



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

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη θρεπτικής σύστασης φράουλας**

**Εισηγήτρια: Ιωάννα Στεφανάκη (18684060)**

**Επιβλέπουσα: Βασιλεία Σινάνογλου**

**ΑΘΗΝΑ 2023**

**Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Αθήνα, 2023

## **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Επιβλέπουσα

Βασιλεία Σινάνογλου, Καθηγήτρια

2. Μέλος Επιτροπής

Ευτυχία Κρίτση, Επίκουρος Καθηγήτρια

3. Μέλος επιτροπής

Θάλεια Τσιάκα, Διδακτικό προσωπικό ΕΣΠΑ στα πλαίσια του προγράμματος «Απόκτηση Ακαδημαϊκής Διδακτικής Εμπειρίας σε νέους Επιστήμονες Κατόχους Διδακτορικού»

## ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ιωάννα Στεφανάκη του Σπυρίδωνος, με αριθμό μητρώου 18684060, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.

Η Δηλούσα



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία απαρτίζεται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος αναλύεται η θεωρητική θεματολογία που προέκυψε από βιβλιογραφική ανασκόπηση. Συγκεκριμένα, η θεματολογία περιλαμβάνει τη γονοτυπική και βοτανική ταξινόμηση και τη διατροφική αξία και σύσταση της φράουλας, τους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση αυτή, την μελέτη της ποικιλίας Marisol, αλλά και τα πολυπληθή οφέλη του καρπού της φράουλας στην ανθρώπινη υγεία.

Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει όλη τη πειραματική μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για τη μελέτη της ποιότητας φράουλας της ποικιλίας Marisol. Ειδικότερα, προσδιορίστηκαν και εκτιμήθηκαν διάφοροι φυσικοχημικοί παράμετροι, όπως η υγρασία, η ενεργότητα ύδατος, τα διαλυτά στερεά, η ογκομετρούμενη οξύτητα, το ασκορβικό οξύ, το χρώμα και η υφή. Επίσης, προσδιορίστηκε το προφίλ των συστατικών του καρπού με φασματοσκοπία υπερύθρου, και επίσης προσδιορίστηκε το ολικό φαινολικό περιεχόμενο, η αντιοξειδωτική και αντιριζική δράση με φασματοφωτομετρικές μεθόδους.

Τα αποτελέσματα μελετήθηκαν συγκριτικά με βιβλιογραφικά αποτελέσματα με σκοπό τη σύγκριση της ποικιλίας Marisol με άλλες ποικιλίες. Όσον αφορά τις χημικές παραμέτρους, διαπιστώθηκε ότι η Marisol χαρακτηρίζεται από μέτρια προς χαμηλή συγκέντρωση σακχάρων και χαμηλή οξύτητα, και ως εκ τούτου από υψηλή γλυκύτητα, ενώ η περιεκτικότητα της βιταμίνης C βρέθηκε μικρή. Αναφορικά με τις φυσικές παραμέτρους, η σκληρότητα βρέθηκε μέτρια προς υψηλή και η τιμή της κόκκινης παραμέτρου του χρώματος της εξωτερικής επιφάνειας ( $a^*$ ) βρέθηκε μέτρια προς χαμηλή. Τέλος, η φαινολική περιεκτικότητα και η αντιοξειδωτική δραστηριότητα βρέθηκαν χαμηλές.

Τέλος αξιολογήθηκε η μεταβολή των αντιοξειδωτικών συστατικών των φύλλων και των καρπών και παρατηρήθηκε συσχετιζόμενη μεταβολή, δηλαδή μείωση των ολικών φαινολικών ουσιών στα φύλλα ενώ αύξησή τους στους καρπούς, ενώ οι αλλαγές αυτές φαίνεται να επηρεάζουν η μια την άλλη.

**Λέξεις κλειδιά:** Φράουλα, Ολικό φαινολικό περιεχόμενο, Αντιοξειδωτική δράση, Χρώμα, Υφή, Φυσικοχημικές αναλύσεις, Φασματοσκοπία Υπερύθρου

## **ABSTRACT**

The present research consists of two parts. The first part analyzes the theoretical subject matter which resulted from literature review. Specifically, the subject matter constitutes strawberry's genotypic and botanical classification, its nutritional value and composition, also includes the factors affecting the composition, an exclusive observation of the cultivar named Marisol, but also the multiple benefits that strawberry offers to human health.

In the second part, the experimental procedures and methodologies are explained, which contributed to the evaluation of Marisol's quality parameters. To begin with, the physicochemical parameters which were estimated were moisture content, water activity, total soluble solids, titratable acidity, ascorbic acid and color and texture parameters. Moreover, spectroscopic screening led to the observation of specific types of compounds that can be traced in the strawberry, and finally spectrophotometric methods took place in order to quantify the phenolic content and estimate the antioxidant capacity.

The results were compared to those from some cited references in order to compare Marisol to other cultivars. Regarding the chemical parameters it was concluded that Marisol is characterized by medium to low sugar concentration and low acidity levels which contribute to relatively high sweetness, whereas vitamin C content was found low. With regard to the physical parameters, hardness was found medium to high and the outside red coloration ( $a^*$ ) was found medium to low. Finally, the phenolic content and the antioxidant capacity were found low.

Eventually, the evolution of antioxidant components in the leaves and fruits was observed and was found correlated, which means that in the same period of time the antioxidants inside the leaves decreased, whereas they increased inside the strawberries, and these changes happen in a way which indicates that they depend from each other.

**Keywords:** Strawberry, Total Phenolic content, Antioxidant capacity, Color, Texture, Physicochemical analysis, Spectroscopic analysis

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την επίτευξη της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου, κυρία Βασιλεία Σινάνογλου, για τη πολύτιμη βοήθεια και τη καθοδήγηση που μου προσέφερε. Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω τη συνεργάτιδά μου Γεωργία Λαδίκη για την εξαιρετική συνεργασία κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών πειραμάτων αλλά και για τη μετέπειτα στήριξη και τις επισημάνσεις της σε κάθε μου απορία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές που συνεισέφεραν με οποιονδήποτε τρόπο με σκοπό τη σωστή εκπόνηση των πειραμάτων. Φυσικά, εκφράζουμε την ευγνωμοσύνη μας στην εταιρία ‘K&K GREEN FARMS Hydroponics strawberry’ για τη παροχή των δειγμάτων καρπών φράουλας αλλά και για τη περαιτέρω πληροφόρηση και παροχή φωτογραφικού υλικού.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όλα τα αγαπημένα μου πρόσωπα για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την αγάπη που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	12
ΣΚΟΠΟΣ.....	14
<b>ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup></b> .....	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	17
Βοτανική και γονοτυπική ταξινόμηση.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	21
Θρεπτική αξία και σύσταση.....	21
2.1 Μακροθρεπτικά συστατικά.....	21
2.2 Μικροθρεπτικά συστατικά.....	22
2.2.1 Βιταμίνες.....	22
2.2.2 Μέταλλα.....	23
2.2.3 Καροτενοειδή.....	23
2.2.4 Φαινολικά συστατικά.....	24
2.2.4.1 Φλαβονοειδή.....	24
2.2.4.2 Ταννίνες.....	25
2.2.4.3 Φαινολικά οξέα.....	27
2.2.5 Πτητικές ουσίες.....	29
2.3 Αντιοξειδωτική δραστηριότητα.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	34
Παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση.....	34
3.1 Ποικιλία.....	34
3.2 Στάδιο ωριμότητας.....	35
3.3 Καλλιεργητικές πρακτικές .....	36
3.4 Ημερομηνία συγκομιδής, τοποθεσία και περιβαλλοντικές συνθήκες.....	38
3.5 Τρόπος και συνθήκες αποθήκευσης.....	41
3.6 Βιομηχανική επεξεργασία.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	44

Ο παράγοντας της ποικιλίας.....	44
4.1 Διαφοροποιήσεις μεταξύ ποικιλιών.....	44
4.2 Η ποικιλία Marisol.....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>47</b>
Συνεισφορά φράουλας στην υγεία.....	47
5.1 Υγεία του καρδιαγγειακού συστήματος.....	48
5.2 Προστασία έναντι του καρκίνου.....	49
5.3 Μείωση του οξειδωτικού στρες.....	51
5.4 Εξομάλυνση των «μεταγευματικών» καταστάσεων της υπεργλυκαιμίας και υπερλιπιδαιμίας.....	52
5.4.1 Διαχείριση του διαβήτη τύπου 2 (υπεργλυκαιμία).....	52
5.4.2 Διαχείριση της υπερχοληστερολαιμίας (υπερλιπιδαιμίας) .....	53
5.5 Υγεία του νευρικού συστήματος.....	53
<b>ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup> .....</b>	<b>55</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>55</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>56</b>
Μέθοδοι και υλικά.....	56
6.1 Δείγματα.....	56
6.2 Μέτρηση χημικών παραμέτρων.....	57
6.2.1 Προσδιορισμός υγρασίας.....	57
6.2.2 Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος ( $a_w$ ).....	58
6.2.3 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS).....	59
6.2.4 Προσδιορισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας.....	60
6.2.5 Προσδιορισμός της βιταμίνης C με ογκομέτρηση.....	61
6.2.6 Εκχύλιση βρώσιμου ιστού φράουλας με υδατομεθανολικό διάλυμα....	63
6.3 Μέτρηση φυσικών παραμέτρων .....	63
6.3.1 Μέτρηση χρώματος.....	63
6.3.2 Ανάλυση υφής.....	64
6.4 Φασματοσκοπία μετασχηματισμού Fourier με αποσβένουσα ολική ανάκλαση.....	66
6.5 Φασματοφωτομετρικές μέθοδοι.....	67



6.5.1 Προσδιορισμός ολικών φαινολικών ενώσεων με τη μέθοδο Folin-ciocalteu.....	67
6.5.2 Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS●+ [2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)].....	68
6.5.3 Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας με τη μέθοδο FRAP.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	70
Αποτελέσματα και συζήτηση.....	70
7.1 Χημικές παράμετροι.....	70
7.1.1 Υγρασία.....	70
7.1.2 Ενεργότητα ύδατος.....	70
7.1.3 Ολικά διαλυτά στερεά.....	71
7.1.4 Τιτλοδοτούμενη οξύτητα.....	72
7.1.5 Ασκορβικό οξύ.....	73
7.2 Φυσικές παράμετροι.....	74
7.2.1 Σκληρότητα.....	74
7.2.2 Χρώμα.....	74
7.3 Φασματοσκοπική μέθοδος.....	76
7.4 Φασματοφωτομετρικές μέθοδοι.....	77
7.4.1 Μέτρηση φαινολικών ουσιών με τη μέθοδο Folin-ciocalteu.....	77
7.4.2 Μέτρηση αντιοξειδωτικής δραστηριότητας.....	78
7.4.2.1 Με πρότυπη ουσία Trolox και αντιδραστήριο ABTS.....	78
7.4.2.2 Με χρήση του αντιδραστηρίου FRAP.....	79
7.5 Μέτρηση φαινολικών και αντιοξειδωτικής δραστηριότητας των φύλλων-συσχέτιση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της φράουλας.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	87
Συμπεράσματα.....	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....	89
Παρότρυνση για μελλοντική έρευνα.....	89
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	92

Ξένη Βιβλιογραφία.....	92
Ιστοσελίδες.....	101

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

**Πίνακας 1:** Είδη του γένους *Fragaria* (Gündüz, 2016)

**Πίνακας 2:** Ενδεικτικές τιμές σακχάρων και οξέων της ώριμης φράουλας (Ménager et al., 2004)

**Πίνακας 3:** Διατροφική δήλωση της φρέσκιας, κατεψυγμένης και κονσερβοποιημένης φράουλας ανά 100gr, όπως περιγράφεται από τον USDA (United States Department of Agriculture) στις 28/10/2022 (USDA Nutrient Database)

**Πίνακας 4:** Φαινολικά συστατικά που έχουν βρεθεί σε διαφορετικές ποικιλίες φραουλών (Giampieri et al., 2012)

**Πίνακας 5:** Πτητικές ενώσεις και ειδικό λεξιλόγιο οργανοληπτικής αξιολόγησης που χαρακτηρίζει το άρωμα και το τόνο που προσδίδουν στη γεύση (Parra-Palma et al., 2019)

**Πίνακας 6:** Πτητικές ενώσεις της φράουλας και κατάταξη στις κατηγορίες που ανήκουν (Parra-Palma et al., 2019 & Pedrozo et al., 2022)

**Πίνακας 7:** Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και οι διαφορές που παρατηρούνται ανά τις ποικιλίες και ανά τις ημερομηνίες συγκομιδής (Pedrozo et al., 2022)

**Πίνακας 8:** Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων υγρασίας, aw και °Brix (1<sup>η</sup> ημέρα συγκομιδής)

**Πίνακας 9:** Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων ογκομετρούμενης οξύτητας και ογκομετρικού προσδιορισμού ασκορβικού οξέος (1<sup>η</sup> ημέρα συγκομιδής)

**Πίνακας 10:** Αποτελέσματα φυσικών παραμέτρων σκληρότητας και χρώματος στην εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια της φράουλας (1<sup>η</sup> ημέρα συγκομιδής)

**Πίνακας 11:** Κυματαριθμοί στους οποίους εμφανίζουν απορρόφηση οι βασικότερες ουσίες της φράουλας κατά τη φασματοσκοπική εξέταση

**Πίνακας 12:** Αποτελέσματα φαινολικής περιεκτικότητας (Folin-ciocalteu) και αντιοξειδωτικής δραστηριότητας (TEAC και FRAP) των φραουλών κατά τη διάρκεια συντήρησης

**Πίνακας 13:** Αποτελέσματα φαινολικής περιεκτικότητας (Folin-ciocalteu) και αντιοξειδωτικής δραστηριότητας (TEAC και FRAP) των φύλλων κατά τη διάρκεια συντήρησης

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1:** Άνθος από το οποίο προέρχεται, αναπτύσσεται και εκβλαστάνει ο καρπός της φράουλας
- Σχήμα 2:** Προέλευση του είδους *Fragaria×ananassa* Duchesne από τα οκταπλοειδή είδη *F. virginiana* και *F. chiloensis*
- Σχήμα 3:** Βιβλίο του Γάλλου βοτανολόγου Antoine Nicolas Duchesne με θέμα τις φράουλες που δημοσιεύτηκε το 1766 στο Παρίσι, και ο ίδιος (Duchesne, 1766)
- Σχήμα 4:** Μόρια sanguin H-6, Lambertianin C και ελλαγικού οξέος που δομούν την ένωση HHDP (galloulbis-hexahydroxydiphenoyl-glucose), η οποία έχει εντοπιστεί σε φράουλες (Giampieri et al., 2012)
- Σχήμα 5:** Διαφοροποίηση των ποσοστών περιεκτικότητας των 6 διαφορετικών οικογενειών πτητικών ενώσεων ανά τις ποικιλίες (Parra-Palma et al., 2019)
- Σχήμα 6:** Καλλιέργεια των φραουλών εντός θερμοκηπίου με τη μέθοδο της υδροπονίας
- Σχήμα 7:** Θερμοζυγός
- Σχήμα 8:** Λειτουργία θερμοζυγού
- Σχήμα 9:** Συσκευή μέτρησης aw
- Σχήμα 10:** Δείγμα εντός τρυβλίου για μέτρηση aw
- Σχήμα 11:** Διαθλασίμετρο χειρός
- Σχήμα 12:** Αντίδραση εξουδετέρωσης κιτρικού οξέος με καυστικό νάτριο
- Σχήμα 13:** Συντακτικός τύπος βιταμίνης C ( $\text{AscH}_2$ )
- Σχήμα 14:** Οξειδωση ασκορβικού οξέος σε δεϋδροασκορβικό οξύ
- Σχήμα 15:** Αναγωγή 2,6-διχλωροφαινυλνδοφαινόλης
- Σχήμα 16:** Ογκομέτρηση για προσδιορισμό του ασκορβικού οξέος
- Σχήμα 17:** Δείγμα σε υδατομεθανολικό διάλυμα
- Σχήμα 18:** Χρωματόμετρο
- Σχήμα 19:** Αναλυτής υφής TA.XT2i Stable Micro Systems
- Σχήμα 20:** Κύλινδρος συμπίεσης
- Σχήμα 21:** Τυπικό διάγραμμα ανάλυσης υφής
- Σχήμα 22:** Φασματόμετρο FTIR
- Σχήμα 23:** Αντίδραση του γαλλικού οξέος με το αντιδραστήριο F-C μέσω μηχανισμού μεταφοράς ενός  $e^-$
- Σχήμα 24:** Φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης
- Σχήμα 25:** Μπλε χρωματισμός μετά την αφαίρεση από το υδατόλουτρο

**Σχήμα 26:** Φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc., USA

**Σχήμα 27:** Οξείδωση της αντιριζικής ουσίας και αναγωγή της ρίζας, με μεταφορά ενός H ή ενός  $e^-$  από τη πρώτη στη δεύτερη

**Σχήμα 28:** Μηχανισμός αντίδρασης οξειδοαναγωγής (αναγωγή του FRAP και οξείδωση της φαινολικής ουσίας)

**Σχήμα 29:** Μωβ χρωματισμός του  $Fe^{2+}$  (TPTZ) $_2^{2+}$

**Σχήμα 30:** Συσχέτιση μεταβολής περιεκτικότητας φαινολικών ουσιών μεταξύ των φραουλών και των φύλλων με τη μέθοδο Folin-ciocalteu

**Σχήμα 31:** Συσχέτιση μεταβολής αντιοξειδωτικής δραστηριότητας μεταξύ των φραουλών και των φύλλων με τη μέθοδο TEAC με χρήση του αντιδραστηρίου ABTS

**Σχήμα 32:** Συσχέτιση μεταβολής αντιοξειδωτικής δραστηριότητας μεταξύ των φραουλών και των φύλλων με τη μέθοδο FRAP

## ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση της ποιότητας της ποικιλίας Marisol συγκριτικά με άλλες ποικιλίες, μέσα από βιβλιογραφική ανασκόπηση και σύγκριση. Σε δεύτερη μοίρα παρατηρούνται οι πορείες των αντιοξειδωτικών ουσιών στα φύλλα και τις φράουλες. Σκοπός αυτού είναι η εύρεση κάποιας συσχέτισης μεταξύ των πορειών και η ταυτοποίηση του πιθανού τροφοδοτικού ρόλου των φύλλων κατά τη μετα-συλλεκτική περίοδο.

## ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα, παρατηρείται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μέγιστη διασφάλιση της υγείας μέσω σωστών και υγιεινών διατροφικών επιλογών, που αποφέρουν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Οι σωστές διατροφικές επιλογές οδηγούν σε καλή ποιότητα ζωής και επέκταση του προσδόκιμου ορίου ζωής. Βασική προϋπόθεση για την διατήρηση μιας ολοκληρωμένης διατροφής αποτελεί η κατανάλωση φρούτων και λαχανικών, τα οποία περιέχουν τις μεγαλύτερες ποσότητες σε συγκεκριμένα σημαντικά φυτοχημικά θρεπτικά συστατικά, σε σχέση με τα υπόλοιπα τρόφιμα της διατροφικής πυραμίδας, και κατ' επέκταση αποφέρουν πολλά οφέλη στην ανθρώπινη υγεία. Κάποια από αυτά τα συστατικά αποτελούν οι βιταμίνες, τα μέταλλα, τα ιχνοστοιχεία, οι φαιολικές ενώσεις ή πολυφαινόλες, οι φυτικές ίνες, και τα αντιοξειδωτικά. Το παραπάνω σύνολο ενώσεων, συμβάλλει στη θωράκιση του ανοσοποιητικού συστήματος, στη προσφορά ενέργειας, στη διατήρηση υγιούς πεπτικού συστήματος και εντέρου, και στην ισοστάθμιση της γλυκόζης και χοληστερόλης, ενώ παράλληλα, έχουν περιγραφεί αντικαρκινικές και αντιοξειδωτικές δράσεις. Σε γενικές γραμμές, η κατανάλωση των παραπάνω οδηγεί στην αποκατάσταση της σωστής λειτουργίας του οργανισμού (Καρβούνα, 2021).

Ως επέκταση αυτού, όπως και έχει χαρακτηριστικά ερευνηθεί και παρατηρηθεί, καθίσταται δυνατή η αντιμετώπιση ή ο περιορισμός σοβαρών ασθενειών όπως η παχυσαρκία, καρδιαγγειακά προβλήματα, ασθένειες νευρολογικής φύσεως και ο καρκίνος. Συγκεκριμένα, έχει αναδειχθεί έντονα η συνεισφορά των συστατικών της στην υγεία του καρδιαγγειακού συστήματος και τη πρόληψη του καρκίνου. Η φράουλα περιλαμβάνει μεγάλες ποσότητες των παραπάνω θρεπτικών συστατικών και βιοδραστικών ενώσεων, και ως επέκταση αυτού αποτελεί ίσως το πιο μελετημένο φρούτο στη κατηγορία των μούρων, από γεωπονικής, γονιδιοματικής και θρεπτικής απόψεως (Giampieri et al., 2012).

Φυσικά, όπως συμβαίνει και με όλα τα φρούτα και λαχανικά, έτσι και η σύσταση της φράουλας διαφοροποιείται και επηρεάζεται από σύνθετους και πολύπλοκους παράγοντες. Με βάση τη θρεπτική σύσταση, προκύπτουν διαφορετικά εύλογα ερωτήματα ως προς την επίδραση διαφορετικών παραγόντων στη σύσταση της φράουλας. Πρωταρχικό ρόλο στη διατροφική σύσταση φαίνεται να διαδραματίζει το γονιδιοματικό υλικό, όπου με βάση αυτό καθορίζεται η ποικιλία. Δευτερεύοντες παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τη θρεπτικότητα της φράουλας είναι το στάδιο ωριμότητας, οι καλλιεργητικές πρακτικές, η ημερομηνία συγκομιδής και οι επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες κατά τη καλλιέργεια. Εξαιρετικά σημαντική επίδραση στη θρεπτική σύσταση ενέχουν φυσικά οι όποιες βιομηχανικές επεξεργασίες, αφού η φράουλα ευρίσκεται εμπορικά σε διαφορετικές μορφές, ανεπεξέργαστες ή

επεξεργασμένες, είτε φρέσκες, είτε σε μορφή κονσέρβας, μαρμελάδας, ζελέ, χυμού, ή κατεψυγμένες, επεξεργασμένες και άλλες (Giampieri et al., 2012).

Σκοπός, λοιπόν, του πρώτου μέρους είναι η διεξοδική ανάλυση και η αναφορά παραδειγμάτων σχετικά με όλα τα προαναφερθέντα θέματα. Η συγκεκριμένη γονοτυπική και βοτανική ταξινόμηση, η μοναδική διατροφική σύσταση, οι διαφορετικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θρεπτικότητα, η παρατήρηση της ποικιλίας 'Marisol' και η πολυδιάστατη συνεισφορά του καρπού της φράουλας στην ανθρώπινη υγεία αποτελούν την αναλυόμενη θεματολογία του θεωρητικού μέρους της παρούσας εργασίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Βοτανική και γονοτυπική ταξινόμηση

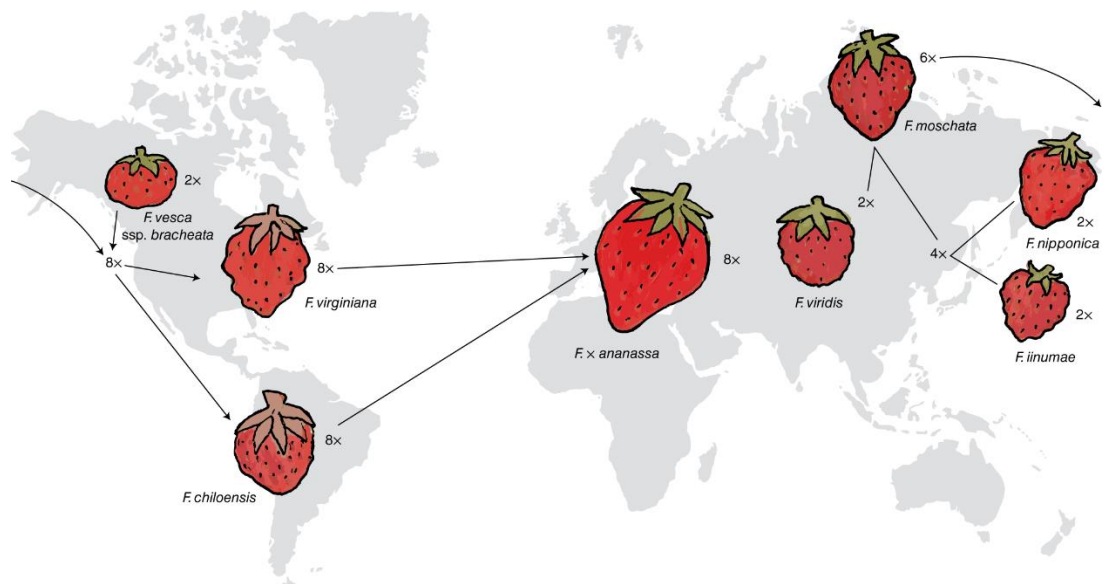
Η φράουλα αποτελεί δικότυλο ή δικοτυλήδονο φυτό, που σημαίνει ότι ο σπόρος ή το έμβρυο διαθέτει δύο εμβρυικά φύλλα ή κοτυλήδονες. Το φυτό στο οποίο αναπτύσσεται η φράουλα αποτελεί πολυετές, το οποίο σημαίνει ότι επιβιώνει πολλά χρόνια και ξαναβγάζει καρπούς, ενώ χαρακτηριστικά του είναι τα άσπρα άνθη με τα μικρά πέταλα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1 (Gündüz, 2016). Αποτελεί μη κλιμακτηριακό φρούτο, που σημαίνει ότι μετά τη συγκομιδή του δεν συνεχίζει να παράγει αιθυλένιο σε σημαντικές ποσότητες, και δεν συνεχίζει να ωριμάζει προς την επίτευξη ωριμότητας, παρά μόνο να αλλοιώνεται και εν τέλει να χαλάει. Έτσι τα φρούτα παραμένουν στο φυτό μέχρι να φτάσουν σε πλήρη ωριμότητα και η υψηλότερη διατροφική τους ποιότητα είναι κατά τη συγκομιδή (Montero et al., 1996), πιο απλά και συγκεκριμένα ο καρπός τρώγεται όταν κόβεται.

Η φράουλα ανήκει στο γένος *Fragaria* της οικογένειας των ροδιδών (*Rosaceae*), ενώ υπάρχουν περισσότερα από 20 είδη όπως και πολλά υβρίδια και ποικιλίες, όπου εμφανίζουν διαφορές στη γεύση, το μέγεθος και την υφή. Σχετικά με την οικογένεια *Rosaceae*, περιλαμβάνει και άλλα είδη φρούτων με επιστημονικές ονομασίες *Malus*, *Pyrus*, *Prunus*, *Rubus* και άλλα, όπως και είδη λουλουδιών, για παράδειγμα *Rosa* και *Sorbus*. Η υποοικογένεια των *Rosaceae* στην οποία ανήκει το γένος *Fragaria* είναι η *Rosoideae* που περιλαμβάνει περίπου 20 είδη διπλοειδών, τετραπλοειδών, εξαπλοειδών και οκταπλοειδών γονοτύπων, όπου η *Fragaria × ananassa* ανήκει στους οκταπλοειδείς. Αυτό σημαίνει ότι το γενετικό υλικό περιλαμβάνει 7 σετ χρωμοσωμάτων και 8 χρωμοσώματα ανά σετ, άρα συνολικά 56 χρωμοσώματα, που σημαίνει ότι κάθε κύτταρο περιέχει υπολλείματα 4 ξεχωριστών προγονικών διπλοειδών οργανισμών (Gündüz, 2016).

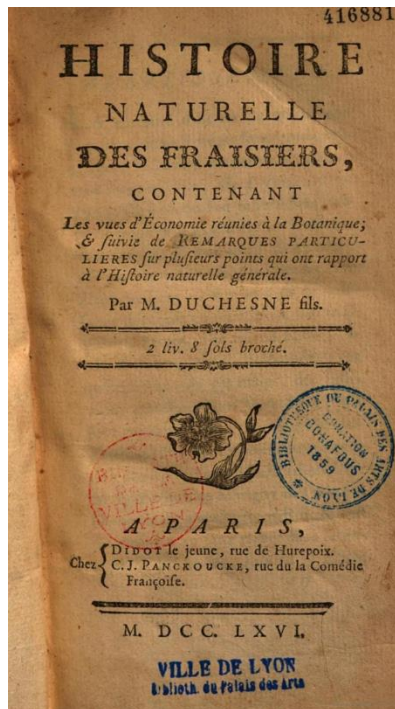


**Σχήμα 1:** Άνθος από το οποίο προέρχεται, αναπτύσσεται και εκβλαστάνει ο καρπός της φράουλας

Όσον αφορά το γένος *Fragaria*, συχνότερα συναντάται το υβρίδιο *Fragaria*×*ananassa* Duch. (Hummer et al., 2011), το οποίο αποτελεί το εμπορικό είδος της φράουλας. Αυτό προέκυψε πριν από περίπου 250 χρόνια, δηλαδή τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, από τυχαία διασταύρωση των γονοτύπων *F. chiloensis* και *F. virginiana*, που προέρχονται από τη νότια και Βόρεια Αμερική, αντίστοιχα. Συχνά αναφέρεται ως *Fragaria*×*ananassa* Duchesne ή Duch. εν συντομία, και αυτό γιατί ο Γάλλος βοτανολόγος Antoine Nicolas Duchesne συμπέρανε ότι η *F. ananassa* ήταν υβρίδιο των δύο παραπάνω γονοτύπων, με αποτέλεσμα να πάρει το όνομά του. Ο βοτανολόγος δημοσίευσε το βιβλίο του με θέμα τις φράουλες το 1766 στο Παρίσι, το οποίο ήταν αποτέλεσμα πολλών χρόνων έρευνας. Οι εσκεμμένες συστηματικές διασταυρώσεις ξεκίνησαν το 1817 από τον Thomas A. Knight, ενώ στα μέσα του 1800 ξεκίνησαν οι πιο επιτυχείς διασταυρώσεις, χρησιμοποιώντας τους 3 παραπάνω γονοτύπους (Gündüz, 2016).



**Σχήμα 2:** Προέλευση του είδους *Fragaria*×*ananassa* Duchesne από τα οκταπλοειδή είδη *F. virginiana* και *F. chiloensis*



**Σχήμα 3:** Βιβλίο του Γάλλου βοτανολόγου Antoine Nicolas Duchesne με θέμα τις φράουλες που δημοσιεύτηκε το 1766 στο Παρίσι, και ο ίδιος (Duchesne, 1766)

**Πίνακας 1:** Είδη του γένους *Fragaria* (Gündüz, 2016)

	Είδη (Species)	Ιθαγένεια	Χαρακτηριστικά
Διπλοειδή	<i>Fragaria vesca</i> L.	Περί των πόλων της γης	Μακρύ, πολύ αρωματικό, ωοειδές, ανοιχτό κόκκινο, μαλακή σάρκα
	<i>Fragaria viridis</i> Duch.	Από Ευρώπη μέχρι κεντρική-ανατολική Ασία	Μικρό, σφιχτό, ροζ-κόκκινο, αρωματικό, ευρίσκεται σε λάκκους
	<i>Fragaria nilgerrensis</i> Schlect	Νοτιοανατολική Ασία	Μικρό, σφαιρικό, ροζ, άγευστο ή και δυσάρεστο στη γεύση
	<i>Fragaria daltoniana</i> J. Gay	Ιμαλία (3000-4500m)	Επίμηκες, ωοειδές, ανοιχτό κόκκινο, άγευστο
	<i>Fragaria nubicola</i> Lindl ex. Lacaita	Ιμαλία (1500-4000m)	Θυμίζει <i>Fragaria vesca</i> L.
	<i>Fragaria inumae</i> Makino	Βουνά Ιαπωνίας	Ωοειδές, 1,5cm μακρύ (πολύ μικρό), αχάινες βυθισμένες,

			θυμίζει <i>Fragaria daltoniana</i> J. Gay
	<i>Fragaria nipponica</i>	Ιαπωνία	-
Τετραπλοειδή	<i>Fragaria moupinensis</i> (French.) Card	Θιβέτ, Κίνα	Μικρό, θυμίζει <i>Fragaria nilgerrensis</i> Schlecht
	<i>Fragaria orientalis</i> Losink	Σιβηρία, Κορέα	Μαλακό, κωνικό προς σφαιρικό, μικρό, ελαφρύ άρωμα
Εξαπλοειδές	<i>Fragaria moschata</i> Duch.	Από Βόρεια Ευρώπη μέχρι Σιβηρία	Ανοιχτό προς σκούρο κόκκινο που μωβίζει, μαλακό, ακανόνιστο προς ωοειδές σχήμα, οινώδης μυρωδιά, υψωμένες αχαίνες
Οκταπλοειδή	<i>Fragaria virginiana</i> Duch.	Βορειοανατολική Αμερική	Σχεδόν σφαιρικό προς ωοειδές, διπλάσιο μέγεθος από τη vesca, μαλακό, ανοιχτό προς σκούρο κόκκινο-πορφυρό, άσπρη σάρκα, στυφό, αρωματικό
	<i>Fragaria chiloensis</i> (L.) Duch.	Παραθαλάσσια του Ειρηνικού ωκεανού της Βόρειας Αμερικής, Χιλή, Αργεντινή, Χαβάη	Πιο σκούρο κόκκινο προς καφέ, άσπρη σάρκα, ήπια γεύση, σφιχτή υφή, σφαιρικό προς πεπλατυσμένο στους πόλους, μικρό ή μεγάλο
	<i>Fragaria ovalis</i> (Lehn) Rydb. ή <i>Fragaria virginiana glauca</i> Staudt	Από βραχώδη βουνά μέχρι Δυτική ακτή Αμερικής	Σφαιρικό, ροζ, μικρό, πολύ γευστικό
	<i>Fragaria mandshurica</i> Staudt	Περιοχή Κίνας, Manchuria	G. Staudt, 1959
	<i>Fragaria inturupensis</i> Staudt	Βόρεια νησιά Ιαπωνίας	G. Staudt, 1973
	<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> Duch.	καλλιεργούμενη	Μεγάλη, κόκκινη, μεταβλητά χαρακτηριστικά

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 *Θρεπτική αξία και σύσταση*

Η μέση σύσταση της φράουλας σύμφωνα με τον USDA περιγράφεται στον πίνακα 3. Όπως φαίνεται, η φράουλα αποτελείται από ποικιλία μακρο- και μικροθρεπτικών συστατικών, όπως από σημαντικές ποσότητες φυτικών ινών και θρεπτικών συστατικών όπως αντιοξειδωτικές και φυτοχημικές ενώσεις (Giampieri et al., 2012).

Η φράουλα διαθέτει υψηλή περιεκτικότητα σε βιταμίνη C, μεγαλύτερη από αυτήν στο ρόδι, το μανταρίνι, το πορτοκάλι, το λεμόνι, το κεράσι, τον ανανά και το μάνγκο, φρούτα που φημίζονται για το μεγάλο περιεχόμενο βιταμίνης C (Guo et al., 2003). Μεγάλο ενδιαφέρον εμφανίζει το γεγονός ότι 100g φράουλας, αποδίδουν σχεδόν ολόκληρη τη ποσότητα, συγκεκριμένα το 98%, της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης %DV (Daily Value) σε βιταμίνη C, το 19% της %DV μαγγανίου, το 8% φυτικών ινών και το 6% φολικού οξέος, σύμφωνα με site που παρέχει διατροφικά δεδομένα (Self Nutrition Data). Μάλιστα, έχει προκύψει από συμπέρασμα μελέτης ότι 250g φράουλας αποδίδουν περίπου 60μg φολικού οξέος, όπου καλύπτουν το 30% της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης (Giampieri et al., 2012).

### 2.1 Μακροθρεπτικά συστατικά

Τα μακροθρεπτικά συστατικά είναι το νερό 90-91%, υδατάνθρακες 8-9%, πρωτεΐνες 0,5%, λιπαρές ύλες 0,1-0,2% και φυτικές ίνες 2% (Basu et al., 2014). Η τέφρα έχει υπολογιστεί περίπου 0,4%, ενώ η απόδοση σε ενέργεια 32-35kcal ανά 100g.

Τα περιεχόμενα σάκχαρα αντιστοιχούν σε μόρια φρουκτόζης, η οποία συμβάλλει στην αργή χώνευση και στη ρύθμιση του επιπέδου των σακχάρων στο αίμα, σε συνεργασία με τις φυτικές ίνες. Αυτό ισχύει φυσικά και για τα υπόλοιπα φρούτα, και είναι ο λόγος που καθιστά τα σάκχάρά τους σημαντικά, λόγω του χαμηλότερου γλυκαιμικού φορτίου. Εκτός της φρουκτόζης, περιέχονται και μόρια γλυκόζης και σακχαρόζης, με τη φρουκτόζη να απαρτίζει το 2,5% των σακχάρων ενώ η γλυκόζη και η σακχαρόζη το 2% και 0,5% αντίστοιχα (Giampieri et al., 2012). Έτσι, οι περιεκτικότητες της φρουκτόζης και γλυκόζης ξεχωριστά είναι πάντα υψηλότερες από της σακχαρόζης, με τις δύο πρώτες να διαφοροποιούνται ανά ποικιλία (Montero et al., 1996).

Οι φυτικές ίνες αποτελούν κατά προσέγγιση το 26% των περιεχόμενων υδατανθράκων και ευρίσκονται κυρίως με τη μορφή πηκτίνης (Καρβούνα, 2021). Οι λιπιδικές ουσίες ευρίσκονται σε μικρότερη ποσότητα στη φράουλα και αποτελούνται κυρίως από ακόρεστα λιπαρά οξέα, εκ των οποίων το 72% αντιστοιχεί σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (Giampieri et al., 2012). Παράλληλα, έρευνα έχει δείξει ότι 6g φράουλες αποδίδουν 0,7mg φυτοστερολών (Jiménez et al., 2006).

**Πίνακας 2:** Ενδεικτικές περιεκτικότητες σακχάρων και οξέων ώριμης φράουλας (Ménager et al., 2004)

Συστατικά	Ποσότητες (g/100 g FW)
Σακχαρόζη	1,43
Γλυκόζη	2,5
Φρουκτόζη	2,6
Κιτρικό οξύ	0,6
Μηλικό οξύ	0,4

Κατά την οργανοληπτική αξιολόγηση εκτιμάται η γεύση και το άρωμα. Η παράμετρος του αρώματος και τα πτητικά συστατικά που την επηρεάζουν αναλύονται σε περαιτέρω ξεχωριστό κεφάλαιο. Η γλυκιά γεύση οφείλεται στα σάκχαρα, και είναι επίσης αποτέλεσμα υψηλού δείκτη αναλογίας σακχάρων προς τιτλοδοτούμενη οξύτητα (TSS/TTA). Ο δείκτης αυτός μάλιστα είναι πιο αξιόπιστος από το ποσοστό σακχάρων και χρησιμοποιείται εκτενέστερα για την αξιολόγηση της γεύσης, αφού στον προσδιορισμό των διαλυτών στερεών (βαθμοί Brix), συνυπολογίζεται η μικρή ποσότητα των οργανικών οξέων (Parra-Palma et al., 2019). Η γεύση λοιπόν οφείλεται στα σάκχαρα τα οποία προσδίδουν γλυκύτητα, και στα οργανικά οξέα που εξισορροπούν αλλά και ενισχύουν τη γλυκύτητα αυτή. Τα οργανικά οξέα αποτελούν μικροθρεπτικά συστατικά της φράουλας που ωστόσο συνεισφέρουν σημαντικά στη γεύση, και η σύστασή τους διαφοροποιείται ανάλογα με τη ποικιλία. Υπάρχουν δύο βασικά οργανικά οξέα, το κιτρικό, το οποίο είναι το βασικό και ευρίσκεται περί του 84%, και το μηλικό (Gündüz, 2016).

## 2.2 Μικροθρεπτικά συστατικά

Τα μικροθρεπτικά και βιοδραστικά συστατικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες, με σκοπό την απλούστερη ταξινόμηση των σύνθετων χημικών ενώσεων, συγκεκριμένα στις βιταμίνες, στα μέταλλα και ιχνοστοιχεία, στα καροτενοειδή, και τέλος στα φαινολικά συστατικά (Giampieri et al., 2012). Φυσικά, οι βιταμίνες, τα καροτενοειδή και τα φαινολικά συστατικά διαδραματίζουν αντιοξειδωτική δράση και τους αποδίδεται η γενικότερη ονομασία αντιοξειδωτικά, αφού στα αντιοξειδωτικά περιλαμβάνονται ενώσεις διαφορετικών οικογενειών και ειδών. Έρευνες έχουν δείξει ότι η φράουλα και γενικότερα τα μούρα ανήκουν στις κατηγορίες φρούτων και γενικότερα τροφίμων με την υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα (Benzie and Choi, 2014). Μικροθρεπτικά είναι επίσης τα οργανικά οξέα, που αναλύθηκαν παραπάνω με αναφορά στο θέμα της γεύσης, ενώ επίσης μικροθρεπτικά αποτελούν τα πτητικά συστατικά τα οποία συμβάλλουν στη διαμόρφωση αρώματος της φράουλας.

### 2.2.1 Βιταμίνες

Οι βιταμίνες και τα παράγωγά τους προσφέρουν αντιοξειδωτική και βιολειτουργική δράση. Στη φράουλα οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες βιταμινών είναι της βιταμίνης C, ενώ περιέχονται επίσης και οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες θειαμίνη (B1), ριβοφλαβίνη (B2), νιασίνη (B3), παντοθενικό οξύ (B5), πυριδοξίνη ή πυριδοξάλη (B6), φολικό ή

αλλιώς φυλλικό οξύ (B9) και η χολίνη όπως και οι λιποδιαλυτές βιταμίνες A (β-καροτένιο), βιταμίνες E (α-τοκοφερόλη), και βιταμίνη K (φυλλοκινόνη) (Basu et al., 2014).

Αναφορικά με τις λιποδιαλυτές βιταμίνες, εκτός της α-τοκοφερόλης που αποτελεί τη βιταμίνη E και περιέχεται στις μεγαλύτερες ποσότητες, αμέσως επόμενη ποσοτικά είναι η περιεκτικότητα σε γ-τοκοφερόλη, και τέλος στον ίδιο βαθμό η περιεκτικότητα των β- και δ-τοκοφερολών. Σημειώνεται ότι εντοπίζονται μόνο οι τοκοφερόλες, αφού οι τοκοτριενόλες απουσιάζουν, όπως επίσης απουσιάζει και η βιταμίνη D. Επιπλέον, ενδιαφέρον εμφανίζει το γεγονός ότι οι βιταμίνες των συμπλεγμάτων A και E, ως γνωστόν λιποδιαλυτές, σχετίζονται και ταυτίζονται με τα καροτενοειδή και τις τοκοφερόλες αντίστοιχα, που είναι επίσης λιποδιαλυτές ενώσεις. Η ανάλυση της κατηγορίας των καροτενοειδών έπεται στη συνέχεια (Giampieri et al., 2012).

Όσον αφορά τις υδατοδιαλυτές βιταμίνες, οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες είναι αυτές της βιταμίνης C και του φολικού οξέος (B9). Εξάλλου είναι γνωστό ότι η φράουλα είναι μια από τις πιο πλούσιες πηγές φολικού οξέος, το οποίο ευρίσκεται σε περιεκτικότητες περίπου 20-25μg ανά 100g FW (φρέσκου βάρους). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, 250g φράουλας προσφέρουν προσεγγιστικά 60μg φολικού οξέος, τα οποία καλύπτουν το 30% της συνιστώμενης Ευρωπαϊκής και Αμερικάνικης ημερήσιας πρόσληψης (Giampieri et al., 2012).

### **2.2.2 Μέταλλα**

Τα βασικότερα μέταλλα και ιχνοστοιχεία της φράουλας είναι το μαγγάνιο και το κάλιο. Ειδικότερα, έχει βρεθεί ότι μια μερίδα φραουλών περί των 8 τεμαχίων ή 150 γραμμαρίων αποδίδουν το 20% της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης σε μαγγάνιο, και το 5% σε κάλιο. Επίσης ευρίσκονται το ιώδιο, το μαγνήσιο, ο χαλκός, ο σίδηρος (Basu et al., 2014), το ασβέστιο, ο φώσφορος και το νάτριο (Giampieri et al., 2012).

### **2.2.3 Καροτενοειδή**

Στις φράουλες οι καροτενοειδείς ουσίες που εντοπίζονται είναι οι λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη, που ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των ξανθοφυλλών, και το β-καροτένιο, που ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των καροτενίων. Αξίζει να αναφερθεί ότι το β-καροτένιο αποτελεί την ισχυρότερη μορφή προβιταμίνης A. Στη κατηγορία των ξανθοφυλλών επίσης κατάσσεται η κρυπτοξανθίνη, η ασταξανθίνη και άλλες, όπως και στη κατηγορία των καροτενίων επίσης κατατάσσεται και το λυκοπένιο, το α-καροτένιο και άλλα, τα οποία δεν ευρίσκονται στο καρπό της φράουλας, όπως επιβεβαιώνεται και από τους Zhu et al.. Ωστόσο, έχει γίνει αναφορά ύπαρξης μικρής ποσότητας β-κρυπτοξανθίνης, γεγονός που επιβεβαιώνει τη μη καθολικότητα της θρεπτικότητας, και συγκεκριμένα την διαφοροποίηση της σύστασης ανάλογα με τη ποικιλία και τον γονότυπο (Zhu et al., 2015).

## 2.2.4 Φαινολικά συστατικά

Συγκριτικά με άλλα φρούτα και λαχανικά, οι φράουλες απαρτίζονται από πολύ μεγάλες ποσότητες πολυφαινολών. Οι φαινολικές ενώσεις αποτελούν τις πιο μελετημένες φυτοχημικές ενώσεις και είναι προϊόντα φυτικού μεταβολισμού, που συμβάλλουν σε σημαντικές βιολειτουργίες του φυτικού οργανισμού, καθοριστικές για την επιβίωση και την ανάπτυξη του. Έχει γίνει πλέον ξεκάθαρο ότι αυτές οι ενώσεις μπορούν επίσης να εμφανίσουν βιολειτουργικό ρόλο εντός του ζωικού και ανθρώπινου οργανισμού (Hannum, 2004).

Αναφορικά με τη δομή των πολυφαινολών, περιέχουν τουλάχιστον έναν αρωματικό δακτύλιο ο οποίος φέρει τουλάχιστον μία υδροξυλομάδα, ενώ μπορεί να ευρίσκονται σε διαφορετικά μεγέθη, από μικρά μόρια έως μεγάλα ολιγομερή. Συχνά βρίσκονται στα τρόφιμα ως γλυκοσίδια, με προσδεμένα σάκχαρα πάνω τους, τα οποία κάνουν τις ουσίες πιο υδατοδιαλυτές (Kähkönen, 2001).

Τα φαινολικά συστατικά κατηγοριοποιούνται σε флаβονοειδή, ταννίνες, φαινολικά οξέα, λιγνάνες και στυλβένια. Οι τρεις πρώτες κατηγορίες ευρίσκονται σε μεγάλο βαθμό και θα αναλυθούν παρακάτω, η κατηγορία των λιγνάνων ευρίσκεται σε ελάχιστο βαθμό, ενώ η κατηγορία των στυλβενίων δεν εντοπίζεται (Καρβούνα, 2021). Αξίζει να αναφερθεί ότι οι φράουλες περιέχουν σχεδόν όλες τις κατηγορίες και είδη φαινολικών ενώσεων και με τη συγκεκριμένη πρόφαση οι Kajdžanoska et al. (2011) χρησιμοποίησαν ως πρώτη ύλη φράουλες για τη μελέτη των διαλυτών εξαγωγής φαινολών (Kajdžanoska et al., 2011).

Τα ποσοστά των φαινολικών ενώσεων σε φρέσκιες φράουλες είναι ενδεικτικά: 44% ανθοκυανίνες, 41% ελλαγιταννίνες και ελλαγικά οξέα προερχόμενα από ελλαγιταννίνες, 5% προανθοκυανιδίνες, 4% флаβονόλες, 4% κατεχίνες και 2% υδροξυκιναμικά οξέα (Tögtönen and Määttä, 2000).

### 2.2.4.1 Φλαβονοειδή

Τα флаβονοειδή αποτελούν την εκτενέστερη τάξη των φαινολικών ενώσεων της φράουλας και κατατάσσονται σε υποομάδες ανάλογα με τη δομή και το είδος τους. Οι υποομάδες που υπάρχουν στη φράουλα είναι οι ανθοκυανίνες, οι флаβονόλες και οι флаβανόλες, ενώ δεν εντοπίζονται οι υπόλοιπες υποομάδες που είναι οι ισοφλαβόνες, τα νεοφλαβονοειδή, οι флаβόνες, οι флаβονόνες και οι χαλκόνες (Καρβούνα, 2021).

Βασική είναι η συνεισφορά των ανθοκυανινών, ενώ ελάχιστη αυτή των флаβονολών και των флаβανολών. Συνολικά, έχουν ταυτοποιηθεί περισσότερες από 25 διαφορετικές χρωστικές ανθοκυανινών, ανά τις διαφορετικές ποικιλίες φραουλών. Έρευνες έχουν αναδείξει τη περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες εντός του εύρους 150-600mg/kg FW ή και μέχρι 800mg/kg FW. Βασικότερη ανθοκυανίνη αποτελεί η πελαργονιδίνη, και συγκεκριμένα η πελαργονιδίνη-3-γλυκοσίδη, στην οποία αποδίδεται και το έντονο φωτεινό χρώμα και άρωμα. Μάλιστα, η συγκεκριμένη ένωση φαίνεται να ευρίσκεται στο φρούτο ανεξάρτητα από γενετικούς και περιβαλλοντικούς



παράγοντες. Ταυτόχρονα, συνεχής φαίνεται να είναι και η ύπαρξη της κυανιδίνης-3-γλυκοσίδης, σε μικρότερες ωστόσο ποσότητες από τη πρώτη. Το συχνότερο υποκατεστημένο σάκχαρο των ανθοκυανινών της φράουλας αποτελεί η γλυκόζη, χωρίς όμως να αποκλείεται η ύπαρξη της ρουτινόζης, της αραβινόζης και της ραμνόζης (Giampieri et al., 2012).

Τα τελευταία χρόνια επικρατεί μεγάλος ντόρος αναφορικά με τα φαινολικά συστατικά και συγκεκριμένα τις ανθοκυανίνες των κόκκινων φρούτων, όπως το σταφύλι, τα μούρα και το ρόδι. Οι ανθοκυανίνες συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην αντιοξειδωτική δραστηριότητα και ως εκ τούτου περιορίζουν καρδιαγγειακές ασθένειες, το καρκίνο, τον εκφυλισμό των κυττάρων και τη γήρανση (Malik and Mukhtar, 2006).

Βασικότερες περιεχόμενες φλαβονόλες αποτελούν παράγωγα της κερσετίνης και παράγωγα της καεμπφερόλης, με τα πρώτα να ευρίσκονται σε μεγαλύτερο βαθμό. Έχουν επίσης εντοπιστεί ακυλιωμένες φλαβονόλες, όπως για παράδειγμα οι κερσετίνη-3-μαλονυλγλυκοσίδη (quercetin-3-malonylglucoside), καεμπφερόλη-3-μαλονυλγλυκοσίδη (kaempferol-3-malonylglucoside) και καεμπφερόλη-κουμαρογλυκοσίδη (kaempferol-coumaroglucoside) (Giampieri et al., 2012).

Τέλος, οι φλαβανόλες είναι η μόνη κατηγορία φλαβονοειδών που δεν εμφανίζονται με τη μορφή γλυκοσιδίων, αφού στο μόριο τους δεν περιέχουν σάκχαρο. Ευρίσκονται είτε με τη μορφή μονομερών, παραδείγματος χάρη οι κατεχίνες, είτε με τη μορφή πολυμερών, δηλαδή συμπυκνωμένων ταννινών που ονομάζονται και προανθοκυανιδίνες. Ανευρίσκονται σε ελάχιστες ποσότητες, και δεν περιέχουν σάκχαρα, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ταννίνες (Giampieri et al., 2012). Οι προανθοκυανιδίνες εντοπίζονται συνηθέστερα στους σπόρους αλλά και τη σάρκα της φράουλας. Αν και όχι επαρκώς μελετημένες, φαίνεται να διαθέτουν αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, αντιαλλεργικές και αντιυπερτασικές ιδιότητες, καθώς και την ιδιότητα να εμποδίζουν δραστηριότητες κάποιων ενζύμων και των υποδοχέων τους, συμβάλλοντας ως επέκταση στην αντιμετώπιση διαφορετικών ασθενειών ή δυσλειτουργιών (Giampieri et al., 2012).

Συνοπτικά, χαρακτηριστικές ανθοκυανίνες της φράουλας αποτελούν σε μεγαλύτερο βαθμό η πελαργονιδίνη (31,27mg/100g) και έπειτα οι κυανιδίνη (1,96mg/100g), δελφινιδίνη (0,32mg/100g), και πετουνιδίνη (0,08mg/100g). Χαρακτηριστικές φλαβονόλες αποτελούν οι κερσετίνη (1,14mg/100g) και η καμπεφερόλη (0,46mg/100g). Ευρισκόμενες φλαβαν-3-όλες αποτελούν κατά φθίνουσα σειρά οι (+)-κατεχίνη, (-)-επιγαλλοκατεχίνη, (-)-επικατεχίνη-3-γαλλική (ECG), (-)-επικατεχίνη, (-)-επιγαλλοκατεχίνη-3-γαλλική (EGCG), και τέλος (+)-γαλλοκατεχίνη (Basu et al., 2014).

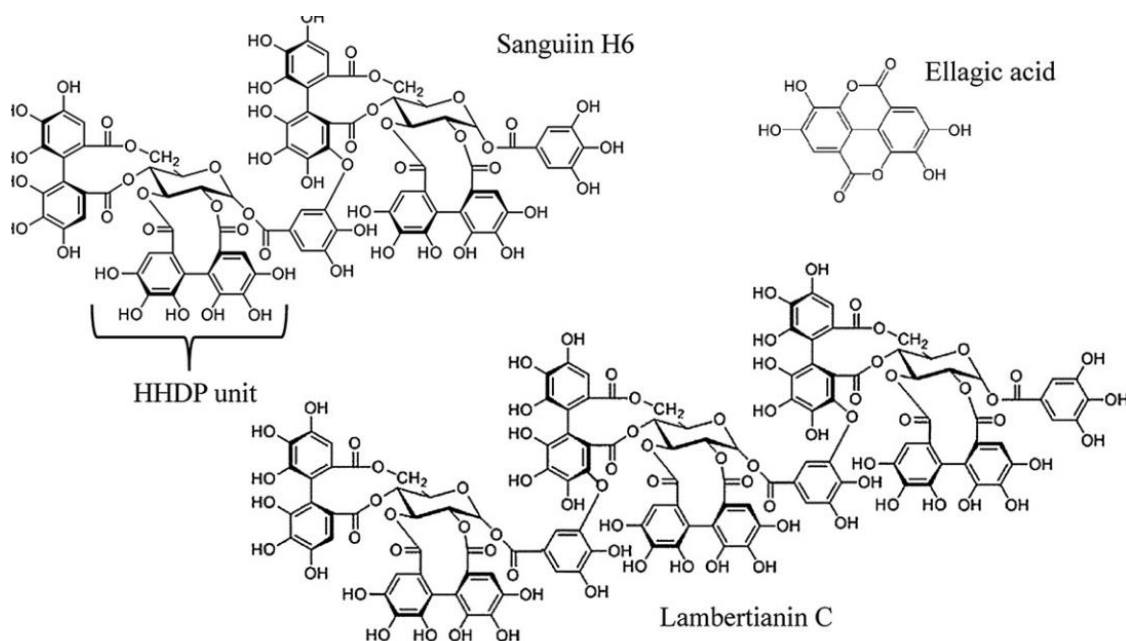
#### 2.2.4.2 Ταννίνες

Οι ταννίνες αποτελούν τη δεύτερη σε σειρά εκτενέστερη τάξη των φαινολικών ουσιών της φράουλας και αποτελούν βασικά συστατικά της φράουλας με σημαντική συνεισφορά στην ανθρώπινη υγεία. Οι ταννίνες που περιέχονται στη φράουλα είναι υδρολύσιμες ταννίνες, και συγκεκριμένα είναι οι ελλαγιταννίνες (Ellagitannins, ETs) και γαλλοταννίνες, με κυριότερες τις πρώτες (Giampieri et al., 2012). Η υδρόλυση τους

αποδίδει σάκχαρο, αφού στο μόριό τους περιέχουν δομή σακχάρου, και επίσης αποδίδει ελλαγικό ή γαλλικό οξύ και άλλες ενώσεις χαρακτηριστικές για τη κάθε ελλαγιταννίνη (Καρβούνα, 2021).

Το ελλαγικό οξύ δεν εντοπίζεται μόνο του στα τρόφιμα, αλλά δεσμευμένο με δομή σακχάρου όπως γλυκόζη ή ξυλόζη σε μορφή γλυκοσιδίου, ή αποτελεί μέρος των πολυμερών μορίων των ελλαγιταννινών (Καρβούνα, 2021). Πιο ειδικά, οι διαφορετικοί συνδυασμοί οξέων, δομών σακχάρων και άλλων χαρακτηριστικών ομάδων οδηγούν σε ποικιλία ενώσεων. Μπορεί να προκύψουν μονομερή, όπως για παράδειγμα γλυκοσίδη του ελλαγικού οξέος, ολιγομερή, όπως για παράδειγμα η sanguiin H-6 που αποτελεί διμερές, ή και σύνθετα πολυμερή, που προκύπτουν από το συνδυασμό των διάφορων ειδών μονομερών και ολιγομερών, όπως για παράδειγμα το galloulbis-hexahydroxydiphenoyl-glucose, που αποτελείται από διμερή sanguiin H-6 και τριμερή lambertianin C. Χαρακτηριστικότερη ελλαγιταννίνη της φράουλας όπως και των raspberries αποτελεί η sanguiin H-6 (Giampieri et al., 2012).

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Φινλανδία σε φαγητά που καταναλώνονται διεθνώς, απέδειξε ότι οι ελλαγιταννίνες υπάρχουν αποκλειστικά σε μούρα όπως cloudberry, raspberry και φυσικά φράουλα, δηλαδή φρούτα της οικογένειας Rosaceae. Η περιεκτικότητα των ελλαγιταννινών σε αυτά βρέθηκε εντός του εύρους 21,7-83,2mg/100g FW, ενώ η περιεκτικότητα σε ελεύθερα παράγωγα ελλαγιταννινών εντός του εύρους 0,7-4,3mg/100g FW. Συγκεκριμένα για τη φράουλα, έρευνες έχουν αναφέρει περιεκτικότητες ελλαγιταννινών περί του 25-59mg/100g FW. Σημειώνεται ότι τα ελεύθερα παράγωγα ελλαγιταννινών αποτελούν γλυκοσίδια ελλαγικού οξέος που δεν αποτελούν ταννίνες, ενώ με τον όρο γλυκοσίδιο εννοείται ο συνδυασμός ενός απλού σακχάρου και μιας ένωσης με χαρακτηριστικά οξέος, που προσδέεται στην ελεύθερη υδροξυλομάδα του σακχάρου (Giampieri et al., 2012).



**Σχήμα 4:** Μόρια sanguin H-6, Lambertianin C και ελλαγικού οξέος που δομούν την ένωση HHDP (galloulbis-hexahydroxydiphenoyl-glucose), η οποία έχει εντοπιστεί σε φράουλες (Giampieri et al., 2012)

### 2.2.4.3 Φαινολικά οξέα

Τα φαινολικά οξέα είναι η τρίτη και μικρότερη κατηγορία φαινολικών ενώσεων. Αυτά είναι παράγωγα του υδροξυκιναμικού οξέος, για παράδειγμα το καφεϊκό και το π-κουμαρικό οξύ, ή παράγωγα του υδροξυβενζοϊκού οξέος, για παράδειγμα το γαλλικό οξύ (Giampieri et al., 2012).

**Πίνακας 3:** Διατροφική δήλωση της φρέσκιας, κατεψυγμένης και κονσερβοποιημένης φράουλας ανά 100gr, όπως περιγράφεται από τον USDA στις 28/10/2022 (USDA Nutrient Database)

Συστατικό (ανά 100g)	Ποσότητα (Φρέσκια)	Ποσότητα (Κατεψυγμένη)	Ποσότητα (Κονσερβοποιημένη)	Μονάδα Μέτρησης
Ενέργεια	35	35	<b>92</b>	kcal
Νερό	91,1	90	75,4	g
Πρωτεΐνες	0,64	0,43	0,56	g
Λιπαρά	0,22	0,11	<b>0,26</b>	g
Υδατάνθρακες	7,63	9,13	<b>23,5</b>	g
Εκ των οποίων Σάκχαρα	5,34	4,56	<b>21,8</b>	g
Φυτικές ίνες	1,8	<b>2,1</b>	1,8	g
Ασβέστιο (Ca)	12	<b>16</b>	13	mg
Σίδηρος (Fe)	0,28	<b>0,75</b>	<b>0,49</b>	mg
Μαγνήσιο (Mg)	12	11	8	mg
Φώσφορος (P)	20	13	12	mg
Κάλιο (K)	89	<b>148</b>	86	mg
Νάτριο (Na)	10	2	4	mg
Ψευδάργυρος (Zn)	0,18	0,13	0,09	mg
Χαλκός (Cu)	0,119	0,049	0,063	mg
Σελήνιο (Se)	0,4	<b>0,7</b>	0,3	μg
Βιταμίνη C (Ασκορβικό)	56	41,2	31,7	mg
Θειαμίνη (B1)	0,025	0,022	0,021	mg
Ριβοφλαβίνη (B2)	0,016	<b>0,037</b>	0,034	mg
Νιασίνη (B3)	0,386	<b>0,462</b>	0,057	mg
Βιταμίνη B6	0,035	0,028	<b>0,049</b>	mg
Φολικό οξύ (B9)	8	<b>17</b>	<b>28</b>	μg
Χολίνη	5,7	5,7	3,8	mg
Βιταμίνη B12	0	0	0	μg

Βιταμίνη Α (RAE, Retinol Activity Equivalents)	1	2	1	μg
Ρετινόλη	0	0	0	μg
β-καροτένιο	7	<b>27</b>	<b>16</b>	μg
α-καροτένιο	0	0	0	μg
β-κρυπτοξανθίνη	0	0	0	μg
λυκοπένιο	0	0	0	μg
Λουτεΐνη και Ζεαξανθίνη	22	<b>26</b>	18	μg
Βιταμίνη Ε (α- τοκοφερόλη)	0,29	0,29	0,19	mg
Βιταμίνη D	0	0	0	μg
Βιταμίνη Κ (φυλλοκινόνη)	2,1	<b>2,2</b>	1,5	μg
Κορεσμένα λιπαρά οξέα	0	<b>0,006</b>	0,014	g
SFA 16:0	0	0,004	0,01	g
SFA 18:0	0	0,001	0,002	g
Μονοακόρεστα λιπαρά οξέα	0	<b>0,015</b>	0,036	g
MUFA 16:1	0	0,015	0,01	g
MUFA 18:1	0	0	0,035	g
Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα	0	<b>0,054</b>	0,129	g
PUFA 18:2	0	0,031	0,075	g
PUFA 18:3	0	0,023	0,054	g

**Πίνακας 4:** Φαινολικά συστατικά που έχουν βρεθεί σε διαφορετικές ποικιλίες φραουλών (Giampieri et al., 2012)

Φλαβονοειδή	Ανθοκυανίνες	Κυανιδίνη-3-γλυκοσίδη
		Κυανιδίνη-3-ρουτινοσίδη
		Κυανιδίνη-3-μαλονυγλυκοσίδη
		Κυανιδίνη-3-μαλονυγλυκοσυλ-5-γλυκοσίδη
		Πελαργονιδίνη-3-γαλακτοσίδη
		Πελαργονιδίνη-3-γλυκοσίδη
		Πελαργονιδίνη-3-ρουτινοσίδη
		Πελαργονιδίνη-3-αραβινοσίδη
		Πελαργονιδίνη-3,5-διγλυκοσίδη
		Πελαργονιδίνη-3-μαλυγλυκοσίδη
		Πελαργονιδίνη-3-μαλονυγλυκοσίδη
		Πελαργονιδίνη-3-ακετυλγλυκοσίδη
		5-πυρανο-πελαργονιδίνη-3-γλυκοσίδη
		Φλαβονόλες
	Κερσετίνη-3-μαλονυγλυκοσίδη	
Κερσετίνη-ρουτινοσίδη		

		Κερσετίνη-γλυκοσίδη
		Κερσετίνη-γλυκουρονίδιο
		Καεμπφερόλη-3-γλυκοσίδη
		Καεμπφερόλη-3-μαλονυλγλυκοσίδη
		Καεμπφερόλη-κουμαροϋλ-γλυκοσίδη
		Καεμπφερόλη-γλυκουρονίδιο
	Φλαβανάλες	Προανθοκυανιδίνη B1 (EC-4,8-EC)
		Τριμερής προανθοκυανιδίνη (EC-4,8-EC-4,8-C)
		Προανθοκυανιδίνη B3 (C-4,8-C)
		(+)-Κατεχίνη
Υδρολύσιμες ταννίνες	Ελλαγιταννίνες	Ελλαγιταννίνη
		Bis-εξαϋδροξυδιφαινοϋλ-γλυκόζη
		Γαλλοϋλ-εξαϋδροξυδιφαινοϋλ-γλυκόζη
		Εξαϋδροξυδιφαινοϋλ-γαλλοϋλ-γλυκόζη
		Διμερές του γαλλοϋλ-bis-εξαϋδροξυδιφαινόλη
		Γαλλοϋλ-bis-εξαϋδροξυδιφαινοϋλ-γλυκόζη
		Sanguiin H-6
		Πεντόζη Μεθυλ-ελλαγικού οξέος (ενωμένα)
		Πεντοσίδιο του ελλαγικού οξέος
		Ελλαγικό οξύ
Φαινολικά οξέα	Υδροξυκιναμικά οξέα	p-κουμαροϋλ-εξόζη

### 2.2.5 Πτητικές ουσίες

Οι οργανικές πτητικές ενώσεις (VOCs) συνεισφέρουν αφενός στη διαμόρφωση του αρώματος και αφετέρου της γεύσης, συνεπώς αποτελούν καθοριστική παράμετρο διαμόρφωσης του τυπικού flavor της φράουλας. Το άρωμα σε συνδυασμό με το χρώμα αποτελούν βασικούς παράγοντες προσέλκυσης των καταναλωτών προς αγορά του προϊόντος, και για αυτό έχουν μελετηθεί ευρέως. Συγκεκριμένα, το άρωμα αποτελεί εξαιρετικά σύνθετο οργανοληπτικό χαρακτηριστικό λόγω της τεράστιας ποικιλίας ενώσεων. Οι ενώσεις αυτές εκπροσωπούν το 0,001-0,01% του συνολικού βάρους του φρούτου, γεγονός αξιοθαύμαστο αφού ξεχωριστός συνδυασμός τους και μικρές τροποποιήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε ριζικές αλλαγές του αρώματος. Όπως και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, έτσι και το άρωμα αποτελεί σύνθετο χαρακτηριστικό που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως φυτορμονικές αλλαγές, μικροβιολογικές επιδράσεις, το είδος της ποικιλίας και περιβαλλοντικούς παράγοντες (Parra-Palma et al., 2019).

Οι πτητικές ουσίες που συνεισφέρουν στο άρωμα της φράουλας κατατάσσονται σε 7 οικογένειες ενώσεων, τους εστέρες, τις αλδεΐδες, τα τερπένια, τις λακτόνες, τα οξέα, και τις αλκοόλες (Parra-Palma et al., 2019), ενώ βιβλιογραφικά αναφέρεται και μια ακόμη κατηγορία, τα φουράνια. Οι εστέρες και τα τερπένια διαμορφώνουν τη τυπική

γεύση της φράουλας, ενώ οι λακτόνες και τα τερπένια τη τυπική οσμή (Pedrozo et al., 2022).

Οι Pedrozo et al. (2022), μελετώντας 6 γονότυπους εκ των οποίων και η Marisol, εντόπισαν συνολικά 29 πτητικές ενώσεις σε όλες τις ποικιλίες, εκ των οποίων 14 εστέρες, 5 αλδεΐδες, 3 τερπένια, 2 λακτόνες, 1 αλκοόλη, 1 οξύ, και 1 φουράνιο, το οποίο σε άλλες πηγές κατατάσσεται στις λακτόνες, στις οποίες η οικογένεια των φουρανίων δεν αναφέρεται. Οι Parra-Palma et al.(2019), μελετώντας 4 διαφορετικές ποικιλίες από τους προηγούμενους ερευνητές, ταυτοποίησαν σε όλες 48 διαφορετικές πτητικές ενώσεις, εκ των οποίων 29 εστέρες, 9 τερπένια, 3 αλδεΐδες, 3 λακτόνες, 2 αλκοόλες και 2 οξέα. Επομένως, ποιοτικά και ποσοτικά υπερिशύουν οι εστέρες, ποιοτικά δεύτερα έρχονται τα τερπένια και οι αλδεΐδες, ενώ ποσοτικά, ανάλογα με τη ποικιλία, τα τερπένια, οι λακτόνες, ή τα οξέα (Σχήμα 5). Οι Pedrozo et al. αναφέρουν ότι χρησιμοποίησαν την ίδια μέθοδο αέριας χρωματογραφίας των Parra-Palma et al., όμως με μικρές τροποποιήσεις της μεθόδου και σε συνδυασμό με το διαφορετικό εξοπλισμό αιτιολογείται η διαφορά των αποτελεσμάτων στις διαφορετικές ευρισκόμενες πτητικές ενώσεις. Επίσης, έχει βρεθεί ότι οι πτητικές ενώσεις που υπάρχουν στη φρέσκια φράουλα ξεπερνούν τις 360, και έτσι αιτιολογείται ο εντοπισμός πολλών ξεχωριστών ενώσεων μεταξύ των πειραμάτων, εξαιρώντας τις κοινά ευρισκόμενες (Πίνακας 6). Καθίσταται λοιπόν αντιληπτή η τεράστια ποικιλία τους.

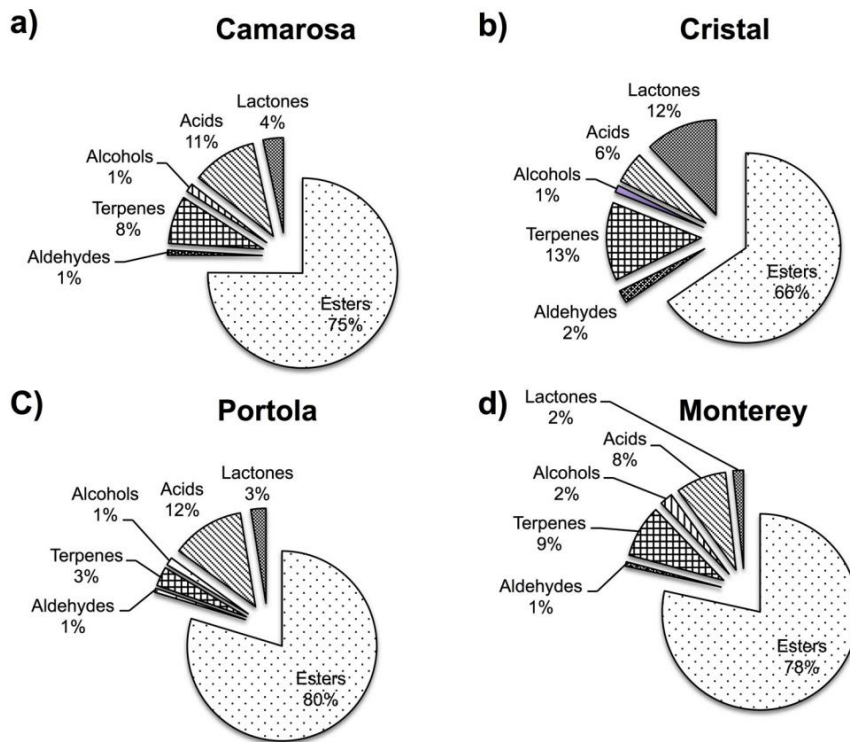
Οι εστέρες λοιπόν είναι οι πιο πολυπληθείς σε όλες τις ποικιλίες, αφού έχει φανεί ότι μπορούν να εκπροσωπούν το 20-90% των συνολικών πτητικών της φράουλας. Έχουν ταυτοποιηθεί περισσότεροι των 130, αλλά οι πιο συχνά ευρισκόμενοι, που συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο βαθμό στη διαμόρφωση αρώματος, φαίνεται να είναι ο βουτανοϊκός μεθυλεστέρας, ο βουτανοϊκός αιθυλεστέρας, ο εξανοϊκός μεθυλεστέρας, ο εξανοϊκός εξυλεστέρας, ο οξικός οξυλεστέρας και ο cis-3-οξικός εξενυλεστέρας. Άλλες βασικές αρωματικές ενώσεις διαφορετικών κατηγοριών είναι η φουρανεόλη, το μεσιφουράνιο, η γ-δεκαλακτόνη (λακτόνες), η λιναλοόλη, η κινναμίνη, το α-φαρνεσένιο (τερπένια) και το εξανοϊκό οξύ (οξύ) (Parra-Palma et al., 2019).

Το άρωμα λοιπόν οφείλεται στις πτητικές αρωματικές ουσίες, οι οποίες συνεισφέρουν στη γεύση και σε ένα ολοκληρωμένο flavor. Κάθε πτητική ουσία προσδίδει μοναδικό άρωμα και συγκεκριμένο τόνο στη γεύση, και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται πολύ συγκεκριμένο λεξιλόγιο για το χαρακτηρισμό τους (Πίνακας 5) (Parra-Palma et al., 2019).

**Πίνακας 5:** Πτητικές ενώσεις και ειδικό λεξιλόγιο οργανοληπτικής αξιολόγησης που χαρακτηρίζει το άρωμα και το τόνο που προσδίδουν στη γεύση (Parra-Palma et al., 2019)

Πτητική ένωση	Ειδικό λεξιλόγιο
Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	Γεύση φρουτώδης, οσμή που θυμίζει μήλο, μπανάνα, ανανά
Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	Οσμή που θυμίζει μήλο, αχλάδι, ροδάκινο, μπανάνα

Οξικός 2-εξεν-1-ολεστέρας (2-hexen-1-ol acetate)	Γεύση γλυκιά, φρουτώδης, Οσμή που θυμίζει μήλο, αχλάδι, κεράσι
Μεσιφουράνιο	Οσμή που θυμίζει καραμέλα, μαλλί της γριάς
γ-δεκαλακτόνη	Οσμή που θυμίζει καραμέλα



**Σχήμα 5:** Διαφοροποίηση των ποσοστών περιεκτικότητας των 6 διαφορετικών οικογενειών πτητικών ενώσεων ανά τις ποικιλίες (Parra-Palma et al., 2019)

**Πίνακας 6:** Πτητικές ενώσεις της φράουλας και κατάταξη στις κατηγορίες που ανήκουν (Parra-Palma et al., 2019 & Pedrozo et al., 2022)

Εστέρες	Κινναμικός μεθυλεστέρας	(Pedrozo et al., 2022)
	Εξανοϊκός οκτυλεστέρας	
	Δεκανοϊκός μεθυλεστέρας	
	Οκτανοϊκός μεθυλεστέρας	
	cis-2-οξικός εξενυλεστέρας	
	Βουτυρικός ισοαμυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	(Parra-Palma et al., 2019) & (Pedrozo et al., 2022)
	Εξανοϊκός εξυλεστέρας	
	Οξικός οκτυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός εξυλεστέρας	
	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	
	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	

	2-μέθυλο-βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	(Parra-Palma et al., 2019)
	Οξικός βουτυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός προπυλεστέρας	
	Προπιονικός βουτυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός ισοβουτυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός ισοαμυλεστέρας	
	Οξικός εξυλεστέρας	
	(E)-3-εξενοϊκός αιθυλεστέρας	
	Οξικός (4E)-4-εξενυλεστέρας	
	Οξικός 2-εξεν-1-ολεστέρας (2-hexen-1-ol acetate)	
	Εξανοϊκός ισοβουτυλεστέρας	
	2-εξενοϊκός αιθυλεστέρας	
	Οξικός 2-αιθυλεξυλεστέρας	
	Βουτανοϊκός 2-επτυλεστέρας	
	Προπανοϊκός 2-εξενυλεστέρας	
	Εξανοϊκός βουτυλεστέρας	
	Οκτανοϊκός αιθυλεστέρας	
	Εξανοϊκός ισοαμυλεστέρας	
	Προπιονικός οκτυλεστέρας	
	Ισοβαλερικός οκτυλεστέρας	
Αλδεΐδες	Δεκανάλη	(Pedrozo et al., 2022)
	Οκτανάλη	
	trans-2-εξενάλη	
	Εξανάλη	(Parra-Palma et al., 2019) & (Pedrozo et al., 2022)
	Εννεανάλη	
	Βενζαλδεΐδη	(Parra-Palma et al., 2019)
Τερπένια	Λιναλοόλη	(Parra-Palma et al., 2019) & (Pedrozo et al., 2022)
	Κινναμίνη	
	α-φαρνεσένιο	
	β-κυμένιο	(Parra-Palma et al., 2019)
	Τερπινολένιο	
	cis-β-φαρνεσένιο	
	β-δισαβολένιο	
	cis-α-δισαβολένιο	
	trans-νερολιδόλη	
Λακτόνες	γ-δωδεκαλακτόνη	(Pedrozo et al., 2022)
	γ-δεκαλακτόνη	(Parra-Palma et al., 2019) & (Pedrozo et al., 2022)
	Μεσιφουράνιο * (Φουράνιο)	
	Φουρανεόλη	(Parra-Palma et al., 2019)
Αλκοόλες	Εξανόλη	(Pedrozo et al., 2022)
	Οκτανόλη	(Parra-Palma et al., 2019)
	Φαινυλαιθυλική αλκοόλη	
Οξέα	Βαλερικό οξύ	(Pedrozo et al., 2022)
	2-μεθυλοβουτυρικό οξύ	(Parra-Palma et al., 2019)
	Εξανοϊκό οξύ	



\*Οι Pedrozo et al. (2022) κατατάσσουν το μεσιφουράνιο σε μια ξεχωριστή κατηγορία, τα φουράνια

### 2.3 Αντιοξειδωτική δραστηριότητα

Η εκτίμηση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας έχει λάβει μεγάλες διαστάσεις κατά τη μελέτη της σύστασης φρούτων και λαχανικών. Χρησιμοποιούνται ποικίλες μέθοδοι για τον προσδιορισμό της, συχνότερες εκ των οποίων είναι η ORAC, η TEAC συνήθως με χρήση του αντιδραστηρίου ABTS, η FRAP, και η Folin-Ciocalteu η οποία δεν προσδιορίζει αντιοξειδωτική δραστηριότητα αλλά ολικό περιεχόμενο φαινολικών ουσιών, που όμως το περιεχόμενο αυτό φαίνεται ταυτόσημο και να συμβαδίζει με την αντιοξειδωτική ισχύ (Pattison, 2011). Τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων έχει φανεί ότι ταυτίζονται, παραδείγματος χάρη οι Tulipani et al. ανέδειξαν το συσχετισμό των αποτελεσμάτων των FRAP και TEAC (Tulipani et al., 2008).

Η αντιοξειδωτική ισχύς συνδέεται στενά με την ύπαρξη συστατικών που απενεργοποιούν τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου. Τα κύρια συστατικά της φράουλας που λειτουργούν κατά αυτό το τρόπο είναι η βιταμίνη C και οι φαινολικές ενώσεις, που ευρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Μάλιστα, έρευνες αναφορικά με την αντιοξειδωτική δραστηριότητα διαφορετικών τροφίμων έχουν κατατάξει τα μούρα στις πηγές με τα περισσότερα φαινολικά συστατικά και την υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα. Συγκεκριμένα, η αντιοξειδωτική δράση τους έχει αναδειχθεί 4 φορές μεγαλύτερη από άλλα φρούτα, 10 φορές μεγαλύτερη από διαφορετικά λαχανικά, και 40 φορές μεγαλύτερη από τα δημητριακά (Halvorsen et al., 2002). Εδώ και πολλά χρόνια, είναι γνωστή η ισχυρότερη αντιοξειδωτική δράση των φραουλών έναντι φρούτων όπως μήλα, αχλάδια, ροδάκινα, σταφύλια, πορτοκάλια, ακτινίδια, αλλά και ντομάτες (Wang et al., 1996) (Scalzo et al., 2005b). Επίσης, έχει ανευρεθεί ότι άγριες φράουλες περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες αντιοξειδωτικών συστατικών από ότι οι καλλιεργούμενες (Gündüz, 2016).

Κατά τη διερεύνηση της συνεισφοράς κάθε είδους φυτοχημικής ένωσης στην αντιοξείδωση, βρέθηκε συνεισφορά μεγαλύτερη του 30% για τη βιταμίνη C, περί του 25-40% για τις ανθοκυανίνες, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό προσφέρεται από παράγωγα ελλαγιταννινών και φλαβονολών (Tulipani et al., 2008). Τα ευρήματα είναι ταυτόσημα και με άλλων ερευνών, με αποτέλεσμα να επιβεβαιώνεται η σημασία της βιταμίνης C και των φαινολικών συστατικών στην συνολική αντιοξειδωτική δραστηριότητα (TAC) (Wang & Millner, 2009) (Bridle & Garcia, 1997). Από τα συμπεράσματα ερευνών εξάγεται ότι η αντιοξειδωτική δραστηριότητα ταυτίζεται καλύτερα με τη περιεκτικότητα των ολικών φαινολικών συστατικών, ενώ δε συσχετίζεται άμεσα με τη περιεκτικότητα των ανθοκυανινών (Ferreya et al., 2007) και της βιταμίνης C (Tulipani et al., 2008).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 *Παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση*

Υπάρχουν συγκεκριμένοι παράγοντες που επηρεάζουν τη περιεκτικότητα στα μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά. Αυτοί παρακολουθούνται και ελέγχονται με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ποιότητας και της μέγιστης θρεπτικότητας.

### 3.1 Ποικιλία

Ο γονότυπος και η ποικιλία έχουν αναδειχθεί ως οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση (Wang & Lin, 2000). Η επίδραση της ποικιλίας στη σύσταση επιβεβαιώνεται από σημαντικό αριθμό ερευνών, λόγου χάριν οι Meyers et al. εξέτασαν 7 διαφορετικές ποικιλίες στο ίδιο στάδιο ωριμότητας, καλλιεργημένες στην ίδια περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών και με χρήση πανομοιότυπων καλλιεργητικών μεθόδων. Μελετήθηκε η σύσταση των φαινολικών ουσιών, των φλαβονοειδών, των ανθοκυανινών και η αντιοξειδωτική ισχύς, και βρέθηκαν αποτελέσματα με στατιστικά σημαντική διαφορά για κάθε διαφορετική ποικιλία (Meyers et al., 2003).

Οι Buendia et al. επίσης εξέτασαν 15 διαφορετικές ποικιλίες, οι οποίες καλλιεργήθηκαν στην Ισπανία, στην ίδια γεωργική περιοχή, την ίδια περίοδο, υπό τις ίδιες περιβαλλοντικές και καλλιεργητικές συνθήκες. Αναδείχθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις όσον αφορά το συνολικό φαινολικό περιεχόμενο και τη σύσταση στις διάφορες φαινολικές ενώσεις, και συγκεκριμένα των ανθοκυανινών, φλαβονολών και φλαβονολών (φλαβαν-3-ολών) από τη κατηγορία των φλαβονοειδών, των ελλαγιταννινών, των προανθοκυανιδίων και των υδροξυκινναμικών οξέων (Buendia et al., 2010).

Οι Wang & Lin μελετώντας 8 διαφορετικές ποικιλίες έδειξαν τη διαφορετική αντιοξειδωτική ικανότητα, ολική περιεκτικότητα ανθοκυανινών και φαινολικών συστατικών (Wang & Lin., 2000). Οι Crespo et al. μελετώντας 4 ποικιλίες επιβεβαίωσαν ότι η πελαργονιδίνη-3-γλυκοσίδη ήταν η πρωταρχική ανθοκυανίνη σε όλες τις ποικιλίες, ωστόσο οι ποσότητες των υπολοίπων πελαργονιδίων φάνηκε να εξαρτώνται από το είδος της ποικιλίας. Επίσης, διαφορά ανά τις ποικιλίες εμφάνισε η περιεκτικότητα της βιταμίνης C (Crespo et al., 2010). Τέλος, οι Parra-Palma et al. μελετώντας 4 ποικιλίες ταυτοποίησαν διαφορετικά ποσοστά πτητικών ενώσεων ανά τις ποικιλίες. Τονίζουν ότι οι διαφορετικές ποικιλίες καλλιεργήθηκαν στην ίδια περιοχή υπό τις ίδιες συνθήκες, ίδια γεωπονική πρακτική, ίδια ημερομηνία συγκομιδής και ίδιο στάδιο ωρίμανσης κατά τη συγκομιδή. Επομένως, αποδεικνύεται ότι οι διαφορές στη περιεκτικότητα και το είδος των ενώσεων οφείλονται αποκλειστικά στο παράγοντα της ποικιλίας και όχι σε εξωγενείς παράγοντες (Parra-Palma et al., 2019).

Οι Anttonen et al. καθιστούν ξεκάθαρη την μεγαλύτερη σημασία του παράγοντα της ποικιλίας συγκριτικά με όλους του υπόλοιπους παράγοντες που επηρεάζουν τη χημική σύσταση του φρούτου. Ως παράδειγμα αναφέρουν ότι το περιεχόμενο των φλαβονολών επηρεάζεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από το είδος της ποικιλίας, από ότι με οποιοδήποτε άλλο περιβαλλοντικό ή καλλιεργητικό παράγοντα. Ειδικότερα, η κύρια περιεχόμενη φλαβονόλη σε κάθε διαφορετική ποικιλία βρέθηκε ότι ήταν είτε η

κερσετίνη είτε η καεμπερόλη, με αυτό να εξαρτάται αποκλειστικά από το είδος της ποικιλίας. Για παράδειγμα, η υψηλότερη περιεκτικότητα καεμπερόλης εντοπίστηκε στις ποικιλίες Honeoye και Jonsok, ενώ η υψηλότερη περιεκτικότητα κερσετίνης εντοπίστηκε στη ποικιλία Honeoye (Anttonen et al., 2006). Σε άλλη μελέτη επίσης αποδεικνύεται ο καθοριστικότερος ρόλος που διαδραματίζει η ποικιλία στη διαμόρφωση της σύστασης, όπως στο σχηματισμό οργανικών οξέων, ασκορβικού οξέος και διαλυτών σακχάρων, ενώ φαίνεται ότι το στάδιο ωριμότητας και οι υπόλοιποι παράγοντες επηρεάζουν σε δεύτερη μοίρα (Kafkas et al., 2007). Τέλος, σε μελέτη με θέμα την αντιοξειδωτική δραστηριότητα επιβεβαιώνεται για πολλοστή φορά ότι ο γονότυπος διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωσή της (Tulipani et al., 2008).

Συμπερασματικά, ο καθορισμός της επιθυμητής χημικής σύστασης της φράουλας, όπως και κάθε άλλου φρούτου, προτείνεται ότι γίνεται πρωταρχικά κατά την επιλογή της κατάλληλης ποικιλίας, και έπειτα αυτή η σύσταση μπορεί να τροποποιείται έως ένα βαθμό κατά την επίδραση των υπόλοιπων παραγόντων που αναφέρονται παρακάτω σε αυτό το κεφάλαιο.

### 3.2 Στάδιο ωριμότητας

Το στάδιο ωριμότητας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση του προφίλ των φυτοχημικών ενώσεων. Ειδικότερα, άγουρα φρούτα περιέχουν υψηλά επίπεδα φαινολικών ενώσεων και ειδικά ελλαγιταννινών και ελλαγικών οξέων, και μηδενικές ποσότητες ανθοκυανινών. Αντιθέτως, ώριμα φρούτα φαίνεται να περιέχουν μειωμένες ποσότητες ελλαγιταννινών και υψηλότερα επίπεδα ανθοκυανινών. Κατά την ωρίμανση της φράουλας, αρχικά επικρατεί το αρχικό πράσινο χρώμα που χαρακτηρίζεται από μηδενική ποσότητα ανθοκυανινών, έπειτα αντικαθίσταται από ένα ροζ χρώμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από μικρή ποσότητα ανθοκυανινών, και στο τελικό στάδιο ωρίμανσης αντικαθίσταται από το έντονο κόκκινο χρώμα που χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά αυξημένη περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης παρατηρείται μείωση των ελλαγιταννινών και ταυτόχρονη αύξηση των ανθοκυανινών (Wang & Lin, 2000) (Kosar et al., 2004). Φυσικά, αύξηση των ανθοκυανινών έχει συσχετισθεί με την αύξηση του κόκκινου χρωματισμού, αλλά και με τη μεταγραφή γονιδίων που κωδικοποιούν τη βιοσύνθεση χρωστικών φλαβονοειδούς προέλευσης (Parra-Palma et al., 2020).

Σύμφωνα με τους Wang & Lin, κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης παρατηρείται μεγάλη μείωση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας, και έπειτα μικρή αύξηση. Αυτό επιβεβαιώνει τη μεγαλύτερη επιρροή που ασκεί η μείωση των ελλαγιταννινών, παρά η αύξηση των ανθοκυανινών στην αντιοξειδωτική ικανότητα. Διαπιστώνεται λοιπόν ότι η συνολική αντιοξειδωτική δραστηριότητα συμπίπτει περισσότερο με τις ποσότητες των ελλαγιταννινών, παρά με τις ποσότητες των ανθοκυανινών, ωστόσο περαιτέρω έρευνα απαιτείται σχετικά με τον ισχυρισμό αυτό. Συνοπτικά, κατά τη διαδικασία της ωρίμανσης, έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση των ανθοκυανινών, ελάχιστη αύξηση της βιταμίνης C, αλλά σημαντική μείωση βασικών αντιοξειδωτικών φαινολικών ουσιών που είναι οι ταννίνες. Έτσι, αιτιολογείται η μείωση της αντιοξειδωτικής

δραστηριότητας, ενώ η μικρή μετέπειτα αύξησή της αποδίδεται στην αύξηση των ανθοκυανινών (Wang & Lin, 2000).

Ως απόρροια των παραπάνω προκύπτει ότι η αντιοξειδωτική δραστηριότητα ταυτίζεται καλύτερα με τη συνολική περιεκτικότητα των φαινολικών ενώσεων, και όχι με τις μεμονωμένες περιεκτικότητες των ανθοκυανινών και ελλαγιτανινών. Επομένως, η εξελικτική πορεία της αντιοξειδωτικής ισχύος εκπροσωπείται βέλτιστα από τη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών ουσιών. Αυτόν τον ισχυρισμό επιβεβαιώνουν οι Ferreyra et al. που δηλώνουν ότι ο πιο αξιόπιστος συσχετισμός της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας είναι με τη περιεκτικότητα των συνολικών φαινολικών συστατικών, αφού κατά την ωρίμανση φαίνεται ότι μειώνονται και οι δύο παράμετροι με πανομοιότυπο τρόπο (Ferreyra et al., 2007).

Εξίσου ενδιαφέρουσα αποτελεί η έρευνα των Ménager et al., οι οποίοι κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης παρατήρησαν αύξηση των διαλυτών σακχάρων (TSS) και της αναλογίας των διαλυτών σακχάρων προς την ογκομετρούμενη οξύτητα (TSS/TTA), μείωση της ογκομετρούμενης οξύτητας και δηλαδή του κιτρικού οξέος (TTA), μείωση της σκληρότητας της φλούδας και σάρκας, ενώ δε παρατηρήθηκε μεταβολή του μηλικού οξέος (Ménager et al., 2004).

### 3.3 Καλλιεργητικές πρακτικές

Σημαντικό ρόλο στη σύσταση του καλλιεργούμενου καρπού διαδραματίζουν οι καλλιεργητικές πρακτικές (Alvarez et al., 2014). Αρχικά, διαφοροποίηση παρατηρείται μεταξύ οργανικής και κλασσικής καλλιέργειας, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μικρή και μεγάλη χρήση λιπασμάτων αντίστοιχα. Η οργανική καλλιέργεια οδηγεί σε αυξημένη συγκέντρωση φλαβονολών, σε αντίθεση με την κλασσική παραδοσιακή καλλιέργεια. Αυτό οφείλεται στη μειωμένη χρήση λιπάσματος, αφού η χρήση λιπασμάτων οδηγεί σε ελαττωμένη περιεκτικότητα των φαινολικών ενώσεων των φλαβονολών και ελλαγικών οξέων, ενώ η ελάττωση αυτή έχει βρεθεί στατιστικώς σημαντική. Προτείνεται λοιπόν ελαχιστοποίηση της χρήσης λιπάσματος στο κατώτερο δυνατό βαθμό, έτσι ώστε να καλύπτονται ταυτόχρονα και οι ανάγκες προστασίας που προσφέρουν τα λιπάσματα (Anttonen et al., 2006). Ωστόσο, περαιτέρω έρευνα κρίνεται επιτακτική, καθότι άλλοι ερευνητές αναφέρουν ότι δεν εντοπίζεται διαφορά μεταξύ κλασσικής και οργανικής ή βιολογικής καλλιέργειας, όσον αφορά τα φαινολικά οξέα (ελλαγικό, π-κουμαρικό, καφεϊκό) (Häkkinen and Törrönen, 2000), τα σάκχαρα, τα οργανικά οξέα και τη βιταμίνη C (Hakala et al., 2000). Διαφορά βρέθηκε μόνο μεταξύ ποικιλιών και τόπων καλλιέργειας.

Αναφορικά με διάφορες τεχνικές και συστήματα καλλιέργειας, έχει ταυτοποιηθεί ως στατιστικώς σημαντική η επίδραση της χρήσης ειδικών πλαστικών, των λεγόμενων «plastic mulches», στην αναλογία των φαινολικών συστατικών. Αναφέρεται ότι η χρήση ειδικών πλαστικών επιστρωμάτων (plastic mulches) που τοποθετούνται στη καλλιέργεια παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα, αφού διατηρεί καθαρές τις καλλιέργειες, καθιστά ευκολότερη τη συγκομιδή, εξοικονομεί νερό, περιορίζει τις απαιτούμενες ποσότητες εντομοκτόνων και αυξάνει τη θερμοκρασία στο χώμα και στα

φύλλα, ενώ την ίδια στιγμή η αντανάκλαση που προκαλεί βελτιώνει τις συνθήκες φωτισμού. Ως επέκταση, επιταχύνεται η ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φρούτων, αφού έχει παρατηρηθεί επιτάχυνση κατά μία εβδομάδα νωρίτερα. Έμφαση δίνεται επίσης στην επίδραση του χρώματος των πλαστικών επιστρωμάτων στην ολική περιεκτικότητα φαινολικών ουσιών, στις περιεκτικότητες των ανθοκυανινών και του ελλαγικού οξέος, στη συνολική αντιοξειδωτική δραστικότητα και στις αρωματικές ενώσεις. Συνήθως χρησιμοποιούνται μαύρα πλαστικά επιστρώματα, ωστόσο κατά τη χρήση πλαστικών λευκού χρώματος παρουσιάζονται αυξημένες (6-7%) οι περιεκτικότητες των ολικών φαινολικών συστατικών και του ελλαγικού οξέος, καθώς και της συνολικής αντιοξειδωτικής δραστικότητας. Κατά τη χρήση καφέ πλαστικών επιστρωμάτων παρουσιάζονται αυξημένες οι ανθοκυανίνες (~10%), ενώ κατά τη χρήση πλαστικών κόκκινου χρώματος παρατηρείται υψηλότερη περιεκτικότητα αρωματικών ενώσεων, κάτι που αιτιολογείται από τους ερευνητές ενδεχομένως λόγω των διαφορετικών συνθηκών φωτισμού (Anttonen et al., 2006).

Ωστόσο, σε μια έρευνα σύγκρισης των τρόπων καλλιέργειας της χρήση πλαστικών επιστρωμάτων, της μεθόδου «compost stock» (κάλτσες κομπόστ) με χρήση οργανικών λιπασμάτων και του συστήματος καλλιέργειας «matted rows» («ματ σειρές»), βρέθηκε ότι η δεύτερη συσχετίζεται με υψηλότερη αντιοξειδωτική δραστικότητα. Σημειώνεται ότι το σύστημα «ματ σειρών» αποτελεί μέθοδο καλλιέργειας συγκεκριμένα για φράουλες, κατά την οποία τοποθετούνται με συγκεκριμένο τρόπο σε συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους (Wang & Millner, 2009).

Σχετικά με τη τροποποίηση του εδάφους καλλιέργειας, έχει παρατηρηθεί ότι πιο επιτυχής πρακτική καλλιέργειας με χρήση οργανικών λιπασμάτων όπως compost χώμα, είναι η επέμβαση με 50% χώμα και 50% compost χώμα, συγκριτικά με 100% χώμα, 50%-χώμα-50% άμμος και 100% compost χώμα. Φαίνεται ότι το χώμα compost αυξάνει τα σάκχαρα και τα οργανικά οξέα, με αποτέλεσμα να αυξάνει την οργανοληπτική ποιότητα (Wang & Lin, 2000). Σημειώνεται ότι το χώμα compost αποτελεί λίπασμα 7 φορές πιο ασθενές από τα κλασσικά λιπάσματα, το οποίο χρησιμοποιείται στις οργανικές καλλιέργειες. Ωστόσο, περαιτέρω έρευνα κρίνεται επιτακτική, αφού έχει αναδειχθεί σε άλλη μελέτη η απουσία διαφοράς μεταξύ καλλιέργειας σε φυσικό έδαφος (soil cultivation) και καλλιέργειας με λιγότερο χώμα φυσικού εδάφους (soilless cultivation) (Akhatou & Fernández-Recamales, 2014). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζει και η καλλιέργεια υδροπονίας, κατά την οποία δε χρησιμοποιείται φυσικό έδαφος αλλά μίγμα εδάφους με συγκεκριμένο θρεπτικό διάλυμα, που αποφέρει πολλά πλεονεκτήματα (Αναστασιάδου, 2015). Συγκεκριμένα, έχει αναδειχθεί τροποποίηση των θρεπτικών συστατικών κατά τη καλλιέργεια υδροπονικού αραβοσίτου (Naik et al, 2012). Η υδροπονική καλλιέργεια έχει πραγματοποιηθεί και στα εξεταζόμενα δείγματα καρπών της παρούσας εργασίας, και περισσότερες πληροφορίες για τη τεχνική αναφέρονται στο δεύτερο μέρος της εργασίας.

Τέλος, έχει διερευνηθεί η επίδραση της καλλιέργειας σε κλειστό θερμοκήπιο ή σε ανοιχτό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, έχει αξιολογηθεί η καλλιέργεια σε γυάλινο θερμοκήπιο (GH, glass GreenHouse), σε πλαστικά τούνελ που παρομοιάζουν θερμοκήπιο (PT, Plastic Tunnel greenhouse) και τέλος η ανοιχτή καλλιέργεια, πλήρως

εκτεθειμένη στο περιβάλλον (OF, Open Field), ωστόσο δεν βρέθηκε σημαντική απόκλιση στις τιμές των φυτοχημικών συστατικών (Gündüz & Özdemir 2014).

Εν τέλει, ο τρόπος καλλιέργειας φαίνεται να επηρεάζει σε μικρό βαθμό τη σύσταση του φρούτου, συγκριτικά και με τους υπόλοιπους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση.

### **3.4 Ημερομηνία συγκομιδής, τοποθεσία και περιβαλλοντικές συνθήκες**

Γίνεται συχνά αναφορά στη σημασία της περιόδου εμφύτευσης και ημερομηνίας συγκομιδής, αφού η ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία και οι βροχοπτώσεις είναι περιβαλλοντικές συνθήκες που καθορίζονται από την εποχική περίοδο και φαίνεται να διαφοροποιούν τη σύσταση. Ειδικότερα, έχει βρεθεί στατιστικά σημαντική διαφορά στις περιεκτικότητες των μικροθρεπτικών συστατικών φρούτων που καλλιεργήθηκαν σε διαφορετικές περιόδους. Οι περιεκτικότητες που διαφοροποιούνται είναι των ολικών φαινολικών, των ανθοκυανινών και του ελλαγικού οξέος. Αρχικά, χαρακτηριστικό παράδειγμα συνθήκης που καθορίζεται από την εποχή είναι η σκίαση και έλλειψη ηλιοφάνειας, η οποία οδηγεί σε μειωμένη περιεκτικότητα ανθοκυανινών. Επομένως, η περιεκτικότητα των ανθοκυανινών ευνοείται από αυξημένη ηλιοφάνεια, ενώ επίσης από χαμηλότερη θερμοκρασία. Επίσης, έχει βρεθεί διαφοροποίηση της σύστασης σε ελλαγικό οξύ, μεταξύ φρούτων καλλιεργημένων σε διαφορετικές περιόδους, γεγονός που αποδόθηκε στις διαφορετικές επικρατούμενες θερμοκρασίες και στις βροχοπτώσεις (Anttonen et al., 2006). Συνίσταται λοιπόν να επιλέγεται η κατάλληλη περίοδος εμφύτευσης, έτσι ώστε η καλλιέργεια να γίνεται σε περιόδους βέλτιστων συνθηκών παροχής ήλιου και κατάλληλης θερμοκρασίας. Ως εκ τούτου, δεν προκύπτει η ανάγκη παροχής επιπρόσθετου φωτισμού ή τεχνητής ρύθμισης της θερμοκρασίας και περιορίζεται σημαντικά το κόστος παραγωγής.

Σε μια ακόμη έρευνα, μεταξύ τριών ημερομηνιών συγκομιδής εντοπίστηκαν διαφοροποιήσεις σχετικά με την αντιοξειδωτική δραστηριότητα, τη περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ, σε ολικές φαινολικές ενώσεις και σε ανθοκυανίνες. Οι ανθοκυανίνες βρέθηκαν υψηλότερες κατά τη χειμερινή περίοδο όπου επικρατούσαν χαμηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός που επιβεβαιώνει τον παραπάνω ισχυρισμό περί εύνοιας των ανθοκυανινών σε μειωμένες θερμοκρασίες. Σημειώνεται ότι η έρευνα πραγματοποιήθηκε στη Βραζιλία που ανήκει στο νότιο ημισφαίριο που οι εποχές είναι ακριβώς αντίθετες από ότι στην Ευρώπη που ανήκει στο βόρειο, δηλαδή το καλοκαίρι διαρκεί από το Δεκέμβρη μέχρι το Μάρτιο ενώ ο χειμώνας από το Μάιο μέχρι το Σεπτέμβρη. Έτσι, το Σεπτέμβρη οι ανθοκυανίνες είναι μέγιστες, αφού τους προηγούμενους μήνες επικρατούν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες (Pineli et al., 2012).

Συνοψίζοντας, πληθώρα ερευνών επιβεβαιώνουν την τροποποίηση της συγκέντρωσης των μικροθρεπτικών συστατικών εξαιτίας των περιβαλλοντικών συνθηκών διαφορετικών ημερομηνιών συγκομιδής. Βασικά βιοδραστικά συστατικά που διαφοροποιούνται είναι η βιταμίνη C και τα φαινολικά συστατικά αλλά και η αντιοξειδωτική δραστηριότητα (Anttonen et al., 2006) (Pineli et al., 2012) (Pincemail et al. 2012) (Tulipani et al., 2011).

Παράλληλα, οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν και το προφίλ των μακροθρεπτικών συστατικών. Σε έρευνα με θέμα τη διαφοροποίηση της θρεπτικής σύστασης φραουλών μεταξύ δύο περιόδων συγκομιδής (Αύγουστο και Οκτώβρη) βρέθηκαν διαφορές στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, συγκεκριμένα στο χρώμα, τη σκληρότητα, τη συγκέντρωση σε διαλυτά στερεά και την οξύτητα. Επίσης βρέθηκαν διαφορές όσον αφορά τα μικροθρεπτικά βιοδραστικά συστατικά, και ειδικότερα τις ανθοκυανίνες, το ασκορβικό οξύ, τα ολικά φαινολικά συστατικά και την αντιοξειδωτική δραστηριότητα. Τέλος, παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις σχετικά με τις πτητικές ενώσεις και την οργανοληπτική ανάλυση της γλυκύτητας, της οξύτητας, της τυπικής γεύσης και οσμής. Συνοπτικά, τον Αύγουστο τα φρούτα είχαν μεγαλύτερη σκληρότητα, μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα, και μικρότερη ποσότητα κιτρικού οξέος. Αντιθέτως, τον Οκτώβρη, τα φρούτα ήταν πιο όξινα, και είχαν μεγαλύτερη ποσότητα πτητικών συστατικών όπως εστέρες, λακτόνες και τερπένια, που συνεισφέρουν στη γεύση και το άρωμα (Pedrozo et al., 2022).

Η καλλιέργεια έγινε στην Ουρουγουάη που ανήκει στο νότιο ημισφαίριο, όπου οι εποχές είναι αντίστροφες με τις χώρες του βόρειου. Πιθανότερη εξήγηση για τα περισσότερα σάκχαρα τον Αύγουστο αποτελεί ο ισχυρισμός ότι μείωση του μεγέθους της ημέρας, η μειωμένη έκθεση στον ήλιο και η μικρότερη θερμοκρασία οδηγούν σε επιβράδυνση της ανάπτυξης των καρπών, αυξημένο απαιτούμενο χρόνο παραμονής στο χωράφι, και ως εκ τούτου αυξημένο αριθμό σακχάρων, λόγω της παρατεταμένης περιόδου παραμονής στο έδαφος. Αντιθέτως, αύξηση του μεγέθους της ημέρας και αύξηση της θερμοκρασίας και της ηλιοφάνειας τους καλοκαιρινούς μήνες, οδηγούν σε αύξηση της φωτοσυνθετικής διαδικασίας, σε ταχύτερους ρυθμούς ανάπτυξης του φυτού και ως εκ τούτου σε μείωση της περιόδου μεταξύ εμφύτευσης και συγκομιδής. Αυτή η μείωση παραμονής στο έδαφος οδηγεί σε μειωμένη παραγωγή σακχάρων. Συμπερασματικά, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται μειωμένη περιεκτικότητα σε σάκχαρα, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες αυξημένη περιεκτικότητα (Antunes et al., 2010).

Σημαντική φαίνεται να είναι και η επίδραση της τοποθεσίας της καλλιέργειας στη σύσταση, η οποία επηρεάζει διαφορετικές ενώσεις σε διαφορετικό βαθμό. Για παράδειγμα έχει αποδειχθεί μεγαλύτερη μεταβολή στη περιεκτικότητα της κερσετίνης παρά στη περιεκτικότητα της καεμπφερόλης, ανάλογα με τη διαφορετική τοποθεσία καλλιέργειας της Νότιας Φινλανδίας (Anttonen et al., 2006). Η σημασία της τοποθεσίας και των αντίστοιχων συνθηκών επιβεβαιώνεται και στην έρευνα των Crespo et al., όπου η καλλιέργεια σε υψηλότερο υψόμετρο οδήγησε σε υψηλότερες αποδόσεις παραγωγής φρούτων, όμως σε φρούτα με χαρακτηριστικά χαμηλότερης ποιότητας (Crespo et al., 2010).

Συμπερασματικά, η παραπάνω ανασκόπηση αποσκοπούσε στη διερεύνηση των παραγόντων που αφορούν τη καλλιέργεια, και πιο συγκεκριμένα τις επιλογές του παραγωγού που επηρεάζουν το καλλιεργούμενο προϊόν, ενώ σε επόμενες παραγράφους αναλύεται η μετασυλλεκτική διαχείριση του φρούτου. Συνοψίζοντας, τροποποιήσεις στη μέθοδο, τη περίοδο και το τόπο καλλιέργειας μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της διατροφικής αξίας και της ποιότητας της φράουλας. Μέχρι τώρα καθίσταται αντιληπτό ότι η επιλογή της ποικιλίας είναι αυτή που καθορίζει στο μέγιστο βαθμό τις αναλογίες των συστατικών, αφού έχει αποδειχθεί ότι η ποικιλία και γενικότερα η

γενετική προέλευση είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που επηρεάζει τη χημική σύσταση. Έπειτα, μπορεί να επέλθει τροποποίηση της σύστασης μέσω των υπόλοιπων παραγόντων, αρχικά των εδαφικών και περιβαλλοντικών παραγόντων, της χρήσης λιπάσματος, η οποία προτείνεται να είναι η μικρότερη δυνατή, και της ρύθμισης της ημερομηνίας εμφύτευσης των σπόρων, ανάλογα με την επιθυμητή ηλιοφάνεια και θερμοκρασία, που δύναται να αυξήσουν ή να μειώσουν τη συνολική ποσότητα φαινολικών ουσιών και αντιοξειδωτικής δραστηρότητας, αλλά και των σακχάρων. Ο έλεγχος της καλλιέργειας γίνεται ευκολότερα εντός θερμοκηπίου, του οποίου η χρήση συνίσταται. Όμως, στη περίπτωση της ανοιχτής καλλιέργειας, αναμφίβολα σημαντική θεωρείται η χρήση των πλαστικών επιστρωμάτων, με ιδιαίτερη σημασία στο χρώμα τους.

**Πίνακας 7:** Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και οι διαφορές που παρατηρούνται ανά τις ποικιλίες και ανά τις ημερομηνίες συγκομιδής (Pedrozo et al., 2022)

Γονότυπος	a*	Χρώμα	Απόχρωση	Σκληρότητα	Διαλυτά στερεά	Τιτλοδ. οξύτητα
Συγκομιδή τον Αύγουστο						
INIA Agata	36,0	43,4	33,9	4,8	8,9	0,54
INIA Yrupe	33,8	40,1	32,4	5,0	7,3	0,43
Marisol	38,3	45,6	32,8	5,4	9,6	0,42
Sabrina	39,7	46,6	31,6	6,5	8,6	0,56
T17.4	36,9	43,3	31,7	4,0	6,9	0,39
U20.4	36,7	43,1	31,6	7,0	7,4	0,39
Συγκομιδή τον Οκτώβρη						
INIA Agata	34,0	39,9	31,6	4,2	5,8	0,62
INIA Yrupe	35,3	43,7	36,2	4,9	5,5	0,52
Marisol	37,0	43,0	30,7	6,7	7,9	0,53
Sabrina	37,4	42,9	29,2	5,3	8,7	0,59
T17.4	38,1	47,0	35,8	5,5	5,3	0,50
U20.4	36,8	45,6	36,1	4,2	5,7	0,51

Γονότυπος	Ολικές Ανθοκυανίνες	Ολικά Φαινολικά	Ασκορβικό οξύ	ORAC	DPPH
Συγκομιδή τον Αύγουστο					
INIA Agata	27,2	179,2	76,5	1770,6	1766,2
INIA Yrupe	17,8	125,2	49,6	1882,8	1441,9
Marisol	12,9	111,6	47,1	1615,3	1471,0



Sabrina	22,1	158,0	52,3	1967,7	2033,3
T17.4	24,2	138,7	45,7	1167,6	1600,7
U20.4	30,0	145,3	51,8	1626,6	1384,1
Συγκομιδή των Οκτώβρη					
INIA Agata	17,8	149,6	54,0	2996,1	1924,4
INIA Yrupe	25,2	148,6	51,1	2175,6	1810,8
Marisol	18,1	66,6	55,5	1879,1	2111,0
Sabrina	31,0	240,1	59,2	2877,0	1719,7
T17.4	20,9	122,6	45,2	2057,1	1367,3
U20.4	15,8	48,4	56,5	1401,0	2286,4

### 3.5 Τρόπος και συνθήκες αποθήκευσης

Η θερμοκρασία συντήρησης και αποθήκευσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη σταθερότητα των αντιοξειδωτικών φαινολικής προέλευσης και μη, μετά τη συγκομιδή. Όσον αφορά τα αντιοξειδωτικά φαινολικής προέλευσης, έχει παρατηρηθεί ότι τα φλαβονοειδή είναι σημαντικά περισσότερα μετά την αποθήκευση, λόγω των πολύπλοκων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη μετα-καλλιεργητική περίοδο. Οι αντιδράσεις αυτές είναι γνωστές ως «μετα-καλλιεργητικός φαινολικός μεταβολισμός» και ευνοούν το σχηματισμό ενώσεων με ενισχυμένη αντιοξειδωτική δραστηριότητα. Έτσι, η αντιοξειδωτική δραστηριότητα μπορεί να αυξηθεί (Tulipani et al., 2010) ή να παραμείνει σταθερή κατά την αποθήκευση (Piljac & Šamec, 2011), κάτι που επιτυγχάνεται με αυξημένη θερμοκρασία (Jin et al., 2011) και επέκταση της διάρκειας αποθήκευσης (Ayala et al., 2004). Στα πλαίσια έρευνας έχει παρατηρηθεί υψηλότερη αντιοξειδωτική δραστηριότητα σε φράουλες που διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία αποθήκευσης 10°C, από ότι σε 0,5°C, γεγονός που επιβεβαιώνει τον παραπάνω ισχυρισμό (Jin et al., 2011). Σε άλλη μελέτη της πορείας των αντιοξειδωτικών κατά την αποθήκευση, αποθηκεύτηκαν φράουλες και άλλα φρούτα για 6 ημέρες στους 5°C και δε βρέθηκαν απώλειες στα φαινολικά συστατικά, ενώ η εξωτερική εμφάνιση είχε ήδη ξεκινήσει να υποβαθμίζεται (Gil et al., 2006).

Αντιθέτως, τα αντιοξειδωτικά μη φαινολικής προέλευσης όπως η βιταμίνη C ευνοούνται από χαμηλές θερμοκρασίες. Πιο ειδικά, έχει αναδειχθεί πειραματικώς ότι φρέσκα φρούτα διαθέτουν 23% περισσότερη βιταμίνη C από κατεψυγμένα στους -20°C, 47% περισσότερη βιταμίνη C από φρούτα διατηρημένα υπό ψύξη στους +1°C και 14 φορές περισσότερη από φρούτα αποθηκευμένα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος +20°C (Gündüz, 2016). Καθίσταται λοιπόν αντιληπτό ότι κάθε ένωση επηρεάζεται με ξεχωριστό τρόπο από τις συνθήκες αποθήκευσης, αφού η παραμονή και αύξηση των ανθοκυανινών ευνοείται από μεγαλύτερες θερμοκρασίες, ενώ η παραμονή της βιταμίνης C ευνοείται από χαμηλότερες.

### 3.6 Βιομηχανική επεξεργασία

Η βιομηχανική επεξεργασία οδηγεί σε μειωμένη περιεκτικότητα αντιοξειδωτικών ουσιών στα επεξεργασμένα προϊόντα σε σχέση με τα φρέσκα φρούτα. Οι φράουλες ευρίσκονται στο εμπόριο σε διαφορετικές επεξεργασμένες μορφές, όπως σε μορφή χυμού, νέκταρ, πουρέ, μαρμελάδων, ζελέ ή σε κατεψυγμένη μορφή. Ως επέκταση, εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα της φράουλας κατά τη διάρκεια όλων των εποχών, ενώ ταυτόχρονα καλύπτονται όλες οι καταναλωτικές ανάγκες και προτιμήσεις. Μια από τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμοζόμενες επεξεργασίες για τη παραγωγή των επεξεργασμένων προϊόντων είναι η επίδραση της θερμότητας, η οποία ενέχει τις σημαντικότερες αρνητικές επιπτώσεις και μπορεί να συμβάλλει σε σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας. Όμως φυσικά, οποιαδήποτε βιομηχανική επεξεργασία συσχετίζεται με αναπόφευκτη απώλεια βιοδραστικών ενώσεων, σε μικρό ή μεγαλύτερο βαθμό. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η προσπάθεια ελέγχου, περιορισμού ή και αποφυγής συγκεκριμένων διαδικασιών επεξεργασίας που επιδρούν αρνητικά στη ποιότητα και θρεπτικότητα των φρούτων (Giampieri et al., 2012).

Ενδιαφέρον εμφανίζει η διερεύνηση της επίδρασης κάθε ξεχωριστής επεξεργασίας στη σύσταση. Σε έρευνα μελέτης κύριων επεξεργασιών που εφαρμόζονται στα πλαίσια της βιομηχανικής παραγωγής, η κατάψυξη έχει αναδειχθεί προτεινόμενη. Συγκεκριμένα, μετά από σύγκριση φραουλών όμοια καλλιεργημένων, αναδεικνύεται υψηλότερη περιεκτικότητα πολυφαινολών και ασκορβικού οξέος σε κατεψυγμένες φράουλες από ότι σε φράουλες που έχουν υποστεί ξήρανση με κατάψυξη, αλλά και ειδικά ξήρανση με χρήση θερμού αέρα. Επομένως, οι επεξεργασίες κατατάσσονται από την πιο ήπια μέχρι τη πιο έντονη και καταστροφική επεξεργασία, με ηπιότερη την κατάψυξη, αμέσως εντονότερη την θέρμανση με κατάψυξη, και τελευταία και πιο καταστροφική τη ξήρανση με χρήση θερμού αέρα. Οι θερμοκρασίες που εφαρμόζονται κατά τη διαδικασία της ξήρανσης με χρήση θερμού αέρα είναι εξαιρετικά υψηλές και αποτελούν τον αιτιολογικό παράγοντα της οξειδωσης, αποσύνθεσης και καταστροφής μικροθρεπτικών συστατικών (Asami et al., 2003).

Παράλληλα, ενδιαφέρον εμφανίζει η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μεθόδων ξήρανσης σε 2 διαφορετικές ποικιλίες φράουλας, και συγκεκριμένα της ξήρανσης με κατάψυξη (FD), της ξήρανσης υπό κενό (VD), της ξήρανσης υπό κενό με χρήση μικροκυμάτων (VMD) σε διαφορετικά Watt, και της ξήρανσης με συναγωγή (CV). Η έρευνα ανέδειξε ως πιο αποτελεσματική στη διατήρηση των συνολικών αντιοξειδωτικών ουσιών, του ασκορβικού οξέος και του χρώματος, τη ξήρανση υπό κενό με χρήση μικροκυμάτων στα χαμηλότερα Watt. Επίσης έδειξε τη μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα των φραουλών που είχαν υποστεί ξήρανση με κατάψυξη, επιβεβαιώνοντας τον παραπάνω ισχυρισμό όσον αφορά τη καλή ποιότητα και θρεπτικότητα τέτοιων προϊόντων (Wojdyło et al., 2009).

Συγκεκριμένες βιομηχανικές δραστηριότητες που γίνονται με σκοπό τη παραγωγή διάφορων προϊόντων φράουλας, όπως για παράδειγμα χυμών, πολτών, ακόμα και κρασιού, έχουν συσχετιστεί με απώλεια ασκορβικού οξέος και πολυφαινολών, καθώς και μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας. Για παράδειγμα, σε έρευνα αξιολόγησης της θρεπτικής αξίας κονσερβοποιημένων προϊόντων και μαρμελάδων φραουλών που καλλιεργήθηκαν στο Oregon, βρέθηκε απώλεια ανθοκυανινών και ολικών φαινολικών συστατικών (Ngo et al., 2007). Γενικότερα, κρίσιμοι παράγοντες που οδηγούν σε θρεπτική υποβάθμιση είναι η μη ενζυματική επεξεργασία του πουρέ, η παστερίωση σε

μπουκάλι, έναντι της πρωτοποριακής και προτεινόμενης στιγμιαίας παστερίωσης, η ζύμωση, ο χρόνος αποθήκευσης και η θερμοκρασία σε οποιοδήποτε στάδιο επεξεργασίας ή αποθήκευσης. Ως επέκταση, με σκοπό τη μέγιστη διατήρηση των βιοδραστικών ενώσεων κρίνεται επιτακτικός ο έλεγχος των κρίσιμων σταδίων επεξεργασίας. Φυσικά τα παραπάνω ισχύουν και για την επεξεργασία άλλων φρούτων πέραν των φραουλών (Klopotek et al., 2005)(Hartman et al., 2008).

Συνεπώς, επεξεργασμένες μορφές φρούτων και διαφορετικά είδη εμπορικών προϊόντων προσφέρουν εναλλακτικές πηγές κάλυψης των αναγκών για το συγκεκριμένο φρούτο, ενώ ταυτόχρονα το καθιστούν διαθέσιμο σε όλες τις περιόδους του χρόνου ή και σε περιοχές, που δεν ευνοείται η καλλιέργειά του. Οι επεξεργασίες πρέπει να ελέγχονται αυστηρά έτσι ώστε να μην υποβαθμίζεται σημαντικά η ποιότητα, και ειδικά αυτές που περιλαμβάνουν επίδραση θερμότητας. Τέλος, αποδεικνύεται, ότι η καλύτερη μορφή διατήρησης και παροχής της φράουλας και πιθανότητα όλων των φρούτων, για τα μέγιστα διατροφικά οφέλη, είναι η κατεψυγμένη, εφόσον και όταν η φρέσκια δεν είναι διαθέσιμη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 *Ο παράγοντας της ποικιλίας*

Η ποικιλία και ο γονότυπος αποτελούν τον βασικότερο παράγοντα που καθορίζει τη σύσταση της φράουλας, αλλά και κατά πόσον αυτή μπορεί να διαφοροποιηθεί μέσω διαφορετικών επεμβάσεων στις συνθήκες, τις καλλιεργητικές πρακτικές και γενικότερα τους παράγοντες που αναφέρονται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η εμπορική φράουλα *Fragaria × ananassa* Duch. αποτελεί έναν συγκεκριμένο οκταπλοειδή γονότυπο, και οι διαφοροποιήσεις στην έκφραση συγκεκριμένων γονιδίων οδηγούν στη δημιουργία διαφορετικών ποικιλιών. Υπάρχει τεράστιο πλήθος ποικιλιών και μία από αυτές είναι η Marisol, που μελετάται στη παρούσα εργασία.

Ορισμένες ποικιλίες έχουν χαρακτηριστικά πιο σταθερά και ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αναλυτικότερα, επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό από τις εξωτερικές συνθήκες στις οποίες εκτίθενται, δηλαδή ανά τις διαφορετικές περιόδους καλλιέργειας και συγκομιδής δεν παρουσιάζουν σημαντική μεταβολή στη σύσταση. Αυτές οι ποικιλίες εμφανίζουν ενδιαφέρον στα πλαίσια του εμπορίου, αφού δεν παρουσιάζουν διακυμάνσεις στη ποιότητα, αλλά η θρεπτικότητα και η οργανοληπτική ποιότητα είναι ίδια τόσο κατά τους καλοκαιρινούς όσο και κατά τους χειμερινούς μήνες. Άλλωστε, είναι ξεκάθαρο ότι η σταθερότητα του προϊόντος είναι από τις κυριότερες παραμέτρους της ποιότητας. Επομένως, η σταθερότητα των χαρακτηριστικών αποτελεί βασική παράμετρο επιλογής ποικιλίας από τους παραγωγούς στα πλαίσια της καλλιέργειας, και από τους ερευνητές στα πλαίσια των προγραμμάτων διασταυρώσεων (breeding programs). Αναφορικά με τη ποικιλία Marisol που διερευνάται στη παρούσα εργασία, αναφέρεται από τους Pedrozó et al. ότι δεν αποτελεί ποικιλία σταθερή ως προς τα χαρακτηριστικά της.

Οι διαφορετικές ποικιλίες δεν εμφανίζουν τεράστιες διαφορές μεταξύ τους, ωστόσο κάθε ποικιλία χαρακτηρίζεται από κάποια διακριτά επιθυμητά χαρακτηριστικά, ο εντοπισμός των οποίων συμβάλλει σε πιο επιτυχημένα προγράμματα διασταυρώσεων και παραγωγή φυτών με επιθυμητά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, έχει αναδειχθεί η αύξηση των αντιοξειδωτικών μέσω προγραμμάτων διασταυρώσεων, όπως φλαβονοειδών ή φαινολικών οξέων. Παράλληλα, τα προγράμματα αυτά συμβάλλουν σε αύξηση της ανθεκτικότητας του φρούτου σε ασθένειες και εξωτερικές συνθήκες, οδηγώντας ως εκ τούτου σε επέκταση του προσδόκιμου ζωής και παραμονής του τροφίμου στο 'ράφι', λεγόμενο και ως 'shelf life', αλλά και σε ανθεκτικότητα κατά τη παραμονή του στο χωράφι (Scalzo et al., 2005a). Έρευνες μεταξύ ποικιλιών και μελέτη των χαρακτηριστικών της κάθε ποικιλίας έχει πραγματοποιηθεί αλλά και είναι ακόμα σε εξέλιξη.

### 4.1 Διαφοροποιήσεις μεταξύ ποικιλιών

Οι ποικιλίες διαφέρουν μεταξύ τους σε πολλά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα στη περιεκτικότητα αντιοξειδωτικών, στην ανθεκτικότητα σε εξωτερικούς παράγοντες και στην απόδοση παραγωγής. Αρχικά, αναφορικά με την αντιοξειδωτική δραστηριότητα, έχει επιβεβαιωθεί υψηλότερη αντιοξειδωτική ισχύς συγκεκριμένων

ποικιλιών έναντι άλλων. Οι Schöppllein et al. μεταξύ 12 ποικιλιών ξεχώρισαν τις ποικιλίες ‘Andona’, ‘Cirona’ και ‘Eslanta’ για την υψηλότερη αντιοξειδωτική τους ισχύ (Schöppllein et al., 2000), ενώ οι Aaby et al. μεταξύ 27 ποικιλιών ξεχώρισαν τη ποικιλία ‘Rondo’ για τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες και τη ποικιλία ‘Marlate’ για τη μικρότερη περιεκτικότητα (Aaby et al., 2012). Επιπρόσθετα, έχει επιβεβαιωθεί πειραματικώς η μεγαλύτερη ποσότητα φυτοχημικών συστατικών όπως φαινολικών και ανθοκυανινών, σε γονοτύπους άγριας φράουλας από ότι καλλιεργούμενες (Tsao et al., 2002).

Όσον αφορά την ανθεκτικότητα σε εξωτερικούς παράγοντες, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ανθεκτικότητα σε παράσιτα. Έρευνα των Pérez-Guerrero et al. έδειξε το διαφορετικό βαθμό μόλυνσης και ευαισθησίας στο παράσιτο αυτό μεταξύ 16 ποικιλιών φράουλας, εκ των οποίων ανέδειξαν τη ποικιλία Calderon ως πιο ευαίσθητη και την Petaluma ως πιο ανθεκτική. Σε άλλες έρευνες έχει επίσης βρεθεί συσχετισμός της επιμόλυνσης με τη σκληρότητα, τη δύναμη διείδυσης, το μέγεθος του φρούτου, το pH και τα Brix (Pérez-Guerrero et al., 2022).

Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι κάθε ποικιλία επηρεάζεται με διαφορετικό τρόπο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το τρόπο καλλιέργειας. Σε έρευνα της απόδοσης και παραγωγικότητας διαφορετικών ποικιλιών στη Βραζιλία, κάθε ποικιλία εμφάνισε διαφορετική απόδοση παραγωγής σε συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες, υποδεικνύοντας τη διαφοροποίηση απαίτησης κρύου ανά τις ποικιλίες (Antunes et al., 2010).

## **4.2 Η ποικιλία Marisol**

Σε συγκριτική μελέτη μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών εκ των οποίων και η Marisol, οι Pedrozo et al. αξιολόγησαν και τον παράγοντα της ημερομηνίας συγκομιδής. Στον πίνακα 7 φαίνεται η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών του φρούτου ανάλογα με τη ποικιλία και την ημερομηνία συγκομιδής, η οποία είναι στατιστικώς σημαντική στα περισσότερα. Έτσι, επιβεβαιώνεται η σημασία των δύο αυτών παραγόντων, όπως έχει αναλυθεί και στο αντίστοιχο κεφάλαιο (Pedrozo et al., 2022).

Τα πειραματικά αποτελέσματα των Pedrozo et al. (πίνακας 7) οδηγούν σε συμπεράσματα για τη σύσταση και τα κύρια χαρακτηριστικά της ποικιλίας Marisol. Αρχικά, μεγάλες μετρήσεις εμφανίζει για τη κόκκινη παραμέτρο του χρώματος ( $a^*$ ) και για τη σκληρότητα, και μέτριες προς μεγάλες τιμές για τα διαλυτά στερεά. Τις χαμηλότερες μετρήσεις εμφανίζει για τις περιεκτικότητες των ανθοκυανινών και των φαινολικών συστατικών, ενώ σχετικά μέτριες για το ασκροβικό οξύ, και έτσι αιτιολογούνται οι μικρές προς μέτριες τιμές στην αντιοξειδωτική δραστηριότητα. Σχετικά με τις πτητικές ενώσεις, η Marisol ξεχώρισε τον Αύγουστο, παρουσιάζοντας ένα ξεχωριστό μοτίβο αρωματικών συστατικών, με μεγαλύτερη περιεκτικότητα τερπενίων (43%), έπειτα εστέρων (32%), και τέλος αλδεϋδων (23%), ενώ στις περισσότερες ποικιλίες κυριαρχούσαν οι εστέρες και οι αλδεϋδες. Τέλος, κατά την οργανοληπτική ανάλυση η Marisol εμφάνισε μεγαλύτερο σκορ για τη παράμετρο Τυπικού Flavor (Typical strawberry Flavor) από τους υπόλοιπους γονοτύπους, και στις

δύο ημερομηνίες συγκομιδής, ωστόσο δε παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στη Τυπική Οσμή (Typical strawberry Odor). Αναφορικά με τη γλυκύτητα και την οξύτητα, η Marisol ξεχώρισε ως πιο γλυκιά ενώ εμφάνισε τη χαμηλότερη οξύτητα, με αυτά να ισχύουν και στις δύο συγκομιδές.

Ωστόσο, σε έρευνα Pérez-Guerrero et al. με 16 διαφορετικές ποικιλίες, η Marisol είχε τις μικρότερες τιμές σχεδόν σε όλα τα χαρακτηριστικά, ειδικά στη σκληρότητα, στο περιεχόμενο σακχάρων, στα φαινολικά συστατικά, και στα φλαβονοειδή (Pérez-Guerrero et al., 2022). Επομένως, περαιτέρω διερεύνηση των χαρακτηριστικών της και γενικότερα των κάθε ξεχωριστών ποικιλιών κρίνεται επιτακτική. Όπως εξηγείται όμως παρακάτω, η Marisol δεν διακρίνεται από σταθερότητα των χαρακτηριστικών της, και έτσι το παραπάνω ενδεχομένως αιτιολογείται.

Παρατηρώντας λοιπόν τα αποτελέσματα των Pedrozo et al. (πίνακας 7) εξάγεται το συμπέρασμα ότι η Marisol δεν αποτελεί ποικιλία με σταθερά χαρακτηριστικά, ανεπηρέαστα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αντιθέτως, τα χαρακτηριστικά της και η θρεπτική σύσταση φαίνεται να μεταβάλλονται σημαντικά ανά τις διαφορετικές καλλιεργητικές περιόδους. Για παράδειγμα, τα ολικά σάκχαρα φαίνεται να μειώνονται κατά το 70% από τον Αύγουστο προς τον Οκτώβρη, ωστόσο συνεχίζουν να παραμένουν υψηλά, συγκρινόμενα με των υπόλοιπων ποικιλιών. Επίσης, η σκληρότητα κρίθηκε μετρίως σταθερή, αφού μεταβλήθηκε κατά 24% (Pedrozo et al., 2022).

Συνοψίζοντας το χαρακτηρισμό της Marisol, αποτελεί ποικιλία με ιδιαίτερα χαρακτηριστική τη χαμηλή περιεκτικότητα σε φαινολικά συστατικά, και ειδικά σε ανθοκυανίνη, ενώ έχει μέτρια συγκέντρωση βιταμίνης C, τα οποία αιτιολογούν τη χαμηλή αντιοξειδωτική δραστηριότητα. Χαρακτηρίζεται από υψηλή σκληρότητα και υψηλή περιεκτικότητα διαλυτών στερεών, που όμως μεταβάλλονται ανάλογα με τη περίοδο καλλιέργειας, δηλαδή μπορούν να βρεθούν και αρκετά χαμηλά. Έχει έντονο κόκκινο χρώμα και μοναδικό συνδυασμό αρωματικών ενώσεων, παράμετροι που συμβάλλουν στην αποδοχή του προϊόντος από τον καταναλωτή. Τέλος, έχει χαμηλή οξύτητα με αποτέλεσμα να διακρίνεται οργανοληπτικά για τη γλυκύτητά της.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 *Συνεισφορά της φράουλας στην υγεία*

Οι βιολογικές δράσεις και τα οφέλη της φράουλας στην ανθρώπινη υγεία οφείλονται στη πλούσια σύνθεση και θρεπτική της αξία. Τα συστατικά που συνεισφέρουν στο μεγαλύτερο βαθμό είναι τα φλαβονοειδή και γενικότερα κάθε ουσία με αντιοξειδωτική δράση. Κύριες και πιο διαδεδομένες ιδιότητες αποτελούν η προστασία από καρδιαγγειακές παθήσεις και η μείωση του κινδύνου πρόκλησης καρκίνου.

Επιπρόσθετα, η κατανάλωση φράουλας συνεισφέρει στη προστασία του δέρματος από επικίνδυνες συνθήκες. Χαρακτηριστικό επιβλαβή παράγοντα αποτελεί η υπεριώδης ακτινοβολία και συγκεκριμένα η UV-A η οποία ενέχει σημαντικές επιπτώσεις, όπως παραγωγή ελεύθερων ριζών. Αυτή τη παραγωγή μπλοκάρουν ή περιορίζουν οι πολυφαινόλες δρώντας αντιοξειδωτικώς. Επίσης, στις φράουλες αποδίδονται ιδιότητες βελτίωσης γαστρεντερικών παθήσεων, που οφείλονται στις βιοδραστικές ενώσεις και τις φυτικές ίνες. Πιο ειδικά, μπορούν να συμβάλλουν στην αποτροπή ή βελτίωση παθολογικών καταστάσεων του στομάχου, βλάβης του γαστρικού βλεννογόνου, αλλά και σχηματισμού έλκους. Παραλλήλως, οι περιεχόμενες φυτικές ίνες είναι σημαντικές για τη διατροφή των φιλικών εντερικών προβιοτικών βακτηρίων, τα οποία συνεισφέρουν στη βελτίωση της πεπτικής υγείας και τη πρόληψη ασθενειών (Καρβούνα, 2021), ενώ επίσης συμβάλλουν στη γρηγορότερη ικανοποίηση της πείνας και το αίσθημα κορεσμού, συμβάλλοντας ως επέκταση στην απώλεια βάρους και την αντιμετώπιση της παχυσαρκίας (Giampieri et al., 2012).

Φυσικά, αδιαμφισβήτητη αποτελεί η ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος λόγω των τεράστιων ποσοτήτων περιεχόμενης βιταμίνης C. Μάλιστα, όπως έχει αναφερθεί η φράουλα αποτελεί μια από τις βασικότερες πηγές βιταμίνης C, με μόλις 100g φράουλας να καλύπτουν σχεδόν το 100% της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης (Καρβούνα, 2021). Ταυτόχρονα, γενικότερα στα φρούτα και έτσι και στη φράουλα, αποδίδονται ιδιότητες βελτίωσης παθολογικών καταστάσεων του μεταβολισμού, για παράδειγμα ελέγχου της υπεργλυκαιμίας και επομένως του σακχαρώδους διαβήτη τύπου 2, όπου σχετίζονται άμεσα. Ο τρόπος δράσης αποτελεί επιβράδυνση της πέψης της γλυκόζης λόγω της περιεκτικότητας σε φρουκτόζη και φυτικές ίνες, με συνέπεια τη βραδεία απελευθέρωση της γλυκόζης στο αίμα και τη σταδιακή παραγωγή μικρών και ελεγχόμενων ποσοτήτων ινσουλίνης (Edirisinghe et al., 2011). Τέλος, περιορισμένος αριθμός ερευνών έχει διεξαχθεί μελετώντας τη συνεισφορά των φραουλών στην υγεία του νευρικού συστήματος, μέσω της αντιστροφής νευροεκφυλιστικών διαταραχών σχετιζόμενων με την ηλικία, που οφείλονται κατά κύριο λόγο στο οξειδωτικό στρες, ωστόσο κρίνεται αναγκαία η διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας (Basu et al., 2014).

Η παραπάνω σύνοψη της συμβολής της φράουλας στην ανθρώπινη υγεία έχει διαπιστωθεί μέσα από διεξαγωγή ερευνών διαφορετικού χαρακτήρα και τρόπου εξαγωγής συμπεράσματος. Συγκεκριμένα, οι μελέτες αποτελούν *in vitro* παρατήρηση κάποιας αντίδρασης, χωρίς να συσχετίζεται απαραίτητα με τις αντιδράσεις που θα παρατηρούνταν εντός ενός έμβριου όντος, *in vivo* μελέτη σε ζώα, και τέλος *in vivo* μελέτη στον ανθρώπινο οργανισμό μέσα από επιδημιολογικές και κλινικές μελέτες (Giampieri et al., 2012).

Η συνεισφορά στην υγεία είναι πολυπαραγοντική και αλυσιδωτή, δηλαδή βελτιώνοντας ένα προβληματικό παράγοντα επέρχεται βελτίωση και άλλων, εξαρτώμενων από αυτόν. Ειδικότερα, τα κύρια ευεργετικά αποτελέσματα που αποδίδονται στη κατανάλωση φράουλας με μεγαλύτερη σιγουριά λόγω του ικανοποιητικότερου αριθμού ερευνών, αποδεικτικών στοιχείων και πιο βάσιμων συμπερασμάτων, αποτελεί η αντιμετώπιση ή βελτίωση καρδιαγγειακών παθήσεων όπως η υπέρταση, καθώς και συγκεκριμένων τύπων καρκίνου. Σημειώνεται ότι βασικό αιτιολογικό παράγοντα των ασθενειών καρδιαγγειακής φύσεως αποτελούν οι διαταραχές φλεγμονής αλλά και οι καταστάσεις οξειδωτικού στρες, ενώ η εμφάνιση καρκίνου οφείλεται κυρίως στο δεύτερο. Επόμενη και αρκετά διαδεδομένη είναι η βελτίωση διατροφικών δυσλειτουργιών που λαμβάνουν χώρα μετά από ένα πιθανό γεύμα, και αυτές μπορεί να είναι η υπεργλυκαιμία ή η υπερλιπιδαιμία, και ως επέκταση η συνεισφορά στην αντιμετώπιση του διαβήτη τύπου 2 και της αθηροσκλήρωσης αντίστοιχα. Φυσικά, η υπερλιπιδαιμία συνεπάγεται αύξηση της φλεγμονής και του οξειδωτικού στρες, και συνεπώς η αντιμετώπισή της ευνοεί και τη διαχείριση καρδιαγγειακών διαταραχών. Περαιτέρω ερευνητικές μελέτες απαιτούνται για την αποσαφήνιση της συνεισφοράς σε νευροεκφυλιστικές ασθένειες, όπου μέχρι σήμερα έχει αναδειχθεί πιθανή αντιστροφή τέτοιων νόσων. Αυτές οι ευεργετικές δράσεις της κατανάλωσης φράουλας αποτελούν τις κύριες και περισσότερο μελετημένες, και αυτές θα αναπτυχθούν και θα αιτιολογηθούν με βάση αντίστοιχες επιδημιολογικές και κλινικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια (Giampieri et al., 2012) (Basu et al., 2014).

## 5.1 Υγεία του καρδιαγγειακού συστήματος

Ένας από τους προτεινόμενους μηχανισμούς της προστασίας της καρδιαγγειακής υγείας είναι η αποτροπή δημιουργίας θρόμβων. Συγκεκριμένα, η κουερσετίνη, η καεμπφερόλη, η κατεχίνη, και οι ανθοκυανίνες δρουν αναστέλλοντας τη συσσώρευση αιμοπεταλίων αλλά και τη σύνθεση της θρομβοξάνης, η οποία αποτελεί βασικό παράγοντα ενεργοποίησης και συγκόλλησης αιμοπεταλίων. Αυτά έχουν ως συνέπεια τη μειωμένη τάση σχηματισμού θρόμβων και τη μείωση κινδύνου εγκεφαλικού και καρδιακού επεισοδίου.

Παρά τη δυσκολία του να επιβεβαιωθεί με σιγουριά ο ρόλος και η επίδραση πολύ συγκεκριμένων τροφίμων στη διαχείριση ενός συγκεκριμένου νοσήματος, έχουν πραγματοποιηθεί ενδιαφέρουσες επιδημιολογικές μελέτες που υποδεικνύουν ξεκάθαρα την συνεισφορά των φραουλών σε διαταραχές διαφορετικού χαρακτήρα. Η συγκεκριμένη συνεισφορά στην υγεία του καρδιακού συστήματος έχει αποδειχθεί σε πολλές επιδημιολογικές έρευνες, είτε γενικά για τα φρούτα και τις θρεπτικές ουσίες τους, είτε συγκεκριμένα για τις φράουλες.

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε *in vivo* σε γυναίκες μελετώντας τη καρδιοπροστατευτική συνεισφορά των φρούτων, αποδείχθηκε ότι η αυξημένη πρόσληψη ανθοκυανίνης συσχετίζεται με μειωμένο κίνδυνο εμφράγματος του μυοκαρδίου (Cassidy et al., 2013). Επίσης, σε ευρήματα άλλης μελέτης βρέθηκε αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ συχνής κατανάλωσης φρούτων και λαχανικών και του



κινδύνου για οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου (Iqbal et al., 2008). Άλλες έρευνες αναφέρουν συσχετίσεις συγκεκριμένα μεταξύ κατανάλωσης μούρων και της καρδιαγγειακής υγείας, αναδεικνύοντας τη σημασία των περιεχόμενων φλαβονοειδών, και συγκεκριμένα ανθοκυανινών. Έπειτα από 14 χρόνια διαρκής παρακολούθησης των εθελοντών αποδείχθηκε ότι μεγαλύτερη κατανάλωση ανθοκυανινών που ανήκαν σε φράουλες και blueberries, δηλαδή περί του 16-22mg ανά ημέρα, οδήγησε σε 8% μείωση του κινδύνου για υπέρταση. Αντιθέτως, κατανάλωση μικρότερης ποσότητας περί των 5-7mg δεν οδήγησε σε όμοια αποτελέσματα (Cassidy et al., 2011).

Συγκεκριμένα για τις φράουλες, σε μελέτη κατά την οποία χορηγήθηκαν 500g φράουλας ημερησίως για ένα μήνα σε υγιείς εθελοντές, επιβεβαιώθηκε βελτίωση του προφίλ των λιπιδίων, και συγκεκριμένα μείωση των επιπέδων ολικής χοληστερόλης, LDL-χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων. Συνεπώς, αποδεικνύεται η ευνοϊκή επίδραση της βιταμίνης C και των ανθοκυανινών στο προφίλ των λιπιδίων στο πλάσμα του αίματος (Alvarez-Suarez et al., 2014). Γενικότερα, η συνεισφορά των θρεπτικών συστατικών στη καρδιακή υγεία των γυναικών φαίνεται να έχει απασχολήσει ιδιαίτερα (Giampieri et al., 2012). Σε έρευνα όπου συμμετείχαν υπέρβαρες γυναίκες στην εμμηνόπαυση (Iowa Women's Health Study), μετά από αδιάκοπη κατανάλωση φραουλών και έπειτα από διαρκή παρακολούθηση, βρέθηκε αντίθετη συσχέτιση μεταξύ κατανάλωσης φραουλών και θνησιμότητας από καρδιοαγγειακές διαταραχές. Πιο ειδικά, κατανάλωση 0,2mg ανθοκυανινών ανά ημέρα συνδέθηκε με μείωση του κινδύνου θνησιμότητας από καρδιοαγγειακές παθήσεις (Mink et al., 2007). Σε άλλη μελέτη που επίσης βασίστηκε σε υπέρβαρες γυναίκες στην εμμηνόπαυση, βρέθηκε μειωμένος κίνδυνος επεισοδίου όταν γίνεται κατανάλωση 2 μερίδων φραουλών την εβδομάδα. Άξια αναφοράς αποτελεί η εύρεση χαμηλότερων επιπέδων της πρωτεΐνης CRP (C-Reactive Protein), που αποτελεί σταθερό βιοδείκτη φλεγμονής. Ο βιοδείκτης αυτός αυξάνεται όταν υπάρχει φλεγμονή στο σώμα και αποτελεί βασικό αιτιολογικό παράγοντα καρδιακών παθήσεων. Σημειώνεται ότι μπορεί να εντοπιστεί με μια απλή εξέταση αίματος (Sesso et al., 2007). Η αναφορά αυτή επιβεβαιώνεται από άλλες έρευνες που έχουν αποδείξει αντίστροφο συσχετισμό μεταξύ της πρωτεΐνης CRP και της κατανάλωσης ανθοκυανινών (Chun et al., 2008).

Όλα τα παραπάνω επιδημιολογικά δεδομένα συνιστούν αντι-υπερτασικές και αντι-φλεγμονικές ιδιότητες της κατανάλωσης φραουλών. Οι ενώσεις που συνεισφέρουν στη καρδιοαγγειακή προστασία είναι κυρίως ενώσεις με αντιοξειδωτικό χαρακτήρα. Χαρακτηριστικές είναι η βιταμίνη C και οι πολυφαινόλες, με βασικότερες τις ανθοκυανίνες και ελλαγιτανίνες. Άλλωστε, το βασικότερο συμπέρασμα των ερευνών με θέμα τις φράουλες είναι η σημαντική αύξηση των συνολικών αντιοξειδωτικών εντός του πλάσματος του αίματος, έπειτα από έντονη ή παρατεταμένη κατανάλωση (Giampieri et al., 2012).

## 5.2 Προστασία έναντι του καρκίνου

Αμέσως επόμενη πιο διαδεδομένη είναι η συνεισφορά της φράουλας στον έλεγχο του καρκίνου. Αναφορικά με τον προτεινόμενο μηχανισμό, *in vitro* μελέτη έχει δείξει ότι εκχυλίσματα φράουλας ρυθμίζουν τη σηματοδότηση των καρκινικών κυττάρων,

αναστέλλουν το πολλαπλασιασμό τους, και προκαλούν απόπτωση κυτταρικού κύκλου και μείωση του όγκου, ενώ θεωρείται ότι οι ουσίες που είναι υπεύθυνες είναι οι ανθοκυανίνες και γενικότερα τα φλαβονοειδή (Zhang et al., 2008).

Μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην αποτελεσματικότητα των φραουλών και των μαύρων raspberries στη παρεμπόδιση του πολλαπλασιασμού καρκινικών κυττάρων *in vitro*, και μάλιστα αναδεικνύεται έντονα η δράση του ελλαγικού οξέος (Xue et al., 2001). Άλλες, εστιάζοντας στην *in vivo* μελέτη, επιβεβαιώνουν τη δυνατότητα της φράουλας να καθυστερεί την ανάπτυξη πειραματικά προκαλούμενων όγκων σε ζώα (Carlton et al., 2001). Οι δύο αυτοί τύποι ερευνών *in vitro* και *in vivo* σε ζώα αντίστοιχα, συμπληρώνονται με τις αποδείξεις άλλων ερευνών βασισμένων στον ανθρώπινο οργανισμό, που επιβεβαιώνουν τη συμβολή εκχυλισμάτων φράουλας στη προστασία έναντι της καρκινογένεσης. Σε έρευνα με δείγμα πληθυσμού των δύο εκατομμυρίων, έπειτα από διαρκή πενταετή παρακολούθηση, επιβεβαιώθηκε προστατευτική δράση έναντι του καρκινώματος του οισοφάγου σε άτομα στα οποία είχε επιβληθεί υψηλή κατανάλωση φρούτων της βοτανικής κατηγορίας των Rosaceae, συμπεριλαμβανομένου των φραουλών. Εν αντιθέσει, δεν παρατηρήθηκε κάτι αντίστοιχο στο δείγμα του πληθυσμού που προσλάμβανε μικρότερη ποσότητα των φρούτων (Freedman et al., 2007). Φυσικά, επιδημιολογικές παρατηρήσεις υποστηρίζουν ότι η αυξημένη κατανάλωση φρούτων και λαχανικών έντονων χρωμάτων συσχετίζεται με τη πρόληψη του καρκίνου (Siegel et al., 2010).

Η αντικαρκινική δράση των μούρων έχει προταθεί ότι οφείλεται στα διάφορα μικροθρεπτικά συστατικά και τις βιοδραστικές φυτοχημικές ενώσεις που περιέχουν τα έντονα χρωματισμένα φρούτα. Αρχικά, οι βιταμίνες συμπλεγμάτων A, B (με κυριότερο το φολικό οξύ), C και E, αλλά και οι πρόδρομες ουσίες των βιταμινών, όπως για παράδειγμα κάποια καροτενοειδή, προσφέρουν αντικαρκινική στήριξη λόγω της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας. Παράλληλα, σημαντική θεωρείται η συμβολή των μετάλλων, με κυριότερα το ασβέστιο και το σελήνιο, αλλά και των διαιτητικών ινών. Τέλος, μεγαλύτερη θεωρείται η συνεισφορά των φυτοχημικών συστατικών των μούρων, τα οποία είναι τα καροτενοειδή, οι φυτοστερόλες με χαρακτηριστικά παραδείγματα τη β-σιτοστερόλη και η στιγμαστερόλη, επίσης οι τριτερπενικοί εστέρες και τέλος οι πολυφαινόλες, στις οποίες αποδίδεται ιδιαίτερη σημασία (Duthie, 2007) (Han et al., 2005). Η ύπαρξη των πολυφαινόλων στο κάθε διαφορετικό είδος μούρου διαφοροποιείται ποιοτικά και ποσοτικά, δηλαδή εμφανίζεται διαφοροποίηση στη σύσταση των φλαβονοειδών, προανθοκυανιδίων, ελλαγιταννίων, γαλλοταννίων, φαινολικών οξέων, στιλβενοειδών, λιγνανών και τριτερπενοειδών (Seeram, 2008). Τα τελευταία χρόνια έχει αναδειχθεί η σημασία των φλαβονοειδών, με κυριότερες τις ανθοκυανίνες (Zhang et al., 2008), των ταννινών με κυριότερες τις ελλαγιταννίνες (Losso et al., 2004), και των προανθοκυανιδίων ή συμπυκνωμένων ταννινών (Schmidt et al., 2006), οι οποίες ανά τις πηγές, κατατάσσονται είτε στην ευρύτερη κατηγορία των ταννινών λόγω της ταννικής τους προέλευσης, είτε στη κατηγορία των φλαβανολών, δηλαδή των φλαβονοειδών, λόγω της δομής τους (Giampieri et al., 2012). Από τη κατηγορία των φυτοχημικών συστατικών, οι ελλαγιταννίνες φαίνεται να συνδέονται περισσότερο από κάθε άλλη ένωση με τις χημειοπροστατευτικές και αντικαρκινικές ιδιότητες των μούρων (Losso et al., 2004).

Επομένως, μέσα από τις μελέτες *in vitro* και *in vivo* αναδεικνύονται οι αντικαρκινικές ιδιότητες των παραπάνω ουσιών, ενώ έχουν διερευνηθεί και οι μηχανισμοί της αντικαρκινικής δράσης. Αυτές οι ουσίες δρουν συνεργιστικά μέσω μηχανισμών δράσης που λειτουργούν συμπληρωματικά και συνδυαστικά, προσφέροντας χημειοπροστατευτικές ιδιότητες και επιδρώντας με διαφορετικούς και σύνθετους τρόπους έναντι της καρκινογένεσης. Αρχικά, κρίνονται ικανές αναφορικά με τη μείωση και επιδιόρθωση της ζημιάς που έχουν υποστεί τα κύτταρα εξαιτίας του οξειδωτικού στρες και της φλεγμονής, ενώ ταυτόχρονα ρυθμίζουν τη δράση ενζύμων και παραγόντων φλεγμονής και σηματοδοτούν τις οδούς του πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων, της απόπτωσης και της ανάπτυξης όγκου (Seeram, 2008). Συνεπώς, ενεργοποιούνται τα αντιοξειδωτικά ένζυμα, εξουδετερώνονται οι ελεύθερες ρίζες οξυγόνου, ενισχύεται η αποκατάσταση βλαβών του γενετικού υλικού, περιορίζεται η οξειδωτική καταστροφή του και παρεμποδίζεται ο σχηματισμός καρκινικού DNA (Xue et al., 2001) (Stoner et al., 2008). Ταυτόχρονα, παρατηρείται επίδραση σε κυτταρικές διαδικασίες που συνδέονται με τη καρκινική εξέλιξη, παραδείγματος χάρη στη ρύθμιση του κυτταρικού πολλαπλασιασμού, στη διακυτταρική επικοινωνία (Seeram et al., 2006) (Boivin et al., 2007), και στην αγγειογένεση (Duthie, 2007). Ως επέκταση, αιτιολογούνται οι αντικαρκινικές ιδιότητες των μούρων και της φράουλας.

### 5.3 Μείωση του οξειδωτικού στρες

Η κατανάλωση φραουλών έχει διερευνηθεί ως προς την ικανότητα αύξησης της αντιοξειδωτικής ικανότητας του πλάσματος αίματος και ως επέκταση μείωσης του οξειδωτικού στρες. Το οξειδωτικό στρες αποτελεί μια ανισορροπία μεταξύ της δημιουργίας ελεύθερων ριζών και των αμυντικών αντιοξειδωτικών μηχανισμών, με το πρώτο να υπερισχύει. Αυτό οδηγεί σε αύξηση των οξειδωτικών προϊόντων και για αυτό ενοχοποιείται για παθογένεση του καρκίνου αλλά και καρδιαγγειακών προβλημάτων (Valko et al., 2007). Το οξειδωτικό στρες μπορεί να προκαλείται από γεύμα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά ή λόγω υπερλιπιδαιμικών ασθενών (Burton-Freeman et al., 2010), ασθενών με μεταβολικό σύνδρομο (Basu et al., 2010), αλλά και με τη μειωμένη αντιοξειδωτική ικανότητα στον ορό (Henning et al., 2010), επομένως όλα αυτά αποτελούν αιτιολογικούς παράγοντες του. Στοχευμένες έρευνες στον ανθρώπινο οργανισμό έχουν αποδείξει τη μείωση του οξειδωτικού στρες όπως και την αντιμετώπιση του αιτιολογικού του παράγοντα, δηλαδή της υπερλιπιδαιμίας.

Αναφορικά με τη δράση συγκεκριμένων συστατικών, κάποιες κλινικές μελέτες έχουν αποδείξει την ικανότητα φλαβονοειδών και ιδίως των ανθοκυανινών των μούρων να αποφέρουν αντιυπερλιπιδαιμικά αποτελέσματα. Παραδείγματος χάρη έχει αποδειχθεί η δράση των φλαβονοειδών στη μείωση της αθησκληρωτικής χοληστερόλης, καθώς και της LDL, της ολικής, αλλά και της αναλογίας ολικής προς HDL, μέσω χρήσης εκχυλισμάτων από cranberries (Lee et al., 2008). Κατά όμοιο τρόπο, έχει αναδειχθεί ότι η χρήση συμπληρωμάτων ανθοκυανινών μπορεί να οδηγεί σε βελτίωση των συγκεντρώσεων της LDL και HDL χοληστερόλης (Qin et al., 2009). Έτσι λοιπόν

προτείνεται ο ισχυρός θεραπευτικός ρόλος των φραουλών και γενικότερα των μούρων ως διαιτητικό αντιοξειδωτικό.

#### **5.4 Εξομάλυνση των «μεταγευματικών» καταστάσεων της υπεργλυκαιμίας και υπερλιπιδαιμίας**

Η αναφορά στα φαινόμενα της υπεργλυκαιμίας και της υπερλιπιδαιμίας υφίσταται μετά από τη κατανάλωση ενός γεύματος, και κάνοντας κατάχρηση του όρου «μεταγευματικό φαινόμενο», αποτελούν δύο βασικά και διαρκώς παρατηρούμενα «μεταγευματικά φαινόμενα». Αυτά τα φαινόμενα μπορούν να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία του ενδοθηλίου και αθηροσκλήρωση και αποτελούν πρώιμους αιτιολογικούς παράγοντες επιδείνωσης της καρδιαγγειακής υγείας, είτε συνδυαστικά είτε μεμονωμένα. Η διαχείρισή τους, λοιπόν, συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό στη καρδιαγγειακή προστασία (Basu et al., 2014).

Σχετικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί, οι οποίες μελετούν τη μεταβολή παραμέτρων μετά τη κατανάλωση γεύματος. Ειδικότερα, έχει αποδειχθεί αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας του πλάσματος του αίματος μετά το γεύμα, όταν το γεύμα περιείχε μούρα. Έτσι, συνιστάται η κατανάλωση γευμάτων πλούσια σε αντιοξειδωτικά, προκειμένου να αποφευχθούν μετέπειτα περίοδοι «μεταγευματικού» οξειδωτικού στρες (Prior et al., 2007). Επίσης, έχει φανεί μειωμένη απόκριση στη γλυκόζη σε μαρμελάδες φράουλα (Kurotobi et al., 2010), αλλά και μείωση της υπερλιπιδαιμίας και οξείδωσης των λιπιδίων του αίματος, έπειτα από κατανάλωση γεύματος πλούσιο σε λιπαρά (Burton-Freeman et al., 2010). Συνεπώς, επιβεβαιώνεται η αντιυπερλιπιδαιμική δράση των φραουλών, λόγω της βελτίωσης του «μεταγευματικού» προφίλ των λιπιδίων, ενώ επιβεβαιώνεται και η αντιυπεργλυκαιμική δράση, λόγω τη βελτίωσης του «μεταγευματικού» προφίλ της γλυκόζης. Αυτές οι ευνοϊκές επιδράσεις των φραουλών και γενικότερα των μούρων, αποτελούν απόδειξη του πιθανού ρόλου τους στο διαιτητικό έλεγχο της καρδιαγγειακής υγείας, και έτσι αιτιολογείται η σημασία της συμπερίληψής τους σε διαιτητικά μέτρα έναντι καρδιαγγειακών διαταραχών.

##### **5.4.1 Διαχείριση του διαβήτη τύπου 2 (υπεργλυκαιμία)**

Τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί η έρευνα όσον αφορά τη συνεισφορά της κατανάλωσης φράουλας στον έλεγχο της υπεργλυκαιμίας, που αποτελεί αιτιολογικό παράγοντα του διαβήτη τύπου 2. Συγκεκριμένα, έχει αναδειχθεί η αποτρεπτική δράση εκχυλισμάτων φράουλας έναντι της α-γλυκοσιδάσης, η οποία αποτελεί ένζυμο που υδρολύει ένα γλυκοζίτη, όπως κατά όμοιο τρόπο η μαλτάση υδρολύει τη μαλτόζη. Παράλληλα, αναδεικνύεται η μέτρια δράση έναντι της α-αμυλάσης, η οποία αποτελεί ένζυμο που βοηθάει στη μετατροπή του αμύλου σε ζάχαρη, και βρίσκεται για παράδειγμα στο σάλιο και το παγκρεατικό υγρό. Μάλιστα, οι Cherplick et al. αναφέρουν ότι η δυνατότητα επίδρασης της φράουλας στα παραπάνω ένζυμα συνδέεται με τη περιεκτικότητα των εκχυλισμάτων της σε πολυφαινολικές ουσίες (Da Silva et al., 2008) (Da Silva et al., 2010) (Cherplick et al., 2010).

#### 5.4.2 Διαχείριση της υπερχοληστερολαιμίας (υπερλιπιδαιμίας)

Η υπερχοληστερολαιμία προάγει την αύξηση του οξειδωτικού στρες και της φλεγμονής, που μπορούν να προκαλέσουν αθηροσκλήρωση, καρδιαγγειακές παθήσεις και καρκίνο (Stokes et al., 2002). Η διαχείριση λοιπόν της υπερχοληστερολαιμίας καθίσταται κρίσιμη και προϋποθέτει ύπαρξη φυτικών ινών, φυτοστερολών και πολυφαινόλων στα γεύματα που καταναλώνονται, δηλαδή συστατικά που περιέχονται και στις φράουλες. Η συνεργιστική δράση των συστατικών αυτών οδηγεί σε μείωση της ολικής και LDL-χοληστερόλης (Basu et al., 2010), και αύξηση της HDL-χοληστερόλης στα επιθυμητά επίπεδα (Erlund et al., 2008).

Το κάθε συστατικό συμβάλλει μοναδικά και ανεξάρτητα στην αντιμετώπιση της υπερχοληστερολαιμίας. Αρχικά, αναφορικά με τη σημασία των φυτικών ινών, μελέτη σχετικά με τις β-γλυκάνες βρώμης απέδειξε ότι μειώνουν την LDL-χοληστερόλη στον ορό (Wolever et al., 2010). Αξιοσημείωτη αποτελεί επίσης η μείωση της απορρόφησης της χοληστερόλης από το έντερο, όταν αυτή καταναλώνεται ταυτόχρονα με φυτοστερόλες. Μάλιστα, τις τελευταίες δεκαετίες προστίθενται φυτικές στερόλες ή στανόλες σε τρόφιμα με σκοπό να καταστούν λειτουργικά και να εμφανίζουν υποχοληστερολαιμική δράση. Έχει αποδειχθεί ότι ημερήσια πρόσληψη φυτοστερολών περί του 1,6-2mg μπορεί να μειώσει την απορρόφηση της χοληστερόλης κατά 30%, ενώ τα επίπεδα της LDL-χοληστερόλης στο πλάσμα κατά 8-10% (Marangoni et al., 2010). Τέλος, όσον αφορά τις πολυφαινόλες, έρευνα έδειξε ότι χορήγηση ανθοκυανινών προερχόμενων από μούρα οδηγεί σε βελτιωμένες συγκεντρώσεις της LDL- και HDL-χοληστερόλης (Qin et al., 2009). Ως επέκταση, αναδεικνύεται η αντιυπερλιπιδαιμική δράση των συστατικών της φράουλας.

#### 5.5 Υγεία του νευρικού συστήματος

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζουν οι μελέτες με θέμα την αντιστροφή νευροεκφυλιστικών νόσων που οφείλονται στο οξειδωτικό στρες και σχετίζονται με την ηλικία. Παλαιότερη έρευνα του USDA που πραγματοποιήθηκε σε ζωικά μοντέλα με διαταραχές μεταφοράς των νευρικών σημάτων και γνωστικές διαταραχές, με τα δύο αυτά είδη διαταραχών να οφείλονται στην ηλικία, παρατηρήθηκε ότι η μακροχρόνια χορήγηση εκχυλίσματος φράουλας προκάλεσε αντιστροφή των παραμέτρων που σχετίζονται με τις νευρολογικές διαταραχές (Joseph et al., 1998). Σε άλλη έρευνα, χορηγήθηκε προληπτική θεραπεία σε ζώα, 2 μήνες πρόωρα της έκθεσής τους σε ακτινοβολία. Σκοπό αποτελούσε η διερεύνηση της προστασίας των αστροναυτών από την έκθεση σε γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες κατά τις αποστολές τους σε άλλους πλανήτες. Πράγματι, αποδείχτηκε η προστατευτική δράση των συστατικών της φράουλας έναντι ζημιών προκαλούμενων από την ακτινοβολία (Rabin et al., 2005).

Μια σύνοψη των προτεινόμενων μηχανισμών στους οποίους οφείλονται οι νευροπροστατευτικές ιδιότητες των πολυφαινόλων, αποτελεί η μείωση του οξειδωτικού στρες και της φλεγμονής και η αύξηση της νευρωνικής σηματοδότησης, που οδηγούν σε ενίσχυση της νευρωνικής επικοινωνίας. Αυτοί οι μηχανισμοί έχουν

επίσης προταθεί για την ανατροπή σοβαρών ασθενειών νευρολογικής φύσεως όπως τις νόσους Alzheimer και Parkinson (Joseph et al., 2009). Εξαιρετικό ενδιαφέρον εμφανίζει μια μελέτη του πιθανού προστατευτικού ρόλου των ανθοκυανινών των μούρων έναντι νευροεκφυλιστικών διαταραχών. Ειδικότερα, οι Dreisittel et al. εξηγούν ότι οι ανθοκυανίνες αναστέλλουν τις οξειδωτικές δραστηριότητες της μονοαμινοξειδάσης. Οι μονοαμινοξειδάσες αποτελούν μιτοχονδριακά ένζυμα που καταλύουν την οξείδωση των μονοαμινών σε πολλούς ιστούς, συμπεριλαμβανομένου του εγκεφάλου. Αυτή η δράση των ανθοκυανινών ενδεχομένως οφείλεται στη συγγένειά τους με τα ένζυμα αυτά (Dreisittel et al., 2009). Ωστόσο, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση σε ασθενείς με νευροεκφυλιστικές ασθένειες, για εξαγωγή πιο αξιόπιστου συμπεράσματος.

## ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως εξηγήθηκε στο πρώτο και θεωρητικό μέρος, ο βασικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη θρεπτική σύσταση είναι ο γενετικός, δηλαδή η ποικιλία. Σε δεύτερη μοίρα επηρεάζουν οι εξωτερικοί παράγοντες, λόγω χάριν οι περιβαλλοντικές συνθήκες, ο τρόπος καλλιέργειας και η ημερομηνία συγκομιδής. Κρίνεται λοιπόν σκόπιμη η διερεύνηση του βαθμού διαφοροποίησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών διαφόρων ποικιλιών. Έτσι, στη παρούσα έρευνα εξετάζεται εργαστηριακά και αξιολογείται η ποικιλία Marisol, ενώ συγκρίνεται με άλλες ποικιλίες μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Στο δεύτερο και πειραματικό μέρος της εργασίας αναλύονται οι πειραματικές διαδικασίες και οι αντίστοιχες μεθοδολογίες. Στα πλαίσια του πειράματος, οι μετρήσεις που ελήφθησαν αφορούσαν φυσικοχημικές παραμέτρους, δηλαδή φυσικές όπως η εκτίμηση του χρώματος με χρήση χρωματομέτρου και η εκτίμηση της υφής με χρήση του Texture Analyzer, και χημικές όπως ο προσδιορισμός υγρασίας με χρήση του θερμοζυγού, ο προσδιορισμός της ενεργότητας νερού με χρήση της συσκευής μέτρησης aw της AquaLab, η εκτίμηση των διαλυτών στερεών με χρήση του διαθλασίμετρου και ο ογκομετρικός προσδιορισμός οξύτητας και βιταμίνης C. Επίσης, έγινε φασματοσκοπική ανάλυση με σκοπό τη ποιοτική εκτίμηση των ειδών ενώσεων που εντοπίζονται, και τέλος φασματοφωτομετρικές αναλύσεις, με σκοπό την αξιολόγηση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας και της περιεκτικότητας σε φαινολικές ουσίες.

Τα αποτελέσματα έπειτα συγκρίνονται με βιβλιογραφικά με σκοπό τη σύγκριση της ποικιλίας Marisol με άλλες ποικιλίες. Συγκεκριμένα, οι τιμές για τη κάθε παράμετρο της αναλύμενης ποικιλίας Marisol συγκρίνονται με βιβλιογραφικές τιμές άλλων ποικιλιών. Έτσι, διατυπώνεται ένα γενικότερο συμπέρασμα των βασικών χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης ποικιλίας, και κατά πόσον αυτά είναι τα προτιμητέα συγκριτικά με τις άλλες ποικιλίες της εμπορικής φράουλας. Στο τέλος γίνεται αναφορά στη μεταβολή της περιεκτικότητας των αντιοξειδωτικών των καρπών και των φύλλων και γίνεται συζήτηση κατά πόσον μπορεί να ισχύει μια συσχετιζόμενη μεταβολή μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, διερευνάται η περίπτωση συνεισφοράς θρεπτικών ουσιών από τα φύλλα προς τους καρπούς, αφού ως γνωστών ο ρόλος των φύλλων προς τους καρπούς είναι τροφοδοτικός. Τέλος, προτείνονται ιδέες για μελλοντική έρευνα με βάση οποιαδήποτε ανεπαρκές συμπέρασμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 *Μέθοδοι και υλικά*

### 6.1 Δείγματα

Η ποικιλία φράουλας που μελετήθηκε ήταν η 'Marisol'. Αναφορικά με τη καλλιέργεια, οι φράουλες καλλιεργήθηκαν εντός θερμοκηπίου με τη μέθοδο της υδροπονίας, κατά την οποία το χώμα καλλιέργειας απαρτίζεται από διάλυμα θρεπτικού υποστρώματος, με σκοπό την επαρκέστερη κάλυψη των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών και την βέλτιστη ανάπτυξη των καρπών. Η πυκνότητα αυτού του διαλύματος καθορίζεται από την επικρατούσα θερμοκρασία, συγκεκριμένα σε υψηλή θερμοκρασία το διάλυμα είναι αραιό ενώ σε χαμηλή θερμοκρασία το διάλυμα είναι πυκνό, με απώτερο σκοπό την επαρκή μεταφορά των θρεπτικών ουσιών.

Γενικότερα, η υδροπονία σαν μέθοδος δεν προαπαιτεί απολυμαντικά εδάφους, τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται στη καλλιέργεια φραουλών και είναι εξαιρετικά κοστοβόρα, ενώ αποτελούνται από ουσίες με υπολειμματική δράση. Το θετικό της μεθόδου καλλιέργειας όπως περιγράφεται και από τον παραγωγό, είναι η εύκολη περισυλλογή η οποία γίνεται σε όρθια στάση με γάντια, γιατί οι φράουλες είναι φυτεμένες σε ύψος, αφού απαιτείται βάθος του εδάφους. Ωστόσο, μεγάλο μειονέκτημα αποτελεί το αυξημένο κόστος καλλιέργειας λόγω της πιο αραιής εμφύτευσης, με αποτέλεσμα να απαιτούνται στρέμματα γης μεγαλύτερου μεγέθους, συγκριτικά με τη κλασσική καλλιέργεια. Όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η φράουλα εκβλαστάνει από τον οφθαλμό ανθοφορίας του άνθους με τα άσπρα μικρά φύλλα. Οι οφθαλμοί αυτοί δημιουργούνται σε συνθήκες κρύου, για παράδειγμα τους φθινοπωρινούς μήνες, και καρποφορούν τους χειμερινούς μήνες έως αρχή άνοιξης.



**Σχήμα 6:** Καλλιέργεια φραουλών εντός θερμοκηπίου με τη μέθοδο της υδροπονίας



Η παραλαβή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε από την εταιρία 'K&K GREEN FARMS Hydroponics strawberry', ενώ η συγκομιδή είχε γίνει μια μέρα πριν. Οι καρποί φράουλας παραδόθηκαν από τη προμηθευτή εντός καταλλήλων περιεκτών και αποθηκεύτηκαν στον πανεπιστημιακό χώρο, μέσα σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας και υγρασίας, έως την ολοκλήρωση των πειραμάτων. Η θερμοκρασία ρυθμίστηκε στους  $8\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , προσομοιάζοντας μια μέση θερμοκρασία διατήρησης της φράουλας σε οικιακό ψυγείο καταναλωτή, ενώ η υγρασία κυμάνθηκε στη περιοχή  $60\pm 2\%$ .

## 6.2 Μέτρηση χημικών παραμέτρων

### 6.2.1 Προσδιορισμός υγρασίας

Η υγρασία υπολογίστηκε με χρήση του θερμοζυγού Kern MLS 50-3, KERN & SOHN GmbH, Balingen, Germany. Αποτελεί συσκευή που χρησιμοποιεί λάμπα υπέρυθρων ακτίνων και η λειτουργία του βασίζεται στην αρχή της βαρυμετρικής μεθόδου.



#### Σχήμα 7: Θερμοζυγός

Σε κάθε σειρά μετρήσεων αξιολογήθηκαν 12 δείγματα από 12 διαφορετικές φράουλες. Βάρος δείγματος περί των 0,3 g τοποθετήθηκε στο αντίστοιχο τμήμα του οργάνου, όπου λάμπα αλογόνου προκαλεί ταχεία θέρμανση με αποτέλεσμα την εξάτμιση της υγρασίας. Όταν το βάρος του δείγματος παραμείνει σταθερό για κατάλληλο χρονικό διάστημα τότε ο ζυγός παρέχει αυτόματα το ποσοστό της υγρασίας. Ουσιαστικά, μετά την επίδραση θερμότητας και την ολοκλήρωση της ξήρανσης, η απώλεια υγρασίας προσδιορίζεται από τη διαφορά του αρχικού μείον του τελικού βάρους και εκφράζεται ποσοστιαία. Ο χρόνος που απαιτείται για μια μέτρηση είναι ανάλογος της ποσότητας της υγρασίας και επίσης εξαρτάται από την ευκολία απομάκρυνσης του ύδατος, αφού όσο λιγότερη η περιεχόμενη υγρασία και όσο πιο εύκολη η απομάκρυνσή της, τόσο πιο σύντομα θα απομακρυνθεί από το δείγμα. Επομένως, αποτελεί γρήγορη μέθοδο και αξίζει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία θέρμανσης δεν υπερβαίνει τους  $120^{\circ}\text{C}$  με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η αποφυγή αλλοιώσεων του δείγματος, ενώ είναι σημαντικό να ελέγχονται οι διαστάσεις του δείγματος και η απόστασή του από τη λάμπα.



**Σχήμα 8:** Λειτουργία θερμοζυγού

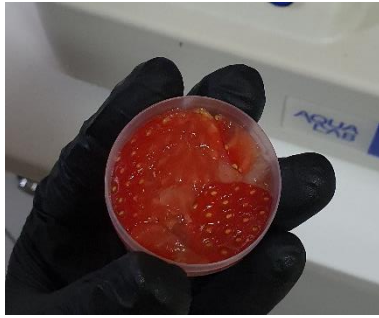
### 6.2.2 Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος (aw)

Η μέτρηση της ενεργότητας ύδατος έγινε με χρήση της συσκευής μέτρησης aw AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE, METERGrouP, Inc., Pullman, WA, USA. Ο προσδιορισμός της ενεργότητας ύδατος (aw) γίνεται με σκοπό τη ποσοτικοποίηση του μη δεσμευμένου νερού από τα μόρια του καρπού της φράουλας. Το μη δεσμευμένο νερό ονομάζεται αλλιώς διαθέσιμο, και αποτελεί μόνο ένα μέρος της συνολικής περιεχόμενης υγρασίας.



**Σχήμα 9:** Συσκευή μέτρησης aw

Σε κάθε σειρά πειραμάτων μετρήθηκαν 12 δείγματα. Σε τρυβλία τοποθετήθηκε τεμαχισμένο ψιλοκομμένο δείγμα της φράουλας, πιέζοντας το ελαφρά χωρίς να πολτοποιηθεί, με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται ολόκληρος ο πάτος του τρυβλίου χωρίς να υπάρχουν κενά. Το τρυβλίο εισάγεται προς μέτρηση και έπειτα από λίγη ώρα η μέτρηση δίνεται αυτόματα.



**Σχήμα 10:** Δείγμα εντός τρυβλίου για μέτρηση aw

### 6.2.3 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS)

Τα ολικά διαλυτά στερεά (Total Soluble Solids, TSS) υπολογίζονται με διαθλασίμετρο, ένα οπτικό όργανο του οποίου η λειτουργία βασίζεται στη μέτρηση του δείκτη διάθλασης του φωτός στο δείγμα. Ο δείκτης διάθλασης μεταφράζεται από το διαθλασίμετρο σε περιεκτικότητα διαλυτών στερεών, η οποία εκφράζεται ποσοστιαία. Το αποτέλεσμα λοιπόν που δίνεται αποτελεί το ποσοστό των διαλυτών στερεών και εκφράζεται σε βαθμούς °Brix. Επομένως, οι βαθμοί °Brix εκφράζουν γραμμάρια διαλυτών στερεών ανά 100 γραμμάρια προϊόντος, είναι ενδεικτικοί της πυκνότητας των ουσιών του δείγματος και συσχετίζονται με το απιονισμένο νερό, με το οποίο βαθμονομείται το διαθλασίμετρο. Γενικότερα, οι βαθμοί °Brix θεωρείται ότι συνάδουν με τη περιεκτικότητα σε σάκχαρα, και έτσι χρησιμοποιούνται για την έκφραση της περιεκτικότητας σακχάρων. Ωστόσο, ερευνητές έχουν αναφέρει ότι στα διαλυτά στερεά μπορεί να περιλαμβάνονται και τα οργανικά οξέα και άλλες ουσίες διαλυμένες στο διαθέσιμο νερό των τροφίμων, με αποτέλεσμα να αμφισβητείται το πόσο αντιπροσωπευτική είναι η μέτρηση των σακχάρων εκφρασμένη σε βαθμούς °Brix .

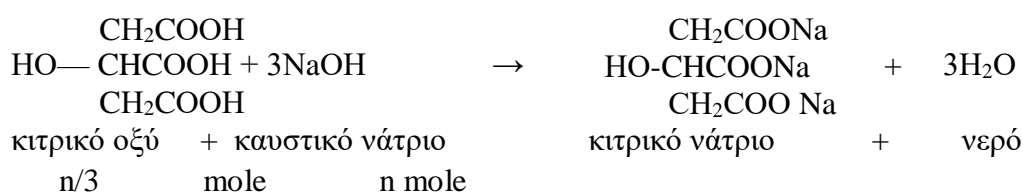


**Σχήμα 11:** Διαθλασίμετρο

Τα διαλυτά στερεά προσδιορίστηκαν με χρήση του διαθλασίμετρου χειρός Kern Optics Analogue Brix Refractometer, ORA 80BB, KERN & SOHN GmbH, Holland. Σε κάθε σειρά πειραμάτων εξετάστηκαν 12 δείγματα και άρα 12 διαφορετικές φράουλες. Στην επιφάνεια του οργάνου τοποθετήθηκε μικρή ποσότητα εκχυλίσματος του καρπού της φράουλας, που προέκυψε από απλή συμπίεση του δείγματος. Έπειτα καταγράφηκε η ένδειξη της κλίμακας σε βαθμούς °Brix.

## 6.2.4 Προσδιορισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας

Με σκοπό τον προσδιορισμό της τιτλοδοτούμενης οξύτητας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ΑΟΑC (No. 942.15). Η μέθοδος στηρίζεται στο προσδιορισμό όγκου προτύπου διαλύματος καυστικού νατρίου NaOH που απαιτείται για την εξουδετέρωση συγκεκριμένης ποσότητας τροφίμου. Το τελικό σημείο διαπιστώνεται από την αλλαγή χρώματος της φαινολοφθαλεΐνης από άχρωμο σε ροζ, που αποτελούν τα χρώματα της φαινολοφθαλεΐνης σε όξινο και αλκαλικό περιβάλλον αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι η φαινολοφθαλεΐνη δε προσδίδει χρώμα σε όξινο pH (δείγμα), ενώ προσδίδει ροζ χρωματισμό σε αλκαλικό pH (περίσσεια NaOH). Το αντιπροσωπευτικό οξύ της φράουλας αποτελεί το κιτρικό, και έτσι η ογκομετρούμενη οξύτητα εκφράστηκε ως εκατοστιαία περιεκτικότητα (%) σε κιτρικό οξύ. Το κιτρικό οξύ αποτελεί ασθενές οργανικό οξύ και είναι τριπρωτικό, ή αλλιώς τρικαρβοξυλικό. Αυτό σημαίνει ότι αποτελείται από τρεις καρβοξυλομάδες και ακολουθεί τρία στάδια ιοντισμού, έτσι οι υπολογισμοί για την εύρεση της περιεκτικότητας σε κιτρικό οξύ έγιναν με βάση αυτό.



**Σχήμα 12:** Αντίδραση εξουδετέρωσης κιτρικού οξέος με καυστικό νάτριο

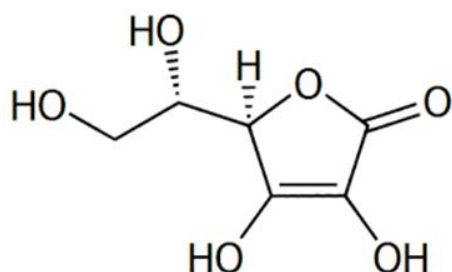
Τα σκεύη και αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: αναλυτικός ζυγός, στατό, προχοΐδα όγκου 50mL, 2 κωνικές φιάλες για τις 2 επαναλήψεις κάθε δείγματος, 5 ογκομετρικές φιάλες των 50mL (1 για κάθε δείγμα), 5 ποτήρια ζέσεως (1 για κάθε δείγμα), σιφώνι ακριβείας 10mL για το διήθημα του δείγματος, τουλπάνι, χωνί πληρώσεως, γουδί, φαινολοφθαλεΐνη 1%, πρότυπο διάλυμα καυστικού νατρίου NaOH 0,10M, απιονισμένο νερό.

Σε κάθε ημέρα αναλύσεων προσδιορίστηκε η ογκομετρούμενη οξύτητα για 5 δείγματα και άρα για 5 διαφορετικές φράουλες. Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων και η έλλειψη σταθερού μοτίβου οφείλεται στη τυχαία δειγματοληψία από διαφορετικό σημείο της φράουλας. Αρχικά, για κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 3g δείγματος σε ποτήρι ζέσεως. Το δείγμα πολτοποιήθηκε με λίγο νερό με τη χρήση του γουδιού και έπειτα πραγματοποιήθηκε διήθηση του ομογενοποιημένου δείγματος με χρήση υφάσματος αραιής ύφανσης (τουλπάνι) και χωνιού σε ογκομετρική φιάλη των 50mL, η οποία συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό έως τη χαραγή. Έστερα, σε κωνική φιάλη μεταφέρθηκαν 10mL διηθήματος από το διάλυμα της ογκομετρικής φιάλης, προστέθηκαν προσεγγιστικά 70 mL απεσταγμένου νερού για χάριν της αραιώσεως και ευκολότερης αντίληψης της αλλαγής χρωματισμού. Η ογκομέτρηση έγινε με πρότυπο διάλυμα NaOH 0,1M παρουσία δείκτη φαινολοφθαλεΐνης, και το τελικό σημείο αναγνωρίζεται από την αλλαγή του χρωματισμού του διαλύματος εξαιτίας της

φαινολοφθαλεΐνης, από άχρωμο σε ροζ, αφού αρχικά επικρατούν όξινες συνθήκες, ενώ έπειτα ακολουθεί εξουδετέρωση και αποκαθίστανται αλκαλικές συνθήκες. Έτσι σηματοδοτείται η λήξη της ογκομέτρησης. Η ογκομετρούμενη οξύτητα εκφράζεται ως εκατοστιαία περιεκτικότητα (%) σε κιτρικό οξύ.

### 6.2.5 Προσδιορισμός της βιταμίνης C με ογκομέτρηση

Η βιταμίνη C αποτελεί ασθενές διβασικό οξύ, δηλαδή αποτελείται από δύο όξινες ομάδες, και ευρίσκεται σε δύο αντιστρεπτές μορφές με την ίδια βιολογική δράση, το ασκορβικό οξύ που αποτελεί ανηγμένη μορφή, και το δεϋδρο-ασκορβικό οξύ (DHA) που αποτελεί οξειδωμένη μορφή.



**Σχήμα 13:** Συντακτικός τύπος βιταμίνης C ( $\text{AscH}_2$ )

Ο ογκομετρικός προσδιορισμός της βιταμίνης C στηρίζεται στις ισχυρές αναγωγικές ιδιότητες του ασκορβικού οξέος. Η ογκομέτρηση με χρήση 2,6-διχλωροφαινυλινδοφαινόλης βασίζεται στην αντίδραση της οξειδοαναγωγής, αφού η βιταμίνη C ως αναγωγικό οξειδώνεται και η ινδοφαινόλη ως οξειδωτικό ανάγεται. Έτσι, η ποσότητα της καταναλισκόμενης ινδοφαινόλης καταδεικνύει τη ποσότητα της οξειδωμένης βιταμίνης C, από ασκορβικό σε δεϋδροασκορβικό οξύ, και αυτή η μετατροπή επιτρέπει τον υπολογισμό του περιεχόμενου ασκορβικού οξέος στο δείγμα. Η μετατροπή γίνεται αντιληπτή μέσω της αλλαγής του χρωματισμού, και έτσι εξάγεται το συμπέρασμα της περιεχόμενης ποσότητας βιταμίνης C στο δείγμα.

Για την ογκομέτρηση χρησιμοποιείται διάλυμα του μετά νατρίου άλατος 2,6-διχλωροφαινυλινδοφαινόλης (DCPIP) 0,040% w/v, το οποίο έχει έντονα κυανή απόχρωση σε ουδέτερο ή αλκαλικό περιβάλλον, ενώ ρόδινη σε όξινο. Το διάλυμα DCPIP πρέπει να έχει τυπική συγκέντρωση 0,0005-0,001M ανάλογα με το δείγμα και γι' αυτό προηγείται τιτλοδότησή του. Η DCPIP τιτλοδοτήθηκε με πρότυπο διάλυμα  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,10 M παρουσία δείκτη αμύλου.

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την ογκομέτρηση του δείγματος ήταν αρχικά ινδοφαινόλη ως πρότυπο διάλυμα, όπου για τη παρασκευή της χρησιμοποιήθηκαν 0,1 g σκόνης σε 250 mL απεσταγμένο νερό, και διατηρήθηκε για μιάμιση εβδομάδα υπό ψύξη. Επίσης, παρασκευάστηκε οξαλικό οξύ 0,4% w/v με προσθήκη 4g οξαλικού σε 1000 mL νερού, το οποίο χρησιμεύει ως διαλύτης του δείγματος φράουλας που προστίθεται στην ογκομετρική φιάλη και έπειτα στη κωνική.

Για την ογκομέτρηση της ινδοφαινόλης χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο διάλυμα θειοθειικό νάτριο  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1 M. Η ογκομέτρηση γίνεται παρουσία δείκτη αμύλου, όπου παρασκευάζεται με διάλυση 1g αμύλου σε 100 mL βραστό νερό. Κατά τη προετοιμασία του ογκομετρούμενου διαλύματος προστίθεται στη κωνική φιάλη υδροχλωρικό οξύ HCl 1 M, για τη παρασκευή του οποίου προστέθηκαν 80 mL HCl σε 920 mL απεσταγμένο νερό. Επιπρόσθετα, κατά τη προετοιμασία της κωνικής προστίθεται και κορεσμένο διάλυμα ιωδιούχου καλίου (KI) 50% w/v. Κατά την ογκομέτρηση της ινδοφαινόλης, σε κωνική των 250mL με εσφυρισμένο πόμα μεταφέρθηκαν 10,00mL διαλύματος ινδοφαινόλης. 5,0mL διαλύματος ιωδιούχου καλίου KI 50% w/v και 10,0mL διαλύματος HCL 1M. Το περιεχόμενο της κωνικής αφέθηκε σε ηρεμία για 2 λεπτά και έπειτα το παραγόμενο από την αντίδραση  $\text{I}_2$  ογκομετρήθηκε με διάλυμα  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,10M παρουσία δείκτη αμύλου.

Κατά την ογκομέτρηση του δείγματος φράουλας, αρχικά σε ποτήρι ζέσεως ζυγίστηκαν 2g δείγματος, τα οποία έπειτα πολτοποιήθηκαν με χρήση ελάχιστης ποσότητας οξαλικού 0,4% w/v. Ακολούθησε η διήθηση του ομογενοποιημένου διαλύματος μέσω υφάσματος αραιής ύφανσης (τουλπάνι) με σκοπό την απομάκρυνση των αδιάλυτων φυτικών συστατικών, σε ογκομετρική φιάλη των 25mL, και συμπλήρωση διαλύματος οξαλικού οξέος 0,4% w/v έως τη χαραγή. Μετά τη λήψη 5mL διηθήματος του δείγματος σε κωνική φιάλη των 250mL προστέθηκε ποσότητα των 15mL οξαλικού οξέος 0,4% w/v. Το διάλυμα ογκομετρήθηκε με 2,6-διχλωροφαινυλινδοφαινόλη (DCPIP) και το τελικό σημείο σηματοδοτήθηκε με απόκτηση μιας ελάχιστα πιο έντονης ρόδινης χροιάς. Αναφορικά με την αλλαγή του χρωματισμού, το αρχικό διάλυμα του δείγματος στη κωνική είναι άχρωμο, αφού αποτελεί απλό δείγμα φράουλας αραιωμένο με οξαλικό οξύ, ενώ μετά το πέρας της ογκομέτρησης αποκτά ρόδινη χροιά λόγω της ύπαρξης ινδοφαινόλης σε όξινες συνθήκες (DCPIPH). Προτείνεται η ογκομέτρηση να διαρκεί λιγότερο από 1 λεπτό, ενώ σημειώνεται ότι ο όγκος της ινδοφαινόλης που καταναλώνεται δε πρέπει να ξεπερνά τα 1,5mL. Η ποσότητα ασκορβικού οξέος που εκτιμάται ότι υπάρχει στο δείγμα καταγράφεται ως mg ασκορβικού οξέος ανά g φρέσκου δείγματος φρούτου.



### **Σχήμα 16:** Ογκομέτρηση για προσδιορισμό του ασκορβικού οξέος

Φυσικά, αδιαμφισβήτητα αποτελούν τα μειονεκτήματα και οι αστοχίες της συγκεκριμένης μεθόδου, καθότι στο προσδιορισμό της ολικής βιταμίνης C δεν συμπεριλαμβάνεται το δεϋδροασκορβικό οξύ, παρά μόνο το ασκορβικό, τα οποία συνυπάρχουν και έχουν ίδια βιολογική δράση, ενώ παράλληλα συμπροσδιορίζεται το οξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Επομένως, στην ογκομέτρηση λαβάνεται υπόψιν και μετράται η μετατροπή του ασκορβικού σε δεϋδροασκορβικό, και όχι η μετατροπή του ασκορβικού σε δικετογουλονικό.

### **6.2.6 Εκχύλιση βρώσιμου ιστού φράουλας με υδατομεθανολικό διάλυμα**

Η λήψη εκχυλίσματος βρώσιμου ιστού φράουλας προϋπέθετε την εμβάπτιση δείγματος φράουλας σε υδατομεθανολικό διάλυμα (CH<sub>3</sub>OH:H<sub>2</sub>O =80:20), ενώ αυτή έγινε με αναλογία 1:10 (w/v). Έτσι 1g δείγματος εμβαπτίστηκε εντός 10mL υδατομεθανολικού διαλύματος, μέσα σε κλειστό γυάλινο δοχείο όπως φαίνεται στο σχήμα 17, το οποίο παρέμεινε για 48 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου. Έπειτα το δείγμα φράουλας και το διάλυμα που σχηματίστηκε διατηρήθηκαν υπό ψύξη. Σημειώνεται ότι εμβαπτίστηκαν 9 δείγματα για κάθε μέρα πειράματος, και άρα η διαδικασία επαναλήφθηκε 9 φορές. Η εκχύλιση των φαινολικών αποτελεί βασική προϋπόθεση και προδιεργασία για την ανίχνευση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας με φασματοφωτομετρικές μεθόδους, που εξηγούνται σε επόμενη παράγραφο. Οι μέθοδοι αυτές πραγματοποιήθηκαν ένα μήνα μετά την εμβάπτιση δείγματος σε υδατομεθανολικό διάλυμα, καθότι ο χρόνος αυτός θεωρήθηκε επαρκής για την ολοκλήρωση της εκχύλισης των φαινολικών. Μετά τη λήψη διηθήματος για κάθε φασματοφωτομετρική ανάλυση, τα δείγματα επαναποθετούνταν υπό θερμοκρασία ψύξεως για περαιτέρω αναλύσεις.



**Σχήμα 17:** Δείγμα σε υδατομεθανολικό διάλυμα

## **6.3 Μέτρηση φυσικών παραμέτρων**

### **6.3.1 Μέτρηση χρώματος**

Η εκτίμηση του χρώματος γίνεται σύμφωνα με το διεθνές χρωματικό μοντέλο CIELab, που ορίζει τις παραμέτρους  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$ . Η παράμετρος  $L^*$  (Lightness) αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα, ενώ οι παράμετροι  $a^*$  και  $b^*$  δίνουν πληροφορίες αναφορικά με το χρώμα. Η παράμετρος  $a^*$  εκφράζει το κόκκινο και πράσινο, για θετικές και αρνητικές τιμές της παραμέτρου αντίστοιχα, ενώ η παράμετρος  $b^*$  εκφράζει το κίτρινο και μπλε για θετικές και αρνητικές τιμές της παραμέτρου αντίστοιχα. Επιπλέον, μπορούν να ληφθούν οι τιμές της χροιάς ή απόχρωσης  $h$  (hue angle) και της χρωματικής πυκνότητας  $C^*$ . Η μεταβλητή  $h$  καθορίζει την απόχρωση, εκφράζεται σε μοίρες και λαμβάνει τιμές από  $0^\circ$  (κόκκινο-πορφυρό),  $90^\circ$  (κίτρινο),  $180^\circ$  (γαλάζιο-πράσινο), έως και  $270^\circ$  (μπλε). Το  $C^*$  εκφράζει τη συγκέντρωση και άρα την ένταση ή καθαρότητα του χρώματος, ή αλλιώς τη σχέση μεταξύ της έντασης και της φωτεινότητας της εξεταζόμενης απόχρωσης.



**Σχήμα 18:** Χρωματομέτρο

Η μέτρηση των παραμέτρων χρώματος έγινε με χρήση του χρωματομέτρου τριπλής διέγερσης CR-400 Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan. Πριν τη χρήση του οργάνου κρίνεται απαραίτητη η βαθμονόμησή του, μέσω της λήψης μετρήσεων από μια πρότυπη πλάκα. Εξετάστηκαν 12 δείγματα φράουλας, τα οποία μετρήθηκαν τόσο στην εξωτερική όσο και στην εσωτερική επιφάνεια.

### 6.3.2 Ανάλυση υφής

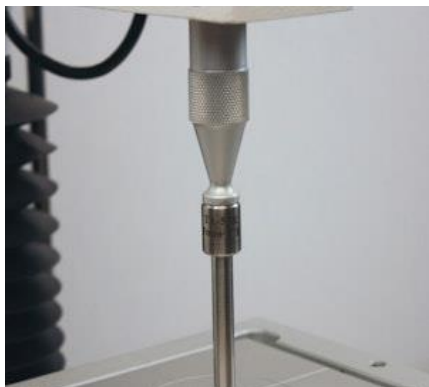
Η ανάλυση υφής στα δείγματα έγινε με τον αναλυτή υφής TA.XT2i Stable Micro Systems συνδυαστικά με χρήση κατάλληλου λογισμικού μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η λήψη δείγματος έγινε με κοπή κάθετα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ροδέλας που να συμπεριλαμβάνει όλα τα τμήματα της φράουλας, από το ανώτερο μέχρι το κατώτερο σημείο της. Σημειώνεται ότι η οριζόντια κοπή αποφεύχθηκε με σκοπό την αποφυγή της πιθανής εσωτερικής κενής περιοχής της φράουλας. Κάθε μέρα πειραμάτων εξετάστηκαν 12 δείγματα φράουλας, και άρα κόπηκαν 12 ροδέλες. Κάθε ροδέλα κόπηκε ομοιόμορφα με πάχος περί των 3-5mm, και έπειτα υποβλήθηκε σε κύκλους συμπίεσης που προσομοιάζουν της διαδικασία της μάσησης.





**Σχήμα 19:** Αναλυτής υφής TA.XT2i Stable Micro Systems

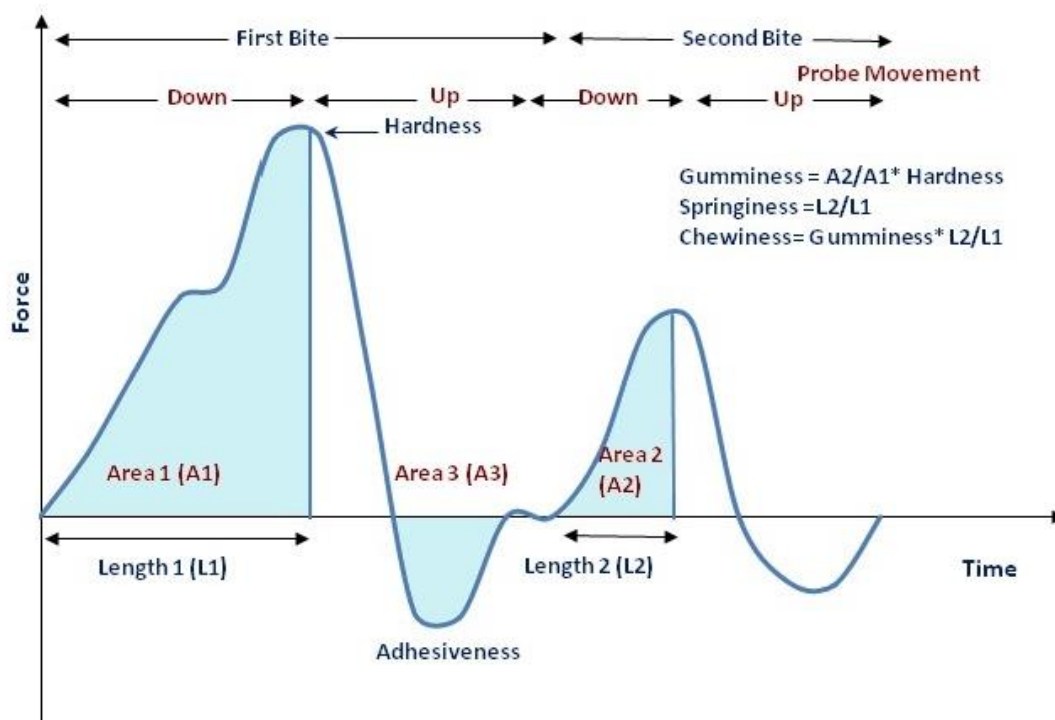
Η συμπίεση έγινε με χρήση κυλινδρικού αισθητηρίου υφής (probe) διαμέτρου 6mm. Αρχικά, έγινε καθορισμός των παραμέτρων της ανάλυσης, όπως για παράδειγμα της ταχύτητας καθόδου του αισθητηρίου υφής, της απόστασης που θα διένυε κατά τη διάτρηση από την επιφάνεια του δείγματος και έπειτα, του αριθμού επαναλήψεων της συμπίεσης και άλλων χαρακτηριστικών. Αναφορικά με το βάθος διείσδυσης του αισθητηρίου υφής, ρυθμίστηκε να φτάσει στο ήμισυ του πάχους της ροδέλας, ενώ η διάτρηση έγινε στο κέντρο της ροδέλας. Όσον αφορά τη ταχύτητα καθόδου και ανόδου του αισθητηρίου υφής, ρυθμίστηκε στα 10mm/s, ενώ η ταχύτητα διείσδυσης στα 5mm/s.



**Σχήμα 20:** Κύλινδρος συμπίεσης

Το λογισμικό που συνδέεται με το αναλυτή υφής συμβάλλει στο σχηματισμό ενός διαγράμματος με τη παρακάτω μορφή, όπως στο σχήμα 21. Στο διάγραμμα

απεικονίζονται οι δύο κύκλοι συμπίεσης και από αυτό εξάγονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες με σκοπό την εύρεση των τιμών των παραμέτρων υφής. Η παράμετρος που φαίνεται να αναλύεται περισσότερο βιβλιογραφικά είναι αυτή της σκληρότητας.



**Σχήμα 21:** Τυπικό διάγραμμα ανάλυσης υφής

Οι παράμετροι υφής που αξιολογήθηκαν είναι οι παρακάτω ήταν η Σκληρότητα (Hardness/Firmness), η Θραυστότητα (Fracturability), Ελαστικότητα (Springiness), η Συνεκτικότητα (Cohesiveness), η Κολλητικότητα (Adhesiveness), Κομμιάδες (Gumminess), η Μασητικότητα (Chewiness) και η Πλαστικότητα (Resilience). Ωστόσο, στη παρούσα εργασία αξιολογείται και συγκρίνεται με βιβλιογραφικές τιμές μόνο η τιμή της σκληρότητας. Σκληρότητα θεωρείται η απαραίτητη δύναμη που πρέπει να ασκηθεί σε δείγμα τροφίμου έτσι ώστε να συμπιεστεί μεταξύ των γομφίων του στόματος. Ευρίσκεται από τον πρώτο κύκλο συμπίεσης αφού είναι η μέγιστη δύναμη σε αυτό τον κύκλο, και η τιμή της είναι το μέγιστο σημείο της πρώτης καμπύλης. Η μονάδα μέτρησής της είναι το Newton (N).

#### 6.4 Φασματοσκοπία μετασχηματισμού Fourier με αποσβένουσα ολική ανάκλαση

Η μέθοδος προϋπέθετε τη χρήση του φασματομέτρου FTIR Shimadzu, IRAffinity-1S FTIR Spectrometer, Japan, με χρήση αποσβένουσας ολικής ανάκλασης (ATR), με σκοπό τη λήψη φάσματος FTIR. Η δειγματοληψία συμπεριλάμβανε την εξωτερική επιφάνεια της φράουλας, η οποία απαρτίζεται από αχάινια, ενώ έγινε αξιολόγηση 12

δειγμάτων σε θερμοκρασία δωματίου. Κάθε δείγμα τοποθετήθηκε στη κατάλληλη περιοχή του φασματομέτρου, που ήταν συνδεδεμένο με αντίστοιχο λογισμικό σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το λογισμικό παρείχε την απεικόνιση των φασμάτων αλλά και τα απαραίτητα δεδομένα με σκοπό την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Η reference της αποσβένουσας ολικής ανάκλασης καθορίστηκε στα  $3284,77\text{ cm}^{-1}$ . Βασική προϋπόθεση ήταν η καταγραφή φάσματος με κενό τον θάλαμο τοποθέτησης του δείγματος, αποσκοπώντας στην ελάττωση του θορύβου (background scan). Έπειτα, καταγράφηκαν τα φάσματα των δειγμάτων στη περιοχή  $4.000\text{-}499\text{ cm}^{-1}$  με την διακριτική ικανότητα του οργάνου στα  $4\text{ cm}^{-1}$ , ενώ κάθε φάσμα αποτελούσε τελικό αποτέλεσμα του μέσου όρου 20 σαρώσεων (scans). Πραγματοποιήθηκε διόρθωση, κανονικοποίηση και ομαλοποίηση ATR των φασμάτων FTIR, ενώ η στατιστική επεξεργασία και ανάλυση έγινε με χρήση του λογισμικού LabSolutions IR.



**Σχήμα 22:** Φασματομέτρο FTIR

## 6.5 Φασματοφωτομετρικές μέθοδοι

### 6.5.1 Προσδιορισμός ολικών φαινολικών ενώσεων με τη μέθοδο Folin-ciocalteu

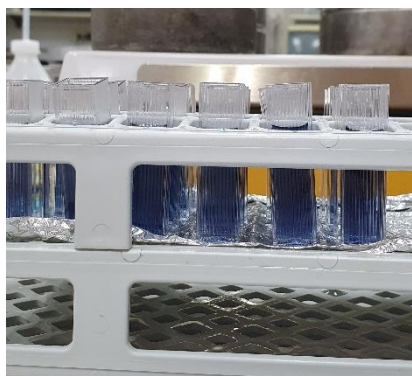
Το φαινολικό περιεχόμενο των δειγμάτων προσδιορίστηκε με μια τροποποίηση της μεθόδου Folin–Ciocalteu (F–C) όπως περιγράφεται από την σχετική δημοσίευση (Andreou et al., 2018) και στη διπλωματική εργασία Λαδίκας, (2023).



**Σχήμα 24:** Φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης

Ως πρότυπη φαινολική ουσία για τη κατασκευή της καμπύλης συσχέτισης επιλέχθηκε το γαλλικό οξύ (gallic acid, GA), και συγκεκριμένα παρασκευάστηκαν πρότυπα διαλύματα συγκεντρώσεων από 25 μέχρι 500mg GA/L. Η μέτρηση της απορρόφησης

έγινε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, στα 750 nm. Τα αποτελέσματα δίνονται εκφρασμένα ως mg ισοδυνάμων γαλλικού οξέος (Gallic Acid Equivalents, GAE) ανά g ιστού φράουλας



**Σχήμα 25:** Μπλε χρωματισμός μετά την αφαίρεση από το υδατόλουτρο



**Σχήμα 26:** Φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc., USA

### **6.5.2 Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS<sup>•+</sup> [2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβεξοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]**

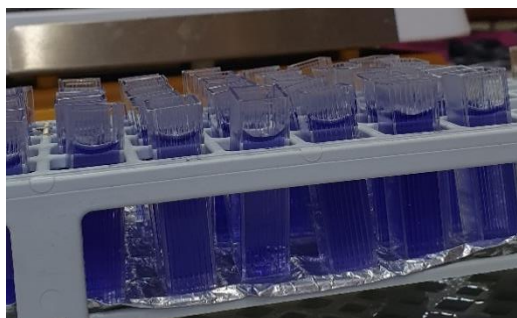
Η μέθοδος πραγματοποιείται με χρήση της ρίζας ABTS<sup>•+</sup> [2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβεξοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)] και έτσι εφαρμόζεται σε λιπόφιλα αλλά και υδρόφιλα αντιοξειδωτικά. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, είναι η μέθοδος των Lantzouraki et al., (2015), όπως περιγράφεται και στη διπλωματική εργασία Λαδίκας, (2023).

Η έκφραση των αποτελεσμάτων προϋποθέτει τη κατασκευή πρότυπης καμπύλης, μέσα από τη μέτρηση των απορροφήσεων των πρότυπων διαλυμάτων. Έτσι, η αντιοξειδωτική δραστηριότητα των δειγμάτων εκφράζεται ως συγκέντρωση σε ισοδύναμα πρότυπης ουσίας Trolox (Trolox Equivalents, TE) μέσω της καμπύλης συσχέτισης.

### 6.5.3 Εκτίμηση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας με τη μέθοδο FRAP

Η μέθοδος FRAP που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, είναι μια τροποποιημένη μέθοδος των Lantzouraki et al. (2016), όπως περιγράφεται και στη διπλωματική εργασία Λαδίκια, (2023).

Ο εξοπλισμός και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc., USA.



**Σχήμα 29:** Μωβ χρωματισμός του  $\text{Fe}^{2+}$   $(\text{TPTZ})_2^{2+}$

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Αποτελέσματα & Συζήτηση**

Η δειγματοληψία έγινε τυχαία, από το εξωτερικό και εσωτερικό της φράουλας, όπου φυσικά η εσωτερική σάρκα διαφέρει στη σύσταση από τον εξωτερικό φλοιό, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων του κάθε πειράματος.

### **7.1 Χημικές παράμετροι**

#### **7.1.1 Υγρασία**

Η εκατοστιαία περιεκτικότητα της υγρασίας την πρώτη ημέρα μετά τη συγκομιδή υπολογίστηκε κατά μέσο όρο  $84,71 \pm 4,88$ . Η βιβλιογραφική τιμή της ποσότητας νερού φρέσκιας φράουλας είναι 91,1% σύμφωνα με την USDA Nutrient Database. Η μεγάλη τυπική απόκλιση της πειραματικής τιμής οφείλεται στην ασταθή δειγματοληψία από το εξωτερικό και εσωτερικό του καρπού, ενώ η διαφορά της ευρισκόμενης πειραματικής τιμής από τη βιβλιογραφική οφείλεται ενδεχομένως στην εστίαση της δειγματοληψίας στην εξωτερική επιφάνεια του καρπού, και όχι στην εσωτερική. Η εξωτερική επιφάνεια φαίνεται να περιέχει μικρότερη ποσότητα νερού, όπου δικαιολογεί τη μικρότερη ευρισκόμενη τιμή υγρασίας.

Για την αξία της σύγκρισης, οι Ganhão et al. υπολόγισαν την εκατοστιαία περιεκτικότητα υγρασίας διαφορετικών ποικιλιών σε εύρος 86,3-89,8, που ταυτίζονται καλύτερα με το αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας (Ganhão et al., 2019). Αντιθέτως, σε έρευνα των Cordenunsi et al. η υγρασία υπολογίστηκε σε εύρος 89,7-93,1, ενώ οι Michalska et al. υπολόγισαν την υγρασία σε εύρος 89,23-90,70 (Cordenunsi et al., 2002) (Michalska et al., 2017). Επομένως, η ευρισκόμενη τιμή της παρούσας εργασίας κρίνεται χαμηλή σε σύγκριση με τις βιβλιογραφικές. Σημειώνεται ότι η διαφορετικότητα στις τιμές μπορεί να οφείλεται στην αστάθεια της δειγματοληψίας, ενώ ο παράγοντας της υγρασίας φυσικά δεν είναι κρίσιμος διαφοροποίησης των ποικιλιών.

#### **7.1.2 Ενεργότητα ύδατος**

Η τιμή της ενεργότητας νερού υπολογίστηκε 0,985 και είναι σύμφωνη με τις τιμές άλλων ερευνών. Η παράμετρος της ενεργότητας νερού δεν αξιολογείται συχνά σε έρευνες αξιολόγησης των παραμέτρων φράουλας, αφού η τιμή που λαμβάνει στο μέγιστο των περιπτώσεων η φρέσκια φράουλα είναι περί του 0,99 (Moreno et al., 2000).

#### **7.1.3 Ολικά διαλυτά στερεά**

Ο υπολογισμός της εκατοστιαίας περιεκτικότητας σε διαλυτά στερεά αποτελεί συχνή πειραματική ανάλυση. Αυτό συμβαίνει καθότι τα διαλυτά στερεά αντιπροσωπεύουν τα σάκχαρα και έτσι η τιμή των ολικών διαλυτών στερεών είναι ενδεικτική της γλυκύτητας. Ερευνητές αναφέρουν ότι τιμή Brix ίση ή μεγαλύτερη των 7 °Brix αντιπροσωπεύει γλυκιά φράουλα. Ωστόσο, η γλυκύτητα πάντα αξιολογείται συνδυαστικά και με τη περιεκτικότητα σε κιτρικό οξύ, η οποία αναφέρεται από ερευνητές ότι πρέπει να είναι μικρότερη ενός συγκεκριμένου ποσοστού κιτρικού οξέος. Οι δύο προϋποθέσεις των παραμέτρων εξετάζονται συνδυαστικά και παράλληλα με την εύρεση του γευστικού πηλίκου, δηλαδή του λόγου των ολικών διαλυτών στερεών προς το περιεχόμενο κιτρικού οξέος, ο οποίος βιβλιογραφικά αναφέρεται ως λόγος TSS/TTA (Total Soluble Solids/ Total Titratable Acidity). Συνεπώς, για την αξιολόγηση της γλυκύτητας σε φρούτα προτιμάται συνήθως η εύρεση του λόγου αυτού, ενώ καθίσταται προφανές πως όσο μεγαλύτερος ο λόγος, τόσο μεγαλύτερη και η γλυκύτητα.

Το αποτέλεσμα των διαλυτών στερεών τη πρώτη ημέρα μετά τη συγκομιδή ήταν  $6,00 \pm 1,04$ , δηλαδή σχετικά χαμηλό, αλλά η μικρή ποσότητα κιτρικού οξέος καθιστά τη φράουλα γλυκιά. Συγκριτικά με άλλες βιβλιογραφικές αναφορές η ευρισκόμενη τιμή φαίνεται να συνάδει λογικά με τα ευρισκόμενα εύρη τιμών διαφορετικών ποικιλιών. Οι Ganhão et al. υπολόγισαν τα διαλυτά στερεά μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών εντός εύρους 4,89-8,51 (Ganhão et al., 2019). Σε άλλες έρευνες το εύρος βρέθηκε 6,00-10,50 από τους Urün et al., 6,6-8,22 από τους Gude et al., 5,3-8,7 από τους Pedrozo et al., 7,3-18,7 από τους Pérez-Guerrero et al., 6,8-8,7 από τους Antunes et al., 6,20-7,60 από τους Rahman et al., 5,4-9,4 από τους Cordenunsi et al., 6,0-9,7 από τους Capocasa et al., 6,0-8,4 από τους Mancini et al. και 7,68-13,55 από τους Michalska et al. (Urün et al., 2021) (Gude et al., 2021) (Pedrozo et al., 2022) (Pérez-Guerrero et al., 2022) (Antunes et al., 2010) (Rahman et al., 2014) (Cordenunsi et al., 2002) (Capocasa et al., 2008) (Mancini et al., 2020) (Michalska et al., 2017). Σημειώνεται επίσης, ότι στην έρευνα των Pedrozo et al. μία εκ των αξιολογούμενων ποικιλιών ήταν και η ‘Marisol’, όπου για τη συγκομιδή του Οκτώβρη βρέθηκε τιμή °Brix 7,9. Επιπρόσθετα, και στην έρευνα των Pérez-Guerrero et al. συμπεριλαμβάνεται η ‘Marisol’ όπου βρέθηκε τιμή °Brix 7,3. Επομένως, οι βιβλιογραφικές τιμές για τη ποικιλία ‘Marisol’ φαίνεται να συνάδουν με την ευρισκόμενη πειραματική τιμή της παρούσας εργασίας, με τις μικρές διαφοροποιήσεις να οφείλονται πιθανώς σε διαφορετικούς εξωτερικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες, ενώ το πειραματικό αποτέλεσμα συγκριτικά με τα βιβλιογραφικά κρίνεται χαμηλό. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα για τη Marisol ότι έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά, όμως γενικότερα κρίνεται ως γλυκιά ποικιλία, κάτι που οφείλεται στη χαμηλή ποσότητα οξέος.

**Πίνακας 8:** Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων υγρασίας, aw και °Brix (1<sup>η</sup> ημέρα συγκομιδής)

Παράμετροι	Mean	S.D.
%υγρασία	84,71	±4,88
°Brix	6,00	±1,04
aw	0,99	±0,00
°C	24,52	±0,20

#### 7.1.4 Τιτλοδοτούμενη οξύτητα

Ως τιτλοδοτούμενη οξύτητα χαρακτηρίζεται η εκατοστιαία περιεκτικότητα κιτρικού οξέος σε φρέσκο προϊόν, η οποία βρέθηκε  $0,191 \pm 0,032$  για τη πρώτη ημέρα μετά τη συγκομιδή. Η ευρισκόμενη τιμή φαίνεται να αποκλίνει σημαντικά από βιβλιογραφικές καθώς είναι πολύ μικρότερη από αυτές. Συγκεκριμένα, οι Ganhão et al. υπολόγισαν την οξύτητα διαφορετικών ποικιλιών μεταξύ του εύρους 0,572-0,809, ενώ και άλλες τιμές εμφανίζουν ενδιαφέρον όπως το εύρος 0,81-0,96 των Gude et al., 0,50-0,62 των Pedrozo et al. για τη συγκομιδή του Οκτώβρη, 0,58-0,79 των Antunes et al., 0,77-0,85 των Rahman et al., 0,55-0,77 των Mancini et al. και 0,88-1,29 των Michalska et al. (Ganhão et al., 2019) (Gude et al., 2021) (Pedrozo et al., 2022) (Antunes et al., 2010) (Rahman et al., 2014) (Mancini et al., 2020) (Michalska et al., 2017). Σημειώνεται ότι για τη ποικιλία 'Marisol' που εξετάστηκε από τους Pedrozo et al. βρέθηκε τιμή 0,53, σχεδόν τριπλάσια της πειραματικής τιμής της παρούσας εργασίας, με την απόκλιση αυτή να αιτιολογείται ως οφειλόμενη στην αναξιοπιστία της ογκομέτρησης αλλά και στην επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών καλλιέργειας.

Η απόκλιση της πειραματικής τιμής από τις βιβλιογραφικές μπορεί να οφείλεται στη μικρότερη περιεκτικότητα της ποικιλίας 'Marisol' σε κιτρικό οξύ, στην αναξιοπιστία της ογκομέτρησης ως διαδικασία, ή στην επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη σύσταση, ενώ η δειγματοληψία και η επιλογή του τμήματος καρπού που ελέγχεται διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Αναφορικά με την αναξιοπιστία της ογκομέτρησης, φυσικά η μέθοδος δεν αποτελεί επαρκώς αξιόπιστη καθότι γίνεται με υποκειμενικά κριτήρια του εκάστοτε ερευνητή, για παράδειγμα η αναγνώριση του τελικού σημείου κάποιες φορές μπερδεύει αναφορικά με το χρώμα, ενώ η ανάγνωση των προχοΐδων και άλλων σκευών μπορεί να γίνει λανθασμένα. Επίσης, οι διαφορετικές συνθήκες καλλιέργειας και το στάδιο ωριμότητας επιδρούν στη σύσταση της κάθε ποικιλίας, και αφού έχει αναφερθεί ότι η Marisol ως ποικιλία παρουσιάζει μεταβλητά χαρακτηριστικά, εξαρτώμενα από τις εξωτερικές συνθήκες, έτσι η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων φαίνεται δικαιολογημένη.

Αναφορικά με το ρόλο του σταδίου ωριμότητας στη σύσταση, άξιο αναφοράς είναι το συμπέρασμα των Rahman et al. όπου εξέτασαν τρία στάδια ωριμότητας. Οι ερευνητές συγκόμισαν καρπούς σε τρία διαφορετικά στάδια ωριμότητας και από το στάδιο μικρότερης προς το στάδιο μεγαλύτερης ωριμότητας εντόπισαν μείωση της οξύτητας του καρπού, άρα πιο ώριμος καρπός είναι λιγότερο όξινος. Έτσι, επιβεβαιώνεται ότι διαφορετικές ημερομηνίες συγκομιδής και συγκομιδή σε διαφορετικό στάδιο ωριμότητας μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετική περιεκτικότητα οξέος (Rahman et al., 2014). Συμπερασματικά, και ο παράγοντας αυτός παίζει ρόλο στη διαφοροποίηση των μετρήσεων ανά τις πηγές.

#### 7.1.5 Ασκορβικό οξύ



Το ασκορβικό οξύ υπολογίστηκε με τιτλοδότηση  $0,178 \pm 0,025$  εκφρασμένο σε mg ασκορβικού ανά g φρέσκου προϊόντος, ή  $17,8 \pm 2,5\%$  εκφρασμένο σε mg ασκορβικού ανά 100g φρέσκου προϊόντος. Βιβλιογραφικές αναφορές αναφέρουν εύρεση της ποσότητας ασκορβικού οξέος ή βιταμίνης C τόσο με τη μέθοδο της ογκομέτρησης με ινδοφαινόλη (Rahman et al., 2014), αλλά και με άλλες πιο αξιόπιστες τεχνικές όπως φασματοφωτομετρικές για παράδειγμα με τη μέθοδο Folin-ciocalteu (Pedrozo et al., 2022) και χρωματογραφικές με τη μέθοδο της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC) (Cordenunsi et al., 2002) (Azzini et al., 2010).

Για την αξία της σύγκρισης της πειραματικής με βιβλιογραφικές τιμές, οι ερευνητές Pedrozo et al. υπολόγισαν την εκατοστιαία περιεκτικότητα βιταμίνης C για τη συγκομιδή του Οκτώβρη εντός εύρους 45,2-59,2 (συγκεκριμένα για τη ποικιλία Marisol βρήκαν τιμή 47,1), οι Rahman et al. 58,67-73,30, οι Cordenunsi et al. 40,1-85,3 και οι Azzini et al. υπολόγισαν 39,9mg ασκορβικού ανά 100g φρέσκια φράουλα και 42,4mg ασκορβικού ανά 100g αποθηκευμένης φράουλας, παρατηρήθηκε δηλαδή μια αύξηση κατά τη συντήρηση. Τέλος, σύμφωνα με τους Guo et al., το Ινστιτούτο διατροφής και ασφάλειας τροφίμων της Κίνας δηλώνει τη περιεκτικότητα σε βιταμίνη C 47mg ανά 100g (Guo et al., 2003), ενώ η διατροφική δήλωση όπως περιγράφεται από το USDA (United States Department of Agriculture) αναφέρεται σε 56mg ανά 100g φρέσκου προϊόντος.

Η ευρισκόμενη τιμή της παρούσας εργασίας αποτελεί πολύ μικρότερη από τις βιβλιογραφικές, και ειδικά από αυτές που χρησιμοποίησαν μεθόδους μη ογκομετρικές. Αυτό αιτιολογείται καθότι, αρχικά η ογκομέτρηση προς εύρεση της βιταμίνης C εμφανίζει αρκετά μειονεκτήματα, με βασικότερο το μη προσδιορισμό του δευδροασκορβικού οξέος, παρά μόνο του ασκορβικού. Τα δύο αυτά οξέα αποτελούν μορφές της βιταμίνης C, που εμφανίζουν την ίδια βιταμινική δράση, με αποτέλεσμα ο αποκλειστικός υπολογισμός του περιεχόμενου ασκορβικού να δίνει τιμή μικρότερη της πραγματικής, δηλαδή αρνητικό σφάλμα. Επιπρόσθετα, η αραίωση της φράουλας δεν ήταν επαρκής, καθότι το ροζ χρώμα του φρούτου δεν είχε εξαφανιστεί πλήρως. Έτσι, η μετάβαση του ογκομετρούμενου δείγματος από άχρωμο σε ροζ χρώμα κατά το πέρας της ογκομέτρησης, όταν επέρχεται το τελικό σημείο, δεν ήταν ακριβώς προφανής. Επομένως, η πρόωγη διακοπή της ογκομέτρησης οδηγεί επίσης σε μικρότερη τιμή από την αναμενόμενη, άρα σε αρνητικό σφάλμα. Τέλος, η απόκλιση ενδεχομένως δικαιολογείται λόγω του διαφορετικού σταδίου ωριμότητας, καθότι σε πρώιμο στάδιο ωριμότητας εμφανίζεται χαμηλότερη περιεκτικότητα βιταμίνης C.

Αναφορικά με τη πρόοδο της βιταμίνης C κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, οι Rahman et al. εξέτασαν τρία στάδια ωριμότητας της ίδιας ποικιλίας ως προς τη περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ και διαπίστωσαν ότι κατά την εξέλιξη της καλλιέργειας η βιταμίνη C αυξάνεται σημαντικά. Αυτό αποτελεί ενδιαφέρον συμπέρασμα, καθώς η σωστή ημερομηνία συγκομιδής μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε βιταμίνη C, ενώ μπορεί να δικαιολογεί και το γεγονός των αποκλίσεων των πειραματικών τιμών (Rahman et al., 2014).

**Πίνακας 9:** Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων ογκομετρούμενης οξύτητας και ογκομετρικού προσδιορισμού ασκορβικού οξέος (1<sup>η</sup> ημέρα συγκομιδής)

Παράμετροι	Mean	S.D.
acidity (% citric acid)	0,191	±0,032
ascorbic acid (mg/gFW)	0,178	±0,025

## 7.2 Φυσικές παράμετροι

### 7.2.1 Σκληρότητα

Στα πλαίσια της ανάλυσης με χρήση του Αναλυτή υφής (Texture Analyzer) προσδιορίστηκαν ποικίλες παράμετροι, ωστόσο κρίθηκε σκόπιμη η αξιολόγηση της σημαντικότερης παραμέτρου της σκληρότητας στη συγκεκριμένη εργασία, καθότι είναι και το χαρακτηριστικό που διερευνάται συχνότερα στις ερευνητικές εργασίες. Η τιμή της σκληρότητας που υπολογίστηκε για φρέσκια φράουλα ήταν  $4,95 \pm 2,07$  και φαίνεται να συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Gude et al., που βρήκαν τιμές εύρους 2,90-5,34 (Gude et al., 2021). Η τιμή που υπολογίστηκε φαίνεται να συμφωνεί και με τα αποτελέσματα της έρευνας των Pedrozo et al. σε διάφορες ποικιλίες, εκ των οποίων η μία ήταν η Marisol. Στη σειρά πειραμάτων του Οκτώβρη, υπολογίστηκε εύρος σκληρότητας ανά των ποικιλιών 4,2-6,7, όπου την υψηλότερη τιμή έλαβε η Marisol (Pedrozo et al., 2022). Επομένως, η ευρισκόμενη τιμή σκληρότητας της Marisol χαρακτηρίζεται υψηλή, συγκριτικά με τις βιβλιογραφικές τιμές άλλων ποικιλιών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Moreno et al. υπολόγισαν την επίδραση διαφόρων βιομηχανικών επεξεργασιών, όπου η τιμή της φρέσκιας φράουλας υπολογίστηκε 5,0, ενώ η μεγαλύτερη επίδραση που επέφερε μέγιστο μαλάκωμα ήταν το ζεμάτισμα με χρήση ατμού που συνδυάστηκε ακολούθως με οσμωτική αφυδάτωση υπό κενό, και η τιμή τότε υπολογίστηκε 3,9 (Moreno et al., 2000).

### 7.2.2 Χρώμα

Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν αρχικά το  $L^*$  (Lightness) που εκφράζει τη φωτεινότητα και λαμβάνει τιμές 0-100, όπου το 0 αντιπροσωπεύει το μαύρο ενώ το 100 το άσπρο. Υπολογίστηκε επίσης το  $h^*$  (hue) που μπορεί να μεταφραστεί ως απόχρωση, και σε συνεργασία με το  $L$  και  $C$  (Chroma) αποδίδει το ακριβές χρώμα μέσα από τη χρωματική παλέτα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Τέλος, το  $a^*$  και  $b^*$  εκφράζουν την ένταση του κόκκινου και κίτρινου αντίστοιχα στη περίπτωση των φραουλών, για θετικές τιμές, ενώ σε άλλη περίπτωση την ένταση του πράσινου και μπλε αντίστοιχα, για αρνητικές τιμές.

Οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων υπολογίστηκαν για την εξωτερική επιφάνεια της φράουλας  $L^*=39,26 \pm 2,75$ ,  $a^*=26,68 \pm 4,44$ ,  $b^*=12,73 \pm 3,58$ ,  $h=24,36 \pm 5,43$ , ενώ για την εσωτερική επιφάνεια  $L^*=57,20 \pm 5,55$ ,  $a^*=19,83 \pm 4,68$ ,  $b^*=20,37 \pm 3,10$ ,  $h=46,20 \pm 2,77$ . Μια πρόωμη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αποτελεί η επιβεβαίωση της ορθότητας της μεγαλύτερης τιμής  $L^*$  της εσωτερικής επιφάνειας, δηλαδή της μεγαλύτερης εγγυτητάς της προς το 100 δηλαδή το άσπρο, καθότι αποτελεί πιο ανοιχτόχρωμη

επιφάνεια, ενώ η εξωτερική πιο σκουρόχρωμη. Παράλληλα, δικαιολογείται και η τιμή της παραμέτρου  $a^*$ , καθότι στην εξωτερική επιφάνεια επικρατεί εντονότερο κόκκινο χρώμα, και έτσι το  $a^*$  είναι μεγαλύτερο, που υποδεικνύει μεγαλύτερη ένταση του κόκκινου, ενώ αντιθέτως στην εσωτερική επικρατεί ασθενέστερο κόκκινο χρώμα, και έτσι το  $a^*$  είναι μικρότερο, που υποδεικνύει μικρότερη ένταση του κόκκινου. Ομοίως δικαιολογείται η τιμή της παραμέτρου  $b^*$ , όπου στην εξωτερική επιφάνεια υπολογίστηκε μικρότερη, αφού η ένταση του κίτρινου είναι μικρότερη, ενώ στην εσωτερική υπολογίστηκε μεγαλύτερη, αφού η ένταση του κίτρινου είναι μεγαλύτερη.

Οι Ganhão et al. ασχολήθηκαν με την εύρεση των παραπάνω παραμέτρων για την εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια, και βρήκαν αντίστοιχα τιμές  $L^*$  εύρους 36,0-42,4 και 32,5-37,2, τιμές  $a^*$  εύρους 32,8-34,5 και 18,6-21,7, τιμές  $b^*$  24,1-30,4 και 17,2-18,9 και τέλος τιμές  $h$  34,1-42,7 και 38,5-45,5. Τα αποτελέσματά τους φαίνεται να συμφωνούν με τα πειραματικά, ίσως με μια σημαντική απόκλιση στις τιμές  $a^*$ ,  $b^*$  και  $h$  της εξωτερικής επιφάνειας και στη τιμή  $L^*$  της εσωτερικής (Ganhão et al., 2019). Η απόκλιση αυτή επιβεβαιώνεται και σε άλλη έρευνα μελέτης του χρώματος της εξωτερικής επιφάνειας διαφορετικών ποικιλιών, όπου υπολογίστηκαν τα  $L^*$  σε εύρος 33,19-36,43 και  $a^*$  σε εύρος 33,54-35,78, τα οποία εμφανίζουν μια απόκλιση με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, με μεγαλύτερη αυτή της τιμής  $a^*$  (Gude et al., 2021).

Σε έρευνα των Voća et al. βρέθηκε για την εξωτερική επιφάνεια το  $L^*$  σε εύρος 20,3-28,4, το  $a^*$  19,2-20,8, το  $b^*$  12,4-14,6 και το  $h$  32,8-39,9, με τις τιμές του  $b^*$  να ανταποκρίνονται πιστά με αυτή της παρούσας εργασίας (Voća et al., 2014). Οι Pedrozo et al. για τη συγκομιδή του Οκτώβρη υπολόγισαν τις τιμές των  $a^*$  34,0-38,1 και  $h$  29,2-36,1, εκ των οποίων υπήρχε και η ποικιλία Marisol που έλαβε τιμές 37,0 για  $a^*$  και 30,7 για  $h$  (Pedrozo et al., 2022). Οι Moreno et al., και αυτοί εξετάζοντας διαφορετικές ποικιλίες, βρήκαν τιμές 32,0-34,4 για  $L^*$  και 23,7-25,6 για  $h$ , με τη τιμή του  $h$  της παρούσας εργασίας να ευρίσκεται εντός του εύρους (Moreno et al., 2000). Οι Capocasa et al. βρήκαν τη τιμή του  $L^*$  εντός του εύρους 32,9-42,1, με την ευρισκόμενη τιμή της παρούσας εργασίας να ταυτίζεται (Capocasa et al., 2008). Οι Mancini et al. υπολόγισαν τη τιμή του  $L^*$  μεταξύ του εύρους 35,7-39,4 (Mancini et al., 2020). Οι Ayesha et al. υπολόγισαν όλες τις παραμέτρους της παρούσας εργασίας, και βρήκαν τιμές 30,0-33,3 για  $L^*$ , 26,4-29,0 για  $a^*$ , 8,4-9,3 για  $b^*$  και 22,4-23,7 για  $h$ , για διαφορετικά μέσα και χρώμα καλλιέργειας (Ayesha et al., 2011).

Επομένως, οι τιμές των χρωματικών παραμέτρων διαφέρουν κυρίως ανάλογα με τη διαφορετική ποικιλία, τις διαφορετικές ημερομηνίες συγκομιδής και τους διαφορετικούς τρόπους καλλιέργειας. Οι έρευνες φαίνεται να εστιάζουν κατά κύριο λόγο στην εξωτερική επιφάνεια της φράουλας, καθώς ελάχιστες βιβλιογραφικές πηγές ασχολούνται με το χρώμα της εσωτερικής σάρκας του φρούτου. Οι τιμές της παρούσας εργασίας ταυτίζονται βέλτιστα με τις ευρισκόμενες τιμές των Ganhão et al. για τη παράμετρο  $L^*$ , των Ayesha et al. για τη παράμετρο  $a^*$ , των Voća et al. για τη  $b^*$  και των Moreno et al. για την  $h$ . Εν τέλει, η έλλειψη επαρκούς συσχέτισης και αξιόπιστης ταύτισης των πειραματικών τιμών της παρούσας εργασίας με βιβλιογραφικές τιμές αποδίδεται στη διαφοροποίηση της ποικιλίας και των συνθηκών καλλιέργειας, τα οποία φαίνεται να έχουν άμεση και έντονη επίδραση στις χρωματικές παραμέτρους και άρα στο χρώμα της φράουλας. Γενικότερα, η παράμετρος του χρώματος που απασχολεί

περισσότερο κατά τον έλεγχο της φράουλας, δηλαδή η παράμετρος  $a^*$ , βρέθηκε υψηλή, συγκρινόμενη με τις βιβλιογραφικές τιμές.

**Πίνακας 10:** Αποτελέσματα φυσικών παραμέτρων σκληρότητας και χρώματος στην εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια της φράουλας (1<sup>η</sup> ημέρα συγκομιδής)

Παράμετροι	Mean	S.D.
Υφή Σκληρότητα	4,95	±2,07
Εξωτερικά		
L*	39,26	±2,75
a*	26,68	±4,44
b*	12,73	±3,58
h	24,36	±5,43
Εσωτερικά		
L*	57,20	±5,55
a*	19,83	±4,68
b*	20,37	±3,10
h	46,20	±2,77

### 7.3 Φασματοσκοπική μέθοδος

Οι βασικότερες απορροφήσεις που εμφανίζει η φράουλα κατά τη φασματοσκοπική εξέταση εμφανίζονται στον πίνακα 11. Αρχικά, αναφορικά με τα υδροξύλια αλκοολών και φαινολών, η απορρόφηση στο 3645-3600  $\text{cm}^{-1}$  αποδίδεται σε ύπαρξη ελεύθερου υδροξυλίου, δηλαδή υδροξυλίου που ανήκει σε φαινόλη. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι φαινολικές ουσίες περιλαμβάνουν στο μόριό τους ένα τουλάχιστον υδροξύλιο σε αρωματικό δακτύλιο, και αυτό απορροφάει στο συγκεκριμένο κυματαριθμό. Το υδροξύλιο επίσης εμφανίζει απορρόφηση και σε κυματαριθμό 3380  $\text{cm}^{-1}$ , ωστόσο αυτό το υδροξύλιο αφορά υδροξύλιο που δεν ανήκει σε αρωματικό δακτύλιο, για παράδειγμα υδροξύλιο αλκοόλης. Φυσικά τέτοια υδροξύλια ευρίσκονται σε διάφορες ενώσεις όπως το νερό, τους απλούς και σύνθετους υδατάνθρακες, τα οργανικά και τα φαινολικά οξέα και σε ελάχιστο βαθμό στη φράουλα στα αμινοξέα. Σχετικά με τα υδροξύλια καρβοξυλικών οξέων, η απορρόφηση σε κυματαριθμούς 2918-2920  $\text{cm}^{-1}$  και 2850-2855  $\text{cm}^{-1}$  φαίνεται να αποδίδεται σε υδατάνθρακες, σε φαινολικές ενώσεις και σε μικρό βαθμό σε αμινοξέα. Όπως είναι γνωστό οι ενώσεις αυτές περιέχουν καρβοξυλομάδα στο μόριό τους, εξού και η συγκεκριμένη απορρόφηση λόγω του υδροξυλίου της καρβοξυλομάδας.

Η απορρόφηση στον κυματαριθμό 1730-1742  $\text{cm}^{-1}$  αντιπροσωπεύει τους εστέρες των υπαρχόντων ενώσεων, δηλαδή το δεσμό της αντίδρασης συμπύκνωσης μεταξύ του υδροξυλίου μιας ένωσης και της καρβοξυλομάδας μιας άλλης ένωσης. Η απορρόφηση σε 1647-1632  $\text{cm}^{-1}$  αποδίδεται στην περιεχόμενη υγρασία και η απορρόφηση σε 1510-1520  $\text{cm}^{-1}$  οφείλεται στον αρωματικό δακτύλιο και αναφέρεται ως αρωματική ταινία,

ενώ αποδίδεται φυσικά στις αρωματικές και πτητικές ή και στις φαινολικές ενώσεις. Τέλος, οι απορροφήσεις 1050-1055 cm<sup>-1</sup> και 1022-1028 cm<sup>-1</sup> αποδίδονται στη σακχαρόζη και τη γλυκόζη αντίστοιχα.

**Πίνακας 11:** Κυματαριθμοί στους οποίους εμφανίζουν απορρόφηση οι βασικότερες ουσίες της φράουλας κατά τη φασματοσκοπική εξέταση

Περιοχή Απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )	Ερμηνεία
3645-3600 cm <sup>-1</sup>	Φαινολικές ενώσεις
3380 cm <sup>-1</sup>	νερό, υδατάνθρακες, οργανικά οξέα, αμινοξέα, φαινολικές ενώσεις
2918-2920 cm <sup>-1</sup>	υδατάνθρακες, οργανικά οξέα, αμινοξέα
2850-2855 cm <sup>-1</sup>	υδατάνθρακες, οργανικά οξέα, αμινοξέα
1730-1742 cm <sup>-1</sup>	εστέρες
1647-1632 cm <sup>-1</sup>	περιεχόμενη υγρασία
1510-1520 cm <sup>-1</sup>	ενώσεις με αρωματικό δακτύλιο, φαινολικές ενώσεις
1050-1055 cm <sup>-1</sup>	σακχαρόζη
1022-1028 cm <sup>-1</sup>	γλυκόζη

## 7.4 Φασματοφωτομετρικές μέθοδοι

### 7.4.1 Μέτρηση φαινολικών ουσιών με τη μέθοδο *Folin-ciocalteu*

Οι φαινολικές ουσίες μετρήθηκαν και εκφράστηκαν σε ισοδύναμα mg γαλλικού οξέος ανά g φρέσκου προϊόντος (GAE). Η μέτρηση των φαινολικών ουσιών τη 1<sup>η</sup> ημέρα μετά την ημέρα της συγκομιδής ήταν 0,57±0,29, ενώ την 4<sup>η</sup> ημέρα ήταν 1,14±0,21. Άξια σύγκρισης με τις βιβλιογραφικές τιμές είναι η τιμή της 1<sup>ης</sup> ημέρας, αφού όλα τα πειράματα στα φρούτα γίνονται το συντομότερο μετά τη συγκομιδή. Ωστόσο, η τιμή της 4<sup>ης</sup> ημέρας μετά τη συγκομιδή φαίνεται να είναι πιο ταυτόσημη με τις μετρήσεις των πηγών. Ενδεχομένως ο παραγωγός συγκόμισε τις φράουλες νωρίτερα από την αναμενόμενη ημέρα συγκομιδής, συγκριτικά με τις φράουλες που εξέτασαν άλλοι ερευνητές, με αποτέλεσμα να μην υπήρχε χρόνος για επαρκή ανάπτυξη και εμφάνιση των φαινολικών ενώσεων στα φυσιολογικά επίπεδα.

Τα αποτελέσματα των βιβλιογραφικών πηγών φαίνεται να ταυτίζονται περισσότερο με τη μέτρηση φαινολικών τη 4<sup>η</sup> ημέρα συντήρησης των καρπών της παρούσας εργασίας, αφού η μέτρηση της 1<sup>ης</sup> ημέρας παρουσιάζεται πολύ μικρή σε σύγκριση με τις βιβλιογραφικές. Συγκεκριμένα, οι Ürün et al. υπολόγισαν τις φαινολικές ουσίες διαφορετικών ποικιλιών σε εύρος 0,99-1,58, οι Gude et al. σε εύρος 1,54-2,41, οι Paparozzi et al. 1,06-1,83, οι Pedrozo et al. 0,666-2,401, οι Pérez-Guerrero et al. 1,240-2,351, οι Keskin et al. 1,764-2,488, οι Cordenunsi et al. 1,586-2,892 και οι Capocasa et al. 1,8-3,2 (Ürün et al., 2021) (Gude et al., 2021) (Paparozzi et al., 2018) (Pedrozo et

al., 2022) (Pérez-Guerrero et al., 2022) (Keskin et al., 2018) (Cordenunsi et al., 2002) (Capocasa et al., 2008). Τέλος οι Klopotek et al. αναφέρουν ότι το περιεχόμενο φαινολικών μιας μέσης φράουλας είναι 2,57mg GAE ανά g φρέσκου προϊόντος (Klopotek et al., 2005).

Σημειώνεται ότι οι Pedrozo et al. βρήκαν το αποτέλεσμα για τη 'Marisol' παρόμοιο με αυτό της παρούσας εργασίας, για τη συγκομιδή του Οκτώβρη, και δηλαδή 0,666mg GAE ανά g φρέσκου προϊόντος, και άρα επιβεβαιώνεται η ορθότητα του πειράματος. Η ορθότητα επιβεβαιώνεται και από την ευρισκόμενη τιμή των Pérez-Guerrero et al. επίσης για τη ποικιλία 'Marisol' η οποία ήταν 1,509mg GAE ανά g φρέσκου προϊόντος, που αποτελούσε μια από τις μικρότερες τιμές εκ του συνόλου, όπως μικρή φαίνεται να είναι και η ευρισκόμενη τιμή της παρούσας εργασίας. Επομένως, η Marisol ως ποικιλία χαρακτηρίζεται από χαμηλή περιεκτικότητα σε φαινολικά συστατικά.

Συνοψίζοντας, παρατηρείται ότι οι τιμές των βιβλιογραφικών αναφορών και της πειραματικής τιμής συνάδουν μεταξύ τους. Αποκλίσεις παρουσιάζονται σε μικρό βαθμό, και αυτό φυσικά συμβαίνει λόγω διαφοροποιήσεων των μεθόδων, του εξοπλισμού, των ποσοτήτων και της ποιότητας των προστιθέμενων αντιδραστηρίων, αλλά και λόγω των διαφορετικών δειγμάτων, από άποψη συνθηκών καλλιέργειας και σταδίου ωριμότητας.

## **7.4.2 Μέτρηση αντιοξειδωτικής δραστηριότητας**

### **7.4.2.1 Με πρότυπη ουσία Trolox και αντιδραστήριο ABTS**

Η αντιοξειδωτική δραστηριότητα μπορεί να μετρηθεί με διαφορετικές μεθόδους, διαφορετικά αντιδραστήρια και διαφορετικές πρότυπες ουσίες. Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο ABTS<sup>•+</sup> και ως πρότυπη ουσία η Trolox, για αυτό και το αποτέλεσμα εκφράστηκε σε ισοδύναμα της ουσίας Trolox, και έτσι η μέθοδος ονομάζεται με τη γενικότερη ονομασία Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC).

Η σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με βιβλιογραφικά έχει νόημα μόνο εφόσον η βιβλιογραφική μέθοδος χρησιμοποιεί το ίδιο αντιδραστήριο ABTS<sup>•+</sup> και την ίδια πρότυπη ουσία Trolox. Ως εκ τούτου, βιβλιογραφικές αναφορές που αναφέρονται σε άλλο αντιδραστήριο ή άλλη πρότυπη ουσία δεν λήφθηκαν υπόψη. Φυσικά, οι μονάδες μέτρησης έπρεπε να είναι ταυτόσημες, έτσι έγινε μετατροπή μονάδων των πηγών, για πηγές που είχαν εκφράσει την αντιοξειδωτική δραστηριότητα σε mol Trolox ανά g φρέσκου προϊόντος, ή υποδιαίρεσεις και πολλαπλάσια της μονάδας αυτής. Η μετατροπή γίνεται με πολλαπλασιασμό με το Mr της ουσίας Trolox (250,29).

Η τιμή της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας υπολογίστηκε για τη 1<sup>η</sup> ημέρα μετά τη συγκομιδή 2,87±0,76mg Trolox ανά g φρέσκου προϊόντος, ενώ για τη 4<sup>η</sup> ημέρα μετά τη συγκομιδή 4,10±0,60. Για την αξία της σύγκρισης με μετρήσεις άλλων ερευνητών, οι Tulipani et al. υπολόγισαν την αντιοξειδωτική δραστηριότητα διαφορετικών ποικιλιών φράουλας εντός του εύρους 2,73-4,86, οι Keskin et al. 1,251-2,228, οι Capocasa et al., 2,80-4,61, οι Klopotek et al. 2,98 και οι Raudonis et al. 2,06-6,29

(Tulipani et al., 2008) (Keskin et al., 2018) (Capocasa et al., 2008) (Klopotek et al., 2005) (Raudonis et al., 2012).

Επομένως, η τιμή φαίνεται ταυτόσημη με τις βιβλιογραφικές, γεγονός που επιβεβαιώνει την ορθότητά της, ενώ παρουσιάζεται σχετικά μικρότερη παρά μεγαλύτερη. Έτσι, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η Marisol αποτελεί ποικιλία με χαμηλό περιεχόμενο αντιοξειδωτικών ουσιών. Ενδεχομένως, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο των φαινολικών ουσιών, η συγκομιδή των φραουλών να έγινε ελάχιστα νωρίτερα από την αναμενόμενη ημερομηνία συγκομιδής, με αποτέλεσμα τα φαινολικά και γενικότερα τα αντιοξειδωτικά να μη πρόλαβαν να εξελιχθούν στα φυσιολογικά επίπεδα. Ταυτόχρονα, σημαντικό ρόλο στη διαφοροποίηση των τιμών διαδραματίζει και η διαφορετικότητα των μεθόδων, όπως και η διαφορετική επίδραση των εξωτερικών κλιματικών και καλλιεργητικών συνθηκών.

#### 7.4.2.2 Με χρήση του αντιδραστηρίου FRAP

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η αντιοξειδωτική δραστηριότητα μπορεί να μετρηθεί με διαφορετικές μεθόδους, και συγκεκριμένα με διαφορετικά αντιδραστήρια και πρότυπες ουσίες. Στη συγκεκριμένη μέθοδο γίνεται χρήση του αντιδραστηρίου FRAP. Η πρότυπη ουσία δίσταται, με συχνότερες χρησιμοποιούμενες τις Trolox και το δισθενή σίδηρο  $Fe^{2+}$ . Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ως πρότυπη ουσία ο δισθενής σίδηρος  $Fe^{2+}$ , αν και στη πλειοψηφία των βιβλιογραφικών αναφορών γίνεται χρήση της Trolox. Φυσικά, η σύγκριση της πειραματικής τιμής με βιβλιογραφικές έχει νόημα μόνο για ίδιες πρότυπες ουσίες, επομένως έγινε αναζήτηση αναφορών με χρήση πρότυπης ουσίας δισθενή σιδήρου  $Fe^{2+}$ , που προκύπτει από το σύμπλοκο  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  με Mr 278.019. Πάλι, έγινε μετατροπή των μονάδων των πηγών, όπου χρησιμοποιείτο η μονάδα mol  $Fe^{2+}$  ανά g φρέσκου προϊόντος, ή και υποδιαιρέσεις και πολλαπλασία της μονάδας αυτής. Ειδικότερα, η μονάδα μετατράπηκε προς αυτή της παρούσας εργασίας, δηλαδή σε mg  $Fe^{2+}$  ανά g φρέσκου προϊόντος, με πολλαπλασιασμό με το Mr.

Η αντιοξειδωτική δραστηριότητα υπολογίστηκε για τη ποικιλία 'Marisol'  $8,53 \pm 1,98$  mg  $Fe^{2+}$  ανά g φρέσκου προϊόντος. Για την αξία της σύγκρισης της πειραματικής μέτρησης με αυτές βιβλιογραφικών αναφορών, αρχικά οι Klopotek et al. υπολόγισαν την αντιοξειδωτική δραστηριότητα της φράουλας  $6,86$  mg  $Fe^{2+}$  ανά g φρέσκου προϊόντος (Klopotek et al., 2005). Οι Guo et al. υπολόγισαν τη τιμή της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας  $9,15$  mg  $Fe^{2+}$  ανά g φρέσκου προϊόντος ενώ οι Raudonis et al. την υπολόγισαν για διαφορετικές ποικιλίες εντός του εύρους  $2,71-6,21$  (Guo et al., 2003) (Raudonis et al., 2012). Επομένως, η τιμή της παρούσας έρευνας συνάδει με τα αποτελέσματα των βιβλιογραφικών τιμών και επιβεβαιώνεται η εγκυρότητά της. Χαρακτηρίζεται ως μέτρια, και επειδή πολλοί ερευνητές αναφέρουν ότι η Marisol έχει χαμηλή αντιοξειδωτική δραστηριότητα, επομένως το αναμενόμενο θα ήταν να βγει μια χαμηλότερη πειραματική τιμή, όπως και παραπάνω στη μέθοδο με ABTS. Η διαφορά αιτιολογείται λόγω των διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας.

**Πίνακας 12:** Αποτελέσματα φαινολικής περιεκτικότητας (Folin-ciocaletu) και αντιοξειδωτικής δραστηριότητας (TEAC και FRAP) των φραουλών κατά τη διάρκεια συντήρησης

Φράουλες	Mean	S.D.
FRAP (mgFe/gFW)		
Day 1	8,53	±1,98
Day 4	11,75	±1,62
Day 6	12,11	±2,10
Day 8	10,93	±2,22
Day 11	9,78	±2,46
TEAC (mgTE/gFW)		
Day 1	2,87	±0,76
Day 4	4,10	±0,60
Day 6	4,91	±1,07
Day 8	3,79	±0,96
Day 11	3,81	±1,12
Folin (mgGAE/gFW)		
Day 1	0,57	±0,29
Day 4	1,14	±0,21
Day 6	1,24	±0,28
Day 8	1,18	±0,51
Day 11	1,09	±0,32

### 7.5 Μέτρηση φαινολικών και αντιοξειδωτικής δραστηριότητας των φύλλων-συσχέτιση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της φράουλας

Στα πλαίσια των πειραμάτων της μέτρησης των φαινολικών ουσιών και της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας, εκτός των φραουλών εξετάστηκαν και τα φύλλα τους, σε μια προσπάθεια εύρεσης κάποιου συσχετισμού μεταξύ της μεταβολής των αντιοξειδωτικών ανάμεσα στις φράουλες και στα φύλλα τους. Τα φύλλα των φραουλών αποτελούν μέσο μεταφοράς θρεπτικών στοιχείων προς το καρπό, καθώς σε όλη τη πορεία της καλλιέργειας των φραουλών η λήψη των απαραίτητων ουσιών και η ανάπτυξη των καρπών στηρίζεται στη παρεμβολή των φύλλων. Το σκεπτικό αυτό οδηγεί στο εύλογο ερώτημα αν η μεταβολή της σύστασης μεταξύ της φράουλας και των φύλλων εμφανίζεται συσχετιζόμενη και κατά τη μετασυλλεκτική πορεία, ύστερα της συγκομιδής. Έτσι, σκοπό του συγκεκριμένου κεφαλαίου αποτελεί η διερεύνηση της συσχετιζόμενης μεταβολής των αντιοξειδωτικών ουσιών μεταξύ καρπών και φύλλων.

Φυσικά τα φύλλα έχουν πολύ μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικές ουσίες συγκριτικά με τη φράουλα. Έτσι, κατά τις φασματοφωτομετρικές μεθόδους η αραιώση στα γυάλινα δοχεία ήταν μεγαλύτερη από της φράουλας, και το προστιθέμενο δείγμα υδατομεθανολικού εκχυλίσματος στη κυψελίδα ήταν ποσότητας 10μL, και όχι 30μL όπως στη φράουλα, γιατί μεγαλύτερη ποσότητα δείγματος φύλλων θα οδηγούσε σε



τεράστια περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικά. Ως γνωστών, διαλύματα συγκέντρωσης που ξεπερνάει τη μέγιστη συγκέντρωση της πρότυπης καμπύλης δε ποσοτικοποιούνται και δεν είναι δυνατή η μέτρηση τους. Εκτός της συγκεκριμένης διαφοροποίησης, κατά τα άλλα οι φασματοφωτομετρικές μέθοδοι έγιναν πανομοιότυπα με αυτές των καρπών.

Οι πορείες των φαινολικών ουσιών και της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας φαίνεται να συμπίπτουν, καθότι στα σχήματα 34, 35 και 36 φαίνεται να ακολουθούν όμοιες μεταβολές. Ειδικότερα, τόσο στο διάγραμμα της μεθόδου Folin-ciocalteu όσο και στα διαγράμματα των μεθόδων TEAC και FRAP που εκπροσωπούν την αντιοξειδωτική ισχύ, αρχικά για τα φύλλα διαπιστώνεται μια ανοδική, έπειτα καθοδική, και τέλος ξανά ανοδική πορεία, μεταξύ της 1<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> ημέρας, της 4<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> και τέλος της 6<sup>ης</sup> και της 8<sup>ης</sup> ημέρας, αντίστοιχα. Για τις φράουλες διαπιστώνεται μια ανοδική πορεία από τη 1<sup>η</sup> μέχρι την 6<sup>η</sup> ημέρα, και έπειτα μια καθοδική πορεία από την 6<sup>η</sup> μέχρι την 8<sup>η</sup>.

Οι αξιολογήσεις των παραπάνω παραμέτρων έγιναν για 8 ημέρες μετασυλλεκτικής συντήρησης στο κλίβανο, καθότι θεωρήθηκε ότι την 11<sup>η</sup> πλέον ημέρα η αλλοίωση των φραουλών ήταν μεγάλη, και η συσχέτιση των μεταβολών μεταξύ φραουλών και φύλλων θα ήταν άστοχη και ανούσια. Επίσης τα φύλλα είχαν πλέον ξεραθεί από τη μεγάλη απώλεια υγρασίας, και η συγκέντρωση των αντιοξειδωτικών θα ήταν ενδεχομένως φαινομενικά μεγαλύτερη. Πιο ειδικά, σε ίδια μάζα φύλλων θα περιεχόταν ίδια ποσότητα αντιοξειδωτικών αλλά λιγότερη υγρασία, και άρα λιγότερο συνολικό βάρος, και έτσι στη περίπτωση αυτή θα υπολογίζονταν μεγαλύτερη περιεκτικότητα αντιοξειδωτικών ουσιών, θα υπήρχε δηλαδή θετικό σφάλμα. Επίσης, θα μπορούσε να περιεχόταν λιγότερη αντιοξειδωτική ύλη, λόγω καταστροφής των αντιοξειδωτικών, και φυσικά λιγότερη υγρασία, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικά να φαίνεται σταθερή, αφού η ελάττωση του νερού δεν την αναδεικνύει ελαττούμενη, όπως είναι. Παράλληλα, οι φράουλες είχαν πλέον αλλοιωθεί σε τέτοιο βαθμό που οι φαινολικές ουσίες και η βιταμίνη C που συμβάλλουν στην αντιοξείδωση είχαν ελαττωθεί σημαντικά, η οποία ελάττωση δεν οφείλεται ούτε συσχετίζεται με τα φύλλα, έτσι οποιαδήποτε σύγκριση δε θα είχε νόημα.

Αναφορικά με τη πορεία των φραουλών, σε όλα τα πειράματα οι μεταβολές των ουσιών είναι ακριβώς όμοιες, γεγονός που επιβεβαιώνει για μια ακόμη φορά τη σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας των φαινολικών ουσιών και της αντιοξειδωτικής ισχύος. Εξαιρετικό ενδιαφέρον εμφανίζουν οι μεταβολές της σύστασης των καρπών μεταξύ της 4<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> ημέρας, συγκριτικά με τη πορεία των φύλλων. Συγκεκριμένα, ενώ η σύσταση φαινολικών των καρπών εμφανίζεται ανοδική από την 4<sup>η</sup> ως την 6<sup>η</sup> ημέρα, των φύλλων εμφανίζεται καθοδική. Αυτή η μεταβολή θα μπορούσε να δικαιολογηθεί ως μεταφορά συστατικών από τα φύλλα προς τους καρπούς, κατά τη διάρκεια συντήρησης μετά τη συγκομιδή. Ένα τέτοιο εύρημα αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό και σίγουρα αποτελεί παρότρυνση για περαιτέρω μελλοντική έρευνα πάνω στη συσχετιζόμενη μεταβολή των αντιοξειδωτικών ουσιών μεταξύ καρπών και φύλλων.

Γενικότερα, η περίοδος της 4<sup>ης</sup> μέχρι την 6<sup>η</sup> ημέρα έχει βρεθεί ότι αποτελεί κρίσιμη περίοδο μεταβολής των θρεπτικών συστατικών της φράουλας. Στην επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων προς μελέτη της μετασυλλεκτικής μεταβολής των συστατικών και αξιολόγησης του shelf life, που έγινε σε άλλη εργασία διαφορετική της παρούσας, όμως βασίστηκε στα ίδια πειράματα και μετρήσεις, βρέθηκε ότι η περίοδος

της 4<sup>ης</sup> έως 6<sup>ης</sup> ημέρας αποτελεί την ιδανικότερη για κατανάλωση του φρούτου. Αυτό αιτιολογείται καθώς έχει επέλθει μερική αποδόμηση των μεγάλων πολυσακχαριτών προς απλούστερων μορίων δηλαδή σακχάρων, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η γλυκιά γεύση στα επιθυμητά επίπεδα. Ταυτόχρονα, στη περίοδο αυτή έχουν διατηρηθεί και ακόμα υπάρχουν σημαντικές ποσότητες βιταμίνης C, η οποία αποτελεί ισχυρό αντιοξειδωτικό που όμως είναι ευοξειδωτο μόριο και σε επόμενες μέρες αλλοιώνεται και καταστρέφεται. Τέλος, όπως φαίνεται στη περίοδο αυτή λαμβάνει χώρα η τελευταία άνοδος των φαινολικών ουσιών, με επίσης αντιοξειδωτική δράση, και έτσι η φράουλα φτάνει στο peak του οργανοληπτικού και θρεπτικού της προφίλ.

Παρόμοιο συμπέρασμα της μεταφοράς αντιοξειδωτικών ουσιών από τα φύλλα προς τους καρπούς εξάγεται από έρευνα των Wang & Lin με θέμα τη σύσταση των φύλλων και καρπών σε φράουλες, blackberry και raspberry. Η μόνη διαφορά της έρευνας αυτής με τη παρούσα είναι πως οι αναλύσεις γίνονται κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας και όχι κατά τη μετασυλλεκτική περίοδο, όπου κατά τη καλλιέργεια η μεταφορά ουσιών από τα φύλλα προς τους καρπούς είναι αυτονόητη. Όμως, με ένα τέτοιο σκεπτικό θα μπορούσε να θεωρηθεί λογική και η μετασυλλεκτική μεταφορά των εναπομείνοντων συστατικών των φύλλα προς τους καρπούς. Οι ερευνητές αξιολόγησαν καρπούς και φύλλα σε διαφορετικά στάδια ωριμότητας και εξέτασαν τη μεταβολή της αντιοξειδωτικής ισχύος, των ολικών φαινολικών ενώσεων για φύλλα και καρπούς, και των ανθοκυανινών προφανώς μόνο για τους καρπούς. Διαπίστωσαν ότι κατά την ωρίμανση η αντιοξειδωτική ισχύς και η περιεκτικότητα φαινολικών ουσιών ελαττώνονται στα φύλλα, ενώ αυξάνονται στους καρπούς, όπως και οι ανθοκυανίνες, επομένως η διαπίστωση αυτή έρχεται σε συμφωνία με της παρούσας εργασίας.

Σχετικά με την έρευνά τους, κάποιες ελαττώσεις της αντιοξειδωτικής ισχύος και των ολικών φαινολικών στους καρπούς δεν έχουν σχέση με τα φύλλα και δε σχετίζονται με τη συγκεκριμένη εξέταση και συζήτηση. Αυτές οι ελαττώσεις αιτιολογούνται αφού ο καρπός σε αρχικά στάδια όταν ακόμα είναι άσπρου χρώματος έχει τεράστια περιεκτικότητα σε ελλαγικό οξύ, που ανήκει στη κατηγορία των ελλαγιταννινών και στην ευρύτερη ομάδα των ταννινών. Όσο ωριμάζει το φρούτο τόσο μειώνονται οι ελλαγιταννίνες και τόσο αυξάνονται οι ανθοκυανίνες, που ανήκουν στα φλαβονοειδή, για αυτό εγκαθίσταται σταδιακά ο κόκκινος χρωματισμός. Αυτή η μείωση των ελλαγιταννινών εμφανίζεται και ως μείωση ολικών φαινολικών ουσιών, παρά την αύξηση σε ανθοκυανίνες, ακριβώς γιατί το ελλαγικό οξύ βρισκόταν αρχικά σε μεγάλες ποσότητες, με αποτέλεσμα η μείωσή του να έχει μεγάλο αντίκτυπο. Έπειτα, ωστόσο, η αύξηση των ανθοκυανινών αποτυπώνεται και στις υπόλοιπες παραμέτρους, και έτσι παρατηρείται αύξηση στην αντιοξειδωτική ισχύ και στις ολικές φαινολικές ουσίες (Wang & Lin, 2000). Φυσικά, η παρούσα εργασία δε πραγματοποιείται διαφορετικά στάδια ωριμότητας κατά τη καλλιέργεια, αλλά διαφορετικά στάδια αλλοίωσης κατά τη μετασυλλεκτική περίοδο, έπειτα της συγκομιδής, όπου στο στάδιο αυτό έχει επέλθει σχεδόν πλήρης ανάπτυξη των ανθοκυανινών, και οι μεταβολές ακολουθούν διαφορετική βιοχημική πορεία. Επομένως, όπως στην έρευνα των Wang & Lin διαπιστώθηκε αύξηση της αντιοξειδωτικής ισχύος και φαινολικών συστατικών στις φράουλες, ενώ παράλληλα μείωσή τους στα φύλλα, έτσι και η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια τέτοια συσχέτιση μεταξύ των θρεπτικών μεταβολών φύλλων και καρπών. Φυσικά, επιτακτική κρίνεται η περαιτέρω έρευνα, καθώς οι μεταβολές της

μετασυλλεκτικής περιόδου δεν έχουν διερευνηθεί επαρκώς και σίγουρα δεν ακολουθούν παρόμοια βιοχημικά μονοπάτια με αυτά της περιόδου καλλιέργειας.

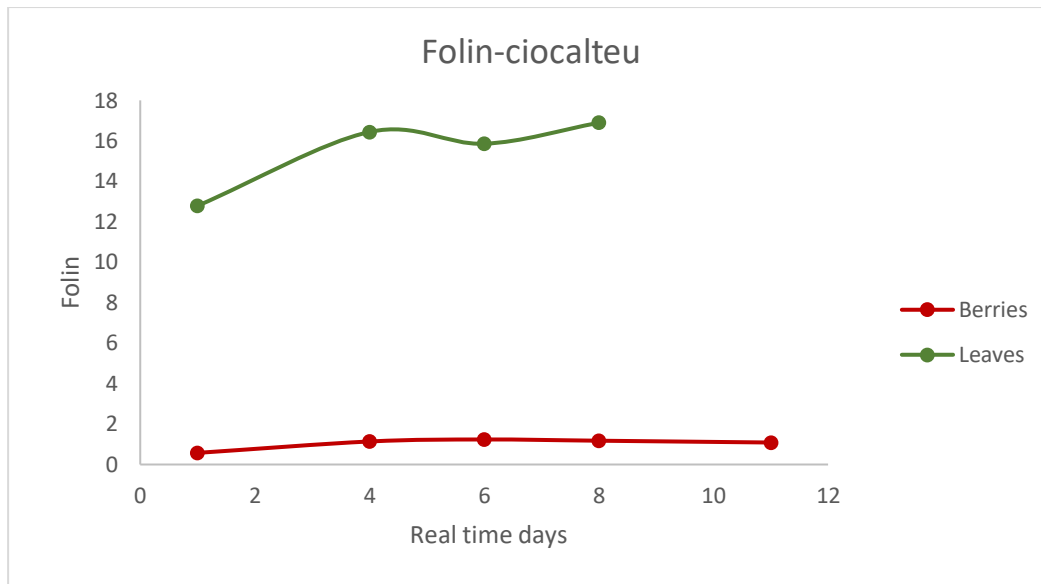
Συμπερασματικά, στη περίοδο μεταξύ της 4<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> ημέρας η συγκέντρωση των φαινολικών και η αντιοξειδωτική δραστηριότητα στη φράουλα αυξάνεται, ενώ στα φύλλα μειώνεται. Αναφορικά, με την αντιοξειδωτική δραστηριότητα της φράουλας, εμφανίζει αρχικά μια αύξηση (1<sup>η</sup>-6<sup>η</sup> ημέρα) και έπειτα μια μείωση (6<sup>η</sup>-8<sup>η</sup> ημέρα). Αυτή η αύξηση των αντιοξειδωτικών έχει αιτιολογηθεί σε βιβλιογραφικές πηγές, από ερευνητές που αναφέρουν ότι συχνά παρατηρείται αύξηση των φαινολικών ουσιών κατά την αποθήκευση των φρούτων, ειδικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες από ότι αυτές του ψυγείου. Δεν γίνεται τέτοια αναφορά ωστόσο στη βιταμίνη C, η οποία για ένα διάστημα παραμένει σταθερή και έπειτα μειώνεται. Όπως αναφέρουν οι Jin et al., οι αντιοξειδωτικές ουσίες εμφανίστηκαν αυξανόμενες σε θερμοκρασία εγγύτερα των 10°C από ότι των 0,5 °C (Jin et al., 2011) ενώ αυτό φαίνεται να στηρίζουν και άλλοι ερευνητές (Tulipani et al., 2010) (Piljac-Zegarac & Šamec, 2011). Αυτή η αύξηση, λοιπόν, που αναφέρουν πιθανώς οφείλεται στο μετα-συλλεκτικό φαινολικό μεταβολισμό ή και σε ταυτόχρονη μεταφορά ουσιών από τα φύλλα προς τους καρπούς, όπου η μεγαλύτερη θερμοκρασία θα ευνοούσε ενδεχομένως τη μεταφορά αυτή. Φυσικά, η διαπίστωση αυτή θα ήταν πιο ξεκάθαρη αν κατά την αποθήκευση των φραουλών είχαν αφαιρεθεί προηγουμένης τα φύλλα, και τότε όποια αύξηση των αντιοξειδωτικών δε θα συνεδεόταν αποκλειστικά με τη συνεισφορά των φύλλων. Αυτό αποτελεί και μια ενδιαφέρουσα ιδέα προς μελλοντική διερεύνηση. Η υγρασία προφανώς υπολογίστηκε κατά τη διάρκεια της συντήρησης των φραουλών, την 1<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup>, 6<sup>η</sup>, 8<sup>η</sup> και 11<sup>η</sup> ημέρα και παρατηρήθηκε κατά βάση αυξανόμενη, άρα συμπεραίνεται ότι αυτή η αύξηση των αντιοξειδωτικών συστατικών δεν αποτελεί φαινομενική, λόγω μειωμένης υγρασίας. Η μειωμένη υγρασία θα οδηγούσε σε μειωμένο βάρος και σε φαινομενικά μεγαλύτερη συγκέντρωση αυτής της ίδιας ποσότητας αντιοξειδωτικών ουσιών. Αυτό ωστόσο δεν είναι το ζήτημα στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Σχετικά με τα φύλλα, η συγκέντρωση σε γενικές γραμμές εμφανίζεται αυξανόμενη πιθανόν λόγω μείωσης της υγρασίας, που συνεπάγεται μείωση του ολικού βάρους και έτσι σε μικρότερο βάρος η ίδια ποσότητα αντιοξειδωτικών ουσιών αποδίδεται ως αυξανόμενη. Ωστόσο, στο διάστημα μεταξύ της 4<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> ημέρας παρατηρείται μείωση των αντιοξειδωτικών ουσιών, η οποία αρχικά θα μπορούσε να αιτιολογηθεί ως εν μέρει καταστροφή τους, όντας ευαλλοίωτες και ευοξειδωτες, και έπειτα στη περίοδο μεταξύ της 6<sup>ης</sup> και 8<sup>ης</sup> ημέρας ενδεχομένως λόγω περαιτέρω μείωσης της υγρασίας. Ωστόσο, αν αυτή η μείωση δεν είναι ολοκληρωτικά καταστροφή των ουσιών, τότε θα μπορούσε να είναι και εν μέρει μεταφορά των ουσιών προς το καρπό για τροφοδότηση, και έτσι απώλειά τους από τα φύλλα. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω ενδεχομένων είναι ο πιο πιθανός. Συνοπτικά, σίγουρα στη περίοδο μεταξύ 4<sup>ης</sup>-6<sup>ης</sup> ημέρας παρατηρείται μεγάλη απώλεια αντιοξειδωτικών στα φύλλα, είτε λόγω καταστροφής τους είτε λόγω μεταφοράς προς τις φράουλες, ή πιθανότερα λόγω συνδυασμό αυτών. Αφού στα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα πριν (1<sup>η</sup>-4<sup>η</sup> ημέρα) και μετά (6<sup>η</sup>-8<sup>η</sup> ημέρα) η περιεκτικότητα εμφανίζεται αυξανόμενη λόγω αφυδάτωσης, κάτι τέτοιο θα αναμενόταν να συμβεί και κατά τη περίοδο μεταξύ 4<sup>ης</sup>-6<sup>ης</sup> ημέρας που παρεμβάλλεται, γεγονός που αποδεικνύει τη μεγάλη απώλεια ουσιών.

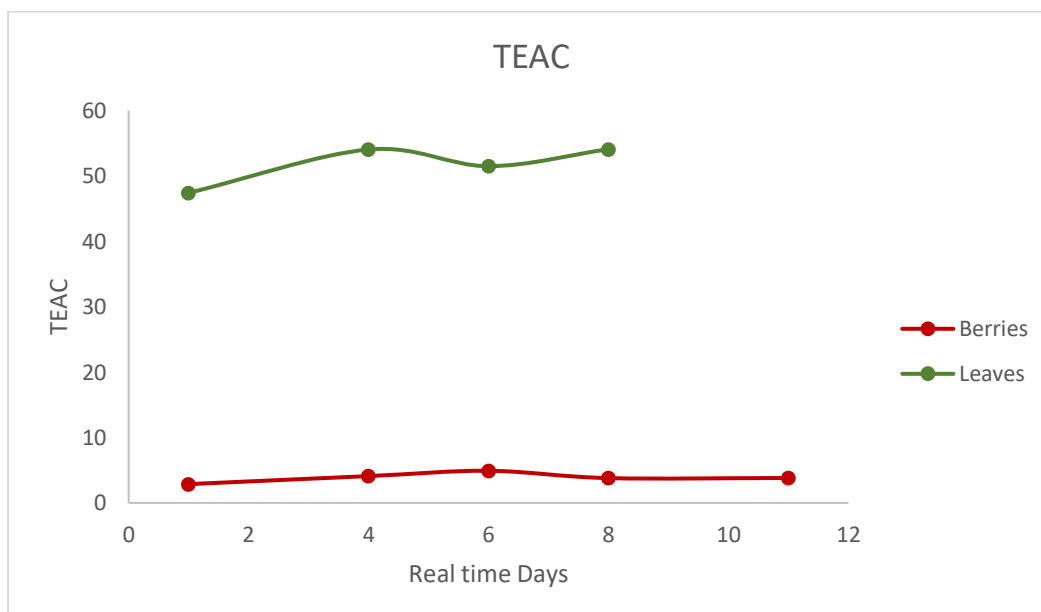
Συνοψίζοντας, στο ίδιο χρονικό διάστημα παρατηρήθηκε μείωση των ολικών φαινολικών ουσιών στα φύλλα ενώ αύξησή τους στους καρπούς, κάτι που αιτιολογείται με πολλούς τρόπους. Αρχικά, στα φύλλα πιθανή είναι η καταστροφή των αντιοξειδωτικών λόγω της ευαλλοιώτης και ευοξειδωτής φύσης τους, εξού και η μείωση, ενώ στις φράουλες πιθανή είναι η βιοχημική μετατροπή διαφορετικών πρόδρομων ουσιών σε αντιοξειδωτικές, αντίδραση που πιθανώς ευνοείται από την συγκεκριμένη θερμοκρασία, εξού και η αύξηση. Φυσικά, στη συγκεκριμένη εργασία προτείνεται έντονα το ενδεχόμενο μεταφοράς αντιοξειδωτικών από τα φύλλα προς τις φράουλες, αφού είναι γνωστός ο ρόλος τροφοδότησης που διαδραματίζουν τα φύλλα για τους καρπούς σε γενικότερα πλαίσια. Ωστόσο, η ασάφεια ενός τέτοιου συμπεράσματος υποδεικνύει μια αντίστοιχη ιδέα για μελλοντική έρευνα.

**Πίνακας 13:** Αποτελέσματα φαινολικής περιεκτικότητας (Folin-ciocalteu) και αντιοξειδωτικής δραστηριότητας (TEAC και FRAP) των φύλλων κατά τη διάρκεια συντήρησης

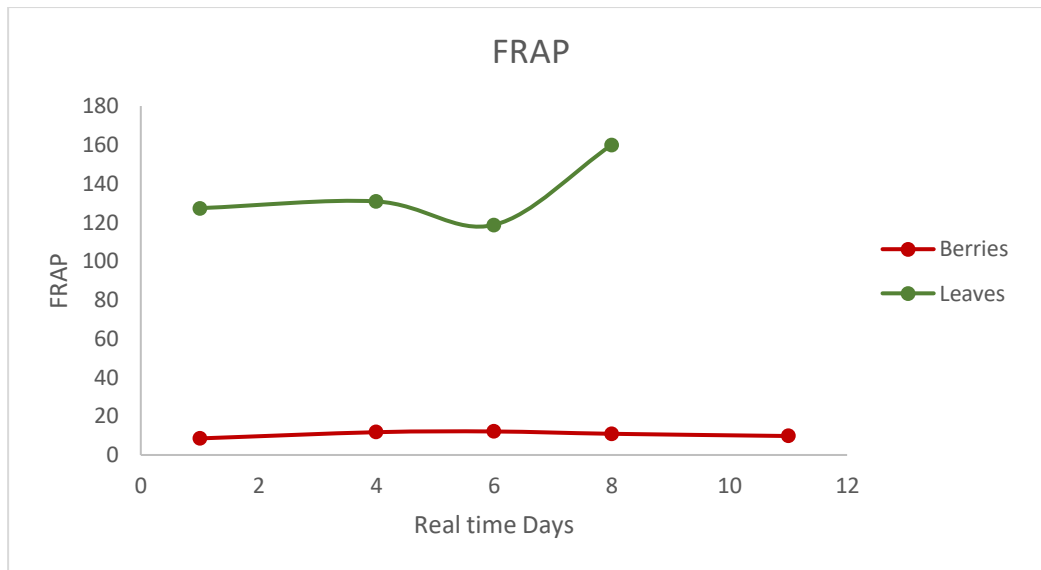
Φύλλα	Mean	S.D.
FRAP (mgFe/gFW)		
Day 1	127,32	±6,60
Day 4	130,79	±15,56
Day 6	118,70	±11,59
Day 8	159,92	±93,94
TEAC (mgTE/gFW)		
Day 1	47,42	±4,45
Day 4	54,05	±7,17
Day 6	51,50	±5,11
Day 8	54,09	±4,86
Folin (mgGAE/gFW)		
Day 1	12,79	±1,71
Day 4	16,44	±4,50
Day 6	15,86	±2,88
Day 8	16,89	±3,53



**Σχήμα 30:** Συσχέτιση μεταβολής περιεκτικότητας φαιολικών ουσιών μεταξύ των φραουλών και των φύλλων με τη μέθοδο Folin-ciocalteu



**Σχήμα 31:** Συσχέτιση μεταβολής αντιοξειδωτικής δραστηριότητας μεταξύ των φραουλών και των φύλλων με τη μέθοδο TEAC με χρήση του αντιδραστηρίου ABTS



**Σχήμα 32:** Συσχέτιση μεταβολής αντιοξειδωτικής δραστηριότητας μεταξύ των φραουλών και των φύλλων με τη μέθοδο FRAP

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, το πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας πραγματεύεται τη θεωρητική βιβλιογραφική ανασκόπηση της βοτανικής ταξινόμησης και της διατροφικής και χημικής σύστασης της φράουλας, τους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση αυτή, εστιάζοντας στη παράμετρο της ποικιλίας, και τέλος αναφέρεται στη συνεισφορά της φράουλας στην υγεία. Στο δεύτερο μέρος εξηγούνται διεξοδικά η μεθοδολογία των πειραματικών αναλύσεων και οι πειραματικές πορείες με αιτιολόγηση κάθε διαδικασίας και ξεκάθαρες οδηγίες. Οι αναλύσεις αυτές έγιναν με σκοπό την αξιολόγηση των παραμέτρων ποιότητας της ποικιλίας 'Marisol' μέσω της σύγκρισής τους με άλλων ποικιλιών, γι' αυτό και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με βιβλιογραφικά στο τμήμα της συζήτησης. Ενδιαφέρον έδειξε η παρατήρηση της μεταβολής της συγκέντρωσης των φαινολικών ουσιών και της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας των καρπών και των φύλλων τους, καθώς μια μείωση στα φύλλα και αύξηση στους καρπούς ενδεχομένως να σηματοδοτεί μεταφορά ουσιών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Όσον αφορά τις χημικές παραμέτρους η υγρασία και η ενεργότητα ύδατος δεν διαφοροποιούνται σε σημαντικό βαθμό ανάμεσα στις διαφορετικές ποικιλίες, άλλωστε αποτελούν συστατικά δευτερεύουσας σημασίας για τη ποιότητα και δεν εξετάζονται έντονα. Η υγρασία έχει υπολογιστεί περί του 80-90% κατά προσέγγιση, ανάλογα φυσικά και με το τμήμα δειγματοληψίας, καθώς η εξωτερική επιφάνεια του καρπού έχει μικρότερη ποσότητα ύδατος από ότι η εσωτερική, ενώ η  $a_w$  βρέθηκε πιο σταθερή στο 98-99%. Τα διαλυτά στερεά που γενικότερα ταυτίζονται με τα σάκχαρα βρέθηκαν μέτρια προς χαμηλά σχετικά με βιβλιογραφικές τιμές άλλων ποικιλιών, χαρακτηρίζοντας τη Marisol ως ποικιλία χαμηλή σε σάκχαρα, όπως συμφωνούν και οι Pérez-Guerrero et al.. Ωστόσο η ποικιλία καθίσταται γλυκιά λόγω της χαμηλής οξύτητας, όπως αναφέρουν και οι Pedrozo et al.. Η περιεκτικότητα της βιταμίνη C χαρακτηρίζεται ως χαμηλή όπως αναφέρουν και οι Pedrozo et al., ενώ η βιβλιογραφική τιμή που αποδίδεται από τον USDA γενικότερα για τη φράουλα σαν φρούτο είναι η τριπλάσια από την ευρισκόμενη πειραματική. Αυτό ίσως οφείλεται στον μη υπολογισμό του δεϋδροασκορβικού, αλλά μόνο του ασκορβικού οξέος, κατά τον ογκομετρικό προσδιορισμό (Pérez-Guerrero et al., 2022) (Pedrozo et al., 2022).

Αναφορικά με τις φυσικές παραμέτρους, αρχικά η σκληρότητα χαρακτηρίζεται ως μέτρια προς υψηλή, με αυτό το συμπέρασμα να συμφωνούν και οι Pedrozo et al.. Επίσης, εξετάστηκαν πολλοί παράμετροι χρώματος, εκ των οποίων ενδιαφέρει ιδιαίτερα η παράμετρος του κόκκινου δηλαδή το  $a^*$  της εξωτερικής επιφάνειας. Το  $a^*$  της Marisol συγκρινόμενο με άλλων ποικιλιών χαρακτηρίζεται μέτριο προς μικρό, αφού βρέθηκε είτε αρκετά χαμηλό σχετικά με ορισμένες ποικιλίες (Gude et al., 2021), είτε αρκετά υψηλό σχετικά με άλλες ποικιλίες (Voča et al., 2014). Σημειώνεται ότι οι Ayesha et al. συμφωνούν με την ευρισκόμενη πειραματική τιμή (Ayesha et al., 2011).

Κατά τη φασματοσκοπική εξέταση έγινε μια ποιοτική αξιολόγηση της γενικότερης σύστασης της φράουλας. Ταυτοποιήθηκαν συγκεκριμένοι δεσμοί που απορροφούν σε συγκεκριμένους κυματαριθμούς, και δεδομένου του ότι εξετάζεται φράουλα, αυτοί οι δεσμοί αντιστοιχίστηκαν στις ενώσεις στις οποίες εντοπίζονται.

Σχετικά με τις φασματοφωτομετρικές μεθόδους της Folin-ciocalteu, της TEAC με χρήση ABTS και της FRAP, τα αποτελέσματα φαινολικής περιεκτικότητας της πρώτης, και της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας των επόμενων δύο, ήταν χαμηλά, συγκριτικά με βιβλιογραφικές τιμές άλλων ποικιλιών. Συγκεκριμένα, η φαινολική περιεκτικότητα κρίθηκε χαμηλή, η αντιοξειδωτική δραστηριότητα μέσω TEAC κρίθηκε μέτρια προς χαμηλή, ενώ μέσω FRAP κρίθηκε μέτρια. Με τα ευρήματα αυτά συμφωνούν και οι Pedrozo et al. (Pedrozo et al., 2022). Σημειώνεται ότι οι Pérez-Guerrero et al. και οι Pedrozo et al. μελέτησαν ένα σύνολο ποικιλιών εκ των οποίων και η Marisol, και τα πειραματικά ευρήματα της παρούσας εργασίας ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό με τα δικά τους.

Τέλος, αποδίδεται ιδιαίτερη σημασία στην αυξομείωση φαινολικών και αντιοξειδωτικής δραστηριότητας μεταξύ των καρπών και των φύλλων τους. Πιο ειδικά, παρατηρείται μια απρόοπτη αύξηση των αντιοξειδωτικών ουσιών στις φράουλες, η οποία ενδεχομένως οφείλεται στην ελαφρώς αυξημένη θερμοκρασία συντήρησης, η οποία όπως εξηγείται και βιβλιογραφικά σε πηγές ευνοεί την αύξηση των αντιοξειδωτικών, ιδίως των φαινολικών ουσιών. Όπως είναι γνωστό, τα φυτοχημικά συστατικά είναι προϊόντα του μεταβολισμού των φυτών, έτσι ενδεχομένως η αύξηση αυτή να οφείλεται σε βιοχημική μετατροπή κάποιων αρχικών ουσιών σε φαινολικές. Ωστόσο, παρατηρώντας στο ίδιο χρονικό διάστημα την εξίσου απρόοπτη ελαττούμενη μεταβολή των αντιοξειδωτικών των φύλλων, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι ουσίες που εντοπίστηκαν αυξημένες στις φράουλες ενδεχομένως να προσφέρθηκαν εν μέρει από τα φύλλα τους μέσω μεταφοράς, αυτή η συνεισφορά μάλιστα θα μπορούσε επίσης να ευνοείται από την αυξημένη θερμοκρασία συντήρησης στο κλίβανο. Όμως, η μείωση των αντιοξειδωτικών στα φύλλα θα μπορούσε να είναι και αποτέλεσμα αλλοίωσης και οξείδωσης τους, επομένως καταστροφή με αποτέλεσμα τη μείωσή τους, ενώ θα μπορούσε να είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω, δηλαδή εν μέρει καταστροφή και εν μέρει μεταφορά τους προς τους καρπούς. Ενδιαφέρον θα είχε λοιπόν η διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας βασισμένης στο συγκεκριμένο θέμα, με εξέταση της εξέλιξης των ουσιών αυτών σε φράουλες χωρίς τα φύλλα τους, με σκοπό την αξιολόγηση του βαθμού συσχέτισης της αύξηση αντιοξειδωτικών στις φράουλες, και της μείωσής τους στα φύλλα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 *Παρότρυνση για μελλοντική έρευνα*

Αρχικά, στα πλαίσια της θεωρητικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης προκύπτουν οι προτάσεις μελλοντικής περαιτέρω διερεύνησης περισσότερων ποικιλιών και η εύρεση αυτών με τα μέγιστα επιθυμητά χαρακτηριστικά προς σύσταση στους παραγωγούς και στα προγράμματα διασταύρωσης. Παράλληλα, σκόπιμη κρίνεται η διερεύνηση των βέλτιστων κλιματολογικών συνθηκών και καλλιεργητικών εφαρμογών και η αξιολόγησή τους με βάση την επίδραση στη θρεπτική σύσταση, και τέλος η εύρεση της καλύτερης διάρκειας παραμονής του φρούτου στο χωράφι. Γενικότερα, λοιπόν, συνιστάται έντονα η διερεύνηση των παραγόντων επίδρασης στη θρεπτική σύσταση της φράουλας, καθότι παρόλο που ο παράγοντας της ποικιλίας διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο, ωστόσο οι δευτερεύοντες παράγοντες φαίνεται να επηρεάζουν κρίσιμα και στατιστικώς σημαντικά τη σύσταση.

Στα πλαίσια του πειραματικού μέρους, μέσα από τη σύγκριση των παραμέτρων ποιότητας της Marisol με άλλες ποικιλίες προκύπτει το εύλογο ερώτημα για το ποια ποικιλία χαρακτηρίζεται από βέλτιστα χαρακτηριστικά. Φυσικά γίνονται άπειρες έρευνες σύγκρισης ποικιλιών και ήδη προτείνονται συγκεκριμένες ποικιλίες στους παραγωγούς προς καλλιέργεια φρούτων με μέγιστες παραμέτρους ποιότητας. Ήδη τα προγράμματα διασταυρώσεων λαμβάνουν υπόψη και εκμεταλλεύονται ποικιλίες που εμφανίζουν βέλτιστα προτιμητέα χαρακτηριστικά, είτε αυτά είναι αυξημένη γευστικότητα και άρα γλυκύτητα, ευχάριστη και έντονη οσμή και άρα συγκέντρωση πτητικών συστατικών, καλύτερη εμφάνιση δηλαδή αυξημένη ένταση κόκκινου χρωματισμού ή φράουλες μεγαλύτερου μεγέθους, παράμετροι που αποτελούν βασικά οργανοληπτικά κριτήρια επιλογής του φρούτου από τους καταναλωτές, ωστόσο ρόλο διαδραματίζει και η θρεπτικότητα δηλαδή η αυξημένη περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικές ουσίες όπως οι φαινολικές και η βιταμίνη C. Ωστόσο, η έρευνα βασισμένη στο θέμα αυτό πάντα οφείλει να συνεχίζεται με σκοπό τη κατάρριψη παλαιών λανθασμένων ευρημάτων και την επιβεβαίωση και εξέλιξη ήδη σωστών υπαρχόντων.

Εκτός της σύγκρισης των παραμέτρων ποιότητας της Marisol με άλλων ποικιλιών, η παρούσα εργασία εστίασε σημαντικά στη συσχετιζόμενη μεταβολή μεταξύ των φαινολικών ουσιών και της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας των καρπών και των φύλλων τους, κατά τη μετασυλλεκτική περίοδο. Έγινε η υπόθεση και διεξάχθη το συμπέρασμα της πιθανής μεταφοράς ουσιών από τα φύλλα στους καρπούς, λόγω της παρατηρούμενης μείωσης των αντιοξειδωτικών στα φύλλα και αύξησης στις φράουλες, πέραν των άλλων ερμηνειών που δόθηκαν. Θα είχε λοιπόν τεράστιο ενδιαφέρον η διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος, και μάλιστα η συντήρηση των φραουλών αυτή τη φορά χωρίς τα φύλλα τους. Αν η αφαίρεση των φύλλων πριν τη τοποθέτηση των φραουλών στο κλίβανο, οδηγεί πάλι στην ίδια αύξηση των αντιοξειδωτικών στις φράουλες, αυτό θα σημαίνει ότι οι μεταβολές των αντιοξειδωτικών δεν είναι συσχετιζόμενες.

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

CRP (C-Reactive Protein)

DCPIP (2,6-διχλωροφαινυλινδοφαινόλη)

CV (Convection Drying)

%DV (% Daily Value)

ECG ((-)-Epicatechin-3-gallate ή (-)-επικατεχίνη-3-γαλλική)

EGCG ((-)-Epigallocatechin-3-gallate ή (-)-επιγαλλοκατεχίνη-3-γαλλική)

ETs (Ellagitannins)

FD (Freeze Drying)

FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

FW (Fresh Weight)

GA (Gallic Acid)

GAE (Gallic Acid Equivalent)

GH (Glass GreenHouse)

HDL-χοληστερόλης (High Density Lipoprotein cholesterol)

HHDP (galloulbis-hexahydroxydiphenoyl-glucose)

HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

LDL-χοληστερόλη (Low Density Lipoprotein cholesterol)

MUFA (Monounsaturated Fatty Acids)

OF (Open Field)

ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)

PT (Plastic Tunnel greenhouse)

PUFA (Polyunsaturated Fatty Acids)

RAE (Retinol Activity Equivalent)

SD (Standard Deviation)

SFA (Saturated Fatty Acids)

TAC (Total Antioxidant Capacity)

TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)

TTA (Total Titratable Acidity)

TTS (Total Soluble Solids)

USDA (United States Department of Agriculture)

VD (Vacuum Drying)

VMD (Vacuum Microwave Drying)

VOCs (Volatile Organic Compounds)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική Βιβλιογραφία

Αναστασιάδου, Ρ. (2015). Υδροπονία και περιβάλλον.

Καρβούνα, Κ. (2021). In vitro μελέτη διατροφικής αξίας και αντιοξειδωτικής δράσης, διαφόρων κόκκινων φρούτων (κεράσι, φράουλα κ. α.), των υποπροϊόντων τους.

Λαδίκια, Γ. (2023). Μελέτη Ωρίμανσης Φράουλας. MSc Thesis.

### Ξένη Βιβλιογραφία

Aaby, K., Mazur, S., Nes, A., & Skrede, G. (2012). Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. *Food chemistry*, 132(1), 86-97.

Akhatou, I., & Fernández-Recamales, A. (2014). Nutritional and nutraceutical quality of strawberries in relation to harvest time and crop conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(25), 5749-5760.

Alvarez-Suarez, J. M., Mazzoni, L., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparri, M., Sabbadini, S., & Giampieri, F. (2014). The effects of pre-harvest and post-harvest factors on the nutritional quality of strawberry fruits: A review. *Journal of Berry Research*, 4(1), 1-10.

Andreou, V., Strati, I. F., Fotakis, C., Liouni, M., Zoumpoulakis, P., & Sinanoglou, V. J. (2018). Herbal distillates: A new era of grape marc distillates with enriched antioxidant profile. *Food Chemistry*, 253, 171-178.

Anttonen, M. J., Hoppula, K. I., Nestby, R., Verheul, M. J., & Karjalainen, R. O. (2006). Influence of fertilization, mulch color, early forcing, fruit order, planting date, shading, growing environment, and genotype on the contents of selected phenolics in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(7), 2614-2620.

Antunes, L. E. C., Ristow, N. C., Krolow, A. C. R., Carpenedo, S., & Reisser Júnior, C. (2010). Yield and quality of strawberry cultivars. *Horticultura Brasileira*, 28, 222-226.

Asami, D. K., Hong, Y. J., Barrett, D. M., & Mitchell, A. E. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(5), 1237-1241.

- Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & González-Aguilar, G. A. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *LWT-Food Science and Technology*, *37*(7), 687-695.
- Ayesha, R., Fatima, N., Ruqayya, M., Qureshi, K. M., Hafiz, I. A., Khan, K. S., & Kamal, A. (2011). Influence of different growth media on the fruit quality and reproductive growth parameters of strawberry (*Fragaria ananassa*). *Journal of Medicinal Plants Research*, *5*(26), 6224-6232.
- Azzini, E., Intorre, F., Vitaglione, P., Napolitano, A., Foddai, M. S., Durazzo, A., ... & Maiani, G. (2010). Absorption of strawberry phytochemicals and antioxidant status changes in humans. *Journal of Berry Research*, *1*(2), 81-89.
- Basu, A., Fu, D. X., Wilkinson, M., Simmons, B., Wu, M., Betts, N. M., Du, M., and Lyons, T. J. (2010). Strawberries decrease atherosclerotic markers in subjects with metabolic syndrome. *Nutr. Res.* *30*:462–469.
- Basu, A., Nguyen, A., Betts, N. M., & Lyons, T. J. (2014). Strawberry as a functional food: an evidence-based review. *Critical reviews in food science and nutrition*, *54*(6), 790-806.
- Benzie, I. F., & Choi, S. W. (2014). Antioxidants in food: content, measurement, significance, action, cautions, caveats, and research needs. *Advances in food and nutrition research*, *71*, 1-53.
- Bridle, P., & García-Viguera, C. (1997). Analysis of anthocyanins in strawberries and elderberries. A comparison of capillary zone electrophoresis and HPLC. *Food Chemistry*, *59*(2), 299-304.
- Buendia, B., Gil, M. I., Tudela, J. A., Gady, A. L., Medina, J. J., Soria, C., ... & Tomás-Barberán, F. A. (2010). HPLC-MS analysis of proanthocyanidin oligomers and other phenolics in 15 strawberry cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(7), 3916-3926.
- Burton-Freeman, B., Linares, A., Hyson, D., & Kappagoda, T. (2010). Strawberry modulates LDL oxidation and postprandial lipemia in response to high-fat meal in overweight hyperlipidemic men and women. *Journal of the American College of Nutrition*, *29*(1), 46-54.
- Carlton, P. S., Kresty, L. A., Siglin, J. C., Morse, M. A., Lu, J., Morgan, C., & Stoner, G. D. (2001). Inhibition of N-nitrosomethylbenzylamine-induced tumorigenesis in the rat esophagus by dietary freeze-dried strawberries. *Carcinogenesis*, *22*(3), 441-446.
- Capocasa, F., Scalzo, J., Mezzetti, B., & Battino, M. (2008). Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype. *Food Chemistry*, *111*(4), 872-878.
- Cassidy, A., Mukamal, K. J., Liu, L., Franz, M., Eliassen, A. H., & Rimm, E. B. (2013). High anthocyanin intake is associated with a reduced risk of myocardial infarction in young and middle-aged women. *Circulation*, *127*(2), 188-196.

- Cassidy, A., O'Reilly, É. J., Kay, C., Sampson, L., Franz, M., Forman, J. P., ... & Rimm, E. B. (2011). Habitual intake of flavonoid subclasses and incident hypertension in adults. *The American journal of clinical nutrition*, 93(2), 338-347.
- Cheplick, S., Kwon, Y. I., Bhowmik, P., & Shetty, K. (2010). Phenolic-linked variation in strawberry cultivars for potential dietary management of hyperglycemia and related complications of hypertension. *Bioresource Technology*, 101(1), 404-413.
- Chun, O. K., Chung, S. J., Claycombe, K. J., & Song, W. O. (2008). Serum C-reactive protein concentrations are inversely associated with dietary flavonoid intake in US adults. *The Journal of nutrition*, 138(4), 753-760.
- Cordenunsi, B. R., Oliveira do Nascimento, J. R., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2002). Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(9), 2581-2586.
- Crespo, P., Bordonaba, J. G., Terry, L. A., & Carlen, C. (2010). Characterisation of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. *Food Chemistry*, 122(1), 16-24.
- Da Silva Pinto, M., de Carvalho, J. E., Lajolo, F. M., Genovese, M. I., & Shetty, K. (2010). Evaluation of antiproliferative, anti-type 2 diabetes, and antihypertension potentials of ellagitannins from strawberries (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) using in vitro models. *Journal of Medicinal Food*, 13(5), 1027-1035.
- Da Silva Pinto, M., Kwon, Y. I., Apostolidis, E., Lajolo, F. M., Genovese, M. I., & Shetty, K. (2008). Functionality of bioactive compounds in Brazilian strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivars: evaluation of hyperglycemia and hypertension potential using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4386-4392.
- Dreiseitel, A., Korte, G., Schreier, P., Oehme, A., Locher, S., Domani, M., ... & Sand, P. G. (2009). Berry anthocyanins and their aglycons inhibit monoamine oxidases A and B. *Pharmacological Research*, 59(5), 306-311.
- Duchesne, A. N. (1766). *Histoire naturelle des fraisières: contenant les vues d'économieréunies à la botanique; & suivie de remarques particulières sur plusieurs points qui ont rapport à l'histoire naturelle générale.* chez Didot le jeune.
- Duthie, S. J. (2007). Berry phytochemicals, genomic stability and cancer: evidence for chemoprotection at several stages in the carcinogenic process. *Molecular nutrition & food research*, 51(6), 665-674.
- Edirisinghe, I., Banaszewski, K., Cappozzo, J., Sandhya, K., Ellis, C. L., Tadapaneni, R., ... & Burton-Freeman, B. M. (2011). Strawberry anthocyanin and its association with postprandial inflammation and insulin. *British journal of nutrition*, 106(6), 913-922.
- Erlund, I., Koli, R., Alfthan, G., Marniemi, J., Puukka, P., Mustonen, P., ... & Jula, A. (2008). Favorable effects of berry consumption on platelet function, blood pressure, and HDL cholesterol. *The American journal of clinical nutrition*, 87(2), 323-331.

- Ferreira, R. M., Viña, S. Z., Mugridge, A., & Chaves, A. R. (2007). Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. *Scientia Horticulturae*, 112(1), 27-32.
- Freedman, N. D., Park, Y., Subar, A. F., Hollenbeck, A. R., Leitzmann, M. F., Schatzkin, A., & Abnet, C. C. (2007). Fruit and vegetable intake and esophageal cancer in a large prospective cohort study. *International journal of cancer*, 121(12), 2753-2760.
- Ganhão, R., Pinheiro, J., Tino, C., Faria, H., & Gil, M. M. (2019). Characterization of nutritional, physicochemical, and phytochemical composition and antioxidant capacity of three strawberry “Fragaria× ananassa Duch.” cultivars (“Primoris”, “Endurance”, and “Portola”) from Western Region of Portugal. *Foods*, 8(12), 682.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9-19.
- Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 54(12), 4284-4296.
- Gude, K., Stanley, H., Rivard, C. L., Cunningham, B., Kang, Q., & Pliakoni, E. D. (2021). Quality of day-neutral strawberries grown in a high tunnel system. *Scientia Horticulturae*, 275, 109726.
- Gündüz, K. (2016). Strawberry: Phytochemical composition of strawberry (Fragaria× ananassa). In *Nutritional composition of fruit cultivars* (pp. 733-752). Academic Press.
- Gündüz, K., & Özdemir, E. (2014). The effects of genotype and growing conditions on antioxidant capacity, phenolic compounds, organic acid and individual sugars of strawberry. *Food chemistry*, 155, 298-303.
- Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li, Y., Xu, J., & Jiang, Y. (2003). Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutrition research*, 23(12), 1719-1726.
- Hakala, M., Tahvonen, R., Huopalahti, R., & Lapveteläinen, A. (2000, July). Quality factors of Finnish strawberries. In *IV International Strawberry Symposium 567* (pp. 727-730).
- Häkkinen, S. H., & Törrönen, A. R. (2000). Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and Vaccinium species: influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food research international*, 33(6), 517-524.
- Halvorsen, B. L., Holte, K., Myhrstad, M. C., Barikmo, I., Hvattum, E., Remberg, S. F., ... & Blomhoff, R. (2002). A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *The Journal of nutrition*, 132(3), 461-471.

- Han, C., Ding, H., Casto, B., Stoner, G. D., & D'Ambrosio, S. M. (2005). Inhibition of the growth of premalignant and malignant human oral cell lines by extracts and components of black raspberries. *Nutrition and cancer*, *51*(2), 207-217.
- Hannum, S. M. (2004). Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. *Critical reviews in food science and nutrition*, *44*(1), 1-17.
- Hartmann, A., Patz, C. D., Andlauer, W., Dietrich, H., & Ludwig, M. (2008). Influence of processing on quality parameters of strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(20), 9484-9489.
- Henning, S. M., Seeram, N. P., Zhang, Y., Li, L., Gao, K., Lee, R. P., ... & Heber, D. (2010). Strawberry consumption is associated with increased antioxidant capacity in serum. *Journal of Medicinal Food*, *13*(1), 116-122.
- Hummer, K. E., Bassil, N., & Njuguna, W. (2011). *Fragaria*. In *Wild crop relatives: Genomic and breeding resources* (pp. 17-44). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Iqbal, R., Anand, S., Ounpuu, S., Islam, S., Zhang, X., Rangarajan, S., ... & Yusuf, S. (2008). Dietary patterns and the risk of acute myocardial infarction in 52 countries: results of the INTERHEART study. *Circulation*, *118*(19), 1929-1937.
- Jiménez-Escrig, A., Santos-Hidalgo, A. B., & Saura-Calixto, F. (2006). Common sources and estimated intake of plant sterols in the Spanish diet. *Journal of agricultural and food chemistry*, *54*(9), 3462-3471.
- Jin, P., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & Zheng, Y. (2011). Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries. *Food chemistry*, *124*(1), 262-270.
- Joseph, J. A., Shukitt-Hale, B., Denisova, N. A., Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., ... & Bickford, P. C. (1998). Long-term dietary strawberry, spinach, or vitamin E supplementation retards the onset of age-related neuronal signal-transduction and cognitive behavioral deficits. *Journal of Neuroscience*, *18*(19), 8047-8055.
- Joseph, J. A., Shukitt-Hale, B., & Willis, L. M. (2009). Grape juice, berries, and walnuts affect brain aging and behavior. *The Journal of nutrition*, *139*(9), 1813S-1817S.
- Kafkas, E., Koşar, M., Paydaş, S., Kafkas, S., & Başer, K. H. C. (2007). Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. *Food chemistry*, *100*(3), 1229-1236.
- Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., & Heinonen, M. (2001). Berry phenolics and their antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, *49*(8), 4076-4082.
- Kajdžanoska, M., Petreska, J., & Stefova, M. (2011). Comparison of different extraction solvent mixtures for characterization of phenolic compounds in strawberries. *Journal of agricultural and food chemistry*, *59*(10), 5272-5278.



- Keskin, M., Sekerli, Y. E., & Gunduz, K. (2018). Influence of leaf water content on the prediction of nutrient stress in strawberry leaves using chromameter. *Int. J. Agric. Biol.*, 20, 2103-2109.
- Klopotek, Y., Otto, K., & Böhm, V. (2005). Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins, and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5640-5646.
- Kosar, M., Kafkas, E., Paydas, S., & Baser, K. H. C. (2004). Phenolic composition of strawberry genotypes at different maturation stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(6), 1586-1589.
- Kurotobi, T., Fukuhara, K., Inage, H., & Kimura, S. (2010). Glycemic index and postprandial blood glucose response to Japanese strawberry jam in normal adults. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 56(3), 198-202.
- Lantzouraki, D. Z., Sinanoglou, V. J., Zoumpoulakis, P. G., Glamočlija, J., Ćirić, A., Soković, M., ... & Proestos, C. (2015). Antiradical–antimicrobial activity and phenolic profile of pomegranate (*Punica granatum* L.) juices from different cultivars: a comparative study. *Rsc Advances*, 5(4), 2602-2614.
- Lantzouraki, D. Z., V. J. Sinanoglou, P. Zoumpoulakis, and C. Proestos. 2016. Characterization of the antioxidant and antiradical activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) extracts. *Analytical Letters* 49 (7):969–78.
- Losso, J. N., Bansode, R. R., Trappey II, A., Bawadi, H. A., & Truax, R. (2004). In vitro anti-proliferative activities of ellagic acid. *The Journal of nutritional biochemistry*, 15(11), 672-678.
- Malik, A., & Mukhtar, H. (2006). Prostate cancer prevention through pomegranate fruit. *Cell cycle (Georgetown, Tex.)*, 5(4), 371-373.
- Mancini, M., Mazzoni, L., Gagliardi, F., Balducci, F., Duca, D., Toscano, G., ... & Capocasa, F. (2020). Application of the non-destructive NIR technique for the evaluation of strawberry fruits quality parameters. *Foods*, 9(4), 441.
- Marangoni, F., & Poli, A. (2010). Phytosterols and cardiovascular health. *Pharmacological Research*, 61(3), 193-199.
- Ménager, I., Jost, M., & Aubert, C. (2004). Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (Cv. Cigaline) during maturation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(5), 1248-1254.
- Meyers, K. J., Watkins, C. B., Pritts, M. P., & Liu, R. H. (2003). Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(23), 6887-6892.
- Michalska, A., Carlen, C., Heritier, J., & Andlauer, W. (2017). Profiles of bioactive compounds in fruits and leaves of strawberry cultivars. *Journal of Berry Research*, 7(2), 71-84.

- Mink, P. J., Scrafford, C. G., Barraji, L. M., Harnack, L., Hong, C. P., Nettleton, J. A., & Jacobs Jr, D. R. (2007). Flavonoid intake and cardiovascular disease mortality: a prospective study in postmenopausal women. *The American journal of clinical nutrition*, 85(3), 895-909.
- Montero, T. M., Mollá, E. M., Esteban, R. M., & López-Andréu, F. J. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65(4), 239-250.
- Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., & Serra, J. A. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33(7), 609-616.
- Naik, PK, Dhuri, RB, Swain, BK, & Singh, NP (2012). Τα θρεπτικά συστατικά αλλάζουν με την ανάπτυξη του υδροπονικού κτηνοτροφικού αραβοσίτου. *Indian Journal of Animal Nutrition* , 29 (2), 161-163.
- Ngo, T., Wrolstad, R. E., & Zhao, Y. (2007). Color quality of Oregon strawberries—impact of genotype, composition, and processing. *Journal of food science*, 72(1), C025-C032.
- Paparozzi, E. T., Meyer, G. E., Schlegel, V., Blankenship, E. E., Adams, S. A., Conley, M. E., ... & Read, P. E. (2018). Strawberry cultivars vary in productivity, sugars and phytonutrient content when grown in a greenhouse during the winter. *Scientia Horticulturae*, 227, 1-9.
- Parra-Palma, C., Morales-Quintana, L., & Ramos, P. (2020). Phenolic content, color development, and pigment– related gene expression: A comparative analysis in different cultivars of strawberry during the ripening process. *Agronomy*, 10(4), 588.
- Parra-Palma, C., Úbeda, C., Gil, M., Ramos, P., Castro, R. I., & Morales-Quintana, L. (2019). Comparative study of the volatile organic compounds of four strawberry cultivars and its relation to alcohol acyltransferase enzymatic activity. *Scientia Horticulturae*, 251, 65-72.
- Pattison, J. A. (2011). Breeding for fruit quality in strawberry. *Breeding for Fruit Quality*, 231-246.
- Pedrozo, P., Vicente, E., Moltini, A., Ibañez, F., Lado, B., Fariña, L., ... & Lado, J. (2022). Integral Quality of Six Strawberry Genotypes in Contrasting Harvest Dates. Available at SSRN 4248127.
- Pérez-Guerrero, S., Avivar, L., Cruz, O., & Molina, J. M. (2022). Susceptibility of sixteen strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) cultivars to *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931)(Diptera: Drosophilidae) in Southwestern Spain. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(1).
- Piljac-Žegarac, J., & Šamec, D. (2011). Antioxidant stability of small fruits in postharvest storage at room and refrigerator temperatures. *Food Research International*, 44(1), 345-350.
- Pincemail, J., Kevers, C., Tabart, J., Defraigne, J. O., & Dommes, J. (2012). Cultivars, culture conditions, and harvest time influence phenolic and ascorbic acid contents and

antioxidant capacity of strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Journal of Food Science*, 77(2), C205-C210.

Pineli, L. D. L., Moretti, C. L., Rodrigues, J. S., Ferreira, D. B., & Chiarello, M. D. (2012). Variations in antioxidant properties of strawberries grown in Brazilian savannah and harvested in different seasons. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(4), 831-838.

Prior, R. L., Gu, L., Wu, X., Jacob, R. A., Sotoudeh, G., Kader, A. A., & Cook, R. A. (2007). Plasma antioxidant capacity changes following a meal as a measure of the ability of a food to alter in vivo antioxidant status. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(2), 170-181.

Qin, Y., Xia, M., Ma, J., Hao, Y., Liu, J., Mou, H., ... & Ling, W. (2009). Anthocyanin supplementation improves serum LDL-and HDL-cholesterol concentrations associated with the inhibition of cholesteryl ester transfer protein in dyslipidemic subjects. *The American journal of clinical nutrition*, 90(3), 485-492.

Rabin, B. M., Joseph, J. A., & Shukitt-Hale, B. (2005). Effects of age and diet on the heavy particle-induced disruption of operant responding produced by a ground-based model for exposure to cosmic rays. *Brain research*, 1036(1-2), 122-129.

Rahman, M. M., Moniruzzaman, M., Ahmad, M. R., Sarker, B. C., & Alam, M. K. (2014). Maturity stages affect the postharvest quality.

Raudonis, R., Raudone, L., Jakstas, V., & Janulis, V. (2012). Comparative evaluation of post-column free radical scavenging and ferric reducing antioxidant power assays for screening of antioxidants in strawberries. *Journal of Chromatography A*, 1233, 8-15.

Scalzo, J., Battino, M., Costantini, E., & Mezzetti, B. (2005a). Breeding and biotechnology for improving berry nutritional quality. *Biofactors*, 23(4), 213-220.

Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B., & Battino, M. (2005b). Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, 21(2), 207-213.

Schmidt, B. M., Erdman Jr, J. W., & Lila, M. A. (2006). Differential effects of blueberry proanthocyanidins on androgen sensitive and insensitive human prostate cancer cell lines. *Cancer letters*, 231(2), 240-246.

Schöpplein, E., Krüger, E., Rechner, A., & Hoberg, E. (2000, July). Analytical and sensory qualities of strawberry cultivars. In *IV International Strawberry Symposium* 567 (pp. 805-808).

Seeram, N. P. (2008). Berry fruits for cancer prevention: current status and future prospects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 630-635.

Seeram, N. P., Adams, L. S., Zhang, Y., Lee, R., Sand, D., Scheuller, H. S., & Heber, D. (2006). Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells in vitro. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(25), 9329-9339.

- Sesso, H. D., Gaziano, J. M., Jenkins, D. J., & Buring, J. E. (2007). Strawberry intake, lipids, C-reactive protein, and the risk of cardiovascular disease in women. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(4), 303-310.
- Sharpe, S. M., Boyd, N. S., Dittmar, P. J., MacDonald, G. E., Darnell, R. L., & Ferrell, J. A. (2018). Spray penetration into a strawberry canopy as affected by canopy structure, nozzle type, and application volume. *Weed Technology*, 32(1), 80-84.
- Siegel, E. M., Salemi, J. L., Villa, L. L., Ferenczy, A., Franco, E. L., & Giuliano, A. R. (2010). Dietary consumption of antioxidant nutrients and risk of incident cervical intraepithelial neoplasia. *Gynecologic oncology*, 118(3), 289-294.
- Stoner, G. D., Wang, L. S., & Casto, B. C. (2008). Laboratory and clinical studies of cancer chemoprevention by antioxidants in berries. *Carcinogenesis*, 29(9), 1665-1674.
- Stokes, K. Y., Cooper, D., Taylor, A., & Granger, D. N. (2002). Hypercholesterolemia promotes inflammation and microvascular dysfunction: role of nitric oxide and superoxide. *Free Radical Biology and Medicine*, 33(8), 1026-1036.
- Törrönen, R., & Määttä, K. (2000, July). Bioactive substances and health benefits of strawberries. In *IV International Strawberry Symposium 567* (pp. 797-803).
- Tsao, R., Yang, R., Socknovie, E., Zhou, T., & Dale, A. (2002, August). Antioxidant phytochemicals in cultivated and wild Canadian strawberries. In *XXVI International Horticultural Congress: Berry Crop Breeding, Production and Utilization for a New Century 626* (pp. 25-35).
- Tulipani, S., Marzban, G., Herndl, A., Laimer, M., Mezzetti, B., & Battino, M. (2011). Influence of environmental and genetic factors on health-related compounds in strawberry. *Food Chemistry*, 124(3), 906-913.
- Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, J., De Vos, C. R., ... & Battino, M. (2008). Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 56(3), 696-704.
- Tulipani, S., Romandini, S., Capocasa, F., Mezzetti, B., & Battino, M. (2010). The Nutritional Quality of Strawberries (*Fragaria x ananassa*) after Short-refrigeration: Genetic Influences.
- Urün, I., Attar, S. H., Sönmez, D. A., Gündeşli, M. A., Ercişli, S., Kafkas, N. E., ... & Duralija, B. (2021). Comparison of polyphenol, sugar, organic acid, volatile compounds, and antioxidant capacity of commercially grown strawberry cultivars in Turkey. *Plants*, 10(8), 1654.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 39(1), 44-84.

- Voća, S., Šic Žlabur, J., Dobričević, N., Jakobek, L., Šeruga, M., Galić, A., & Pliestić, S. (2014). Variation in the bioactive compound content at three ripening stages of strawberry fruit. *Molecules*, *19*(7), 10370-10385.
- Wang, H., Cao, G., & Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, *44*(3), 701-705.
- Wang, S. Y., & Lin, H. S. (2000). Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *Journal of agricultural and food chemistry*, *48*(2), 140-146.
- Wang, S. Y., & Millner, P. (2009). Effect of different cultural systems on antioxidant capacity, phenolic content, and fruit quality of strawberries (*fragaria* × *aranassa* duch.). *Journal of agricultural and food chemistry*, *57*(20), 9651-9657.
- Wojdyło, A., Figiel, A., & Oszmianski, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, *57*(4), 1337-1343.
- Wolever, T. M., Tosh, S. M., Gibbs, A. L., Brand-Miller, J., Duncan, A. M., Hart, V., ... & Wood, P. J. (2010). Physicochemical properties of oat β-glucan influence its ability to reduce serum LDL cholesterol in humans: a randomized clinical trial. *The American journal of clinical nutrition*, *92*(4), 723-732.
- Xue, H., Aziz, R. M., Sun, N., Cassady, J. M., Kamendulis, L. M., Xu, Y., ... & Klaunig, J. E. (2001). Inhibition of cellular transformation by berry extracts. *Carcinogenesis*, *22*(2), 351-356.
- Zhang, Y., Seeram, N. P., Lee, R., Feng, L., & Heber, D. (2008). Isolation and identification of strawberry phenolics with antioxidant and human cancer cell antiproliferative properties. *Journal of agricultural and food chemistry*, *56*(3), 670-675.
- Zhu, H., Chen, M., Wen, Q., & Li, Y. (2015). Isolation and characterization of the carotenoid biosynthetic genes LCYB, LCYE and CHXB from strawberry and their relation to carotenoid accumulation. *Scientia Horticulturae*, *182*, 134-144.

## Ιστοσελίδες

<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/?query=strawberry> (Πρόσβαση 9/11/2022)

<https://nutritiondata.self.com/facts/fruits-and-fruit-juices/2064/2> (Πρόσβαση 9/11/2022)