2}_{adj}) for both experimental series. (ii) As far as texture is concerned, the initial slope of the destructive compression curve decreases with storage time, reaching its maximum decrease at 20 °C. The same tendency appears in the standard deformation monitoring. The equation describing the slope change of deformation resistance over time is exponential with a high R^{2}_{adj} for both tested experimental series. The slope decrease was considerable in low relative humidity levels. (iii) Finally, the mass loss dependent on the water vapour pressure deficit, under various storage conditions, was expressed with an exponential equation with high R^{2}_{adj} .

Key words: "cherry" tomatoes, MAP, quality, mass loss

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταβολές στην ποιότητα των φρέσκων φρούτων και λαχανικών από την συγκομιδή έως την κατανάλωση είναι πολύ σημαντικές καθώς επηρεάζουν την τελική απόφαση του καταναλωτή. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται κυρίως σε μεταβολικές διεργασίες λόγω φυσιολογικής εξέλιξης των καρπών καθώς και εξαιτίας περιβαλλοντικών παραγόντων. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να μειωθούν σημαντικά με τις κατάλληλες συνθήκες συντήρησης με ψύξη. (Κατσογιάννη, 2010). Επιπλέον στη μείωση της υποβάθμισης της ποιότητας συμβάλλει σημαντικά και η τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Κατσογιάννη, 2011).

Η υφή και το χρώμα είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που χαρακτηρίζουν την ποιότητα της τομάτας (Batu, 2004). Όπως προκύπτει

από διάφορες μελέτες, η υποβάθμιση αυτών των δυο ποιοτικών παραγόντων περιορίζεται με συντήρηση στους 10 °C, 13 °C και 20 °C συντηρώντας σε αποδεκτά όρια μετά από διάστημα 15-20 ημερών τούς ασυσκεύστους καρπούς και για μεγαλύτερο διάστημα τούς συσκευασμένους καρπούς σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Gormley, 1978; Batu, 1998; Wu et. al., 2002; Batu, 2004; Znidarcic et.al., 2006; Κατσογιάννη, 2011).

Η απώλεια υγρασίας είναι σημαντική για την διατήρηση της ποιότητας και κατ' επέκταση εμπορευσιμότητα στα νωπά προϊόντα. Σε αρκετές εργασίες έχει δειχθεί ότι η απώλεια υγρασίας εξαρτάται κυρίως από την θερμοκρασία (Cantwell et. al., 2009). Η απώλεια υγρασίας από την τομάτα εμφανίζεται ως γραμμική σε σχέση με τον χρόνο συντήρησης (Znidarcic et. al., 2006; Κατσογιάννη, 2011).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών τομάτας τύπου "cherry", η οποία συντηρήθηκε σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Μελετήθηκαν οι απώλειες μάζας, η αντοχή στη συμπίεση (καταστρεπτική και μη-καταστρεπτική μέθοδος) συναρτήσει του χρόνου, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας συντήρησης, καθώς και η μεταβολή του χρώματος συναρτήσει του χρόνου και της θερμοκρασίας συντήρησης.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην εργασία αυτή και σε δυο πειραματικές σειρές, ήτοι 4° χέρι συλλογής εαρινής καλλιέργειας (1η σειρά) και 1° χέρι θερινής καλλιέργειας (2η σειρά) στον ίδιο αγρό, χρησιμοποιήθηκαν τομάτες "cherry", υβριδίου Iron F1, σταδίου ωριμότητας 4 "Pink". Οι καρποί συλλέχθηκαν από θερμοκήπιο στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Οι τομάτες μετά τη συγκομιδή μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου πραγματοποιήθηκε διαλογή. Οι καρποί που προορίζονταν για μέτρηση των απωλειών μάζας τοποθετήθηκαν σε αλουμινένια κεσεδάκια σε ομάδες των δέκα σε θερμοκρασίες 10 °C και 20 °C και σε τρεις διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας ανά θερμοκρασία. Οι διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας δημιουργήθηκαν με απιονισμένο νερό και κορεσμένα διαλύματα αλάτων MgCl₂, NaCl στην 1^η σειρά και MgCl₂, NaOH στη 2^η σειρά, σε κελιά των 80 L. Οι τομάτες που συντηρούνταν σε συνθήκες σχετικής υγρασίας ψυκτικού θαλάμου (μάρτυρας), χρησιμοποιήθηκαν και στη μέτρηση του χρώματος. Οι μετρήσεις της μάζας και του χρώματος γίνονταν κάθε 2-3 ημέρες, η δε ταχύτητα του αέρα στο επίπεδο των καρπών δεν υπερέβη ποτέ τα 0.2 m/s .Οι τομάτες που προορίζονταν για συσκευασία μετά τη διαλογή ζυγίστηκαν, χωρίστηκαν σε ομάδες διαφορετικής μάζας των 100 g, 200 g, 300 g και 400 g και τοποθετήθηκαν στους ψυκτικούς θαλάμους μαζί με τις συσκευασίες για 24 ώρες ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση συμπυκνωμάτων κατά την συσκευασία τους. Μετά την πάροδο των 24 ωρών οι καρποί τοποθετήθηκαν στις συσκευασίες οι οποίες αποτελούνταν από πλαστικά φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) και πάχους 50 μm.

Αμέσως μετά τη διαλογή έγιναν μετρήσεις υφής με δοκιμές στη συμπίεση (καταστρεπτικά τεστ) σε αντιπροσωπευτικά δείγματα 50 καρπών σε κάθε σειρά, καθώς και μετρήσεις χρώματος. Εν συνεχεία τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους των 10 °C και 20 °C. Τέλος οι μετρήσεις υφής που λάμβαναν χώρα μέσω σταθερής παραμόρφωσης (μή καταστροφικά τεστ) γίνονταν κάθε 2-3 ημέρες συντήρησης.

Η μέτρηση των απωλειών μάζας γινόταν με ζυγό AND (μοντέλο FA-2000) ακρίβειας ±0.01 g. Οι μετρήσεις του χρώματος των καρπών έγινε με χρωματόμετρο MINOLTA CR-300 (Konica Minolta, Japan). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε βασιζόταν στους χρωματικούς δείκτες L*, a*, b*. Κάθε φορά λαμβάνονταν δυο μετρήσεις σε κάθε τομάτα στην ίδια περιοχή αντιδιαμετρικά του κάλυκα. Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ* (Total Color Difference) όπως περιγράφεται από τη σχέση

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

χρησιμοποιήθηκε στην περιγραφή της ολικής μεταβολής του χρώματος των υπό μελέτη δειγμάτων.

Ο προσδιορισμός της αντίστασης των καρπών στη συμπίεση έγινε με τη βοήθεια του Texture Analyzer TA.XT2i (Stable Micro Systems, Ltd. UK) εφοδιασμένου με έμβολο κινούμενου με σταθερή προκαθορισμένη ταχύτητα. Για την εκτέλεση των δοκιμών υφής (καταστρεπτικών και μn) χρησιμοποιήθηκε δίσκος συμπίεσης διαμέτρου 7 cm. Καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε στην αρχή και στο τέλος καθε πειραματικής σειράς. Μηκαταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα απο 10 ασυσκεύαστες τομάτες ανά θερμοκρασία, μετρήσεις δε λαμβάνονταν στο ίδιο δείγμα κάθε 2-3 μέρες συντήρησης. Κατά τη μηκαταστρεπτική συμπίεση η παραμόρφωση που εκτελούσε ο δίσκος συμπίεσης ήταν 1.0 mm από την επαφή του με τον καρπό. Ο καρπός ετοποθετείτο πάντοτε με τον πολικό του άξονα παράλληλο στη πλάκα συμπίεσης ώστε η δοκιμή να λαμβάνει χώρα πάντα στην περιοχή του ισημερινού της τομάτας. Στην καταστρεπτική συμπίεση η διαδικασία τερματιζόταν όταν σημειωνόταν ρήξη TOU επιδερμικού ιστού. Οι καρποί πριν την εκτέλεση των δοκιμών υφής αφήνονταν για μία ώρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η επεξεργασία των δεδομένων υφής έγινε με το πρόγραμμα TEXTURE EXPONENT 32 (ver. 6.0.4.0).

Η θερμοκρασία και η υγρασία στους θαλάμους και τα κελιά καταγράφονταν με αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA) or οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro Station (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA). Οι αισθητήρες ήταν διακριτικής ικανότητας 0.4 °C, 0.5% και ακρίβειας ±0.7 °C, ±3% αντίστοιχα για θερμοκρασία και υγρασία. Τέλος η στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έγινε με το στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Virginia. Technologies. USA) σε επίπεδο σημαντικότητας Ρ≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ 3.1 Απώλειες μάζας

Οι απώλειες μάζας των καρπών στις δυο θερμοκρασίες αυξάνονταν με τον χρόνο. Οι καρποί που βρίσκονταν στους 20 °C είχαν μεγαλύτερες απώλειες. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 ο χρόνος και η σχετική υγρασία συντήρησης επηρέασαν την τελική τιμή των απωλειών μάζας. Σε υψηλότερη σχετική υγρασία οι τελικές απώλειες ήταν σημαντικά μικρότερες για τον ίδιο χρόνο συντήρησης.

Από την ανάλυση διασποράς (ANOVA) και για τις δυο σειρές φαίνεται ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και ο χρόνος συντήρησης επηρέασαν σημαντικά το ποσοστό απωλειών μάζας (P=0.000<0.05). Η σχέση η οποία δίνει μια ικανοποιητική προσέγγιση των απώλειών μάζας με το χρόνο συντήρησης είναι η *ML%*= *α*×*t* όπου: ML% οι απώλειες μάζας (%), α η κλίση της ευθείας και t ο χρόνος συντήρησης (d).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι κλίσεις α και οι συντελεστές προσδιορισμού R² των γραμμικών αυτών σχέσεων που περιγράφουν τις απώλειες μάζας συναρτήσει του χρόνου στις αντίστοιχες θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες συντήρησης.



Σχήμα 1. Μεταβολή των απωλειών μάζας τοματών τύπου "cherry" που συντηρήθηκαν στους 10 °C και σε διαφορετικές σχετικές υγρασίες (2^η πειραματική σειρά).

Πίνακας 1. Κλίσεις α και συντελεστές προσδιορισμού R² των απωλειών μάζας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τη 2^η πειραματική σειρά.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	RH (%)	α	R ²
10	97	0.023	0.941
10	90	0.145	0.999
10	49	0.042	0.980
20	96	0.011	0.956
20	64	0.884	0.994
20	54	0.837	0.996

3.2 Χρώμα

Ο δείκτης συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ, παρουσιάζει σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών συντήρησης. Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) έδειξε ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και ο χρόνος συντήρησης έπαιξαν σημαντικό ρόλο και διαφοροποίησαν το δείκτη ολικής μεταβολής του χρώματος. Για την πρόβλεψη του δείκτη ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ υιοθετήθηκε μια τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius (Xanthopoulos et al., 2013),

$$A=A_{o}+k(T_{r})t^{n'}exp\left[-\frac{E_{a}}{R}\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_{r}}\right)\right]$$

όπου: Α το υπό μελέτη μέγεθος ΔΕ, Α₀ η αρχική τιμή του υπο μελέτη μεγέθους $\Delta E_0=0$, k_{Tr} η σταθερά αντίδρασης στη θερμοκρασία αναφοράς (d⁻¹), t ο χρόνος συντήρησης (d), n ο εκθετικός παράγοντας,

E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (Kj/mol), R η σταθερά των αερίων (8.314 Kj/mol K), T η θερμοκρασία σε K και Tr η θερμοκρασία αναφοράς σε K (μέσος όρος των θερμοκρασιών συντήρησης, 15 °C ή 288.16 K). Οι τιμές για τους παράγοντες k_{Tref}, n και E_a (Πίνακας 2) υ πολογίζονται μέσω μη-γραμμικής παλινδρόμησης (non-linear regression).

Πίνακας 2. Παράγοντες, συντελεστής προσδιορισμού (R²_(adj)) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της εξίσωσης Arrhenius για τη 2^η πειραματική σειρά.

Parameter	Estimate	Asymptotic Standard Error
k	2.547	0.25
n	0.33	0.04
Ea	23,249	2,250

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι πειραματικές τιμές για την ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ τόσο για τους ασυσκεύαστους όσο και για τους συσκευασμένους καρπούς. Όπως φαίνεται η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ των συσκευασμένων καρπών καθυστέρησε σημαντικά τόσο στους 20 °C όσο και στους 10 °C.



Σχήμα 2. Μεταβολή του δείκτη ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C και 20 °C για την 2^η πειραματική σειρά τόσο για τα ασυσκεύαστα όσο και για τα συσκευασμένα.

Στην επιφάνεια απόκρισης Σχήμα 3, απεικονίζεται η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ με το χρόνο και τη θερμοκρασία συντήρησης όπως αποδίδεται από την εξίσωση πρόβλεψης τύπου Arrhenius.



Σχήμα 3: Επιφάνεια απόκρισης του ΔΕ σε σχέση με το χρόνο και τη θερμοκρασία συντήρησης όπως προέκυψε από τη μη-γραμμική παλινδρόμηση των πειραματικών δεδομένων με την τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius.

3.3 Υφή

Από τα πειράματα υφής, η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση στα πειράματα σταθερής παραμόρφωσης (μη καταστροφικά) μειώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, υπάρχει δε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης και στις δυο πειραματικές σειρές. Τόσο ο χρόνος όσο και η θερμοκρασία συντήρησης παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταβολή αυτή, όπως έδειξε η ανάλυση διασποράς (P=0.000< 0.05).

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη συμπίεση παίζουν και οι απώλειες μάζας που υφίστανται οι καρποί κατά την διάρκεια της συντήρησης όπως έδειξε η στατιστική ανάλυση (P=0.000<0.05). Η σχέση που μπορεί να περιγράψει καλύτερα τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη παραμόρφωση είναι της γενικής μορφής:

 $\operatorname{grad}\left(\frac{\mathsf{F}}{\mathsf{h}}\right) = \frac{1}{\mathsf{a}+\mathsf{bx}^2}$

όπου: grad $\left(rac{\mathsf{F}}{\mathsf{h}}
ight)$ η κλίση της αντίστασης στη

συμπίεση σε N/mm, F η ασκούμενη δύναμη στην επιφάνεια σε N, h η απόσταση που διανύει ο δίσκος συμπίεσης (παραμόρφωση) και x: οι απώλειες μάζας (%) (Σχήμα 4). Η ίδια σχέση μπορεί να εκφράσει και την καταστρεπτική μέθοδο καθώς μετά από στατιστική ανάλυση αυτή η σχέση μπορεί να περιγράψει καλύτερα το φαινόμενο με R² adj= 0.90.



Σχήμα 4 : Μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στην

παραμόρφωση για τη μη καταστρεπτική μέθοδο στους 20 ° C (2^η πειραματική σειρά).

3.4 Ολικά διαλυτά στερεά

Τα ολικά διαλυτά στερεά τέλος δεν εμφάνισαν σημαντική μεταβολή κατά τη συντήρηση των καρπών, σε καμία από τις δυο πειραματικές σειρές οι οποίες διέφεραν μεταξύ τους. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των ολικών διαλυτών στερεών για τα διάφορα είδη συσκευασίας καθώς και για τους ασυσκεύαστους καρπούς για κάθε πειραματική σειρά.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι των τελικών τιμών των ολικών διαλυτών στερεών δειγμάτων που συντηρήθηκαν ασυσκεύαστοι στον αέρα καθώς και συσκευασμένων για κάθε είδος συσκευασίας.

	1η ΣΕΙΡΑ	ΑΕΡΑΣ ΑΡΧΙΚΑ	ΣΥΣ 1Α	ΣΥΣ 2Α	ΣΥΣ 3Α	ΣΥΣ 3Β	ΑΕΡΑΣ ΤΕΛΙΚΑ
	10	7.63	7.40	7.15	6.35	7.30	7.23
	20	7.63	7.50	7.55	8.00	8.10	7.57
	2η ΣEIPA	ΑΕΡΑΣ ΑΡΧΙΚΑ	ΣΥΣ Α	ΣΥΣ Β	ΣΥΣ Γ	ΑΕΡΑΣ ΤΕΛΙΚΑ	
	10	4.84	5.54	5.92	6.06	5.26	
_	20	4.84	4.88	5.14	4.90	5.70	

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θερμοκρασία και ο χρόνος συντήρησης αυξάνουν σημαντικά τις απώλειες μάζας, ενώ η σχετική υγρασία συντήρησης μειώνει τις απώλειες. Η μεταβολή του χρώματος τών ασυσκεύαστων καρπών τομάτας τύπου "cherry" εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα καθυστέρησε σημαντικά τη μεταβολή του χρώματος τόσο στους 20 °C όσο και στους 10 °C.

Ο χρόνος και η θερμοκρασία συντήρησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην υποβάθμιση της υφής (μείωση της κλίσης της αντίστασης στη συμπίεση) υποβάθμιση που επιτείνεται με την αύξηση των απωλειών μάζας.Τα ολικά διαλυτά στερεά τέλος δεν εμφάνισαν ιδιαίτερη μεταβολή κατά τη συντήρηση των καρπών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Batu, A., 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. Journal of food engineering. 61: 471-475.
- Batu, A., 1998. Some affecting on determination and measurement of tomato firmness. Turkish journal of agriculture and forestry. 22: 411-418.
- Cantwell, M., Nie, X., Hong, G., 2009. Impact of storage conditions on grape tomato quality. Proceedings from 6th ISHS Postharvest symposium. Antalya, Turkey, April 8-15.
- Gormley, R., Egan, S., 1978. Firmness and colour of the fruit of some tomato cultivars from various sources during storage. Journal of the science of food and agriculture. 29: 534-538.

- Wu, T., Abbot, J.A., 2002. Firmness and force relaxation characteristics of tomatoes stored intact or as slices. Postharvest biology and technology. 24: 59-68.
- Xanthopoulos G., Nastas, C.V., Boudouvis, A.G. and Aravantinos-Karlatos, E., 2013. Colour and mass transfer kinetics during air-drying of pre-treated Oyster mushrooms (Oyster Pleurotus spp.). Drying Technology (In print).
- Znidarcic, D and Pozrl, T., 2006: Comparative study of quality changes in tomato cv. "Malike" (Lycopersicon esculentum Mill.) whilst stored at different temperatures. Acta agriculturae Slovenica. 87 (2): 235-243.
- Κατσογιάννη, Α., 2010. Μεταβολή φυσιολογικών, μηχανικών και λοιπών ποιοτικών χαρακτηριστικών συντηρούμενης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας. Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κατσογιάννη, Α., Ψυχογυιού, Στ., Ξανθόπουλος, Γ., Χατζής, Ε., Μανωλοπούλου, Ε., Αραβαντινός-Καρλάτος, Ε., Λαμπρινός, Γρ., 2011. Συντήρηση συσκευασμένης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Πρακτικά 7^{ου} πανελλήνου συνεδρίου της ΕΓΜΕ. Αθήνα, 24-27 Νοεμβρίου 2011.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ (EMAP) ΓΙΑ ΤΟΜΑΤΙΝΙΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Δημήτριος Μπριασούλης, Αντώνιος Μυστριώτης, Αναστάσιος Γιαννούλης, Δημήτριος Γιαννόπουλος Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Τομέας Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, Τ.Κ. 11855

Στην εργασία παρουσιάζεται η βελτιστοποίηση ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε ισορροπία (ΕΜΑΡ) κατασκευασμένης από υλικά βιολογικής προέλευσης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ως υλικού συσκευασίας ένος συνδυασμού δυο διαφορετικών βιοδιασπώμενων πλαστικών υλικών βιολογικής προέλευσης, μεμβράνης PLA 30μm πάχους με μικρο-οπές και Mater-Bi (MB) 38μm πάχους. Η παρούσα μελέτη βασίστηκε σε αποτελέσματα προηγούμενης ερευνητικής εργασίας σχετικής με το σχεδιασμό βέλτιστης βιοδιασπώμενης συσκευασίας ΕΜΑΡ με υλικό συσκευασίας μόνο το PLA. Κύριος στόχος ήταν η δημιουργία μίας συσκευασίας ΕΜΑ έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα του υλικού κάλυψης και να μειωθεί σημαντικά το κόστος παραγωγής της χωρίς να επηρεαστούν οι βέλτιστες συνθήκες για το μίγμα αερίων εντός της συσκευασίας. Αναπτύχθηκαν βιοδιασπώμενες συσκευασίες ΕΜΑ για 250g τοματίνια με συνδυασμό φύλλων PLA – Mater-Bi, αφού πρώτα υπολογίσθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της συσκευασίας. Εργαστηριακά πειράματα για τις εν λόγω συσκευασίες πραγματοποιήθηκαν για την επιβεβαίωση του βέλτιστου σχεδιασμού και της συμπεριφοράς της κάθε συσκευασίας ΕΜΑ. Οι συσκευασίες αποθηκεύτηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών ώστε να αναπαρχθούν ρεαλιστικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εμπορίου για φρέσκα φρούτα και λαχανικά (20°C, 65%RH). Στη διαδικασία βελτιστοποίησης του σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν και τρισδιάστατες αριθμητικές προσομοιώσεις. Τα πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την επίτευξη των επιδιωκόμενων τιμών συγκεντρώσεων του μίγματος αερίων εντός της συσκευασίας,, ενώ παράλληλα μειώθηκε κατά ένα σημαντικό ποσοστό το κόστος παραγωγής της συσκευασίας συγκριτικά με αυτή που χρησιμοποιεί ως υλικό κάλυψης μόνο μεμβράνη PLA. Συγκριτικά αποτελέσματα με μη συσκευασμένα δείγματα ελέγχου αλλά και συμβατικές συσκευασίες προπυλενίου (BOPP) έδειξαν επιμήκυνση του χρόνου ζωής για τα τοματίνια διατηρώντας τα σε υψηλά επίπεδα ποιότητας.

Λέξεις κλειδιά: συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, υλικό κάλυψης, μείωση κόστους συσκευασίας, εργαστηριακά πειράματα, αριθμητική προσομοίωση, PLA, Mater-Bi

INTEGRATED DESIGN OF BIO-BASED EMA PACKAGE FOR CHERRY TOMATOES – EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY

Demetrios Briassoulis, Antonios Mistriotis, Anastasios Giannoulis, Demetrios Giannopoulos

Laboratory of Farm Structures, Natural Resources Management & Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens

briassou@aua.gr, amistr@aua.gr, agian@aua.gr, dgian@aua.gr

This study presents the optimization of an integrated design of a bio-based EMA package for cherry tomatoes. Optimization is achieved by combining 30µm laser micro-perforated Poly-lactic Acid (PLA) and 38µm Mater-Bi (MB) bio-based biodegradable packaging films. This study was based on previous research work results regarding the optimum design of an EMA package using as packaging material only PLA. The aim was to create the bio-based EMA package in a way that the packaging material is minimized and the cost is decreased without affecting the in-package optimum conditions for the gas mixture. The geometrical characteristics of the EMA packages of PLA/MBintegrated packaging material were calculated and packages were developed for 250g of cherry tomatoes each. Laboratory tests were employed for the validation of the optimum EMA package using as packaging material a combination of micro-perforated PLA and Mater-Bi films. Packages were stored in a controlled climate chamber so that realistic shelf conditions for the fresh commodities would be represented (20°C, 65% RH). Parallel 3D numerical simulations were used in the optimization processs. The experimental and numerical results confirmed that the targeted in-package gas mixture concentrations were achieved for the integrated bio-based EMA, while the EMA package cost was reduced compared to the pure PLA EMA package. Comparisons to non-packed cherry tomatoes and conventional oriented polypropylene (BOPP) EMAP showed that the PLA/MB EMAP is able to prolong the shelf life-time of cherry tomatoes while retaining them at high quality.

Key words: EMAP, packaging material, package cost reduction, laboratory experiments, numerical simulation, PLA, Mater-Bi

1. INTRODUCTION

The demand of the society for the improvement of food quality is more than evident in the last two

decades. Equilibrium Modified Atmosphere Packaging (EMAP) is a relatively new method for prolonging shelf-life and preserving fresh products of high quality. The method aims at reducing the respiration rates of the commodity along with the inpackage regulation of the relative humidity that is responsible for the development of several diseases.

Low density polyethylene (LDPE) and isotactic polypropylene (PP) are the most common packaging materials used nowadays. However, both LDPE and PP are not biodegradable, fossil oil based materials (Farber & Dodds, 1995) aggravating the continuous environmental pollution caused by non-degradable synthetic polymer wastes. Developing and using biobased biodegradable polymers is considered as the most thorough method for resolving this problem.

Experimental and numerical studies on EMA packaging of (Briassoulis et al, 2013) showed that PLA films can provide increased shelf-life for cherry tomatoes and peaches while preserving them at a better quality when compared to Polypropylene (PP) films. The bio-based EMAP design presented in (Briassoulis et al, 2013) was further optimized in terms of packaging materials. This paper presents the integrated design of an optimized bio-based EMA package for cherry tomatoes achieved by combining Poly-lactic Acid (PLA) and Mater-Bi biodegradable packaging films. The design of the EMA package using as packaging material these two environmental friendly bio-based plastic films was based on the fact that they both have significant permeability to water vapor compared to conventional films.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. PLA plastic film

PLA is a bio-based plastic compostable material that is stable within the functional life time of a package for fruits and vegetables; its mechanical properties and processability are sufficient to make thin films that fulfill fruit packaging requirements; its radiometric properties (transparency) satisfy the requirements of fresh fruit and vegetable packaging; its gas permeability properties are suitable for tuning an EMAP system and is also an economically feasible material to use as a packaging polymer (Bogaert, 2000).

2.2. Mater-Bi plastic film

Mater-Bi film which has higher WV permeability than PLA (Briassoulis et al, 2013) is a family of completely biodegradable and compostable materials produced by Novamont S.p.A. based on renewable raw materials (e.g. starches, vegetable oils) that are complexed with biodegradable synthetic polyesters. Mater-Bi biodegrades completely in composting, soil, fresh and salt water and is considered to be a compostable material without ecotoxicity according to the European standard CEN EN13432 (CEN, 2005).

2.3. Targeted Headspace EMAP conditions

The targeted headspace EMAP conditions depend on the packaged commodity and the storage conditions. Extensive laboratory experiments (D' Aquino, 2011) have shown that for given storage conditions, specific in-package concentration values

of CO₂, O₂ and Water Vapour (WV) could improve the shelf life and quality of cherry tomatoes. Transpiration and respiration are complex biological processes and the corresponding rates under given environmental conditions vary with respect to cultivars. The storage conditions for the cherry tomatoes were 18-20°C and 60-65% RH, the respiration rate was 12-15 ml (CO₂) h⁻¹ and the transpiration rate 4-6 g (H₂O) d⁻¹. The headspace targeted conditions for the EMA package were specified from the laboratory experiments for 1kg of cherry tomatoes (D' Aquino, 2011) to be 2-6 kPa CO₂, 15-20 kPa O₂, 18-20°C and 80-90% RH.

2.4. Combining PLA and Mater-Bi. Theory and Calculations

Based on Fick's Law of diffusion:

$$J_{WV} = P_m A \frac{\Delta C_{WV}}{\Delta x} \tag{1}$$

Where J_{WV} (g/s): water vapour mass flux; P_m (g/ms): permeability of packaging material; $A(m^2)$: packaging film area; ΔC_{WV} : water vapour mass fraction difference between environment and package headspace; $\Delta x(m)$: packaging film thickness

For a combination of two different packaging materials

$$J_{WV} = (P_{m1} A_1 + P_{m2} A_2) \frac{\Delta C_{WV}}{\Delta x}$$
(2)

$$A_1 + A_2 \ge A_{min} \tag{3}$$

Where P_{mi} (g/ms): permeability of packaging material *I*; A_i (m²): area of packaging film *i* ; A_{min} is the minimum area of packaging film which can wrap the required produce quantity volume.

From these equations areas A₁ and A₂ can be defined since:

J_{WV} can be measured through gravimetrical lab experiments

 P_{m1} , P_{m2} have been measured through lab experiments (Mistriotis et al., 2012)

 Δx is either known from the thin film manufacturer or can be measured

 ΔC_{WV} can be defined based on the needs of the packaged produce (the *RH* of the storage environment and the targeted *RH* of the headspace)

The micro-perforation of the package is designed to achieve the targeted head-space CO₂, O₂ concentrations based on the empirical modification of Fick's Law of diffusion regarding diffusion through perforations (Chung et al., 2003):

$$J_{gas} = D A_p \frac{\Delta C_{gas}}{L+kd} \tag{4}$$

Where J_{gas} (m^3 /s): gas volume flux; D (m^2 /s): diffusion coefficient; A_p (m^2): perforation area; ΔC_{gas} : gas (CO₂, O₂) mass fraction difference between the two ends of the perforation (environment and in-package); L (m) : film thickness; d(m) : perforation

diameter; k : factor characteristic of the end effects of the perforation

2.4.1. Modeling

An optimized EMAP system, with a combination of PLA/MB films, was modeled for the case of cherry tomatoes. The data used with the Mater-Bi/PLA EMAP film combination are as follows:

 J_{wv} =5 g/day (transpiration)

 $\begin{array}{l} J_{co2}{=}\;12\;\text{ml/h}\;(\text{or}\;0.14g/\text{day})\;(\text{respiration})\\ D_{CO2\;in\;air}{=}\;1.4\;10^{-5}\;\text{m}^2/\text{s}\;(\text{Massman},\;1998)\\ P_{PLA}{=}\;4.66\;10^{-5}\;(\text{g/ms})\;(\text{Mistriotis et al.},\;2012)\\ P_{Mater-Bi}{=}\;1.40\;10^{-4}\;(\text{g/ms})\;(\text{Mistriotis et al.},\;2012)\\ \Delta x{=}\;30\mu\text{m} \end{array}$

RH_{headspace}=80-90% (targeted value)

RHenvironment=60-65% (storage value)

 ΔC_{WV} calculated from the storage and the targeted in-package RH = 0.00278 (set as mass fraction difference, calculated by psychrometric charts for temperature equal to 19°C)

C_{co2}-headspace = 3-5% (targeted value) C_{co2}-environment = 0 (storage value)

2.4.2. Design

Following the above modeling, the design of the EMAP system using the selected PLA and Mater-Bi films for cherry tomatoes, was based on three requirements:

<u>Geometric constraint</u>: For an EMA Package containing 250g of cherry tomatoes of a given average dimension it was calculated that a minimum packaging material area cannot be less than 400 cm². This means that for a combination of two packaging materials (PLA/MB) the total film area should satisfy the constraint:

$$A_1 + A_2 \ge 0.04 \ (m^2) \tag{5}$$

<u>Targeted headspace RH:</u> Based on the different WV permeability for the Mater-Bi thin film (compared to the PLA film) obtained by the lab experiments and using equations (2) and (5), EMA packages were designed after calculating A_1 and A_2 for achieving the targeted RH in-package regulation.

<u>Targeted headspace CO_2 and O_2 :</u> As PLA and Mater-Bi films are practically impermeable to CO_2 the CO_2 and O_2 regulation is achieved through the design of proper micro-perforations on the PLA film. Using equation (4) the number and the geometrical characteristics of the micro-perforations were calculated in order to reach the targeted CO_2 and O_2 values of the head-space

2.5 Laboratory experiments

Bio-based EMAP design bags, based on combined PLA/MB films, were developed at the laboratory of AUA, specifically for cherry tomatoes. The required PLA (A₁) and MB (A₂) film areas were calculated according to the design approach described in the previous section as follows: PLA/MB EMA Package for 250g of cherry tomatoes (*Ornella* and *Genio*) with 5 microperforations of 200 μ m diameter made on the PLA 30 μ m film with P_{Mater-Bi} = 1.40 10⁻⁴ g/ms:

- A_{Mater-Bi} =201.64 cm2 (≈1/2 of total area)
- A_{PLA}=198.36 cm2 (≈ 1/2 of total area)

A composite bio-based EMA package for 250g of cherry tomatoes was made of PLA 30µm film with 5 micro-perforations of 200µ diameter and PLA: MB film area ratio 50:50.

The laboratory experiments with the innovative bio-based PLA/MBEMAP systems were conducted in a 600L controlled temperature and humidity chamber set at storage conditions: 20°C, RH 65%. Oriented Polypropylene (BOPP) bags were also developed for comparison purposes. Three repetitions were tested for each bag. Two non-packed samples of 250g cherry tomatoes were used as control.

Every day each bag was weighed on a sensitive balance Ohaus Ts4kd Precision Standard (accuracy \pm 0.02 g). From the gravimetrical measurements the weight loss of the produce could be recorded. Also the in-package RH could be estimated since the permeability of the packaging membranes (PLA/MB), their areas and the storage RH were known. The CO₂ and O₂ in-package concentration in equilibrium was measured with a QUBIT S147 Rapid Response O₂/CO₂ Analyzer device. In addition each bag was visually inspected for signs of infections or decay.

2.6 3D Numerical Simulations of a multi-gas diffusion model

The 3D numerical simulations were carried out using the commercial software ANSYS CFX 13.0. Navier-Stokes equations (Versteeg The & Malalasekera, 1995) were modified in order to solve the single diffusion problem considering negligible the mass transport due to convection. The mesh consisted of tetrahedral elements. Simulations were steady-state since preliminary laboratory experiments showed that pre-equilibrium time period cannot affect the mixture concentrations at equilibrium inside the package. For the EMAP design numerical model the gas mixture consisted of CO2, O2, WV and N2. The diffusion of each gas was considered to be independent of the diffusion of the other gases. In each fruit case constant respiration (Jco2=12ml/h) and transpiration rate (J_{WV} =5g/day) was assumed and a constant value of temperature and RH for the ambient area.

A 3D parallelepiped package model was created (Figure 1) and was assumed to be in storage conditions, namely 65% RH and 20°C. In Figure 1 the simulated cherry tomatoes can be observed as well as the PLA part of the EMA package envelope Attempts to simulate the actual membranes thicknesses increased unreasonably the number of elements in the mesh and the computational time needed to reach convergence. Instead thickness was modeled equal to 1mm for both membranes with equivalent WVTR (water vapor transmission) to simulate the gas transport properties of the real 30µm

PLA and the 38μ m Mater-Bi films. The dimensions of the package were 6.4x6.4x12.4 cm with an envelope area of 400 cm².



Figure 1. Geometry of the combined PLA – Mater-Bi EMA package for cherry tomatoes.

An equivalent perforation pattern was also used in the numerical simulations to model the gas transport. The number and the diameter of the model perforations were estimated from equation (4) taking into account the thickness of the model membranes. There were 4 perforations in the equivalent 1mm thick PLA membrane of the numerical model. The perforations diameters of the modeled EMAP were 0.68mm, simulating the equivalent gas transfer through real EMAP package perforation patterns of 5 200µm diameter holes. Equivalence was achieved by demanding that the transmissions of a gas through the equivalent perforations of the numerical model and those of the real micro-perforated EMAP for the cherry tomatoes are identical.

The fruits were simulated as spherical objects based on their average diameter. The mesh was uniformly formed except the locations close to the perforations were finer mesh was essential. Tests on finer meshes showed no sensitivity of the results.

Kinematic diffusivities of each gas in N₂ were set based on the international literature (Massman, 1998): D_{CO2-N2} =1.6E-05m²/s, D_{O2-N2} =2.0E-05m²/s and D_{H2O-N2} =2.4E-05m²/s The entire EMAP model was assumed to be stored in 65% RH, temperature of 20°C and ambient atmosphere of 21% O₂ and 0% CO₂ (given as mass fractions - input to the software for the boundary conditions set up).

Both plastic membranes (PLA/MB) were modeled as volumes where each gas of the mixture diffused according to its permeability in the membranes. The kinematic diffusivities of the gases representing their diffusion through the PLA and the Mater-Bi film were measured at the laboratory (*HortiBioPack*). For the PLA: D_{CO2-PLA}=3.2E-11m²/s, D_{O2-PLA}=7.8E-11m²/s and D_{H2O-PLA}=5.8E-08m²/s. For the Mater-Bi D_{CO2-} P_{LA}=1.28E-10m²/s, D_{O2-PLA}=3.12E-10m²/s and D_{H2O-} P_{LA}=1.74E-07m²/s. Kinematic diffusivities through PLA or Mater-Bi membrane were also adjusted to the fact that their equivalent thickness was equal to 1mm for the simulation, while for the laboratory experiments a 30µm thickness PLA and a 38µm Mater-Bi films were used.

3. RESULTS AND DISCUSSION 3.1. Cost Reduction

The aim of the study was to optimize EMA packages of 250g cherry tomatoes in terms of cost. This could be achieved by reducing the packaging material area and correspondingly the cost of the entire package. However, this had to be done without affecting the in-package targeted conditions in order to sustain the optimum gas mixture concentrations. Reducing the PLA area on a pure PLA EMAP would lead to increased in-package RH that exceeds the targeted conditions. A combined PLA/MB EMAP system material takes advantage of the fact that Mater-Bi has higher WV permeability than PLA. This innovative integrated bio-based EMAP solution was shown to actually provide very good results.



Figure 2. EMAP systems based on 30 μ m PLA film (top) and composite bio-based EMAP system made of micro-perforated PLA film (1/2) and Mater-Bi film (1/2) (bottom).

The comparison between the pure PLA 30 µm based EMAP and the composite PLA/MB films based EMAP shown in Figure 2 reveals the significant economy in materials and the associated cost reduction.

For 250g cherry tomatoes, it has been calculated that a single PLA EMA package cannot have an area less than 500cm² (Briassoulis et al, 2013) in order to avoid high in-package RH. The PLA/MBEMA packages presented here have a total area of 400cm². This means at least a 20% reduction for the packaging material that consequently leads to a similar reduction of the EMA package cost.

3.2 HEADSPACE GAS CONCENTRATIONS

The headspace gas mixture concentrations results of the numerical model and the laboratory experiments were in good agreement and did not exceed the targeted conditions. From the gravimetrical measurements the in-package RH was calculated equal to 86% while the numerical simulation provided a value of RH equal to 88%. For the laboratory experiments the CO₂ partial pressure was measured equal to 4.0kPa when the numerical simulation result was a little higher equal to 5.1kPa. The observed small deviations between the experimental and numerical data were caused by the variability of the physiological processes of the produce and are considered acceptable, within the range of the targeted EMAP headspace conditions. It

is evident though that the PLA/MB EMA packages do not exceed targeted conditions and could provide the optimum micro-environment for fresh commodities.

3.3 SHELF LIFE-TIME

The shelf life-time characteristics of the presented PLA/MB EMAP solutions for the cherry tomatoes were expressed in terms of the average time when a threshold weight loss was reached, or visible shrinkage was detected and when the first tomato was infected in each bag (Briassoulis et al., 2013). The PLA and PLA/MB based EMAP was shown to retain the targeted RH at the level of 86%. thus preventing a fast loss of water. The non-packed cherry tomatoes exhibited faster loss of water with the appearance of shrinkage related deformations after 2 weeks of storage, associated with 8% to 10% water loss (Ornella & Genio cherry tomatoes). On the basis of these water loss threshold values, the biobased EMAP systems, on the average, exhibited an increase of shelf-life time by 10 days (Figure 3). They did not show signs of shrinkage deformation of the cherry tomatoes for a period exceeding one month. The macro-perforated BOPP packaging systems resulted in water loss rates comparable or slightly lower than those of bio-based EMAP systems but the packed cherry tomatoes exhibited signs of shrinkage deformation, especially near the macro-perforations, after approximately 16 or 21 days of storage (Ornella and Genio cherry tomatoes). In general it was shown that the key factor for the commercial deterioration of the cherry tomatoes in a time-frame of one month is the weight loss rather than the fungal decay.



Figure 3. Loss of water by Ornella cherry tomatoes packed in bio-based PLA & PLA/MB EMAP systems, BOPP EMAP systems and non-packed tomatoes, under 20°C – RH 65%

4. CONCLUSIONS

A novel EMA package was presented in this study using as packaging material a combination of two different biodegradable plastic membranes, namely PLA and Mater-Bi. After the optimization of pure PLA EMA packages for cherry tomatoes the main idea was to further optimize the package in terms of packaging material area reduction leading to cost reduction of the package as well. The increased WV permeability of Mater-Bi, compared to PLA film allowed the design of the minimum possible envelope area EMA packages of 400cm² for 250g cherry tomatoes (for the specific variety tested in this study), without affecting the in-package gas mixture targeted conditions that ensure increased shelf life of high quality fresh produce. Packages of combined PLA -Mater-Bi for cherry tomatoes were developed and they were tested through laboratory experiments and numerical simulations. Results from both testing methods were in good agreement and did not exceed the targeted conditions for the optimum EMA package for the cherry tomatoes. Additionally, the reduction of the envelope area and the lower price of the Mater-Bi plastic membrane suggest a cost reduction of at least equal to 20% when compared to a pure PLA EMA package. The optimized PLA/MB EMAP design was found to perform well for at least 1 month. This measured life-time outperforms that of the BOPP EMAP as well as of the unpacked produce, where excessive water loss is observed.

REFERENCES

- Journals
- Briassoulis, D., Mistriotis, A., Giannoulis A., Giannopoulos, D. (2013). Optimized PLA-based EMAP systems for horticultural produce designed to regulate the targeted inpackage atmosphere. Industrial Crops and Products, 48: 68-80.
- Chung D., Papadakis S.E. & Yam K.L. 2003. Simple Models for Evaluating Effects of Small Leaks on the Gas Barrier Properties of Food Packages. Packag. Technol. Sci. 16, 77–86
- D'Aquino, S., (2011). Private communication, CNR-ISPA, Sassari, Italy.
- Datta, R., Tsai, S.P., Bonsignore, P., Moon, S.H., Frank, J.R., 1995. Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives. FEMS Microbiol. Rev. 16, 221–231.
- Massman W.J. 1998. A review of the molecular diffusivities of H2O, CO2, CH4 ,CO, O3, SO2, NH3, N2O, NO, and NO2 in air, O2 and N2 near STP. Atmospheric Environment 32, 1111-1127.

Books

- Farber, J.M., Dodds, K.K. (1995). Principles of modifiedatmosphere packaging and sous vide product packaging, CRC Press
- Versteeg, H.K., Malalasekera, W. 1995. Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. Longman Scientific & Technical, Harlow, England.
- **Conference Papers**
- Mistriotis, A., Giannoulis, A., Giannopoulos, D., Briassoulis, D., 2011. Analysis of the effect of perforation on the permeability of biodegradable non-barrier films. In: Proceedings 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11). Procedia Food Science 1. Food Process Engineering in a Changing World. Procedia Food Science (ICEF11), pp. 32–38.

Design Codes & Standards

Comite Europeen de Normalisation CEN. CEN EN 13432: 2000/AC, 2005. Packaging – Requirements for Packaging Recoverable Through Composting And Biodegradation-Test Scheme and Evaluation Criteria for the Final Acceptance of Packaging, European Standard, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Projects

HortiBioPack http://www.hortibiopack.aua.gr/

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΑΖΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY"

Ι. Καρούσος, Δ. Λέντζου, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος και Γρ. Λαμπρινός Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4029, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της φυσιολογικής συμπεριφοράς καρπών τομάτας "cherry" συντηρούμενων ασυσκεύαστων σε δύο θερμοκρασίες (10 °C και 20 °C) και σχετικές υγρασίες (95 έως 49 %) και συσκευασμένων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οι τελικές ατμόσφαιρες που δημιουργήθηκαν μέσα σε κάθε συσκευασία και στις δύο θερμοκρασίες, μετά τη σταθεροποίησή τους, κυμάνθηκαν από 3.0 - 6.0 % για το CO₂ και από 3.0 - 7.0 % για το O₂. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι χαμηλές υγρασίες, παράλληλα με τις αυξημένες απώλειες μάζας, προκαλούν "stress" στους καρπούς, με συνέπεια την αύξηση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας. Έτσι, στους 20 °C η μέση αναπνευστική δραστηριότητα στη χαμηλή σχετική υγρασία (RH=49%) ήταν κατά 50% αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη στη σχετική υγρασία 95%, η οποία ανέρχεται σε 25 mg_{CO_2} kg⁻¹ h⁻¹. Η τροποποιημένη του O₂. Οι απώλειες μάζας των συσκευασμένων τοματών και στις δύο θερμοκρασίες των ασυσκεύαστων τοματών και στις δύο θερμοκρασία το χρόνο συντήρησης.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα Cherry, τροποποιημένη ατμόσφαιρα, απώλεια μάζας, αναπνευστική δραστηριότητα.

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS AND MODIFIED ATMOSPHERE ON THE RESPIRATORY ACTIVITY AND MASS LOSS OF "CHERRY" TOMATOES

I. Karoussos, D. Lentzou, G. Xanthopoulos, E. Aravantinos-Karlatos & Gr. Lambrinos

Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens

Tel. +30 210 5294029, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The aim of this paper is the study of the physiological behavior of "cherry" tomatoes stored in two temperatures (10 °C and 20 °C) either unpackaged in two relative humidity levels (95 % and 55 %), or in modified atmosphere packaging (MAP). The levels of CO_2 and O_2 in the final atmospheres produced inside each package after reaching a steady state, under both temperatures, ranged from 3.0 - 6.0 % and 3.0 - 7.0 %, respectively. The results show that low humidity levels, combined with increased mass loss, can lead to a stress-induced increase in respiratory activity. Consequently, the average respiratory activity in 20 °C and low relative humidity (RH=49 %) was 50 % higher than the 25 mg_{CO2}/kg \cdot h observed in 95 % RH. The modified atmosphere considerably limited the respiratory activity of "cherry" tomato by 20 % to 50 %, depending on the O₂ content. The mass loss in packaged tomatoes was, in both storage temperatures, significantly lower than that in unpackaged tomatoes and is significantly dependent on storage time.

Key words: "cherry" tomatoes, MAP, respiratory activity, mass loss

1. Εισαγωγή

Η τομάτα είναι από τα πιο δημοφιλή λαχανικά και ίσως από τα γεωργικά προϊόντα με την πιο έντονη βελτίωση και παραγωγή νέων υβριδίων. Σήμερα η τομάτα τύπου "cherry" παρουσιάζει αύξηση προτίμησης λόγω του πλουσιότερου αρώματος και της έντονης γεύσης της. Η διαχείριση και η συντήρησή της δεν διαφέρουν πολύ από αυτήν στις μεγαλόκαρπες τομάτες. Η αναπνοή και η παραγωγή αιθυλενίου κατά την ανάπτυξη, ωρίμανση και γήρανση καρπών Cherry τομάτας πάνω στο φυτό παρουσιάζουν ένα παρόμοιο πρότυπο, διαφορετικού όμως μεγέθους, με τις άλλες ποικιλίες (Bug and Bug, 1965).

Κατά την συντήρηση με ψύξη σκοπός είναι η διατήρηση αλλά και η βελτίωση των επιθυμητών χαρακτηριστικών του προϊόντος όπως η μάζα, η υφή, το χρώμα, το άρωμα, η γεύση κ.λπ. για μεγαλύτερο του φυσιολογικού χρονικό διάστημα. Η απώλεια μάζας είναι από τα πιο ουσιαστικά προβλήματα που προκύπτουν κατά την συντήρηση. οφείλεται δε σε φυσιολογικούς και φυσικούς παράγοντες. Η απώλεια μάζας είναι υψηλότερη όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συντήρησης και η διάρκεια αποθήκευσης (Javanmardi and Kubota, 2006, Znidarcic and Pozrl, 2006, Cantwell et al. 2009, Znidarcic et al., 2010). Οι φυσιολογικοί παράγοντες απώλειας μάζας, σχετίζονται με την αναπνευστική δραστηριότητα κατά την διάρκεια της συντήρησης. Οι φυσικές απώλειες αφορούν την αφυδάτωσή του καρπού λόγω ελλείμματος πίεσης υδρατμών, μέγεθος που εξαρτάται από την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του θαλάμου. Σε όλα τα στάδια η σχετική υνρασία θα πρέπει να είναι υψηλή 90-95% για μείωση της απώλειας νερού (Ryall and Lipton, 1979).

Με την χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε συγκεκριμένη σύνθεση, το συντηρούμενο προϊόν αναγκάζεται να προσαρμόσει την μεταβολική του δραστηριότητα, δηλαδή να την περιορίσει. Έτσι επιτυγχάνεται περαιτέρω επιμήκυνση της μετασυλλεκτικής ζωής του προϊόντος.

Για την μεγαλόκαρπη τομάτα έχει μελετηθεί πρόσφατα, η απώλεια μάζας, η μεταβολή του χρώματος και η επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Ψυχογιού κ.α., 2009a και 2009b; Σάββας κ.α., 2013; Μουζάκης κ.α., 2013), ενώ για την μικρόκαρπη έχει γίνει περιορισμένη σχετικά έρευνα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά (Μακρογιάννη, 2010).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της αναπνευστικής δραστηριότητας και της απώλειας μάζας κατά την συντήρηση ασυσκεύαστων τοματινίων ποικιλίας Lobelo σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες και διάφορες υγρασίες, καθώς και συσκευασμένων τοματινίων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Τα τοματίνια ποικιλίας Lobelo. που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα, ανήκαν στο υβρίδιο Iron F1. Οι καρποί συλλέχθηκαν από θερμοκήπιο στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Το πείραμα περιελάμβανε δύο διαδοχικές πειραματικές σειρές στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν καρποί 4ου σταδίου ωριμότητας "Pink" από το τελευταίο χέρι της ανοιξιάτικης καλλιέργειας (1η σειρά), για δε την επανάληψή του καρποί από το πρώτο χέρι της θερινής καλλιέργειας (2η σειρά). Οι τομάτες μεταφέρθηκαν νωρίς το πρωί στο εργαστήριο για να ακολουθήσει καθαρισμός, διαλογή και διαχωρισμός των δειγμάτων του πειράματος και οι πρώτες μετρήσεις.

Δημιουργήθηκαν ανά θάλαμο, 7 δείγματα των 150 g για τη μελέτη της αναπνευστικής δραστηριότητας σε συνθήκες θαλάμου, 1 δείγμα των 200 g για μελέτη της απώλειας μάζας σε συνθήκες θαλάμου και 2 δείγματα των 200 g για την μελέτη της απώλειας μάζας σε 2 διαφορετικές υγρασιακές συνθήκες, στα οποία μελετήθηκε και η αναπνευστική τους δραστηριότητα. Ακόμα, για την δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, διαχωρίστηκαν 10 δείνματα ανά ομάδα συσκευασίας και θάλαμο. Στην 1η σειρά χρησιμοποιήθηκαν 4 ομάδες συσκευασιών των 100, 200, 250 και 400 g, ενώ στην 2^η σειρά 3 ομάδες των 200, 300 και 400 g. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κεσεδάκια και στην συνέχεια στους ανάλογους ψυκτικούς θαλάμους και κελιά σταθερής σχετικής υγρασίας.

Τα τοματίνια συντηρήθηκαν σε δύο θερμοκρασίες στους 10 °C και 20 °C αντίστοιχα. Στα κελιά σταθερής σχετικής υγρασίας, χωρητικότητας 80 L, δημιουργήθηκαν μικροκλίματα σταθερής σχετικής υγρασίας χρησιμοποιώντας υπέρκορα διαλύματα NaOH, MqCl₂6H₂O και NaCl, καθώς και απιονισμένο νερό. Για τον έλεγχο και την καταγραφή των συνθηκών συντήρησης χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες/καταγραφείς τριών τύπων Onset Computer Corp., Southern Mass., U.S.A.. Για την καταγραφή θερμοκρασίας και υγρασίας στις συνθήκες θαλάμου χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες/καταγραφείς τύπου U12-011 (εύρος

μέτρησης -20 °C – 70 °C και 5 % - 95 %, ακριβείας ±0.35 °C και ±2.5 % για θερμοκρασία και υγρασία αντίστοιχα). Για την καταγραφή της θερμοκρασίας και υγρασίας στα κελιά χαμηλής υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες/καταγραφείς τύπου S-THB-M008 (εύρος μέτρησης -40 °C – 75 °C και 0 % - 100 %, ακριβείας ±0.35 °C και ±2.5 % για θερμοκρασία και υγρασία αντίστοιχα). Τέλος για την καταγραφή στα κελιά υψηλής υγρασίας αισθητήρες τύπου 8H 011 (εύρος μέτρησης -40 °C – 75 °C και 0 % - 100 %, ακριβείας ±0.35 °C και ± 1.5 % για θερμοκρασία και υγρασία αντίστοιχα).

Την ημέρα της παραλαβής, και κάθε ημέρα στη συνέχεια, σε κάθε θάλαμο, μετρήθηκαν οι αναπνοές στα 7 δείγματα σε συνθήκες θαλάμου και στα δύο δείγματα από τα κελιά υγρασίας. Η μέτρηση της απώλειας μάζας γινόταν ανά 2 ημέρες από τις 3 συνθήκες σε κάθε θάλαμο. Την επόμενη μέρα από την έναρξη, συσκευάστηκαν τα δείγματα που προορίζονταν για δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε σακουλάκια από φιλμ πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας (MDPE) και πάχους 50 μm. Οι συσκευασίες είχαν σχεδιασθεί ώστε σε συνδυασμό με τις διαφορετικές ποσότητες καρπών της κάθε ομάδας, να προκύπτει διαφορετική αναλογία μάζας/επιφάνεια σε κάθε ομάδα. Οι διαφορετικές αυτές αναλογίες θα προσέφεραν και ποικιλία τελικών τροποποιημένων ατμοσφαιρών. Η ζύγιση των συσκευασιών με ζυγό ακριβείας Kern PCB-1000-2 (διακριτικής ικανότητας 0.01 g και ακριβείας ±0.02 g) και η μέτρηση της εσώκλειστης ατμόσφαιρας με αναλυτή αερίων CheckMate 9900 (PBI Dansensor Co., Denmark) (εύρος 1 – 100 % για το O₂ και 0-100% για το CO₂, διακριτικής ικανότητας 0.1 %, και ακριβείας ± 1 % για το O₂ και ± 2 % για το CO₂), γινόταν καθημερινά σε όλες τις συσκευασίες. Μετά τη σταθεροποίηση των εσωτερικών ατμοσφαιρών, οι συσκευασίες τοποθετήθηκαν σε ειδικούς αναπνευστικούς θαλάμους και μετρήθηκε η αναπνευστική δραστηριότητα των συσκευασμένων τοματινίων (Λαμπρινός κ.ά., 2006).

Οι μετρήσεις αναπνοής έγιναν με την φορητή διάταξη RICKLOS (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός κ.ά., 2006; Λαμπρινός Μητρόπουλος, 2006), με κλίμακα μέτρησης του οργάνου 0 - 5,000 ppm CO₂, με διακριτική ικανότητα 25 ppm και ακρίβεια ± 1 % της πλήρους κλίμακας.

Ο υπολογίσμός της αναπνοής υπολογίστηκε με τη σχέση:

 $q_R = (\Delta C / \Delta t)^* (V/m) \times 10^{-4}$

όπου q_R ο ρυθμός αναπνοής σε ml CO₂/h100g προϊόντος, ΔC η μεταβολή της συγκέντρωσης CO₂ σε ppm, V ο όγκος αέρα του κυκλώματος σε ml, m η μάζα του προϊόντος σε g.

Η αδιάστατη απώλεια μάζας υπολογίστηκε από τη σχέση:

M.L.=100(m_o-m_t)/m_o

όπου m₀ η αρχική μάζα και m₁ η μάζα κάθε χρονική στιγμή.

Μετά το τέλος των μετρήσεων έγινε στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων με το

στατιστικό πακέτο Statgraphics Centurion XV.I, για P≤0.05.

3. Αποτελέσματα και σχόλια

3.1 Ρυθμός αναπνοής

Στο Σχήμα 1., παρουσιάζεται ο ρυθμός αναπνοής των τοματινίων σε συνθήκες θαλάμου.



Σχήμα 1. Ρυθμός αναπνοής καρπών τομάτας "cherry", σε συνθήκες θαλάμου, σε δύο θερμοκρασίες συντήρησης για την 1^η και 2^η σειρά.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 1, ο ρυθμός αναπνοής σε συνθήκες θαλάμου παρουσιάζει πτωτική τάση συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 20 °C και είναι περίπου σταθερός στους 10 °C. Ο ρυθμός αναπνοής στους 20 °C ήταν σημαντικά πιο έντονος σε σχέση με αυτόν στους 10 °C και στις δύο πειραματικές σειρές. Επίσης, παρατηρήθηκε εντονότερη αναπνευστική δραστηριότητα στους καρπούς της δεύτερης σειράς σε σύγκριση με την πρώτη και στις δύο θερμοκρασίες.

Από την ανάλυση διασποράς (ANOVA), προκύπτει, ότι σε συνθήκες θαλάμου, η θερμοκρασία, ο χρόνος συντήρησης και η πειραματική σειρά, παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναπνευστική δραστηριότητα (P=0.000<0.05).

Η αναπνευστική δραστηριότητα των καρπών σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα φαίνεται στον Πίνακα 1.

Παρατηρήθηκε αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας των καρπών με την αύξηση της περιεκτικότητας του O₂ μέσα στην συσκευασία (Σχήμα 2), δραστηριότητα η οποία πάντα παρέμεινε χαμηλότερη από αυτήν του μάρτυρα.

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA), έδειξε ότι η θερμοκρασία, η πειραματική σειρά και η περιεκτικότητα σε Ο₂ παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναπνευστική δραστηριότητα του συσκευασμένου προϊόντος. (P=0.000<0.05).

Παρατηρήθηκε ότι οι χαμηλές υγρασίες, παράλληλα με τις αυξημένες απώλειες μάζας, προκαλούν "stress" στους καρπούς, με συνέπεια την επιτάχυνση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας. Έτσι, στους 20 °C η αναπνευστική δραστηριότητα στη χαμηλή σχετική υγρασία ήταν κατά 50% αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη σε σχετική υγρασία 95%, η οποία ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 25 mg CO₂/kg h.

Ενδεικτικά στο Σχήμα 3., εμφανίζεται η επίδραση της χαμηλής σχετικής υγρασίας στην αναπνευστική δραστηριότητα ("stress"), καρπών που συντηρήθηκαν στους 20 °C.

Στον Πίνακα 2, παρουσιάζεται ο ρυθμός αναπνοής των καρπών στις διάφορες συνθήκες συντήρησης.

Πίνακας 1. Αναπνευστική δραστηριότητα των καρπών (σε mg CO₂/ kg h) σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα για τις δύο θερμοκρασίες συντήρησης και στις δύο πειραματικές σειρές.

MAD		Για 3.0% - 6.5% CO₂			
WI.A.F.		3.0% - 5.9% O ₂	6.0% - 9.0% O ₂		
1η	10 °C	5.93-7.77	8.31-8.60		
ΣĖIPA	20 °C	11.45	12.76-15.81		
2η	10 °C	6.07-6.26	6.75-7.43		
ΣΕΙΡΑ	20ºC	9.68-10.46	11.24-14.73		



Σχήμα 2. Μεταβολή της αναπνευστικής δραστηριότητας των καρπών σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα, με την αύξηση της περιεκτικότητας O₂ σε σύγκριση με την χρονικά αντίστοιχη του μάρτυρα στους 10 °C (άνω) και στους 20 °C (κάτω) στη 2^η πειραματική σειρά.



Σχήμα 3. Ρυθμοί αναπνοής των καρπών στους 20 °C για δύο σχετικές υγρασίες στη 2^η πειραματική σειρά.

Πίνακας 2. Η αναπνευστική δραστηριότητα των καρπών σε κάθε συνθήκη συντήρησης

	Θερμοκρασία ∘C	Σχ Υγρασία %	Αναπνευστικός ρυθμός mg CO₂/kg h
	10	87.0	12.38
1η σειρά	10	67.0	13.23
	20	76.0	27.11
	20	70.4	28.51
2 ^η σειρά	10	96.0	14.11
	10	49.0	15.31
		96.4	11.24
	20	63.7	20.48
		54.0	24.79

3.2. Απώλεια μάζας

Η απώλεια μάζας που παρατηρήθηκε, εκφράστηκε με τη γραμμική σχέση M.L.=a×t. όπου M.L. η απώλεια μάζας %, t ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες και α η κλίση της αντίστοιχης καμπύλης. Αναλυτικά η τιμή της κλίσης α και ο συντελεστής προσδιορισμού R² για κάθε συνθήκη συντήρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Η τιμή της κλίσης α και ο συντελεστής προσδιορισμού R² της σχέσης M.L.=a×t για όλες τις συνθήκες συντήρησης.

		RH (%)	α	R ²
		87.0	0.328	0.985
	10 ºC	90.6	0.186	0.980
10 თისირ		67.0	0.589	0.948
ι, οειρα	20 °C	70.0	0.491	0.959
		99.5	0.071	0.976
		76.3	0.384	0.974
		90.5	0.150	0.995
	10 ºC	96.8	0.026	0,878
2 ^η σειρά		49.3	0.459	0.967
		63.7	0.908	0.991
	20 ∘C	96.4	0,119	0.926
		53.9	0.849	0.995

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η επίδραση του χρόνου συντήρησης και της σχετικής υγρασίας του χώρου αποθήκευσης στην απώλεια μάζας, σε θερμοκρασία 20 °C. Στην επιφάνεια των καρπών που συντηρήθηκαν στις δύο χαμηλές σχετικές υγρασίες, μετά την 8η ημέρα συντήρησης, άρχισαν να παρατηρούνται ρικνώσεις.



Σχήμα 4. Απώλεια μάζας καρπών συντηρούμενων στους 20 °C (2^η πειραματική σειρά).

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA), έδειξε ότι σημαντική επίδραση στην απώλεια μάζας των καρπών είχαν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, ο χρόνος συντήρησης αλλά και η πειραματική σειρά, (P-value=0.000<0.05).

4. Συμπεράσματα

Οι τελικές ατμόσφαιρες που δημιουργήθηκαν μέσα σε κάθε συσκευασία και στις δύο θερμοκρασίες, μετά τη σταθεροποίησή τους, κυμάνθηκαν για μεν το CO2 μεταξύ 3.0 και 6.0%, για δε το Ο₂ μεταξύ 3.0 και 7.0%. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα περιόρισε σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα της τομάτας "cherry" κατά 20-50% ανάλογα με τη περιεκτικότητα σε Ο2. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χαμηλή υγρασία, παράλληλα με τις αυξημένες απώλειες μάζας, προκαλούν "stress" στους καρπούς, με συνέπεια την αύξηση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας. Οι απώλειες μάζας των συσκευασμένων τοματών και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης ήταν σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες απώλειες των ασυσκεύαστων τοματών συσχετίζονταν και σημαντικά με το χρόνο συντήρησης.

Βιβλιογραφία

- Burg, S.P. and Burg, E.A., 1965. Gas exchange in fruits, Physiol. Plant, 18, 870-873.
- Cantwell, M., Nie, X. and Hong, G., 2009. Impact of Storage Conditions on Grape Tomato Quality. 6th ISHS Postharvest Symposium. Antalya, Turkey. April 8-12.
- Javanmardi, J. and Kubota, C., 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology 41(2):151-155.
- Kader, A.A. 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Publication 3311, USA.
- Ryall, A.L. and Lipton, W.J., 1979. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Vol. 1. Vegetables and melons. AVI, Westport CT.
- Znidarcic, D. and Pozrl, T., 2006. Comparative study of quality changes in tomato cv. 'Malike' (Lycopersicon esculentum Mill.) whilst stored at different temperatures. Acta Agriculturae Slovenica, 87 - 2, September 2006, pp. 235-243.

- Znidarcic, D., Ban, D., Oplanic, M., Karic L. and Pozrl T., 2010. Influence of postharvest temperatures on physiological quality of tomatoes (Lycopersicon esculentum Mill,), Journal of Food, Agriculture & Environment 8(1): 21-25
- Λαμπρινός, Γ. και Μητρόπουλος, Δ., 2004. Φορητή συσκευή και μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού αναπνοής καρπών. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI). Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1004590/2004.
- Λαμπρινός, Γ., Μανωλοπούλου, Ε. και Μητρόπουλος, Δ., 2006. Αναπνευστικός θάλαμος, Φορητή συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του Ρυθμού Αναπνοής Καρπών, ΔΕ αριθ. 1005205/02-05-2006.
- Λαμπρινός, Γρ. και Μητρόπουλος, Δ., 2006. Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού Αναπνοής Καρπών που είναι συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI), Αρ. Ευρεσιτεχνίας 1005305/02–07–2006.
- Μακρογιάννη, Δ., 2010 Μεταπτυχιακή μελέτη Συγκριτική μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της μετασυλλεκτικής συμπεριφοράς ένσπερμων και άσπερμων καρπών τομάτας τύπου "cherry". Τμήμα Ε.Φ.Π., Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μουζάκης, Π., Σάββας, Μ., Ξανθόπουλος, Γ., Αραβαντινός-Καρλάτος, Ε. και Λαμπρινός, Γρ., 2013. Επίδραση των συνθηκών συντήρησης και της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στους ποιοτικούς χαρακτήρες τομάτας Έλπίδα", Πρακτικά 8^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος.
- Σάββας Μ., Μουζάκης Π., Ξανθόπουλος, Γ., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε. και Λαμπρινός Γρ., 2013 Επίδραση των συνθηκών συντήρησης, στους ποιοτικούς χαρακτήρες τομάτας Ἐλπίδα Πρακτικά 8^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος.
- Ψυχογιού Στ., Κατσογιάννη Α., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Γ., Χατζής Ε., και Λαμπρινός Γρ., 2009a. Εκτίμηση των απωλειών μάζας νωπής τομάτας βιολογικής καλλιέργειας κατά την συντήρηση της με ψύξη, Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σσ. 841-848
- Ψυχογιού Στ., Κατσογιάννη Α., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Γ., Χατζής Ε., και Λαμπρινός Γρ., 2009b. Μελέτη συντηρησιμότητας τομάτας βιολογικής καλλιέργειας. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σσ. 831-840.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΙΠΕΡΙΑ

Ε. Μανωλοπούλου¹, Α. Πετσαλάκη¹

ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή Τ.Ε.Γ., Τμήμα Φ.Π, Αντικάλαμος-Καλαμάτα, Τ.Κ.24100 e-mail:arte lampr@yahoo.gr

Σκοπός της εργασίας ήταν η σύγκριση της κλασσικής μεθόδου του Arnon με τη μέθοδο DMSO στον προσδιορισμό της χλωροφύλλης καρπών πιπεριάς ποικιλίας "California Wonder" που συντηρήθηκαν 25 ημέρες στους 5, 10 και 20 °C. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι οι παράγοντες που επέδρασαν στην αποικοδόμηση της χλωροφύλλης ήταν η θερμοκρασία και η διάρκεια συντήρησης καθώς και η αλληλεπίδρασή τους. Η μεταβολή της χλωροφύλλης ήταν γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι δύο μέθοδοι προσδιορισμού της χλωροφύλλης διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Η μεθοδος Arnon σε όλες τις περιπτώσεις έδωσε μικρότερες τιμές από τη μέθοδο DMSO. Τόσο ο χρησιμοποιούμενος διαλύτης όσο και η μέθοδος εξαγωγής της χλωροφύλλης επηρεάζουν σημαντικά τα λαμβανόμενα αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά : χλωροφύλλη, DMSO, μέθοδος Arnon, πιπεριά.

COMPARATIVE STUDY OF TWO CHLOROPHYLL EXTRACTION METHODS APPLIED ON PEPPERS

E. Manolopoulou, A. Petsalaki

Technological Educational Institute of Kalamata, School of Agricultural Technology, Department of Crop Production, Antikalamos 24100 Kalamata, Greece

e-mail: arte_lampr@yahoo.gr

The aim of this paper is the comparison of the classic Arnon method with the DMSO method regarding the determination of chlorophyll content in California Wonder peppers stored for 25 days at 5, 10 and 20°C. The results suggest that the factors affecting chlorophyll degradation are temperature and storage time, as well as their interaction. There is a linear relationship between changes in chlorophyll content and storage temperature. The statistical analysis indicates that the two chlorophyll extraction methods considerably differ, as the chlorophyll contents obtained through the Arnon method were, in all cases, lower than those obtained through DMSO. It has to be stressed that the results greatly depend on both the selected solvent and the chlorophyll extraction method.

Key words: chlorophyll, DMSO, Arnon method, pepper

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χρώμα παίζει καθοριστικό ρόλο για την εμπορική αξία των φυτικών οργάνων και μαζί με την υφή προσδιορίζουν τη φρεσκάδα των περισσότερων λαχανικών (Kader, 2002). Η αντίληψη του χρώματος οφείλεται στην ύπαρξη χρωστικών. Τα φρούτα και λαχανικά είναι πλούσια σε χρωστικές και σ' αυτές οφείλεται η προσέλκυση των αγοραστών. Οι φυτικές χρωστικές μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με τη χημική τους σύσταση. Έτσι διακρίνουμε τη χλωροφύλλη, τα καροτινοειδή, τις ανθοκυάνες, τα φλαβονοειδή κλπ.

χλωροφύλλη είναι η χρωστική της Н φωτοσύνθεσης και βρίσκεται σε όλα τα πράσινα φυτικά μέρη. Στους χλωροπλάστες των ανώτερων φυτών απαντώνται δύο είδη χλωροφυλλών, η χλωροφύλλη a (κυανοπράσινη) και η χλωροφύλλη b (κιτρινοπράσινη), οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον υποκαταστάτη του πυρολικού δακτυλίου ΙΙ. Η αποικοδόμηση της χλωροφύλλης κατά την ωρίμαση, επεξεργασία ή κατά τη γήρανση των φυτικών ιστών έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του χρώματος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης είναι: το υδατικό stress, το φως η θερμοκρασία, το αιθυλένιο ή ο συνδυασμός αυτών (Heaton and Marangoni, 1996; Yang et al., 2009). Στην περίπτωση της πιπεριάς οι Minguez-Mosquera and Méndoz (1994a, 1994b)

αναφέρουν ότι μετά τη συγκομιδή παρατηρήθηκε καροτενογέννεση που επηρεάστηκε από το φως και τη θερμοκρασία. Έτσι οι ώριμοι καρποί είναι πλούσιοι σε καροτινοειδή γεγονός που επηρεάζει το χρώμα Οι Cantwell et al. (1998), αναφέρουν ότι η θερμοκρασία είναι από τους κυριότερους παράγοντες που προσδιορίζουν τη μετασυλλεκτική ποιότητα των πράσινων λαχανικών. Η υψηλή θερμοκρασία συντήρησης επιταχύνει τη φθορά και μειώνει το χρόνο συντήρησης ενώ η χαμηλή αυξάνει την εμπορική ζωή των περισσοτέρων φρέσκων (Cantwell and λαχανικών Kasmire. 2002) καθυστερώντας την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης (Pogson and Morris, 1997). Η μείωση της έντασης του πράσινου χρώματος στα λαχανικά συνδέεται με τη γήρανση, τη μείωση της θρεπτικής αξίας και γενικά την ποιότητάς τους (Cantwell and Kasmire, 2002).

Η πιπεριά είναι από τα πιο γνωστά αρτύματα, χρησιμοποιείται δε διεθνώς λόγω της χαρακτηριστικής πικάντικης γεύσης της και του χαρακτηριστικού της αρώματος. Είναι μια πλούσια πηγή βιταμίνης Α και C, αντιοξειδωτικών, ζεαξανθίνης, συστατικών που παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή του ανθρώπου (Raffo et al., 2008).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η σύγκριση της κλασσικής μεθόδου του Arnon με τη μέθοδο DMSO στον προσδιορισμό της χλωροφύλλης, καρπών πράσινης πιπεριάς που συντηρήθηκαν στους 0, 10 και 20 °C.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πρώτη ύλη

Πιπεριές ποικιλίας "California Wonder" κόπηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας από αγρόκτημα στο Πλατύ Μεσσηνίας. Αμέσως μετά τη συγκομιδή οι καρποί υπέστησαν διαλογή ως προς το μέγεθος και το χρώμα τους και στη συνέχεια χωρίστηκαν σε 3 ομάδες, κάθε μία εκ των οποίων συντηρήθηκε σε διαφορετική θερμοκρασία. Οι συνθήκες συντήρησης των πιπεριών ήταν θερμοκρασία 5, 10 και 20 °C, σχετική υγρασία 90%, και διάρκεια συντήρησης 25 ημέρες.

2.2.Προσδιορισμός χλωροφύλλης

Για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι: η κλασσική μέθοδος του Arnon, (1949) και η μέθοδος του διμεθυλσουλφοξειδίου (DMSO) (Hiscox and Israelstam, 1979; Barnes et al., 1992; Tait and Hik, 2003; Richardson et al., 2002).

2.2.1. Μέθοδος Arnon

Η εξαγωγή της χλωροφύλλης έγινε με μίγμα ακετόνης και νερού σε αναλογία 80%-20% (v/v). 2 g ιστού πιπεριάς πολτοποιήθηκαν με 25 ml διαλύματος 80% ακετόνης με τη βοήθεια ενός εργαστηριακού blender (8010E, MODEL 38BL40) για 2 min. Ακολούθησε διήθηση με ηθμό (MN G15¹/₄ 125 mm), το διήθημα μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml που ήταν καλυμμένη με αλουμινόχαρτο για να αποτραπεί οξείδωση της χλωροφύλλης από το φως και συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με διάλυμα 80% ακετόνης. Η απορρόφηση μετρήθηκε αμέσως στα 663 και 645 nm χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο (U-2000, HITACHI).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης (a, b και ολικής) εκφράσθηκε σε mg/g νωπού βάρους δείγματος (mg/g F.W). Ο υπολογισμός της χλωροφύλλης a, χλωροφύλλης b και ολικής χλωροφύλλης έγινε βάσει των παρακάτω εξισώσεων (Arnon, 1949),

 $\chi\lambda\omega\rho/\lambda\eta \ a \ (mg/g \ F.W) = (12.7 \ A_{663} \ -2.69 \ A_{645}) \ x \ X/1000x \ n \ (1)$

 χ λωρ/λη **b** (mg/g F.W) = (22.9 A₆₄₅ - 4.68 A₆₆₃) x X/1000x n (2)

ολική χλωρ/λη (mg/g F.W) = (20.2 A₆₄₅ + 8.02 A₆₆₃) x X/1000x n (3)

όπου: A₆₄₅ η τιμή απορρόφησης στα 645 nm, A₆₆₃ η τιμή απορρόφησης στα 663 nm, X ο συνολικός όγκος του διηθήματος, n το βάρος του ιστού.

2.2.2 Μέθοδος DMSO

Η εξαγωγή έγινε με τον διαλύτη DMSO που έχει αμφιφιλικές ιδιότητες (Notman et al., 2006). 1 g ιστού πιπεριάς τεμαχίστηκε σε μικρότερα κομμάτια που τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες που περιείχαν 10 ml διαλύτη. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες χαλαρά πωματισμένοι επωάστηκαν σε υδατόλουτρο στους 60-65 °C για 1.0 h. Ο χρόνος αυτός από προκαταρκτικές μελέτες κρίθηκε ικανοποιητικός για τον πλήρη αποχρωματισμό των ιστών. Ακολούθησε ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου για 30 min, διήθηση και μέτρηση της απορρόφησης στα μήκη κύματος 665 nm και 648 nm. Ο μηδενισμός του οργάνου (blank) γινόταν με DMSO. Η μέτρηση της απορρόφησης έγινε με φασματοφωτόμετρο Spectrophotometer (U-2000, HITACHI).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης (a, b και ολικής) εκφράσθηκε σε mg/g νωπού βάρους δείγματος και υπολογίσθηκε από τις παρακάτω εξισώσεις (Barnes et al., 1992),

 $\chi \lambda \omega \rho / \lambda \eta \mathbf{a} (mg/g F.W) = (14.85 A_{665} - 5.14 A_{648})$ (1)

 $\chi \lambda \omega \rho / \lambda \eta \mathbf{b} (mg/g F.W) = (25.48 A_{665} - 7.36 A_{648})$ (2)

ολική χλωρ/λη (mg/g F.W) = (7.49 A₆₆₅ + 20.34 A₆₄₈)

(3)

όπου A665 η τιμή απορρόφησης στα 665 nm, A648 η τιμή απορρόφησης στα 648 nm.

Ο προσδιορισμός της χλωροφύλλης έλαβε χώρα την 0ⁿ, 3ⁿ,6ⁿ,10ⁿ,13ⁿ, 17ⁿ,20ⁿ και 25ⁿ ημέρα σε 6 δείγματα ανά θερμοκρασία.

Τα πειραματικά δεδομένα αναλύθηκαν με το στατιστικό πακέτο Statgraphics Plus 5.1 (StatPoint Technologies, Inc., Virginia, USA). Η σύγκριση των μέσων όρων (M.O) έγινε με τη στατιστική δοκιμή Fisher Least Significant Difference σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

3.1 Προσδιορισμός της χλωροφύλλης με τη μέθοδο Arnon

Η περιεκτικότητα των ιστών της πιπεριάς σε χλωροφύλλη a, b και ολική κατά τη διάρκεια της συντήρησης στους 5, 10 και 20 °C παρουσιάζεται στο Σχήμα 1, από το οποίο προκύπτει ότι στο τέλος της συντήρησης στους 5 °C η ολική χλωροφύλλη παρουσιάζει μία αύξηση της τάξης του 50%, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην βλάβη που προκαλεί η χαμηλή θερμοκρασία συντήρησης (βλάβη ψύχους) στους ιστούς. Στους 10 °C η ολική χλωροφύλλη παρουσιάζει μικρή μεταβολή (12%) και διατηρείται σχεδόν στα αρχικά επίπεδα μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ στους 20 °C, μετά τη 15^η ημέρα, η ολική χλωροφύλλη παρουσιάζει μία μείωση οποία στο τέλος της συντήρησης (25η ημέρα) φθάνει στο 62%. Η χλωροφύλλη α βρίσκεται σε μεγαλύτερα ποσοστά συγκριτικά με τη χλωροφύλλη b. Βάσει της βιβλιογραφίας (Gross, 1991) η χλωροφύλλη a είναι η κυρίαρχος χρωστική και η χλωροφύλλη b είναι συμπληρωματική, η δε αναλογία τους είναι 3:1. Στην παρούσα μελέτη η αναλογία των δύο χλωροφυλλών είναι της τάξης του 2.25/1.0. Αποκλίσεις από την αναλογία 3/1 έχουν παρατηρηθεί και σε άλλους φυτικούς ιστούς, όπως στο φρέσκο σπανάκι όπου η αναλογία είναι 4.02/1.0 (Goodwin, 1965), και στη μπάμια όπου η αναλογία είναι 1.2/1.0 (Gross, 1991). Η αναλογία χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη b ποικίλλει ανάλογα με το είδος του καρπού, την

ποικιλία, τις συνθήκες του περιβάλλοντος (συμπεριλαμβανομένων και των αγρονομικών πρακτικών) καθώς και το στάδιο ανάπτυξης (Gross, 1987). Κατά τη διάρκεια της συντήρησης η αναλογία μεταβάλλεται γιατί η χλωροφύλλη a αποικοδομείται γρηγορότερα από τη χλωροφύλλη b (Goodwin, 1965) γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης διότι στο τέλος της συντήρησης η αναλογία χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b στους 5 °C είναι 1.1/1.0, στους 10 °C 1.3/1.0 και στους 20 °C 0.6/1.0.



Σχήμα 1. Περιεκτικότητα πιπεριάς σε χλωροφύλλη a, b και ολική (προσδιορισμός με τη μέθοδο Arnon), κατά τη συντήρηση στους 5, 10 και 20 °C (N=6).

3.2 Προσδιορισμός της χλωροφύλλης με τη μέθοδο DMSO.

Η περιεκτικότητα της πιπεριάς σε χλωροφύλλη a, b και ολική κατά τη διάρκεια της συντήρησης στους 5, 10 και 20 °C, όπως αυτή προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DMSO παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.

Από το Σχήμα 2 προκύπτει ότι στο τέλος της συντήρησης (25^η ημέρα), η ολική χλωροφύλλη παρέμεινε πολύ κοντά στα αρχικά της επίπεδα στους 5 °C και 10 °C (μείωση 0.8% και 13% αντίστοιχα) ενώ στους 20 °C η μείωση ήταν πολύ πιο έντονη και ανήλθε στο 27%.

Η αναλογία της χλωροφύλλης a προς τη χλωροφύλλη b ήταν 3.2/1.0 αναλογία που συμφωνεί με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Gross, 1991) ενώ στο τέλος της συντήρησης, η αναλογία αυτή μεταβλήθηκε και διαμορφώθηκε στο 1.6/1.0 στους 5 °C, 1.1/1.0 στους 10 °C και 1.6/1.0 στους 20 °C.

3.3 Σύγκριση των δύο μεθόδων

Για τη σύγκριση των δύο μεθόδων προσδιορισμού της χλωροφύλλης θα παρουσιαστεί η μεταβολή της ολικής χλωροφύλλης ανά θερμοκρασία και μέθοδο (Σχήμα 3).

Από τη στατιστική ανάλυση (ANOVA) προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (Ρ≤0.05) μεταξύ των δύο μεθόδων προσδιορισμού της χλωροφύλλης. Από το Σχήμα 3 προκύπτει ότι σε όλες τις θερμοκρασίες συντήρησης των καρπών της πιπεριάς ο προσδιορισμός της χλωροφύλλης με τη μέθοδο DMSO παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές, ενώ η μέθοδος Arnon έδωσε τις μικρότερες τιμές. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ των μεθόδων προσδιορισμού της χλωροφύλλης τόσο στην αρχή της συντήρησης όσο και στο τέλος της συντήρησης ανά θερμοκρασία.



Σχήμα 2. Περιεκτικότητα πιπεριάς σε χλωροφύλλη a, b και ολική (προσδιορισμός με τη μέθοδο DMSO), κατά τη συντήρηση στους 5, 10 και 20 °C (N=6).



Σχήμα 3. Συγκριτική μελέτη της μεταβολής της ολικής χλωροφύλλης καρπών πιπεριάς που συντηρήθηκαν στους 5, 10 και 20 °C, όπως αυτή προσδιορίσθηκε από τις μεθόδους Arnon και DMSO (N=6).

Πίνακας 1. Σχέση της **ολικής** χλωροφύλλης μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων προσδιορισμού της.

Μέθοδοι	Αρχή συντήρησης	Τέλο	οησης	
		5 °C	10 °C	20 °C
DMSO/Arnon	2.41	1.6	1.9	2.59

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι στην αρχή της συντήρησης η χλωροφύλλη που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Arnon ήταν 2.4 φορές μικρότερη από αυτή που προσδιορίσθηκε με τη μέθοδο DMSO. Η σχέση αυτή διατηρήθηκε περίπου σταθερή στο τέλος της συντήρησης στους 20 °C ενώ στο τέλος της συντήρησης στους 5 °C η σχέση αυτή ήταν 1.6 και στους 10 °C 1.9. Η χλωροφύλλη είναι αδιάλυτη στο νερό αλλά διαλυτή σε οργανικούς διαλύτες. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σαφώς υπάρχει σημαντική επίδραση του διαλύτη καθώς και της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή της χλωροφύλλης. Σύμφωνα με τους Leung (1998), Makeen et al. (2007), το σπάσιμο των ιστών, η διήθηση και η χρήση μεγάλων ποσοτήτων διαλύτου (μέθοδος Arnon) έχει σαν αποτέλεσμα τη μικρή απόδοση σε χρωστική συγκριτικά με άλλες μεθόδους, στην προκειμένη περίπτωση με τη χρήση διαλύτη DMSO.

Η μέθοδος του Arnon χρησιμοποιείται ευρέως από πολλούς ερευνητές παρά το γεγονός ότι έχει κάποια σφάλματα και το μίγμα των διαλυτών που χρησιμοποιεί παρουσιάζει μειονεκτήματα (Wellburn, 1994). Το κύριο πρόβλημα της είναι ότι το μίγμα της ακετόνης και του νερού (80% v/v) μπορεί να ευθύνεται για τη μη πλήρη εξαγωγή της χλωροφύλλης, καθώς και το γεγονός ότι δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε την ποσότητα της ακετόνης που εξατμίζεται κατά το σπάσιμο των ιστών, τη φυγοκέντριση, τη διήθηση και τη μέτρηση με το φασματοφωτόμετρο. Οι αλλαγές της συγκέντρωσης της ακετόνης με το νερό είναι σημαντικός παράγων λάθους διότι ο ειδικός συντελεστής απορρόφησης της χλωροφύλλης a και b μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητα της ακετόνης (π.χ αυτός της 79% είναι ελαφρώς διαφορετικός από αυτόν του 80%) (Wellburn, 1994). χρήση εναλλακτικών διαλυτών νια το Н φασματοφωτομερικό προσδιορισμό των χρωστικών έχει ζητηθεί για διάφορους λόγους όπως για τον ακριβή προσδιορισμό των συντελεστών των εξισώσεων υπολογισμού, για τη διαφορετική συμπεριφορά των διάφορων τύπων φυτικών ιστών στα διάφορα εκχυλιστικά μέσα. Έτσι υπάρχουν εκχυλιστικά μέσα (π.χ 80% ακετόνη) που είναι αναποτελεσματικά, άλλα είναι αποτελεσματικά αλλά χρειάζεται διαβροχή, σπάσιμο του ιστού, διαύγαση, νενικά μενάλος φυνοκέντριση και χρόνος προετοιμασίας και άλλα απαιτούν μόνο διαβροχή και ανακίνηση για την εξαγωγή των χρωστικών (Wellburn, 1994).

Το DMSO είναι ένας διαλύτης με αμφιφιλικές ιδιότητες (Notman et al., 2006) που έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την εξαγωγή των χλωροφυλλών από φύκη (Burnison, 1980; Shoaf and Lium, 1976), λειχήνες (Barnes et al., 1992; Ronen and Galun, 1984) και φύλλα των ανώτερων φυτών

(Hiscox and Israelstam, 1979; Barnes et al., 1992; Tait and Hik, 2003; Richardson et al., 2002). Διεισδύει στις μεμβράνες και μετουσιώνει τις πρωτεΐνες μεταθέτοντας ή αντικαθιστώντας το νερό γύρω από αυτές. Θεωρείται ανώτερο από την ακετόνη για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης στα ανώτερα φυτά (Ronen and Galun, 1984). Η μέθοδος είναι απλή, η εκχύλιση πλήρης και βασίζεται στην εμβάπτιση δίσκων ιστού σε συγκεκριμένη ποσότητα DMSO και επώαση σε θερμοκρασία 60-65 °C. Μετά την επώαση ο διαλύτης αποστραγγίζεται και μετράται η απορρόφηση σε κατάλληλα μήκη κύματος στα οποία απορροφούν οι φωτοσυνθετικές χρωστικές. Πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες μεθόδους (μεθανόλη, ακετόνη, αιθανόλη) στο γεγονός ότι η εξαγωγή των χλωροφυλλών είναι εύκολη και γρήγορη καθώς δεν απαιτείται λειοτρίβηση και φυγοκέντρηση ή διήθηση (Devesa et al., 2007). Για το λόγο αυτό είναι κατάλληλη για εφαρμογή ακόμη και σε συνθήκες πεδίου (Tait and Hik, 2003) και επιτρέπει την προετοιμασία και ανάλυση μενάλου αριθμού δειγμάτων σε μικρό χρονικό διάστημα. Η σταθερότητα της εκχυλιζόμενης χλωροφύλλης από το DMSO κατά την αποθήκευση είναι καλύτερη εκείνης της μεθόδου της ακετόνης (Hiscox and Israelstam, 1979; Barnes et al., 1992). Το μειονέκτημα που εμφανίζει η μέθοδος είναι ότι η εκχύλιση των χρωστικών βασίζεται στη διάχυση του DMSO εντός των φωτοσυνθετικών ιστών, καθώς δεν γίνεται μηχανική διάσπαση των κυττάρων. Επομένως, ο χρόνος επώασης δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από τα ιδιαίτερα ανατομικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά των ιστών του κάθε φυτικού είδους (Hiscox and Israelstam, 1979; Barnes et al., 1992). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα δείγματα επωάζονται στο DMSO έως ότου αποχρωματιστούν πλήρως οι ιστοί. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η πλήρης εκχύλιση της χλωροφύλλης με DMSO απαιτεί πολλές ώρες επώασης (Shinano et al., 1996).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ότι η θερμοκρασία συντήρησης επηρέασε την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη. Η μέθοδος προσδιορισμού της χρωστικής επηρεάζει πολύ την εξαγομένη ποσότητα. Η μέθοδος DMSO παρουσίασε επαναληψιμότητα, σταθερότητα και ήταν ικανή να εξάγει μεγαλύτερο ποσοστό χλωροφύλλης συγκριτικά με την κλασσική μέθοδο, επί πλέον δε είχε το πλεονέκτημα ότι ήταν γρήγορη και δεν απαιτούσε χρονοβόρες διαδικασίες και μεγάλες ποσότητες διαλύτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arnon, D., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiology, 24 (1): 1-15.
- Artés, F., Mínguez, M.I., and Hornero, D., 2002. Analysing changes in fruit pigments. In: Colour in Food, Improving quality, McDougall (ed), CRC Press, Boca Raton, Boston, New York Washington, pp. 249-282.

- Barnes, JD., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., Davison, AW., 1992.A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. Envir. Exp. Bot. 32:85-100.
- Burnison, BK., 1980. Modified dimethylsulfoxide (DMSO) extraction for chlorophyll analysis of phytoplankton. Can J. Fish. Aquat. Sci.37:729-732.
- Cantwell, .M., and Kasmire, F.R., 2002. *Postharvest* handling systems: flower, leafy and stem vegetables. In: Postharvest Technology of Horticultural crops. (ed. A. Kader), University of California Agr and Natural Resources Pub.3311,pp.423-433.
- Cantwell, M., Rovelo, J., Nie, X., and Rubatzky, V., 1998. Specialty salad greens:Postharvest physiology and shelf-life. Acta Hort., 467:371-377.
- Devesa, R., Moldes, A., Diaz-Fierros, F., Barral M.T., 2007. Extraction study of algal pigments in river bed sediments by applying factorial designs. Talanta 72:1546-1551.
- Eaks, I.L., 1977. Physiology of degreening-summary and discussion of related topics. Proc. Int. Soc. Citriculture, 1:223-226.
- Goodwin, T.W., 1965. Chemistry and Biochemistry of plant pigments. Academic Press ,New York .Gross J ,1987. Chlorophylls. In: Pigments in fruits. Academic Press Inc. London, UK, pp 1-55
- Gross, J., 1991. *Pigments in Vegetables, Chlorophylls and Carotenoids*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Heaton, W.J., and Marangoni, G.A., 1996. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. Trends in Food Science and Technology, 7: 8-15.
- Hiscox, JD., Israelstam, GF., 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot.57:1332-1334.
- Kader, A., 2002. *Maturation and maturity index*.
 Postharvest Technology of Horticultural crops. (ed. A. Kader), University of California Agr and Natural Resources Pub.3311 pp. 55-62.
- Leung, A.Y., 1998. Methods and techniques for study of biochemistry of crop plants. J. Amer. Oil Chem. Soc., 50:407-410.
- Makeen, K., Babu, G.S., Lavanya, G.R., Abraham, G., 2007. Studies of chlorophyll content by different methods in black gram. Intern. J. Agric. Res. 2(7):651-654.
- Minguez-Mosquera, MI., and Hornero-Mendez, D., 1994a. Formation and transformation of pigments

during the fruit ripening of *Capsicum annuum* cv. *Bola* and *Agridulce. J. Agric. Food Chem.*, 42: 38–44.

- Minguez-Mosquera, MI., and Hornero-Mendez, D., 1994b. Changes in carotenoid esterification during the fruit ripening of *Capsicum annuum* cv. *Bola. J. Agric. Food Chem.*, 42: 640–644.
- Notman, R., Noro, M., O;Malley, B., Anwar, J., 2006. Molecular basis for dimethylsulfoxide (DMSO) action on lipid membranes. J. Am. Chem. Soc.128: 13982-13983.
- Pogson, B,J., and Morris, S.C., 1997. Consequences of cool storage of broccoli on physiological and biochemical changes and subsequent senescence at 20°C. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122:553-558
- Raffo, A., Baimonte, I., & Paoletti, F., 2008. Changes in antioxidants and taste related compounds content during cold storage of fresh–cut red sweet peppers. European Food Research Technology 226(5): 1167–1174.
- Richardson, AD., Duigan, SP., Berlyn, GP., 2002. An evaluation of non invasive methods to estimate foliar chlorophyll content. New Phytol.153: 185-194.
- Ronen, R., Galun, M., 1984. Pigment extraction from lichens with dimethylsulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation. Envir. Exp. Bot. 24:239-245.
- Shinano, T., Lai, TT., Kawamukai, T., Inoue, MT., Koike, T., Tadano, T., 1996. Dimethylsulfoxide method for the extraction of chlorophylls a and b from the leaves of wheat, field bean, dwarf bamboo and oak. Photosynthetica 32:409-415.
- Shoaf, WT., Lium, BW., 1976 Improved extraction of chlorophyll a and b from algae using dimethylsulfoxide. Limnol. Oceanog.21:926-928.
- Tait MA, Hik, DS., 2003. Is dimethylsylfoxide a reliable solvent for extracting chlorophyll under field conditions? Photos. Res. 78:87-91.
- Wellburn, A.R., 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectophotometers of different resolution. J. Plant Physiol. 144: 307-313.
- Yang, X., Zhang, Z., Joyce, D., Huang,X., Xu, L., Pang, X., 2009. Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. Food Chemistry, 114:383-390.
- Αϊβαλάκις, Γ., Καραμπουρνιώτης, Γ. και Φασσέας, Κ. 2003. Σημειώσεις Γενικής Βοτανικής. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΒΑΘΜΙΔΩΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ

Αθανάσιος Αθανασίου¹, Άλκηστης Σέμπου², Γεώργιος Ξανθόπουλος¹ και Ανδρέας Γ. Μπουντουβής²

¹ Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., , Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Βοτανικός, Τ.Κ. 11855, e-mail: xanthopoulos@aua.gr

²Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Ζωγράφου, e-mail: boudouvi@chemeng.ntua.gr

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε βαθμιδωτή ξήρανση κομμένων βερίκοκων (var. *Tom Cot*), με θερμό αέρα δύο διαφορετικών προφίλ θερμοκρασίας, για τη μελέτη του ρυθμού ξήρανσης και των χρωματικών μεταβολών. Και στα δύο βαθμιδωτά προφίλ θερμοκρασίας εμφανίστηκαν δύο επιβραδυνόμενες φάσεις ξήρανσης στη σειρά οι οποίες διαφοροποιήθηκαν σημαντικά από την αντίστοιχη στη σταθερή θερμοκρασία ξήρανσης. Μελετήθηκαν, ο δείκτης καστάνωσης (BI), το χρώμα (C*) και η χροιά (h*). Η ανάλυση έδειξε ότι η εφαρμογή του ασκορβικού οξέος ήταν πιο αποτελεσματική ως προς το μάρτυρα στη βαθμιδωτή αύξηση της θερμοκρασίας, με τελικές τιμές για τα δείγματα με ασκορβικό οξύ και το μάρτυρα μειωμένες αντίστοιχα κατά 24.3% και 36.7% για το BI, 38.8% και 45.1% για το C* και 10.6% και 14.7% για το h*. Η μεταβολή των BI, C* και h* προσεγγίστηκε με ένα τροποποιημένο μοντέλο κινητικής 1^{ης} τάξης του οποίου οι παράμετροι υπολογίστηκαν βάσει του αλγόριθμου Levenberg–Marquardt μη-γραμμικής βελτιστοποίησης και σε όλες τις περιπτώσεις το $R_{adi}^2 \ge 0.90$ και MRD<5%.

Λέξεις κλειδιά: ξήρανση, βερίκοκο, ρυθμός ξήρανσης, κινητική χρώματος.

STUDY OF THE DRYING RATE AND COLOUR KINETICS DURING STEPWISE DRYING OF APRICOTS

Athanasios Athanasiou¹, Alkistis Sempou², George Xanthopoulos¹ και Andreas G. Boudouvis²

¹Laboratory of Farm Machinery, Department of N.R.M. and A.E., Agricultural University of Athens, 75 lera Odos Str., Botanikos, GR-11855, Greece, e-mail: xanthopoulos@aua.gr

²National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering, 9 Heroon Polytechniou Str., 15780, Zografou, Greece, e-mail: boudouvi@chemeng.ntua.gr

Zogralou, Greece, e-mail: boudouvi@chemeing.htda.gr

In this study, the drying rate and the colour kinetics of cut apricots (var. *Tom Cot*) under two different temperature profiles of stepwise drying were examined. Both stepwise temperature profiles showed two falling rate periods in series, which differed significantly from the respective drying period during constant temperature drying. The browning index (BI), chroma (C*) and hue (h*) were examined. The analysis showed that ascorbic acid treatment was more effective during the stepwise temperature increase, where the final values for treated and untreated samples were reduced by 24.3% and 36.7% for BI, 38.8% and 45.1% for C* and 10.6% and 14.7% for h* respectively. The BI, C* and h* change was modelled by a 1st order modified kinetic model. The model parameter values were calculated employing the Levenberg–Marquardt algorithm of non-linear optimization and in all cases was derived $R_{adi}^2 \ge 0.90$ and MRD<5%.

Keywords: drying, apricot, drying rate, colour kinetics.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας ξήρανσης μέσω εξελιγμένων συστημάτων ελέγχου δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής μεταβαλλόμενων θερμοκρασιών ξήρανσης. Τα προγράμματα αυτά ξήρανσης επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο, προς όφελος της τελικής ποιότητας του προϊόντος και της κατανάλωσης ενέργειας, λόγω επίτευξης μικρότερων χρόνων ξήρανσης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, αφού οι ρυθμοί μεταβολής της μη-ενζυματικής καστάνωσης και της βιταμίνης C επηρεάζονται από την υγρασία, τη θερμοκρασία, το pH και τη σύνθεση του προϊόντος. Η μη-ενζυματική καστάνωση εμφανίζει μέγιστη ένταση σε ενεργότητες νερού μεταξύ 0.6 και 0.7 (Rahman, 2008). Για την ελαχιστοποίηση της ποιοτικής υποβάθμισης πρέπει να χρησιμοποιούνται χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες όμως επιμηκύνουν το χρόνο ξήρανσης και συντελούν στην ποιοτική υποβάθμιση. Για αυτό το λόγο, και δεδομένου ότι η απόδοση της ξήρανσης είναι συνάρτηση και των

θερμοφυσικών ιδιοτήτων του υπό ξήρανση προϊόντος, καθιστά το πρόβλημα πολυπαραμετρικό και την επίλυσή του δύσκολη.

Οι Kiang and Jon (2006) κατηγοριοποιούν τα συστήματα μεταβλητών θερμοκρασιών ξήρανσης σε συστήματα διακοπτόμενης ξήρανσης με ενδιάμεσους χρόνους παύσης του ρεύματος θερμού αέρα με στόχο την ανακατανομή της υγρασίας μέσα στο προϊόν και σε συστήματα όπου η θερμοκρασιακή μεταβολή ακολουθεί ημιτονοειδή, τετραγωνική κυματοειδή μορφή, βαθμιδωτή αύξηση και βαθμιδωτή μείωση. Οι Chua et al. (2002a), (2002b) kai Chou and Chua (2003) πραγματοποίησαν πειράματα ξήρανσης εφαρμόζοντας συστήματα μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας ξήρανσης σε τεμαχισμένα προϊόντα, μπανάνα, γκουάβα και πατάτα. Στις περιπτώσεις της βαθμιδωτής μεταβολής της θερμοκρασίας ξήρανσης βρέθηκε ότι η βαθμιδωτή μείωση θερμοκρασίας με θερμοκρασιακό βήμα ΔΤ=10 °C, χρονικό βήμα τ=60 min και θερμοκρασία έναρξης 35 °C έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα μειώνοντας τη μη-ενζυματική καστάνωση τουλάχιστον 50% και τους χρόνους ξήρανσης έως και 30%. Οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων αυτών θα πρέπει να γίνονται ως προς τις ίδιες συνθήκες ξήρανσης είτε αυτές αφορούν τον αέρα ξήρανσης (θερμοκρασία και υγρασία του) είτε το ίδιο το προϊόν και την κατάσταση τεμαχισμού του.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη δυο διαφορετικών βαθμιδωτών προφίλ και ένα μειούμενης (70→55→40 °C) ως προς την μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης καθώς και την επίδρασή τους στην οπτική υποβάθμιση. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν ο δείκτης καστάνωσης (BI), το χρώμα (C*) και η χροιά (h*) των υπό ξήρανση δειγμάτων. Τέλος εφαρμόστηκε μια τροποποιημένη εξίσωση κινητικής μηδενικής τάξης για την προτυποποίηση των παραπάνω χρωματικών ιδιοτήτων λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση που έχει το ολοκλήρωμα χρόνου-θερμοκρασίας στην μεταβολή αυτών των ιδιοτήτων.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Ο ρυθμός μεταβολής ενός παράγοντα ποιότητας Α μπορεί να εκφραστεί ως $-dA/dt = k(T)[A]^n$, όπου k(T) είναι η θερμοκρασιακά εξαρτώμενη σταθερά του ρυθμού αντίδρασης και n η τάξη της αντίδρασης. Στις περισσότερες περιπτώσεις το k(T) περιγράφεται από μία εξίσωση Arrhenius, k(T)=k_rexp $\left[-E_a/R(T^{-1}-T_r^{-1})\right]$, όπου k_r η σταθερά της εξίσωσης, E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol), R η σταθερά των αερίων (J/mol K), T η απόλυτη θερμοκρασία (K) και T_r η θερμοκρασία αναφοράς (K) η οποία κατά τον Dolan (2003) ισούται με: (i) τη μέση τιμή των θερμοκρασιών

που χρησιμοποιήθηκαν, (ii) $T_r^{-1} = m^{-1} \sum_{i=1}^m T_i^{-1}$ για ισοθερμοκρασιακές συνθήκες όπου m το πλήθος των ισοθερμοκρασιακών συνθηκών και T_i η θερμοκρασία σε κάθε μια από αυτές και (iii) $T_r^{-1} = t^{-1} \int_0^t T(t)^{-1} dt$ για μη ισοθερμοκρασιακές συνθήκες. Από την ολοκλήρωση του ρυθμού μεταβολής και την αντικατάσταση του k(T) προκύπτουν εξισώσεις για διάφορες τάξεις αντίδρασης των οποίων οι παράμετροι υπολογίζονται με την εφαρμογή μεθόδων μη-γραμμικής βελτιστοποίησης.

n=0, A-A_o=±k(T_r)texp
$$\left[-\frac{E_a}{R}(T^{-1}-T_r^{-1})\right]$$
 (1)

n=1, ln(A)-ln(A_o)=±k(T_r)texp
$$\left[-\frac{E_{a}}{R}(T^{-1}-T_{r}^{-1})\right]$$
 (2)

όπου τα (+) και (-) αναφέρονται στην αύξηση ή μείωση του παράγοντα Α. Στην παρούσα μελέτη, η ακρίβεια των Εξ. 1 και 2 βελτιώθηκε εισάγοντας έναν εκθέτη m' στον όρο t. Ως Α ελήφθησαν το BI=100(x-0.31)/0.17, με $x=\frac{a^{2}+1.75L^{2}}{5.645L^{2}+a^{2}-3.012b^{2}}$,

το $C^* = (a^* + b^*)^{1/2}$ και το $h^* = \arctan^{-1}(b^*/a^*)$ όπου

L*, a* και b* οι τριχρωματικές παράμετροι του χρωματικού χώρου L*a*b*CIE 1976. Η εκτίμηση της απόκλισης των προβλεπομένων τιμών από τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές έγινε μέσω της μέσης

σχετικής απόκλισης, MRD=n⁻¹ $\sum_{i=1}^{n} \left| A_{pred}^{i} - A_{exp}^{i} \right| / A_{exp}^{i}$

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Πρώτη ύλη και πειραματική διαδικασία

Μετά την παραλαβή τους τα βερίκοκα αποθηκεύτηκαν στους 0 °C μέχρι τη ξήρανσή τους. Πραγματοποιήθηκαν 3 πειράματα ξήρανσης, με βαθμιδωτή αύξηση 40→55→70 °C, βαθμιδωτή μείωση 70→55→40 °C και με σταθερή 55 °C θερμοκρασία ξήρανσης. Στα βαθμιδωτά προφίλ, η μεταβολή της θερμοκρασίας λάμβανε χώρα ανά 3 περίπου ώρες. Χρησιμοποιήθηκαν 10 δείγματα χωρίς εμβάπτιση (μάρτυρας) και 10 εμβαπτισμένα σε διάλυμα ασκορβικού οξέος (35 g/L) για 10 min. Τα δείγματα είχαν μέσο αρχικό βάρος 15.8±1.6 g και αρχική περιεχόμενη υγρασία 7.7±1.2 kgw/kgdm (kguypaσíaς/kgξηράς ουσίας). Η ξήρανση των δειγμάτων διαρκούσε 9-10 h περίπου. Η παροχή του αέρα ξήρανσης ήταν 0.7 m/s. Η απόλυτη υγρασία του αέρα ξήρανσης ήταν 2.2±0.06 gw/100gda (guypaσίας/kgξηράς ουσίας). Ο χρόνος μεταξύ 2 διαδοχικών ζυγίσεων ήταν πάντα 1 h ενώ οι μετρήσεις χρώματος λάμβαναν χώρα κάθε 0.5 h. Με το πέρας των πειραμάτων, τα δείγματα τοποθετούνταν στους 105 °C για 24 h για τον προσδιορισμό της ξηράς τους ουσίας. Η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα ξήρανσης καταγραφόταν με αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA) οι οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro Station (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA). Οι αισθητήρες ήταν διακριτικής ικανότητας 0.4 °C, 0.5% και ακρίβειας ±0.7 °C, ±3% για θερμοκρασία και υγρασία αντίστοιχα. Η στατιστική ανάλυση έγινε στο στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Virginia, USA) σε επίπεδο σημαντικότητας Ρ≤0.05.

3.2. Εκτίμηση της οπτικής υποβάθμισης κατά την ξήρανση

Από την ανασκόπηση των Pankaj et al. (2011) στη μέτρηση και εκτίμηση των χρωματικών μεταβολών σε φρέσκα και μεταποιημένα αγροτικά προϊόντα διαπιστώνεται ότι η χρήση των χρωματικών παραμέτρων BI, C* h* είναι συχνή. Ο δείκτης καστάνωσης (BI) καθορίζει την καθαρότητα του καστανού χρώματος και είναι ένας από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους δείκτες καστάνωσης σε προϊόντα που περιέχουν σάκχαρα. Βασίζεται στο σύστημα CIE L*a*b*, ενώ η εκτίμησή του μπορεί να γίνει και φασματοσκοπικά. Στη παρούσα εργασία η μέτρηση του χρώματος γινόταν σε 10 δείγματα στην εξωτερική επιφάνεια βερίκοκων των ημισφαιρίων πάντα σε ένα συγκεκριμένο σημείο και από αυτές εξαγόταν ο μέσος όρος. Οι χρωματομετρήσεις γίνονταν με χρωματόμετρο Minolta CR-300 (Minolta Corp., Tokyo, Japan).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ

4.1. Μελέτη του χρόνου και του ρυθμού ξήρανσης Οι πειραματικές καμπύλες ξήρανσης M=f(t) του μάρτυρα και των εμβαπτισμένων σε ασκορβικό οξύ δειγμάτων για χρόνο ξήρανσης 10.3 h (χρόνος αναφοράς) παρουσιάζονται για τη βαθμιδωτή αύξηση 40-55-70 °C (Διάγραμμα 1α) και μείωση 70-55-40 °C (Διάγραμμα 1β) θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 1. Περιεχόμενη υγρασία (kg_w/kg_{dm}) - αριστεροί άξονες. Βαθμιδωτό προφίλ θερμοκρασίας (°C) - δεξιοί άξονες. Κάθε σημείο περιεχόμενης υγρασίας είναι ο μέσος όρος 10 δειγμάτων.

Από τα τρία θερμοκρασιακά προφίλ που συγκρίνονται (βλ. Διάγραμμα 2), φαίνεται να υπάρχει μια μικρή υπεροχή της βαθμιδωτής μείωσης θερμοκρασίας ως προς το χρόνο επίτευξης τελικού υγρασιακού πηλίκου MR=0.35. Η ταχύτητα ξήρανσης θα πρέπει να εξετάζεται σε σχέση με τα επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά (χρώμα στην παρούσα εργασία) του τελικού προϊόντος. Παρόλα αυτά υπό τις ίδιες συνθήκες ξήρανσης οι Chua et al. (2002) παρατήρησαν μεγάλη εξοικονόμηση στο χρόνο ξήρανσης, 180 min για μπανάνα και 60 min για γκουάβα, που υποδεικνύει ότι το θερμοκρασιακό προφίλ που θα πρέπει να επιλέγεται για την επίτευξη δεδομένων MR και άλλων οργανοληπτικών ιδιοτήτων, θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στις θερμοφυσικές ιδιότητες του προϊόντος με την προϋπόθεση ότι ακολουθούνται συγκεκριμένοι χειρισμοί πριν την ξήρανσή του (διαμερισμός και τοποθέτηση προϊόντος στο ξηραντήριο κτλ) όσο και κατά την ξήρανση του προϊόντος (ρύθμιση συνθηκών ξήρανσης κτλ).



Διάγραμμα 2. Μεταβολή του υγρασιακού πηλίκου (MR) αποξηραινόμενων βερίκοκων.



Διάγραμμα 3. Ρυθμός ξήρανσης (g_w/100g_{dm} h) - αριστεροί άξονες και Βαθμιδωτό προφίλ θερμοκρασίας (°C) - δεξιοί άξονες με το χρόνο ξήρανσης (h). Κάθε σημείο περιεχόμενης υγρασίας είναι ο μέσος όρος 10 δειγμάτων.

Η διαφορετική καμπυλότητα των πειραματικών καμπυλών M=f(t), κοίλα προς τα κάτω στη βαθμιδωτή αύξηση της θερμοκρασίας και κοίλα προς τα άνω στη βαθμιδωτή μείωση της θερμοκρασίας, υποδηλώνουν διαφορετικούς ρυθμούς ξήρανσης (dM/dt) οι οποίοι και παρουσιάζονται στα Διάγραμματα 3α και 3β. Παρόμοιες καμπύλες ξήρανσης από αντίστοιχα θερμοκρασιακά προφίλ (βαθμιδωτής αύξησης και μείωσης) παρουσίασαν οι Chua et al. (2002) κατά την ξήρανση μπανάνας και γκουάβα. Ο ρυθμός ξήρανσης (gw/100 gdmh) (guyρασίας/100 gξηράς ουσίαςh) όπως παρουσιάζεται στα Διάγραμματα 3α και 3β εμφανίζει μια ιδιαιτερότητα στην περίπτωση της βαθμιδωτής αύξησης και μείωσης της θερμοκρασίας σε σχέση με την ομαλή μείωσή του στη σταθερή θερμοκρασία ξήρανσης (55 °C). Και στα δύο βαθμιδωτά θερμοκρασιακά προφίλ εμφανίζονται δύο επιβραδυνόμενες φάσεις ξήρανσης στη σειρά, η έναρξη των οποίων υποδεικνύεται από κόκκινα βέλη στα Διάγραμματα 3α και 3β. Οι απότομες μεταβολές θερμοκρασίας στα βαθμιδωτά προφίλ θερμοκρασιών, έχουν ως συνέπεια την εμφάνιση μεγάλων θερμοκρασιακών κλίσεων μεταξύ της επιφάνειας του προϊόντος και του γεωμετρικού του κέντρου όπως υποστηρίζουν και οι Chua et al. (2002).

4.2. Μελέτη της κινητικής του χρώματος

Η μεταβολή των BI, C* και h* των εμβαπτισμένων και μη δειγμάτων σε ασκορβικό οξύ κατά τη βαθμιδωτή μεταβολή της θερμοκρασίας ξήρανσης παρουσιάζονται στα Διάγραμματα 4-6. Από αυτά φαίνεται ότι για θερμοκρασίες ≤55 °C οι μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων είναι αμελητέες ακόμα και μετά από 7 h θερμικής επεξεργασίας. Η οπτική υποβάθμιση γίνεται εμφανής, όταν η θερμοκρασία ξήρανσης ξεπεράσει τους 55 °C στα βαθμιδωτά προφίλ. Οι ποσοστιαίες μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων (BI, C*, h*) σε όλα τα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 1. Από αυτόν φαίνεται ότι το θερμοκρασιακό προφίλ 40-55-70 °C συνέβαλε σε μικρότερες χρωματικές μεταβολές όπως αυτές εκτιμήθηκαν από τα BI, C* και h*. Επίσης η εμβάπτιση σε ασκορβικό οξύ, φαίνεται να επέδρασε σημαντικά στη μείωση της μεταβολής των BI, C* και h* στην περίπτωση της βαθμιδωτής αύξησης 40-55-70 °C. Αντίστοιχα αποτελέσματα όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των δυο θερμοκρασιακών προφίλ κατέγραψαν και οι Chua et al. (2002) οι οποίοι παρατήρησαν ότι η βαθμιδωτή αύξηση θερμοκρασίας ήταν πιο αποτελεσματική στη μείωση της χρωματικής υποβάθμισης, απέδωσαν δε την προηγούμενη αντίδραση, στη βραδεία εξάτμιση υγρασίας από την κορεσμένη επιφάνεια των αποξηραινόμενων προϊόντων η οποία μειώνει τη θερμοκρασία της επιφανείας των αποξηραινόμενων προϊόντων συντελώντας στη μείωση της έντασης και έκτασης της μη-ενζυματικής καστάνωσης. Αντιθέτως η ταχεία απομάκρυνση υγρασίας από την επιφάνεια των αποξηραινόμενων προϊόντων κατά τη βαθμιδωτή μείωση της θερμοκρασίας είχε ως συνέπεια την επιτάχυνση της καστάνωσης όπως και επιβεβαιώνεται από τις μετρήσεις των χρωματικών παραμέτρων (Πίνακας 1).



Διάγραμμα 4. Δείκτης καστάνωσης (BI) κατά τη βαθμιδωτή αύξηση (αριστερά) και μείωση (δεξιά) της θερμοκρασίας ξήρανσης. Κάθε πειραματικό σημείο είναι ο μέσος όρος από 10 δείγματα (σημεία: πειραματικές τιμές, συνεχής γραμμή: τιμές από την Εξ. 2).



Διάγραμμα 5. Μεταβολή χρώματος (C*) κατά τη βαθμιδωτή αύξηση (αριστερά) και μείωση (δεξιά) της θερμοκρασίας ξήρανσης. Κάθε πειραματικό σημείο είναι ο μέσος όρος από 10 δείγματα (σημεία: πειραματικές τιμές, συνεχής γραμμή: τιμές από την Εξ. 2).

Στις περισσότερες εργασίες που αναφέρονται στην ανασκόπηση των Pankaj et al. (2011), η μεταβολή των χρωματικών παραμέτρων κατά την ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα υπολογίστηκε με εξισώσεις κινητικής μηδενικής τάξης (n=0) όπως και σε αυτήν την εργασία. Οι παράμετροι της τροποποιημένης εξίσωσης κινητικής μηδενικής τάξεως (n=0), υπολογίστηκαν με τη μέθοδο μη-γραμμικής βελτιστοποίησης Levenberg–Marquardt (Πίνακας 2) ενώ η θερμοκρασία αναφοράς Τ_r υπολογίστηκε με τη μέθοδο αριθμητικής ολοκλήρωσης τραπεζίου από το υπολογιστικό πακέτο Matlab 2012b (MathWorks, Massachusetts, USA). Σε γενικές γραμμές η εκτίμηση των χρωματικών παραμέτρων από την τροποποιημένη εξίσωση κινητικής μηδενικής τάξης φαίνεται να είναι ικανοποιητική δίνοντας σε όλες τις περιπτώσεις $R_{adi}^2 > 0.90$ και MRD<5%.



Διάγραμμα 6. Μεταβολή χροιάς (h*) κατά τη βαθμιδωτή αύξηση (αριστερά) και μείωση (δεξιά) της θερμοκρασίας ξήρανσης. Κάθε πειραματικό σημείο είναι ο μέσος όρος από 10 δείγματα (σημεία: πειραματικές τιμές, συνεχής γραμμή: τιμές από την Εξ. 2).

Πίνακας 1. Ποσοστιαίες μεταβολές (μειώσεις) των χρωματικών παραμέτρων (Bl, C*, h*) για τα δύο θερμοκρασιακά προφίλ και τους εξεταζόμενους χειρισμούς.

Θερμοκρασιακά προφίλ	Χειρισμός	BI	C*	h*
40-55-70 °C	Μάρτυρας	36.7	45.1	14.7
	Ασκορβικό Οξύ	24.3	38.8	10.6
70-55-40 °C	Μάρτυρας	35.1	48.8	15.8
	Ασκορβικό Οξύ	32.0	48.9	13.9

Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων της τροποποιημένης εξίσωσης κινητικής (n=0) (Εξ. 2).

	Χειρισμός	Χρωματική παράμετρος	Tr (⁰C)	Ao	K(T _r)	m'	E _a (J/mol)	R^2_{adj}	SEE	MRD (%)
	Μάρτυρας	BI*		156.25	1.3×10 ⁻⁵	0.40	632,543	0.952	5.55	3.15
ပ္စ	Ασκορβικό	BI*		158.59	8.0×10 ⁻⁵	0.05	576,161	0.962	4.04	2.06
10	Μάρτυρας	C*	51 J	48.82	1.1×10-5	0.41	597,053	0.978	1.45	2.92
÷22	Ασκορβικό	C*	04.4	52.33	0.08	0.31	216,142	0.983	1.23	1.95
$^{+0-}_{-}$	Μάρτυρας	h*		62.32	0.89	0.20	87,768	0.927	1.19	1.69
	Ασκορβικό	h*		62.84	0.86	0.16	85,360	0.918	1.06	1.56
	Μάρτυρας	BI*		166.46	30.98	0.34	7,437	0.894	5.38	3.32
ů	Ασκορβικό	BI*		165.26	15.57	0.68	19,151	0.840	7.57	4.88
40	Μάρτυρας	C*	677	56.10	15.59	0.29	5,989	0.939	1.78	2.31
+55	Ασκορβικό	C*	57.7	56.89	9.09	0.58	14,277	0.904	2.71	3.77
70–	Μάρτυρας	h*		62.54	5.48	0.29	4,979	0.914	0.73	1.18
	Ασκορβικό	h*		61.62	2.79	0.55	9,875	0.936	0.67	1.09

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βαθμιδωτή μείωση θερμοκρασίας εμφανίζει μικρή υπεροχή ως προς το χρόνο επίτευξης τελικού υγρασιακού πηλίκου MR=0.35. Η οπτική υποβάθμιση είναι εμφανής για θερμοκρασίες ξήρανσης ≥55 °C. Το θερμοκρασιακό προφίλ 40-55-70 °C συνέβαλε σε μικρότερες χρωματικές μεταβολές των BI, C* και h*, ενώ η εμβάπτιση σε ασκορβικό οξύ επέδρασε σημαντικά στη μείωση της μεταβολής των BI, C* και h*. Η εκτίμηση των χρωματικών παραμέτρων από την τροποποιημένη εξίσωση κινητικής μηδενικής τάξης είναι ικανοποιητική δίνοντας σε όλες τις περιπτώσεις $R_{adi}^2 > 0.90$ και MRD<5%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chou, S.K. and Chua, K.J., 2003. On the study of the drying behaviour of a heat-sensitive biomaterial undergoing stepwise-varying temperature schemes. Ind Eng Chem Res, 42:4939-4952.
- Chua, K.J., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K. and Ho, J.C., 2002a. On the study of time-varying temperature drying-effect on drying kinetics and product quality. Dry Tech, 20(8):1559-1577.

- Chua, K.J., Mujumdar A.S., Chou S.K., Hawlader, M.N.A., and Ho, J.C., 2002b. Convective drying of banana, guava and potato pieces : Effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and colour change. Dry Tech, 18(4-5):907-936.
- Dolan, K.D. Estimation of kinetic parameters for nonisothermal food processes, 2003. J Food Sci, 68(3):728-741.
- Kiang C.S. and Jon C.K., 2006. Heat pump drying systems. In: A.S. Mujumdar (Editor), Handbook of Industrial Drying, 3rd ed., Taylor & Francis Group, LLC., NY, USA, p. 1104-1130.
- Pankaj, B.P., Umezuruike, L.O., Fahad, Al-J.Al-S., 2011. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. Food Bioprocess Tech, 6:36-60.
- Rahman, M.S., 2008. Post-drying aspects for meat and horticultural products. In: X.D. Chen and A.S. Mujumdar (Editors), Drying Technologies in Food Processing, Blackwell Publishing Ltd., Oxford UK., p. 257.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΘΙΔΙΩΝ ΜΠΡΟΚΟΛΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΥΣ 0 °C & 5 °C

Ε. Μανωλοπούλου, Κ. Ρεκούμη, Α. Αλεξόπουλος

ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή ΤΕ.Γ., Τμήμα Φ.Π, Αντικάλαμος-Καλαμάτα, Τ.Κ.24100

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) και της θερμοκρασίας συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά ανθιδίων μπρόκολου οργανικής και συμβατικής καλλιέργειας. Ανθίδια μπρόκολου ποικιλίας "Marathon" που προέρχονταν από οργανική και συμβατική καλλιέργεια συσκευάστηκαν με φύλλο πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας, πάχους 30 μm (LDPE-30).Ο μάρτυρας καλύφθηκε με PVC πάχους 13 μm. Οι συσκευασίες διατηρήθηκαν στους 0 °C και 5 °C για 14 ημέρες. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν η απώλεια βάρους, η υφή, το χρώμα, η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C και η οπτική ποιότητα. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι ο τρόπος συσκευασίας και η θερμοκρασία επηρέασαν τους μελετηθέντες παράγοντες. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μπρόκολων των δύο τύπων καλλιέργειας δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ τους.

Λέξεις κλειδιά: μπρόκολο, ελάχιστα επεξεργασμένα, τροποποιημένη ατμόσφαιρα, χρώμα, ποιότητα

THE EFFECT OF MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING ON THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF ORGANIC AND CONVENTIONAL BROCCOLI FLORETS STORED AT 0°C AND 5°C

E. Manolopoulou, K. Rekoumi, A. Aleksopoulos

Technological Educational Institute of Kalamata, School of Agricultural Technology, Department of Crop Production, Antikalamos 24100 Kalamata, Greece e-mail: arte_lampr@yahoo.gr, a.alexopoulos@teikal.gr, k.rekoumi@gmail.com

The aim of this paper was the study of the effect of modified atmosphere packaging (MAP) and storage temperature on the qualitative characteristics of organic and conventional broccoli florets. Organic and conventional 'Marathon' broccoli florets were packaged using 30 μ m low density polyethylene film (LDPE-30). The broccoli florets serving as control were wrapped using 13 μ m PVC. The packages were stored at 0 °C and 5 °C for 14 days. The qualitative characteristics studied were weight loss, texture, color, vitamin C content and overall visual quality. The results suggest that packaging and temperature affected the afore-mentioned factors; additionally, there were no significant statistical differences between the qualitative characteristics of organic and conventional broccoli florets.

Key words: broccoli, fresh-cut, modified atmosphere packaging, color, quality

1. Εισαγωγή

Η ταχεία αύξηση της ζήτησης οργανικών προϊόντων τις τελευταίες δύο δεκαετίες μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη εμπιστοσύνη των καταναλωτών στα οργανικά προϊόντα καθώς και στην ανησυχία τους για περιβαλλοντικές επιπτώσεις και πιθανούς κινδύνους για την υγεία, που μπορούν να προέλθουν από τη συμβατική μέθοδο παραγωγής (Dreezens et al., 2005, Winter and Davis, 2006). Or καταναλωτές προτιμούν τα οργανικά προϊόντα διότι τα θεωρούν πιο ασφαλή, πιο θρεπτικά και με καλλίτερη γεύση (Yiridoe et al., 2005). Από συγκριτικές μελέτες μεταξύ οργανικών και συμβατικών προϊόντων προέκυψε ότι δεν μπορεί να γενικευθεί η αντίληψη ότι τα οργανικά προϊόντα υπερέχουν θρεπτικά και οργανοληπτικά από τα αντίστοιχα συμβατικά (ITAB, 2010; Winter and Davis, 2006).

Τα "ελάχιστα επεξεργασμένα" φρούτα και λαχανικά αποτελούν μία σημαντική και συνεχώς αυξανόμενη κατηγορία προϊόντων, η εμπορική επιτυχία των οποίων εξαρτάται από τη δυνατότητα διατήρησης της φρεσκάδας, της διατροφικής αξίας και της ασφάλειας του προϊόντος για ικανό χρονικό διάστημα ώστε να καταστεί εφικτή η κατανάλωσή τους (Gertmenian, 1992). Η εμπορική ζωή των ελάχιστα επεξεργασμένων προϊόντων, συνήθως αυξάνεται με τη συνδυασμένη εφαρμογή χαμηλών θερμοκρασιών και τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

Το μπρόκολλο είναι ένα λαχανικό υψηλής θρεπτικής αξίας, γιατί είναι πλούσιο σε βιταμίνες, αντιοξειδωτικά και αντικαρκινογόνες ουσίες (Yuan et al., 2010), είναι όμως πολύ φθαρτό προϊόν με μικρή εμπορική ζωή. Χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή σχετική υγρασία είναι παράγοντες απαραίτητοι για τη διατήρηση της ποιότητάς του (Jones et al., 2006).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της τροποποιημένης ατμόσφαιρας και της θερμοκρασίας συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά ανθιδίων μπρόκολου «οργανικής» και «συμβατικής» καλλιέργειας.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Μπρόκολα ποικιλίας "Marathon" οργανικής και συμβατικής καλλιέργειας συγκομίσθηκαν από αγρόκτημα του ΤΕΙ Καλαμάτας. Η συγκομιδή της κεφαλής έγινε στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας και η προετοιμασία έγινε την ίδια ημέρα αφού απομακρύνθηκαν οι ακατάλληλες κεφαλές. Οι τεχνικές προετοιμασίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι καλλίτερες ενδεικνυόμενες. Τα ανθίδια που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διάμετρο περίπου 4.0±1.0 cm, το κομμένο προϊόν πλύθηκε με νερό βρύσης θερμοκρασίας 5 °C που περιείχε 50 ppm χλωρίου. Ακολούθησε ξέβγαλμα με νερό βρύσης θερμοκρασίας 5 °C και στέγνωμα με απορροφητικό χαρτί για απομάκρυνση της πλεονάζουσας υγρασίας.

Για τη συσκευασία χρησιμοποιήθηκε πλαστικό εύκαμπτο φύλλο πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας πάχους 30 μm (LDPE-30), ο δε μάρτυρας τοποθετήθηκε σε δισκάκια πολυστερίνης διαστάσεων 180×90×30 mm και καλύφθηκε με PVC πάχους 13 μm. Κάθε συσκευασία περιείχε 100±3 g. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα εντός των συσκευασιών δημιουργήθηκε παθητικά. Οι συσκευασίες και ο μάρτυρας συντηρήθηκαν στο σκοτάδι σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες 0 °C και 5 °C και ΣΥ 90%. Η διάρκεια της συντήρησης ήταν 14 ημέρες.

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η μεταβολή των αερίων (O₂, CO₂) και του αιθυλενίου μέσα στη συσκευασία, η απώλεια βάρους, η μεταβολή της υφής, η μεταβολή του χρώματος, η μεταβολή της βιταμίνης C, ενώ παράλληλα έγινε εκτίμηση της ολικής οπτικής ποιότητας. Οι μετρήσεις έγιναν την 0^η, 4^η,7^η,11^η και 14^η ημέρα σε 6 ξεχωριστά δείγματα ανά θερμοκρασία και χειρισμό, πλην της μεταβολής των αερίων και του βάρους που έγιναν σε 10 δείγματα ανά θερμοκρασία και χειρισμό. Το πείραμα επαναλήφθηκε δύο φορές.

Η ανάλυση των αερίων (O2-CO2) στο εσωτερικό των συσκευασιών έγινε με αναλυτή αερίων CheckMate 9000 (PBI Densensor Co., Denmark), o προσδιορισμός TOU αιθυλενίου έγινε 311 χρωματογράφο Perkin-Elmer (AutoSystem XL), εφοδιασμένο με ανιχνευτή FID και κολόνα αλουμίνας, η απώλεια μάζας εκφράσθηκε ως ποσοστό του αρχικού βάρους και προσδιορίσθηκε με ζυγό ακριβείας (±0.01 g), η υφή μετρήθηκε με επιτραπέζιο αναλυτή υφής Texture Analyser TA-XT2i (SMS, England) εφοδιασμένο με κελί Krammer 5 λεπίδων και το χρώμα προσδιορίσθηκε με χρωματόμετρο Minolta (Model CR-300, Minolta Co Ltd, Osaka) στο σύστημα CIE L*a*b*. Στην αρχή κάθε μέτρησης το όργανο ρυθμιζόταν με τη λευκή πλάκα βαθμονόμησης που συνοδεύει το όργανο. Ο προσδιορισμός της βιταμίνης C έγινε ογκομετρικά με δείκτη 2-6 διχλωροφαινολ-ινδοφαινόλη, η δε εκτίμηση της ολικής οπτικής ποιότητας έγινε από μία ομάδα 6 εκπαιδευμένων κριτών με βάση μία κλίμακα από το 1-5 όπου το 1 αντιστοιχούσε σε φρέσκο προϊόν με σκούρο πράσινο χρώμα, το 3 σε πρασινοκίτρινο προϊόν μόλις εμπορεύσιμο και το 5 σε κίτρινη κεφαλή μη εμπορεύσιμη.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με ανάλυση διασποράς (ANOVA) (Statgraphics Plus 5.1). Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με το στατιστική δοκιμή Fisher των ελαχίστων σημαντικών διαφορών (LSD), σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Σύνθεση των αναπνευστικών αερίων (O₂ - CO₂) και του αιθυλενίου στο εσωτερικό των συσκευασιών

Η συγκέντρωση του Ο2 στις συσκευασίες οργανικού και συμβατικού μπρόκολου και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης παρουσίασε απότομη πτώση από τις πρώτες ημέρες. Έτσι την 3η ημέρα η συγκέντρωση του O2 στους 0 °C ήταν 3.5% στην περίπτωση του οργανικού μπρόκολου και 4.8% στην περίπτωση του συμβατικού. Οι συγκεντρώσεις αυτές διατηρήθηκαν μέχρι το τέλος της συντήρησης (14) ημέρα). Στους 5 °C την 3^η ημέρα η συγκέντρωση του Ο2 στις συσκευασίες του οργανικού μπρόκολου ήταν 1.2% και 1.5% στην περίπτωση του συμβατικού. Ισορροπία επήλθε την 7η ημέρα, οπότε η συγκέντρωση του Ο2 στις συσκευασίες του οργανικού μπρόκολου διαμορφώθηκε στο 2.5% του δε συμβατικού στο 3.1%. Οι συγκεντρώσεις αυτές διατηρήθηκαν μέχρι το τέλος της συντήρησης (14η ημέρα). Οι διαφορές μεταξύ των συσκευασιών των δύο τύπων καλλιέργειας δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (Ρ≤0.05).

Όσον αφορά στη συγκέντρωση του CO2 αυτή παρουσίασε αύξηση από τις πρώτες ημέρες. Έτσι την 3^η ημέρα, στους 0 °C ανήλθε σε ένα μέγιστο 7.3% στις συσκευασίες του οργανικού και 6.9% στις συσκευασίες του συμβατικού, στους δε 5 °C οι συγκεντρώσεις ήταν 7.7% και 7.1% αντίστοιχα. Η σταθεροποίηση επήλθε και στις δύο θερμοκρασίες την 7η ημέρα με τελικές τιμές οργανικού-συμβατικού 4.6% - 4.4% στους 0 °C και 5.3% - 5.2% στους 5 °C. Σύμφωνα με τον Saltveit (1997) η ιδανικότερη θερμοκρασία συντήρησης των ανθιδίων του μπρόκολου είναι οι 0 και 5 °C, η δε συνιστώμενη σύνθεση της ατμόσφαιρας και στις δύο αυτές θερμοκρασίες είναι 0.5% O2 και 10% CO2. OI Jones et al. (2006) αναφέρουν ότι η ιδανικότερη σύνθεση της ατμόσφαιρας για τα ανθίδια του μπρόκολου είναι 1-2% Ο2 και 5-10% CO2. Η μεγάλη μείωση της συγκέντρωσης του Ο2 μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία δυσάρεστης οσμής στο προϊόν (Lipton and Harris, 1974). Σύμφωνα με τους Jacobsson et al. διατήρηση των (2004), για τη ποιοτικών χαρακτηριστικών του μπρόκολου η συγκέντρωση τόσο του Ο2 όσο και του CO2 θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 10%.

Όσον αφορά στην παραγωγή αιθυλενίου λόγω των τομών, από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του είναι η θερμοκρασία, ο χρόνος συντήρησης και η αλληλεπίδρασή τους. Η συγκέντρωση του αιθυλενίου στις συσκευασίες και των δύο τύπων μπρόκολου και στις δύο θερμοκρασίες, παρουσίασε μία συνεχή αύξηση φθάνοντας την 3η ημέρα περίπου στο 1.0 ppm. Η συγκέντρωση αυτή στους 5 °C διατηρήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ στους 0 °C παρατηρήθηκε απότομη μείωση και η συγκέντρωση κυμάνθηκε γύρω στα 0.5 ppm και στις δύο περιπτώσεις. Το αιθυλένιο είναι φυσιολογικά ενεργό ακόμη και σε ίχνη (0.1 ppm) και η επαφή του με το μπρόκολο μπορεί να προκαλέσει έναρξη της γήρανσης. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του CO2 και οι χαμηλές του O2 στις συσκευασίες, απέτρεψαν μία μεγαλύτερη συγκέντρωση αιθυλενίου και εξουδετέρωσαν τη βιολογική του δράση που θα είχε σα συνέπεια την αποικοδόμηση της

χλωροφύλλης και τη γήρανση των ιστών. Υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ είναι γνωστό ότι ανταγωνίζονται τη δράση του αιθυλενίου (Burg and Burg, 1969), ενώ χαμηλές συγκεντρώσεις O₂ αναστέλλουν τη σύνθεση και παρεμποδίζουν τη δράση (Kader et al., 1989).

3.2 Απώλεια βάρους

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρέασαν την απώλεια βάρους ήταν η θερμοκρασία, ο τύπος της συσκευασίας, ο χρόνος συντήρησης, ο τύπος καλλιέργειας και η αλληλεπίδρασή τους. Στο τέλος της συντήρησης (14η ημέρα) τη μεγαλύτερη απώλεια (1.5%) παρουσίασε ο μάρτυρας του συμβατικού μπρόκολου στους 5 °C. Σε όλες τις περιπτώσεις η απώλεια βάρους ήταν γραμμική συνάρτηση του χρόνου συντήρησης με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού \mathbf{R}^2 (0.92<R²<0.99). Ένα από τα κύρια προβλήματα κατά τη συντήρηση του μπρόκολου είναι η μεγάλη απώλεια βάρους που επηρεάζει την εμπορικότητά του. Η επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στη μείωση της απώλειας βάρους οφείλεται κυρίως στη μείωση της διάχυσης των υδρατμών μέσω του πλαστικού συσκευασίας και στη δημιουργία έτσι μιας ατμόσφαιρας κορεσμένης σε υδρατμούς καθώς και στη μείωση της αναπνευστικής δραστηριότητας. Σύμφωνα με τον Forney (1989) το μεγαλύτερο ποσοστό (86-90%) της απώλειας βάρους οφείλεται στην απώλεια υγρασίας και το υπόλοιπο στην αποικοδόμηση οργανικών ουσιών.

3.3. Υφή

Από το Σχήμα 1 προκύπτει ότι η υφή των ανθιδίων του οργανικού και του συμβατικού μπρόκολου σε όλες τις περιπτώσεις διατηρήθηκε πολύ κοντά στα αρχικά επίπεδα και δεν παρουσιάστηκε έως και το τέλος της συντήρησης στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των χειρισμών.



Σχήμα 1. Μεταβολή της υφής ανθιδίων συμβατικού και οργανικού μπρόκολου που συντηρήθηκαν στους 0 °C και 5 °C και συσκευάσθηκαν με LDPE-30 ή PVC. (Μ.Ο, N=2 επαν.×6 δείγμ. =12).(error bars=LSD).

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι κανένας από τους παράγοντες, θερμοκρασία, συσκευασία, τύπος καλλιέργειας, που μελετήθηκαν δεν επηρέασε σημαντικά την υφή των ανθιδίων. Η υφή μαζί με το χρώμα αποτελούν τα βασικά κριτήρια ποιότητας του μπρόκολου. Η υφή επηρεάζεται από την απώλεια υγρασίας (Forney et al., 1989). Σύμφωνα με τους Finger et al. (1999), μεταβολή της υφής του μπρόκολου παρατηρείται όταν η απώλεια υγρασίας ανέρχεται στο 5%. Οι υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ και σχετικής υγρασίας στις συσκευασίες συνέβαλλαν στη διατήρηση της υφής. Ανάλογα αποτελέσματα αναφέρουν οι Serrano et al. (2006).

3.4 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C

Το μπρόκολο είναι μία από τις πλουσιότερες πηγές βιταμίνης C μεταξύ των πράσινων λαχανικών (Watt and Merril., 1975), όμως μετά τη συγκομιδή η απώλεια είναι μεγάλη (Wang, 1979). Η μεταβολή της βιταμίνης C των μπρόκολων συμβατικής και οργανικής καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της συντήρησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά (Ρ≤0.05) μεταξύ οργανικής και συμβατικής καλλιέργειας μπρόκολου. Οι παράγοντες που επηρέασαν την περιεκτικότητα σε βιταμίνη C ήταν η θερμοκρασία συντήρησης, ο τύπος της συσκευασίας και ο χρόνος συντήρησης. Η αρχική συγκέντρωση βιταμίνης C στην περίπτωση του συμβατικού μπρόκολου ήταν 74.7±7.5 mg/100 g φρέσκου βάρους, ενώ στην περίπτωση του οργανικού ήταν 73.3±9.4 mg/100 g. Οι Nath et al. (2011) αναφέρουν μία συγκέντρωση βιταμίνης C της τάξης του 130 mg/100 g φρέσκου βάρους, αλλά σημαντικό ρόλο παίζει η ποικιλία και οι συνθήκες καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης παρουσιάστηκε στην περίπτωση του συμβατικού μπρόκολου σε όλους τους χειρισμούς και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης, γραμμική μείωση (0.8<R² <0.9) γεγονός που συμφωνεί με τους Nath et al. (2011), καθώς και στο μάρτυρα στους 5 °C του οργανικού μπρόκολου. Στους υπόλοιπους χειρισμούς του οργανικού μπρόκολου η μεταβολή ήταν πολυωνυμική (0.92<R²<0.97).



Σχήμα 2. Μεταβολή της βιταμίνης C ανθιδίων συμβατικού και οργανικού μπρόκολου που συντηρήθηκαν στους 0 °C και 5 °C και συσκευάσθηκαν με LDPE-30 ή PVC. (M.O, N=2 επαν.×6 δείγμ = 12). (error bars =LSD).

Στο τέλος της συντήρησης (14^η ημέρα) στους 0 °C το συσκευασμένο με φύλλο πολυαιθυλενίου συμβατικό και οργανικό μπρόκολο παρουσίασε απώλεια της τάξης του 21% και 20%, αντίστοιχα, ενώ οι μάρτυρες παρουσίασαν απώλεια της τάξης του 39% στην περίπτωση του συμβατικού και 34.5% στην περίπτωση του οργανικού. Στους 5 °C η απώλεια σε βιταμίνη C των συσκευασμένων ανθιδίων του συμβατικού μπρόκολου ήταν 33%, ενώ του οργανικού 34.5%. Οι μάρτυρες παρουσίασαν αντίστοιχα απώλεια της τάξης του 43.7% και 45.5%. Η βιταμίνη C είναι το πιο ευαίσθητο θρεπτικό συστατικό των ανθιδίων του μπρόκολου κατά τους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς για αυτό χρησιμοποιείται και ως κριτήριο ποιότητας (Klein, 1987). Η ΜΑΡ συντελεί στη διατήρηση της βιταμίνης C. Τα πιθανά αίτια είναι η υψηλή συγκέντρωση CO₂ (Wang, 1979; Paradis et al., 2007), η μειωμένη περιεκτικότητα σε O₂, οπότε οι οξειδώσεις είναι περιορισμένες (Rai et al., 2008) και η διατήρηση υψηλών ποσοστών υγρασίας μέσα στη συσκευασία (Ezell and Wilcox, 1959).

3.5 Μεταβολή του χρώματος

Η μεταβολή του χρώματος αποδόθηκε από τη φωτεινότητα L* και τη χροιά h° και παρουσιάζεται στα Σχήματα 3 και 4.



Σχήμα 3. Μεταβολή της φωτεινότητας L* ανθιδίων μπρόκολου συμβατικής και οργανικής καλλιέργειας που συντηρήθηκαν στους 0 και 5 °C και συσκευάσθηκαν με LDPE-30. (MO, N=2 επαν.×6 δείγματα×5 μετρ/δείγμα=60). (error bars =LSD)

Τόσο στη φωτεινότητα όσο και στη χροιά, μέχρι την 7η ημέρα δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των χειρισμών (Ρ≤0.05) και στους δύο τύπους μπρόκολου. Μετά την 7η ημέρα τα ανθίδια του μάρτυρα στους 5 °C και στους δύο τύπους καλλιέργειας παρουσίασαν μία αύξηση της φωτεινότητας και μία μείωση της χροιάς. Στο τέλος της συντήρησης (14η ημέρα) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των άλλων χειρισμών τόσο στην περίπτωση της φωτεινότητας όσο και στην περίπτωση της χροιάς.



Σχήμα 4. Μεταβολή της χροιάς h° ανθιδίων μπρόκολου συμβατικής και οργανικής καλλιέργειας που συντηρήθηκαν στους 0 και 5 °C και συσκευάσθηκαν με LDPE-30. (MO, N=2 επαν.×6 δείγματα×5 μετρ/δείγμα=60). (error bars =LSD)

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη φωτεινότητα είναι η θερμοκρασία, ο τύπος της συσκευασίας, ο χρόνος συντήρησης και η αλληλεπίδρασή τους, ενώ οι παράγοντες που επηρεάζουν τη χροιά είναι η θερμοκρασία, ο τύπος της συσκευασίας, ο τύπος της καλλιέργειας και η αλληλεπίδρασή τους. Η αύξηση των τιμών της φωτεινότητας οφείλεται στο κιτρίνισμα των ανθιδίων λόγω της αποικοδόμησης της χλωροφύλλης γεγονός που μειώνει την εμπορική ζωή των ανθιδίων. Το μπρόκολο διατηρεί καλλίτερα το χρώμα του σε χαμηλή θερμοκρασία και σε μία ατμόσφαιρα πτωχή σε O₂ και πλούσια σε CO₂ (Cefola et al., 2010).

3.6 Ολική οπτική ποιότητα

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι παράγοντες που επιδρούν στην ολική οπτική ποιότητα του μπρόκολου είναι η θερμοκρασία συντήρησης, ο τύπος της καλλιέργειας, η συσκευασία. ο χρόνος συντήρησης και η αλληλεπίδραση τους. Στην αρχή της συντήρησης δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων μπρόκολου (συμβατικής και οργανικής καλλιέργειας). Η συσκευασία με LDPE-30 διατήρησε τόσο το συμβατικό όσο και το οργανικό μπρόκολο και στις δύο θερμοκρασίες εμπορεύσιμο μέχρι το τέλος της συντήρησης. Όσον αφορά στους μάρτυρες, στο συμβατικό μπρόκολο ο μάρτυρας στους 0 °C ήταν εμπορεύσιμος μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ ο μάρτυρας στους 5 °C μέχρι την 7η ημέρα. Στο οργανικό μπρόκολο ο μάρτυρας στους 0 °C ήταν οριακά εμπορεύσιμος την 14η ημέρα, ενώ ο μάρτυρας στους 5 °C ήταν εμπορεύσιμος μέχρι την 7^η ημέρα. Τα αποτελέσματα μας συμφωνούν με αυτά άλλων ερευνητών (Jacobsson et al., 2004; Jones et al., 2006, Nath et al., 2011).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση πλαστικής συσκευασίας επιμήκυνε την εμπορική ζωή του μπρόκολου και των δύο καλλιεργειών για 14 ημέρες. Η χαμηλότερη θερμοκρασία συντήρησης (0 °C) διατήρησε καλλίτερα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τόσο του συμβατικού όσο και του οργανικού μπρόκολου. Τέλος δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ως προς τα μελετηθέντα ποιοτικά χαρακτηριστικά μεταξύ της συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας μπρόκολου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Burg, S.P., and Burg, EA., 1969. Interaction of ethylene. oxygen and carbon dioxide in the control of fruit ripening. Qual. Plant Mater Veg. 19:185-190.
- Cefola, M., Amodio, M.L., Cornacchia, R., Rinaldi, R., Vanadia, S., & Colelli, G., 2010. Effect of atmosphere composition on the quality of ready-touse broccoli var raab (*Brassica rapa* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 90:789-797.
- Dreezens, E., Martijn, C., Tenbult, P., Kok, G., Vries, N., 2005. Food and values: an examination of values underlying attitudes toward genetically modified- and organically grown food products. Appetite 44:115–22.
- Ezell., B.D., and Wilcox, MS., 1959. Loss of vitamin C in fresh vegetables as related to wilting and temperature. J. Agr. Food Chem. 7:567-572.
- Finger, F.L., Endres, L., Mosquin, P.R., and Puiatti, M., 1999. Physiological changes during postharvest

senescence of broccoli, Pesq. agropec bras, Brasília, 34(9):1565-1569.

- Forney, C.F., & Rij, R.E., Ross, S.R., 1989. Measurement of broccoli respiration rate in film wrapped packages. HortScience, 24:111–113.
- Gertmenian, D., 1992. Maximum shelf-life is critical in fresh cut marketing. Produce Business, Oct. 1992, p.76.
- Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010. Mise en place et évaluation d'une méthodologie pour intégrer les aspects sensoriels des légumes dans la sélection pour l'Agriculture Biologique (AB). Projet Européen SOLIBAM 2009/2010.
- Jacobsson, A., Nielsen, T., Sjoholm, I., 2004. Influence of temperature, modified atmosphere packaging, and heat treatment on aroma compounds in broccoli. J. Agric. Food Chem. 52: 1607–1614.
- Jones, R.B., Faragher, J.D., Winkler, S., 2006. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (Brassica oleracea var. Italica) heads. Postharvest Biol. Technol. 41:1–8.
- Kader, A.A., Zagory, D., and Kerbel, E., 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 29:1-30.
- Klein, B.P., 1987. Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. J. Food Qual., 10:179-183.
- Lipton, W.J., & Harris, C.M., 1974. Controlled atmosphere effects on the market quality of stored broccoli. Journal of American Society of Horticultural Science, 99(3):200–205.
- Nath, B., Bagchi, L.K., Misra, Bidyut, C., Deka, 2011. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. Food Chemistry 127:1510–1514.

- Paradis, C., Castaigne, F., Desrosiers, T., Fortin, J., Rodrigue, N., Willemot, C., 2007. Sensory, nutrient and chlorophyll changes in broccoli florets during controlled atmosphere storage, Journal of Food Quality, 19(4):303-316.
- Rai, D. R., Tyagi, S. K., Jha, S. N., & Mohan, S., 2008. Qualitative changes in the broccoli (*Brassica* oleracea Italica) under modified atmosphere packaging in perforated polymeric film. Journal of Food Science and Technology, 45(3):247–250.
- Saltveit, M.E., 1997. A summary of CA and MA recommendations for harvested vegetables. In: M.E. Saltveit (ed) Vegetables and ornamentals. Postharvest Hort. Series No 18, Univ. Calif.Davis CA, CA'97Proc. 4:98-117.
- Serrano, M., Martinez-Romero, Guillen, f., Castillo, S., Valero, D., 2006. Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. Postharvest Biol. Technol. 39:61-68.
- Wang, C.Y., 1979. Effect of short-term high CO₂ treatment on the market quality of stored broccoli. J. Food Sci. 44:1478-1482.
- Watt. B.K. and Merrill. A.L., 1975. Composition of food. U.S. Dept.Agr. Agr. Handbook, 8.
- Winter, CK., Davis, SF., 2006. Organic foods. Journal of Food Science, 71: R117- R124.
- Yiridoe, EK., Bonti-Ankomah, S., Martin, RC., 2005. Comparison of consumer perceptions and preference toward organic versus conventionally produced foods: A review and update of the literature. Renewable Agriculture and Food Systems, 20:193-205.
- Yuan, G., Sun, B., Yuan, J., & Wang, Q., 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets. Food Chemistry, 118:774–781.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΑΖΑΣ ΝΩΠΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY" ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΨΥΞΗ

Δ. Λέντζου, Ι. Καρούσος, Ε. Μανωλοπούλου¹ και Γρ. Λαμπρινός

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, ΑθήναΤηλ. 210 529 4029 Fax. 210 529 4032, e-mail: refrigenergy@aua.gr\ ¹ Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας, Σχολή Τ.Ε.Γ., Τμήμα Φ.Π., Αντικάλαμος-Καλαμάτα, Τ.Κ. 24100, e-mail: arte_lampr@yahoo.gr

Στόχος της μελέτης αυτής είναι ο ποσοτικός διαχωρισμός των φυσιολογικών και των φυσικών απωλειών μάζας νωπών καρπών τομάτας τύπου "cherry" κατά τη συντήρησή τους. Η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων απώλειας μάζας των καρπών οδήγησε σε εκθετικής μορφής συσχετίσεις του ρυθμού των ολικών απωλειών μάζας με το έλλειμμα πίεσης υδρατμών του χώρου συντήρησης με υψηλό προσαρμοσμένο συντελεστή προσδιορισμού (R²adj>0.96), καθώς και του ρυθμού των φυσιολογικών απωλειών μάζας συναρτήσει της θερμοκρασίας (R²adj=0.99) από τις τομάτες (συσκευασμένες και ασυσκεύαστες) που συντηρήθηκαν σε κορεσμένη υγρασιακά ατμόσφαιρα. Η διαφορά τιμών των δύο αυτών σχέσεων, εκφράζει το ρυθμό αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών, ο οποίος αποδίδεται μαθηματικά μέσω μιας εκθετικής σχέσης με το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (R²adj=0.87). Από τις σχέσεις φυσικών και φυσιολογικών απωλειών μάζας, είναι δυνατή η πρόβλεψη των ολικών απωλειών μάζας τομάτας τύπου "cherry", γνωρίζοντας τη μέση θερμοκρασία και σχετική υγρασία του χώρου συντήρησης.

Λέξεις κλειδιά: απώλειες μάζας, τομάτα "cherry", συντήρηση με ψύξη

MASS LOSS PREDICTION OF "CHERRY" TOMATO DURING COLD STORAGE

D. Lentzou, J. Karoussos, E. Manolopoulou¹ and Gr. Lambrinos

Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens–Greece, Tel. +3 210 5294029 & 4031, Fax. +3 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr 1T.E.I. of Kalamata, Dept. of Crop Science, 24 100, Antikalamos, Kalamata e-mail: arte_lampr@yahoo.gr

The aim of this work is to study the cold stored "cherry" type tomato in order to evaluate the mass losses due to, firstly, physiological and, secondly, physical phenomena. The produce were stored in different combinations of storage temperatures and relative humidities. The analysis showed that the total mass loss rate of the "cherry" tomatoes varies exponentially with the water vapour pressure deficit (R^2_{adj} =0.960), while the mass loss rate of the tomatoes stored in vapour saturated conditions (physiological losses) also varies exponentially with the storage temperature (R^2_{adj} =0.991). The difference between the values of the previous relationships describes only the physical mass losses, which are also expressed via an exponential relationship (R^2_{adj} =0.866) indicating that the dehydration rate varies according to the water vapour pressure deficit. These two derived expressions of physical and physiological mass losses allow us to predict the overall mass losses during the cold storage of "cherry" tomato, knowing the average temperature and relative humidity of the cold store.

Keywords: mass loss, "cherry" tomato, cold storage

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα νωπά φρούτα και λαχανικά χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Η μείωση της θερμοκρασίας αποσκοπεί στη μείωση της βιολογικής δραστηριότητας, στον περιορισμό των απωλειών μάζας (κυρίως υγρασίας) και τελικά στη διατήρηση της ποιότητας και στην αύξηση του χρόνου συντήρησης (Woods, 1990). Η απώλεια μάζας πέραν κάποιας συγκεκριμένης τιμής, μπορεί να οδηγεί σε εμπορική απαξίωση, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για νωπά προϊόντα που αφυδατώνονται εύκολα (Gorini et al., 1979; Kays, 1991). Έχουν αναπτυχθεί αρκετά μαθηματικά μοντέλα για την περιγραφή και εκτίμηση του φαινομένου της απώλειας μάζας και ειδικότερα της αφυδάτωσης (Sastry et al., 1978; Sastry and Buffington, 1982; Becker and Fricke, 1994; Whitelock et al. 1999), με επικρατέστερο μοντέλο αυτό που θεωρεί ότι το νερό εξατμίζεται διαμέσου της επιδερμίδας προς τον περιβάλλοντα αέρα. Τα μοντέλα αυτά ωστόσο, παρουσιάζουν σημαντικά λάθη εκτίμησης σε προϊόντα με έντονο ρυθμό αναπνοής ή σε συνθήκες με χαμηλό έλλειμμα πίεσης υδρατμών καθώς δεν μπορούν να διακρίνουν το φυσιολογικό από το φυσικό φαινόμενο. Τα τελευταία χρόνια διάφορες έρευνες (Van Dijk et al., 2006; Ψυχογιού κ.ά., 2009; Σάββας κ.α., 2013) έδειξαν ότι οι απώλειες μάζας εξαρτώνται από το έλλειμμα πίεσης υδρατμών το οποίο είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών εκφράζεται μέσω μιας εκθετικής σχέσης του ελλείμματος πίεσης υδρατμών, ενώ το φυσιολογικό φαινόμενο μέσω μιας εκθετικής σχέσης της θερμοκρασίας συντήρησης.

Θεωρώντας ότι ο ρόλος των φυσιολογικών φαινομένων (αναπνοή-διαπνοή) είναι πολύ πιο

σημαντικός απ' όσο εκτιμούν τα παλαιότερα μοντέλα ειδικά σε υψηλά επίπεδα υγρασίας, κρίθηκε σκόπιμο στη παρούσα εργασία να μελετηθεί το φαινόμενο σε επιτραπέζια συντηρούμενα τοματίνια, προσπαθώντας να διακριθούν οι φυσιολογικές από τις φυσικές απώλειες και να αναπτυχθούν μαθηματικές σχέσεις πρόβλεψής τους.

2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

Σε δύο διαδοχικές πειραματικές σειρές σειρές (40 χέρι συλλογής της εαρινής καλλιέργειας και 1° χέρι της θερινής καλλιέργειας στον ίδιο αγρό), χρησιμοποιήθηκαν καρποί επιτραπέζιας μικρόκαρπης τομάτας τύπου "cherry" (υβρίδιο Iron F1), σταδίου ωριμότητας 4, "Pink", οι οποίοι συλλέχθηκαν από τοπικό παραγωγό (Μαραθώνα, Αττική). Οι τομάτες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου μετά τη διαλογή τους τοποθετήθηκαν ανά ομάδες σε ανοικτά πλαστικά κεσεδάκια, σε θαλάμους θερμοκρασιών 10 °C και 20 °C και σε κελιά εντός των θαλάμων που εξασφάλιζαν με κορεσμένα διαλύματα αλάτων; σταθερή σχετική υγρασία από 48% έως 99% σε τρία επίπεδα. Η μέτρηση της αναπνοής και η αρχική ζύγιση των καρπών έγινε την επόμενη ημέρα μετά την αποκατάσταση της τελικής θερμοκρασίας κάθε ομάδας. Οι τομάτες που προορίζονταν να συντηρηθούν εντός συσκευασιών (πλαστικό φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας πάχους 50 μm), χωρίστηκαν ομοίως σε ομάδες πριν τοποθετηθούν στους αντίστοιχους θαλάμους μαζί με τα υλικά συσκευασίας, προκειμένου να επέλθει θερμική εξισορρόπηση και να αποφευχθεί η εμφάνιση συμπυκνωμάτων κατά και μετά τη συσκευασία τους, η οποία πραγματοποιήθηκε με θερμική συγκόλληση εντός των χώρων συντήρησης, την επομένη ημέρα. Τη συσκευασία ακολούθησε διάτρηση (δύο οπές διαμέτρου 1.0 mm) και ζύγιση ολόκληρων των συσκευασιών εντός των θαλάμων. Η ανάλυση των αερίων (Ο2 και CO2) εντός των συσκευασιών γινόταν καθημερινά με τη βοήθεια αναλυτή οξυγόνουδιοξειδίου του άνθρακα (CHECK MATE 9900 PBI, Dansensor Co., Denmark) προκειμένου να ελέγχεται η καλή οξυγόνωση. Για τη διευκόλυνση της δειγματοληψίας των αναπνευστικών αερίων από τις συσκευασίες, είχε επικολληθεί σε κάθε μια από αυτές ειδικό διάφραγμα (septum).

0 μετρήσεις της αναπνοής τόσο των ασυσκεύαστων καρπών, όσο και των συσκευασμένων μετά τη σταθεροποίηση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας, πραγματοποιήθηκαν με τη φορητή διάταξη RICKLOS (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός, κ.α., 2006; Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2006), σε ειδικούς αναπνευστικούς θαλάμους, με διακριτική ικανότητα της συσκευής 25 ppm CO2 και ακρίβεια ±50 ppm CO₂.

Η μέτρηση της μάζας των καρπών πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρονικό ζυγό AND (FA– 2000) ακριβείας ±0.02g. Θεωρήθηκε ότι οι απώλειες μάζας των ασυσκεύαστων καρπών τομάτας συνιστούν φυσιολογικές και φυσικές απώλειες, ενώ αυτές των συσκευασμένων καρπών και των καρπών που συντηρούνται στα κελιά κορεσμένης υγρασίας αντιπροσωπεύουν μόνο φυσιολογικές απώλειες εφόσον το έλλειμμα πίεσης υδρατμών σε αυτές τις συνθήκες είναι πρακτικά μηδέν.

Η καταγραφή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας όλων των χώρων συντήρησης έγινε με σύστημα καταγραφής Hobo Micro Station, συνδεδεμένο με αισθητήρες Hobo H8 ακριβείας ±0.7 °C και ±3% θερμοκρασία και σχετική υγρασία αντίστοιχα.

Η στατιστική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα Statgraphics Centurion XV.I. Οι μέσες τιμές καθώς και τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης, υπολογίστηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας Ρ≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑ

Η στατιστική σύγκριση των μέσων τιμών της αναπνοής (ασυσκεύαστης τομάτας) των δύο διαδοχικών πειραματικών σειρών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι δύο σειρές δε διαφέρουν σημαντικά (P=0.455>0.05). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της αναπνοής προκύπτει ομοίως ότι η αναπνευστική δραστηριότητα της συσκευασμένης και της ασυσκεύαστης τομάτας συντηρούμενης εντός κελιών με κορεσμένη σε υγρασία ατμόσφαιρα, δεν διαφέρει σημαντικά (P=0.541>0.05).

Οι απώλειες μάζας της ασυσκεύαστης τομάτας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης (Σχήμα 1) παρουσιάζουν γραμμική μεταβολή της μορφής, *ML* =*a*×*t*, όπου: *ML* οι απώλειες μάζας (%), *α* η κλίση της ευθείας, και *t* ο χρόνος συντήρησης (d).



Σχήμα 1. Ποσοστό απωλειών μάζας ασυσκεύαστων τοματών της 2^{ης} πειραματικής σειράς συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, στους 20 °C σε τρείς σχετικές υγρασίες.

Δεδομένου ότι το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό απωλειών για την τομάτα είναι 7% (Thanh, 2006), προκύπτει ότι οι τομάτες που συντηρούνται στους 20 °C και σε σχετική υγρασία κάτω από 65% πρακτικά μετά από 6 ημέρες καθίστανται, από πλευράς απωλειών μάζας, μη εμπορεύσιμες.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις συνθήκες συντήρησης (μέση θερμοκρασία, μέση σχετική υγρασία), την κλίση α και το συντελεστή προσδιορισμού R² των σχέσεων που προκύπτουν για την απώλεια μάζας, από τις δύο πειραματικές σειρές.

Ο ρυθμός απωλειών μάζας της τομάτας τύπου "cherry" συναρτήσει του χρόνου συντήρησης μπορεί να περιγραφεί (Σχήματα 2 & 3) για διάφορες θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες από λογαριθμικές σχέσεις με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού (0.90<R²<0.96) της μορφής MLR=A+B×In(t), όπου: MLR ο ρυθμός απωλειών μάζας (g/kg d) και t ο χρόνος (d).

Όπως ήταν αναμενόμενο, στις υψηλές θερμοκρασίες συντήρησης, στις χαμηλές σχετικές υγρασίες και στην αρχή του χρόνου παρατηρούνται οι μεγαλύτεροι ρυθμοί απώλειας μάζας. Με βάση τις μέσες ημερήσιες απώλειες μάζας (σε συνθήκες κορεσμού) και σε θερμοκρασίες 10 °C και 20 °C καρπών τομάτας τύπου "cherry", έγινε προσπάθεια έκφρασης των φυσιολογικών απωλειών μάζας συναρτήσει της θερμοκρασίας συντήρησης.

Πίνακας 1. Μέσες συνθήκες συντήρησης, μέσες κλίσεις (α) και συντελεστές προσδιορισμού (R²) των απωλειών μάζας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης.

ΘС		RH (%)	а	R ²
		87	0.328	0.985
	10	91	0.186	0.980
		67	0.589	0.948
		70	0.491	0.959
	20	99	0.071	0.976
		76	0.384	0.974
		91	0.150	0.995
	10	97	0.026	0.878
		49	0.459	0.967
		64	0.908	0.991
	20	96	0.119	0.926
		74	0.849	0.995

Η σχέση που περιγράφει το φαινόμενο για τα τοματίνια Iron με πολύ υψηλό συντελεστή προσδιορισμού (R²=0.991) είναι εκθετική:

όπου MLR_{physiol} ο ρυθμός απωλειών μάζας φυσιολογικής φύσεως (g/kg d) και θ η θερμοκρασία συντήρησης (°C).

Εάν από τις τιμές των ολικών απωλειών μάζας αφαιρεθούν οι φυσιολογικές απώλειες μάζας που δίνει η προηγούμενη σχέση και οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε θερμοκρασία συντήρησης, προκύπτουν οι απώλειες μάζας που οφείλονται σε φυσικές καθαρά διεργασίες, δηλαδή διάχυση υδρατμών λόγω ελλείμματος πίεσης υδρατμών στον αντίστοιχο χώρο συντήρησης.

Έτσι προκύπτει η εκθετική σχέση (2) με ικανοποιητικό συντελεστή προσδιορισμού (R²=0.866):

MLR_{physic}=0.22×e 4.482×ΔPv

(2)

(1)

όπου, MLR_{physic} ο ρυθμός απωλειών μάζας λόγω διάχυσης (g/kg·d)και ΔΡ_v το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (kPa). Οι συνολικές επομένως απώλειες μάζας συντηρούμενης τομάτας "cherry" εκφράζονται από τη σχέση (3):

$$MLR_{total} = 0.22 \times e^{4.482 \times \Delta P_{v}} + 0.059 \times e^{0.14 \times \theta}$$
(3)

Με βάση τη σχέση (3) είναι δυνατή η εκτίμηση (πρόβλεψη) των συνολικών απωλειών μάζας συντηρούμενης τομάτας "cherry", όταν είναι γνωστές από καταγραφές του χώρου συντήρησης η μέση θερμοκρασία και η μέση σχετική υγρασία.

Ενδεικτικά παρουσιάζεται στο Σχήμα 4 ο ρυθμός απωλειών μάζας βιολογικής τομάτας που συντηρείται σε διάφορες θερμοκρασίες και μέσες σχετικές υγρασίες 70%, 80%, και 90%.



Σχήμα 2. Μεταβολή του ημερήσιου ρυθμού απωλειών μάζας (g/kg d) με το χρόνο συντήρησης για θερμοκρασία συντήρησης 10 °C και RH=49% και 97%.



Σχήμα 3. Μεταβολή του ημερήσιου ρυθμού απωλειών μάζας (g/kg.d) με το χρόνο συντήρησης για θερμοκρασία 20 °C (RH 76% και 99%).



Σχήμα 4. Μεταβολή του ρυθμού απωλειών μάζας τομάτας τύπου "cherry" με τη θερμοκρασία συντήρησης για τρεις σχετικές υγρασίες 70%, 80% και 90% (μέσες τιμές).

Είναι άξιο προσοχής το γεγονός ότι οι φυσιολογικές απώλειες στις χαμηλές θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες αποτελούν ένα σημαντικότατο ποσοστό που μπορεί να υπερβαίνει το 50%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων απώλειας μάζας τόσο των ασυσκεύαστων όσο και των συσκευασμένων καρπών τομάτας οδήγησε με υψηλή προσέγγιση (0.961≤R²≤0.999) σε εκθετικής μορφής συσχετίσεις του ρυθμού των ολικών και φυσιολογικών απωλειών μάζας. Η διαφορά τιμών των δύο αυτών καμπυλών οδήγησε σε μια εκθετική επίσης σχέση (R²=0.866) που εκφράζει το ρυθμό αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης υδρατμών του χώρου συντήρησης.

Καταγράφοντας λοιπόν τις συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ενός ψυκτικού θαλάμου και με βάση τις δύο τελευταίες σχέσεις, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί (προβλεφθεί) ο ρυθμός ολικών απωλειών μάζας (από φυσιολογικές και φυσικές διεργασίες) της τομάτας "cherry" μετά από συγκεκριμένο χρόνο συντήρησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Becker B. R. and Fricke B. A., 1996. Transpiration and respiration of fruits and vegetables. *Proceedings of the Int. Meeting "New Developments in Refrigeration"*, Lexington, pp. 110–121.
- Gorini F. L., Sozzi A., Rosati P. and Faedi W., 1979. Weight losses of standard and spur clones of Golden Delicious apples during storage. *Proceedings of XVth Int. Congress of Refrigeration*, Vol. III, pp. 799–806, Venice.
- Kays S. J., 1991. Postharvest physiology of perishable plant products. Ed.Van Nostrand Reinhold, New York.

- Sastry S. K. & Buffington D.E., 1982. Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes, *Transactions of ASHRAE*. 88:159–184.
- Sastry S. K., Baird C. D. and Buffington D. E., 1978. Transpiration rates of certain fruits and vegetables. *Transactions of ASHRAE*. 84(1):237–255.
- Thanh C.D., 2006. Introduction to the Postharvest Physiology of Tomato and Chilli. RETA 6208 Training–Workshop on Postharvest Research and Technology Development.
- Van Dijk C., Boeriu C., Peter F., Stolle-Smits T., Tiskens L.M.M, 2006. The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 1. Kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss, Journal of Food Engineering 77:417-26.
- Whitelock D.P., Brusewitz G.H. and Ghajar A.J., 1999. Thermal/Physical Properties Affect Predicted Weight Loss of Fresh Peaches, *American Society of Agricultural Engineers*, 42(4):1047–1053.
- Woods J.L., 1990. Moisture loss from fruits and vegetables. *Postharvest News and Information*, 1(3):195–199.
- Λαμπρινός Γρ. και Μητρόπουλος Δ., 2004. Φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI). Αρ. Ευρεσιτεχνίας 1004590/07–06–2004.
- Λαμπρινός Γρ. και Μητρόπουλος Δ., 2006. Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού Αναπνοής Καρπών που είναι συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI). Αρ. Ευρεσιτεχνίας1005305/02–07–2006.
- Λαμπρινός Γρ., Μανωλοπούλου Ε. και Μητρόπουλος Δ., 2006. Αναπνευστικός Θάλαμος, Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του Ρυθμού Αναπνοής Καρπών, ΔΕ ΟΒΙ αριθ. 1005205/02–05– 2006.
- Σάββας Μ., Μουζάκης Π., Ξανθόπουλος, Γ., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε. και Λαμπρινός Γρ., 2013 Επίδραση των συνθηκών συντήρησης, στους ποιοτικούς χαρακτήρες τομάτας ¨Ελπίδα Πρακτικά 8^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος.
- Ψυχογιού Στ., Κατσογιάννη Α., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Γ., Χατζής Ε., και Λαμπρινός Γρ., 2009. Εκτίμηση των απωλειών μάζας νωπής τομάτας βιολογικής καλλιέργειας κατά την συντήρηση της με ψύξη, Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σσ. 841-848

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΑΖΑΣ, ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ

Αναστάσιος Καφούρος, Γεώργιος Ξανθόπουλος, Διαμάντω Λέντζου, Ευάγγελος Αραβαντινός-Καρλάτος, Γρηγόριος Λαμπρινός

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα ΑΦΠ και ΓΜ, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, xanthopoulos@aua.gr

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε ξήρανση αποφλοιωμένων και μη βερίκοκων (var. Tom Cot), για τη μελέτη των συντελεστών μεταφοράς μάζας, της διάχυσης καθώς και της μικροδομής τους. Μελετήθηκαν επτά ημι-εμπειρικά μοντέλα και από αυτά επιλέχθηκε το λογαριθμικό. Για την αναλυτική επίλυση του *N. Fick* με τη μέθοδο των κλίσεων και τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης, έγινε γεωμετρικός μετασχηματισμός στα δείγματα από κούφιες σφαίρες σε συμπαγείς. Ο συντελεστής διάχυσης για τα αποφλοιωμένα δείγματα κυμάνθηκε μεταξύ 1.5×10⁻¹⁰-4.6×10⁻¹⁰ m²/s ενώ για τα μη αποφλοιωμένα μεταξύ 1.1×10⁻¹⁰-3.8×10⁻¹⁰ m²/s. Η μελέτη της μικροδομής σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, έδειξε ρηγματώσεις του φλοιού και της σάρκας που μπορεί να εξηγήσουν τις μεταβολές των θερμοφυσικών ιδιοτήτων, ενώ στα αποφλοιωμένα δείγματα ο υψηλότερος ρυθμός ξήρανσης οδήγησε στη συγκέντρωση σακχάρων στην επιφάνεια των δειγμάτων και στη μείωση των εμφανιζόμενων ρηγματώσεων στο εσωτερικό της σάρκας.

Λέξεις κλειδιά: ξήρανση, βερίκοκο, συντελεστής διάχυσης, μικροδομή.

STUDY OF THE MASS TRANSFER AND DIFFUSION COEFFICIENTS AND OF THE MICROSTRUCTURAL CHANGES DURING AIR-DRYING OF APRICOTS

Anastasios Kafouros, George Xanthopoulos, Diamanto Lentzou, Evagellos Aravantinos-Karlatos, Grigorios Lambrinos

Laboratory of Farm Machinery, Department of N.R.M. and A.E., Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Str., Botanikos, GR-11855, Greece, e-mail: xanthopoulos@aua.gr

In the present study, drying of whole peeled and unpeeled apricots (*var. Tom cot*) was carried out to investigate the mass transfer coefficient, the diffusion coefficient and the microstructural changes. Seven semi-empirical models were tested and among them the logarithmic was the most efficient. The *Fickian* diffusion was evaluated by an analytical solution and due to its complexity the hollow spheres transformed into compact employing an equivalent radius. The diffusion coefficient for the peeled samples was ranged between $1.5 \times 10^{-10} - 4.6 \times 10^{-10}$ m²/s m²/s and for the unpeeled between $1.1 \times 10^{-10} - 3.8 \times 10^{-10}$. Microstructure observations from a scanned electron microscope revealed cracks on the epidermis and flesh, which can provide an insight of the thermophysical changes taking place during drying. The high drying rates of the peeled samples resulted in accumulation of sugars on the samples' surface and in lesser cracks in the flesh.

Keywords: drying, apricot, diffusion coefficient, microstructure.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξήρανση αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους συντήρησης αγροτικών προϊόντων λόγω της προστιθέμενης αξίας των τελικών προϊόντων και κυρίως των αποξηραμένων στον ήλιο. Η ξήρανση αποτελεί μια σύνθετη θερμοφυσική και βιοχημική διεργασία η οποία από ταυτόχρονη χαρακτηρίζεται μεταφορά θερμότητας και υγρασίας. Το βερίκοκο (Prunus armeniaca L.) είναι ένα αρκετά ευαίσθητο προϊόν με σύντομη μετασυλλεκτική ζωή για αυτό και η αποξήρανσή του είναι αρκετά διαδεδομένη. Αν και υπάρχουν αρκετές μελέτες πάνω στην ξήρανση βερίκοκου με θερμό αέρα, μερικές πρόσφατες είναι των lhns et al. (2011), Igual et al. (2012), Albanese et al. (2013), καμία δεν έχει ασχοληθεί με την επίδραση της επιδερμίδας στην εξέλιξη του φαινομένου.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη των συντελεστών μεταφοράς μάζας και διάχυσης, του ρυθμού ξήρανσης καθώς και της μικροδομής κατά την ξήρανση αποφλοιωμένων και μη βερίκοκων. Για τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης εφαρμόστηκε η αναλυτική επίλυση του *Ν. Fick* με τη μέθοδο των κλίσεων αφού πρώτα τα βερίκοκα μετασχηματίστηκαν γεωμετρικά από "κούφιες" σε συμπαγείς σφαίρες. Τέλος μελετήθηκε η μικροδομή σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης του φλοιού και της σάρκας κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης Deff υπολογίστηκε με μια τροποποιημένη μέθοδο σύγκρισης των κλίσεων της θεωρητικής και της πειραματικής καμπύλης ξήρανσης (Karathanos et al. 1990) βασισμένη στον 2° Ν. *Fick*. Η αναλυτική λύση του Ν. *Fick* σε σφαιρικές συντεταγμένες (ακτινική διάχυση) περιγράφεται από την Εξ. 1 στην οποία η ακτίνα r και ο συντελεστής διάχυσης Deff είναι σταθερά. Στην παρούσα εργασία μια τροποποίηση της προηγούμενης μεθόδου η οποία αναλύθηκε μαθηματικά από τους Ruiz-López et al. (2012), επιτρέπει τη χρήση των r και Deff ως υγρασιακά εξαρτώμενων. Στην Εξ. 1 περιγράφεται η διάχυση υγρασίας σε συμπαγή σφαίρα.

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 Fo\right)$$
(1)

όπου Fo=D_{eff}tr_z⁻² είναι ο αριθμός Fourier, n ο αριθμός των όρων που αναπτύσσονται στη σειρά και re η ισοδύναμη ακτίνα (m). Στην περίπτωση της ξήρανσης ενός προϊόντος με τον πυρήνα του, η κατάσταση περιπλέκεται, εφόσον ο πυρήνας πρώτον δε συρρικνώνεται, και δεύτερον δεν συμμετέχει στη διάχυση της υγρασίας. Οι Lü and Bülow (2000) μελέτησαν τη διάχυση υγρασίας σε μία "κούφια" σφαίρα με εσωτερική ακτίνα a και εξωτερική b, θεωρώντας την εσωτερική επιφάνεια αδιαπέρατη στη διάχυση υγρασίας και την εξωτερική επιφάνεια σταθερής υγρασίας. Πρότειναν δε, την υιοθέτηση της ισοδύναμης ακτίνας σφαίρας η οποία προκύπτει από την ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών MR από την Εξ. 1 για "συμπαγή" σφαίρα και αυτήν από αντίστοιχη "κούφια σφαίρα". Βάσει της προηγούμενης μεθόδου, η ισοδύναμη ακτίνα σφαίρας re υπολογίστηκε από τη σχέση $r_{a} = b - a^{3}/b^{2}$. Η εξωτερική (b) και η εσωτερική (a) ακτίνα υπολογίστηκαν από την αντίστοιχη ογκομέτρηση των αποξηραινόμενων δειγμάτων για την εξωτερική ακτίνα και των πυρήνων για την εσωτερική ακτίνα. Οι κλίσεις των πειραματικών καμπυλών ξήρανσης (dMR/dt)exp και των αντίστοιχων θεωρητικών (dMR/dFo)th εκτιμήθηκαν σε κάθε πειραματική τιμή MR στο εύρος MR₀=1.0 έως MR_f=0.07 μέσω αριθμητικής παραγώγισης (μέθοδος παρεμβολής Lagrange). Τέλος, ο Deff υπολογίστηκε από την Εξ. 2 για το εύρος των πειραματικών τιμών MR για τις οποίες η ισοδύναμη ακτίνα re είναι υγρασιακά εξαρτώμενη εφόσον η εξωτερική ακτίνα (b) είναι επίσης υγρασιακά εξαρτώμενη όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω. Εφόσον η κλίση των καμπυλών ξήρανσης μεταβάλλεται με την εξέλιξη του φαινομένου η αντίστοιχη τιμή του Deff μεταβάλλεται και αυτή με την περιεχόμενη υγρασία των αποξηραινόμενων δειγμάτων καθιστώντας το πρόβλημα μη-γραμμικό. Η θερμοκρασιακή εξάρτηση των τιμών του Deff εκφράστηκε από την Εξ. 3 όπου T η θερμοκρασία ξήρανσης (K), R η σταθερά των αερίων (8.314 J/mol K), E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol) και a', b', D₀ παράμετροι της Εξ. 3. Η εύρεση των τιμών των Do, Ea, a' και b' έγινε με τον αλγόριθμο Levenberg-Marguardt un νραμμικής βελτιστοποίησης.

$$D_{eff} = \frac{(dMR/dt)_{exp}}{(dMR/dFo)_{th}} r_e^2$$
(2)

$$D_{eff} = D_{o} exp \left[-Ea/RT + a'/MR - b'/MR^{2} \right]$$
(3)

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Πρώτη ύλη και πειραματική διαδικασία

Πραγματοποιήθηκαν 3 πειράματα ξήρανσης στους 45, 55 και 65 °C σε αποφλοιωμένα και μη δείγματα. Οι ογκομετρήσεις πραγματοποιούνταν με τη μέθοδο της εμβάπτισης. Λόγω της γεωμετρίας του προϊόντος, το οποίο προσομοιάζει σε μη συμπαγές σφαιροειδές, και της συρρίκνωσης που υφίσταται κατά την ξήρανση, υιοθετήθηκε η υπόθεση ότι τα αποξηραινόμενα δείγματα ακολουθούν ομοιόμορφη συρρίκνωση σφαίρας στην οποία ο όγκος της ισούται με τον ογκομετρούμενο όγκο των αφυδατούμενων δειγμάτων με V_{σφαίρας}=(4/3)πb³, όπου b η εξωτερική ακτίνα ισοδύναμης σφαίρας. Πριν την αποφλοίωση, τα βερίκοκα ζεματίζονταν για 20-25 s σε ζεστό νερό 90 °C. Στα πειράματα, σε 5 δείγματα γινόταν ζύγιση ανά 1 h και σε 3 διαφορετικά δείγματα κάθε 2 h ζύγιση και ογκομέτρηση, ενώ 9 άλλα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη της μικροδομής του φλοιού και της σάρκας σε διάφορες φάσεις της ξήρανση των ξήρανσης. Н δειγμάτων ολοκληρωνόταν όταν то βάρος των αποξηραινόμενων δειγμάτων παρέμενε αμετάβλητο. Μετά το τέλος των πειραμάτων τα δείγματα τοποθετούνταν στους 105 °C για 24 h για τον προσδιορισμό της ξηράς τους ουσίας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα ξήρανσης είχε μέση μάζα και περιεχόμενη υγρασία αντίστοιχα για τα αποφλοιωμένα δείγματα 27.5±3.4 g και 4.4±0.4 kgw/kgdm ενώ για τα μη αποφλοιωμένα 31.7±2.9 g και 4.6±0.5 kgw/kgdm. Η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα του ξήρανσης καταγραφόταν από αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA) οι οποίοι συνδέονταν με σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro Station (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA). Or αισθητήρες ήταν διακριτικής ικανότητας 0.4 °C, 0.5% και ακρίβειας ±0.7 °C, ±3% αντίστοιχα για θερμοκρασία και υγρασία. Η μελέτη της μικροδομής έγινε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης τύπου JSM-6360 (JEOL, Tokyo, Japan). Η στατιστική ανάλυση έγινε στο στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Virginia, USA) σε επίπεδο σημαντικότητας Ρ≤0.05.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Εύρεση κατάλληλου μοντέλου ξήρανσης-Ρυθμός ξήρανσης

Ο μέσος ρυθμός ξήρανσης dM/dt στους 45, 55 και 65 °C ήταν αντίστοιχα για μεν τα αποφλοιωμένα βερίκοκα 18.9, 24.6 και 37.2 gw/100gdmh ενώ για τα μη αποφλοιωμένα 3.6, 6.0 και 13.2 gw/100gdmh. Η αποφλοίωση αύξησε σημαντικά το ρυθμό ξήρανσης, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1, του υγρασιακού πηλίκου MR=Mt/Mo, παρόλα αυτά, η επίδρασή της μειώνεται αυξανομένης TNC θερμοκρασίας ξήρανσης. Συγκεκριμένα ο ρυθμός ξήρανσης στα αποφλοιωμένα δείγματα είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο στα μη αποφλοιωμένα στους 45 °C, ενώ αντίστοιχα στους 55 °C και 65 °C είναι 4 και 3 φορές μεγαλύτερος. Πρακτικά αυτό υποδεικνύει την ανάγκη για μείωση της αντίστασης της φλούδας πριν την ξήρανση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης. Στις υψηλότερες θερμοκρασίες θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ποιοτική (οπτική) υποβάθμιση των προϊόντων. Η στατιστική ανάλυση του MR έδειξε πως υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (P≤0.05) μεταξύ των μέσων τιμών στους δύο χειρισμούς, ενώ η θερμοκρασία ξήρανσης, όπως και αναμενόταν, επηρεάζει σημαντικά το συνολικό χρόνο ξήρανσης, γεγονός το οποίο και φαίνεται στο Διάγραμμα 1. Αυξανομένης της θερμοκρασίας ξήρανσης, ελαττώνεται ο αντίστοιχος χρόνος ξήρανσης, έτσι για την επίτευξη τελικού MR=0.07 στα μη αποφλοιωμένα δείγματα απαιτούνται 133 h στους 45 °C, 82 h στους 55 °C και 45 h στους 65°C και αντίστοιχα στα αποφλοιωμένα 71 h στους 45 °C, 52 h στους 55 °C και 24 h στους 65°C. Συγκεκριμένα η αποφλοίωση μείωσε το χρόνο ξήρανσης από 36 % έως και 47 %. Για την εύρεση του κατάλληλου μοντέλου ξήρανσης εξετάστηκαν 7 ημι-εμπειρικά μοντέλα ξήρανσης σε μονή σειρά (Wang and Singh, Logarithmic, Page, Henderson and Pabis Two-term, Modified Henderson and Pabis και Newton) (Xanthopoulos et al. 2007) ως προς την ικανότητά τους να περιγράφουν τις καμπύλες ξήρανσης M=f(t), όπου M η περιεχόμενη υγρασία (kg_w/kg_{dm}) και t ο χρόνος ξήρανσης (h).



Διάγραμμα 1. Πειραματικές (σημεία) και προβλεπόμενες (γραμμές) τιμές MR ολόκληρων βερίκοκων με φλούδα (αριστερά) και χωρίς φλούδα (δεξιά).

Τα μοντέλα αυτά συγκρίθηκαν και ταξινομήθηκαν βάσει των τιμών των R²_{adj}, SEE και χ² όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγόριθμου μηγραμμικής βελτιστοποίησης Levenberg–Marquardt στα πειραματικά δεδομένα. Από την ταξινόμησή τους κατά αύξουσα σειρά για το τυπικό σφάλμα απόκλισης SEE και κατά φθίνουσα για τους συντελεστές R²_{adj} και χ², το λογαριθμικό μοντέλο [MR=aexp(-kt)+c] βρέθηκε ότι είναι το καλύτερο για την περιγραφή της πειραματικών καμπυλών σε όλες τις περιπτώσεις (Πίνακας 1).

 	(- /		a / /i	<i>c :</i>	,	,
I Invavac 1		k kalo tou lovaoil		$\sum n \cap \alpha \cup \alpha n \cap \alpha \cup \alpha$	$\alpha \tau \alpha \tau$	ICTOOLIC
		K K(1) (.)())) /()/()/())	71 1 1 K ()			12111111
		1.1		, , , ,	, , ,	_ / _ /

Θερμοκρασία (°C)	Χειρισμός	а	k (h-1)	С	R_{adj}^2	χ²	SEE
45	μη αποφλοιωμένα	1.150	0.013	-0.146	0.999	0.005	0.007
55	μη αποφλοιωμένα	1.086	0.026	-0.078	0.999	0.004	0.008
65	μη αποφλοιωμένα	1.178	0.042	-0.140	0.996	0.010	0.017
45	αποφλοιωμένα	0.920	0.098	0.076	0.999	0.0003	0.002
55	αποφλοιωμένα	0.900	0.136	0.079	0.999	0.001	0.005
65	αποφλοιωμένα	0.941	0.193	0.060	0.999	0.0001	0.002

(4)

Η σταθερά ξήρανσης (k) του λογαριθμικού μοντέλου για κάθε χειρισμό συσχετίστηκε με τη θερμοκρασία ξήρανσης μέσω μιας εξίσωσης *Arrhenius*, (Εξ. 4) για μη αποφλοιωμένα και (Εξ. 5) για αποφλοιωμένα δείγματα.

k=1.82×10⁶exp(-49,408/RT)

R²_{adj} =0.984, SEE=0.002

$$k=10,763\exp(-30,735/RT)$$
(5)

R²_{adi} =0.997, SEE=0.00

Η ενέργεια ενεργοποίησης Εα των μη αποφλοιωμένων δειγμάτων είναι περίπου 60% μεγαλύτερη από αυτήν στα αποφλοιωμένα, υποδεικνύοντας την ανάγκη για περισσότερη ενέργεια (θερμότητα) για τη διάχυση υγρασίας στα μη αποφλοιωμένα δείγματα.

4.2. Υπολογισμός της συρρίκνωσης των αποξηραινόμενων δειγμάτων

Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι μόνο η περιεχόμενη υγρασία επηρεάζει σημαντικά τη συρρίκνωση (V_t/V_o) των αποξηραινόμενων δειγμάτων. Η μεταβολή της συρρίκνωσης εμφανίζεται γραμμική στο μεγαλύτερο μέρος του υγρασιακού εύρους (0.3<MR<1.0) γεγονός το οποίο φανερώνει ότι η συρρίκνωση τουλάχιστον σε αυτό το εύρος ήταν ομοιόμορφη. Η συσχέτιση της συρρίκνωσης με το MR δίνεται από τη σχέση $V_t/V_a = b_t^3/b_a^3 = \xi + (1-\xi)MR^{\lambda}$ two Ruiz-López et al. (2012) όπου ξ και λ είναι αδιάστατες παράμετροι (λ=0 αμελητέα συρρίκνωση, λ=1 ομοιόμορφη συρρίκνωση). Από την εφαρμογή του αλγόριθμου Levenberg-Marquardt μη-γραμμικής βελτιστοποίησης στα πειραματικά δεδομένα (P≤0.05) προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων της προηγούμενης σχέσης, ξ=0.167±0.004, λ=1.158±0.02, με R_{adj} =0.997 και SEE=0.017. Από τη σχέση αυτή υπολογίζεται η εξωτερική ακτίνα

σφαίρας (b) θεωρώντας ότι τα βερίκοκα προσομοιάζουν σε σφαίρες ίσου όγκου με τον ογκομετρούμενο. Με την ίδια μεθοδολογία υπολογίστηκε και ο μέσος όγκος των πυρήνων 1.2±0.2 cm³ και η αντίστοιχη ισοδύναμη ακτίνα τους, 0.66 cm.

4.3. Υπολογισμός του συντελεστή διάχυσης των αποξηραινόμενων δειγμάτων

Οι τιμές του Deff για όλες τις πειραματικές σειρές παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2 συναρτήσει του MR όπου και είναι εμφανής η επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στη μεταβολή του Deff. Αυξανομένης της θερμοκρασίας αυξάνεται ο Deff ενώ ακολουθεί μια παραβολική εξέλιξη με την υγρασία η οποία μπορεί να εξηγηθεί από την αλλαγή του μηχανισμού μεταφοράς υγρασίας λόγω της ανάπτυξης πόρων και σχισμών τόσο στη σάρκα όσο και στην επιδερμίδα του αποξηραινόμενου προϊόντος. Για τιμές υγρασίας MR<0.2, ο Deff μειώνεται απότομα λόγω της μείωσης του διαθέσιμου νερού και της ισχυρής δέσμευσής του στα σημεία ρόφησης. Οι μέσες τιμές του Deff για τους 45, 55 και 65 °C ήταν αντίστοιχα για μεν τα αποφλοιωμένα βερίκοκα 1.5×10-10, 1.7×10-10 και 4.6×10⁻¹⁰ m²/s ενώ για τα μη αποφλοιωμένα 1.1×10⁻ ¹⁰,1.5×10⁻¹⁰ και 3.8×10⁻¹⁰ m²/s. Ο μέσος D_{eff} στα αποφλοιωμένα βερίκοκα είναι υψηλότερος από ότι στα μη αποφλοιωμένα λόγω της αφαίρεσης της επιδερμίδας που λειτουργεί ως 'εμπόδιο' στην κίνηση του νερού από το εσωτερικό του προϊόντος προς την ατμόσφαιρα. Η συσχέτιση του Deff με τις θερμοκρασίες ξήρανσης και το MR, τόσο στα αποφλοιωμένα όσο και στα μη αποφλοιωμένα βερίκοκα έγινε με μια τροποποιημένη εξίσωση τύπου Arrhenius (Εξ. 3) από όπου και υπολογίστηκαν οι παράμετροι D_o, E_a, a', b' (Πίνακας 2).



Διάγραμμα 2. Μεταβολή του Deff αποξηραινόμενων βερίκοκων με φλούδα ή χωρίς φλούδα, συναρτήσει του MR για τις 3 θερμοκρασίες ξήρανσης.



Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων της Εξ. 3 από μη-γραμμική παλινδρόμηση.

Διάγραμμα 3. Επιφάνεια απόκρισης του Deff συναρτήσει του MR και Τ για τα αποφλοιωμένα (αριστερά) και μη αποφλοιωμένα (δεξιά) βερίκοκα.

Η μεταβολή του Deff, του MR και της θερμοκρασίας ξήρανσης (Τ) δίνονται σε δύο επιφάνειες απόκρισης, για τα αποφλοιωμένα και μη αποφλοιωμένα βερίκοκα (Διάγραμμα 3). Η ενέργεια ενεργοποίησης Εα των μη αποφλοιωμένων δειγμάτων (Πίνακας 2) είναι περίπου 78% μεγαλύτερη από αυτήν στα αποφλοιωμένα, υποδεικνύοντας την ανάγκη για περισσότερη ενέργεια (θερμότητα) για τη διάχυση υγρασίας στα μη αποφλοιωμένα δείγματα.

4.4. Μεταβολή της μικροδομής των αποξηραινόμενων βερίκοκων

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, ελήφθησαν φωτογραφίες από ηλεκτρονικό ψηφιακές μικροσκόπιο σάρωσης τύπου JSM-6360 (JEOL, Tokyo, Japan) για την ταυτοποίηση δομικών μεταβολών στη φλούδα και τη σάρκα αποξηραινόμενων δειγμάτων σε διάφορα στάδια της διεργασίας (Εικόνες 1-4). Παρατηρήσεις στα νωπά δείγματα (Εικόνα 1) έδειξαν ότι στα πρώτα στρώματα της υποδερμίδας υπάρχουν μικρά κύτταρα τα οποία είναι εφαπτομενικά επιμήκη, ενώ έχουμε ταχεία διαβάθμιση στα υπόλοιπα στρώματα της υποδερμίδας μέχρι τα σφαιρικά-λεπτού τοιχώματος παρεγχυματικά κύτταρα της μεσαίας στρώσης. Στην επιφάνεια του βερίκοκου διακρίνονται τα τριχίδια. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η επιδερμίδα στους 65 °C προς το τέλος της ξήρανσης. Εμφανίζονται τα στομάτια να είναι ανοικτά και μέσω αυτών πιθανώς



Εικόνα 1. Τομή νωπού βερίκοκου από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.



Εικόνα 2. Επιδερμίδα βερίκοκου, 65 °C (t=50 h, MR=0.07). (Στομάτια, κόκκινα βέλη; βάση τριχιδίου, κίτρινο βέλος).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα μοντέλα ξήρανσης που μελετήθηκαν επιλέχθηκε το λογαριθμικό ως το καλύτερο. Η ενέργεια ενεργοποίησης από τη συσχέτιση της σταθεράς ξήρανσης (k) με τη θερμοκρασία ξήρανσης για τα μη αποφλοιωμένα δείγματα ήταν 60% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των αποφλοιωμένων. Από το μέσο ρυθμό ξήρανσης φαίνεται ότι η αποφλοίωση αύξησε σημαντικά το ρυθμό ξήρανσης παρόλα αυτά το πλεονέκτημα της αποφλοίωσης μειώνεται αυξανομένης της θερμοκρασίας ξήρανσης γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη για μείωση της να γίνεται ένα μεγάλο μέρος της εξόδου υδρατμών. Επίσης, εμφανίζονται και κάποια τριχίδια σπασμένα με ορατή την οπή στη βάση τους. Στην Εικόνα 3 είναι φανερή η αποδόμηση της επιδερμίδας, η οποία γίνεται εύθρυπτη με την εμφάνιση ρηγματώσεων και θυλάκων μέσω των οποίων είναι δυνατή η κίνηση των υδρατμών. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται δομικές μεταβολές σε αποφλοιωμένη επιφάνεια αλλά και σε τμήμα κάτω από αυτήν. Παρατηρείται συσσώρευση σακχάρων στην επιφάνεια, η οποία προσδίδει μια υαλώδη όψη. Στην περίπτωση αυτή, η σάρκα εμφανίζεται πιο συνεκτική χωρίς την υφή που παρατηρείται στα μη αποφλοιωμένα δείγματα. Οι δομικές αυτές μεταβολές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην ερμηνεία των θερμοφυσικών ιδιοτήτων κατά την ξήρανση.



Εικόνα 3. Τομή βερίκοκου (με φλούδα), 45 °C (t=71.8 h, MR=0.29). (Βάση τριχιδίου, κίτρινο βέλος).



Εικόνα 4. Τομή βερίκοκου (χωρίς φλούδα), 55 °C (t=48 h, MR=0.08). (Πορτοκαλί βέλη, συγκέντρωση σακχάρων στην αποφλοιωμένη επιφάνεια δειγμάτων).

αντίστασης της φλούδας πριν την ξήρανση σε χαμηλές θερμοκρασίες ξήρανσης. Η μελέτη της μικροδομής του φλοιού και της σάρκας κατά την ξήρανση με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου έδειξε εκτεταμένες ρηγματώσεις του φλοιού και της σάρκας που εν μέρει εξηγούν τις μεταβολές των θερμοφυσικών ιδιοτήτων κατά την ξήρανση. Στα δείγματα χωρίς φλοιό, οι μεταβολές είναι ταχύτερες με συνέπεια τη συγκέντρωση σακχάρων στην επιφάνεια των δειγμάτων και το μειωμένο ποσοστό ρηγματώσεων στο εσωτερικό της σάρκας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε το Δ/ντή του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας καθηγητή κ. Κ. Φασέα και τον κ. Ι. Ψαροκωστόπουλο ΕΤΕΠ, του Τμήματος Γεωπονικής Βιοτεχνολογίας του Γ.Π.Α. για την καθοδήγηση και τεχνική υποστήριξη που μας παρείχαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Albanese, D., Cinquanta, L., Cuccurullo, G., Di Matteo, M., 2013. Effects of microwave and hot-air drying methods on colour, b-carotene and radical scavenging activity of apricots. Int. J. Food Sci. Tech., 48(6):1327-1333.
- Iguala, M., García-Martíneza, E., Martín-Esparzab, M.E., Martínez-Navarrete N., 2012. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. Food Res. Int., 47(2):284– 290.
- Ihns, R., Diamante, L.M., Savage, G.P., Vanhanen L., 2011. Effect of temperature on the drying

characteristics, colour, antioxidant and betacarotene contents of two apricot varieties. Int. J. of Food Sci. Tech., 46:275-283.

- Karathanos, V.T., Villalobos, G., Saravacos, G.D., 1990. Comparison of two methods of estimation of the effective water diffusivity from drying data. J. Food Sci., 55(1):218–223, 231.
- Lü, Y., Bülow, M., 2000. Analysis of Diffusion in Hollow Geometries. Adsorption, 6:125-136.
- Ruiz-López, I.I., Ruiz-Espinosa, H., Arellanes-Lozada, P., Bárcenas-Pozos, M.E., García-Alvarado, M.A., 2012. Analytical model for variable moisture diffusivity estimation and drying simulation of shrinkable food products. J. Food Eng., 108:427-435.
- Xanthopoulos G., Oikonomou, N., Lambrinos, G., 2007. Applicability of a single–layer drying model to predict the drying rate of whole figs. J. Food Eng., 81:553–559.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΟΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

Ν. Τσουκαλάς και Γρ. Λαμπρινός

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4029 Fax. 210 529 4032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

Τόσο ο ογκομετρικός, όσο και ο ενδεικνυμένος βαθμός εξαρτώνται από τη σχέση συμπίεσης, τη θερμοκρασία εξάτμισης, την υπερθέρμανση, το ψυκτικό ρευστό, το είδος και τα χαρακτηριστικά του συμπιεστή. Μέχρι σήμερα η πρόβλεψη (προεκτίμηση) του βαθμού απόδοσης γίνεται με την εμπειρική σχέση Lorentzen, η οποία διανύει την 5^η δεκαετία ζωής. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα, οι κλασσικοί (παλινδρομικοί) συμπιεστές έχουν αλλάξει χαρακτηριστικά, ενώ έχουν προκύψει και νέοι τύποι συμπιεστών με τελείως διαφορετική συμπεριφορά. Παράλληλα έχει γίνει επανάσταση και με τα νέα (περιβαλλοντικά) ψυκτικά ρευστά. Η μελέτη είναι υπολογιστική, για πέντε σύγχρονα και οικολογικά ψυκτικά ρευστά (R134a, R22, R404, R410 και R407) και τεσσερα καθεστώτα λειτουργίας. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνονται τα εξής:

1. Ο Συντελεστής Ψυκτικής Συμπεριφοράς (COP_ψ) με τις νέες εκτιμήσεις μειώνεται με τη σχέση συμπίεσης σε μικρότερο βαθμό απ' ότι ο αντίστοιχος με τη σχέση Lorentzen.

2. Ο Συντελεστής Ψυκτικής Συμπεριφοράς COP_ψ αυξάνεται γραμμικά (με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού R²) με την αύξηση του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης. Ωστόσο η εκτιμούμενη τιμή απομακρύνεται από την αντίστοιχη της σχέσης Lorentzen καθώς αυξάνει η σχέση συμπίεσης. Για σχέσεις συμπίεσης μεγαλύτερες του 4 η διαφορά αυτή καθίσταται σημαντική.

3. Σε σχέσεις συμπίεσης μικρότερες του 4 οι εκτιμούμενες αναλυτικά νέες τιμές διαφέρουν σημαντικά από αυτές της σχέσης Lorentzen μόνο στη περίπτωση του ψυκτικού ρευστού R22.

Λέξεις κλειδιά: Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης, σχέση συμπίεσης, COP_ψ, ψυκτικά ρευστά.

THE EFFECT OF ISENTROPIC EFFICIENCY AND COMPRESSION RATIO ON A REFRIGERATION UNIT'S COEFFICIENT OF PERFORMANCE (COP)

N. Tsoukalas & Gr. Lambrinos

Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens Tel. +30 210 5294029, Fax +30 210 5294032, e-mail: <u>refrigenergy@aua.gr</u>

The volumetric and indicated efficiency depend on the compression ratio, evaporation temperature, superheating, refrigerant and the compression characteristics. For the last 50 years, the prediction of the efficiency is managed with the help of the empirical LORENTZEN relationship. In the meantime, the classic compressors have radically changed, while a new generation of refrigerants has occurred. The present study is theoretical, using the relevant software, to compare five contemporary refrigerants (R134a, R22, R404, R410 and R407) in four operating conditions. The results show that:

1. The coefficient of cooling performance (COPc) in relation to the compression ratio, as estimated in this study, is always lower than the one estimated through the LORENTZEN relationship.

2. The COP_c is linearly increased with isentropic efficiency, presenting a high coefficient of determination. However, when the compression ratio increases, the COP_c values 'stray' from those estimated using the LORENTZEN relationship. In the case of compression ratios bigger than 4, this deviation is very important.

3. In the case of compression ratios lower than 4, the values estimated in this study deviate from those of the LORENTZEN relationship only in the analysis of R22.

Key words: isentropic efficiency, compression ratio, COPc, refrigerants

1. Εισαγωγή

Ο ογκομετρικός και ο ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης ενός συμπιεστή παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση (συντελεστή συμπεριφοράς) μίας ψυκτικής μηχανής. Τόσο ο ογκομετρικός, όσο και ο ενδεικνυμένος βαθμός εξαρτώνται από τη σχέση συμπίεσης, την θερμοκρασία εξάτμισης, την υπερθέρμανση, το ψυκτικό ρευστό, το είδος και τα χαρακτηριστικά του συμπιεστή. Μέχρι σήμερα η πρόβλεψη (προεκτίμηση) του βαθμού απόδοσης γίνεται με την εμπειρική σχέση LORENTZEN, η οποία διανύει την πέμπτη δεκαετία ζωής. Μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα οι κλασσικοί

(παλινδρομικοί) συμπιεστές έχουν αλλάξει χαρακτηριστικά όπως συμβαίνει και με τους κινητήρες, ενώ έχουν προκύψει νέοι τύποι συμπιεστών, όπως περιστροφικοί, κοχλιωτοί κ.λ.π. με τελείως διαφορετική συμπεριφορά. Παράλληλα έχει γίνει μεγάλη επανάσταση και με τα νέα (περιβαλλοντικά) ψυκτικά ρευστά. Η πρόβλεψη του βαθμού απόδοσης του συμπιεστή και του συμπεριφοράς συντελεστή TOU ψυκτικού συγκροτήματος (COP) βοηθά μελετητές και σχεδιαστές σε εναλλακτικές λύσεις για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών λειτουργίας και κατανάλωσης των

παλινδρομικών συμπιεστών για τις ψυκτικών εγκαταστάσεων έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Τα μαθηματικά αυτά μοντέλα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: εμπειρικά , ημιεμπειρικά και αναλυτικά μοντέλα. Στην πρώτη περίπτωση, οι σχέσεις βασίζονται αποκλειστικά σε πειραματικά δεδομένα, αλλά δεν έχουν μεγάλη φυσική σημασία και δεν μπορούν να εφαρμοστούν εκτός του εύρους του πειραματικού ελέγχου (ASHRAE, 1993). Η δεύτερη προσέγγιση, από την άλλη πλευρά, βασίζεται σε απλές θερμοδυναμικές σχέσεις στις οποίες ενσωματώνονται και εμπειρικοί όροι από πειραματικά δεδομένα (Popovic και Shapiro, 1995; Winandy et al., 2002; Hermes και Melo, 2006, 2007). Η τρίτη τέλος κατηγορία χρησιμοποιείται για να μελετήσει τις λεπτομέρειες του σχεδιασμού του συμπιεστή, όπως ροές στην βαλβίδα, μεταφοράς θερμότητας στον κύλινδρο, διαρροές στο σύστημα κύλινδρος-έμβολο, που φέρει απώλειες, κλπ, απαιτεί όμως υψηλές γνώσεις υπολονιστικών προγραμμάτων (MATLAB MATHCAD, TRNSYS), μεγάλο και εξειδεικευμένο όγκο δεδομένων (π.χ. γεωμετρία βαλβίδων), τα οποία συνήθως είναι διαθέσιμα μόνο στους κατασκευαστές (Roy, 1988; Grodent et al,1988; Chen et al,1991; Perez-Segara et al, 1994; 1996; και 1998 Logo και Gasparella, 2003) και τελικά πειραματική επαλήθευση.

Η τρέχουσα ερευνητική εργασία σκοπεύει στη δημιουργία ένός ημι-εμπειρικού μοντέλου πρόβλεψης της απόδοσης του συμπιεστή και της εγκατάστασης με διάφορα ψυκτικά ρευστά, συναρτήσει του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης (επίδραση της λειτουργίας του συμπιεστή) και της σχέσης συμπίεσης (επίδραση των συνθηκών λειτουργίας και του χρησιμοποιούμενου ρευστού). Το μοντέλο βασίζεται σε θερμοδυναμικές εξισώσεις και δεδομένα ψυκτικών ρευστών που περιλαμβάνονται σε γνωστά υπολογιστικά προγράμματα, ως μέτρο δε σύγκρισης χρησιμοποιούνται οι γνωστές εμπειρικές σχέσεις G.Lorenzen.

2. Υλικα και μέθοδος

2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η απόδοση ενός συμπιεστή συχνά παρουσιάζεται από τους κατασκευαστές είτε ως διάγραμμα είτε σε πίνακες απόδοσης- ισχύος για συγκεκριμένη περιοχή θερμοκρασιών συμπύκνωσης και εξάτμισης.

Мε TOV όρο απόδοση TOU ψυκτικού συγκροτήματος εννοούμε την ένδειξη της ενεργειακής απόδοσης ολόκληρου του ψυκτικού κύκλου, που συνήθως εκφράζεται зų TOV συντελεστή συμπεριφοράς (COP). Ο τελευταίος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως ψυκτικό ρευστό, θερμοδυναμικό κύκλο, θερμοκρασίες συμπύκνωσης/εξάτμισης, λειτουργία του συμπιεστή, κατανάλωση ενέργειας. Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες έχει μια συγκεκριμένη επίδραση στο COP και κατ' επέκταση στην συνολική ενεργειακή απόδοση. Εάν το χρήσιμο ενεργειακό μέγεθος είναι η ενέργεια ψύξης Qu(αποροφούμενη θερμότητα), με κατανάλωση μηχανικού έργου **W**, τότε ομιλούμε για ψυκτική μηχανή ή ψυκτική εγκατάσταση και η απόδοσή της ορίζεται από τον συντελεστή ψυκτικής συμπεριφοράς:

COP_ψ (θεωρητικός) =
$$\frac{Q\psi}{W}$$

Για να υπολογισθεί ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς, **COP**_Ψ, REAL, πρέπει να είναι γνωστός ο ολικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή, **n**_oλ, ο οποίος εξαρτάται από τον ενδεικνυμένο βαθμό απόδοσης **n**_i και τον μηχανικό βαθμό απόδοσης **n**_m του συμπιεστή:

 $n_{o\lambda} = n_i \times n_m (2)$

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης δίδεται από τον κατασκευαστή και κυμαίνεται γύρω στο 0,90. Ο ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης εκτιμάται μέχρι σήμερα συνήθως από την εμπειρική σχέση του LORENZEN :

ni_L≈ n_{vL} = 1- 0.05
$$\frac{Pc}{Pa}$$

όπου, P_c η πίεση συμπύκνωσης, P_e η πίεση εξάτμισης, r = $\frac{Pc}{Pe}$ η σχέση συμπίεσης, n_i ο ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης και n_ν ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή αμφότεροι εκτιμούμενοι με τη σχέση του LORENZEN για r<7.

Η προτεινόμενη αναλυτική σχέση εκτίμησης του ενδεικνυμένου βαθμού απόδοσης γράφεται ως εξής:

$$n_{ic} = \frac{W_{rev}}{W_{real}} = \frac{[R/(\gamma-1)]^* (T_2-T_1)}{h_2-h_1}$$

όπου : n_{ic} ο νέος ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης, W_{rev} (kJ) το απορροφούμενο έργο αντιστρεπτής μεταβολής, W_{real} (kJ) το έργο μη αντιστρεπτής μεταβολής, R(kJ/kg*K) = 0.09614, γ = (cp/cv) για το εκάστοτε ψ.ρευστό, h2-h1(kj/kg) η διαφορά ειδ.ενθαλπίας των σημείων 1(αναρόφηση) και 2(κατάθλιψη) του κύκλου, T1, T2 οι αντίστοιχες θερμοκρασίες στα σημεία 1 και 2 του κύκλου.

Παρατηρούμε, ότι ενώ η σχέση Lorentzen έχει σαν παράγοντα μόνο την σχέση συμπίεσης (r=Pc/Pe), η νέα προτεινόμενη σχέση λαμβάνει υπ' όψη της πολύ περισσότερες μεταβλητές και γι'αυτό θεωρείται πως έχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

2.2 Μεθοδολογία

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα COOLPACK (Technical University of Denmark, 2000) το οποίο περιέχει διάφορα μοντέλα προσομοίωσης. Το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για ανάλυση του ψυκτικού κύκλου, διαστασιολόγηση του συστήματος, υπολογισμούς των μερών του ψυκτικού συγκροτήματος, παροδική προσομοίωση και επιμέρους υπολογισμούς (θερμοδυναμικές ιδιότητες του ψυκτικού ρευστού).

Οι παραπάνω προσομοιώσεις έγιναν για πέντε ψυκτικά ρευστά (R134a, R22, R410a, R404a, R407c) και για τέσσερα διαφορετικά καθεστώτα λειτουργίας(Λεβέντη Α. και Λαμπρινός Γρ., 2009):

i. Συντήρησης αγροτικών προϊόντων (θe = -5° C , θc = +50° C)

ii. Συντήρησης με υδρόψυκτο συμπυκνωτή (θe = -5° C , θc = +30° C) .

iii. Κατάψυξης αγροτικών προϊόντων (θe = -30° C , θc = +50° C)

iv. κατάψυξης με υδρόψυκτο συμπυκνωτή (θe = - 30° C , θc = + 30° C).

Έτσι, με δεδομένα τις θερμοκρασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης , τους ψυκτικούς κύκλους με υπερθέρμανση και υπόψυξη 5 Κ αντίστοιχα και με βασική παράμετρο τον ισεντροπικό βαθμό συμπίεσης ($n_{is} = 1$, $n_{is} = 0.9$, $n_{is} = 0.8$, $n_{is} = 0.7$, n_{is} = 0.6) (Σχήμα 1) αφού ο ισεντροπικός βαθμός εκτόνωσης ελάχιστα μεταβάλλεται, υπολογίστηκαν με την βοήθεια υπολογιστικών φύλλων (excel) όλα τα βασικά μεγέθη προκειμένου να πινακοποιηθούν βαθμοί απόδοσης και συντελεστές συμπεριφοράς. τόσο με τη σχέση LORENZEN, όσο και με τη νέα σχέση εκτίμησης του ενδεικνυμένου βαθμού απόδοσης. Εξυπακούεται ότι κάθε ψυκτικό ρευστό έδωσε διαφορετικούς κύκλους στα τέσσερα καθεστώτα λειτουργίας, επομένως και διαφορετικές σχέσεις συμπίεσης.



Σχήμα 1. Μεταβολή αερόψυκτου κύκλου συντήρησης (θe = -5° C , θc = +50° C) όταν μεταβάλλεται ο ισεντροπικός βαθμός συμπίεσης από 1,0 έως 0,6 (εφαρμογή σε R134a)

3. Αποτελέσματα και σχόλια

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται συγκριτικά οι μεταβολές του πραγματικού Συντελεστή Ψυκτικής Συμπεριφοράς **COP**_{ψ, REAL}, υπολογισμένου με τις δύο μεθόδους και στα τέσσερα καθεστώτα λειτουργίας με R134a.

Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν ότι οι τιμές του **COP**_ψ των δύο μεθόδων υπολογισμού είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους σε σχέσεις συμπίεσης μικρότερες του 5, όσο μεγαλώνει όμως η σχέση συμπίεσης διαφοροποιούνται σημαντικά (ειδικά στα R134a και R407c), κάτι αναμενόμενο αφού η νέα σχέση λαμβάνει υπ'όψιν της περισσότερα χαρακτηριστικά του κύκλου, αλλά και του ρευστού (R και γ) σε σύγκριση με τη σχέση του Lorenzen.



Σχήμα 2. Μεταβολή του πραγματικού Συντελεστή Ψυκτικής Συμπεριφοράς **COP**_ψ , _{REAL}, υπολογισμένου με τις δύο μεθόδους και στα τέσσερα καθεστώτα λειτουργίας (r: 3.2, 5.4, 9.1, 15.6) με R134a.

Παρατηρώντας τη μεταβολή των τιμών του Συντελεστή Ψυκτικής Συμπεριφοράς **COP**_ψ, συναρτήσει του ισεντροπικού βαθμού συμπίεσης, τιμών υπολογισμένων με τις δύο μεθόδους στα ακραία καθεστώτα λειτουργίας (σχήμα 3), διαπιστώνεται ομοίως ότι στις μεγάλες σχέσεις συμπίεσης οι δύο συγκρινόμενες σχέσεις απομακρύνονται σημαντικά. Εξαίρεση αποτελεί το R22, το οποίο αντίθετα με τα άλλα ρευστά παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων και στις χαμηλές σχέσεις συμπίεσης.

4. Συμπεράσματα

 Ο COPψ μειώνεται με τη σχέση συμπίεσης. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι ο υπολογισμένος με τη νέα σχέση COPψ μειώνεται σε μικρότερο βαθμό απ' ότι ο αντίστοιχος με τη σχέση Lorentzen.

2. Ο COPψ αυξάνεται γραμμικά (με υψηλό συντελεστή συσχέτισης) με την αύξηση του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης n_{is}.Ωστόσο η εκτιμούμενη τιμή απέχει από αυτή που υπολογίζεται με την σχέση Lorentzen όσο αυξάνει η σχέση συμπίεσης.

 Για σχέσεις συμπίεσης μικρότερες του 4 οι εκτιμούμενες αναλυτικά νέες τιμές και αυτές με την σχέση Lorentzen δεν διαφέρουν σημαντικά με μόνη εξαίρεση το ψυκτικό ρευστό R22 στο οποίο οι μεγάλες διαφορές εμφανίζονται στις μικρές σχέσεις συμπίεσης.

4. Η έρευνα πρέπει να συνεχιστεί προκειμένου να καταλήξει σε μια όσο γίνεται απλή σχέση πρόβλεψης που να περιλαμβάνει τους παραπάνω μελετηθέντες παράγοντες και να επαληθευτεί πειραματικά.



Σχήμα 3. Σύγκριση της μεταβολής του COP ψ (νέα μέθοδος COP ψ_c και μέθοθος Lorentzen COP ψ_L) με τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης για τα 5 ψυκτικά ρευστά και για τα ακραία καθεστώτα λειτουργίας (2,74 < r < 3,16 και 11,03 < r < 15,55).

Βιβλιογραφία

- Chen Z.J., Lin W.-H (1991): Dynamic simulation and optimal matching of a small-scale refrigeration system, International Journal of Refrigeration, 14 (1991), pp. 329–335.
- Chen Z.J., Ding G.L., Wang X.F., Que X.C., (1995): Dynamic simulation and optimal matching of a small-scale refrigeration system with multirefrigerant. IIR International Congress of Refrigeration, The Hague, Netherlands, vol. 3, pp. 262–269
- Grodent M., Hannay C., Lebrun J., Winandy E. (1988): Simplified modelling of an open-type reciprocating compressor using refrigerants R22 and R410a: 2nd part: model, Proceedings of the 20th International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Sydney, Australia.
- Hermes C.J.L., Melo C., (2006): How to get the most out from a semi-empirical reciprocating compressor using a minimum set of data. IIR International Conference on Compressors and Coolants, Papiernicka, Slovak Republic.
- Hermes, C.J.L., Melo, C., Goncalves, J.M., (2007): A robust modeling approach for refrigerant flow through capillary tubes. IIR International Congress of Refrigeration, Beijing, China.
- Longo G. A., Gasparella A. (2003): Unsteady state analysis of the compression cycle of a hermetic reciprocating compressor, International Journal of Refrigeration 26: 681–689
- Perez-Segarra C.D., Escanes F, Oliva A. (1994): Numerical study of the thermal and fluid-dynamic behaviour of reciprocating compressors. In: Proceedings of Purdue Int. Compressor Conference, 19–22 July 1994, Lafayette, IN, USA. p 145–50.
- Perez-Segarra C.D, Escanes F, Rigola J, Serra J.M, Pons J, Escriba` M, JornetM. (1996) Numerical simulation of reciprocating compressors. Recent improvements and experimental validation. In: Proceedings of Purdue Int. Compressor Conference, 23–26 July 1996, Lafayette, IN, USA. p. 193–98.
- Perez-Segarra C.D, Rigola J, Oliva A, Serra JM, Escriba. M, Pons J. (1998): Parametric study and experimental validation of small hermetic reciprocating compressor using a complete advanced numerical simulation model. In: Proceedings of Purdue Int. Compressor Conference, 14–17 July 1998, Lafayette, IN, USA. p. 737–42.
- Popovic P, Shapiro H.N. (1995): A semi-empirical method for modeling a reciprocating compressor in refrigeration systems, ASHRAE Trans., 101 (2) (1995), pp. 367–382 Paper 3912.
- Roy A., (1988): Mathematical modelling of reciprocating compressors for heat-pumps, Ph.D. Thesis, University of Aston, Birmingham, 1988.
- Winandy E., Saavedra O.C., Lebrun J. (2002): Simplified modelling of an open-type reciprocating compressor, Int journal of Thermal sciences,

Volume 41, Issue 2, February 2002, Pages 183– 192.

Λεβέντη Α. και Γρ. Λαμπρινός,2009. Νέα κριτήρια και μεθοδολογία επιλογής ψυκτικών ρευστών για κλιματισμό. 6ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Θεσ/νικη, 8–10 Οκτωβρίου 2009, σσ. 729–736.