



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Επίδραση μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική
ικανότητα καρπών ντομάτας**

Μάβρου Έφη

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Σπηλιόπουλος Ιωακείμ

Καλαμάτα 2018

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Υπογραφή

Μαύρου Έφη

..... - -2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
2. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ.....	11
2.1. Η σημασία της τομάτας στην Ελλάδα και σε παγκόσμιο επίπεδο.....	11
2.2. Καταγωγή και εξάπλωση	12
2.3. Βοτανική ταξινόμηση.....	14
2.4. Μορφολογικά χαρακτηριστικά	15
2.4.1. Καρπός.....	15
2.5. Συγκομιδή	15
2.6. Χρήσεις	17
3. Η ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	19
3.1. Οι αντιοξειδωτικές ουσίες.....	19
3.1.1. Καροτενοειδή.....	21
3.1.2. Λυκοπένιο	22
3.1.3. Ασκορβικό οξύ	23
3.1.4. Τα φλαβονοειδή.....	25
3.2. Πλεονεκτήματα από την πρόσληψη αντιοξειδωτικών.....	26
3.3. Ο μηχανισμός δράσης των αντιοξειδωτικών	27
3.4. Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας.....	28
3.4.1. Οι φασματομετρικές τεχνικές	30
3.4.2. Οι ηλεκτροχημικές.....	37
3.5. Εκτίμηση της συγκέντρωσης των αντιοξειδωτικών ενώσεων	37
3.5.1. Οι χρωματογραφικές τεχνικές	38
3.6. Η αντιοξειδωτική ικανότητα της τομάτας.....	39
4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΩΝ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ	42
4.1. Το στάδιο συγκομιδής.....	42
4.2. Η επίδραση της ακτινοβολίας	44

5.	ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	46
6.	ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ.....	47
6.1.	Φυτικό υλικό	47
6.2.	Μετρήσεις και αναλύσεις.....	47
6.2.1.	Η μέθοδος Folin-Ciocalteu	47
6.2.2.	Ο προσδιορισμός των ολικών φλαβονοειδών.....	49
6.2.3.	Η μέθοδος DPPH.....	50
6.2.4.	Η μέθοδος Frap	52
6.2.5.	Η μέτρηση του λυκοπενίου.....	53
6.3.	Στατιστική ανάλυση.....	54
7.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ	55
7.1.	Εκτίμηση της συγκέντρωσης των πολυφαινολών.....	55
7.2.	Εκτίμηση της συγκέντρωσης των φλαβονοειδών	56
7.3.	Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH.....	57
7.4.	Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH.....	59
7.5.	Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP.....	60
7.6.	Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP.....	62
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
9.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγκεκριμένη διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο χημείας, του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής, του Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου. Για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης προσπάθειας συνέβαλλαν ορισμένοι άνθρωποι, στους οποίους θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου.

Αρχικά, ευχαριστώ τον κύριο Σπηλιόπουλο Ιωακείμ, καθηγητή της Σχολής Τεχνολόγων Γεωπόνων και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής του Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου, ο οποίος με την ανάθεση του παρόντος θέματος μου έδωσε την ευκαιρία να εμβαθύνω τις γνώσεις μου στην λαχανοκομία και συγκεκριμένα στην καλλιέργεια της τομάτας και στους αντιοξειδωτικούς της μηχανισμούς. Τον ευχαριστώ επίσης θερμά για την καθοδήγηση κατά τη διενέργεια των πειραμάτων και τη συγγραφή της διατριβής μου.

Τέλος, ευχαριστώ βαθύτατα την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξή τους καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τομάτα είναι ένα λαχανικό που καλλιεργείται και καταναλώνεται εκτεταμένα παγκοσμίως τόσο σαν νωπό προϊόν όσο και μετά από βιομηχανική επεξεργασία. Επιπλέον, η υψηλή περιεκτικότητα του καρπού της σε πολλά αντιοξειδωτικά μόρια καθιστά την τομάτα ένα λειτουργικό τρόφιμο και η κατανάλωση της συσχετίζεται με την πρόληψη ορισμένων ανθρώπινων ασθενειών και τον περιορισμό του κινδύνου ορισμένων τύπων καρκίνου. Τα αντιοξειδωτικά μόρια όπως το ασκορβικό οξύ, η βιταμίνη A, B, C και E, τα καροτενοειδή, το λυκοπένιο, τα φλαβονοειδή και τα φαινολικά είναι ορισμένοι προστατευτικοί παράγοντες που αδρανοποιούν τις ενεργές ρίζες οξυγόνου και συνεπώς καθυστερούν ή αποτρέπουν σημαντικά την οξειδωτική βλάβη. Η τομάτα όμως, είναι ένας κλιμακτηρικός καρπός και έχει σχετικά μικρή διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή. Επομένως, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις κατάλληλες πρακτικές χειρισμού και τις μεθόδους επεξεργασίας που απαιτούνται για τις συγκομισθείσες τομάτες, προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες μετά τη συγκομιδή και να διατηρηθεί ή να βελτιωθεί η ποιότητα.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας, ήταν η μελέτη της επίδρασης των μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα καρπών τομάτας της τοπικής ποικιλίας «Χοντροκατσαρή». Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν οι μεταβολές στην περιεκτικότητα των αντιοξειδωτικών ουσιών (συγκέντρωση πολυφαινόλων και φλαβονοειδών, εκτίμηση αντιοξειδωτικής ικανότητας) σε καρπούς της ποικιλίας, που συγκομίστηκαν στο στάδιο Red Ripe και παρέμειναν για 6 ημέρες σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες 4, 10 και 25°C σε σύγκριση με τους καρπούς που δεν εφαρμόστηκε καμία μεταχείριση και τους καρπούς που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι η αποθήκευση των καρπών για 6 ημέρες στους 4°C οδήγησε σε αύξηση του περιεχομένου των πολυφαινόλων και των φλαβονοειδών σε σχέση με τους υπόλοιπους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς. Επίσης, η αντιοξειδωτική ικανότητα ήταν υψηλότερη στα δείγματα που παρέμειναν στους 25°C σύμφωνα με τη μέθοδο DPPH σε υδρόφιλο και λιπόφιλο εκχύλισμα και με τη μέθοδο FRAP σε λιπόφιλο εκχύλισμα. Αντίθετα, η εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο FRAP σε υδρόφιλο εκχύλισμα οδηγεί σε αντίστροφα συμπεράσματα και εκτιμά ότι την υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση είχαν οι καρποί που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης.

ABSTRACT

Tomato is a vegetable grown and consumed extensively worldwide, both as a fresh product and after an industrial process. In addition, its high fruit content in many antioxidant molecules makes tomato a functional food and its consumption is associated with the prevention of certain human diseases and the reduction of the risk of certain types of cancer. Antioxidant molecules such as ascorbic acid, vitamin A, B, C and E, carotenoids, lycopene, flavonoids and phenolics are certain protective agents that inactivate the active oxygen radicals and thus delay or significantly prevent oxidative damage. Tomato, however, is a climacteric fruit and has a relatively short shelf-life. It is therefore important to know the appropriate handling practices and processing methods required for harvested tomatoes in order to reduce post-harvest losses and maintain or improve quality.

The purpose of this research was to study the effect of post-harvesting manipulations on the antioxidant ability of tomato fruits of the local variety "Hondrokatsari". In particular, changes in the content of antioxidants (concentration of polyphenols and flavonoids, estimation of antioxidant capacity) in fruits of this variety harvested at the Red Ripe stage were analyzed and after they remained for 6 days at three different 4, 10 and 25 ° C in compare with the fruits that were not treated and the fruits harvested at the commercial maturity stage. The analysis of the results showed that the storage of the fruits for 6 days at 4 ° C led to an increase in the content of polyphenols and flavonoids compared to the other post-harvesting treatments. Also, the antioxidant capacity was higher in samples remaining at 25 ° C according to the DPPH method on hydrophilic and lipophilic extract and FRAP in lipophilic extract. Instead, estimating the antioxidant capacity with the FRAP method in a hydrophilic extract leads to opposite conclusions and estimates that the highest antioxidant effect had the fruit harvested at the commercial maturation stage.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Η επιστημονική ταξινόμηση της καλλιεργούμενης τομάτας (Jones, 2007)..	14
Πίνακας 2. Τα βασικά συστατικά της νωπής τομάτας και του τοματοπολτού (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου κ.α., 2015).	17
Πίνακας 3. Τα προϊόντα μεταποίησης της τομάτας και η περιγραφή τους από τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου κ.α., 2015).....	18
Πίνακας 4. Τιμές αντιοξειδωτικών ουσιών νωπού κόκκινου καρπού τομάτας (Kamiloglu κ.α., 2013).	21
Πίνακας 5. Το περιεχόμενο σε λυκοπένιο 8 ποικιλιών τομάτας στο ώριμο στάδιο (Thompson κ.α., 2000).....	23
Πίνακας 6. Το περιεχόμενο σε ασκορβικό οξύ 15 ποικιλιών τομάτας στο ώριμο στάδιο (Abushita κ.α., 1997).	24
Πίνακας 7. Οι διάφορες αναλυτικές μέθοδοι αξιολόγησης της αντιοξειδωτικής ικανότητας εμπίπτουν σε ξεχωριστές κατηγορίες (Pisoschi & Negulescu, 2011)	29
Πίνακας 8. Τα συστατικά των διαλυμάτων και τα στάδια ακολουθούνται για τη μέτρηση Folin Ciocalteu στο δείγμα που μετράται και στο τυφλό δείγμα (control).....	48
Πίνακας 9. Τα συστατικά των διαλυμάτων και τα στάδια ακολουθούνται για τη μέτρηση των ολικών φλαβονοειδών στο δείγμα που μετράται και στο τυφλό δείγμα (control). ..	49
Πίνακας 10: Τα συστατικά των διαλυμάτων και τα στάδια ακολουθούνται για τη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο DPPH μετά από υδρόφιλη εκχύλιση.	51
Πίνακας 11: Τα συστατικά των διαλυμάτων και τα στάδια ακολουθούνται για τη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο DPPH μετά από λιπόφιλη εκχύλιση.	51
Πίνακας 12. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στη συγκέντρωση των πολυφαινόλων εκφρασμένα σε ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/100g νωπού βάρους (FW).....	55
Πίνακας 13. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στη συγκέντρωση των φλαβονοειδών εκφρασμένα σε ισοδύναμα ρουτίνης mg/100g νωπού βάρους (FW).	57

Πίνακας 14. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH.....	58
Πίνακας 15. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH.....	59
Πίνακας 16. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP.....	61
Πίνακας 17. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP.....	62

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Το παγκόσμιο ποσοστό παραγωγής τομάτας ανά ήπειρο μεταξύ 2012-2013 (FAO, 2014).....	12
Εικόνα 2. Κέντρα καταγωγής και ποικιλομορφίας των σημαντικότερων γεωργικών καλλιεργειών παγκοσμίως (Khoury κ.α. 2016).	13
Εικόνα 3. Τα στάδια ωρίμανσης της τομάτας (ποικιλία Micro Tom): ανώριμο πράσινο (I), ώριμο πράσινο (M), σπάσιμο του χρώματος (B), γύρισμα του χρώματος (T), κόκκινο ώριμο (R) και υπερώριμο (O) (Hyodo κ.α., 2013).	16
Εικόνα 4. Το ευρύ πεδίο των αντιοξειδωτικών διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες (Huang κ.α., 2005).....	20
Εικόνα 5. Η χημική δομή του λυκοπενίου (Bramley, 2002)	22
Εικόνα 6. Η χημική δομή του ασκορβικού οξέος (Davey, 2000).....	24
Εικόνα 7. Σχηματική επισκόπηση της οδού σύνθεσης των φλαβονοειδών (Schijlen κ.α., 2006).....	26
Εικόνα 8. Η χημική ένωση 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH*) (Prior κ.α., 2005). 31	
Εικόνα 9. Η χημική ένωση 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS*+) (Prior κ.α., 2005).....	32
Εικόνα 10. Η αντίδραση της μεθόδου FRAP (Prior κ.α., 2005).....	33
Εικόνα 11. Η αντιοξειδωτική δραστηριότητα ORAC του δείγματος εκτιμάται ως η καθαρή περιοχή κάτω από την καμπύλη (area under the curve, AUC) (Prior κ.α., 2005).	34
Εικόνα 12. Η δομή των ενώσεων bathocuproine και neocuproine που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους αναγωγής του χαλκού (Prior κ.α., 2005).....	36
Εικόνα 13. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στη συγκέντρωση των πολυφαινόλων (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).	56

Εικόνα 14. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στη συγκέντρωση των φλαβονοειδών (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).....	57
Εικόνα 15. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).....	58
Εικόνα 16. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).....	60
Εικόνα 17. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).....	61
Εικόνα 18. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).....	63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

AA	Ascorbic Acid
HAT	Hydrogen Atom Transfer
SET	Single Electron Transfer
DPPH	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
ABTS	2,2'-Azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
FRAP	Ferric reducing antioxidant power
PFRAP	Potassium ferricyanide reducing power
CUPRAC	Cupric reducing antioxidant power
ORAC	Oxygen radical absorption capacity
HORAC	Hydroxyl radical averting capacity
TRAP	Total peroxy radical trapping antioxidant parameter
CV	Cyclic voltammetry
GC	Gas chromatography
HPLC	High performance liquid chromatography

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.) είναι ένα λαχανικό που καλλιεργείται ευρέως και καταναλώνεται εκτεταμένα παγκοσμίως. Αν και η καλλιέργειά της πιστεύεται ότι προέρχεται από το Περού, τον Ισημερινό και άλλες περιοχές της τροπικής Αμερικής, η θρεπτική και οικονομική σημασία της καλλιέργειας έχει οδηγήσει στην παγκόσμια εξάπλωσή της. Κατά βάρος, οι τομάτες κατέχουν τη δεύτερη θέση μετά τις πατάτες στην παγκόσμια παραγωγή όλων των οπωροκηπευτικών. Η τομάτα μπορεί να καταναλωθεί με διάφορους τρόπους και η απόδοση υψηλής ποιότητας αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την οικονομική της επιτυχία. Προσελκύει μάλιστα τα τελευταία χρόνια την προσοχή λόγω της συσχέτισής της με την πρόληψη ορισμένων ανθρώπινων ασθενειών. Αυτό το ενδιαφέρον οφείλεται στην παρουσία των αντιοξειδωτικών, που φαίνεται να είναι ενώσεις που βοηθούν στην πρόληψη σοβαρών χρόνιων παθήσεων.

Τα αντιοξειδωτικά είναι προστατευτικοί παράγοντες που αδρανοποιούν τις ενεργές ρίζες οξυγόνου και συνεπώς καθυστερούν ή αποτρέπουν σημαντικά την οξειδωτική βλάβη. Κάποια αντιοξειδωτικά όπως η δισμουτάση του υπεροξειδίου, η καταλάση και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης είναι φυσικά παρόντα εντός των ανθρώπινων κυττάρων. Επιπλέον, αντιοξειδωτικά όπως η βιταμίνη E, η βιταμίνη C, οι πολυφαινόλες και τα καροτενοειδή είναι διαθέσιμα μέσω των τροφίμων. Οι τρέχουσες διαιτητικές οδηγίες για την καταπολέμηση των χρόνιων ασθενειών, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου και της στεφανιαίας νόσου, συνιστούν αυξημένη πρόσληψη φυτικών τροφών, συμπεριλαμβανομένων των φρούτων και λαχανικών, που είναι πλούσιες πηγές αντιοξειδωτικών. Ένα άλλο διαιτητικό αντιοξειδωτικό που θεωρείται σημαντικό στην άμυνα κατά της οξειδωσης είναι το λυκοπένιο, για το οποίο οι τομάτες αποτελούν σημαντική πηγή διατροφής (Agarwal & Rao, 2000).

Ο καρπός της τομάτας είναι αναμφίβολα ένα λειτουργικό τρόφιμο, λαμβάνοντας υπόψη τα συντριπτικά επιδημιολογικά στοιχεία για τον περιορισμό του κινδύνου ορισμένων τύπων καρκίνου. Είναι μια δεξαμενή διαφόρων αντιοξειδωτικών μορίων, όπως το ασκορβικό οξύ, η βιταμίνη E, τα καροτενοειδή, τα φλαβονοειδή και τα φαινολικά οξέα. Το λυκοπένιο μάλιστα, έχει την υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση μεταξύ όλων των διαιτητικών αντιοξειδωτικών. Εκτός από αυτές τις ιδιότητες, το λυκοπένιο έχει επίσης αποδειχθεί ότι επάγει επικοινωνίες κυττάρου προς κύτταρο και διαμορφώνει ορμόνες,

ανοσοποιητικά συστήματα και άλλες μεταβολικές οδούς. Οι τομάτες περιέχουν επίσης μέτριες ποσότητες α- και β-καροτίνης και λουτεΐνης. Το β-καροτένιο είναι γνωστό για τη δράση της προβιταμίνης Α και την λουτεΐνη για μειωμένο κίνδυνο καρκίνου του πνεύμονα. Επομένως, η κατανάλωση νωπών και επεξεργασμένων προϊόντων τομάτας θεωρείται ως δείκτης καλών διατροφικών συνήθειών και υγιεινού τρόπου ζωής (Giovannucci, 1999).

Η τομάτα όμως, είναι ένας κλιμακτηρικός καρπός και έχει σχετικά μικρή διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή. Κάθε χρόνο περίπου, 25-40% απώλειες τομάτας συμβαίνουν λόγω έλλειψης κατάλληλων μεθόδων αποθήκευσης μετά την συγκομιδή. Σε πολλές περιπτώσεις, η συγκομιδή ανώριμων τοματών είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση της μακράς αλυσίδας διανομής από τον αγρό στους καταναλωτές που βρίσκονται στα μεγαλύτερα κέντρα κατανάλωσης, καθώς τα φρούτα τείνουν να είναι πιο σταθερά και πιο ανθεκτικά στον χειρισμό. Εξειδικευμένες πρακτικές χειρισμού μετά τη συγκομιδή και μέθοδοι επεξεργασίας χρειάζονται προκειμένου να παραταθεί η διάρκεια ζωής των καρπών μετά τη συγκομιδή. Σύμφωνα με τους Gustavo κ.α. (2003), το 49 έως 80% όλων των αγροτικών προϊόντων καταλήγουν στον καταναλωτή, ενώ το υπόλοιπο χάνεται.

Επομένως, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις κατάλληλες πρακτικές χειρισμού και τις μεθόδους επεξεργασίας που απαιτούνται για τις συγκομισθείσες τομάτες, προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες μετά τη συγκομιδή, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα. Οι πρακτικές χειρισμού περιλαμβάνουν τον τρόπο συγκομιδής, την προθέρμανση, τον καθαρισμό ή την απολύμανση, τη διαλογή και την ταξινόμηση, τη συσκευασία, την αποθήκευση και τη μεταφορά, και επηρεάζουν σημαντικά τη διατήρηση της ποιότητας και τη διεύρυνση της διάρκειας ζωής των καρπών τομάτας μετά τη συγκομιδή. Επίσης, συχνά είναι ζωτικής σημασίας η χρήση κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας μετά τη συγκομιδή όπως η ψύξη, η θερμική επεξεργασία μετά τη συγκομιδή, η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Modified Atmosphere Packaging, MAP) και η εφαρμογή 1-μεθυλοκυκλοπροπενίου (1-methylcyclopropene, 1-MCP) και χλωριούχου ασβεστίου (CaCl_2) (Arah κ.α., 2016).

2. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ

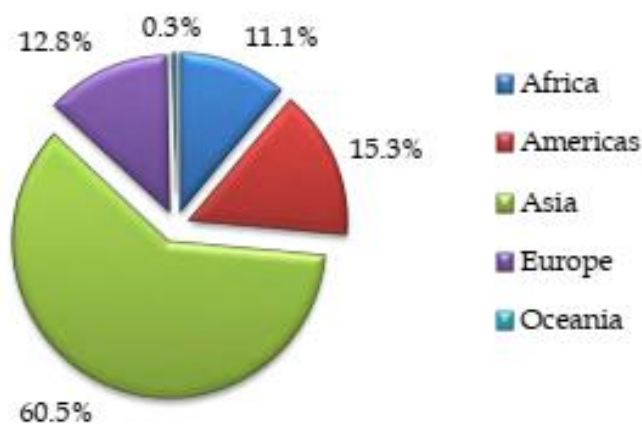
2.1. Η σημασία της τομάτας στην Ελλάδα και σε παγκόσμιο επίπεδο

Στις μέρες μας θα ήταν δύσκολο να φανταστούμε τη μεσογειακή αλλά ακόμα και την κουζίνα της βόρειας Ευρώπης χωρίς τη τομάτα. Αλλά η Ευρώπη και η Ασία δεν γνώριζαν τις τομάτες πριν από τον δέκατο έκτο αιώνα. Η παγκόσμια παραγωγή εκτιμήθηκε σε περισσότερα από 161 εκατομμύρια τόνους το 2012, από την οποία μόνο η Κίνα παράγει πάνω από 50 εκατομμύρια τόνους. Οι τομάτες είναι γνωστές και παράγονται παγκοσμίως. Αν και η Ολλανδία, το Βέλγιο, η Ισλανδία και η Ιρλανδία είναι οι χώρες που παράγουν τις υψηλότερες αποδόσεις ανά εκτάριο, η Ασία είναι μακράν η ήπειρος με την υψηλότερη παραγωγή τομάτας. Το ποσοστό αυτό δείχνει ότι οι τομάτες προσαρμόστηκαν, εξελίχθηκαν και μεταμόρφωσαν κοινωνίες και οικονομίες σε όλο τον κόσμο. Αν και η κατά κεφαλήν κατανάλωση διαφέρει σημαντικά μεταξύ χωρών και περιοχών, μια σημαντική τάση φαίνεται να είναι ότι η κατανάλωση τομάτας αυξάνεται (Harvey κ.α., 2002, Slimestad & Verheul, 2009, FAO, 2014).

Η καλλιέργεια της τομάτας έχει εξαπλωθεί ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο και είναι η σημαντικότερη καλλιέργεια ως προς την αξία της και η δεύτερη σημαντικότερη σε έκταση και παραγωγή μετά την πατάτα. Η παγκόσμια παραγωγή τομάτας αυξάνεται σταδιακά τα τελευταία χρόνια και το 2016 ήταν περίπου 177 εκατομμύρια τόνοι. Όπως είναι εμφανές και από το γράφημα που ακολουθεί (Εικόνα 1), η Ασία παράγει το μεγαλύτερο ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής με την Κίνα να ηγείται. Το 70% αυτής της παραγωγής προέρχεται από την Κίνα, την Ευρωπαϊκή Ένωση, την Ινδία, τις Η.Π.Α., την Τουρκία και την Αίγυπτο. Στην χώρα μας, η τομάτα καλλιεργείται εντατικά στην Κρήτη, την Πρέβεζα, την Μεσσηνία και την Αρκαδία και η παραγωγή της τομάτας ξεπέρασε το 1.000.000 τόνους το 2014 αν και καταγράφηκε μείωση της συνολικής παραγωγής από το 2010 ως το 2014 (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>).

Η τομάτα κατέχει πολλές σημαντικές θέσεις στον κόσμο των λαχανικών. Αρχικά, ως φυτό μοντέλο στη μοριακή βιολογία της ανάπτυξης των καρπών, ως το πρώτο γενετικά τροποποιημένο λαχανικό και ως ένα εξαιρετικά θρεπτικό λαχανικό σε ολόκληρο το έτος. Η τομάτα μπορεί να καταναλωθεί ως ακατέργαστη ή επεξεργασμένη. Είναι ένα χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά και ζάχαρη λαχανικό που έχει γίνει μέρος της καθημερινής

διατροφής του ανθρώπου. Η καλλιέργεια και η επεξεργασία είναι γενικά εύκολη και είναι πλούσια σε βιταμίνες και αντιοξειδωτικά (Kimura & Sinha, 2008).



Εικόνα 1. Το παγκόσμιο ποσοστό παραγωγής τομάτας ανά ήπειρο μεταξύ 2012-2013 (FAO, 2014).

2.2. Καταγωγή και εξάπλωση

Η καλλιεργούμενη τομάτα (*Solanum lycopersicum*) προέρχεται και εξημερώθηκε σε περιοχές που επεκτείνονται από βορειοδυτικά της Νότιας Αμερικής έως την Κεντρική Αμερική (Εικόνα 2). Με βάση τα μοριακά και μορφολογικά στοιχεία, η *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* θεωρείται ότι είναι ο άμεσος πρόγονος της καλλιεργημένης τομάτας. Πιθανότατα μάλιστα, η διαδικασία εξημέρωσης ήταν μια διαδικασία δύο σταδίων, η οποία ξεκίνησε με την προ-εξημέρωση του είδους από την άγρια τομάτα *Solanum pimpinellifolium*, ένα ξυλώδες φυτό με μικρά στρογγυλά φρούτα στον Ισημερινό και το Βόρειο Περού, ακολουθούμενο από τη μετανάστευση του *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* στη Μεσοαμερική. Εκεί πραγματοποιήθηκε η πραγματική εξημέρωση και τελικά οδήγησε στην παραγωγή της καλλιεργούμενης τομάτας που φέρει μεγάλους καρπούς (Bai & Lindhout, 2007, Ranc κ.α. 2008).

Η τομάτα είχε φτάσει σε αρκετά προχωρημένο στάδιο εξημέρωσης, πριν να μεταφερθεί στην Ευρώπη τον 15^ο αιώνα και έχει υποστεί πολύ πιο έντονη εξημέρωση σε όλη την Ευρώπη τον 18^ο και 19^ο αιώνα. Από τον 20^ο αιώνα, οι άνθρωποι δημιούργησαν μια τεράστια ποικιλία μορφολογικά διαφορετικών ποικιλιών και τύπων από το μοναδικό είδος *S. lycopersicum* μέσω της βελτίωσης. Η εξημέρωση, η έρευνα και οι βελτιωτικές

δραστηριότητες που εφαρμόστηκαν από επιστήμονες και βελτιωτές παγκοσμίως, έχουν δημιουργήσει τις σύγχρονες ποικιλίες τομάτας (ως επί το πλείστον υβρίδια) που έχουν αναπτυχθεί με όλα τα σχήματα, χρώματα και μεγέθη (Bai & Lindhout, 2007).



Εικόνα 2. Κέντρα καταγωγής και ποικιλομορφίας των σημαντικότερων γεωργικών καλλιεργειών παγκοσμίως (Khoury κ.α. 2016).

Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα και ως τις αρχές του 20^{ου}, η καλλιέργεια της τομάτας εξαπλώθηκε με γρήγορο ρυθμό σε πολλές χώρες και στην Ελλάδα. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για επιτραπέζια κατανάλωση ενώ ως βιομηχανική πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκε μετά τον πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, αρχικά στα Δωδεκάνησα και τη Ν. Ελλάδα. Η σημαντική εξάπλωση της καλλιέργειας της τομάτας άρχισε μετά το 1975 με την αύξηση των υπό κάλυψη καλλιεργειών και με τη δημιουργία σύγχρονων βιομηχανικών μονάδων μεταποίησης για την παραγωγή τοματοπολτού, χυμού τομάτας, αποφλοιωμένης τομάτας και άλλων σχετικών προϊόντων (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου κ.α., 2015).

2.3.Βοτανική ταξινόμηση

Ο Carolus Linnaeus (1753) τοποθέτησε την τομάτα στο γένος *Solanum* ως *Solanum lycopersicum* L. (*lyco* σημαίνει *λύκος* και *persicum* ροδάκινο). Ωστόσο, ο Miller (1768) απέσπασε από το *Solanum* ένα νέο γένος, το *Lycopersicon*, για να συμπεριλάβει την τομάτα και διάφορα άλλα είδη και την ονόμασε *Lycopersicon esculentum* Mill. Αυτή η ονομασία (*Lycopersicon esculentum*) χρησιμοποιήθηκε ευρέως μέχρι πρόσφατα. Μετά τον Miller, αρκετοί ερευνητές συμπεριέλαβαν τις τομάτες στο *Lycopersicon*, αλλά άλλοι ταξινομιστές περιέλαβαν τις τομάτες στο γένος *Solanum* (Peralta κ.α., 2006).

Πρόσφατες μελέτες που χρησιμοποιούν μορφολογικούς χαρακτήρες και μοριακά δεδομένα τόσο από τους χλωροπλάστες όσο και από τα πυρηνικά γονιδιώματα έχουν δείξει ότι οι τομάτες ανήκουν σε συγγενική ομάδα με την πατάτα (*Solanum tuberosum* L.). Οι τομάτες, οι πατάτες και τα συγγενικά τους είδη ταξινομούνται τώρα ως μέρος του ίδιου γένους (*Solanum*). Επομένως, η τομάτα ονομάζεται *Solanum lycopersicum* κατά Linnaeus (Πίνακας 1). Επί του παρόντος, 13 άγρια είδη τομάτας είναι γνωστά. Όλα είναι διπλοειδή ($2n = 24$) και μπορούν να διασταυρωθούν με την καλλιεργημένη τομάτα και να χρησιμεύσουν ως πηγή γονιδίων για επιθυμητά χαρακτηριστικά όπως η αυξημένη απόδοση, η καλύτερη ποιότητα καρπών και η αντοχή σε παθογόνους παράγοντες και αβιοτικές καταπονήσεις. Η τομάτα ανήκει στην εξαιρετικά μεγάλη οικογένεια Solanaceae και είναι στενά συνδεδεμένη με πολλά εμπορικά σημαντικά φυτά όπως η πατάτα, οι μελιτζάνες, οι πιπεριές, ο καπνός και οι πετούνιες (Spooner κ.α., 1993, Bohs & Olmstead, 1997, Peralta κ.α., 2005, Spooner κ.α., 2005).

Πίνακας 1. Η επιστημονική ταξινόμηση της καλλιεργούμενης τομάτας (Jones, 2007).

Kingdom:	Plantae
Subkingdom:	Tracheobionia
Division:	Magnoliophyta
Class:	Magnoliopsida
Subclass:	Asteridae
Order:	Solanales
Family:	Solanaceae
Genus:	<i>Solanum</i>
Species:	<i>Solanum lycopersicum</i>

2.4.Μορφολογικά χαρακτηριστικά

2.4.1. Καρπός

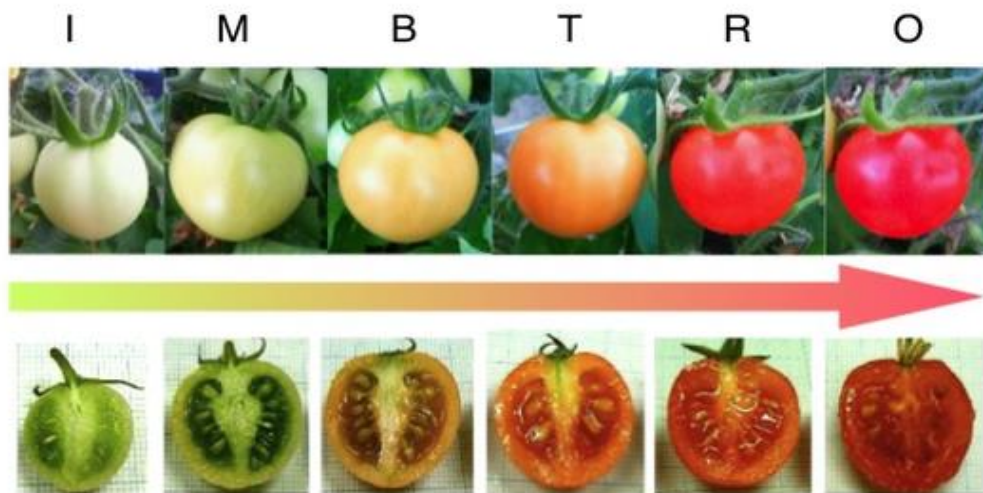
Οι καρποί της τομάτας αναπτύσσονται από τις ωοθήκες μετά τη γονιμοποίηση των ωαρίων. Ο καρπός είναι μία πολύχρωμη ράγα που προκύπτει από τη συνένωση των καρποφύλλων του άνθους οπότε μπορεί να χωρίζεται με σαρκώδη τοιχώματα σε 4-10 χώρους. Στα ξεχωριστά αυτά τμήματα του καρπού αναπτύσσονται σε ομάδες οι σπόροι της τομάτας που περιβάλλονται από μια ζελατινώδη ουσία, τον πλακούντα. Ο καρπός της τομάτας ποικίλλει στις διάφορες ποικιλίες και μπορεί να είναι σφαιρικός, ελαφρά πεπλατυσμένος, επιμήκης ή κυλινδρικός. Επίσης, το βάρος του ξεκινά από τα 10-20g για τις πιο μικρόκαρπες ποικιλίες και μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 400g όταν η ποικιλία είναι μεγαλόκαρπη και αναπτύσσεται σε ευνοϊκές συνθήκες. Τα βασικά μέρη του καρπού και οι αντίστοιχες αναλογίες τους είναι: σάρκα και χυμός 96-97%, σπόροι 2-3% και φλοιός 1-2%. Οι καρποί της είναι συνήθως κόκκινοι. Ωστόσο, οι καλλιεργημένοι τύποι φέρουν επίσης καρπούς που είναι πορτοκαλί, ρόδινοι, κίτρινοι πράσινοι, σχεδόν μαύροι, λευκοί ή και δίχρωμοι. Ο κόκκινος χρωματισμός του καρπού οφείλεται στο λυκοπένιο. Το λυκοπένιο είναι ένας πολυακόρεστος υδρογονάνθρακας και αποτελεί το σημαντικότερο καροτενοειδές της τομάτας. Η συγκεκριμένη ουσία διαθέτει ισχυρή αντιοξειδωτική δράση και η βιοσύνθεση του λυκοπενίου πραγματοποιείται μόνο στους φυτικούς ιστούς. Καθώς λοιπόν ο ανθρώπινος οργανισμός προσλαμβάνει το λυκοπένιο μόνο μέσω της διατροφής του, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η κατανάλωση της νωπής τομάτας και των επεξεργασμένων προϊόντων της. Επιπλέον, ο καρπός της τομάτας είναι πλούσιος σε νερό, ζάχαρα, ίνες, λιπαρές ουσίες, ιχνοστοιχεία όπως κάλιο, φώσφορο, μαγνήσιο, ασβέστιο, σίδηρο κ.ά, βιταμίνες (Α, Β, Ε και C) και αντιοξειδωτικά (Δημητράκης, 1998, Bedinger κ.α., 2011, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου κ.α., 2015, <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en>).

2.5.Συγκομιδή

Η συγκομιδή των καρπών γίνεται σε διαφορετικά στάδια ωρίμανσης, αναλόγως του προορισμού τους. Για την τοπική αγορά οι καρποί συγκομίζονται μόλις ωριμάσουν,

για τη βιομηχανία τελείως ώριμοι και για εξαγωγή όταν αρχίζουν να αποκτούν κόκκινο χρώμα. Σε όλες τις περιπτώσεις συνιστούν να γίνεται η συγκομιδή κατά το απόγευμα ή τις πρωινές ώρες, εφόσον οι καρποί είναι εντελώς στεγνοί, ώστε αυτοί να αποσπώνται από τον ποδίσκο ή να διατηρούν ένα τμήμα του αν αυτό προτιμά η αγορά. Η διάρκεια των συγκομιδών εξαρτάται κυρίως από τη χρησιμοποιούμενη ποικιλία. Υπάρχουν ποικιλίες συνεχούς παραγωγής για παράδειγμα, που η συγκομιδή τους διαρκεί από 3-5 μήνες. Κατά τα τελευταία χρόνια, για την επιτάχυνση της ωρίμανσης πάνω στο φυτό χρησιμοποιούν το ethophon ψεκάζοντας τα φυτά με 100-200γρ./στρ., όταν αρχίζει η φυσιολογική ωρίμανση των καρπών (Δημητράκης, 1998).

Ως κριτήριο συλλεκτικής ωριμότητας λαμβάνεται το χρώμα της σάρκας και η συγκομιδή του καρπού πρέπει ν' αρχίζει μετά την έναρξη αλλαγής του χρώματος από το πράσινο στο ελαφρώς κόκκινο (Σφακιωτάκης, 1995). Το στάδιο ωριμότητας στο οποίο θα συγκομιστεί ο καρπός καθορίζεται και από την αγορά προορισμού του προϊόντος. Σε διεθνές επίπεδο υπάρχει ο χάρτης αναγνώρισης διαφόρων σταδίων ωρίμανσης του καρπού, για να υπάρχει μια αλληλοκατανόηση μεταξύ των ασχολούμενων με το αντικείμενο και συνεννόησης όσον αφορά την εμπορία και διακίνηση της τομάτας (Εικόνα 3) (Ολύμπιος, 2001).



Εικόνα 3. Τα στάδια ωρίμανσης της τομάτας (ποικιλία Micro Tom): ανώριμο πράσινο (I), ώριμο πράσινο (M), σπάσιμο του χρώματος (B), γύρισμα του χρώματος (T), κόκκινο ώριμο (R) και υπερώριμο (O) (Hyodo κ.α., 2013).

2.6.Χρήσεις

Η τομάτα καλλιεργείται κυρίως για τον καρπό της που καταναλώνεται νωπός αλλά μπορεί να καταναλωθεί και σε χυμό, σε πολτό ή ακέραιος, αποφλοιωμένος, τεμαχισμένος, συμπυκνωμένος ή σε σκόνη και να συντηρηθεί σε γυάλινες συσκευασίες σε κονσέρβες ή σε άλμη. Τα παραπάνω προϊόντα που προκύπτουν μετά από την βιομηχανική επεξεργασία των καρπών της τομάτας είναι πολύ σημαντικά για τη χώρα μας καθώς εξάγονται σε μεγάλες ποσότητες (Ντόγρας, 2001, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου κ.α., 2015).

Μια έρευνα του 2005 που διενεργήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες από τον καλωδιακό τηλεοπτικό σταθμό Food Network (<http://www.foodnetwork.com>) απαρίθμησε τα είδη διατροφής που θα πρέπει να είναι διαθέσιμα όπως το γάλα, το βούτυρο, το αλεύρι, τα αυγά κλπ., για τις μη προγραμματισμένες μαγειρικές στιγμές. Οι ειδικοί περιέγραψαν τις κονσέρβες τομάτας ως το νούμερο ένα στοιχείο που πρέπει να έχετε το στο ντουλάπι της κουζίνας. Το νούμερο 9 στη λίστα των 10 απαραίτητων στοιχείων ήταν η σάλτσα / πάστα ντομάτας. Είναι εμφανές ότι η τομάτα είναι ένα κοινό συστατικό σε μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων διατροφής με υψηλή διατροφική αξία για τον ανθρώπινο οργανισμό (Πίνακας 2 & 3) (Jones, 2007).

Πίνακας 2. Τα βασικά συστατικά της νωπής τομάτας και του τοματοπολτού (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου κ.α., 2015).

Συστατικά	Καρπός τομάτας (100gr)	Τοματοπολτός (100gr)
Νερό (g)	94,5	87,88
Πρωτεΐνες (g)	0,88	1,65
Υδατάνθρακες (g)	3,89	8,98
Σάκχαρα (g)	2,63	4,83
Λιπαρές ουσίες (g)	0,20	0,21
Ινώδεις ουσίες (g)	1,20	1,90
Τέφρα (g)	0,50	1,28
Ενέργεια (kcal)	18	38

Πίνακας 3. Τα προϊόντα μεταποίησης της τομάτας και η περιγραφή τους από τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου κ.α., 2015)

Προϊόν	Περιγραφή του προϊόντος
Φυσικός χυμός τομάτας	Ο μη συμπυκνωμένος χυμός των ώριμων καρπών της τομάτας χωρίς φλοιούς και σπέρματα.
Ελαφρώς συμπυκνωμένος χυμός τομάτας	Το προϊόν που παρασκευάζεται από χυμό τομάτας που έχει υποστεί ελαφρά συμπύκνωση, ώστε τα στερεά συστατικά να είναι τουλάχιστον 6%.
Τοματοπολτός	Το προϊόν που παρασκευάζεται με συμπύκνωση του χυμού των νωπών καρπών της τομάτας. Ανάλογα με το βαθμό της συμπύκνωσης διακρίνεται στους παρακάτω τύπους: α) Πελτέ τύπου Θήρας, ο οποίος πρέπει να περιέχει στερεά συστατικά από χυμό τομάτας τουλάχιστον 40%, β) Τοματοπολτό τριπλής συμπύκνωσης με στερεά συστατικά τουλάχιστον 36%, γ) Τοματοπολτό διπλής συμπύκνωσης με στερεά συστατικά τουλάχιστον 28%, δ) Τοματοπολτό απλής συμπύκνωσης με στερεά συστατικά τουλάχιστον 22%, ε) Ημι-συμπυκνωμένο τοματοπολτό με στερεά συστατικά τουλάχιστον 16%.
Αποφλοιωμένες κονσερβοποιημένες τομάτες ολόκληρες ή σε τεμάχια	
Κέτσαπ	Το προϊόν που παρασκευάζεται με ειδική επεξεργασία είτε της ακατέργαστης σάρκας της τομάτας είτε του τοματοπολτού. Το προϊόν Κέτσαπ τομάτα (Tomato Ketchup), μπορεί να περιέχει ξύδι, αλάτι, αρτύματα, μπαχαρικά και φυσικές γλυκαντικές ύλες.

2.7.Χαρακτηριστικά ποιότητας της τομάτας

Ο καθορισμός της ποιότητας στα λαχανικά είναι μια σύνθετη έννοια που περιλαμβάνει: (1) Εξωτερικά χαρακτηριστικά όπως μέγεθος, σχήμα, χρώμα, τραύματα από μηχανικά αίτια ή έντομα και ασθένειες, επιφανειακά υπολείμματα φυτοφαρμάκων κ.λπ., (2) Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά : (α) θρεπτικά συστατικά, γεύση και άρωμα που οφείλονται σε διάφορες ουσίες μερικές από τις οποίες βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες, (β) υφή που καθορίζεται από τη φύση των κυτταρικών τοιχωμάτων και τις ουσίες που συνδέουν τα κύτταρα μεταξύ τους (Δημητράκης, 1982).

3. Η ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

3.1. Οι αντιοξειδωτικές ουσίες

Ο όρος "αντιοξειδωτικά" γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής στη σύγχρονη κοινωνία λόγω των ευνοϊκών επιδράσεων τους στην ανθρώπινη υγεία. Ο ορισμός της αντιοξειδωτικής ουσίας είναι μάλλον απλός. Μια ουσία που αντιτίθεται στην οξείδωση ή αναστέλλει τις αντιδράσεις που προάγονται από το οξυγόνο ή τα υπεροξείδια. Ένας πιο βιολογικός ορισμός των αντιοξειδωτικών τα περιγράφει ως συνθετικές ή φυσικές ουσίες που προστίθενται στα προϊόντα για την πρόληψη ή την καθυστέρηση της αλλοίωσής τους από τη δράση του οξυγόνου στον αέρα. (Huang κ.ά., 2005).

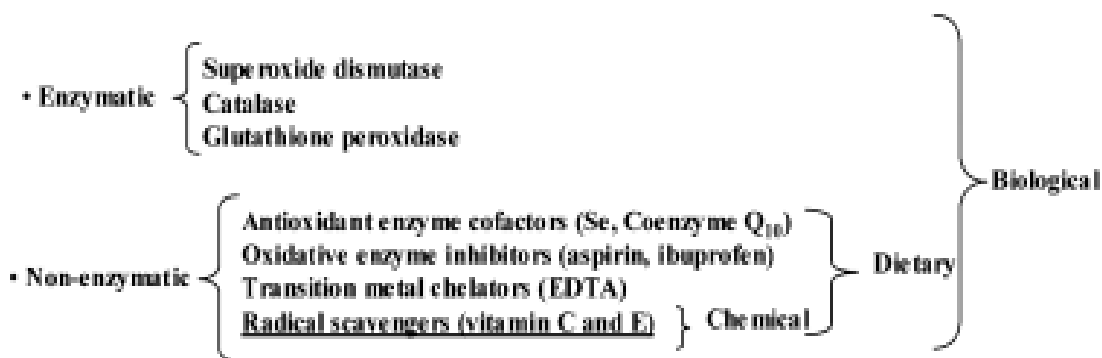
Η έρευνα για τα αντιοξειδωτικά έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία 10 χρόνια. Βάσει των πληροφοριών μόνο στη βάση δεδομένων Medline, οι επιστημονικές δημοσιεύσεις που αναφέρονται στα αντιοξειδωτικά αυξήθηκαν κατά 340% ενώ ο συνολικός αριθμός των δημοσιεύσεων σε ερευνητικά αντικείμενα που εστιάζουν στα φυτά, τα ζώα και τους ανθρώπους παρουσίασε αύξηση μόνο κατά 39%. Ο αριθμός των μεθόδων και των παραλλαγών στις μεθόδους μέτρησης των αντιοξειδωτικών που έχουν προταθεί έχει επίσης αυξηθεί σημαντικά (Prier κ.α., 2005).

Ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο, οι στόχοι προστασίας είναι σημαντικά διαφορετικοί. Στη χημική βιομηχανία, τα αντιοξειδωτικά συχνά αναφέρονται σε ενώσεις που επιβραδύνουν την αυτοοξείδωση ενός χημικού προϊόντος όπως το καουτσούκ και τα πλαστικά. Η αυτοοξείδωση προκαλείται κυρίως από αλυσιδωτές αντιδράσεις μεταξύ των ελευθέρων ριζών οξυγόνου και των υποστρωμάτων. Στην επιστήμη των τροφίμων, τα αντιοξειδωτικά έχουν ένα ευρύτερο πεδίο, δεδομένου ότι περιλαμβάνουν συστατικά που εμποδίζουν την τάγγιση στα λίπη των τροφίμων καθώς και διαιτητικά αντιοξειδωτικά. Τα διαιτητικά αντιοξειδωτικά μειώνουν σημαντικά τις δυσμενείς επιδράσεις της οξειδωτικής καταπόνησης και συμβάλλουν στην πρόληψη ασθενειών (Huang κ.ά., 2005).

Τα αντιοξειδωτικά είναι υπεύθυνα για τον αμυντικό μηχανισμό του οργανισμού ενάντια σε ασθένειες που συνδέονται με την προσβολή των ελεύθερων ριζών, έτσι η κατανάλωση αντιοξειδωτικών που προέρχονται από φυτά εμπλέκεται στην πρόληψη εκφυλιστικών ασθενειών που προκαλούνται από οξειδωτική καταπόνηση όπως ο καρκίνος, το Parkinson, το Αλτσχάιμερ ή η αθηροσκλήρωση. Για την αξιολόγηση της

αντιοξειδωτικής ικανότητας χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της φασματομετρίας, της χρωματογραφίας και των ηλεκτροχημικών τεχνικών (Pisoschi & Negulescu, 2011).

Ένας παράγοντας που παρέχει ξεχωριστή πρόκληση στην ανάλυση της αντιοξειδωτικής ικανότητας είναι ότι εντός των βιολογικών συστημάτων, υπάρχουν τουλάχιστον τέσσερις πηγές αντιοξειδωτικών: (1) τα ένζυμα, όπως για παράδειγμα, η δισμουτάση του υπεροξειδίου, η καταλάση και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (2) τα μεγάλα μόρια (αλβουμίνη, φερριτίνη, κ.ά.), (3) τα μικρά μόρια [ασκορβικό οξύ, γλουταθειόνη, ουρικό οξύ, τοκοφερόλη, καροτενοειδή, (πολυ)φαινόλες], και (4) μερικές ορμόνες (οιστρογόνο, αγγειοτενσίνη, μελατονίνη, κλπ.). Από την άλλη πλευρά, βέβαια υπάρχουν πολλές πηγές ελευθέρων ριζών και οξειδωτικών ουσιών (Εικόνα 4) (Prier κ.α., 2005).



Εικόνα 4. Το ευρύ πεδίο των αντιοξειδωτικών διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες (Huang κ.α., 2005)

Οι αντιοξειδωτικές ουσίες διαχωρίζονται σε:

- Υδρόφιλες, όπως είναι η βιταμίνη C, οι φαινολικές ενώσεις, οι φλαβονόλες και
- Λιπόφιλες: όπως είναι οι τοκοφερόλες, το λυκοπένιο, το β-καροτένιο.

Οι αντιοξειδωτικές ουσίες της τομάτας περιλαμβάνουν:

- Τα καροτενοειδή, π.χ. το β-καροτένιο, πρόδρομη ουσία της βιταμίνης A και το λυκοπένιο,
- Οι βιταμίνες, π.χ. το ασκορβικό οξύ και η βιταμίνη E (α-τοκοφερόλη, γ-τοκοφερόλη), που είναι μια από τις πιο σημαντικές λιποδιαλυτές αντιοξειδωτικές ουσίες και απαντάται στη μεμβράνη και το κυτταρόπλασμα (Πίνακας 4) (Kotíkoná κ.α., 2011).
- Οι φαινολικές ουσίες, π.χ. τα φλαβονοειδή (Pinela κ.α., 2012).

Πίνακας 4. Τιμές αντιοξειδωτικών ουσιών νωπού κόκκινου καρπού τομάτας (Kamiloglu κ.α., 2013).

Αντιοξειδωτική ουσία	Συγκέντρωση (mg/kg)
Ασκορβικό οξύ	127
Καροτενοειδή	
β-καροτένιο	4
α-καροτένιο	1
Λυκοπένιο	26
Λουτεΐνη, ζεαξανθίνη	1
Φυτοένιο	19
Φυτοφλουένιο	8
Φλαβονοειδή	
Γλυκοσίδια κερκετίνης	3-7
Γλυκοσίδια καμφερόλης	2-8
Ναρινγκενίνη	8-42
Ρουτίνη	10-15
Φαινολικά οξέα	
Χλωρογενικό οξύ	13-38
Καφεϊκό οξύ	29-56
p-κουμαρικό οξύ	16
Φερουλικό οξύ	7
Σιναπικό οξύ	2
Βανιλικό οξύ	1
Σαλικυλικό οξύ	1
Βιταμίνη E	7

3.1.1. Καροτενοειδή

Τα καροτενοειδή είναι από τις πιο συνηθισμένες φυσικές χρωστικές στις οποίες οφείλονται οι κόκκινες, πορτοκαλί και κίτρινες αποχρώσεις φυτικών τμημάτων (φύλλων, ανθέων, καρπών), πτηνών, εντόμων, ψαριών και οστρακοειδών. Τα ζώα και ο άνθρωπος αδυνατούν να συνθέσουν καροτενοειδή. Έτσι, η τροφή είναι η μόνη πηγή αυτών των ουσιών. Συνήθως, τροφές που περιέχουν α-καροτένιο είναι καλές πηγές και β-καροτενίου, π.χ. λαχανικά και φρούτα κίτρινου-πορτοκαλί χρώματος. Τα καροτενοειδή είναι χρωστικές ουσίες στις οποίες οφείλεται το έντονο κόκκινο χρώμα των καρπών τομάτας. Η σύνθεσή τους παρατηρείται σε μεγάλο βαθμό κατά την ωρίμανση (Liu κ.α., 2008, GuilGuerrero & Reboloso-Fuentes, 2009, Amorim-Carrilho κ.α. 2014).

Αλλα καροτενοειδή, πέραν του λυκοπενίου, που απαντώνται σε καρπούς τομάτας είναι: η βιολαξανθίνη, η νεοξανθίνη, το β-καροτένιο, το α-καροτένιο, το γ-καροτένιο, το

ζ-καροτένιο, η ζεαξανθίνη, η λουτεΐνη, α-κρυπτοξανθίνη, β-κρυπτοξανθίνη, η νευροσπορίνη, το φυτοένιο, το φυτοφλουένιο, το κυκλολυκοπένιο, το 5,6 εποξειδίο του β-καροτενίου (Guil-Guerrero & Reboloso-Fuentes, 2009).

Πρόκειται για λιποδιαλυτές χρωστικές ουσίες οι οποίες διαχωρίζονται σε 2 κατηγορίες.

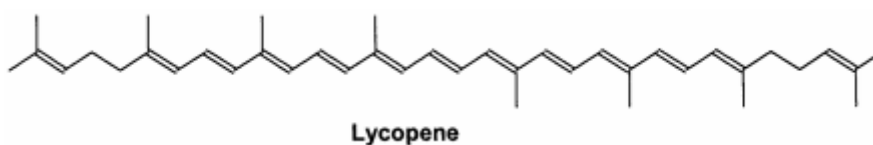
α. Ξανθοφύλλες, μόρια που περιέχουν οξυγόνο (οξυγονωμένα,) όπως η λουτεΐνη, η ζεαξανθίνη και

β. Καροτένια, μόρια τα οποία δεν περιέχουν οξυγόνο (μη οξυγονωμένα), όπως το α-καροτένιο και το λυκοπένιο (Amorim-Carrilho κ.α., 2014).

3.1.2. Λυκοπένιο

Το λυκοπένιο (Εικόνα 5) είναι ένα από τα 600 και πλέον καροτενοειδή που απαντώνται στη φύση. Η κατανάλωση τομάτας αποτελεί κύρια πηγή λυκοπενίου και συνδέεται με τον μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου και καρδιαγγειακών παθήσεων σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες (Liu κ.α., 2008, Guil-Guerrero & Reboloso-Fuentes, 2009).

Η αντιοξειδωτική ικανότητα του λυκοπενίου οφείλεται στη δομή του. Πρόκειται για ένα συμμετρικό, άκυκλο καροτενοειδές με 13 διπλούς δεσμούς εκ των οποίων οι 11 είναι συναρμοσμένοι. Λόγω του μεγάλου αριθμού συναρμοσμένων διπλών δεσμών, το λυκοπένιο παρουσιάζει υψηλότερη ικανότητα απόσβεσης μονήρους οξυγόνου (O_2^*) σε σύγκριση με το β-καροτένιο (Liu κ.α., 2008, Kamiloglu κ.α., 2013).



Εικόνα 5. Η χημική δομή του λυκοπενίου (Bramley, 2002)

Τα επίπεδα λυκοπενίου διαφέρουν ανάλογα με την ποικιλία και το στάδιο ωρίμανσης (Πίνακας 5). Στον πίνακα 5 που ακολουθεί παρουσιάζεται το περιεχόμενο σε λυκοπένιο 8 ποικιλιών τομάτας στο ώριμο στάδιο. Επίσης, συνδέονται με το περιεχόμενο των αδιάλυτων στερεών συστατικών. Άριστη θερμοκρασία για την σύνθεση λυκοπενίου

είναι οι 16 - 21°C. Αντιθέτως, σε θερμοκρασία άνω των 30°C η βιοσύνθεση λυκοπενίου αναστέλλεται με αποτέλεσμα οι καρποί να παραμένουν κίτρινοι λόγω μεταβολής της αναλογίας β-καροτενίου και λυκοπενίου (Allen-Stevens, 1986, Martínez-Valverde κ.α., 2002, Toor κ.α., 2006)

Πίνακας 5. Το περιεχόμενο σε λυκοπένιο 8 ποικιλιών τομάτας στο ώριμο στάδιο (Thompson κ.α., 2000).

Ποικιλία	Περιεχόμενο σε λυκοπένιο μg/100g
Agriset	4318c (169)
FL7692B	4159c (231)
FL7692D (og)	5786a (512)
Suncoast (og)	5068b (512)
Equinox	5550a (257)
97E212S (rin/+)	2622d (411)
FL7655	4282c (703)
Solar Set	4155c (536)

a-f Οι μέσοι όροι (τυπικές αποκλίσεις) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ($p < 0.05$).

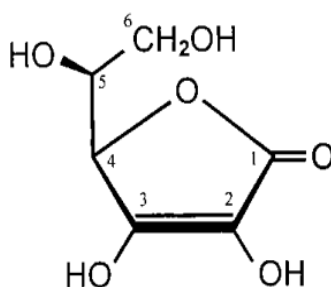
Τομάτες από βιολογική καλλιέργεια περιείχαν περισσότερο λυκοπένιο κατά 14% σε νωπό βάρος από εκείνες της συμβατικής και περισσότερο β-καροτένιο κατά 42 και 25% σε νωπό και ξηρό βάρος, αντίστοιχα. Ακόμα, τομάτες που λιπάνθηκαν με οργανικά και ανόργανα λιπάσματα δεν παρουσίασαν διαφορές ούτε στην περιεκτικότητα των διαλυτών φαινολών και του λυκοπενίου, αλλά ούτε και στη διαλυτή αντιοξειδωτική δράση (Caris-Veyrat κ.α., 2004, Toor κ.α., 2005).

3.1.3. Ασκορβικό οξύ

Το ασκορβικό οξύ (Ascorbic Acid, AA), είναι γνωστό για τις αναγωγικές του ιδιότητες και για τη χρήση του σε μεγάλη κλίμακα ως αντιοξειδωτικό παράγοντα σε τρόφιμα και ποτά, όπως επίσης για θεραπευτικούς σκοπούς και για τον βιολογικό μεταβολισμό (Εικόνα 6). Το ασκορβικό οξύ είναι ένα αντιοξειδωτικό με θεραπευτικές ιδιότητες, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργοποίηση της ανοσοαπόκρισης, στην επούλωση πληγών, στην οστεογένεση, στην αποτοξίνωση του οργανισμού, στην απορρόφηση σιδήρου, στη βιοσύνθεση του κολλαγόνου, στην πρόληψη της πήξης των

αιμοφόρων αγγείων και πολλές άλλες μεταβολικές διεργασίες (Pisoschi & Negulescu, 2011).

Το περιεχόμενο ασκορβικού οξέος των φρούτων και λαχανικών επηρεάζεται από προσυλλεκτικούς και μετασυλλεκτικούς παράγοντες. Πιο αναλυτικά, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν ο γενότυπος, οι κλιματικές συνθήκες, οι καλλιεργητικές πρακτικές, ο βαθμός ωριμότητα κατά τη συγκομιδή, η μέθοδος συγκομιδής και οι μετασυλλεκτικοί χειρισμοί (Πίνακας 6).



Εικόνα 6. Η χημική δομή του ασκορβικού οξέος (Davey, 2000).

Πίνακας 6. Το περιεχόμενο σε ασκορβικό οξύ 15 ποικιλιών τομάτας στο ώριμο στάδιο (Abushita κ.α., 1997).

Ποικιλία	Περιεχόμενο σε ασκορβικό οξύ mg/g
DRW 3042	0,29
Primato	0,37
Floriset	0,26
Katinka	0,32
Selma	0,26
Revido	0,25
DRW 3126	0,48
Gitana	0,34
Ultimo	0,26
Relento	0,26
Pankor	0,22
Delfino	0,33
Tampo	0,38
Monika	0,36
Falcato	0,31

Η παρατεταμένη αποθήκευση των προϊόντων, η χαμηλή σχετική υγρασία, η υψηλότερη θερμοκρασία, οι φυσικές ζημιές και οι ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες (chilling injury) έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της βιταμίνης C. Επιπλέον, το

ασκορβικό οξύ οξειδώνεται εύκολα σε υδατικά διαλύματα ιδιαιτέρως παρουσία οξυγόνου, ιόντων βαρέων μετάλλων (Cu^{2+} , Ag^{+} , Fe^{3+}), αλκαλικού pH και υψηλής θερμοκρασίας (Lee & Kader, 2000).

Οι Caris-Veyrat κ.α. (2004), μελέτησαν τομάτες από βιολογική και συμβατική καλλιέργεια, οι περιεκτικότητες που βρέθηκαν ήταν κατά 31 και 14% υψηλότερες με βάση το νωπό και το ξηρό βάρος αντίστοιχα στην βιολογική καλλιέργεια. Επίσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι πολτός από βιολογικές τομάτες περιείχε 77% περισσότερο ασκορβικό οξύ από τον πολτό που προήλθε από συμβατικές τομάτες.

3.1.4. Τα φλαβονοειδή

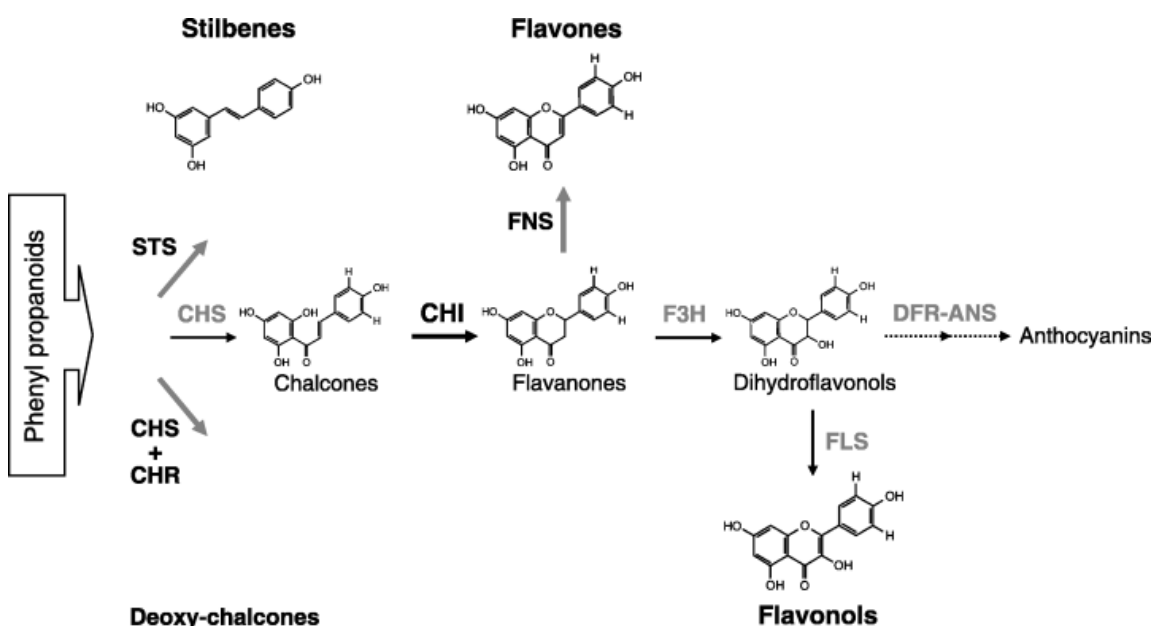
Οι κύριες φαινολικές ενώσεις που εντοπίζονται στις τομάτες είναι τα χλωρογενικά οξέα και οι συγγενείς τους ενώσεις και τα φλαβονοειδή (Εικόνα 7). Τα χλωρογενικά οξέα παρουσιάζουν διάφορες ωφέλιμες ιδιότητες για την ανθρώπινη υγεία, οι οποίες σχετίζονται με την ισχυρή αντιοξειδωτική τους δράση καθώς και με τις ηπατοπροστατευτικές, υπογλυκαιμικές και αντιυικές τους δράσεις. Στην παρουσία των οξέων αυτών φαίνεται να οφείλεται και η ελαφρά στυπτική γεύση. Ταυτόχρονα, τα φλαβονοειδή θεωρούνται ως εξαιρετικά χρήσιμες ενώσεις, με ωφέλιμες δράσεις στις φλεγμονές, τις καρδιαγγειακές παθήσεις και τον καρκίνο (Slimestad & Verheul, 2009).

Το ιστορικό της φλαβονοειδούς ανάλυσης από τις τομάτες μπορεί να ανιχνευθεί από το 1933 όταν ο Euler και οι συνεργάτες του μελέτησαν την ποικιλία Golden Queen και βρήκαν μια κίτρινη φλαβονοειδή χρωστική ουσία, την ρουτίνη (rutin), η οποία ήταν αδιάλυτη σε διθειάνθρακα, αλλά διαλυτή σε αλκάλια. Παρόλα αυτά, δεν κατάφεραν να την ταυτοποιήσουν. Η ίδια ένωση είχε εντοπιστεί νωρίτερα στην επιδερμίδα του βλαστού και σε φύλλα του φυτού της τομάτας (Slimestad & Verheul, 2009).

Η εμφάνιση των σύγχρονων οργάνων HPLC από τη δεκαετία του 1980 αύξησε τον αριθμό των φλαβονοειδών ενώσεων που ανιχνεύθηκαν από τις τομάτες και σε συνδυασμό με τη φασματομετρία μάζας (LC-MS) αυξήθηκε ο αριθμός των φλαβονοειδών από τις τομάτες, ιδιαίτερα από την αρχή της χιλιετίας. Τα τελευταία 2 χρόνια πολλαπλασιάστηκε ο αριθμός των εντοπισμένων φλαβονοειδών ενώσεων από τις τομάτες. Η ανάπτυξη τεχνικών LC-MS υψηλής ανάλυσης σε συνδυασμό με εργαλεία

μοριακών υπολογισμών υποδηλώνει την ύπαρξη απεριόριστου αριθμού φλαβονοειδών από τομάτες (Slimestad & Verheul, 2009).

Τα φλαβονοειδή σχηματίζουν μια μεγάλη οικογένεια πολυφαινολικών δευτερογενών μεταβολιτών των φυτών. Με βάση τη χημική δομή τους, τα φλαβονοειδή μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες (Εικ. 7), όπως χαλκόνες, φλαβανόνες, διυδροφλαβονόλες, φλαβονολίνες, φλαβονοϊσοφλαβονοειδή και ανθοκυανίνες (Schijlen κ.α., 2006).



Εικόνα 7. Σχηματική επισκόπηση της οδού σύνθεσης των φλαβονοειδών (Schijlen κ.α., 2006).

CHS, συνθάση χαλκόνης. STS, συνθετάση στυλβενίου. CHR, αναγωγή χαλκόνης. CHI, ισομεράση χαλκόνης. F3H, φλαβονόνη 3 υδροξυλάση; FNS, συνθάση φλαβόνου. FLS, συνθάση φλαβονόλης. DFR, αναγωγή διυδροφλαβονόλης, ANS, συνθάση ανθοκυανιδίνης.

3.2. Πλεονεκτήματα από την πρόσληψη αντιοξειδωτικών

Οι κλινικές δοκιμές και οι επιδημιολογικές μελέτες κατέδειξαν μια αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης φρούτων και λαχανικών και της εμφάνισης ασθενειών όπως οι φλεγμονές, οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο καρκίνος και οι διαταραχές που σχετίζονται με τη γήρανση. Τα διαιτητικά αντιοξειδωτικά, συμπεριλαμβανομένων των πολυφαινολικών ενώσεων, των βιταμινών E και C και των καροτενοειδών, πιστεύεται ότι είναι αποτελεσματικά θρεπτικά συστατικά στην πρόληψη αυτών των ασθενειών που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες (Huang κ.α., 2005).

Οι συστάσεις που βασίζονται σε επιδημιολογικές μελέτες υποστηρίζουν ότι τα φρούτα, τα λαχανικά και τα λιγότερο επεξεργασμένα βασικά τρόφιμα εξασφαλίζουν την καλύτερη προστασία από την ανάπτυξη ασθενειών που προκαλούνται από οξειδωτικό στρες, όπως ο καρκίνος, η στεφανιαία νόσο, η παχυσαρκία, ο διαβήτης τύπου 2, η υπέρταση και ο καταρράκτης. Αυτό οφείλεται στην ευεργετική επίδραση της υγείας, λόγω των αντιοξειδωτικών που υπάρχουν στα φρούτα και τα λαχανικά. Υπάρχουν πολυάριθμα αντιοξειδωτικά σε φυτά που περιλαμβάνονται στην ανθρώπινη διατροφή: καροτενοειδή, φαινολικές ενώσεις, παράγωγα του βενζοϊκού οξέος, φλαβονοειδή, προανθοκυανιδίνες, σιλβένια, κουμαρίνες, λιγνάνες και λιγνίνες. Από τα 50 προϊόντα διατροφής που εντοπίστηκαν με υψηλή περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικά, 13 ήταν μπαχαρικά, 8 ήταν φρούτα και λαχανικά, 5 ήταν μούρα, 5 είχαν ως βάση τη σοκολάτα, 5 ήταν δημητριακά για πρωινό και 4 ήταν ξηροί καρποί ή σπόροι. Λαμβάνοντας υπόψη τις συνήθειες ποσότητες διατροφής, στην κορυφή της ταξινόμησης ήταν τα βατόμουρα, τα καρύδια, οι φράουλες, οι αγκινάρες, τα μύρτιλα, τα βατόμουρα, τα σμέουρα, τα πεκάν, ο καφές, το γαρύφαλλο, οι χυμοί σταφυλιών και η σοκολάτα ζαχαροπλαστική χωρίς ζάχαρη (Pisoschi & Negulescu, 2011).

Οι χυμοί φρούτων, τα ποτά και τα ζεστά ροφήματα περιέχουν υψηλές ποσότητες αντιοξειδωτικών, όπως πολυφαινόλες, βιταμίνη C, βιταμίνη E, προϊόντα αντίδρασης Maillard, β-καροτίνη και λυκοπένιο. Η κατανάλωση χυμών φρούτων, ποτών και ζεστών ροφημάτων βρέθηκε ότι μειώνει τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα που προκαλούνται από εκφυλιστικές ασθένειες. Η κατανάλωση φρούτων και λαχανικών, καθώς και των σιτηρών και των ξηρών καρπών, έχει συσχετιστεί με μειωμένο κίνδυνο χρόνιων παθήσεων (Pisoschi & Negulescu, 2011).

3.3.Ο μηχανισμός δράσης των αντιοξειδωτικών

Ο κύριος ρόλος των αντιοξειδωτικών είναι η απενεργοποίηση των ελεύθερων ριζών με δύο βασικούς τρόπους δράσης, τη μεταφορά ατόμου υδρογόνου (Hydrogen Atom Transfer, HAT) και τη μεταφορά ενός μεμονωμένου ηλεκτρονίου (Single Electron Transfer, SET). Το τελικό αποτέλεσμα είναι το ίδιο, ανεξάρτητα από τον μηχανισμό, αλλά η κινητική και οι πιθανές παρενέργειες διαφέρουν. Η μεταφορά ηλεκτρονίων που συνδέεται με πρωτόνια και οι αντιδράσεις HAT μπορεί να εμφανιστούν παράλληλα και ο

μηχανισμός που κυριαρχεί σε ένα δεδομένο σύστημα θα καθοριστεί από την αντιοξειδωτική δομή και τις ιδιότητες, τη διαλυτότητα και τον συντελεστή διαίρεσης και τον διαλύτη συστήματος. Η ενέργεια διάστασης του δεσμού (Bond dissociation energy, BDE) και το δυναμικό ιοντισμού (ionization potential, IP) είναι δύο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν τον μηχανισμό και την αποτελεσματικότητα των αντιοξειδωτικών (Prior κ.α., 2005).

Οι μέθοδοι εκτίμησης της αντιοξειδωτικής ικανότητας που βασίζονται στην SET μετρούν τη μείωση της ικανότητας του αντιοξειδωτικού ενώ οι ποσοτικοί προσδιορισμοί με βάση το HAT εκτιμούν την ικανότητα μεταφοράς ατόμων υδρογόνου. Είναι προφανές ότι η αντίδραση μεταφοράς ατόμων υδρογόνου είναι ένα βασικό βήμα στην αλυσιδωτή αντίδραση των ελευθέρων ριζών. Επομένως, η μέθοδος που βασίζεται στο HAT είναι πιο σχετική με την αντιοξειδωτική ικανότητα στην αλυσιδωτή αντίδραση των ελευθέρων ριζών (Huang κ.α., 2005).

3.4. Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας

Οι επιστημονικές εργασίες σχετικά με τα αντιοξειδωτικά, περιλαμβάνουν πολλούς όρους που χρησιμοποιούνται από διάφορους ερευνητές για να περιγράψουν την αντιοξειδωτική ικανότητα. Η δραστηριότητα μιας χημικής ουσίας είναι άνευ σημασίας χωρίς το πλαίσιο των συγκεκριμένων συνθηκών αντίδρασης όπως η πίεση, η θερμοκρασία, τα μέσα αντίδρασης, τα αντιδραστήρια και τα σημεία αναφοράς. Επειδή η αντιοξειδωτική ικανότητα που μετράται από μια μεμονωμένη ανάλυση αντανακλά μόνο τη χημική αντιδραστηριότητα κάτω από τις ειδικές συνθήκες που εφαρμόζονται σε αυτή τη δοκιμασία, είναι ακατάλληλο και παραπλανητικό να γενικευθούν τα δεδομένα ως δείκτες της «συνολικής αντιοξειδωτικής δραστηριότητας» (Huang κ.α., 2005).

Πίνακας 7. Οι διάφορες αναλυτικές μέθοδοι αξιολόγησης της αντιοξειδωτικής ικανότητας εμπίπτουν σε ξεχωριστές κατηγορίες (Pisoschi & Negulescu, 2011)

Μέθοδος αντιοξειδωτικής ικανότητας	Αρχή της μεθόδου	Προσδιορισμός τελικού προϊόντος
Φασματομετρικές τεχνικές		
DPPH	Αντιοξειδωτική αντίδραση με οργανική ρίζα	Χρωματομετρία
ABTS	Αντιοξειδωτική αντίδραση με οργανική ρίζα κατιόντων	Χρωματομετρία
FRAP	Αντιοξειδωτική αντίδραση με σύμπλοκο Fe (III)	Χρωματομετρία
PFRAP	Αναγωγή του potassium ferricyanide από αντιοξειδωτικά και επακόλουθη αντίδραση του potassium ferrocyanide με Fe ³⁺	Χρωματομετρία
CUPRAC	Cu (II) αναγωγή σε Cu (I) με αντιοξειδωτικά	Χρωματομετρία
ORAC	Αντιοξειδωτική αντίδραση με υπεροξειδικές ρίζες, επαγόμενη από το AAPH	Απώλεια φθορισμού της φλουρεσκίνης
HORAC	Αντιοξειδωτική ικανότητα να καταστέλλει ρίζες OH που παράγονται από ένα σύστημα τύπου Fenton που βασίζεται στον Co (II)	Απώλεια φθορισμού της φλουρεσκίνης
TRAP	Αντιοξειδωτική ικανότητα να καθαρίζει ρίζες που προέρχονται από λουμινόλη, που παράγονται από αποσύνθεση του AAPH	Απώλεια χημειοφωταύγειας
Φθοριομετρία	Εκπομπή φωτός από μια ουσία που έχει απορροφήσει φως ή άλλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος	Καταγραφή φασμάτων διέγερσης / εκπομπής φθορισμού
Ηλεκτροχημικές τεχνικές		
Κυκλική βολταμετρία	Το δυναμικό ενός ηλεκτροδίου μεταβάλλεται γραμμικά από μια αρχική τιμή σε μία τελική τιμή και πίσω και καταγράφεται η αντίστοιχη ένταση ρεύματος	Μέτρηση της έντασης της καθοδικής / ανοδικής κορυφής
Αμπερομετρία	Το δυναμικό του ηλεκτροδίου τίθεται σε σταθερή τιμή σε σχέση με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς	Μέτρηση της έντασης του ρεύματος που παράγεται από την οξείδωση / αναγωγή ενός ηλεκτρενεργού αναλύτη
Διαμπερομετρία	Η αντίδραση του αναλύτη (αντιοξειδωτικού) με την οξειδωμένη μορφή ενός αναστρέψιμου δείκτη οξειδοαναγωγικού ζεύγους	Μέτρηση της ροής του ρεύματος μεταξύ δύο ταυτόσημων ηλεκτροδίων, σε μικρή διαφορά δυναμικού και βυθισμένα σε διάλυμα που περιέχει το αναλυθέν δείγμα και ένα αναστρέψιμο ζεύγος οξειδοαναγωγής
Χρωματογραφικές τεχνικές		
Αέρια Χρωματογραφία	Ο διαχωρισμός των ενώσεων σε ένα μείγμα, βασίζεται στην κατανομή μεταξύ μιας υγρής στατικής φάσης και μιας κινητής φάσης αερίου	Ιονισμός με φλόγα ή ανίχνευση θερμικής αγωγιμότητας
Υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης	Ο διαχωρισμός των ενώσεων σε ένα μείγμα, βασίζεται στην κατανομή μεταξύ στερεής στατικής φάσης και υγρής κινητής φάσης με διαφορετικές πολικότητες, με υψηλό ρυθμό ροής και πίεση της κινητής φάσης	Ανίχνευση υπεριωδών ακτίνων, φθορισμού, φασματομετρίας μάζας ή ηλεκτροχημικής ανίχνευσης

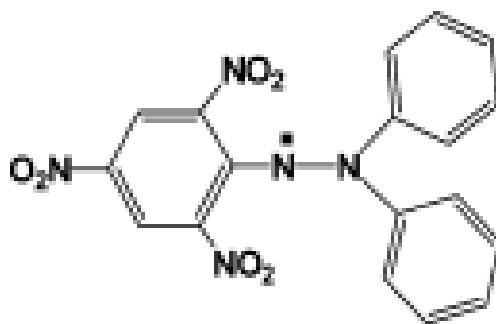
3.4.1. Οι φασματομετρικές τεχνικές

Οι φασματομετρικές τεχνικές βασίζονται στην αντίδραση μιας ελεύθερης ρίζας, ενός κατιόντος ή ενός συμπλόκου ριζών με ένα αντιοξειδωτικό μόριο ικανό να μεταφέρει ένα άτομο υδρογόνου (Pisoschi & Negulescu, 2011).

Η μέθοδος DPPH

Η ρίζα DPPH* (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) είναι μία από τις λίγες σταθερές οργανικές ρίζες αζώτου, που φέρει βαθύ ιώδες χρώμα. Είναι εμπορικά διαθέσιμη και δεν χρειάζεται να δημιουργηθεί πριν από τη δοκιμασία όπως το ABTS*⁺. Αυτή η μέθοδος στοχεύει στην εκτίμηση της μείωσης της αντιοξειδωτικής ικανότητας έναντι της ρίζας DPPH* (Εικόνα 8). Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των αντιοξειδωτικών, μετράται η απώλεια του χρώματος του DPPH στα 515 nm μετά την αντίδραση με τις εξεταζόμενες ενώσεις, και η αντίδραση παρακολουθείται με φασματόμετρο. Η εκατοστιαία αναλογία του υπόλοιπου DPPH* είναι ανάλογη της συγκέντρωσης αντιοξειδωτικού (Prior κ.α., 2005, Pisoschi & Negulescu, 2011).

Η μέθοδος είναι απλή και γρήγορη και απαιτεί μόνο ένα φασματοφωτόμετρο UV-Vis για να εκτελεστεί, γεγονός που πιθανώς εξηγεί τη διαδεδομένη χρήση της στον αντιοξειδωτικό έλεγχο. Ωστόσο, η ερμηνεία της είναι πολύπλοκη όταν οι ενώσεις που εξετάζονται έχουν φάσματα που αλληλεπικαλύπτονται με το DPPH στα 515 nm. Τα καροτενοειδή, ειδικότερα, παρεμβαίνουν. Η μέθοδος μειονεκτεί καθώς δεν βασίζεται σε μια ανταγωνιστική αντίδραση επειδή η DPPH είναι τόσο ανιχνευτής ριζών όσο και οξειδωτικό. Επίσης, το DPPH είναι μια σταθερή ρίζα αζώτου που δεν έχει ομοιότητα με τις εξαιρετικά δραστικές υπεροξειδικές ρίζες που εμπλέκονται στην υπεροξείδωση των λιπιδίων. Πολλά αντιοξειδωτικά που αντιδρούν γρήγορα με υπεροξειδικές ρίζες μπορεί να αντιδρούν αργά ή ακόμη και να είναι αδρανή στο DPPH. Το DPPH επιπλέον αποχρωματίζεται από αναγωγικούς παράγοντες καθώς και από τη μεταφορά H, γεγονός που συμβάλλει και σε ανακριβείς ερμηνείες της αντιοξειδωτικής ικανότητας. Έτσι, η αντιοξειδωτική ικανότητα δεν αξιολογείται με αξιοπιστία από την ικανότητα των αντιοξειδωτικών να αντιδράσουν με το DPPH (Prior κ.α., 2005).

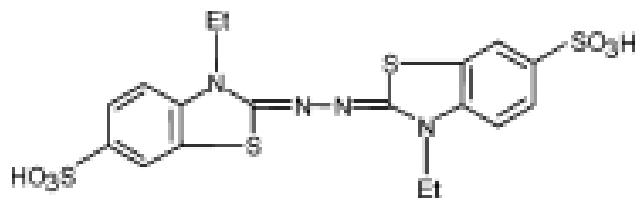


Εικόνα 8. Η χημική ένωση 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH*) (Prior κ.α., 2005).

Η μέθοδος ABTS

Η ρίζα ABTS (ABTS^{*+}, 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)), η οποία απορροφά στα 743 nm (δίνοντας ένα γαλαζωπό πράσινο χρώμα) σχηματίζεται από την απώλεια ενός ηλεκτρονίου από το άτομο του αζώτου του ABTS 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid). Παρουσία του Trolox (ή άλλου αντιοξειδωτικού που δίνει το υδρογόνο), το άτομο αζώτου καταστέλλει το άτομο υδρογόνου, αποδίδοντας τον αποχρωματισμό του διαλύματος. Το ABTS μπορεί να οξειδωθεί με υπερθειικό κάλιο ή με διοξείδιο του μαγγανίου, οδηγώντας στην ρίζα ABTS^{*+} (Εικόνα 9) της οποίας η μείωση της απορρόφησης στα 743 nm παρακολουθείται παρουσία Trolox, που επιλέγεται ως πρότυπο αντιοξειδωτικό (Pisoschi & Negulescu, 2011).

Επειδή η μέθοδος είναι λειτουργικά απλή, έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά ερευνητικά εργαστήρια για τη μελέτη της αντιοξειδωτικής ικανότητας. Το ABTS^{*+} αντιδρά γρήγορα με αντιοξειδωτικά, συνήθως μέσα σε 30 λεπτά. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ευρεία περιοχή pH και είναι διαλυτό σε υδατικούς και οργανικούς διαλύτες και δεν επηρεάζεται από την ιοντική ισχύ, έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλά μέσα για τον προσδιορισμό τόσο της υδρόφιλης όσο και της λιπόφιλης αντιοξειδωτικής ικανότητας των εκχυλισμάτων. Η ρίζα ABTS που χρησιμοποιείται στις μεθόδους δεν βρίσκεται στη βιολογία των θηλαστικών και έτσι αντιπροσωπεύει μια "μη φυσιολογική" πηγή ριζών. Επίσης, η μέθοδος ενδέχεται να μην είναι η ίδια για αργές αντιδράσεις και μπορεί να χρειαστεί περισσότερος χρόνος για να φτάσει σε ένα τελικό σημείο. Έτσι, χρησιμοποιώντας ένα σύντομο τελικό σημείο (4 ή 6 λεπτά), μπορεί κανείς να καταγράψει τις τιμές πριν τελειώσει η αντίδραση και να οδηγηθεί σε μειωμένες τιμές (Prior κ.α., 2005).



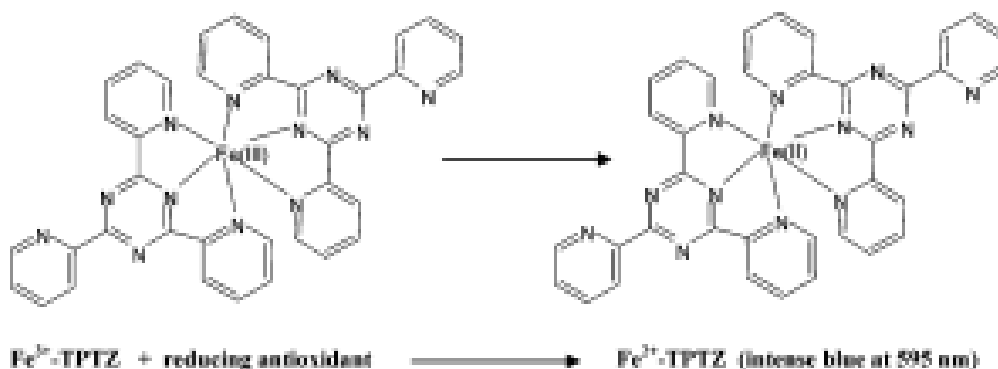
Εικόνα 9. Η χημική ένωση 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS*+) (Prior κ.α., 2005).

Η μέθοδος FRAP

Η μέθοδος που βασίζεται στη μείωση της αντιοξειδωτικής ισχύος του σιδήρου FRAP (ferric reducing antioxidant power) εκτιμά τη μείωση από τα αντιοξειδωτικά του συμπλόκου του ιόντος τρισθενούς σιδήρου-TPTZ (2,4,6-tri(2-pyridyl)- 1,3,5-triazine). Η δοκιμασία FRAP αναπτύχθηκε αρχικά για να μετρηθεί η αναγωγική ισχύς στο πλάσμα, αλλά ο προσδιορισμός ακολούθως έχει προσαρμοστεί και χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση αντιοξειδωτικών στα φυτά. Η δέσμευση του Fe^{2+} δημιουργεί ένα πολύ έντονο μπλε χρώμα. Η απορρόφηση μπορεί να μετρηθεί για να ελεγχθεί η μειωμένη συγκέντρωση του σιδήρου και μπορεί να συσχετιστεί με την ποσότητα των αντιοξειδωτικών. Το Trolox ή το ασκορβικό οξύ χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορές (Εικόνα 10) (Pisoschi & Negulescu, 2011).

Η αντίδραση ανιχνεύει ενώσεις με δυναμικό οξειδοαναγωγής $<0,7$ V (το δυναμικό οξειδοαναγωγής του Fe^{3+} -TPTZ), οπότε η FRAP είναι η καταλληλότερη μέθοδος για την εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας στα κύτταρα ή στους ιστούς. Ωστόσο, η FRAP δεν μπορεί να ανιχνεύσει ιδιαίτερα θειόλες και πρωτεΐνες. Συχνά, οι τιμές FRAP έχουν κακή συσχέτιση με άλλες αντιοξειδωτικές μεθόδους. Έχει υποστηριχθεί ότι η ικανότητα να ανάγεται ο σίδηρος έχει μικρή συσχέτιση με τις διεργασίες των ελευθέρων ριζών που μεσολαβούν από τα περισσότερα αντιοξειδωτικά. Η ανάλυση FRAP αναπτύχθηκε από μεθόδους που βασίζονται στην υπόθεση ότι οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής προχωρούν τόσο γρήγορα ώστε όλες οι αντιδράσεις να είναι πλήρεις εντός 4 και 6 λεπτών, αντίστοιχα, αλλά στην πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει πάντοτε. Τα αποτελέσματα της FRAP μπορούν να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την κλίμακα ανάλυσης. Οι φαινόλες ταχείας αντίδρασης που δεσμεύουν το σίδηρο ή διασπώνται σε ενώσεις με χαμηλότερη ή διαφορετική αντιδραστικότητα αναλύονται καλύτερα με σύντομους χρόνους αντίδρασης,

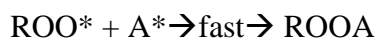
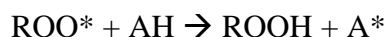
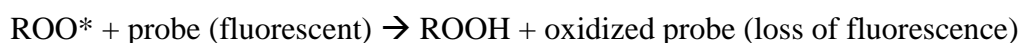
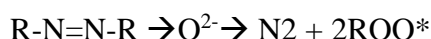
για παράδειγμα 4 λεπτά. Ωστόσο, ορισμένες πολυφαινόλες αντιδρούν πιο αργά και απαιτούν μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης για ανίχνευση, για παράδειγμα, 30 λεπτά. Η κατάταξη της αντιδραστικότητας μιας σειράς αντιοξειδωτικών μπορεί να ποικίλει τρομερά και ακόμη και να αντιστραφεί, ανάλογα με τον χρόνο ανάλυσης. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους μέτρησης της συνολικής αντιοξειδωτικής ισχύος, η μεθοδολογία της FRAP είναι απλή, γρήγορη, οικονομική και αξιόπιστη και δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό (Prior κ.α., 2005).



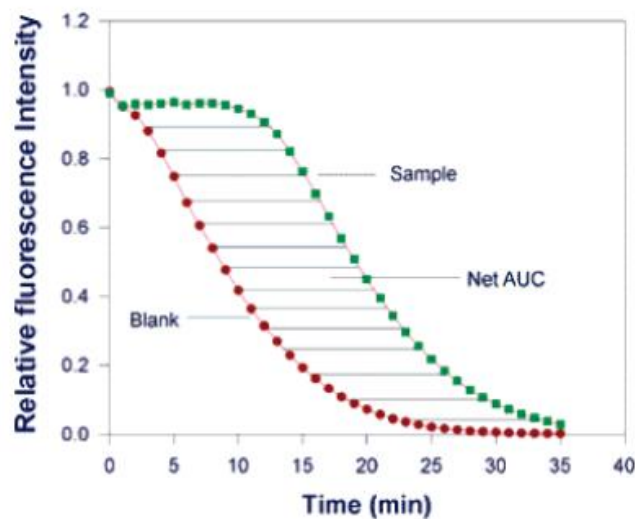
Εικόνα 10. Η αντίδραση της μεθόδου FRAP (Prior κ.α., 2005).

Η μέθοδος ORAC

Η μέθοδος ORAC (oxygen radical absorption capacity) μετρά την αντιοξειδωτική δραστικότητα έναντι της υπεροξειδικής ρίζας, προκαλούμενη από το 2,2'-azobis-(2-amidino-propane) dihydrochloride (AAPH) στους 37°C. Η φλουρεσκίνη (FL; 3',6'-dihydroxyspiro[isobenzofuran-1[3H],9'[9H]-xanthen]-3-one) ή η διχλωρο-φλουρεσκίνη (H2DCF-dA; 2',7'-dichlorodihydrofluorescein diacetate) χρησιμοποιήθηκαν ως φθορίζοντες ανιχνευτές. Η απώλεια φθορισμού ήταν ένας δείκτης της έκτασης της καταστροφής της φλουρεσκίνης, από την αντίδρασή της με την υπεροξειδική ρίζα (Pisoschi & Negulescu, 2011).



Όπως είχε διαμορφωθεί αρχικά, η μέθοδος ORAC περιορίζεται στη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας αλυσίδας της υδρόφιλης αλυσίδας έναντι μόνο υπεροξειδικών ριζών. Αυτό αγνοεί τα λιποφιλικά αντιοξειδωτικά που είναι ιδιαίτερα σημαντικά ενάντια στην οξείδωση των λιπιδίων σε όλα τα συστήματα καθώς και άλλες ρίζες που είναι πολύ δραστικές φυσιολογικά. Για να γίνει ευρύτερα εφαρμόσιμη, η μέθοδος ORAC έχει προσαρμοστεί για τη μέτρηση λιπόφιλων και υδρόφιλων αντιοξειδωτικών με τη χρήση διαλύματος 50% ακετόνης / 50% νερού (ο / ο) που περιέχει 7% τυχαία μεθυλιωμένη α -κυκλοδεξτρίνη (RMCD) τη διαλυτοποίηση των αντιοξειδωτικών. Η δοκιμασία ORAC έχει χρησιμοποιηθεί για να μελετήσει την αντιοξειδωτική δράση πολλών ενώσεων και δειγμάτων τροφίμων. Η βιομηχανία έχει αποδεχθεί τη μέθοδο στο σημείο που ορισμένοι κατασκευαστές nutraceutical αρχίζουν να συμπεριλαμβάνουν τις τιμές ORAC στις ετικέτες των προϊόντων (Εικόνα 11) (Prior κ.α., 2005).



Εικόνα 11. Η αντιοξειδωτική δραστικότητα ORAC του δείγματος εκτιμάται ως η καθαρή περιοχή κάτω από την καμπύλη (area under the curve, AUC) (Prior κ.α., 2005).

Η μέθοδος HORAC

Η μέθοδος HORAC (hydroxyl radical averting capacity, ικανότητα εξουδετέρωσης της ρίζας υδροξυλίου) βασίζεται στη μέτρηση της δραστικότητας χηλικοποίησης των μετάλλων των αντιοξειδωτικών, υπό τις συνθήκες αντιδράσεων τύπου Fenton. Η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα σύμπλοκο Co (II) και επομένως αξιολογεί την προστατευτική ικανότητα έναντι του σχηματισμού ρίζας υδροξυλίου. Η φλουρεσκίνη

επωάζεται με το προς ανάλυση δείγμα και κατόπιν προστίθεται το μίγμα Fenton (δημιουργώντας ρίζες υδροξυλίου). Στη συνέχεια, μετράται ο αρχικός φθορισμός, μετά τον οποίο οι μετρήσεις λαμβάνονται κάθε λεπτό μετά από ανακίνηση. Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης χρησιμοποιούνται διαλύματα γαλλικού οξέος (Pisoschi & Negulescu, 2011).

H μέθοδος TRAP

Η ανάλυση TRAP (total peroxy radical trapping antioxidant parameter, αντιοξειδωτικοί παράμετροι παγίδευσης ελευθέρων ριζών) παρακολουθεί την ικανότητα των αντιοξειδωτικών ενώσεων να παρεμβαίνουν στην αντίδραση μεταξύ υπεροξειδικών ριζών που παράγονται από το AAPH ή το ABAP [2,2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride] και έναν ανιχνευτή-στόχο. Η αντιοξειδωτική δραστηριότητα έχει προσδιοριστεί ως ο χρόνος που απαιτείται για την κατανάλωση όλου του αντιοξειδωτικού, με επέκταση του χρόνου υστέρησης για την εμφάνιση του οξειδωμένου ανιχνευτή όταν υπάρχουν αντιοξειδωτικά και με το ποσοστό αναγωγής μιας αντίδρασης. Οι τιμές TRAP συνήθως εκφράζονται ως χρόνος υστέρησης ή χρόνος αντίδρασης του δείγματος σε σχέση με τους αντίστοιχους χρόνους για το Trolox (Prior κ.α., 2005).

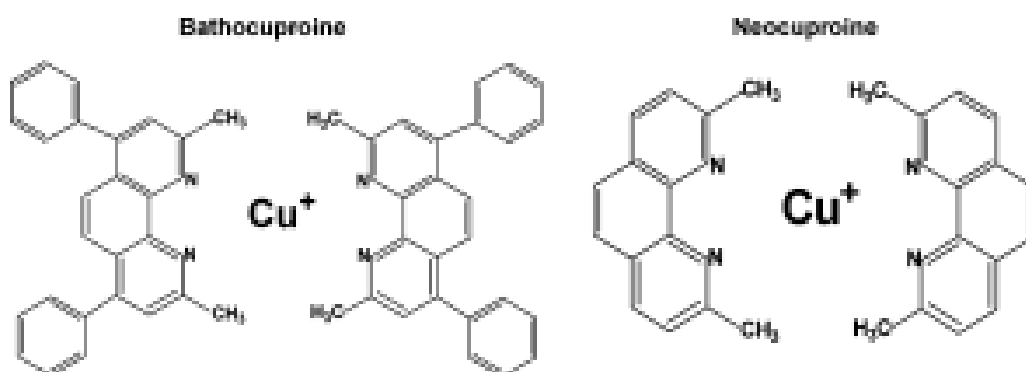
H μέθοδος PFRAP

Η μέθοδος PFRAP (potassium ferricyanide reducing power) συσχετίζει την αύξηση της απορρόφησης με την αναγωγική ικανότητα των αντιοξειδωτικών / αντιοξειδωτικών εκχυλισμάτων. Οι ενώσεις με αντιοξειδωτική ικανότητα αντιδρούν με το σιδηροκυανιούχο κάλιο, για να σχηματίσουν σιδηροκυανιούχο κάλιο. Το τελευταίο αντιδρά με τον τριχλωριούχο σίδηρο, αποδίδοντας σιδηροκυανιούχο σίδηρο, ένα μπλε χρωματισμένο σύμπλεγμα, με μέγιστη απορρόφηση στα 700 nm (Pisoschi & Negulescu, 2011).

H μέθοδος CUPRAC

Η μέθοδος CUPRAC (cupric reducing antioxidant power) αποτελεί παραλλαγή της δοκιμασίας FRAP χρησιμοποιώντας Cu αντί για Fe. Η μέθοδος βασίζεται στη μείωση του Cu (II) σε Cu (I) με τη συνδυασμένη δράση όλων των αντιοξειδωτικών (αναγωγικών

παραγόντων) σε ένα δείγμα. Η bathocuproine (2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline) σχηματίζει σύμπλοκο 2: 1 με τον Cu (I), αποδίδοντας χρωμοφόρο με μέγιστη απορρόφηση στα 490 nm. Ο ρυθμός, η αντίδραση και η συγκέντρωση των προϊόντων ακολουθούνται από την συμπλοκοποίηση της bathocuproine του παραγόμενου Cu (I). Η δοκιμασία CUPRAC χρησιμοποιεί την ένωση neocuproine (2,9-dimethyl-1,10-phenanthroline), της οποίας το σύμπλοκο με Cu (I) απορροφά στα 450 nm. Μια καμπύλη αραιώσεως που παράγεται από πρότυπα ουρικού οξέος χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της απορρόφησης του δείγματος σε ισοδύναμα ουρικού οξέος (Εικόνα 12) (Prior κ.α., 2005, Pisoschi & Negulescu, 2011).



Εικόνα 12. Η δομή των ενώσεων bathocuproine και neocuproine που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους αναγωγής του χαλκού (Prior κ.α., 2005).

Φθορισμομετρία

Ο φθορισμός είναι η εκπομπή φωτός από μια ουσία που έχει απορροφήσει φως ή άλλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με διαφορετικό μήκος κύματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το εκπεμπόμενο φως έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος και επομένως χαμηλότερη ενέργεια από την απορροφούμενη ακτινοβολία. Η εκπομπή φθορισμού συμβαίνει όταν ένα τροχιακό ηλεκτρόνιο ενός μορίου χαλαρώνει στην αρχική του κατάσταση, εκπέμποντας ένα φωτόνιο αφού διεγείρεται σε μια υψηλότερη κβαντική κατάσταση από κάποιο είδος ενέργειας. Η δοκιμασία φθορισμού αποτελεί άλλη μία μέθοδο που έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας ενός διαλύματος. Η φασματοσκοπία φθορισμού έχει χρησιμοποιηθεί επίσης, για την προσδιορισμό των φαινολικών ενώσεων στα έλαια. Οι φθορισμομετρικές μέθοδοι εκτίμηση του ασκορβικού οξέος βασίζονται στην αντίδραση του dehydroascorbic acid με την ο-

φαινυλενοδιαμίνη. Η τεχνική αυτή απαιτεί αυστηρό έλεγχο του pH, καθώς η ένταση φθορισμού εξαρτάται έντονα από την τιμή pH (Pisoschi & Negulescu, 2011).

3.4.2. Οι ηλεκτροχημικές τεχνικές

Οι ηλεκτροχημικές τεχνικές εφαρμόστηκαν επίσης για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας.

Κυκλική βολταμετρία

Η κυκλική βολταμετρία (Cyclic voltammetry, CV) είναι ένας τύπος ηλεκτροχημικής μέτρησης. Σε πειράματα κυκλικής βολταμετρίας, το δυναμικό ηλεκτροδίου εργασίας αυξάνεται γραμμικά έναντι του χρόνου. Στην κυκλική βολταμετρία, το δυναμικό ενός ηλεκτροδίου υποβάλλεται σε γραμμική σάρωση από μια αρχική τιμή σε μια τελική τιμή και πίσω, ενώ καταγράφεται η αντίστοιχη ένταση του ρεύματος. Το ρεύμα στο ηλεκτρόδιο σχεδιάζεται σε σχέση με την εφαρμοζόμενη τάση για να δώσει το κυκλικό βολταμόγραμμα. Οι σημαντικές παράμετροι που προκύπτουν από ένα κυκλικό βολταμόγραμμα είναι οι εντάσεις των καθοδικών και ανοδικών κορυφών I_a , I_c , το δυναμικό ανοδικής οξειδωσης (E_a) και το δυναμικό καθοδικής οξειδώσεως (E_c). Όλες αυτές οι τιμές μπορούν εύκολα να ληφθούν από το βολταμόγραμμα. Η ανάλυση της ανίχνευσης CV αποδίδει τις τιμές (i) του δυναμικού βιολογικής οξειδωσης, E και $E_{1/2}$, οι οποίες σχετίζονται με τη φύση του συγκεκριμένου μορίου, (ii) την ένταση (I_a) του ανοδικού ρεύματος, και (iii) την περιοχή του ανοδικού κύματος (S) (Pisoschi & Negulescu, 2011).

3.5. Εκτίμηση της συγκέντρωσης των αντιοξειδωτικών ενώσεων

Η μέθοδος Folin-Ciocalteu (F-C)

Η μέθοδος F-C έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια ως μέτρο ολικών φαινολικών σε φυσικά προϊόντα, αλλά ο βασικός μηχανισμός είναι μια αντίδραση οξειδωσης / αναγωγής και ως τέτοια μπορεί να θεωρηθεί μια άλλη μέθοδος εκτίμησης της

αντιοξειδωτικής ικανότητας. Η αρχική μέθοδος F-C που αναπτύχθηκε το 1927 βασίστηκε στα χημικά αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της τυροσίνης, όπου η οξείδωση των φαινολών από ένα αντιδραστήριο μολυβδοδεσμευτικού αποδίδει ένα έγχρωμο προϊόν με λ_{max} στα 745-750 nm. Η μέθοδος είναι απλή, ευαίσθητη και ακριβής. Εντούτοις, η αντίδραση είναι αργή σε όξινο pH και δεν έχει εξειδίκευση (Prior κ.α., 2005).

Η μέθοδος στη συνέχεια βελτιώθηκε και ορίστηκαν υποχρεωτικά βήματα και προϋποθέσεις για τη λήψη αξιόπιστων και προβλέψιμων δεδομένων: (1) κατάλληλη αναλογία όγκου αλκαλίων και αντιδραστηρίων F-C, (2) βέλτιστος χρόνος αντίδρασης και θερμοκρασίας για την ανάπτυξη χρώματος, (3) παρακολούθηση της οπτικής πυκνότητας στα 765 nm, και (4) χρήση γαλλικού οξέος ως φαινόλης αναφοράς. Η βελτιωμένη μέθοδος που περιγράφεται από τους Singleton & Rossi (1965) διευκρινίζει τις συνθήκες για να ελαχιστοποιηθεί η μεταβλητότητα και να εξαλειφθούν τα ακανόνιστα αποτελέσματα. Η μέθοδος αυτή παράγει προβλέψιμα αποτελέσματα σε ένα ευρύ φάσμα φαινολικών (Singleton & Rossi, 1965).

Παρ' όλα αυτά, πολύ λίγες επιστημονικές εργασίες ακολουθούν τα ακριβή βήματα της βελτιωμένης μεθόδου F-C. Διαφορετικές συγκεντρώσεις αντιδραστηρίων και χρόνος προσθήκης και επώασης χρησιμοποιούνται συχνά. Επιπλέον, ορισμένοι αντικατέστησαν το συνιστώμενο πρότυπο αναφοράς του γαλλικού οξέος με ισοδύναμα κατεχίνης, ισοδύναμα ταννικού οξέος, ισοδύναμα χλωρογενικού οξέος, ισοδύναμα καφεϊκού οξέος, ισοδύναμα βανιλικού οξέος και ισοδύναμα φερρουλικού οξέος. Η έλλειψη τυποποίησης των μεθόδων μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές εκτιμήσεις των εντοπισμένων φαινολών. Συνεπώς, οι συνεχιζόμενες προσπάθειες για την τυποποίηση της δοκιμασίας δικαιολογούνται σαφώς (Prior κ.α., 2005).

3.5.1. Οι χρωματογραφικές τεχνικές

Οι χρωματογραφικές μέθοδοι εφαρμόστηκαν συχνά στον αντιοξειδωτικό διαχωρισμό και την ανίχνευση και χρησιμοποιήθηκαν πριν από τη φασματοφωτομετρική ή την ηλεκτροχημική αξιολόγηση της συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας (Pisoschi & Negulescu, 2011).

Αέρια χρωματογραφία

Η αέρια χρωματογραφία (Gas chromatography, GC) είναι ένας κοινός τύπος χρωματογραφίας που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό και την ανάλυση ενώσεων που μπορούν να εξατμιστούν χωρίς αποσύνθεση. Η διαδικασία διαχωρισμού των ενώσεων σε ένα μείγμα διεξάγεται μεταξύ μιας υγρής στατικής φάσης και μιας αέριας κινητής φάσης. Η κινητή φάση είναι κατά κανόνα ένα αδρανές αέριο όπως για παράδειγμα το ήλιο ή το άζωτο. Από την άλλη πλευρά, η στατική φάση είναι μια μικροσκοπική στρώση υγρού ή πολυμερούς σε ένα αδρανές στερεό υπόστρωμα. Η σύγκριση των χρόνων κατακράτησης είναι αυτό που δίνει στην GC την αναλυτική χρησιμότητά της. Οι πιο συνηθισμένοι ανιχνευτές είναι ο ανιχνευτής ιονισμού φλόγας και ο ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας (Pisoschi & Negulescu, 2011).

Υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης

Η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (high performance liquid chromatography, HPLC) χρησιμοποιεί διάφορους τύπους σταθερών φάσεων, μια αντλία η οποία κινεί την κινητή φάση (-ες) και τον αναλυτή μέσω της στήλης και έναν ανιχνευτή για να παρέχει ένα χαρακτηριστικό χρόνο συγκράτησης του αναλύτη. Μια αντλία παρέχει την υψηλότερη πίεση που απαιτείται για τη μετακίνηση της κινητής φάσης και του αναλύτη μέσω της πυκνά συσσωρευμένης στήλης. Η αυξημένη πυκνότητα προκύπτει από μικρότερα μεγέθη σωματιδίων. Αυτό επιτρέπει έναν καλύτερο διαχωρισμό στις στήλες μικρότερου μήκους και εξασφαλίζει μεγαλύτερη ταχύτητα. Η HPLC φυσιολογικής φάσης χρησιμοποιεί μια πολική στατική φάση και μια μη πολική μη υδατική κινητή φάση και λειτουργεί αποτελεσματικά για τον διαχωρισμό των αναλυτών που είναι εύκολα διαλυτοί σε μη πολικούς διαλύτες. Η HPLC ανάστροφης φάσης έχει μη πολική στατική φάση και μία υδατική, μετρίως πολική κινητή φάση (Pisoschi & Negulescu, 2011).

3.6. Η αντιοξειδωτική ικανότητα της τομάτας

Οι όροι πράσινο, σπάσιμο χρώματος, γύρισμα χρώματος, κόκκινος και υπερώριμος αναφέρονται στο χρώμα των καρπών και αντιπροσωπεύουν στάδια περίπου στις 28, 31, 39, 45 και 49 ημέρες σε 23°C στο θερμοκήπιο μετά την άνθιση. Μεταξύ των πρώτων μελετών για το φαινολικό μεταβολισμό κατά την ωρίμανση της τομάτας,

φαινόταν να υπάρχουν αμφιλεγόμενα αποτελέσματα. Έχουν αναφερθεί τόσο αυξανόμενες όσο και μειούμενες ποσότητες ferullic, caffeic και χλωρογενικών οξέων.

Ο Tronchet (1970) κατέδειξε για πρώτη φορά ότι υπάρχει μεταβολικός κύκλος σε σχέση με την περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή στις τομάτες. Το περιεχόμενο της ρουτίνης αυξήθηκε κατά την ανάπτυξη της πράσινης ντομάτας (cv. Marmande) και βρέθηκε να είναι στο μέγιστο επίπεδο στο ώριμο πράσινο στάδιο. Στο ώριμο κόκκινο στάδιο η ποσότητα της ρουτίνης μειώθηκε. Τα περιεχόμενα των άλλων φλαβονολών βρέθηκαν στο μέγιστο επίπεδο στο στάδιο του γυρίσματος του χρώματος. Στους καρπούς κερασόμορφων τοματών διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση της ρουτίνης μειώθηκε σταθερά κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και της ωρίμανσης, αλλά ότι η περιεκτικότητα ανά φρούτο αυξήθηκε μέχρι τα μέσα του προκλιμακτηρικού και στη συνέχεια μειώθηκε.

Οι Stewart κ.α. (2000) έδειξαν ότι η επιλογή της ποικιλίας ήταν ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στη συνολική περιεκτικότητα φαινολικών στις τομάτες όταν καλλιεργούνται υπό παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες. Δύο τομάτες κανονικού μεγέθους που καλλιεργήθηκαν στον αγρό, οι ποικιλίες Bond και Havanera, που αναπτύχθηκαν το ένα δίπλα στο άλλο στην Ισπανία, περιείχαν 10,9 και 6,6 mg φλαβονόλης kg⁻¹ FW. Δεδομένου ότι το 98% των συνολικών φλαβονολών εμφανίζονται στην επιδερμίδα, οι τύποι ντομάτας με διαφορετικό μέγεθος καρπού, και επομένως διαφορετική αναλογία επιδερμίδας-όγκου ή διαφορετικό χρώμα επιδερμίδας, αναμένεται να έχουν διαφορετική περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή.

Η λίπανση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη φαινολική συσσώρευση και η περιορισμένη παροχή αζώτου συσχετίζεται τυπικά με υψηλότερα επίπεδα φαινολικών στο φυτό. Η αύξηση των φλαβονοειδών κατά την έλλειψη αζώτου μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη απαμίνωση της φαινυλαλανίνης. Υπό αυτές τις συνθήκες, η αμμωνία θα ανακυκλωθεί για την πρωτεϊνική σύνθεση και το κινναμικό οξύ μπορεί να είναι ένα υπόστρωμα για την μεταβολική οδό των φλαβονοειδών. Στα φύλλα τομάτας, οι ανθοκυανίνες και ένα φλαβονοειδές αυξήθηκαν σταθερά δύο έως τρεις φορές υπό συνθήκες ανεπάρκειας N, ενώ τα συνολικά φλαβονοειδή (μη-ανθοκυανίνες) αυξήθηκαν μόνο κατά 14%. Η διαθεσιμότητα ύδατος και ορισμένα θρεπτικά συστατικά όπως το ασβέστιο ή το βόριο μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τον φυτικό φαινολικό μεταβολισμό και τη σύνθεση στους καρπούς. Μελέτησαν επίσης τον αντίκτυπο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στο νερό άρδευσης και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η

EC είχε μικρή ή καμία επίδραση στη φαινολική περιεκτικότητα των καρπών τομάτας (Slimestad & Verheul, 2009).

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, η συσσώρευση φλαβονοειδών επάγεται από το φως, ενώ τα φλαβονοειδή υφίστανται αποικοδόμηση στο σκοτάδι. Σε μια μελέτη με κερασόμορφες τομάτες, οι καρποί από τα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε θερμοκήπια με υψηλό φως είχαν περίπου διπλάσια περιεκτικότητα σε διαλυτά φαινολικά από τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε χαμηλό φωτισμό (Slimestad & Verheul, 2009).

Ο Giovanelli κ.α. (1999) διερεύνησαν τις διακυμάνσεις του φαινολικού περιεχομένου κατά την ωρίμανση στο φυτό και την ωρίμανση μετά από τη συγκομιδή, δύο γονοτύπων της ποικιλίας cv. Moneymaker. Η συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες ήταν υψηλότερη στους καρπούς που ωρίμασαν μετά τη συγκομιδή από ό, τι στα φρούτα που είχαν ωριμάσει στο φυτό.

4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΩΝ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ

Οι μετασυλλεκτικές απώλειες στις καλλιέργειες των φρούτων και των οπωροκηπευτικών σχετίζονται κυρίως με το χειρισμό, από τη συγκομιδή μέχρι το λιανικό εμπόριο. Οι απώλειες αυτές μπορεί να οφείλονται σε μηχανικούς τραυματισμούς, ανεπαρκή αποθήκευση, ακατάλληλο χειρισμό, λάθος μεταφορά και μεγάλη χρονική διάρκεια από τη συγκομιδή μέχρι τη διάθεση στην αγορά λιανικής πώλησης.

4.1. Το στάδιο συγκομιδής

Η περιεκτικότητα σε καροτενοειδή σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά επηρεάζεται από τις συνθήκες αποθήκευσης. Σε μια μελέτη της περιεκτικότητας σε λυκοπένιο 8 ποικιλιών τομάτας, η ωριμότητα κατά τη συγκομιδή έπαιξε ρόλο στη συσσώρευση του λυκοπενίου στους καρπούς κατά την αποθήκευση. Γενικά, τα φρούτα που βρίσκονταν στο στάδιο σπάσιμο του χρώματος (περίπου 10% κόκκινο χρώμα) κατά τη συγκομιδή είχαν μεγαλύτερη συσσώρευση λυκοπενίου κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία δωματίου από ό,τι οι τομάτες που ήταν πράσινες κατά τη συγκομιδή και έλαβαν αιθυλένιο για να διεγείρουν την ωρίμανση (Thompson κ.α., 2000).

Σε άλλα πειράματα μελέτης της αντιοξειδωτικής σύνθεσης στην τομάτα (λυκοπένιο, β-καροτένιο, ασκορβικό οξύ και ολικές φαινόλες) παρατηρήθηκε σημαντική συσσώρευση καροτενοειδών ανεξάρτητα από το χρόνο της συγκομιδής σε σχέση με την ωρίμανση των καρπών. Η συσσώρευση συνεχίστηκε καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας ωρίμανσης, ακόμη και όταν άλλες σημαντικές παράμετροι σύνθεσης παρέμειναν ουσιαστικά αμετάβλητες. Η σύνθεση λυκοπενίου έδειξε την υψηλότερη αύξηση στο στάδιο της ωρίμανσης. Μια δεύτερη σημαντική παρατήρηση είναι ότι η συσσώρευση καροτενοειδών κατά την ωρίμανση μετά τη συγκομιδή ακολούθησε ένα εκθετικό ρυθμό και υψηλές τιμές μέχρι να εμφανιστούν τα συμπτώματα της υπερωρίμανσης. Στο τέλος των πειραμάτων, η συγκέντρωση λυκοπενίου και β-καροτένιου στις τομάτες ωρίμασαν μετά τη συγκομιδή ήταν σχεδόν διπλάσια από την τιμή που επετεύχθη κατά την ωρίμανση στο φυτό σε καρπούς που είχαν το ίδιο χρώμα. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι

τομάτες που ωρίμασαν μετά την συγκομιδή παρουσίασαν επίσης υψηλότερο περιεχόμενο ασκορβικού οξέος και φαινολικών ενώσεων στο τέλος των πειραμάτων. Αυτό υποδηλώνει ότι οι τομάτες που ωρίμασαν μετά τη συγκομιδή και την αποκοπή τους από το φυτό είναι πλουσιότερες σε αντιοξειδωτικά από ό, τι οι τομάτες που έχουν ωριμάσει στο φυτό. Οι φυσιολογικοί λόγοι για αυτή τη συμπεριφορά είναι άγνωστοι, έχουν όμως πρακτικό ενδιαφέρον εν όψει του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για αντιοξειδωτικά, ιδιαίτερα το λυκοπένιο (Giovanelli κ.α., 1999).

Οι Slimestad & Verheul (2005) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι κερασόμορφες τομάτες που έχουν ωριμάσει στο φυτό έχουν παρόμοιο περιεχόμενο σε καροτενοειδή και ασκορβικό, αλλά υψηλότερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα σε σχέση με τους καρπούς που συλλέγονται στο πορτοκαλοκίτρινο στάδιο και ωριμάζουν κατά την αποθήκευση. Προτείνουν μάλιστα οι καρποί να συλλέγονται όταν έχουν ωριμάσει και να τα αποθηκεύονται σε χαμηλή θερμοκρασία ώστε να διατηρείται το αντιοξειδωτικό περιεχόμενο το περιεχόμενο σε σάκχαρα (Passam κ.α., 2007).

Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν οι Toor & Savage (2006). Τα φρούτα που συγκομίζονται στα στάδια πριν από την πλήρη ωρίμανση δείχνουν αύξηση της περιεκτικότητας σε λυκοπένιο κατά την ωρίμανση μετά τη συγκομιδή. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές μελέτησαν τις αλλαγές στο περιεχόμενο των αντιοξειδωτικών σε τομάτες που συλλέχθηκαν στο ανοιχτό κόκκινο στάδιο και αποθηκεύτηκαν για 10 ημέρες στους 7, 15 και 25 °C. Η συνολική αντιοξειδωτική δράση των φρούτων αυξήθηκε κατά 17-27% κατά την αποθήκευση. Ωστόσο, ενώ οι φαινόλες και το ασκορβικό οξύ αυξήθηκαν μόνο ελαφρώς και ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία, η περιεκτικότητα των καρπών σε λυκοπένιο μετά από 10 ημέρες αποθήκευσης στους 15 ή 25°C ήταν περισσότερο από διπλάσια από αυτή των καρπών που αποθηκεύτηκαν στους 7°C.

Έτσι, αν και οι χαμηλές θερμοκρασίες κατά την αποθήκευση μειώνουν την περιεκτικότητα σε λυκοπένιο, ακόμη και όταν συγκομίζονται σε ένα ώριμο κόκκινο στάδιο, δεν μειώνουν αναγκαστικά τη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα (Javanmardi & Kubota, 2006). Οι Sablani κ.α. (2006) πρότειναν βέβαια όπου είναι δυνατόν τον περιορισμό της διάρκειας αποθήκευσης, καθώς η περιεκτικότητα του φρούτου σε ασκορβικό μειώνεται ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες

Η φυσιολογική ωριμότητα των καρπών κατά τη συγκομιδή είναι ένας βασικός καθοριστικός παράγοντας της ποιότητας. Το περιεχόμενο των σακχάρων σε φρέσκους

καρπούς αυξάνεται στα τελευταία στάδια της ωρίμανσης. Έτσι, η συλλογή των καρπών σε μεταγενέστερο στάδιο επιτρέπει τη μεγαλύτερη συσσώρευση σακχάρων, αν και ο ωριμότερος καρπός μπορεί εύκολα να υποστεί μηχανική βλάβη και έχει επίσης μικρή διάρκεια ζωής. Μια βασική απαίτηση της μετασυλλεκτικής βιομηχανίας είναι η συγκομιδή των καρπών από το στάδιο της ώριμης πράσινης έως το σπάσιμο του χρώματος για να μετριαστούν μερικές από αυτές τις απώλειες. Αυτό όμως παράγει ένα κατώτερο προϊόν γεύσης, καθώς αυτή η προσέγγιση οδηγεί επίσης σε αυξημένο περιεχόμενο σε οξέα (Beckles, 2012).

Συμπερασματικά, ο προσδιορισμός του καλύτερου σταδίου για τη συγκομιδή των καρπών που εξασφαλίζει την υψηλή διατροφική ποιότητα και τη μείωση των αλλοιώσεων, δεν είναι εύκολη και ποικίλλει ανάλογα με τη ποικιλία. Άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι ο τρόπος κατανάλωσης, η απόσταση και ο χρόνος διάθεσης στην αγορά και το σύστημα χειρισμού και επεξεργασίας.

Οι Toor & Savage, το 2006 μελέτησαν τις συνολικές διατροφικές επιπτώσεις της αποθήκευσης στις τομάτες, που συλλέγονται από ένα εμπορικό θερμοκήπιο στο Canterbury της Νέας Ζηλανδίας. Οι τομάτες που συλλέχθηκαν αποθηκεύτηκαν στους 7, 15 και 25°C για μια περίοδο 10 ημερών. Τα διαλυτά φαινολικά και το περιεχόμενο του ασκορβικού οξέος των τοματών παρουσίασαν ελαφρές αυξήσεις κατά την αποθήκευση, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία. Η μέση περιεκτικότητα του λυκοπενίου στις τομάτες που αποθηκεύτηκαν στους 15 και 25°C κατά την 10η ημέρα αποθήκευσης ήταν περίπου 2 φορές (7,5 mg / 100 g) από τις τομάτες που αποθηκεύτηκαν στους 7° C (3,2 mg /100 g).

4.2. Η επίδραση της ακτινοβολίας

Η ακτινοβόληση με υπεριώδη ακτινοβολία έχει προταθεί ως θεραπεία μετά τη συγκομιδή για την καθυστέρηση της ανάπτυξης των μυκήτων ή της γήρανσης, την αύξηση του ασκορβικού οξέος και του περιεχομένου των συνολικών φαινολών σε καρπούς τομάτας. Ωστόσο, μια δόση υψηλότερη από την συνιστώμενη έχει βρεθεί ότι καταστρέφει την ωρίμανση και προκαλεί ανώμαλο μαύρισμα στους καρπούς τομάτας (Jagadeesh κ.α., 2011). Άλλη μελέτη από τους Liu et al. (2009) ανέφερε αύξηση της

περιεκτικότητας σε λυκοπένιο των καρπών τομάτας που έχουν υποστεί επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία, αλλά η δόση UV-C ($13,7 \text{ kJ m}^{-2}$) που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη ήταν περισσότερο από τρεις φορές υψηλότερη από τη γενικά αναφερθείσα δόση των $3,7 \text{ kJ m}^{-2}$ που σχετίζεται με την επαγόμενη αντίσταση στις ασθένειες. Επομένως, η επιλογή ή η επικύρωση μιας βέλτιστης δόσης UV-C είναι απαραίτητη. Επιπλέον, αν και η ακτινοβολία UV-C επηρεάζει την ολική φαινολική περιεκτικότητα στους καρπούς τομάτας, δεν είναι γνωστές οι επιμέρους φαινολικές ενώσεις (Jagadeesh κ.α., 2011).

5. ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας, ήταν η μελέτη της επίδρασης των μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα καρπών τομάτας της τοπικής ποικιλίας «Χοντροκατσαρή». Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν οι μεταβολές στην περιεκτικότητα των αντιοξειδωτικών ουσιών σε καρπούς της ποικιλίας, που συγκομίστηκαν στο στάδιο Red Ripe και παρέμειναν για 6 ημέρες σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (4, 10 και 25°C) σε σύγκριση με τους καρπούς που δεν εφαρμόστηκε καμία μεταχείριση και τους καρπούς που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης. Οι αναλυτικές μέθοδοι που εφαρμόστηκαν είχαν ως στόχο τον εντοπισμό της μεταβολής που προκάλεσαν οι παραπάνω μετασυλλεκτικοί χειρισμοί στη συγκέντρωση των πολυφαινολών και των φλαβονοειδών καθώς επίσης και στην αντιοξειδωτική ικανότητα των καρπών με τις μεθόδους FRAP και DPPH.

6. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

6.1. Φυτικό υλικό

Το αρχικό φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις, ήταν καρποί τομάτας της τοπικής ποικιλίας «Χοντροκατσαρή». Τα φυτά της ποικιλίας αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο σύμφωνα με τις συνήθειες τεχνικές καλλιέργειας. Οι καρποί συγκομίστηκαν στο στάδιο της ώριμης τομάτας (Red ripe) και υποβλήθηκαν σε διαφορετικούς μετασυλλεκτικούς χειρισμούς. Επιπλέον, ορισμένοι καρποί συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης (Commercial mature, CM) και αποτελούσαν τους μάρτυρες του πειράματος. Οι καρποί μετά τη συγκομιδή πλύθηκαν και αφού πολτοποιήθηκαν, διατηρήθηκαν στους -80°C μέχρι να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις.

6.2. Μετρήσεις και αναλύσεις

Οι μετρήσεις και οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε λιπόφιλα και υδρόφιλα εκχυλίσματα τομάτας είναι οι εξής:

- Η μέθοδος Folin-Ciocalteu
- Η μέθοδος DPPH
- Η μέθοδος Frap
- Ο προσδιορισμός των ολικών φλαβονοειδών

6.2.1. Η μέθοδος Folin-Ciocalteu

- *Παρασκευή διαλυμάτων*

Διάλυμα Folin Ciocalteu: 1ml από το αντιδραστήριο Folin Ciocalteu αναμιγνύεται με 7ml νερού. Το διάλυμα διατηρείται στους -20°C .

- *Διαδικασία εκχύλισης*

1. Σε δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετούνται $2 \pm 0,01$ g δείγματος, 2 ml μεθανόλη 75% και 1 ml HCl 1M.

2. Το παραπάνω μίγμα τοποθετείται για ένα 1 min στο Vortex προκειμένου να ομογενοποιηθεί.
3. Ο σωλήνας τοποθετείται στους 37°C για 30 min και ανακινείται περιοδικά στο Vortex.
4. Προστίθεται 1ml διαλύματος NaOH 1M σε μεθανόλη 75% και αναδεύεται στο Vortex για 1 min.
5. Το δείγμα τοποθετείται για φυγοκέντρηση για 10 min στις 6000 στροφές.
6. Το υπερκείμενο υγρό μεταφέρεται μετά από διήθηση σε ογκομετρική φιάλη των 10 ml.
7. Στο σωλήνα που περιέχει το στερεό υπόλειμμα προστίθενται 2 ml διαλύματος ακετόνης/νερού 1/1 v/v και το μείγμα αναδεύεται στο Vortex για 1 min.
8. Το δείγμα τοποθετείται για φυγοκέντρηση για 10 min στις 6000 στροφές.
9. Το υπερκείμενο υγρό μεταφέρεται στην ίδια ογκομετρική φιάλη που περιέχει το υπερκείμενο από το στάδιο 6.
10. Συμπληρώνεται με μεθανόλη 75% μέχρι την χαραγή.
11. Το διάλυμα φυλάσσεται στην κατάψυξη και θα χρησιμοποιηθεί για προσδιορισμό ολικών φαινολών με την μέθοδο Folin Ciocalteu και για προσδιορισμό φλαβονοειδών.

- **Μέτρηση των δειγμάτων**

Σε δοκιμαστικό σωλήνα αναμιγνύονται 500 μl διάλυμα δείγματος (ή μεθανόλη 75% για το control) με 500 μl διαλύματος Folin Ciocalteu και 4 ml νερό και ανακινούνται με Vortex. Ακολουθεί αναμονή 3 min και προστίθενται 1000 μl διαλύματος Na₂CO₃ 20% και ανακινούνται σε Vortex. Ακολουθεί αναμονή 2 ωρών στο σκοτάδι και έπειτα φωτομέτρηση στα 725 nm.

Πίνακας 8. Τα συστατικά των διαλυμάτων και τα στάδια ακολουθούνται για τη μέτρηση Folin Ciocalteu στο δείγμα που μετράται και στο τυφλό δείγμα (control).

Διάλυμα του δείγματος	Τυφλό δείγμα (control)
500μl δείγματος	500μl μεθανόλη 75%
500μl Folin Ciocalteu	500μl Folin Ciocalteu
4 ml νερό	4 ml νερό
Αναμονή 3 min	Αναμονή 3 min
100μl 20% Na ₂ CO ₃	100μl 20% Na ₂ CO ₃
Αναμονή 2 ώρες σε σκοτάδι	Αναμονή 2 ώρες σε σκοτάδι
Φωτομέτρηση στα 725nm	Φωτομέτρηση στα 725nm

- **Πρότυπη καμπύλη**

Η πρότυπη καμπύλη παρασκευάζεται από τα πρότυπα διαλύματα γαλλικού οξέος (gallic acid).

6.2.2. Ο προσδιορισμός των ολικών φλαβονοειδών

- **Διαδικασία εκχύλισης**

Το διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των φλαβονοειδών είναι το ίδιο με αυτό που εκχυλίστηκε για την μέθοδο Folin Ciocalteu.

- **Μέτρηση των δειγμάτων**

Σε έναν δοκιμαστικό σωλήνα αναμιγνύονται 500 μl από το διάλυμα του μίγματος (ή αντίστοιχα της μεθανόλης 75% για το τυφλό δείγμα) με 1,5 ml μεθανόλη 75% και ανακινούνται στο Vortex. Στη συνέχεια, προστίθενται 100μl 10% $AlCl_3$ και αναδεύονται με το Vortex. Ακολουθεί η προσθήκη 100 μl οξικού καλίου 1M και το δείγμα ανακινείται και πάλι στο Vortex. Τέλος, προσθέτουμε 2,8 ml νερό, αναδεύουμε και το αφήνουμε σε αναμονή 30 min σε σκοτάδι, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η φωτομέτρηση πραγματοποιείται στα 415nm. Στον πίνακα που ακολουθεί, περιγράφονται περιληπτικά τα στάδια της συγκεκριμένης διαδικασίας.

Πίνακας 9. Τα συστατικά των διαλυμάτων και τα στάδια ακολουθούνται για τη μέτρηση των ολικών φλαβονοειδών στο δείγμα που μετράται και στο τυφλό δείγμα (control).

Διάλυμα του δείγματος	Τυφλό δείγμα (control)
500μl δείγματος	500μl μεθανόλη 75%
1,5ml μεθανόλης 75%	1,5ml μεθανόλης 75%
100μl 10% $AlCl_3$	100μl 10% $AlCl_3$
100μl οξικό κάλιο συγκέντρωσης 1M	100μl οξικό κάλιο συγκέντρωσης 1M
2,8 ml νερό	2,8 ml νερό
Αναμονή 30 min σε θερμοκρασία περιβάλλοντος	Αναμονή 30 min σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
Φωτομέτρηση στα 415nm	Φωτομέτρηση στα 415nm

- **Πρότυπη καμπύλη**

Η πρότυπη καμπύλη παρασκευάζεται από τα πρότυπα διαλύματα ρουτίνης (rutin) με συγκεντρώσεις 5000, 500, 250, 125, 50, 25, 10, 5 μg/ml.

6.2.3. Η μέθοδος DPPH

- *Παρασκευή διαλυμάτων*

Διάλυμα Stock DPPH σε μεθανόλη: διαλύονται $0,024 \pm 0,001$ g DPPH σε μεθανόλη μέσα σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml και συμπληρώνεται μέχρι την χαραγή με μεθανόλη. Φυλάσσεται στους -20°C .

Διάλυμα Working DPPH σε μεθανόλη 0,004%: λαμβάνονται 10 ml από το stock διάλυμα και αραιώνονται με 45ml μεθανόλη. Ανακινούνται με Vortex. Το διάλυμα φυλάσσεται στην κατάψυξη μέχρι να καταναλωθεί. Ελέγχεται η απορρόφησή του στα 515 nm να είναι $1,1 \pm 0,02$ (με τυφλό μεθανόλη). Αν η απορρόφησή του δεν φτάνει αυτό το ποσό, απορρίπτεται και φτιάχνουμε άλλο.

Ρυθμιστικό Διάλυμα Tris με pH 7,5

- *Διαδικασία εκχύλισης*

Υδρόφιλη εκχύλιση δείγματος: Σε $2,00 \pm 0,01$ g τομάτας τοποθετούνται 10 ml νερό και στη συνέχεια αναμειγνύονται στο Vortex για 2 min. Ακολουθεί φυγοκέντρηση για 10 min σε 6000 rpm και ακολουθεί διήθηση. Τελικά, το υγρό φυλάσσεται στη κατάψυξη.

Λιπόφιλη εκχύλιση δείγματος:

1. Σε δοκιμαστικό σωλήνα λαμβάνονται 2g τομάτας, προστίθενται 2,5 ml μεθανόλη και αναδεύονται σε Vortex για 30 sec.
2. Προστίθενται 2ml Tris με pH 7,5 και αναδεύονται σε Vortex για 30 sec.
3. Το μίγμα αφήνεται σε σκοτάδι για 5 min.
4. Προστίθενται 2ml χλωροφόρμιο και ακολουθεί ανάδευση για 1 min σε Vortex.
5. Στη συνέχεια, το δείγμα υποβάλλεται σε φυγοκέντρηση για 5 min στις 6000 στροφές και διαχωρίζονται οι δύο στοιβάδες.

6. Παραλαμβάνεται η σκουρόχρωμη φάση (κάτω στοιβάδα) με τη βοήθεια γυάλινης πιπέτας και διηθείται σε σφαιρική φιάλη υπό κενό σε περιστροφικό εξατμιστή. Το υπόλειμμα της παραπάνω διαδικασίας διαλύεται σε 5ml 2-προπανόλη
7. Σε όλη την διαδικασία αποκλείουμε το φως

- **Μέτρηση των δειγμάτων**

Υδρόφιλη εκχύλιση δείγματος: Σε δοκιμαστικό σωλήνα προστίθενται 3,8 ml working DPPH και 200 μl υδρόφιλο εκχύλισμα (ή νερό για control) και αναδεύονται σε Vortex. Σε κυψελίδα τοποθετούνται 3 ml διαλύματος και φωτομετρούνται, ύστερα από από παραμονή 30 min στο σκοτάδι, στα 517 nm χρησιμοποιώντας μεθανόλη ως τυφλό.

Πίνακας 10: Τα συστατικά των διαλυμάτων και τα στάδια ακολουθούνται για τη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο DPPH μετά από υδρόφιλη εκχύλιση.

Υδρόφιλο διάλυμα του δείγματος	Τυφλό δείγμα (control)
200μl υδρόφιλο εκχύλισμα του δείγματος	200μl νερό
3,8ml Διάλυμα Working DPPH σε μεθανόλη	3,8ml Διάλυμα Working DPPH σε μεθανόλη
Αναμονή 30 min σε σκοτάδι	Αναμονή 30 min σε σκοτάδι
Φωτομέτρηση στα 517nm	Φωτομέτρηση στα 517nm

Λιπόφιλη εκχύλιση δείγματος: Σε δοκιμαστικό σωλήνα προστίθενται 3,8 ml working DPPH και 200μl λιπόφιλου εκχυλίσματος (ή 200μl 2-προπανόλη για control) και αναδεύονται σε Vortex. Σε κυψελίδα τοποθετούνται 3 ml διαλύματος και φωτομετρούνται ύστερα από 30 min στα 517 nm χρησιμοποιώντας τη μεθανόλη ως τυφλό διάλυμα.

Πίνακας 11: Τα συστατικά των διαλυμάτων και τα στάδια ακολουθούνται για τη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο DPPH μετά από λιπόφιλη εκχύλιση.

Λιπόφιλο διάλυμα του δείγματος	Τυφλό δείγμα (control)
200μl λιπόφιλο εκχύλισμα του δείγματος	200μl νερό
3,8ml Διάλυμα Working DPPH σε μεθανόλη	3,8ml Διάλυμα Working DPPH σε μεθανόλη
Αναμονή 30 min σε σκοτάδι	Αναμονή 30 min σε σκοτάδι
Φωτομέτρηση στα 517nm	Φωτομέτρηση στα 517nm

- **Πρότυπη καμπύλη**

Η πρότυπη καμπύλη παρασκευάζεται από τα πρότυπα διαλύματα Trolox με συγκεντρώσεις 1000, 500, 250, 100, 50, και 20 μM .

6.2.4. Η μέθοδος Frap

- **Παρασκευή διαλυμάτων**

Διάλυμα TPTZ (0,01M): 0,1562g TPTZ τοποθετούνται σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml και διαλύονται σε λίγο HCl 0,04M. Τελικά, συμπληρώνεται HCl 0,04M μέχρι την χαραγή.

Αντιδραστήριο FRAP: Αναμειγνύονται 10 ml ρυθμιστικού διαλύματος $\text{CH}_3\text{CHOOH}/\text{CH}_3\text{CHOONa}$ 0,03M και pH 3, 6 με 1 ml διαλύματος FeCl_3 0,02M και 1ml διαλύματος TPTZ. Το διάλυμα παρασκευάζεται φρέσκο κάθε φορά.

- **Διαδικασία εκχύλισης**

Η υδρόφιλη και λιπόφιλη εκχύλιση του διαλύματος γίνεται με όμοιο τρόπο όπως στη μέθοδο της DPPH.

- **Μέτρηση των δειγμάτων**

Αναμειγνύονται 2,9ml από το αντιδραστήριο FRAP με 100 μl πρότυπου διαλύματος. Το μίγμα θερμαίνεται στους 37°C για 10 min (ανακινείται 1-2 φορές). Κατόπιν ψύχεται με τρεχούμενο νερό και φωτομετρείται στα 593 nm σε 5min.

Τυφλό: 2,9ml αντιδραστήριο FRAP αναμειγνύονται με 100 μl νερό (υδρόφιλη εκχύλιση) ή με 100 μl 2-προπανόλη (λιπόφιλη εκχύλιση).

- **Πρότυπη καμπύλη**

Η πρότυπη καμπύλη παρασκευάζεται από τα πρότυπα διαλύματα Trolox με συγκεντρώσεις 1000, 800, 400, 200, 100, 50 και 25 μM .

6.2.5. Η μέτρηση του λυκοπενίου

- ***Παρασκευή διαλυμάτων***

Τα διαλύματα που απαιτούνται είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται στη λιπόφιλη εκχύλιση με τη μέθοδο της DPPH.

- ***Διαδικασία εκχύλισης***

Η εκχύλιση του διαλύματος είναι λιπόφιλη και γίνεται με όμοιο τρόπο όπως στη μέθοδο της DPPH. Η διαδικασία διαφοροποιείται ελαφρώς μετά την εξαγωγή του δείγματος από τον περιστροφικό εξατμιστή. Το υπόλειμμα της παραπάνω διαδικασίας διαλύεται σε 3ml εξάνιου και μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη των 10ml προστίθεται εξάνιο μέχρι τελικού όγκου.

- ***Μέτρηση των δειγμάτων***

Η μέτρηση πραγματοποιείται με φωτόμετρο στα 502nm και σαν τυφλό διάλυμα χρησιμοποιείται εξάνιο.

6.3.Στατιστική ανάλυση

Η επεξεργασία, η στατιστική ανάλυση και η παρουσίαση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Excel (Microsoft Office®) προκειμένου να διερευνηθεί η πιθανή ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών στην αντιοξειδωτική δράση των δειγμάτων. Παράλληλα, στόχος της στατιστικής ανάλυσης ήταν να αξιολογηθεί η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική δράση των καρπών της τομάτας. Σε κάθε μέτρηση τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων και γραφημάτων.

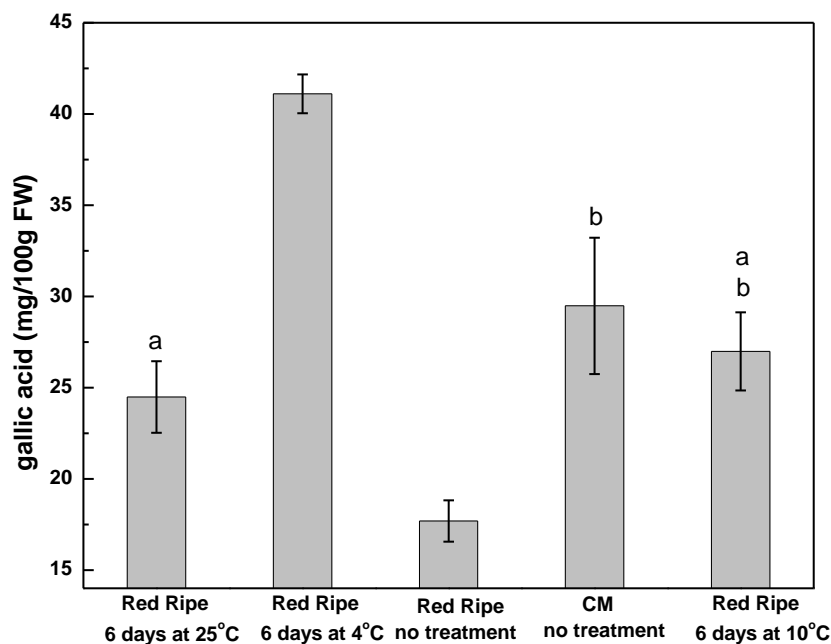
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ

7.1. Εκτίμηση της συγκέντρωσης των πολυφαινολών

Από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων σχετικά με τη συγκέντρωση των δειγμάτων σε πολυφαινόλες, προέκυψαν διαφορές που οφείλονται στις διαφορετικές μετασυλλεκτικές μεταχειρίσεις των καρπών. Τη μικρότερη συγκέντρωση σε πολυφαινόλες είχαν οι καρποί που συγκομίστηκαν στο στάδιο Red Ripe αλλά δεν είχαν υποστεί κανένα μετασυλλεκτικό χειρισμό (17,69 mg/100g νωπού βάρους). Η αποθήκευση των καρπών για 6 ημέρες στους 10 και στους 25°C αύξησε τη συγκέντρωση των πολυφαινολών σε σχέση με τον μάρτυρα, αλλά οι δύο μεταχειρίσεις δεν επέφεραν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στα δείγματα που εξετάστηκαν. Επίσης, η μεταχείριση των 10°C δεν φαίνεται να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τους καρπούς που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης ως προς τη συγκέντρωση σε φαινόλες. Την μεγαλύτερη αύξηση στη συγκέντρωση των πολυφαινολών επέφερε η αποθήκευση των καρπών στους 4°C, η οποία διαφοροποιήθηκε από τους υπόλοιπους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς. Η συγκεκριμένη μεταχείριση αυτή υπερδιπλασίασε τη συγκέντρωση των πολυφαινολών σε σχέση με τον μάρτυρα που δεν είχε υποστεί καμία μεταχείριση.

Πίνακας 12. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στη συγκέντρωση των πολυφαινολών εκφρασμένα σε ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/100g νωπού βάρους (FW).

	Red Ripe 6 days at 25°C	Red Ripe 6 days at 4°C	Red Ripe no treatment	Commercial Mature (CM) no treatment	Red Ripe 6 days at 10°C
Gallic acid (mg/100g FW)	24.48 ± 1.96	41.10 ± 1.06	17.69 ± 1.13	29.48 ± 3.74	26.98 ± 2.14



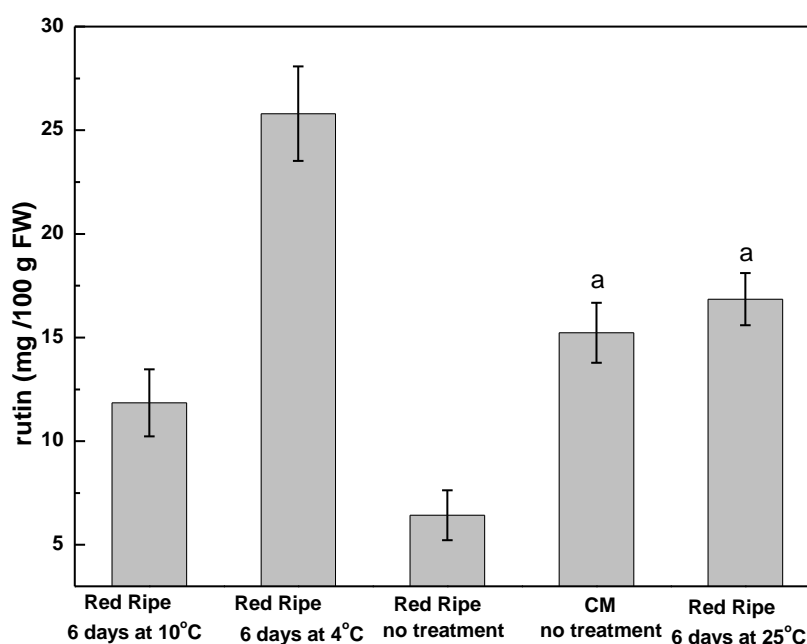
Εικόνα 13. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στη συγκέντρωση των πολυφαινόλων (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).

7.2. Εκτίμηση της συγκέντρωσης των φλαβονοειδών

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων από την εκτίμηση της συγκέντρωσης των φλαβονοειδών στα υπό εξέταση δείγματα, φαίνεται να συμβαδίζει με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκτίμηση των πολυφαινόλων. Οι καρποί που δεν έχουν υποστεί καμία μεταχείριση είχαν και στη συγκεκριμένη ανάλυση τη χαμηλότερη συγκέντρωση (6.43 ± 1.20 mg/100g νωπού βάρους). Ελαφρώς υψηλότερη συγκέντρωση παρουσίασαν τα δείγματα από τους καρπούς που είχαν αποθηκευτεί για 6 ημέρες στους 10°C (11.85 ± 1.62 mg/100g νωπού βάρους). Ενώ οι καρποί που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης (CM) δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά από τους καρπούς αποθηκευτήκαν για 6 ημέρες στους 25°C ως προς τη συγκέντρωση σε φλαβονοειδή. Τέλος, η υψηλότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στα δείγματα από τους καρπούς που παρέμειναν 6 ημέρες στους 4°C . Η συγκέντρωση των δειγμάτων αυτών είχαν περίπου 4 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση και επιβεβαιώνει τα προηγούμενα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις για τη μέτρηση των πολυφαινόλων.

Πίνακας 13. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στη συγκέντρωση των φλαβονοειδών εκφρασμένα σε ισοδύναμα ρουτίνης mg/100g νωπού βάρους (FW).

	Red Ripe 6 days at 25°C	Red Ripe 6 days at 4°C	Red Ripe no treatment	Commercial Mature (CM) no treatment	Red Ripe 6 days at 10°C
Rutin (mg/100g FW)	16.85±1.26	25.80±2.28	6.43±1.20	15.23±1.45	11.85±1.62



Εικόνα 14. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στη συγκέντρωση των φλαβονοειδών (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).

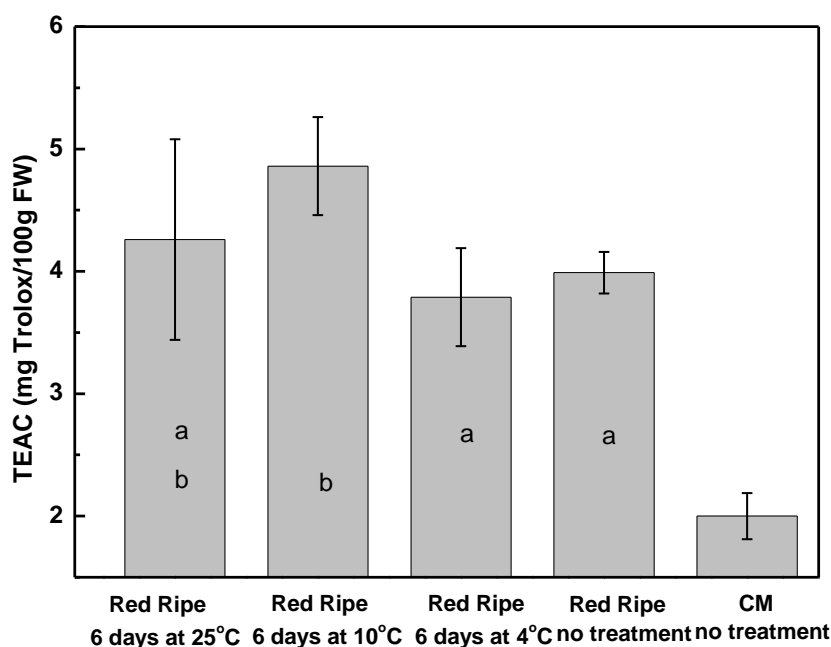
7.3. Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH

Για την εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των καρπών χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι (DPPH & FRAP) και πραγματοποιήθηκε τόσο υδρόφιλη όσο και λιπόφιλη εκχύλιση. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH, παρατηρήθηκαν αρκετές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων. Η χαμηλότερη αντιοξειδωτική δράση μετρήθηκε στα δείγματα που είχαν συγκομιστεί στο στάδιο

της εμπορικής ωρίμανσης (CM) (μόλις 2.00 ± 0.19 mg Trolox/100g νωπού βάρους). Στη συνέχεια, ακολουθεί η μεταχείριση στους 4°C , οι καρποί χωρίς καμία μεταχείριση και η αποθήκευση των καρπών στους 25°C . Οι τρεις μεταχειρίσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους όπως είναι εμφανές από την εικόνα 14. Η αντιοξειδωτική τους δράση όμως εκτιμήθηκε σχεδόν διπλάσια σε σύγκριση με τους καρπούς που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης. Τέλος, την υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση παρουσίασε η μεταχείριση, κατά την οποία οι καρποί που συγκομίστηκαν παρέμειναν για 6 ημέρες στους 10°C , αν και η τιμή αυτή δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά από αυτή που εκτιμήθηκε από τους καρπούς που είχαν αποθηκευτεί στους 25°C .

Πίνακας 14. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH.

	Red Ripe 6 days at 25°C	Red Ripe 6 days at 4°C	Red Ripe no treatment	Commercial Mature (CM) no treatment	Red Ripe 6 days at 10°C
TEAC (mg Trolox/100g FW)	4.26 ± 0.82	3.79 ± 0.40	3.99 ± 0.17	2.00 ± 0.19	4.86 ± 0.40



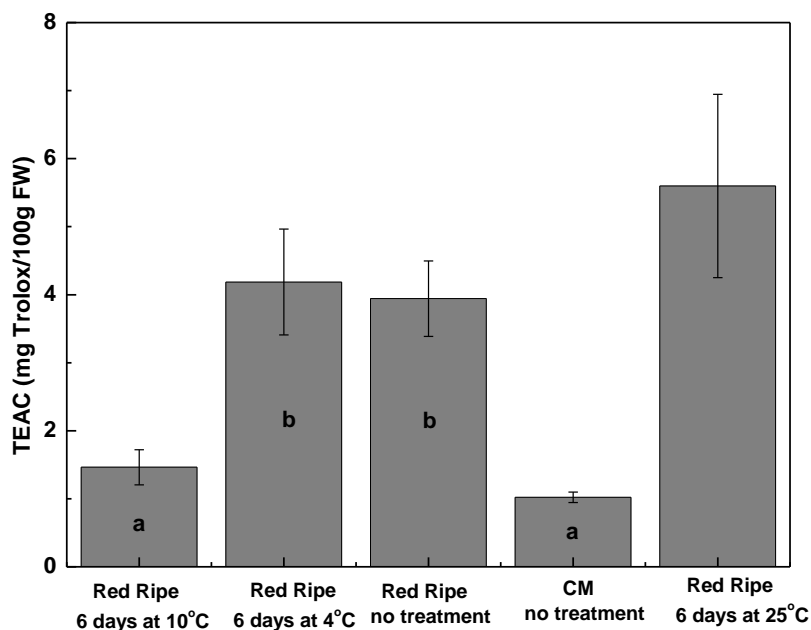
Εικόνα 15. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).

7.4. Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την λιπόφιλη εκχύλιση των δειγμάτων συμφωνούν σε κάποιο βαθμό με τα συμπεράσματα που καταγράφηκαν στην υδρόφιλη εκχύλιση. Και σε αυτή την περίπτωση, οι καρποί που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης και δεν έχουν υποστεί κάποιον μετασυλλεκτικό χειρισμό έχουν πολύ χαμηλότερη αντιοξειδωτική δράση (1.02 ± 0.08 mg Trolox/100g νωπού βάρους) σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις. Η συγκεκριμένη μεταχείριση όμως δεν διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τα δείγματα που αποθηκεύτηκαν για 6 ημέρες στους 10°C . Όσον αφορά την αντιοξειδωτική τους ικανότητα, ακολουθεί η μεταχείριση των 4°C που όμως δεν φαίνεται να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τους καρπούς που συγκομίστηκαν στο ίδιο στάδιο και δεν δέχτηκαν κανέναν μετασυλλεκτικό χειρισμό. Η μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα εκτιμήθηκε στα δείγματα που παρέμειναν για 6 ημέρες στους 25°C (5.60 ± 1.35 mg Trolox/100g νωπού βάρους). Η τιμή αυτή μάλιστα ήταν περίπου 5,5 φορές μεγαλύτερη από την αντιοξειδωτική ικανότητα των καρπών που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σημαντική επίδραση που έχει το στάδιο συγκομιδής και οι μετασυλλεκτικοί χειρισμοί των καρπών της τομάτας στην περιεκτικότητά τους σε αντιοξειδωτικές ουσίες.

Πίνακας 15. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH

	Red Ripe 6 days at 25°C	Red Ripe 6 days at 4°C	Red Ripe no treatment	Commercial Mature (CM) no treatment	Red Ripe 6 days at 10°C
TEAC (mg Trolox/100g FW)	5.60 ± 1.35	4.19 ± 0.78	3.94 ± 0.56	1.02 ± 0.08	1.46 ± 0.26



Εικόνα 16. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο DPPH (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).

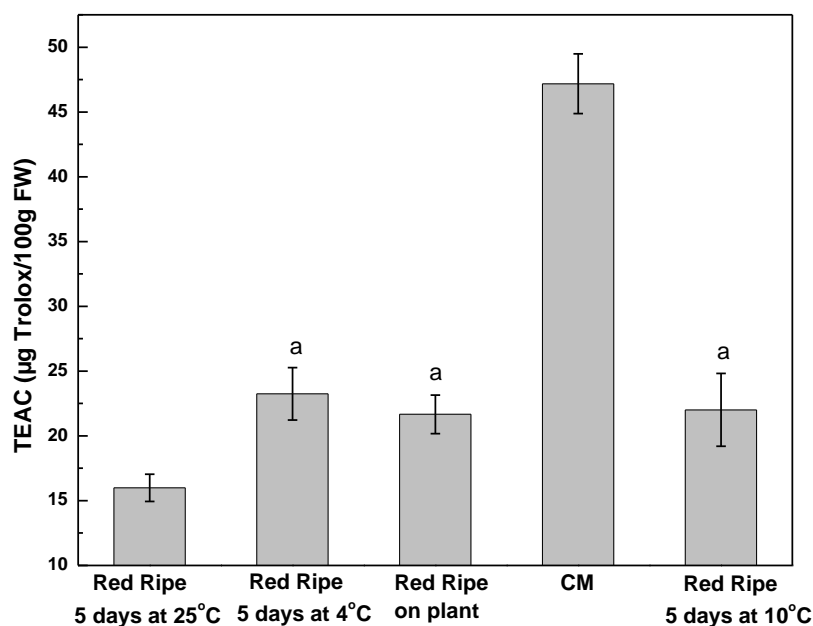
7.5. Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των καρπών σε σχέση με τις μετασυλλεκτικές τους μεταχειρίσεις εκτιμήθηκαν και με τη μέθοδο FRAP. Η κατάταξη των διαφορετικών μεταχειρίσεων που εξετάστηκαν με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν συνάδει με την εικόνα από τις αναλύσεις με τη μέθοδο DPPH, φαίνεται μάλιστα να είναι αντίστροφη. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο, τη χαμηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα υδρόφιλου εκχυλίσματος είχαν οι καρποί που παρέμειναν για 6 ημέρες στους 25°C. Οι καρποί που συγκομίστηκαν στο στάδιο Red Ripe και δεν δέχτηκαν καμία άλλη μεταχείριση δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά ως προς την αντιοξειδωτική τους ικανότητα σε σχέση με αυτούς που τοποθετήθηκαν στους 10°C και αυτούς που τοποθετήθηκαν στους 4°C. Την μεγαλύτερη τιμή σε αυτή τη μέτρηση παρουσίασαν οι καρποί που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης (CM) (47.18 ± 2.30 mg Trolox/100g νωπού βάρους). Η τιμή αυτή μάλιστα είναι περίπου τρεις φορές υψηλότερη

από το δείγμα με τη χαμηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα όπως εκτιμήθηκε από υδρόφιλα εκχυλίσματα με τη μέθοδο FRAP.

Πίνακας 16. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP

	Red Ripe 6 days at 25°C	Red Ripe 6 days at 4°C	Red Ripe no treatment	Commercial Mature (CM) no treatment	Red Ripe 6 days at 10°C
TEAC (mg Trolox/100g FW)	15.99±1.05	23.25±2.02	21.66±1.49	47.18±2.30	22.01±2.81



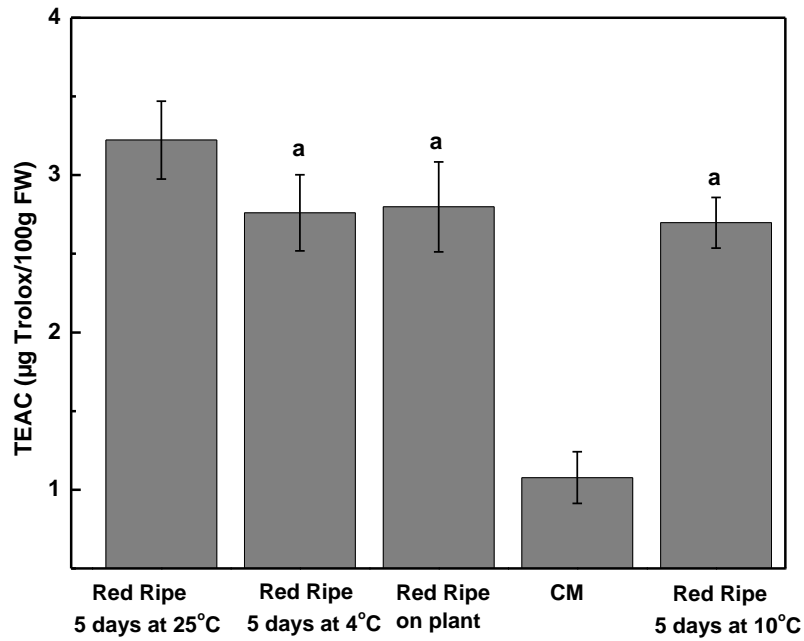
Εικόνα 17. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) υδρόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).

7.6. Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των καρπών της τομάτας εκτιμήθηκε και σε λιπόφιλα εκχυλίσματα με τη μέθοδο FRAP. Εδώ τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης οδηγούν στην αντίστροφη κατάταξη των μεταχειρίσεων ως προς την αντιοξειδωτική τους ικανότητα σε σχέση με την υδρόφιλη εκχύλιση και συμφωνούν περισσότερο με τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τη μέθοδο DPPH. Αναλυτικότερα, οι καρποί που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης είχαν την χαμηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα από όλα τα δείγματα που αναλύθηκαν. Αμέσως μετά, ομαδοποιήθηκαν 3 μεταχειρίσεις που δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Οι καρποί που συγκομίστηκαν στο στάδιο Red Ripe και παρέμειναν στους 10°C, οι καρποί που αποθηκεύτηκαν στους 4°C και οι καρποί που δεν υποβλήθηκαν σε κάποια μεταχείριση. Τελικά, η υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα εκτιμήθηκε στους καρπούς που παρέμειναν για 6 ημέρες στους 25°C (3.22 ± 0.25 mg Trolox/100g νωπού βάρους). Η συγκεκριμένη αντιοξειδωτική ικανότητα ήταν μάλιστα 3 φορές υψηλότερη σε σχέση με τους καρπούς που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης.

Πίνακας 17. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP.

	Red Ripe 6 days at 25°C	Red Ripe 6 days at 4°C	Red Ripe no treatment	Commercial Mature (CM) no treatment	Red Ripe 6 days at 10°C
TEAC (mg Trolox/100g FW)	3.22 ± 0.25	2.76 ± 0.24	2.80 ± 0.29	1.08 ± 0.16	2.70 ± 0.16



Εικόνα 18. Η επίδραση των διαφορετικών μετασυλλεκτικών χειρισμών στην αντιοξειδωτική ικανότητα σε ισοδύναμα Trolox (TEAC) λιπόφιλου εκχυλίσματος με την μέθοδο FRAP (Οι στήλες που υποδεικνύονται με το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά).

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη έρευνα μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Η αποθήκευση των καρπών για 6 ημέρες στους 4°C οδήγησε σε αύξηση του περιεχομένου των πολυφαινόλων και των φλαβονοειδών σε σχέση με τους υπόλοιπους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς.
- Η εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας σε υδρόφιλο και λιπόφιλο εκχύλισμα με τη μέθοδο DPPH εκτίμησε υψηλότερες τιμές στα δείγματα που παρέμειναν στους 25°C
- Η εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο FRAP σε υδρόφιλο εκχύλισμα οδηγεί σε αντίστροφα συμπεράσματα με την παραπάνω μέθοδο και υπολογίζει την υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση στα δείγματα που συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης
- Αντίθετα, η εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο FRAP σε λιπόφιλο εκχύλισμα, επιβεβαιώνει σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα που εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο DPPH

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abushita, A. A., Hebshi, E. A., Daood, H. G., & Biacs, P. A. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60(2), 207-212.
- Agarwal, S., & Rao, A. V. (2000). Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*, 163(6), 739-744.
- Amorim-Carrilho, K., Cepeda, A. Fente, C., Regal, P. (2014). Review of methods for analysis of carotenoids. *TrAC-Trends in Analytical Chemistry* 56, 49–73.
- Arah, I. K., Ahorbo, G. K., Anku, E. K., Kumah, E. K., & Amaglo, H. (2016). Postharvest handling practices and treatment methods for tomato handlers in developing countries: A mini review. *Advances in Agriculture*, 2016.
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. *Annals of botany*, 100(5), 1085-1094.
- Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 129-140.
- Bedinger, P. A., Chetelat, R. T., McClure, B., Moyle, L. C., Rose, J. K., Stack, S. M., ... & Kumar, A. (2011). Interspecific reproductive barriers in the tomato clade: opportunities to decipher mechanisms of reproductive isolation. *Sexual Plant Reproduction*, 24(3), 171-187.
- Bohs, L. and Olmstead, R.G. (1997). Phylogenetic relationships in *Solanum* (Solanaceae) based on ndhF sequences. *Systematic Botany*. 22: 5–17.
- Bramley, P.M. (2002). Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany* 53 (377): 2107–2113.
- Caris-Veyrat, C., M.-J. Amiot, V. Tyssandier, D. Grasselly, M. Buret, M. Mikolajczak, J.-C. Guillard, C. Bouteloup-Demange and P. Borel. (2004). Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; consequences on antioxidant plasma status in humans. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 52: 6503-6509.
- Davey, M. W., Montagu, M. V., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., ... & Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 825-860.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2014). Tomato production. <http://faostat3.fao.org>.

- Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C., & Nobili, S. (1999). Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1583-1588.
- Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C., & Nobili, S. (1999). Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1583-1588.
- Giovannucci, E. (1999). Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *Journal of the national cancer institute*, 91(4), 317-331.
- Guil-Guerrero, J. and Reboloso-Fuentes, M. (2009). Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis* 22(2), 123–129.
- Gustavo, B. C. V., Juan, F. M. J., Stella, M., Maria, S. T., Aurelio, L. M., & Jorge, W. C. (2003). Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas. *Technical Manual FAO Agricultural Services Bulletin*, 149.
- Harvey M, Quilley S, Beynon H: Exploring the tomato: transformations of nature, society and economy. Bookcraft, Bath, UK. 2002, 1-304.
- Hilgardia. 42:493-510. Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- Hyodo, H., Terao, A., Furukawa, J., Sakamoto, N., Yurimoto, H., Satoh, S., & Iwai, H. (2013). Tissue specific localization of pectin–Ca²⁺ cross-linkages and pectin methyl-esterification during fruit ripening in tomato (*Solanum lycopersicum*). *PLoS One*, 8(11), e78949.
- Jagadeesh, S. L., Charles, M. T., Gariepy, Y., Goyette, B., Raghavan, G. S. V., & Vigneault, C. (2011). Influence of postharvest UV-C hormesis on the bioactive components of tomato during post-treatment handling. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8), 1463-1472.
- Javanmardi, J., & 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.
- Jones Jr, J. B. (2007). *Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden*. CRC press.
- Kamiloglu, S., Boyacioglu, D., Capanoglu, E. (2013). The effect of food processing on bioavailability of tomato antioxidants. *Journal of Berry Research* 3(2), 65–77.

- Khoury, C. K., Achicanoy, H. A., Bjorkman, A. D., Navarro-Racines, C., Guarino, L., Flores-Palacios, X., ... & Ramírez-Villegas, J. (2016). Origins of food crops connect countries worldwide. *Proceedings of the Royal Society B*, 283(1832), 20160792.
- Kimura, S., & Sinha, N. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*): a model fruit-bearing crop. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2008(11), pdb-emo105.
- Kotíková, Z., Lachman, J., Hejtmánková, A., Hejtmánková, K. (2011). Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT-Food Science and Technology* 44(8), 1703-1710.
- Lee, S. and Kader, A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20(3), 207-220.
- Linnaeus, C. (1753). *Species Plantarum*, 1st ed. Stockholm: L. Salvius.
- Liu, D., Shi, J., Colina Ibarra, A., Kakuda, C., Jan Xue, S. (2008). The scavenging capacity and synergistic effects of lycopene, vitamin E, vitamin C, and b-carotene mixtures on the DPPH free radical. *LWT-Food Science and Technology* 41(7), 1344–1349.
- Liu, L. H., Zabarás, D., Bennett, L. E., Aguas, P., Woonton, B. W. (2009). Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 115, 495-500
- Martínez-Valverde, I., Periago, J.M., Provan, G., Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(3), 323-330.
- Miller, P. (1768). *The gardener's dictionary*, Abridged 8th ed. London.
- Passam, H. C., Karapanos, I. C., Bebeli, P. J., & Savvas, D. (2007). A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(1), 1-21.
- Peralta, I. E., Knapp, S., & Spooner, D. M. (2006). Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. *Tomato Genetics Cooperative Report*, 56, 6-12.
- Peralta, I., Knapp, S., and Spooner, D. (2005). New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae) from northern Peru. *Systematic Botany*. 30: 424–434.
- Pinela, J., Barros, L., Carvalho A., Ferreira, I. (2012). Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties

- in Northeastern Portugal homegardens. *Food and Chemical Toxicology* 50(3-4), 829–834.
- Pisoschi AM, Negulescu GP (2011). Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review. *Biochem & Anal Biochem* 1:106.
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(10), 4290-4302.
- Ranc, N., Muños, S., Santoni, S., & Causse, M. (2008). A clarified position for *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in the evolutionary history of tomatoes (solanaceae). *BMC plant biology*, 8(1), 130.
- Sablani, S. S., Opara, L. U., & Al-Balushi, K. (2006). Influence of bruising and storage temperature on vitamin C content of tomato fruit. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 4(1), 54.
- Schijlen, E., Ric de Vos, C. H., Jonker, H., Van Den Broeck, H., Molthoff, J., Van Tunen, A., ... & Bovy, A. (2006). Pathway engineering for healthy phytochemicals leading to the production of novel flavonoids in tomato fruit. *Plant Biotechnology Journal*, 4(4), 433-444.
- Slimestad, R., & Verheul, M. (2009). Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(8), 1255-1270.
- Slimestad, R., & Verheul, M. J. (2005). Seasonal variations in the level of plant constituents in greenhouse production of cherry tomatoes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(8), 3114-3119.
- Spooner, D.M., Anderson, G.J., and Jansen, R.K. (1993). Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes and pepinos (Solanaceae). *American Journal of Botany*. 80: 676–688.
- Spooner, D.M., Peralta, I.E., and Knapp, S. (2005). Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes [*Solanum* L. section *Lycopersicon* (Mill.) Wettst.]. *Taxon* 54: 43–61
- Stewart, A. J., Bozonnet, S., Mullen, W., Jenkins, G. I., Lean, M. E., & Crozier, A. (2000). Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(7), 2663-2669.
- Thompson, K. A., Marshall, M. R., Sims, C. A., Wei, C. I., Sargent, S. A., & Scott, J. W. (2000). Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science*, 65(5), 791-795.
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2006). Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 99(4), 724-727.

- Toor, R., Savage, G., Lister, C. (2006). Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(1), 1–10.
- Toor, R.K., Savage, G.P., Heeb A.(2005). Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19(1):20-27.
- Tronchet, J. (1970). Evolution des flavonols dans la peau de tomates (*Lycopersicum esculentum* var. Marmande) cultivees en plein air, de l'ovaire au fruit mur.
- Allen-Stevens, M. (1986). Inheritance of tomato fruit quality components. In "Plant Breeding Reviews", edited by J. Janick. Purdue University. Connecticut. pp. 273-311.
- Δημητράκης, Κ. Γ. (1998). Λαχανοκομία. Εκδόσεις Αγρότυπος, Αθήνα. Σελ, 224-247.
- Ντόγρας, Κ., 2001. Ειδική λαχανοκομία Ι. Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ολύμπιος, Χ. Μ. (2001). Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα, σελ, 39-40.
- Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Π., Μπιλάλης, Δ., Τραυλός, Η., Παπαθεοχάρη, Α. 2015. Βιομηχανική τομάτα. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Π., Μπιλάλης, Δ., Τραυλός, Η., Παπαθεοχάρη, Α. 2015. Ειδική γεωργία ΙΙ. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 7. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5159>
- Σφακιωτάκης, Ε. (1995). Μετασυλλεκτική Φυσιολογία και Τεχνολογία Νωπών Οπωροκηπευτικών Προϊόντων. Εκδόσεις Τυρο ΜΑΝ.

Ιστοσελίδες:

<http://tomatosphere.letstalkscience.ca/Resources/library/ArticleId/4767/the-life-cycle-of-a-tomato-plant.aspx>

<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>