



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**‘Συγκριτική μελέτη φυτών της οικογένειας Brassicaceae
(Cruciferae) ως προς τη φυτοχημική σύσταση και την
αντιοξειδωτική τους δράση’**

MSc Thesis

**‘A comparative study on phytochemical composition and antioxi-
dant activity of plants of the Brassicaceae (Cruciferae) family’**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Όλγα Στατίλκο

Olga Statilko

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Ειρήνη Στρατή

Eirini Strati

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2024



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

Master of Science
FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc THESIS

‘A comparative study on phytochemical composition and antioxidant activity of plants of the Brassicaceae (Cruciferae) family’

Olga Statilko

22024

ollistat@gmail.com

SUPERVISOR

Eirini Strati

AIGALEO 2024

Επιτροπή Αξιολόγησης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο 'Συγκριτική μελέτη φυτών της οικογένειας Brassicaceae (Cruciferae) ως προς τη φυτοχημική σύσταση και την αντιοξειδωτική τους δράση' που παρουσιάστηκε από τον ή την Στατίλκο Όλγα, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

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

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Στατίλκο Όλγα του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 22024, φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (Π.Μ.Σ.) «ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ» του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Επιστημών Τροφίμων, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την 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 μένα 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».

Ο/Η Δηλών/ούσα

Στατίλκο Όλγα



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα και Επίκουρη Καθηγήτρια, Δρ. Στρατή Ειρήνη, για την πολύτιμη στήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συνεργασία μας και η εμπιστοσύνη που μου έδειξε αποτέλεσαν σπουδαίο κίνητρο για τη συνέχεια της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Για την στήριξη και τη βοήθεια που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την Εντεταλμένη Διδάσκουσα Δρ. Τσιάκα Θάλεια, τον Επίκουρο Καθηγητή Δρ. Κοντελέ Σπυρίδωνα, καθώς και τους Υποψήφιους Διδάκτορες του Τμήματος Γεωργία Λαδίκια και Σταυροπούλου Ναταλία. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Δρ. Γιαννακούρου Μαρία, για την πολύτιμη συνεισφορά της στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας Ανάλυσης Υφής. Ευχαριστώ επίσης θερμά τον προπτυχιακό φοιτητή Ράπτη Ευάγγελο για την προσφορά του κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Οφείλω να ευχαριστήσω την γραμματέα του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, κ. Παπαπαύλου Ευχανθία, για την στήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους του φίλους και την οικογένεια μου που συνεχίζουν να στέκονται στο πλευρό μου και να στηρίζουν την προσπάθεια μου καθ' όλη την περίοδο των σπουδών μου, ιδιαίτερα τον αδερφό μου και τον σύζυγό μου.

Σας ευχαριστώ.

Περίληψη

Τα φυτικά τρόφιμα αποτελούν πηγές σημαντικών ποσοτήτων βιοδραστικών ουσιών, οι οποίες επιδρούν ευεργετικά στην ανθρώπινη υγεία. Οι έρευνες των τελευταίων ετών δείχνουν πως τα λαχανικά της οικογένειας Brassicaceae, γνωστά και ως Σταυρανθή λαχανικά, αποτελούν καλή πηγή φυσικών αντιοξειδωτικών ικανών να προστατεύσουν τον οργανισμό από την οξειδωτική καταπόνηση. Ωστόσο, λίγες δημοσιεύσεις εστιάζουν στις διαφορές μεταξύ ποικιλιών και υβριδίων που διαφέρουν ως προς το χρώμα, το σχήμα, την υφή και τη φυτοχημική σύσταση.

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών, της φυτοχημικής σύστασης, της αντιριζικής και της αντιοξειδωτικής ικανότητας τριών διαφορετικών υβριδίων των βοτανικών ποικιλιών *Brassica oleraceae* var. *capitata* (λάχανο) και του υποείδους *Brassica rapa* spp. *perkinensis* (Κινέζικο λάχανο). Τα υβρίδια που αξιολογήθηκαν ήταν το Klabishi F1 (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba*), Ranchero F1 (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra*) και Manoko F1 (*Brassica rapa* spp. *perkinensis*). Και τα τρία υβρίδια σχηματίζουν κεφαλή. Η αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών αφορούσε τα φυσικά και μορφολογικά στοιχεία του εκάστοτε δείγματος, όπως είναι η υφή και το χρώμα. Η μέτρηση των χαρακτηριστικών αυτών πραγματοποιήθηκε μέσω της ανάλυσης υφής των δειγμάτων, της μορφολογικής του αξιολόγησης, και της χρωματομετρίας. Για τον προσδιορισμό του ολικού φαινολικού περιεχομένου, της αντιριζικής και της αντιοξειδωτικής ικανότητας χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά φασματοφωτομετρικών αναλύσεων, ενώ μελετήθηκε και η επίδραση διαφορετικών διαλυτών και προκατεργασίας των δειγμάτων. Τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων αναλύθηκαν στατιστικά.

Η μορφολογική ανάλυση σε συνδυασμό με την ανάλυση υφής έδωσαν πληροφορίες σχετικά με το σχήμα των κεφαλών των υβριδίων και της εσωτερικής διαμόρφωσης αυτών. Η ανάλυση του χρώματος φανέρωσε ομοιομορφία διαφόρων χρωματικών παραμέτρων μεταξύ των φύλλων των υβριδίων. Η ανάλυση της φυτοχημικής σύστασης έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των υβριδίων, ενώ διαφορές διαπιστώθηκαν και μεταξύ των δειγμάτων που υπέστησαν διαφορετική προκατεργασία. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα, αλλά σημαντική ήταν και η επίδραση του διαλύτη. Τέλος, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση μεταξύ του φαινολικού περιεχομένου, της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας των δειγμάτων.

Abstract

Plant-based foods are an important source of bioactive compounds, which exert beneficial effects on human health. Recent reports suggest that plants of the Brassicaceae family, commonly known as cruciferous vegetables, are a good source of natural antioxidants capable of protecting humans against oxidative stress. However, there are few publications based on the differences between cultivars and hybrids which differ by colour, shape, texture, and chemical composition.

The present study involved the evaluation of quality characteristics, phytochemical composition, antiradical, and antioxidant capacity of three different hybrids belonging to the botanical cultivars *Brassica oleraceae* var. *capitata* (cabbage) and subspecies *Brassica rapa* spp. *pekinensis* (Chinese cabbage). The studies cultivars were Klabishi F1 (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba*), Ranchero F1 (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra*) and Manoko F1 (*Brassica rapa* spp. *pekinensis*). All three hybrids form heads. The quality evaluation focused on physical and morphological characteristics of each sample, such as texture and colour. Measurement of these characteristics was conducted through textural analysis, morphological assessment, and colorimetry. A series of spectrophotometric analyses were carried out to determine the total phenolic content, antiradical and antioxidant capacity, and the effect of different solvent and sample processing was also evaluated. The data from each method was subjected to statistical analysis.

The morphological evaluation, coupled with the results from the textural analysis provided information regarding the shape and intrinsic organization of the cabbage heads. Color analysis revealed a uniformity of different color parameters between hybrid leaves. The analysis of phytochemical content revealed significant differences between the three hybrids, and variation was also noted between samples that underwent different processing procedures. Similar results were observed for the antiradical and antioxidant assays, with the effect of different solvents also proving significant. Finally, there was proven to be correlation between the phenolic content, antioxidant, and antiradical activities of the studies samples.

Περιεχόμενα

.....	<i>i</i>
.....	<i>i</i>
<i>Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright</i>	<i>iii</i>
<i>Περίληψη</i>	<i>v</i>
<i>Κατάλογος εικόνων</i>	<i>viii</i>
<i>Κατάλογος Πινάκων</i>	<i>ix</i>
<i>1. Εισαγωγή</i>	<i>1</i>
<i>2. Θεωρητικό Υπόβαθρο</i>	<i>3</i>
2.1. Οικογένεια Brassicaceae.....	<i>3</i>
2.1.1. Γενικές πληροφορίες	<i>3</i>
2.2. Το γένος <i>Brassica</i>	<i>5</i>
2.2.1. Είδος <i>Brassica oleraceae</i>	<i>6</i>
2.2.2. Είδος <i>Brassica rapa</i>	<i>6</i>
2.3. Φυτοχημικά	<i>8</i>
2.3.1. Κατηγορίες φυτοχημικών στα Σταυρανθή λαχανικά.....	<i>8</i>
2.3.2. Φαινολικές ενώσεις	<i>8</i>
2.3.3. Γλυκοζινολικές ενώσεις	<i>12</i>
2.3.5. Καροτενοειδή	<i>14</i>
.....	<i>15</i>
2.3.4. Βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ)	<i>15</i>
2.4. Αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα	<i>16</i>
2.4.1. Ελεύθερες ρίζες και προ-οξειδωτικά	<i>16</i>
2.4.2. Μηχανισμοί αντιοξειδωτικής δράσης	<i>19</i>
2.4.3. Τα φυτοχημικά της οικογένειας Brassicaceae ως αντιοξειδωτικές ενώσεις	<i>22</i>
2.5. Περιγραφή ειδών προς μελέτη.....	<i>26</i>
2.5.1. Λάχανο (<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i>)	<i>26</i>
2.4.2. Κινέζικο λάχανο (<i>Brassica rapa</i> spp. <i>pekinensis</i>).....	<i>43</i>
<i>3. Σκοπός</i>	<i>48</i>
<i>4. Υλικά και μέθοδοι</i>	<i>49</i>
4.1. Φυτικό υλικό	<i>49</i>
4.2. Μορφολογική ανάλυση.....	<i>49</i>
4.3. Ανάλυση υφής.....	<i>50</i>
4.4. Ανάλυση χρώματος	<i>53</i>
4.5. Προετοιμασία δειγμάτων και εκχύλιση	<i>54</i>
4.6. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών με τη μικρο-μέθοδο Folin-Ciocalteu.....	<i>57</i>
4.6.1. Πειραματική πορεία (μέθοδος Folin-Ciocalteu)	<i>58</i>
4.7. Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης/ανάσχεσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS ⁺ [2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]	<i>59</i>
4.7.1. Πειραματική πορεία (μέθοδος ABTS ⁺)	<i>60</i>
4.8. Εκτίμηση αντιοξειδωτικής ικανότητα με τη Μέθοδο FRAP (Ferric Ion Reducing Antioxidant Power Assay).....	<i>61</i>

3.8.1. Πειραματική πορεία.....	61
4.9. Στατιστική ανάλυση.....	62
5. Αποτελέσματα – Συζήτηση.....	64
5.1. Μορφολογικά χαρακτηριστικά ποικιλιών.....	64
5.2. Αποτελέσματα ανάλυσης υφής.....	66
5.3. Αποτελέσματα ανάλυσης χρώματος.....	67
5.4. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών.....	68
5.5. Αποτελέσματα αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας.....	73
6. Συμπεράσματα.....	76
7. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	78
Βιβλιογραφία.....	79

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Τυπικό άνθος ειδών της οικογένειας Brassicaceae (Al-Shehbaz, 2011).....	3
Εικόνα 2. Παγκόσμια παραγωγή λαχανικών της οικογένειας Brassicaceae (FAOSTAT, 2024).....	4
Εικόνα 3. Γενετική σχέση μεταξύ των ειδών του γένους Brassica (McVetty & Duncan, 2015).....	5
Εικόνα 4. Βασική δομή φλαβονοειδών (Pietta, 2000).....	9
Εικόνα 5. Σκελετός φλαβυλίου (H. E. Khoo et al., 2017).....	10
Εικόνα 6. Βασική δομή φλαβονολών (Stefova et al., 2003).....	11
Εικόνα 7. Βασική δομή υδροξυκιναμικών οξέων (Luna-Guevara et al., 2018).....	12
Εικόνα 8. Βασική δομή γλυκοζινολικών ενώσεων (Rizwan et al., 2023).....	13
Εικόνα 9. Βασική δομή καροτενίου (πάνω) και ξανθοφύλλης (κάτω) (Ficco et al., 2014).....	15
Εικόνα 10. Βασική δομή ασκορβικού (a) και δεϋδροασκορβικού οξέος (b) (Koyama, 1998).....	16
Εικόνα 11. Χημική δομή ασκορβικού οξέος: τα μαρκαρισμένα άτομα άνθρακα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αντιριζική του δράση (Gęgotek & Skrzydlewska, 2022).....	22
Εικόνα 12. Τα κέντρα σχηματισμού χηλικών ενώσεων στον σκελετό φλαβονοειδούς (Kurpios-Piec et al., 2022).....	23
Εικόνα 13. Διαφορετικές μορφές κοινού λάχανου. (a) Brassica oleraceae var. capitata f. alba σφαιρικό, (b) Brassica oleraceae var. capitata f. rubra, (c) Brassica oleraceae var. capitata f. acuta, (d) Brassica oleraceae var. capitata f. alba πεπλατυσμένο.....	27
Εικόνα 14. Η εξέλιξη του Κινέζικου λάχανου. A. var. dissoluta, B. var. infarcta, C. var. laxa, D. var. acephala, D ₁ . f. ovata, D ₂ . f. depressa, D ₃ . f. cylindrica, CD ₁ var. laxa x f. ovata, CD ₃ . var. laxa x f. cylindrica, D ₁ D ₂ . f. ovata x f. cylindrica, D ₂ D ₃ . f. depressa x f. cylindrica (C. W. Li, 1981).....	44
Εικόνα 15. Μετρήσεις που λήφθηκαν για την μορφολογική ανάλυση. (a) πλάτος κεφαλής, (b) ύψος κεφαλής, (c) μήκος μίσχου, (d) πλάτος μίσχου, (f) απόσταση από την κορυφή του μίσχου μέχρι την κορυφή της κεφαλής.....	50

Εικόνα 16. Αναλυτής υφής TA.XTPlusC.....	51
Εικόνα 17. Κύλινδρος συμπίεσης P/25	51
Εικόνα 18. Τυπικό διάγραμμα ανάλυσης υφής (Rahman et al., 2021)	52
Εικόνα 19. Χρωματόμετρο CR-400	53
Εικόνα 20. Σημεία από τα οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις χρώματος	54
Εικόνα 21. Λυοφιλιωτής ModulyoD-230.....	55
Εικόνα 22. Ομογενοποιητής υπερήχων Sonplus HD 2070	56
Εικόνα 23. Φυγόκεντρος SL 16R.....	56
Εικόνα 24. Θερμοζυγός KERN MLS 50-3.....	56
Εικόνα 25. Ψηφιακό φασματοφωτόμετρο Spectro 23.....	59
Εικόνα 26. Υβρίδιο Klabishi F1 (αριστερά) και υβρίδιο Ranchero F1 (αριστερά)	65
Εικόνα 27. Υβρίδιο Manoko F1	65

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Κυριότερες βοτανικές ποικιλίες και υποείδη των λαχανικών των ειδών Brassica oleraceae και Brassica rapa	7
Πίνακας 2. Μηχανισμοί αντιοξειδωτικής δράσης φυτοχημικών της οικογένειας Brassicaceae.....	25
Πίνακας 3. Φαινολικό περιεχόμενο ποικιλιών λευκού και κόκκινου λάχανου.....	34
Πίνακας 4. Αντιριζική ικανότητα ποικιλιών και υβριδίων λάχανου	39
Πίνακας 5. Ολικό φαινολικό περιεχόμενο ποικιλιών και υβριδίων Κινέζικου λάχανου	46
Πίνακας 6. Υβρίδια που αξιοποιήθηκαν στο πείραμα.....	49
Πίνακας 7. Μέθοδοι παραλαβής δειγμάτων και κωδικοποίηση τους	57
Πίνακας 8. Αποτελέσματα μορφολογικής ανάλυσης	64
Πίνακας 9. Σχήματα κεφαλής των δειγμάτων	64
Πίνακας 10. Αποτελέσματα ανάλυσης υφής.....	66
Πίνακας 11. Αποτελέσματα ανάλυσης χρώματος	67
Πίνακας 12. Αποτελέσματα συγκέντρωσης ολικών φαινολικών με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu.....	69
Πίνακας 13. Αποτελέσματα δοκιμής ABTS.....	73
Πίνακας 14. Αποτελέσματα δοκιμής FRAP	73
Πίνακας 15. Συντελεστές συσχέτισης Pearson (r).....	73

1. Εισαγωγή

Η οικογένεια Brassicaceae αποτελεί μια από τις σημαντικότερες οικογένειες καλλιεργούμενων φυτών παγκοσμίως. Το βασικότερο της γένος, *Brassica* αποτελείται από είδη τεράστιας οικονομικής και αγρονομικής σημασίας, ενώ πολλά από αυτά αποτελούν και σημαντικό κομμάτι της παράδοσης ορισμένων εθνών. Η βοτανική ποικιλία *Brassica oleraceae* var. *capitata*, το κοινό λάχανο, αποτελεί το βασικότερο καλλιεργούμενο φυτό της οικογένειας εξαιτίας της ευκολίας καλλιέργειας του σε συνδυασμό με την υψηλή αποδοτικότητα και του χαμηλό κόστος παραγωγής. Το υποείδος *Brassica rapa* spp. *pekinensis*, κοινώς γνωστό και ως Κινέζικο λάχανο, αποτελεί βασικό λαχανικό της Ασιατικής κουζίνας αλλά καταναλώνεται και στον υπόλοιπο κόσμο. Τα υποείδη αυτά αποτελούν αντικείμενο μελέτης των τελευταίων ετών, εξαιτίας της περιεκτικότητας του σε φυτοχημικά και των θετικών επιδράσεων τους στην ανθρώπινη υγεία.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η κατηγοριοποίηση με βάση τη μορφολογία και η σύγκριση του φαινολικού περιεχομένου και της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας μεταξύ των τριών εμπορικών υβριδίων Klabishi F1 (λευκό λάχανο), Ranchero F1 (κόκκινο λάχανο) και Manoko F1 (Κινέζικο λάχανο), καθώς και η διερεύνηση της επίδρασης της προκατεργασίας των δειγμάτων και του διαλύτη στην απόδοση της εκχύλισης.

Η κατηγοριοποίηση με βάση την μορφολογία των κεφαλών των παραπάνω υβριδίων, πραγματοποιήθηκε με μέτρηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των κεφαλών τους, ενώ η εσωτερική τους διαμόρφωση διερευνήθηκε και με ανάλυση υφής. Επιπλέον, προσδιορίστηκαν χρωματικές παράμετροι διαφορετικών φύλλων των υβριδίων. Για τον προσδιορισμό του ολικού φαινολικού περιεχομένου, της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας εφαρμόστηκαν φασματοφωτομετρικές αναλύσεις. Η μελέτη της επίδρασης της προκατεργασίας των δειγμάτων στην απόδοση της εκχύλισης, πραγματοποιήθηκε μέσω της χρήσης φρέσκων και λυοφιλωμένων δειγμάτων. Στο υβρίδιο Ranchero F1, η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικά μίγματα διαλυτών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την οικογένεια Brassicaceae εστιάζοντας στη φυτοχημική τους σύσταση, περιγράφονται οι μηχανισμοί δράσης και οι αρνητικές συνέπειες των ελεύθερων ριζών και άλλων ενεργών μορφών στον οργανισμό, καθώς και τους μηχανισμούς δράσης των φυτοχημικών των φυτών της οικογένειας Brassicaceae ενάντια στην οξειδωτική καταπόνηση. Στη συνέχεια, παρατίθενται γενικές

πληροφορίες για τις βοτανικές ποικιλίες και τα υποείδη που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, μαζί με εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετών που έχουν εστιάσει στη μελέτη της φυτοχημικής σύστασης, αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας των διαφορετικών ποικιλιών και υβριδίων αυτών. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται εκτενώς οι μέθοδοι που αξιοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των υβριδίων, και στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται τα αποτελέσματα και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μεθόδων αυτών. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της υγρασίας, ενώ δίνονται και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1. Οικογένεια Brassicaceae

2.1.1. Γενικές πληροφορίες

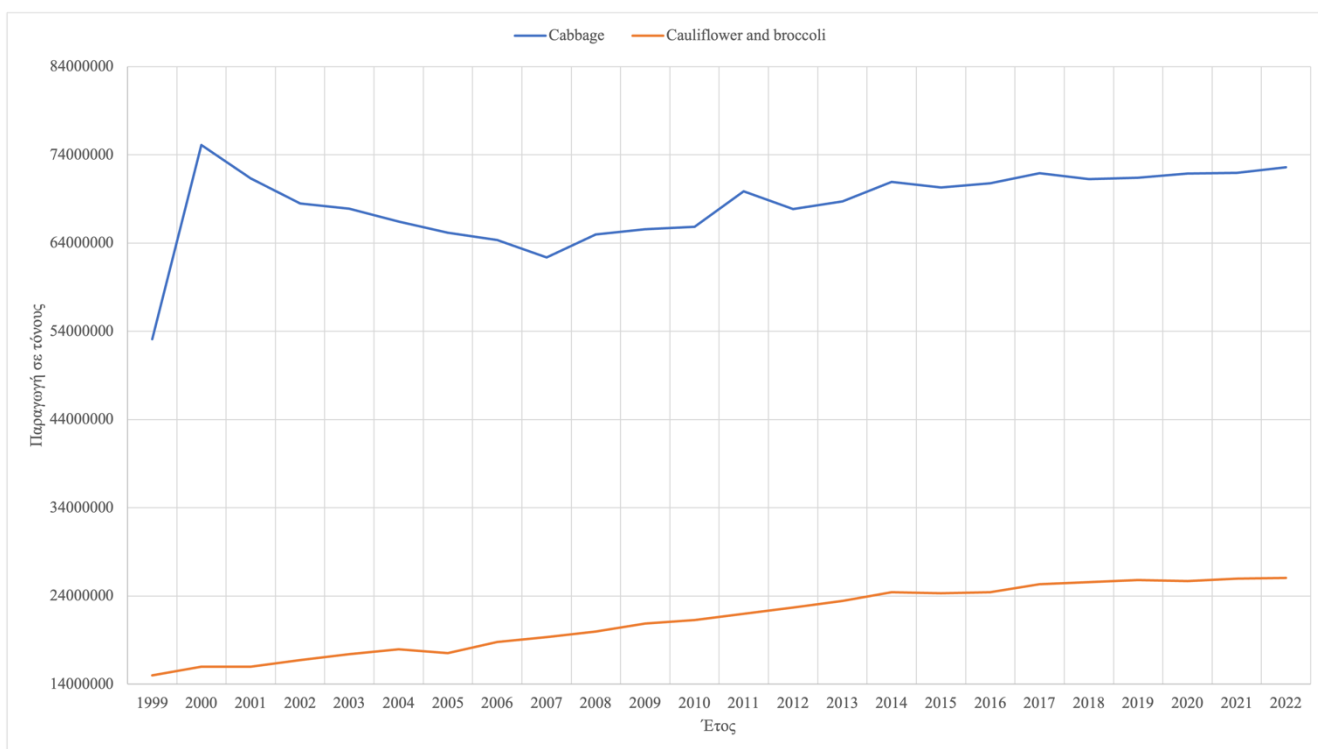
Η οικογένεια Brassicaceae, γνωστή παλαιότερα ως Cruciferae, αποτελείται από 4636 γνωστά είδη και 340 γένη (Francis et al., 2021). Τα είδη της οικογένειας θεωρούνται από τα αρχαιότερα καλλιεργούμενα φυτά στον κόσμο, με αναφορές σε αυτά να εντοπίζονται σε κείμενα διαφορετικών αρχαίων πολιτισμών (Prakash et al., 2011). Σήμερα, αποτελεί μια από της κυριότερες οικογένειες καλλιεργήσιμων φυτών παγκοσμίως, με είδη διαδεδομένα κυρίως στις εύκρατες και αλπικές περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου και την Μεσόγειο (Al-Shehbaz, 2011).

Η οικογένεια Brassicaceae αποτελείται από μονοετή, διετή και πολυετή φυτά, τα περισσότερα εκ των οποίων είναι ποώδη με ένα μικρό ποσοστό της τάξεως του 5% ξυλώδων φυτών (Franzke et al., 2011). Η ρίζα είναι πασσαλώδης και σε ορισμένα είδη στα οποία αποτελεί αποθηκευτικό όργανο εμφανίζεται διογκωμένη. Τα φύλλα είναι απλά, αδιαίρετα ή οδοντωτά, πτεροσχιδή, ενώ σε νεαρό στάδιο σχηματίζουν ροζέτα, και καλύπτονται από αστεροειδείς τρίχες. Τα φύλλα της κορυφής είναι συνήθως άμισχα. Η έντονη μυρωδιά που αναδύεται από τα θρυμματισμένα φύλλα της οικογένειας αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά που την διακρίνουν, και οφείλεται στην παρουσία γλυκοζινολιτών (Jabeen, 2020). Η μορφολογία του άνθους είναι κοινή σε όλα τα είδη της οικογένειας και σε αυτήν οφείλεται η ονομασία Σταυρανθή, καθώς το άνθος αποτελείται από 4 πέταλα σε σταυροειδή διάταξη (Εικ. 1). Τα άνθη είναι ερμαφρόδιτα, ακτινόμορφα, σπάνια ζυγόμορφα (Raza et al., 2020).



Εικόνα 1. Τυπικό άνθος ειδών της οικογένειας Brassicaceae (Al-Shehbaz, 2011)

Η οικογένεια Brassicaceae συνεισφέρει σημαντικά τόσο στην οικονομία όσο και στην κοινωνία ως πηγή θρεπτικών λαχανικών, εδώδιμων ελαίων, φαρμάκων και αρτυμάτων. Ειδικά το γένος *Brassica* περιλαμβάνει είδη μεγάλης αγρονομικής σημασίας με μακρά ιστορία καλλιέργειας σε όλες τις ηπείρους (S. Chen et al., 2011). Επιπλέον, πολλά είδη της οικογένειας έχουν χρησιμοποιηθεί σε παραδοσιακά φαρμακευτικά σκευάσματα από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Τις τελευταίες δεκαετίες, πολλές επιδημιολογικές μελέτες έχουν αποδείξει πως η αυξημένη κατανάλωση Σταυρανθών λαχανικών σχετίζεται με μειωμένες πιθανότητες εμφάνισης ορισμένων ειδών καρκίνου (B. Liu et al., 2012, 2013; X. Liu & Lv, 2013). Οι έρευνες αυτές αναγνωρίζουν την αξία των φυτών της οικογένειας ως λειτουργικά τρόφιμα, και ήδη διατίθενται στο εμπόριο συμπληρώματα διατροφής που περιλαμβάνουν εκχυλίσματα ή ενώσεις απομονωμένες από αυτά.



Εικόνα 2. Παγκόσμια παραγωγή λαχανικών της οικογένειας Brassicaceae (FAOSTAT, 2024).

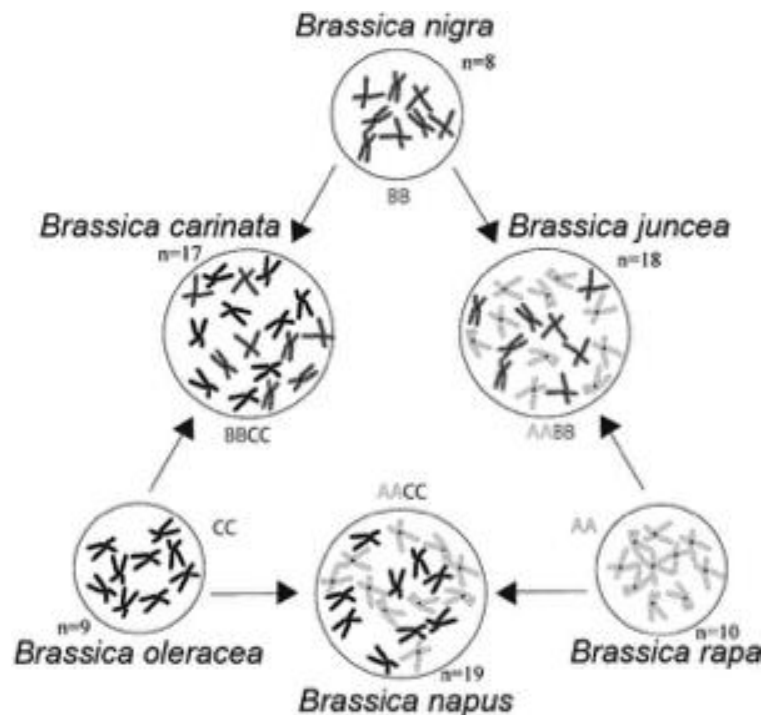
Σύμφωνα με τη στατιστική υπηρεσία του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας, η παραγωγή των Σταυρανθών λαχανικών, που αποτελούνται κατά κανόνα από τις βοτανικές ποικιλίες του είδους *Brassica oleraceae*, αυξήθηκε κατά 33,8% στην αρχή της χιλιετίας, από 69,1 εκατομμύρια σε 91,1 εκατομμύρια τόνους, και έκτοτε παρουσιάζει σταθερή μέση παραγωγή της τάξης των 89,7 εκατομμυρίων τόνων ετησίως (Εικ. 2) (FAO, 2024). Το λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata*) καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος

της παραγωγής των λαχανικών της οικογένειας, και αποτελεί το 4^ο προς παραγωγή λαχανικό παγκοσμίως (FAO, 2023).

2.2. Το γένος *Brassica*

Το γένος *Brassica* είναι το κυριότερο γένος της οικογένειας των Σταυρανθών, αποτελούμενο από είδη μεγάλης οικονομικής και αγρονομικής σημασίας (Gómez-Campo & Prakash, 1999). Τα είδη του γένους παρουσιάζουν έντονη ποικιλομορφία και δύσκολη ταξινόμηση.

Το γένος περιλαμβάνει μια ομάδα έξι στενά συνδεδεμένων ειδών. Τα τρία διπλοειδή είδη του γένους *Brassica*, *Brassica nigra* (L.) Koch ($2n = 16$), *Brassica oleracea* L. ($2n = 18$) και *Brassica rapa* L. ($2n = 20$) σχηματίζουν το λεγόμενο τρίγωνο U, το οποίο απεικονίζει την γενετική σχέση μεταξύ των ειδών του γένους (Εικ. 3) (Nagaharu, 1935). Στην φύση, τα είδη αυτά διασταυρώνονται μεταξύ τους, οδηγώντας στην δημιουργία τριών αμφιδιπλοειδών ειδών, των *Brassica carinata* A. Braun ($2n = 4x = 34$), *Brassica juncea* (L.) Czern. ($2n = 4x = 36$) και *Brassica napus* L. ($2n = 4x = 38$). Τα γονιδιώματα των *B. rapa*, *B. nigra* και *B. oleracea* έχουν ονομαστεί A, B και C αντίστοιχα, επομένως τα προκύπτοντα αμφιδιπλοειδή είναι AB για το *B. juncea*, AC για το *B. napus* και BC για το *B. carinata* (Cartea et al., 2011).



Εικόνα 3. Γενετική σχέση μεταξύ των ειδών του γένους *Brassica* (McVetty & Duncan, 2015)

2.2.1. Είδος *Brassica oleraceae*

Το *Brassica oleraceae* αποτελεί το πιο ευρέως διαδομένο είδος του γένους *Brassica*. Αποτελείται από διαφορετικές βοτανικές ποικιλίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για ανθρώπινη κατανάλωση. Τα είδη *B. juncea*, *B. napus*, *B. nigra*, *B. napus*, *B. carinata* και *B. rapa* αξιοποιούνται επίσης ευρέως ως λαχανικά ή πηγή εδώδιμων φυτικών ελαίων .

Οι διαφορετικές βοτανικές ποικιλίες του είδους *Brassica oleraceae* κατηγοριοποιούνται βάσει της μορφολογίας τους και των αναπτυξιακών μορφών τους σε επτά ομάδες (Rakow, 2004):

- i. Ομάδα ‘Capitata’: στην ομάδα αυτή ανήκουν τα λάχανα (*Brassica oleraceae* var. *capitata*)
- ii. Ομάδα ‘Acephala’: στην ομάδα αυτή ανήκουν οι λαχανίδες (*Brassica oleraceae* var. *acephala*)
- iii. Ομάδα ‘Alboglabra’: στην ομάδα αυτή ανήκει το κινέζικο μπρόκολο (*Brassica oleraceae* var. *alboglabra*)
- iv. Ομάδα ‘Botrytis’: στην ομάδα αυτή ανήκει το κουνουπίδι (*Brassica oleraceae* var. *botrytis*)
- v. Ομάδα ‘Italica’: στην ομάδα αυτή ανήκει το μπρόκολο (*Brassica oleraceae* var. *italica*)
- vi. Ομάδα ‘Gemmifera’: στην ομάδα αυτή ανήκουν τα λαχανάκια Βρυξελλών (*Brassica oleraceae* var. *gemmifera*)
- vii. Ομάδα ‘Gongylodes’: στην ομάδα αυτή ανήκει το kohlrabi (*Brassica oleraceae* var. *gongylodes*)

2.2.2.. Είδος *Brassica rapa*

Παρά την γενετική ομοιότητα των καλλιεργούμενων υποειδών του είδους *Brassica rapa*, διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς τη μορφολογία και το μέρος του φυτού το οποίο καταναλώνεται (H. R. Park et al., 2019). Ανάλογα με τις διαφορές αυτές, τα φυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες (Elena Cartea et al., 2021):

- i. Τα λαχανικά, τα οποία καλλιεργούνται για τους κονδύλους, τα φύλλα και τα άνθη τους και στα οποία περιλαμβάνεται το υποείδος spp. *rapa* και οι φυλλώδεις μορφές. Η ομάδα των λαχανικών περιλαμβάνει έξι τύπους: *rapa*, *chinensis*, *pekinensis*, *parachinensis*, *nipposinica*, *perviridis* και *narinosa*. Ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι ο τύπος *pekinensis*, το Κινέζικο λάχανο (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*).

- ii. Τα ελαιοφόρα είδη, τα οποία περιλαμβάνουν διάφορα υποείδη που αξιοποιούνται για το έλαιο τους και διαφέρουν ανάλογα με την περιοχή καλλιέργειας τους. Στην Ευρώπη καλλιεργείται κυρίως το υποείδος *Brassica rapa* subsp. *oleifera*, η κοινή κράμβη.

Η καλλιέργεια των φυτών του είδους *Brassica rapa* σε διαφορετικές περιοχές και επί μεγάλο αριθμό ετών, έχει οδηγήσει σε επιλογή πολλών διαφορετικών φαινοτύπων που σχετίζονται με την τοπική προτίμηση και μεγάλη παραλλακτικότητα στα φυτικά όργανα που καταναλώνονται (Zhao et al., 2005).

Οι κυριότερες βοτανικές ποικιλίες και υποείδη των ειδών *Brassica rapa* και *Brassica oleracea* δίνονται στον Πιν. 1.

Πίνακας 1. Κυριότερες βοτανικές ποικιλίες και υποείδη των λαχανικών των ειδών *Brassica oleraceae* και *Brassica rapa*

Είδος	Βοτανική ποικιλία	Κοινή ονομασία
<i>Brassica oleraceae</i>	var. <i>capitata</i>	Λάχανο (λευκό, κόκκινο κ.α.)
	var. <i>acephala</i>	Λαχανίδα (kale)
	var. <i>alboglabra</i>	Κινέζικο μπρόκολο
	var. <i>gemmifera</i>	Λαχανάκια Βρυξελλών
	var. <i>gongylodes</i>	Kohlrabi
	var. <i>botrytis</i>	Κουνουπίδι
	var. <i>italica</i>	Μπρόκολο
	spp. <i>rapa</i>	Γογγύλι
<i>Brassica rapa</i>	spp. <i>pekinensis</i>	Κινέζικο λάχανο, λάχανο νάπα
	spp. <i>parachinensis</i>	Choi-sum, caizin, caitai
	spp. <i>nipposinica</i>	Mizuna
	spp. <i>perviridis</i>	Komatsuna
	spp. <i>narinosa</i>	Wutacai

2.3. Φυτοχημικά

2.3.1. Κατηγορίες φυτοχημικών στα Σταυρανθή λαχανικά

Τα φυτοχημικά αποτελούν κυρίως δευτερογενείς μεταβολίτες χαμηλού μοριακού βάρους που απαντώνται φυσικά στα φυτά. Πρόκειται για βιοενεργά συστατικά τα οποία επιτρέπουν την αλληλεπίδραση των φυτών με το περιβάλλον τους (Leitzmann, 2016). Αν και δεν ευθύνονται για την κάλυψη βασικών λειτουργιών στα φυτά, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία τους από περιβαλλοντικούς κινδύνους όπως η ξηρασία και οι προσβολές από παθογόνα, ενώ συνεισφέρουν επίσης στον χρωματισμό, το άρωμα και τη γεύση τους (Thakur, 2018).

Τα φυτοχημικά δεν προσδίδουν θρεπτική αξία στην ανθρώπινη διατροφή, αλλά συμμετέχουν στην προστασία του ανθρώπινου οργανισμού από διαφορετικές ασθένειες. Χαρακτηρίζονται από έντονη αντιοξειδωτική ικανότητα, και παρουσιάζουν αντιμικροβιακές, αντιδιαρροϊκές, αντιαλλεργικές, ασπισπασμωδικές και αντιϊκές ιδιότητες (J. Chen et al., 2016; Jaeger & Cuny, 2016; Muluye et al., 2015; B. R. Sharma et al., 2018; I. Sharma et al., 2015; Tripathi et al., 2017; W. Wang et al., 2016). Συμμετέχουν επίσης στην ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης και φαίνεται να σχετίζονται με τη μειωμένη πιθανότητα εκδήλωσης καρκίνου (Choudhari et al., 2020; George et al., 2021; Rizeq et al., 2020). Γενικά, τα διαφορετικά φυτοχημικά διαθέτουν διαφορετικές βιοχημικές και φυσιολογικές λειτουργίες (Campos-Vega & Oomah, 2013).

Οι κυριότερες κατηγορίες φυτοχημικών που έχουν προσδιοριστεί στα διάφορα βρώσιμα λαχανικά της οικογένειας Brassicaceae είναι οι φαινολικές ενώσεις, οι γλυκοζινολικές ενώσεις και τα προϊόντα υδρόλυσής τους, τα καροτενοειδή και το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C), (Nawaz et al., 2018).

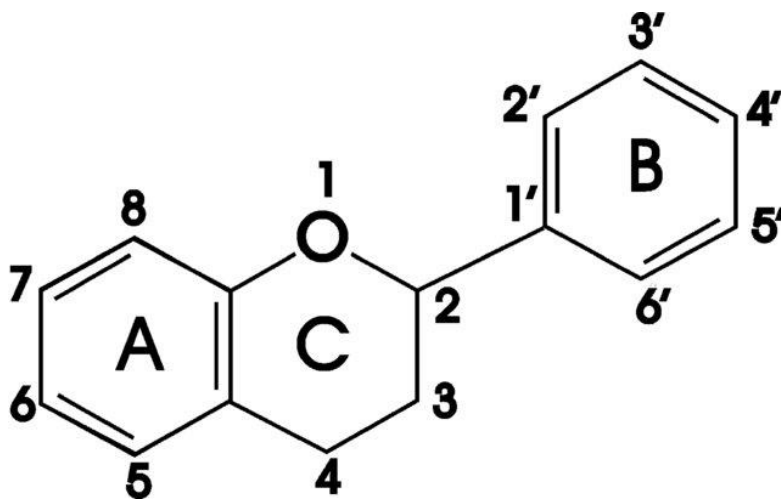
2.3.2. Φαινολικές ενώσεις

Οι φαινολικές ενώσεις συντίθενται στα φυτά ως απόκριση σε περιβαλλοντικά και φυσιολογικά σήματα, διαδραματίζοντας ποικίλους ρόλους στους φυτικούς ιστούς. Συμβάλλουν στην άμυνα του φυτού ενάντια σε παθογόνους μικροοργανισμούς και φυτοφάγα ζώα, προστατεύουν τα φυτά από την ηλιακή ακτινοβολία, αποτελούν δομικά συστατικά των φυτικών κυττάρων, συμβάλλουν στην προσέλκυση επικονιαστών και συμμετέχουν στη μεταφορά σημάτων (Lin et al., 2016). Επιπλέον, συμβάλλουν στην αντιοξειδωτική, αντικαρκινική και αντιπηκτική δράση και την ενεργοποίηση ενζύμων (Ramirez et al., 2020). Πρόκειται για αρωματικές οργανικές ενώσεις η βασική μονάδα των

οποίων, η φαινόλη, είναι ένας βενζοϊκός δακτύλιος υποκατεστημένος με υδροξύλιο στο ένα υδρογόνο (Al Mamari, 2022). Μέχρι στιγμής έχουν ταυτοποιηθεί περισσότερες από 8.000 φυσικά απαντώμενες στους φυτικούς ιστούς φαινολικές ενώσεις, οι οποίες χωρίζονται σε κατηγορίες βάση διαφόρων συστημάτων ταξινόμησης, ανάλογα με τη δομή τους (Ahmed et al., 2016; Santana-Gálvez & Jacobo-Velázquez, 2018). Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο και απλό σύστημα ταξινόμησης των φαινολικών ενώσεων είναι ο διαχωρισμός του σε φλαβονοειδή και μη φλαβονοειδή (Andres-Lacueva et al., 2010). Οι σημαντικότερες φαινολικές ενώσεις που απαντώνται στην οικογένεια Brassicaceae είναι τα φλαβονοειδή και τα υδροξυκιναμικά οξέα (Cartea et al., 2010). Η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων στα φυτά της οικογένειας Brassicaceae επηρεάζεται από το γενετικό υπόβαθρο, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την εποχή φύτευσης καθώς και την διάρκεια του βιολογικού κύκλου του εκάστοτε είδους (Šamec et al., 2014).

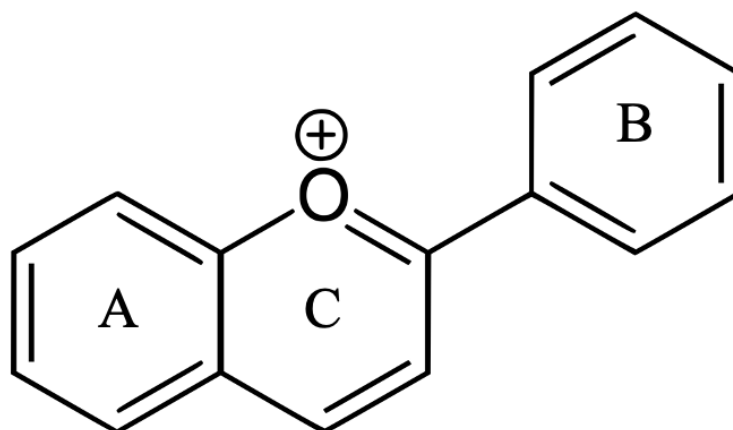
2.3.2.1. Φλαβονοειδή

Τα φλαβονοειδή διαθέτουν την ίδια βασική δομή ανθρακικού σκελετού 15 ατόμων άνθρακα τύπου C₆-C₃-C₆, αποτελούμενο από δύο βενζολικούς δακτυλίους (A και B) συνδεδεμένους μεταξύ τους με έναν ετεροκυκλικό δακτύλιο πυρανίου (Εικ. 4) (Dias et al., 2021). Χωρίζονται σε δύο βασικές υποκατηγορίες ανάλογα με τον βαθμό κορεσμού του ετεροκυκλικού δακτυλίου πυρανίου: τις ανθοκυανίνες (γλυκοζίτες των ανθοκυανιδινών) και τις ανθοξανθίνες (Saini et al., 2017). Οι ανθοξανθίνες με τη σειρά τους χωρίζονται σε πέντε κλάσεις: τις φλαβονόλες, τις φλαβόνες, τις φλαβανόλες (κατεχίνες), τις φλαβανόνες και τα ισοφλαβονοειδή (Ozcan et al., 2014).



Εικόνα 4. Βασική δομή φλαβονοειδών (Pietta, 2000)

Οι ανθοκυανίνες είναι φυσικά απαντώμενες υδατοδιαλυτές χρωστικές στα φυτά, υπεύθυνες για τις κόκκινες, μωβ και μπλε αποχρώσεις των ειδών της οικογένειας Brassicaceae. Αποτελούν άλατα του βενζοπυριλίου και του φλαβυλίου. Η βασική τους δομή, το κατιόν φλαβυλίου, είναι όμοια με αυτή των υπολοίπων φλαβονοειδών, με τη διαφορά ότι το οξυγόνο του C δακτυλίου διαθέτει θετικό φορτίο (Εικ. 5) (H. E. Khoo et al., 2017).



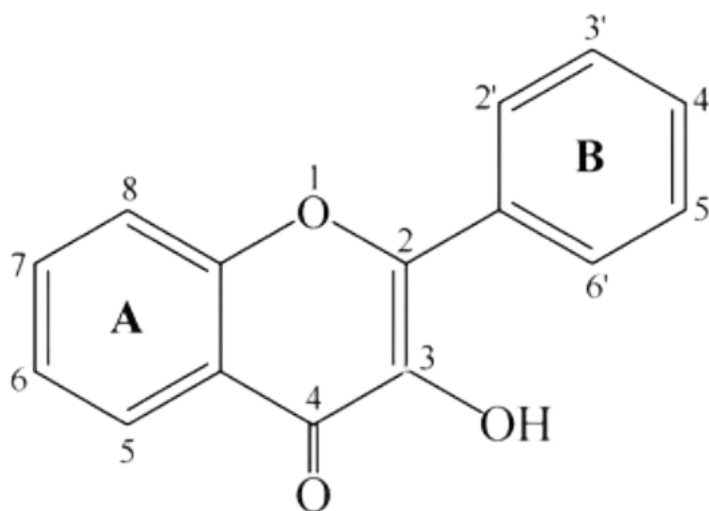
Εικόνα 5. Σκελετός φλαβυλίου (H. E. Khoo et al., 2017)

Οι ανθοκυανίνες αποτελούν γλυκοζυλιωμένες μορφές των πρόδρομων ουσιών τους, των ανθοκυανιδινών. Έχουν ταυτοποιηθεί περισσότερες από 20 φυσικά απαντώμενες ανθοκυανιδίνες, αλλά μόνο 6 από αυτές απαντώνται συνήθως στα φρούτα και λαχανικά. Αυτές είναι οι κυανιδίνες, οι δελπινιδίνες, οι πεονιδίνες, οι πετουνιδίνες και οι μαλβιδίνες (Castañeda-Ovando et al., 2009). Η γλυκοζυλίωση και κατ'επέκταση ο σχηματισμός ανθοκυανών, αυξάνει την σταθερότητα των ανθοκυανιδινών μέσω του σχηματισμού ενδομοριακών δεσμών υδρογόνου (Borkowski et al., 2005). Τα υδροξύλια του ανθρακικού σκελετού υποκαθίστανται με μόρια σακχάρων, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να δημιουργήσουν γλυκοζιδικούς δεσμούς με άλλα σάκχαρα ή να εστεροποιηθούν με αλειφατικά ή αρωματικά οργανικά οξέα. Ο μεγάλος αριθμός υποκαταστατών και διαφορετικών θέσεων γλυκοζυλίωσης και ακυλίωσης, ευθύνονται για τον μεγάλο αριθμό διαφορετικών δομών των ανθοκυανών που απαντώνται στη φύση. Η υποκατάσταση πραγματοποιείται συνήθως στη θέσεις 3 και 5 του ανθρακικού σκελετού, σχηματίζοντας έτσι κυρίως 3-γλυκοζίτες και 3,5-γλυκοζίτες (He & Giusti, 2010). Τόσο η γλυκοζυλίωση όσο και η ακυλίωση μεταβάλλουν τις χημικές ιδιότητες των ανθοκυανών καθώς επηρεάζουν το

μοριακό βάρος και την πολικότητα αυτών. Η γλυκοζυλίωση αυξάνει την υδιαλυτότητα και τον μεταβολισμό των ανθοκυανών (Šamec et al., 2021).

Οι βασικότερες ανθοκυανίνες που απαντώνται στην οικογένεια Brassicaceae είναι ακυλιωμένα 3,5-διγλυκοσίδια της κυανιδίνης και 3-διγλυκοσίδιο-5-γλυκοσίδια της κυανιδίνης. Οι συνηθέστεροι υποκαταστάτες που απαντώνται στις ανθοκυανίνες της οικογένειας είναι τα αρωματικά οξέα *p*-κουμαρικό, καφεϊκό, φερουλικό, σιναπικό και *p*-υδροξυβενζοϊκό, τα αλειφατικά οξέα ακετικό, οξαλικό, σουκινικό και μαλονικό, και η ξυλόζη (N. Zhang & Jing, 2022).

Μεταξύ των ανθοξανθινών, πιο διαδεδομένη ομάδα στην οικογένεια Brassicaceae αποτελούν οι φλαβονόλες. Χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη υδροξυλομάδας στη θέση 3 και καρβονυλομάδας στη θέση 4 του δακτυλίου C (Εικ. 6). Στα ανώτερα φυτά απαντώνται κυρίως γλυκοζυλιωμένες στην θέση C3 ως μόνο-, δι- ή τριγλυκοσίδια (Mahmud et al., 2023). Η σύζευξη με σάκχαρα μπορεί να προκύψει ωστόσο και στις θέσεις 5,7,4',3' και 5' (Aron & Kennedy, 2008; Hollman & Arts, 2000). Κυριότεροι εκπρόσωποι των φλαβονολών στην οικογένεια Brassicaceae αποτελούν τα ο-γλυκοζίδια (γλυκοζίτες) της καμπαφερόλης, κερκετίνης, ισοραμνετίνης και μυρικετίνης, συζευγμένα με τα σάκχαρα γλυκόζη, ραμνόζη, ρουτινόζη, γαλακτόζη ή αραβινόζη (D. -O. Kim et al., 2004; Koss-Mikołajczyk et al., 2019; Mageney et al., 2017).

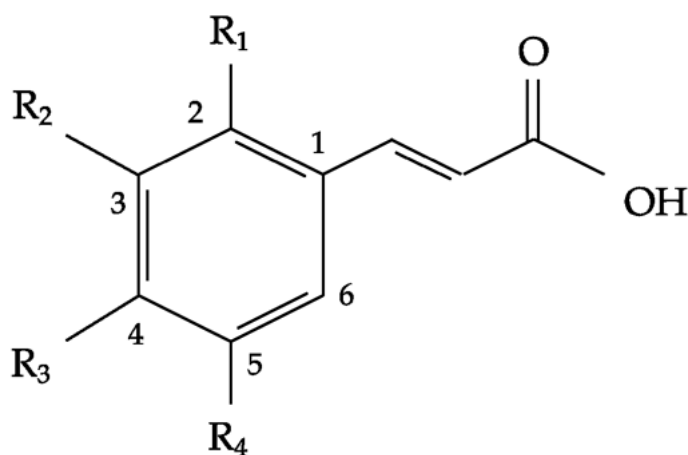


Εικόνα 6. Βασική δομή φλαβονολών (Stefova et al., 2003)

2.3.2.2. Φαινολικά οξέα

Τα φαινολικά οξέα αποτελούνται από τη βασική μονάδα των φαινολικών ενώσεων, τη φαινόλη, ενωμένη με μια υδροξυλομάδα. Στα φυτά εντοπίζονται με τη μορφή εστέρων, γλυκοζιτών ή αμινών, και οι δομές τους διαφέρουν ως προς τον αριθμό και την θέση των ομάδων υδροξυλίου στον αρωματικό δακτύλιο (Pereira et al., 2009). Διακρίνονται σε δύο υποομάδες, τα υδροξυβενζοϊκά και τα υδροξυκινναμικά οξέα. Στα φυτά της οικογένειας Brassicaceae απαντώνται κυρίως υδροξυκινναμικά οξέα (Cartea et al., 2010).

Τα υδροξυκινναμικά οξέα διαθέτουν δομή τύπου C₆-C₃, αποτελούμενα από τον βασικό βενζοϊκό δακτύλιο και πλευρική αλυσίδα τριών ατόμων άνθρακα μαζί με μια τουλάχιστον ομάδα υδροξυλίου (Εικ. 7) (Luna-Guevara et al., 2018). Στη φύση σπάνια απαντώνται σε ελεύθερη μορφή, και συνήθως εντοπίζονται εστεροποιημένα με κινικό ή τρυγικό οξύ καθώς και διάφορα παράγωγα υδατανθράκων (Lafay & Gil-Izquierdo, 2008). Τα κυριότερα υδροξυκινναμικά οξέα της οικογένειας Brassicaceae είναι το φερουλικό, το σιναπινικό, το *p*-κουμαρικό και το καφεϊκό οξύ, αλλά όπως και στις υπόλοιπες φαινολικές ενώσεις, η συγκέντρωσή τους μεταβάλλεται σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών ειδών (Z. Li et al., 2018).

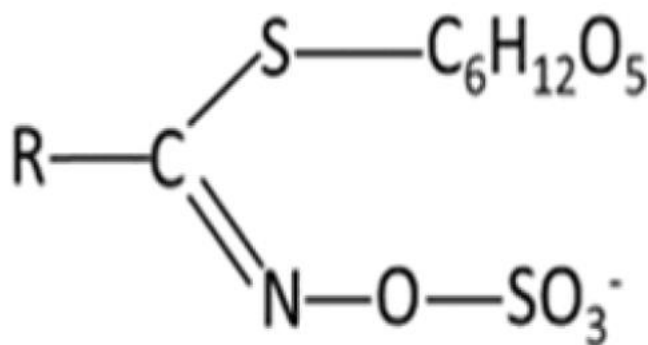


Εικόνα 7. Βασική δομή υδροξυκινναμικών οξέων (Luna-Guevara et al., 2018)

2.3.3. Γλυκοζινολικές ενώσεις

Σημαντική ομάδα ενώσεων που συσσωρεύονται στα Σταυρανθή λαχανικά, αποτελούν οι γλυκοζινολικές ενώσεις (GSLs). Μέχρι σήμερα έχουν ταυτοποιηθεί πάνω από 130 διαφορετικές ενώσεις (Blažević et al., 2020). Πρόκειται για σάκχαρα ανιονικών θειεστέρων τα οποία μοιράζονται μια κοινή χημική δομή, η οποία αποτελείται από μια ομάδα β-D-θειογλυκόζης συνδεδεμένη μέσω ενός ατόμου θείου με έναν (Z)-N-υδροξυμινοθειικό

εστέρα και μια πλευρική ομάδα (R) προερχόμενη από διακλαδιζόμενα αμινοξέα (Εικ. 8) (Bischoff, 2016). Η πλευρική ομάδα μπορεί να είναι αλειφατική εφόσον προέρχεται από τα αμινοξέα αλανίνη, λευκίνη, ισολευκίνη, μεθειονίνη ή βαλίνη, αρωματική εφόσον προέρχεται από τα αμινοξέα φαινυλαλανίνη ή τυροσίνη, ή να έχει μορφή ινδολίου εφόσον προέρχεται από το αμινοξύ τρυπτοφάνη (Collett et al., 2014).



Εικόνα 8. Βασική δομή γλυκοζινολικών ενώσεων (Rizwan et al., 2023)

Οι γλυκοζινολικές ενώσεις δεν έχουν άμεση επίδραση την ανθρώπινη υγεία. Η θετική επίδραση τους στον ανθρώπινο οργανισμό προκύπτει μέσω της υδρόλυσής τους από τη μυροσινάση, ένα ένζυμο θειογλυκοζιδάσης, που διασπά τον δεσμό μεταξύ της γλυκόζης και του ατόμου θείου. Μετά από μηχανική βλάβη του φυτικού ιστού, μόλυνσή του ή επίθεση από φυσικούς εχθρούς, η βλάβη των κυττάρων εκθέτει τα αποθηκευμένα γλυκοζινολικά συστατικά στο ένζυμο, το οποίο καταλύει την διάσπασή τους (Bones & Rossiter, 2006). Η ένωση που προκύπτει αποτελείται από το άγλυκο μέρος του μορίου χωρίς τη θειική ομάδα και αναδιατάσσεται για να σχηματίσει δραστικά προϊόντα στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα ισοθειοκυανικά και τα νιτρίλια, ο σχηματισμός των οποίων καθορίζεται ανάλογα με τις συνθήκες της γλυκόλυσης και την πλευρική αλυσίδα της αρχικής ένωσης (Barba et al., 2016). Ο σχηματισμός των νιτρίλιων ευνοείται από όξινο pH και την ύπαρξη ιόντων σιδήρου (Fe^{2+}) καθώς και την ύπαρξη μιας φυτικής πρωτεΐνης, της επιθειοεκλεκτικής πρωτεΐνης (Williams et al., 2009). Η ύπαρξη ακόρεστου δεσμού στο τελικό άκρο της ένωσης δίνει μια ειδική κατηγορία νιτρίλιων που ονομάζονται επιθειονιτρίλια. Το ουδέτερο pH ευνοεί τον σχηματισμό ισοθειοκυανικών (M.-K. Lee et al., 2014).

Οι ισοθειοκυανικές ενώσεις αποτελούν τα κυριότερα προϊόντα υδρόλυσης των γλυκοζινολικών σε φυσιολογικό pH, και θεωρείται πως ευθύνονται κυρίως για την βιοδραστικότητα των Σταυρανθών λαχανικών. Διαθέτουν την λειτουργική ομάδα $-\text{N}=\text{C}=\text{S}$ στο μόριό τους. Καθώς είναι ιδιαίτερα ασταθή μόρια, οι θετικές επιδράσεις τους στην

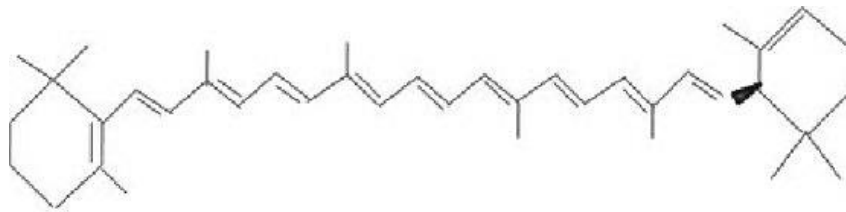
ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως η αρχική συγκέντρωση γλυκοζινολικών, ο τρόπος μαγειρέματος και ο ανθρώπινος μεταβολισμός (Ramirez et al., 2020). Το προφίλ των ισοθειοκυανικών αλλάζει σημαντικά ανάλογα με την μέθοδο εκχύλισης, το είδος, την βοτανική ποικιλία ή υποείδος, καθώς και τον φυτικό ιστό από τον οποίο λαμβάνεται το εκχύλισμα (Blažević & Mastelić, 2009; Yi et al., 2016).

2.3.5. Καροτενοειδή

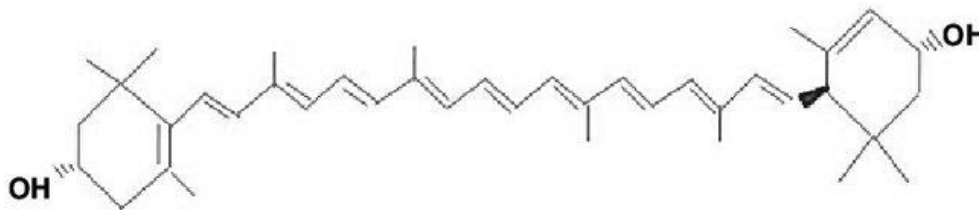
Τα καροτενοειδή αποτελούν ευρέως διαδομένες οργανικές χρωστικές, φυσικά απαντώμενες στους χρωμοπλάστες των φυτών καθώς και σε άλλους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, ορισμένα είδη μυκήτων και βακτήρια. Έχουν χαρακτηριστεί πάνω από 600 διαφορετικά καροτενοειδή, εκ των οποίων περισσότερα από 100 έχουν αναφερθεί στα φυτά (Yahia & Ornelas-Paz, 2010).

Τα περισσότερα καροτενοειδή χαρακτηρίζονται από μια αλυσίδα πολυενίου αποτελούμενη από 40 άτομα άνθρακα με 9 συζυγιακούς διπλούς δεσμούς και δύο ομάδες στο κάθε άκρο της αλυσίδας (Maoka, 2020). Οι διπλοί δεσμοί ευθύνονται για πολλές από τις ιδιότητες τους (Young & Lowe, 2018). Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα καροτένια, τα οποία είναι μη-οξυγονωμένα και διαθέτουν χαρακτηριστική δομή υδρογονάνθρακα και τις οξυγονωμένες ξανθοφύλλες (Εικ. 9) (Leitzmann, 2016). Τα καροτένια χωρίζονται με τη σειρά τους και αυτά σε δύο βασικές κατηγορίες, τα α- και β-καροτένια (Aldred, 2009). Τα σημαντικότερα καροτένια που λαμβάνονται από την ανθρώπινη τροφή είναι το β-καροτένιο, το α-καροτένιο και το λυκοπένιο, ενώ οι σημαντικότερες ξανθοφύλλες είναι η λουτεΐνη, η β-κρυπτοξανθίνη και η ζεαξανθίνη. Στους φυτικούς ιστούς, τα καροτενοειδή απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και την μεταδίδουν στις χλωροφύλλες ώστε να χρησιμοποιηθεί στην φωτοσύνθεση, προστατεύουν τις χλωροφύλλες από την βλάβη της ηλιακής ακτινοβολίας και προσελκύουν επικονιαστές. Ορισμένα καροτενοειδή, όπως το β-καροτένιο, αποτελούν πρόδρομες ουσίες της βιταμίνης Α, ενώ άλλα καροτενοειδή αποτελούν πρόδρομες ενώσεις της ρετινόλης, της ρετιναλδεΐδης και του ρετινοϊκού οξέος (Beydoun et al., 2019; Young & Lowe, 2018).

Τα φυλλώδη λαχανικά της οικογένειας των Σταυρανθών είναι πλούσια σε καροτενοειδή, ιδίως λουτεΐνη και β-καροτένιο (Soengas et al., 2011).



Carotenes



Xanthophylls

Εικόνα 9. Βασική δομή καροτενίου (πάνω) και ξανθοφύλλης (κάτω) (Ficco et al., 2014)

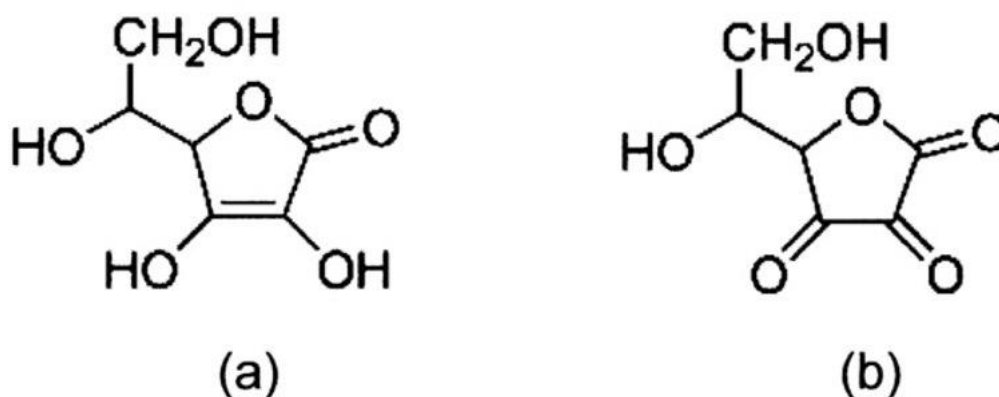
2.3.4. Βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ)

Οι βιταμίνες αποτελούν οργανικά μικροθρεπτικά που δεν μπορούν να συντεθούν από τα περισσότερα σπονδυλωτά αλλά απαιτούνται σε μικρές ποσότητες για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού (Semba, 2012). Κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την διαλυτότητά τους σε νερό ή λίπος, καθώς αυτό επηρεάζει τις φαρμακοκινητικές τους ιδιότητες (Albahrani & Greaves, 2016).

Αν και η βιταμίνη C δεν αποτελεί δευτερογενή μεταβολίτη των φυτών, πολλοί ερευνητές το κατατάσσουν στην κατηγορία των φυτοχημικών (Yahia, 2010). Αποτελεί μια από τις σημαντικότερες υδατοδιαλυτές ενώσεις που υπάρχουν στα τρόφιμα, καθώς συμμετέχει σε πολλαπλές βιολογικές διεργασίες στο ανθρώπινο σώμα. Εξαιτίας της έλλειψης του ενζύμου L-γυλονο-1,4-λακτόνο οξειδάση, ο ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να συνθέσει από μόνος του τη βιταμίνη, και επομένως η πρόσληψή της γίνεται αποκλειστικά μέσω της διατροφής (Granger & Eck, 2018).

Ο όρος βιταμίνη C αναφέρεται σε δύο ενώσεις, το ανηγμένο ασκορβικό οξύ (AA), που αποτελεί και την επικρατέστερη μορφή στην οποία εντοπίζεται, και το οξειδωμένο δεϋδρο-ασκορβικό οξύ (DHAA) (Mazurek & Włodarczyk-Stasiak, 2023). Το ασκορβικό οξύ αποτελείται από 6 ασύμμετρα άτομα άνθρακα ($C_6H_8O_6$), και η δομή του είναι όμοια με της γλυκόζης (Εικ. 10a) (Elmore, 2005) Και οι δύο μορφές εμφανίζουν υψηλή βιολογική δραστηριότητα, η κυριότερη από τις οποίες είναι η ικανότητα τους να διακόπτουν την

αλυσιδωτή αντίδραση των ελεύθερων ριζών (Johnston et al., 2007). Επιπλέον, η βιταμίνη C διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην σύνθεση κολλαγόνου (Catani et al., 2005).



Εικόνα 10. Βασική δομή ασκορβικού (a) και δεϋδροασκορβικού οξέος (b) (Koyama, 1998)

Τα Σταυρανθή λαχανικά αποτελούν σημαντική πηγή βιταμίνης C. Εκτιμάται ότι τα λαχανικά της οικογένειας μπορούν να καλύψουν έως το 50% της προτεινόμενης ημερήσιας πρόσληψης βιταμίνης C (Pennington & Fisher, 2010). Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ στα Σταυρανθή εξαρτάται από την ποικιλία, την λίπανση με φώσφορο και τις μετασυλλεκτικές επεμβάσεις (Borowski et al., 2008; Domínguez-Perles et al., 2014; Kaur et al., 2007; Koh et al., 2009).

2.4.Αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα

2.4.1. Ελεύθερες ρίζες και προ-οξειδωτικά

Ο όρος ‘ρίζα’ στην χημεία αναφέρεται σε μια ομάδα ατόμων τα οποία συμπεριφέρονται ως μια ενιαία μονάδα. Ο όρος ‘ελεύθερη ρίζα’ αναφέρεται σε άτομα ή μόρια που περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα ασύζευκτα ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στιβάδα, και είναι ικανά αυτόνομης ύπαρξης (Halliwell, 2007). Το ασύζευκτο ηλεκτρόνιο συμβολίζεται συνήθως με μια τελεία στο επάνω δεξιό μέρος του χημικού τύπου (*). Οι ελεύθερες ρίζες (free radicals) αποτελούν προϊόντα φυσιολογικής κυτταρικής δραστηριότητας παραγόμενα μέσω ενζυμικών και μη-ενζυμικών αντιδράσεων (Pizzino et al., 2017).

Ο περιττός αριθμός ηλεκτρονίων καθιστά τις ελεύθερες ρίζες κατά κανόνα ασταθείς και εξαιρετικά δραστικές. Μπορούν να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από γειτονικές ενώσεις ώστε να συμπληρώσουν την ατελή ηλεκτρονιακή τους στιβάδα, μετατρέποντας τες

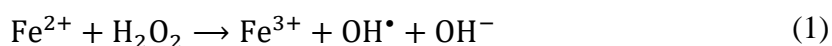
επίσης σε ελεύθερες ρίζες και δημιουργώντας έτσι μια αλυσιδωτή αντίδραση εντός του κυττάρου (Halliwell & Gutteridge, 2015). Σε μικρές συγκεντρώσεις είναι κρίσιμες για την ανθρώπινη υγεία, καθώς συμμετέχουν σε φυσιολογικές διεργασίες του οργανισμού, όπως η ανοσοποιητική απόκριση και η κυτταρική σηματοδότηση (Dröge, 2002; Genestra, 2007; Halliwell, 2007; Pacher et al., 2007). Σε υψηλές συγκεντρώσεις ωστόσο, προκαλούν σημαντικές βλάβες στις κυτταρικές δομές. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται οξειδωτική καταπόνηση ή οξειδωτικό στρες, και αναφέρεται στην διαταραχή της ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και εξουδετέρωσης των ελεύθερων ριζών και άλλων δραστικών μορίων (Pham-Huy et al., 2008). Η οξειδωτική καταπόνηση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη χρόνιων και εκφυλιστικών ασθενειών όπως είναι ο καρκίνος, η αρθρίτιδα, αυτοάνοσες διαταραχές, καρδιαγγειακές και νευροεκφυλιστικές ασθένειες (Phaniendra et al., 2015).

2.4.1.1. Κατηγορίες ελεύθερων ριζών και δραστικών μορίων

Οι ελεύθερες ρίζες προέρχονται κατά κύριο λόγο από το μοριακό οξυγόνο (O_2), και για την περιγραφή τους χρησιμοποιείται εκτενώς ο όρος ‘δραστικές μορφές οξυγόνου’ (Reactive oxygen species – ROS). Στις δραστικές μορφές οξυγόνου ωστόσο, εκτός από τις ελεύθερες ρίζες, συγκαταλέγονται και άλλα δραστικά παράγωγα του οξυγόνου ικανά να προκαλέσουν την οξείδωση βιομορίων που συνήθως ονομάζονται οξειδωτικά ή προ-οξειδωτικά (Köksal et al., 2017). Οι ενεργές μορφές οξυγόνου αποτελούν την σημαντικότερη κατηγορία δραστικών μορίων που παράγονται κατά τις μεταβολικές διεργασίες (Phaniendra et al., 2015). Το ανιόν υπεροξειδίου ($O_2^{\cdot-}$) θεωρείται η βασικότερη και πιο διαδεδομένη δραστική μορφή οξυγόνου, καθώς μέσω της αλληλεπίδρασης του με άλλα μόρια οδηγεί στον σχηματισμό άλλων δραστικών μορίων, είτε άμεσα είτε έμμεσα μέσω αντιδράσεων καταλυόμενων από ένζυμα ή μέταλλα (Valko et al., 2006). Η ρίζα υδροξυλίου (OH^{\cdot}) αποτελεί την πιο δραστική ελεύθερη ρίζα, και έχει την ικανότητα να αντιδράσει με μεγάλο αριθμό οργανικών και ανόργανων μορίων με εξαιρετικά καταστρεπτικές συνέπειες στο κύτταρο (Gulcin, 2020).

Κατά παρόμοιο τρόπο, δραστικά παράγωγα του αζώτου ονομάζονται ‘δραστικές μορφές αζώτου’ (Reactive nitrogen species – RNS), τα δραστικά παράγωγα του θείου ‘δραστικές μορφές θείου’ (Reactive sulphur species – RSN), τα δραστικά παράγωγα του χλωρίου ‘δραστικές μορφές χλωρίου’ (Reactive chlorine species) και τα δραστικά παράγωγα βρωμίου ‘δραστικές μορφές βρωμίου’ (Reactive bromide species) (Halliwell & Gutteridge, 2015).

Τα μέταλλα, ιδιαίτερα τα μέταλλα μετάπτωσης, επίσης συμμετέχουν στις επιβλαβείς συνέπειες που σχετίζονται με την οξειδωτική καταπόνηση. Τα ιόντα σιδήρου, που θεωρούνται τα σημαντικότερα από βιολογικής άποψης εξαιτίας της αφθονίας του στα βιολογικά συστήματα, είναι ικανά να συμμετέχουν σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίου, πράγμα που τους επιτρέπει να καταλύουν αντιδράσεις αυτοοξειδωσης μορίων (Galaris & Pantopoulos, 2008; Sheftel et al., 2012). Τα μέταλλα μετάπτωσης σχετίζονται επίσης στενά με τον σχηματισμό ελεύθερων ριζών καθώς συμμετέχουν σε αντιδράσεις διάσπασης υπεροξειδίων (διάσπαση Fenton), επιδεινώνοντας έτσι τις επιπτώσεις της οξειδωτικής βλάβης (Valko et al., 2005). Η δραστική ρίζα υδροξυλίου (OH[•]) σχηματίζεται μέσω αντίδρασης Fenton, κατά την οποία το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H₂O₂) αντιδρά με μεταλλικά ιόντα (Fe²⁺ ή Cu⁺) με βάση την αντίδραση (1)



2.3.1.2. Επίδραση ελεύθερων ριζών στον οργανισμό

Οι ελεύθερες ρίζες έχουν την ικανότητα να επηρεάσουν όλα τα βασικά συστατικά του κυττάρου, οδηγώντας έτσι σε καταστροφή των κυτταρικών δομών. Μετά την αντίδραση μιας ελεύθερης ρίζας με ένα βιολογικό μόριο, τουλάχιστον ένα από τα σχηματιζόμενα μόρια της αντίδρασης θα είναι εκ νέου ελεύθερη ρίζα εξαιτίας της αφαίρεσης ηλεκτρονίου από αυτήν (Halliwell & Gutteridge, 2015).

Η οξειδωτική βλάβη των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFAs), γνωστή και ως υπεροξείδωση των λιπιδίων, είναι ιδιαίτερα καταστρεπτική καθώς οδηγεί σε αλυσιδωτές αντιδράσεις ικανές να επηρεάσουν μεγάλο αριθμό λιπαρών οξέων, επιφέροντας απώλεια ρευστότητας και τελικά λύση του κυττάρου (Y. Park et al., 2009). Η βασική διεργασία της υπεροξείδωσης των λιπιδίων περιγράφεται στις χημικές αντιδράσεις. 2-5, όπου με LH συμβολίζεται το πολυακόρεστο λιπαρό οξύ και η ρίζα. Η οξείδωση του πολυακόρεστου λιπαρού οξέος πραγματοποιείται συνήθως με αφαίρεση υδρογόνου από μεθυλομάδες που βρίσκονται μεταξύ δύο διπλών δεσμών και οδηγεί στον σχηματισμό ρίζας λιπαρού οξέος (L[•]) (αντίδραση 2) η οποία αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρίζας υπεροξειδίου (LOO[•]) (αντίδραση 3). Η ρίζα υπεροξειδίου αποσπά άτομο υδρογόνου από ένα άλλο πολυακόρεστο λιπαρό οξύ, που οδηγεί σε σχηματισμό υδροϋπεροξειδίων (LOOH) καθώς και μιας νέας ρίζας η οποία με τη σειρά της ακολουθεί την ίδια σειρά αντιδράσεων (αντίδραση 4) (Nimse & Pal, 2015). Τα υδροϋπεροξειδία είναι εξαιρετικά

ασταθείς ενώσεις και εύκολα διασπώνται σε δευτερογενείς ενώσεις, κυρίως αλδεΐδες (αντίδραση 5). Πολλές από αυτές τις αλδεΐδες αποτελούν βιολογικά ενεργές ενώσεις, οι οποίες διαχέονται και βλάπτουν και άλλες περιοχές του κυττάρου (Devasagayam et al., 2003).



Οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να αντιδράσουν και με άλλα βιολογικά μόρια όπως το δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ (DNA) και οι πρωτεΐνες. Παρά την εξαιρετική σταθερότητα του DNA, η ρίζα υδροξυλίου (OH^\bullet), εξαιτίας της έντονης δραστηριότητάς της, μπορεί να αντιδράσει με τις αζωτούχες βάσεις και το μόριο σακχάρου που αποτελούν τα νουκλεοτίδια μέσω μιας σειράς μηχανισμών αντιδράσεων. Αυτός ο τύπος οξειδωτικής βλάβης του DNA σχετίζεται άμεσα με τις προκλήσεις μεταλλάξεων, τις καρκινογενέσεις και την γήρανση (Dizdaroglu & Jaruga, 2012). Οι πρωτεΐνες υφίστανται οξειδωτική βλάβη μέσω της συνδυασμένης δράσης των ενεργών μορφών οξυγόνου και των μεταλλικών ιόντων σιδήρου (Fe^{2+}) και χαλκού (Cu^{2+}). Αποτέλεσμα της οξείδωσής τους είναι η δημιουργία πρωτεϊνικών καρβονυλίων και οξειδωμένων αμινοξέων, που μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές επιπτώσεις στο κύτταρο όπως είναι η απώλεια ενζυμικής λειτουργίας. Τα αμινοξέα κυστεΐνη και μεθειονίνη είναι ιδιαίτερα επιρρεπή στην οξειδωτική βλάβη από δραστικές μορφές οξυγόνου και χλωρίου (Ezraty et al., 2017).

2.4.2. Μηχανισμοί αντιοξειδωτικής δράσης

Η αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα μιας ουσίας χαρακτηρίζουν την δυνατότητα αυτής να δράσει ως αντιοξειδωτικό. Τα αντιοξειδωτικά ορίζονται ως 'οποιαδήποτε ουσία είναι ικανή να καθυστερήσει ή να αποτρέψει την οξειδωτική βλάβη ενός μορίου στόχου' (Halliwell & Gutteridge, 2015). Η αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα μιας ένωσης ωστόσο δεν αποτελούν ταυτόσημες έννοιες, καθώς αναφέρονται σε διαφορετικές αρχές δράσης (Spiegel et al., 2020). Η αντιριζική ικανότητα αναφέρεται στην ικανότητα μιας ουσίας να αντιδρά με μια ελεύθερη ρίζα ενώ η αντιοξειδωτική ικανότητα αναφέρεται στην

ικανότητα της να αναστείλει την διαδικασία της οξειδωσης, πράγμα που συνήθως περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές αντιδράσεις (Tirzitis & Bartosz, 2010).

2.4.2.1. Αντιοξειδωτική ικανότητα

Οι αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί αποτελούν τρόπους αποτροπής των οξειδωτικών αντιδράσεων σε περίπλοκα βιολογικά συστήματα, και εντάσσονται στους έμμεσους μηχανισμούς δράσης κατά των ελεύθερων ριζών. Στους μηχανισμούς αυτούς εντάσσεται η ρύθμιση της δράσης των ενζύμων που επιδρούν στην οξειδωτική καταπόνηση και η ικανότητα σχηματισμού χηλικών συμπλόκων με μέταλλα (Ji et al., 2020; Kang et al., 2017).

Τα ένζυμα που σχετίζονται με την αντιοξειδωτική καταπόνηση χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις οξειδάσες και τα αντιοξειδωτικά ένζυμα. Οι αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί που σχετίζονται με τις δύο αυτές κατηγορίες ενζύμων αναφέρονται στην ενίσχυση της δράσης των αντιοξειδωτικών ενζύμων και την αναστολή της δράσης των οξειδασών (Ji et al., 2020).

Τα ενζυμικής φύσεως αντιοξειδωτικά αποτελούν ενδογενείς μηχανισμούς αδρανοποίησης των δραστικών μορφών, καταλύοντας την διάσπασή τους στο ενδοκυττάριο περιβάλλον. Τα κυριότερα από αυτά τα ενζυμικά αντιοξειδωτικά είναι η δισμουτάση του υπεροξειδίου (SOD), η οποία καταλύει την μετατροπή της ρίζας $O_2^{\cdot-}$ σε υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2), η καταλάση (CAT), η οποία με τη σειρά της καταλύει τη διάσπαση του υπεροξειδίου του υδρογόνου σε νερό και οξυγόνο, και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (GPx), η οποία καταλύει επίσης τη διάσπαση του υπεροξειδίου του υδρογόνου καθώς και μεγάλου αριθμού οργανικών υδροϋπεροξειδίων (Lubos et al., 2011; Nandi et al., 2019; R. Buettner, 2011). Όταν ένας οργανισμός εκτεθεί σε υψηλά επίπεδα ελεύθερων ριζών και δραστικών μορίων ωστόσο, τα αντιοξειδωτικά ένζυμα δεν είναι ικανά να ελέγξουν τις εκτενείς βλάβες που προκαλούνται. Τα εξωγενή αντιοξειδωτικά μπορούν να ενισχύσουν την δράση και την έκφραση των ενδογενών αντιοξειδωτικών, καθώς και να προστατεύσουν τον οργανισμό από την οξειδωτική καταπόνηση με άλλους μηχανισμούς (Lü et al., 2010; Shih et al., 2007).

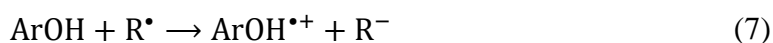
Οι NADPH οξειδάσες και η ξανθοξειδάση αποτελούν τις κυριότερες αιτίες δημιουργίας ελεύθερων ριζών στον οργανισμό. Οι NADPH οξειδάσες αποτελούν κατηγορία ενζύμων των μεμβρανών του πλάσματος, ικανών να μεταφέρουν ηλεκτρόνιο σε ένα μόριο εξωκυτταρικού οξυγόνου, παράγοντας έτσι ανιόν υπεροξειδίου ($O_2^{\cdot-}$) (Babior, 1999). Το ένζυμο ξανθοξειδάση συμμετέχει στον σχηματισμό ουρικού οξέος στο σώμα, καταλύοντας την οξείδωση της υποξανθίνης και ξανθίνης σε ουρικό οξύ παράγοντας ταυτόχρονα ανιόντα υπεροξειδίου και υπεροξειδίου του υδρογόνου (Berry & Hare, 2004).

Η ικανότητα χηλικοποίησης μετάλλων αποτελεί τον τελευταίο έμμεσο μηχανισμό δράσης αδρανοποίησης των ριζών από τα αντιοξειδωτικά. Τα μέταλλα μετάπτωσης, ιδίως ο σίδηρος και ο χαλκός, επιδεινώνουν την οξειδωτική καταπόνηση εξαιτίας της συμμετοχής τους σε αντιδράσεις Fenton που οδηγούν σε παραγωγή δραστικών ριζών υδροξυλίου. Η δημιουργία συμπλόκων με αυτά τα μέταλλα λοιπόν οδηγεί σε μείωση της παραγωγής ριζών υδροξυλίου (Lü et al., 2010).

Παρά τις πολυάριθμες προσεγγίσεις μελέτης της αντιοξειδωτικής ικανότητας διαφόρων μορίων, δεν υπάρχει κάποια γενική μέθοδος πρόβλεψης του μηχανισμού αντιοξειδωτικής ικανότητας μιας ουσίας. Οι βιολογικές μέθοδοι, στις οποίες περιλαμβάνονται οι κυτταρικές καλλιέργειες και εργαστηριακές μελέτες σε ανθρώπους και ζώα, είναι εξαιρετικά χρονοβόρες και ακριβές (Spiegel et al., 2020). Επομένως, για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας χρησιμοποιούνται συχνότερα χημικές δοκιμές, όπως οι μέθοδοι αναγωγής μεταβατικών μετάλλων FRAP και CUPRAC (Çelik et al., 2010).

2.4.2.2. Αντιριζική ικανότητα

Η αντιριζική ικανότητα μιας ουσίας είναι πιο ξεκάθαρη και περιλαμβάνει τρεις γενικά αποδεκτούς μηχανισμούς δράσης ενάντια στις ελεύθερες ρίζες: την μεταφορά ατόμου υδρογόνου (Hydrogen Atom Transfer – HAT) (αντίδραση 6), τη μεταφορά μονήρους ηλεκτρονίου-μεταφορά πρωτονίου (Single Electron-Proton Transfer – SET-PT) (αντιδράσεις 7 και 8) και την διαδοχική απώλεια πρωτονίου-μεταφορά ηλεκτρονίου (Sequential Proton Loss – Electron Transfer – SPLET) (αντιδράσεις 8-10). Οι τελευταίοι δύο μηχανισμοί συχνά περιγράφονται ενιαία ως μηχανισμός μεταφοράς μονήρους ηλεκτρονίου (Single Electron Transfer – SET) (αντίδραση 11) (Kupaeva & Kotenkova, 2021).

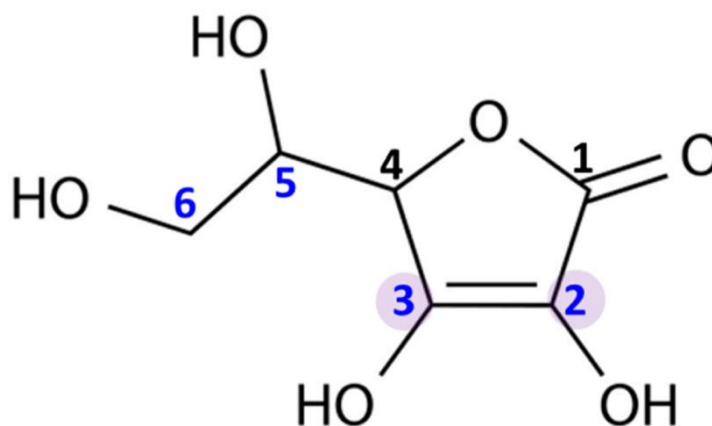


Σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις, όλοι οι μηχανισμοί απαιτούν οι ουσίες με αντιριζικές ικανότητες να διαθέτουν ομάδα υδροξυλίου (-OH) στην δομή τους. Επιπλέον, κάθε μηχανισμός οδηγεί στον σχηματισμό μιας νέας ρίζας (ArO^{\bullet}), η οποία είναι πιο σταθερή από την αρχική ρίζα (R^{\bullet}) (Milenković et al., 2017).

2.4.3. Τα φυτοχημικά της οικογένειας Brassicaceae ως αντιοξειδωτικές ενώσεις

Ένας μεγάλος αριθμός φυσικών ενώσεων των τροφίμων διαθέτουν αντιοξειδωτική δράση (Abbas et al., 2015). Η αντιοξειδωτική δράση των φυτοχημικών εξαρτάται κυρίως από τη δομή τους, συγκεκριμένα την ύπαρξη υδροξυλίων και συζυγιακών διπλών δεσμών. Η ύπαρξη συζυγών διπλών δεσμών ευνοεί τον απεντονισμό των μονήρων ηλεκτρονίων των ελεύθερων ριζών (Charlton et al., 2023).

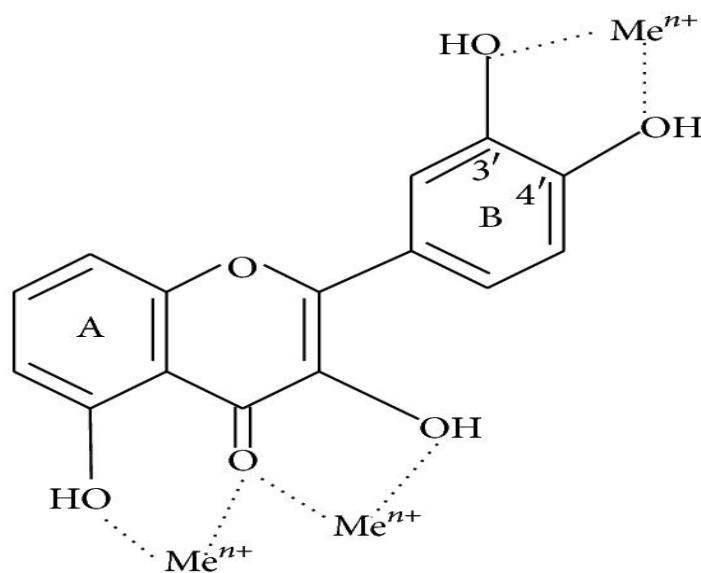
Το ασκορβικό οξύ διαθέτει πρωτίστως αντιριζική ικανότητα, η οποία οφείλεται στην δομή του. Οι ιδιότητες του οφείλονται στην παρουσία δύο διπλών δεσμών στις θέσεις 2 και 3 του κεντρικού άνθρακα και των υδροξυλομάδων στους άνθρακες C2, C3, C5 και C6 (Εικ. 11) (Gęgotek & Skrzydlewska, 2022). Δρα μέσω της μεταφοράς ηλεκτρονίου αδρανοποιώντας το μονήρες οξυγόνο, το υπεροξείδιο του υδρογόνου και τη ρίζα υδροξυλίου, καθώς και τη λιπιδική ρίζα τερματίζοντας έτσι την αλυσίδα οξείδωσης των λιπιδίων (Padayatty & Levine, 2016; Phaniendra et al., 2015). Ως αποτέλεσμα της μεταφοράς αυτής, σχηματίζεται ασκορβική ρίζα η οποία είναι σταθερή και αντιδρά σε ζεύγη προς σχηματισμό ενός μορίου ασκορβικού οξέος και ενός μορίου δεϋδροασκορβικού. Το δεϋδροασκορβικό δεν εμφανίζει αντιοξειδωτική ικανότητα, αλλά εύκολα μετατρέπεται σε ασκορβικό οξύ μέσω της προσθήκης ζεύγους ηλεκτρονίων μέσω της οξειδοοδουκτάσης (Nimse & Pal, 2015).



Εικόνα 11. Χημική δομή ασκορβικού οξέος: τα μαρκαρισμένα άτομα άνθρακα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αντιριζική του δράση (Gęgotek & Skrzydlewska, 2022)

Η αντιοξειδωτική δράση των φλαβονοειδών είναι αποτέλεσμα συνδυασμού μηχανισμών αντιδράσεων.

Τα φλαβονοειδή διαθέτουν την ικανότητα να αναστέλλουν την οξείδωση μέσω της δημιουργίας χηλικών ενώσεων με μέταλλα, της αναστολής της δράση των οξειδασών, της ενίσχυσης δράσης αντιοξειδωτικών ενζύμων καθώς και της δέσμευσης ελεύθερων ριζών (Halliwell & Gutteridge, 2015; Mishra et al., 2013). Τα κέντρα δημιουργίας χηλικών ενώσεων στον σκελετό των φλαβονοειδών είναι η 3-υδροξυλομάδα μαζί με την ομάδα καρβονυλίου στη θέση 4 του C δακτυλίου, η 5-υδροξυλομάδα του A βενζολικού δακτυλίου μαζί με την ομάδα καρβονυλίου στη θέση 4 του C δακτυλίου και τα υδροξύλια του B δακτυλίου (Εικ. 12) (Engelmann et al., 2005; Mira et al., 2002). Τα σχηματιζόμενα σύμπλοκα με τον σίδηρο και τον χαλκό εμφανίζουν χαμηλότερη ικανότητα οξείδωσης των λιπαρών οξέων, αποτρέπουν την οξειδωτική βλάβη του DNA και αποτρέπουν την δημιουργία ελεύθερων ριζών αποτρέποντας τις αντιδράσεις Fenton (de Souza & De Giovani, 2004; Russo et al., 2000; Zhou et al., 2001). Η φλαβονόλη κερκετίνη είναι γνωστή για τις ικανότητες χηλικοποίησης και σταθεροποίησης του σιδήρου (Kumar & Pandey, 2013). Διαθέτει τρία διαφορετικά σημεία πρόσδεσης με μεταλλικά ιόντα, και είναι ικανή να δημιουργεί σύμπλοκα με έναν μεγάλο αριθμό μεταλλικών ιόντων (Pasban Ziyarat et al., 2014; Psotová et al., 2003).



Εικόνα 12. Τα κέντρα σχηματισμού χηλικών ενώσεων στον σκελετό φλαβονοειδούς (Kurpios-Piec et al., 2022)

Οι φλαβονόλες φαίνεται πως αποτρέπουν την δράση της ξανθοξειδάσης μέσω σχηματισμού δεσμών υδρογόνο και δέσμευσης του ενεργού κέντρου του ενζύμου (Ren et al.,

2019). Η κερκετινή έχει αποδειχθεί πως δρα ως αναστολέας τόσο των NADPH οξειδασών όσο και της ξανθοξειδάσης, αλλά ο βαθμός αναστολής εξαρτάται από τον βαθμό γλυκοζιλίωσης και άλλων δομικών χαρακτηριστικών της (Galindo et al., 2012; Huang et al., 2011). Επιπλέον, διαθέτει την ικανότητα να ενισχύει τη σύνθεση της γλουταθειόνης, καθώς συμμετέχει στην ενεργοποίηση της μεταγραφής ενός κρίσιμου γονιδίου έκφρασης του ενζύμου (Moskaug et al., 2005; Myhrstad et al., 2002). Η καμπερόλη επίσης διαθέτει την ικανότητα αναστολής των NADPH οξειδασών και της ξανθοξειδάσης (Sandoval-Yanez et al., 2017).

Η αντιριζική δράση των φλαβονοειδών οφείλεται κυρίως στην προσφορά ατόμου υδρογόνου από τις υδροξυλομάδες στις ελεύθερες ρίζες. Τόσο ο ολικός αριθμός υδροξυλίων όσο και η διαμόρφωση τους επηρεάζουν σημαντικά την αντιριζική ικανότητά τους (Heim et al., 2002). Τα πιθανά είδη OH-υποκατάστασης είναι πολλά, αλλά δεν διαθέτουν όλα τα υδροξύλια την ίδια ικανότητα προσφοράς ατόμου υδρογόνου, με αποτέλεσμα να διαφέρει η δραστικότητα μεταξύ των φλαβονοειδών. Τα υδροξύλια αυτά μπορούν να λειτουργήσουν ως δότες κατιόντων υδρογόνου με βάση τη γενική αντίδραση:



Η διαμόρφωση και ο αριθμός των υδροξυλίων του B δακτυλίου είναι αυτός που επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την ικανότητα του μορίου να αδρανοποιεί τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και αζώτου (Haenen et al., 1997; Kerry & Rice-Evans, 1999; Sekher Pannala et al., 2001). Οι υδροξυλομάδες του B δακτυλίου προσφέρουν άτομο υδρογόνου και κατ'επέκταση ηλεκτρόνιο στις ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου, υπεροξυλίου και υπεροξυνιτρικού, σταθεροποιώντας τις και οδηγώντας στον σχηματισμό σταθερής ρίζας φλαβονοειδούς (\cdot). Τα υδροξύλια στις θέσεις 3' και 4' είναι αυτά που αυξάνουν την αντιριζική δράση των φλαβονοειδών (Ratty & Das, 1988). Ο A δακτύλιος δεν συμμετέχει σημαντικά στην αντιριζική δράση των φλαβονοειδών, αλλά η παρουσία υδροξυλίου στις θέσεις 5, και ειδικά ταυτόχρονα στις θέσεις 5 και 7, αυξάνουν σε ένα βαθμό την αντιριζική δράση (Sanz et al., 1994). Η κερκετινή έχει αποδειχτεί πειραματικά πως διαθέτει την ικανότητα να αδρανοποιεί το μονήρες οξυγόνο (O_2) και τις ρίζες υδροξυλίου (OH^{\bullet}), και η καμπερορόλη το ανιόν υπεροξειδίου ($O_2^{\cdot-}$) (Patil et al., 2013).

Όσον αφορά τις ανθοκυανίνες, αναστέλλουν την οξειδωτική καταπόνηση κυρίως μέσω της αδρανοποίησης ελεύθερων ριζών (Tena et al., 2020). Πειραματικά δεδομένου δείχνουν πως η αύξηση του βαθμού ακυλίωσης τους αυξάνει την αντιριζική τους ικανότητα

(Wiczowski et al., 2013). Οι Matsufuji et al. (2007) απέδειξαν πως η αντιριζική ικανότητα επηρεάζεται επίσης από τους υποκαταστάτες με την εξής φθίνουσα σειρά: καφεϊκό οξύ > φερουλικό οξύ > *p*-κουμαρικό οξύ, ενώ η θέση ακυλίωσης επηρεάζει και αυτή την αντιριζική ικανότητα (Matsufuji et al., 2007).

Τόσο τα υδροξυκιναμικά οξέα όσο και τα παράγωγά τους διαθέτουν αντιριζική ικανότητα, ενώ αποτελούν και παράγοντες χηλικοποίησης μετάλλων (T. Liang et al., 2010; Tsao & Deng, 2004). Η αντιοξειδωτική τους ικανότητα οφείλεται αφενός στην ύπαρξη του φαινολικού δακτυλίου, και αφετέρου στην ύπαρξη πλευρικής ομάδας προπενικού οξέος, οι συζυγείς διπλοί δεσμοί του οποίου δύναται να αδρανοποιούν τις ελεύθερες ρίζες μέσω του απεντονισμού των μονήρων ηλεκτρονίων των ενεργών μορίων (Sona, 2012). Ορισμένα υδροξυκιναμικά οξέα, όπως το καφεϊκό οξύ, διαθέτουν την ικανότητα να ενισχύουν την δράση ενδογενών αντιοξειδωτικών ενζύμων (U. J. Jung et al., 2006; Semiz et al., 2017).

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των καρτενοειδών εξαρτάται κυρίως από την διάταξη των συζυγών διπλών δεσμών στο μόριο τους. Ανάλογα με τον αριθμό των διπλών δεσμών, το μόρια μπορούν να διαταχθούν σε *cis* ή *trans* διαμόρφωση.

Τα καρτενοειδή, ειδικά αυτά που αποτελούνται από 11 συζυγείς διπλούς δεσμούς, αποτελούν τους πιο αποτελεσματικούς αναστολείς του μονήρους οξυγόνου καθώς και των ενεργών μορφών οξυγόνου στις λιπιδικές διπλοστιβάδες (Edge et al., 1997; Edge & Truscott, 2010).

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των ισοθειοκυανικών βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στην ικανότητά τους να ενεργοποιούν τα ενδογενή αντιοξειδωτικά ένζυμα μέσω της συμμετοχής τους στη μεταγραφή των γονιδίων που τα κωδικοποιούν (Cedrowski et al., 2022; Valgimigli & Iori, 2009; Y. Zhang et al., 2005)

Πίνακας 2. Μηχανισμοί αντιοξειδωτικής δράσης φυτοχημικών της οικογένειας *Brassicaceae*

Μηχανισμοί αντιοξειδωτικής δράσης φυτοχημικών		
Ασκορβικό οξύ (Βιταμίνη C)	Αδρανοποίηση ελεύθερων ριζών – ενεργών μορφών	(Padayatty & Levine, 2016; Phaniendra et al., 2015)
Φλαβονόλες	Αδρανοποίηση ελεύθερων ριζών	(Patil et al., 2013)
	Σχηματισμός χηλικών συμπλόκων	(Kumar & Pandey, 2013; Pasban Ziyarat et al., 2014; Psotová et al., 2003; Sandoval-Yanez et al., 2017)

	Αναστολή NADPH οξειδασών και ξανθοξειδάσης	(Galindo et al., 2012; Huang et al., 2011)
	Ενίσχυση σύνθεσης γλουταθειόνης	(Moskaug et al., 2005; Myhrstad et al., 2002)
Φαινολικά οξέα	Σχηματισμός χηλικών συμπλόκων	(T. Liang et al., 2010)
Ανθοκυανίνες	Αδρανοποίηση ελεύθερων ριζών	(Tena et al., 2020)
Καροτενοειδή	Ενίσχυση δράσης ενδογενών αντιοξειδωτικών ενζύμων	(U. J. Jung et al., 2006; Semiz et al., 2017)
	Αδρανοποίηση ελεύθερων ριζών	(Edge et al., 1997; Edge & Truscott, 2010)
Ισοθειοκυανικά	Ενεργοποίηση ενδογενών αντιοξειδωτικών ενζύμων	(Cedrowski et al., 2022; Valgimigli & Iori, 2009; Y. Zhang et al., 2005)

2.5. Περιγραφή ειδών προς μελέτη

2.5.1. Λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata*)

Το λάχανο ανήκει στην ομάδα Capitata του είδους *Brassica oleraceae*. Η ονομασία Capitata προέρχεται από την λατινική λέξη ‘capita’ που σημαίνει κεφάλι, και περιγράφει την χαρακτηριστική διάταξη των φύλλων του λαχάνου στις λεγόμενες ‘κεφαλές’. Οι κεφαλές του λαχάνου διαφέρουν ως προς διάφορα χαρακτηριστικά, όπως το σχήμα, το χρώμα και η υφή των φύλλων, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές διαφορετικές ποικιλίες που μπορούν να καλλιεργηθούν σε πληθώρα κλιματικών συνθηκών (Björkman et al., 2011).

Όσον αφορά το χρώμα, η ομάδα Capitata χωρίζεται επιπλέον σε δύο διαφορετικές μορφές (formae): το λευκό λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba*) και το κόκκινο ή μωβ λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra*) (Jin et al., 2018). Εκτός από τη διαφοροποίηση ως προς το χρώμα, τα λάχανα διακρίνονται επίσης ανάλογα με το σχήμα της κεφαλής τους σε σφαιρικά, κωνικά (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *acuta*), και πεπλατυσμένα ή επίπεδα (Εικ. 13) (Y. Liang et al., 2019).



Εικόνα 13. Διαφορετικές μορφές κοινού λάχανου. (a) *Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba* σφαιρικό, (b) *Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra*, (c) *Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *acuta*, (d) *Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba* πεπλατυσμένο

Το λάχανο αποτελεί φυτό με διετή βιολογικό κύκλο, καλλιεργείται όμως ως μονοετές. Κατά τον πρώτο χρόνο, το φυτό αναπτύσσεται βλαστικά. Τα φύλλα του σχηματίζονται σε μορφή ρόδακα, και καθώς αναπτύσσεται κάμπτονται προς το εσωτερικό, αλληλοεπικαλύπτονται και κατά αυτόν τον τρόπο σχηματίζεται η κεφαλή του φυτού. Είναι φυτό δροσερών εποχών και παρουσιάζει αντοχή στο ψύχος. Η ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης κυμαίνεται μεταξύ 15-18 . Θερμοκρασίες πάνω από 18 προκαλούν πρόωρη άνθηση σε ορισμένες ποικιλίες (Kalorizou & Papachatzis, 2011).

2.4.1.2. Ποικιλίες και υβρίδια λάχανου

Τα καλλιεργούμενα λάχανα που κυκλοφορούν σήμερα στο εμπόριο συνιστώνται σχεδόν αποκλειστικά από υβρίδια. Τα υβρίδια αποτελούν την πρώτη γενιά απογόνων (F1) που προκύπτει από τη διασταύρωση δύο ατόμων τα οποία διαφέρουν σε ένα ή περισσότερα γονίδια (Goulet et al., 2017). Τα υβρίδια εμφανίζουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των ποικιλιών, και η παραγωγή τους αξιοποιώντας την εισαγωγή της κυτταροπλασματικής αρρενοστεριότητας από άλλα είδη του γένους, αποτελεί μεγάλο τεχνολογικό επίτευγμα για την παραγωγή των συγκεκριμένων λαχανικών (Ordas & Cartea, 2008). Η χρήση τους

βελτιώνει την ομοιομορφία και αυξάνει την παραγωγή, ενώ επηρεάζει και την πρωιμότητα. Προσφέρουν τα βέλτιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα οι μεγάλες σποροπαραγωγικές εταιρείες να εστιάζουν αποκλειστικά στην παραγωγή αυτών. Παρ'όλα αυτά, οι παραδοσιακές ποικιλίες λάχανου εξακολουθούν να αποτελούν πολύτιμο γενετικό υλικό και να καλλιεργούνται εκτενώς σε ορισμένες περιοχές, εξαιτίας της γεύσης τους, της παράδοσης και ορισμένων χαρακτηριστικών τους, τα οποία τις καθιστούν πιο κατάλληλες για την παραγωγή ζυμωμένων προϊόντων (Cvetković et al., 2014; Lončarić et al., 2020).

Οι διάφορες ποικιλίες, και ιδίως τα υβρίδια, κατατάσσονται με βάση τα την εξωτερική εμφάνιση του τελικού προϊόντος, καθώς και την εποχή ωρίμανσης και διάρκεια του βιολογικού κύκλου, του απαιτούμενου χρόνου δηλαδή από τη μεταφύτευση μέχρι την ωρίμανση. Τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την εξωτερική εμφάνιση και κατηγοριοποιούν τα διάφορα υβρίδια περιλαμβάνουν το σχήμα και το χρώμα προς κεφαλής, τον αριθμό των φύλλων, την συνεκτικότητα και τις διαστάσεις του στελέχους (de Moel & Everaarts, 1990). Ως προς τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου, διακρίνονται σε υπερπρώιμα, πρώιμα, μεσοπρώιμα ή μεσόψιμα και όψιμα ή χειμωνιάτικα. Τα υπερπρώιμα υβρίδια ωριμάζουν σε 55-60 ημέρες, χαρακτηρίζονται συνήθως από μικρό μέγεθος κεφαλής και χρησιμοποιούνται για ανοιξιιάτικη καλλιέργεια. Τα πρώιμα ωριμάζουν σε 90 ημέρες και χρησιμοποιούνται για καλοκαιρινή καλλιέργεια, ενώ τα μεσοπρώιμα ή μεσόψιμα ωριμάζουν σε 120 ημέρες και είναι κατάλληλα για φθινοπωρινή καλλιέργεια. Τα όψιμα ή χειμωνιάτικα χαρακτηρίζονται συνήθως από μεγάλο μέγεθος κεφαλής και, προς δηλώνει και το όνομα προς, είναι κατάλληλα για χειμερινή καλλιέργεια (ISO Fruit, 2016).

2.4.1.3. Φυτοχημική σύσταση

Παρά το γεγονός πως ανήκουν στο ίδιο είδος, η φυτοχημική σύσταση του λευκού και του κόκκινου λαχάνου διαφέρουν σημαντικά. Επιπλέον, διαφέρει ανάμεσα προς επιμέρους ποικιλίες και υβρίδια των λάχανων, αν και έρευνες που εστιάζουν προς διαφορές προς σύστασης μεταξύ των ποικιλιών είναι μέχρι σήμερα περιορισμένες (Jakobec et al., 2018). Το γενετικό υπόβαθρο αποτελεί πρωτεύοντα παράγοντα που επηρεάζει την φυτοχημική σύσταση και αντιοξειδωτική ικανότητα του λάχανου. Το διαφορετικό σχήμα κεφαλής φαίνεται πως επηρεάζει επίσης την φυτοχημική σύσταση (Y. Liang et al., 2019; Z. Yue et al., 2024).

Οι γλυκοζινολικές ενώσεις συνιστούν το μεγαλύτερο ποσοστό προς συνολικής φυτοχημικής σύστασης τόσο του λευκού όσο και του κόκκινου λάχανου (Wermter et al., 2020). Η ποσότητα και το είδος γλυκοζινολικών ενώσεων ωστόσο διαφέρει ανάμεσα στις

δύο μορφές. Τα επίπεδα γλυκοζινολικών στο λευκό λάχανο κυμαίνονται μεταξύ 1.05 και 70.56 $\mu\text{mol/g}$ σε ξηρή βάση (dw), ενώ στο κόκκινο λάχανο μεταξύ 5.9 και 25.5 $\mu\text{mol/g}$ σε ξηρή βάση (dw) (S. Park, Valan Arasu, et al., Šamec et al., 2017). Οι ίδιοι ερευνητές σε δοκιμές μεταξύ διαφορετικών γενετικών σειρών λευκού και κόκκινου λάχανου αναφέρουν πως σε ορισμένες περιπτώσεις το επίπεδο γλυκοζινολικών είναι 50% αυξημένο στο κόκκινο λάχανο σε σύγκριση με το λευκό, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η συγκέντρωση γλυκοζινολικών στο λευκό ξεπερνάει αυτή του κόκκινου, ανάλογα με την καθαρή σειρά (S. Park, Arasu, et al., 2014; S. Park, Valan Arasu, et al., 2014). Τα επίπεδα γλυκοζινολικών ενώσεων εξαρτώνται επίσης σημαντικά από την εποχή καλλιέργειας. Οι ερευνητές Cartea et al. (2008) σύγκριναν τα επίπεδα γλυκοζινολικών ενώσεων μεταξύ λάχανων ανοιξιάτικης και φθινοπωρινής σποράς και ανέφεραν πως ήταν αυξημένα κατά την ανοιξιάτικη σπορά (22 $\mu\text{g/mg}$ ξ.β. σε σχέση με 13 $\mu\text{g/mg}$ ξ.β. την φθινοπωρινή) (M. E. Cartea et al., 2008). Τα επίπεδα γλυκοζινολικών επομένως εξαρτώνται σημαντικά από παράγοντες προς η ποικιλία και η εποχή καλλιέργειας.

Οι δύο μορφές λάχανου, καθώς και οι διαφορετικές ποικιλίες, διαφέρουν και ως προς τα είδη γλυκοζινολικών ενώσεων που περιέχουν. Οι Hanschen και Schreiner (2017), συγκρίνοντας 3 ποικιλίες λευκού (Marcello, Perfecta, Tolsma) και 3 ποικιλίες κόκκινου λάχανου (Integro, Redma, Roodkop 2) διαπίστωσαν διαφορές μεταξύ των γλυκοζινολικών ενώσεων που περιέχουν. Στις ποικιλίες Tolsma και Marcello, η βασική γλυκοζινολική ένωση είναι η σινιγρίνη ενώ στην ποικιλία Perfecta ανιχνεύτηκε σε μεγαλύτερη ποσότητα η γλυκοϊβερίνη. Και στις τρεις λευκές ποικιλίες, ανιχνεύτηκαν επίσης σημαντικές ποσότητες γλυκοαμπρασικίνης. Στις κόκκινες ποικιλίες από την άλλη, βασική γλυκοζινολική ένωση είναι η γλυκοραφανίνη (Hanschen & Schreiner, 2017). Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Wermter et al. (2020), με διαφορά πως σε ορισμένες ποικιλίες κόκκινου λάχανου ανίχνευσαν αρκετά αυξημένες ποσότητες προγοϊτρίνης (Wermter et al., 2020). Σε παλαιότερες έρευνες όπου μελετήθηκαν καθαρές σειρές λευκού και κόκκινου λάχανου, οι κυριότερες γλυκοζινολικές ενώσεις ήταν η σινιγρίνη και η γλυκοραφανίνη, ενώ η γλυκοϊβερίνη δεν ανιχνεύτηκε καθόλου (S. Park, Arasu, et al., 2014; S. Park, Valan Arasu, et al., 2014). Η επίδραση του γενοτύπου στα επίπεδα και τα είδη των γλυκοζινολικών ενώσεων μελετήθηκε επίσης από τους Robin et al. (2017). Στην έρευνα αυτή, επιλέχθηκαν έξι διαφορετικοί γενοτύποι λευκού λάχανου με βάση τις διαφορές στα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους, 3 ποικιλίες (Rubra, YR Gold και Ohgane) και 5 καθαρές σειρές. Η σινιγρίνη εντοπίστηκε σε διαφορετικές ποσότητες σε όλα τα δείγματα (0,3-30

μmol/g d.w.) ενώ η γλυκοραφανίνη και γλυκοναπίνη εντοπίστηκαν σε μόλις δύο από τους 8 γενότυπους, τις ποικιλίες Rubra και YR Gold (Robin et al., 2017).

Οι φαινολικές ενώσεις διαφέρουν επίσης σημαντικά ανάμεσα στις δύο μορφές λάχανου. Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο είναι υψηλότερο στο κόκκινο λάχανο, πιθανόν λόγω της ύπαρξης ανθοκυανών (Charron et al., 2007; Leja et al., 2010). Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο στο λάχανο κυμαίνεται γενικά μεταξύ 24,83 με 60,36 mg ισοδύναμων γαλλικού οξέος (GAE)/g φρέσκου ιστού στις λευκές ποικιλίες και 170,53 με 174,38 mg ισοδύναμων γαλλικού οξέος (GAE)/g φρέσκου ιστού στις κόκκινες (Voča et al., 2018). Οι ερευνητές Kim et al. (2004), όταν σύγκριναν 10 ποικιλίες λευκού λάχανου σε νεαρό στάδιο ανάπτυξης, μεγαλωμένες στις ίδιες συνθήκες, διαπίστωσαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο ολικό φαινολικό περιεχόμενο τους, το οποίο ήταν υψηλότερο από το φαινολικό περιεχόμενο σε προχωρημένα στάδια ανάπτυξης και κυμαινόταν μεταξύ 110,2 mg ισοδύναμων γαλλικού οξέος (GAE)/g φρέσκου ιστού στην ποικιλία 'Genesee' μέχρι 153,3 mg ισοδύναμων γαλλικού οξέος (GAE)/g φρέσκου ιστού στην ποικιλία 'Bobcat' (D. -O. Kim et al., 2004). Στην έρευνα των Singh et al. (2006) το ολικό φαινολικό περιεχόμενο κυμαινόταν μεταξύ 12,6 mg/100g f.w. στην ποικιλία Pusa Mukta και 34,4 mg/100 g f.w. στην ποικιλία Green Cornell (Singh et al., 2007). Οι Jakobek et al. (2018) και Lončarić et al. (2020), συγκρίνοντας το ολικό φαινολικό περιεχόμενο 3 παραδοσιακών λευκών ποικιλιών και ενός υβριδίου (Cepinski, Varazdinski, Ogulinski, Bravo F1) διαπίστωσαν πως το φαινολικό περιεχόμενο ήταν υψηλότερο στις παραδοσιακές ποικιλίες σε σχέση με το υβρίδιο (Jakobec et al., 2018; Lončarić et al., 2020). Οι συγκεντρώσεις σε φαινολικές ενώσεις διαφορετικών ποικιλιών δίνονται στον Πίνακα 3.

Οι φλαβονόλες αποτελούν σημαντικό εκπρόσωπο των φλαβονοειδών και στις δύο μορφές λάχανου, με κυριότερους εκπροσώπους τα Ο-γλυκοσίδια της καμπαφερόλης (10,2 και 15,4 μg/g ξηρού βάρους στο λευκό και στο κόκκινο λάχανο αντίστοιχα), της κερκετίνης (5,7 μg/g ξηρού βάρους στο λευκό λάχανο και 9,2 μg/g ξηρού βάρους στο κόκκινο λάχανο), της ισοραμνετίνης (1,1 μg/g ξηρού βάρους στο λευκό λάχανο και 1,9 μg/g ξηρού βάρους στο κόκκινο λάχανο) και της μυρικετίνης. Οι συνηθέστεροι υποκαταστάτες είναι η γλυκόζη, η ραμνόζη, η ρουτινόζη, η γαλακτόζη και η αραβινόζη (D. -O. Kim et al., 2004; Koss-Mikołajczyk et al., 2019).

Όσον αφορά τις ανθοκυανίνες, κατά μέσο όρο 8 με 23 από τις 250 φυσικά απαντώμενες ανθοκυανίνες έχουν ταυτοποιηθεί στο κόκκινο λάχανο (Gachovska et al., 2010). Μάλιστα, το κόκκινο λάχανο αποτελεί μια από τις πλουσιότερες πηγές ανθοκυανών (10 mg/g ξηρού βάρους) στο φυτικό βασίλειο, και διαθέτει περίπλοκο προφίλ των ενώσεων

αυτών (Ghareaghajlou et al., 2021). Οι κυριότερες ανθοκυανίνες στο κόκκινο λάχανο είναι τα παράγωγα της κυανιδίνης-3-διγλυκοσίδιο-5 γλυκοσίδιο (Ghareaghajlou et al., 2021; Podsędek et al., 2014). Οι Fang et al. (2018) αναφέρουν πως η σύσταση των ανθοκυανών στο κόκκινο λάχανο αποτελείται από 19% μη ακετυλιωμένα, 51% μονο-ακετυλιωμένα και 31% δι-ακετυλιωμένα παράγωγα της κυανιδίνης με φερουλικό, σιναπικό, p-κουμαρικό και καφεϊκό οξύ. Η ακυλίωση προκύπτει κυρίως στη θέση 3 του και ο τύπος της επηρεάζει σημαντικά τις βιολογικές ιδιότητες του μορίου (Fang et al., 2018). Η ακυλίωση προσφέρει πλεονεκτήματα έναντι των μη ακετυλιωμένων παραγώγων, όπως είναι η σταθερότητα ενάντια σε παράγοντες όπως το pH, η θερμοκρασία και το φως, ενώ βελτιώνει και τα χαρακτηριστικά του χρώματος τους, με αποτέλεσμα οι χρωστικές που παράγονται από αυτές να υπερτερούν σε σχέση με άλλες που προέρχονται από άλλα φυτά όπως το σταφύλι, το σαμπούκο και τη ροζέλλα (Jamrani & Raghavarao, 2015; Rasheed et al., 2018; Salem et al., 2022). Οι κόκκινες χρωστικές στο κόκκινο λάχανο ωστόσο μπορεί να προέρχονται, σε μικρότερο βαθμό, και από το λυκοπένιο και τις ξανθοφύλλες (H.-E. Khoo et al., 2011).

Η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C είναι επίσης υψηλότερη στο κόκκινο λάχανο (62-72,56 mg/100 g) σε σχέση με το λευκό (18-35,65 mg/100 g). Η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C σε διαφορετικές ποικιλίες λαχάνου φαίνεται να παρουσιάζει διαφορές της τάξεως του 2%, ενώ σε περιπτώσεις που υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις πειραματικές συνθήκες, οι διαφορές αυτές αυξάνονται στο 32% (Domínguez-Perles et al., 2014).

Τα τελευταία χρόνια, έχει αρχίσει να διερευνείται η πιθανή συσχέτιση των μορφολογικών χαρακτηριστικών, εκτός του χρώματος, με τη φυτοχημική σύσταση του λάχανου. Οι Liang et al. (2019) σύγκριναν τη φυτοχημική σύσταση 4 ποικιλιών λάχανου που διέφεραν μορφολογικά μεταξύ τους (κόκκινο λάχανο, σφαιρικό λάχανο, πεπλατυσμένο λάχανο και κωνικό λάχανο). Η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων ήταν υψηλότερο στο κόκκινο λάχανο (153,94 mg GAE/100 g f.w.) και χαμηλότερο στο πεπλατυσμένο λάχανο (86.64 mg GAE/100 g f.w.), ενώ δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ του σφαιρικού και του κωνικού λάχανου (125,54 και 119,34 mg/100 g GAE f.w. αντίστοιχα). Παρόμοια αποτελέσματα έδωσε και η ανάλυση των φλαβονοειδών, με το κόκκινο λάχανο να εμφανίζει την υψηλότερη συγκέντρωση (51,32 mg RE/100 g f.w.) και το πεπλατυσμένο λάχανο την χαμηλότερη (9,45 mg RE/100 g f.w.). Από την άλλη, η συγκέντρωση ισοθειοκυανικών, των προϊόντων υδρόλυσης των γλυκοζινολικών ενώσεων, ήταν σημαντικά υψηλότερη στο πεπλατυσμένο λάχανο σε σχέση με τις άλλες τρεις μορφές (Y. Liang et al., 2019)

Οι Wang et al. (2022) σύγκριναν τη φυτοχημική σύσταση (βιταμίνη C, ολικό φαινολικό περιεχόμενο, φλαβονοειδή και γλυκοζινολικές ενώσεις) σε 12 ποικιλίες λάχανου

οι οποίες διέφεραν ως προς τη μορφολογία τους (3 ποικιλίες κόκκινου λάχανου, 3 ποικιλίες πράσινου πεπλατυσμένου, 3 ποικιλίες σφαιρικού και 3 ποικιλίες κωνικού), και διαπίστωσαν πως η σύσταση τους διέφερε ανάμεσα στις ποικιλίες (J. Wang et al., 2022).

Τέλος, οι Yue et al. (2024), ανέλυσαν 159 διαφορετικές ποικιλίες που ανήκουν σε 4 διαφορετικές μορφές λάχανου (κόκκινο σφαιρικό, πράσινο κωνικό, πράσινο σφαιρικό και πράσινο πεπλατυσμένο) ως προς τις διαφορές της φυτοχημικής τους σύστασης. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν πως η φυτοχημική σύσταση ήταν σταθερή ανάμεσα στις διαφορετικές ποικιλίες κόκκινου και κωνικού λάχανου, αλλά διέφερε σημαντικά στις άλλες δύο μορφές λάχανου (Z. Yue et al., 2024).

2.4.1.4. Αντιοξειδωτική δράση του λευκού και κόκκινου λάχανου

Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει την αντιοξειδωτική ικανότητα του λάχανου, και τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών φανερώνουν πως το κόκκινο λάχανο έχει υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα από το λευκό (M. E. Cartea et al., 2010).

Μέχρι σήμερα, στις έρευνες που επικεντρώνονται στην αντιοξειδωτική δράση μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών λάχανου, έχουν αξιολογηθεί οι ικανότητες αναστολής των ριζών ABTS^{•+} και DPPH[•]. Η ρίζα DPPH[•] (2,2-διφαινυλο-1-πικρυλ-υδραζύλιο) είναι σταθερή οργανική ρίζα αζώτου, και κατά την αντίδραση της με αντιοξειδωτικά ανάγεται σε 1,1-διφαινυλ-2-πικρυλυδραζίνη (DPPH-H) (Gulcin & Alwasel, 2023). Η κατιονική ρίζα ABTS^{•+} [(2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)] εξουδετερώνεται από τις αντιοξειδωτικές ενώσεις μέσω της μεταφοράς μονήρους ηλεκτρονίου ή ατόμου υδρογόνου (Shahidi & Zhong, 2015). Η ικανότητα αναστολής των ριζών προσδιορίζεται έπειτα με βάση το ποσοστό μείωσης της ρίζας στο διάλυμα, είτε συγκρίνεται με την αντίστοιχη μείωση που προκαλεί ένα γνωστό αντιοξειδωτικό, συνήθως το Trolox, οπότε η δοκιμή ABTS^{•+} μπορεί να αναφέρεται και ως TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Activity) (Christodoulou et al., 2022; Munteanu & Apetrei, 2021).

Άλλη μια δοκιμή που έχει αξιοποιηθεί για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας στις διάφορες ποικιλίες λάχανου είναι η FRAP (Ferric Ion Reducing Antioxidant Power Assay), η οποία προσδιορίζει την ικανότητα αναγωγής ενός συμπλόκου τρισθενούς σιδήρου (Fe³⁺) σε δισθενή (Fe²⁺) από αντιοξειδωτικές ενώσεις (Munteanu & Apetrei, 2021).

Οι Podsedek et al. (2006), σύγκριναν την αντιριζική ικανότητα πέντε διαφορετικών ποικιλιών λάχανου, τριών λευκών (Almanag, Tukana και Vestri) και δύο κόκκινων (Koda και Kissendrup). Σύμφωνα με τα ευρήματά τους, οι κόκκινες ποικιλίες λάχανου είχαν αυξημένη αντιριζική ικανότητα σε σχέση με τις λευκές. Συγκεκριμένα, στη

δοκιμή ABTS⁺⁺ οι ποικιλίες Koda και Kissendrup έδωσαν τιμές 9,81 $\mu\text{mol Trolox/g f.w.}$ και 12.64 $\mu\text{mol Trolox/g f.w.}$ ενώ οι ποικιλίες Almanag, Tukana και Vestri 1,81, 1,46 και 1,34 $\mu\text{mol Trolox/g f.w.}$ αντίστοιχα (Podsędek et al., 2006). Με τη δοκιμή DPPH^{*}, οι ποικιλίες Koda και Kissendrup έδωσαν τιμές 6,76 και 9,19 $\mu\text{mol vitamin C/g f.w.}$, ενώ οι λευκές ποικιλίες Almanag, Tukana και Vestri έδωσαν τιμές 1, 0,77 και 0,9 $\mu\text{mol vitamin C/g f.w.}$ αντίστοιχα (Podsędek et al., 2006). Οι ερευνητές Pliszka et al. (2007), ανέφεραν υψηλότερες τιμές στις ποικιλίες Koda και Kissendrup (25,9 και 28,3 $\mu\text{mol Trolox/g f.w.}$ αντίστοιχα), με υψηλότερη τιμή 31,9 $\mu\text{mol Trolox/g f.w.}$ στην κόκκινη ποικιλία Haco. Οι τρεις κόκκινες ποικιλίες (Koda, Haco και Kissendrup) εμφάνισαν 85,5%, 86,28% και 82,24% ποσοστό αναστολής της ρίζας DPPH (Pliszka et al., 2007).

Οι Voca et al. (2018), συγκρίνοντας 3 υβρίδια (Bravo F1, Bronco F1 και Farao F1) και 1 ποικιλία (Slava) λευκού λάχανου με 2 υβρίδια κόκκινου (Maestro F1, Primero F1), διαπίστωσαν πως το κόκκινο λάχανο εμφανίζει κατά 3,9 φορές υψηλότερη αντιριζική ικανότητα με τη δοκιμή ABTS σε σχέση με το λευκό λάχανο (2,15mM TE/kg στο υβρίδιο Maestro F1 και 2,14 mM TE/kg στην ποικιλία Primero F1). Η αντιριζική ικανότητα της λευκής ποικιλίας ωστόσο, ήταν σημαντικά υψηλότερη στη λευκή ποικιλία Slava σε σχέση με τα υβρίδια (1,15 mM TE/kg σε σχέση με 0,54, 0,14 και 0,36 mM TE/kg στα υβρίδια Bravo F1, Bronco F1 και Farao F1 αντίστοιχα) (Voča et al., 2018).

Οι Jakobek et al. (2018) και Lončarić et al. (2020) σύγκριναν την αντιριζική ικανότητα σε 3 παραδοσιακές ποικιλίες (Cepinski, Varazdinski και Ogulinski) και 1 υβρίδιο (Bravo F1). Οι παραδοσιακές ποικιλίες και το υβρίδιο είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ($p < 0,05$) με τη δοκιμή DPPH^{*}, ενώ με τη δοκιμή ABTS⁺⁺ οι παραδοσιακές ποικιλίες δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ενώ η τιμή του υβριδίου ήταν σημαντικά χαμηλότερη (Jakobek et al., 2018; Lončarić et al., 2020).

Όσον αφορά την διαφορά στην αντιοξειδωτική ικανότητα στις διαφορές μορφές λάχανου, οι Liang et al. (2019) αναφέρουν πως το κόκκινο λάχανο δίνει σημαντικά υψηλότερες τιμές με τις δοκιμές DPPH^{*}, ABTS⁺⁺ και FRAP (69,82%, 87,23% και 0,53 αντίστοιχα) σε σχέση με το λευκό κωνικό, σφαιρικό και πεπλατυσμένο, τα οποία δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών τους (Y. Liang et al., 2019).

Πίνακας 3. Φαινολικό περιεχόμενο ποικιλιών λευκού και κόκκινου λάχανου

Μορφή (formae)	Βοτανική ποικιλία/υβδρίδιο	Μορφολογικά χαρακτηριστικά	Ολικά φαινολικά	Πηγή
<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>alba</i>			45,45±0,29 mg/100 g f.w.	(Voća et al., 2018)
	Bravo F1	Round	466,7±35,6 mg (GAE)/kg f.w.	(Jakobec et al., 2018)
			401,62±11,10 mg GAE/kg f.w.	(Lončarić et al., 2020)
	Bronco F1	-	24,76±0,46 mg/100 g f.w.	
	Slava	-	60,46±0,41 mg/100 g f.w.	(Voća et al., 2018)
	Farao F1	-	24,83±0,7 mg/100 g f.w.	
	Cepinski	Round	564±67,1 mg (GAE)/kg f.w.	(Jakobec et al., 2018)
			496,0±25,88 mg (GAE)/kg f.w.	(Lončarić et al., 2020)
	Varazdinski	Flat	598,2±74,7 mg (GAE)/kg f.w.	(Jakobec et al., 2018)
		494,80±7,43 mg (GAE)/kg f.w.	(Lončarić et al., 2020)	

Ogulinski	Flat	538,3±46,7 mg (GAE)/kg f.w.	(Jakobec et al., 2018)
		480,9±51,4 mg GAE/kg f.w.	(Lončarić et al., 2020)
Gungaless	-	15,36 mg (GAE)/100 g	
Pusa Mukta	-	12,58 mg (GAE)/100 g	
Kirch-10	-	18,13 mg (GAE)/100 g	
Resist Crown	-	27,10 mg (GAE)/100 g	
Golden Acre	-	13,14 mg (GAE)/100 g	
Quisto	-	30,99 mg (GAE)/100 g	(Singh et al., 2006, 2007)
Rare Ball	-	18,22 mg (GAE)/100 g	
Mini Ball	-	16,37 mg (GAE)/100 g	
Hari Rani Gol	-	15,08 mg (GAE)/100 g	
Fieldman	-	18,68 mg (GAE)/100 g	
Green Cornell	-	34,41 mg (GAE)/100 g	
Green Yogendra	-	15,73 mg (GAE)/100 g	

Green Challenger	-	13,69 mg (GAE)/100 g
BC-76	-	12,86 mg (GAE)/100 g
Apollo	Ball	7,54±3,81 mg/g
Effie Green	Ball	16,80±3,98 mg/g
Biyun	Ball	11,8±51,79 mg/g
Super green treasure	Ball	8,22±0,18 mg/g
Spring crown	Ball	7,83±1,01 mg/g
Spring Thunder	Ball	18,48±1,33 mg/g
Pearl of the Orient	Ball	3,55±0,43 mg/g
Huafeng	Ball	3,62±0,57 mg/g
Huajie	Ball	14,28±1,49 mg/g
Hot sun	Ball	11,88±1,09 mg/g
Green lord	Ball	13,43±0,77 mg/g
Emerald	Ball	8,74±0,46 mg/g
Green pearl	Ball	10,29±1,34 mg/g
Benchiu 1904	Flat	15,96±0,19 mg/g

(Z. Yue et al., 2024)

	Dabao	Flat	4,34±0,16 mg/g	
	Green Ball 65	Flat	15,28±2,40 mg/g	
	Saitama	Flat	17,28±1,75 mg/g	
	Grace 901	Flat	8,94±2,73 mg/g	
	Peak	Cone	13,33±2,40 mg/g	
	Tsumi	Cone	10,27±0,21 mg/g	
	Real Cow	Cone	8,85±1,47 mg/g	
	Almanag	-	29,70±0,66 mg (GAE)/100 g f.w.	(Podsędek et al., 2006)
	Tukana	-	20,81±0,79 mg (GAE)/100 g f.w.	
	Vestri	-	23,32±0,47 mg (GAE)/100 g f.w.	
<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>	Maestro F1	-	174,38±2,12 mg (GAE)/100 g f.w.	(Voća et al., 2018)
	Primero F1	-	174,38±2,12 mg (GAE)/100 g f.w.	

Koda	-	134,73±3,35 mg (GAE)/100 g f.w.	(Podsędek et al., 2006)
Kissendrup	-	171,36±13,77 mg (GAE)/100 g f.w.	
New Red Road	Ball	10,93±2,1 mg/g	
Purple light	Ball	7,18±1,41 mg/g	
Luyi purple red 65	Ball	3,48±0,40 mg/g	(Z. Yue et al., 2024)
Luiy purple red 80	Ball	8,00±0,87 mg/g	
Purple Jade	Ball	15,85±1,84 mg/g	
Purple Jade III	Ball	5,07±0,50 mg/g	

Πίνακας 4. Αντιοξειδωτική ικανότητα ποικιλιών και υβριδίων λάχανου

Μορφή (formae)	Βοτανική ποικιλία/υβρίδιο	Μορφολογικά χαρακτηριστικά	Δοκιμή	Αποτελέσματα	Πηγή
	Almanag	-	ABTS ^{•+}	1,81±0,12 μmol Trolox/g f.w.	
			DPPH [•]	1,00±0,04 μmol ascorbic acid/g f.w.	
	Tukana	-	ABTS ^{•+}	1,46±0,03 μmol Trolox/g f.w.	(Podsędek et al., 2006)
			DPPH [•]	0,77±0,05 μmol ascorbic acid/g f.w.	
	Vestri	-	ABTS ^{•+}	1,34±0,07 μmol Trolox/g f.w.	
			DPPH [•]	0,90±0,07 μmol ascorbic acid/g f.w.	

<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>alba</i>	Cepinski	Round	DPPH*	1,18±0,008 µmol/g f.w.	(Lončarić et al., 2020)	
			ABTS**	0,60±0,3 µmol DPPH*/g f.w.	(Jakobec et al., 2018)	
				11,20±0,9 µmol ABTS**+/g f.w.		
		1,16±0,057 µmol DPPH*/g f.w.		(Lončarić et al., 2020)		
		Varazdinski	Flat	DPPH*	0,80±0,3 µmol DPPH*/g f.w.	(Jakobec et al., 2018)
				ABTS**	10,80±0,9 µmol ABTS**+/g f.w.	
	1,16±0,057 µmol DPPH*/g f.w.			(Lončarić et al., 2020)		
	Ogulinski	Flat	DPPH*	1,20±0,2 µmol DPPH*/g f.w.	(Jakobec et al., 2018)	
			ABTS**	10,80±0,9 µmol ABTS**+/g f.w.		

<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>	Bravo F1	Round		0,54±0,06 mM TE/kg	(Voća et al., 2018)
			DPPH*	0,71±0,03 µmol DPPH*/g f.w.	(Lončarić et al., 2020)
				1,00±0,2 µmol DPPH*/g f.w.	(Jakobec et al., 2018)
			ABTS**	8,40±0,7 µmol ABTS**+/g f.w.	
	Bronco F1	-	DPPH*	0,14±0,02 mM TE/kg	
	Slava	-	DPPH*	1,15±0,08 mM TE/kg	(Voća et al., 2018)
	Farao F1	-	DPPH*	0,36±0,01 mM TE/kg	
	Maestro F1	-	DPPH*	2,15±0,01 mM TE/kg	
	Primerio F1	-	DPPH*	2,14±0,03 mM TE/kg	
	Koda	-	DPPH*	6,76±0,46 µmol Vitamin C/g f.w.	(Podsędek et al., 2006)

			85,5% inhibition	(Pliszka et al., 2007)
			9,81±0,45 µmol Trolox/g f.w.	(Podsędek et al., 2006)
		ABTS ^{•+}	25,9 µmol Trolox/g f.w.	(Pliszka et al., 2007)
			9,19±0,74 µmol Vitamin C/g f.w.	(Podsędek et al., 2006)
		DPPH [•]	82,24% inhibition	(Pliszka et al., 2007)
Kissendrup	-		12,64±0,21 µmol Trolox/g f.w.	(Podsędek et al., 2006)
		ABTS ^{•+}	28,3 µmol Trolox/g f.w.	
			86,28% inhibition	(Pliszka et al., 2007)
		DPPH [•]	31,9 µmol Trolox/g f.w.	
Haco	-	ABTS ^{•+}		

2.4.2. Κινέζικο λάχανο (*Brassica rapa* spp. *pekinensis*)

Το κινέζικο λάχανο μπορεί να αναφέρεται σε δύο διαφορετικά είδη: το λάχανο Pe-Tsai, το οποίο σχηματίζει κεφαλή (*Brassica rapa* var. *pekinensis*) και το λάχανο Pak-Tsoi, που δεν σχηματίζει κεφαλή (*Brassica rapa* var. *chinensis*) (Gupta et al., 2018). Στην παρούσα διπλωματική θα εστιάσουμε στην πρώτη κατηγορία. Η βοτανική του ταξινόμηση είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, με πολλούς ερευνητές να αναφέρονται στο Κινέζικο λάχανο ως *Brassica campestris* L., *Brassica campestris* subsp. *napus* var. *pekinensis* ή και *Brassica petsai*, αλλά πλέον αποδεκτή ονομασία του είδους είναι *Brassica rapa* spp. *pekinensis* (Y.-Y. Kim et al., 2017).

Αποτελεί ένα από τα βασικότερα τρόφιμα σε Ασιατικές χώρες, ιδίως στην Κίνα, την Ιαπωνία και την Κορέα. Ειδικά η Νότια Κορέα αξιοποιεί τεράστιες ποσότητες Κινέζικου λαχάνου (J.-J. Kim et al., 2014). Το υποείδος αυτό χρησιμοποιείται για την παραγωγή του πικάντικου ζυμωμένου λάχανου Kimchi, το οποίο είναι γνωστό για τις υψηλές αντιοξειδωτικές του ικανότητες (J.-Y. Lee & Kunz, 2005; J.-M. Park et al., 2011).

Το υποείδος *Brassica rapa* spp. *pekinensis* καλλιεργείται ως μονοετές. Απαιτεί 55-100 ημέρες για να ωριμάσει, ανάλογα με τον γενότυπο. Καλλιεργείται σε δροσερά κλίματα, και οι βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης τους κυμαίνονται μεταξύ 15 και 22 , με ελάχιστη θερμοκρασία ανάπτυξης τους 4-5 . Η βέλτιστη θερμοκρασία κατά την αρχική βλαστική φάση είναι γύρω στους 20 , ενώ κατά την διάρκεια σχηματισμού της κεφαλής απαιτεί θερμοκρασίες γύρω στους 15 . Υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια σχηματισμού της κεφαλής μειώνουν την συνεκτικότητα της (Gupta et al., 2018).

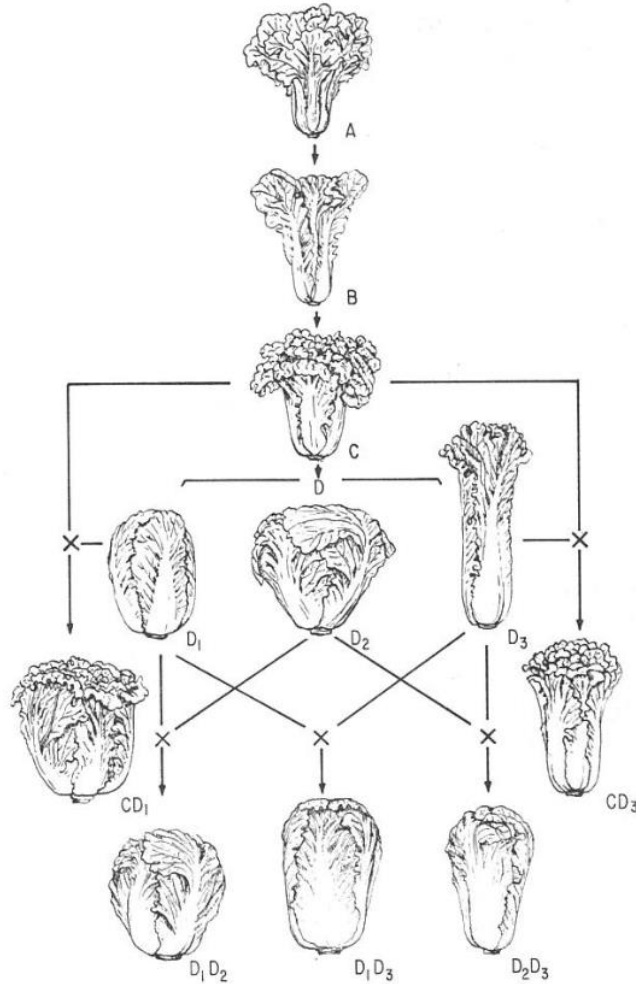
2.4.2.2. Ποικιλίες και υβρίδια

Οι ποικιλίες και τα υβρίδια του υποείδους *Brassica rapa* var. *pekinensis* χωρίζονται γενικά σε τρεις διαφορετικούς τύπους (Gupta et al., 2018):

- i. τους τύπους chichili, οι οποίοι σχηματίζουν κυλινδρική κεφαλή (*B. rapa* spp. *pekinensis* var. *cylindrica*)
- ii. τους τύπους chefoo, οι οποίοι σχηματίζουν σφαιρικές και συμπαγείς κεφαλές (*B. rapa* spp. *pekinensis* var. *cephata*)
- iii. τους τύπους που σχηματίζουν ανοιχτές κεφαλές (*B. rapa* spp. *pekinensis* var. *laxa*)

Γενικά, ειδικά στην Ασία που αποτελεί και κέντρο προέλευσης του, εντοπίζονται πολλοί τύποι ποικιλιών και υβριδίων τα οποία έχουν προκύψει από το τον βασικό τύπο

Brassica rapa spp. *pekinensis* var. *dissoluta* και παρουσιάζουν διαφορετικά ποιοτικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά (Εικ. 14) (C. W. Li, 1981).



Εικόνα 14. Η εξέλιξη του Κινέζικου λάχανου. A. var. *dissoluta*, B. var. *infarcta*, C. var. *laxa*, D. var. *acephala*, D₁. f. *ovata*, D₂. f. *depressa*, D₃. f. *cylindrica*, CD₁ var. *laxa* x f. *ovata*, CD₃. var. *laxa* x f. *cylindrica*, D₁D₂. f. *ovata* x f. *cylindrica*, D₂D₃. f. *depressa* x f. *cylindrica* (C. W. Li, 1981)

Εξαιτίας των αγρονομικών πλεονεκτημάτων των υβριδίων F₁, στα οποία περιλαμβάνονται η ομοιομορφία του φαινοτύπου, η ανθεκτικότητα στο αβιοτικό στρες και τις ασθένειες και η αυξημένη παραγωγή, τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα κινέζικα λάχανα αποτελούνται από υβρίδια (Fujimoto et al., 2018).

2.4.2.2. Φυτοχημική σύσταση Κινέζικου λάχανου

Το Κινέζικο λάχανο έχει μελετηθεί λιγότερο όσον αφορά την φυτοχημική του σύσταση σε σχέση με τα άλλα είδη της οικογένειας Brassicaceae, συμπεριλαμβανομένου και του λάχανου. Ορισμένοι ερευνητές ωστόσο έχουν εξετάσει την φυτοχημική του σύσταση (Baek et al., 2016; C. H. Park et al., 2019; Roy et al., 2007).

Οι Singh et al. (2007) μελέτησαν την παραλλακτικότητα στην συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων, καροτενοειδών και βιταμίνης C διαφόρων ειδών της οικογένειας Brassicaceae, συμπεριλαμβανομένων και τεσσάρων ποικιλιών και δύο δειγμάτων γενετικού υλικού του Κινέζικου λάχανου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τους, το Κινέζικο λάχανο παρουσίασε την χαμηλότερη συγκέντρωση φαινολικών και καροτενοειδών μεταξύ των ειδών προς μελέτη, και τη δεύτερη χαμηλότερη συγκέντρωση βιταμίνης C μετά το λευκό λάχανο. Συγκεκριμένα, η υψηλότερη συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων καταγράφηκε στην ποικιλία 'Solam Band Sarson' (13,7 mg ισοδύναμων γαλικού οξέος (GAE)/ 100 g φρέσκου ιστού) και η χαμηλότερα σε ένα από τα δείγματα γενετικού υλικού (5,10 mg ισοδύναμων γαλικού οξέος (GAE)/ 100 g φρέσκου ιστού). Η συγκέντρωση βιταμίνης C κυμαινόταν μεταξύ 5,62 και 12,6 mg/100 g φρέσκου ιστού ενώ η περιεκτικότητα σε καροτενοειδή ήταν γενικά χαμηλή (Singh et al., 2007). Γενικά, οι καταναλωτές προτιμούν τις κιτρινωπές ποικιλίες Κινέζικου λάχανου εξαιτίας της υψηλότερης διατροφικής τους αξίας που οφείλεται στην συγκέντρωση των καροτενοειδών (H.-J. Jung et al., 2014). Επιπλέον, οι Song et al., 2023, μετά από την ανάλυση 35 ποικιλιών Κινέζικου λάχανου, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως συγκέντρωση της βιταμίνης C κυμαίνεται σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές ποικιλίες (Song et al., 2023).

Οι Seong et al. (2016) σύγκριναν την ολική συγκέντρωση φαινολικών διαφορετικών φύλλων της ποικιλίας Hwiparam. Η συγκέντρωση ολικών φαινολικών κυμαινόταν μεταξύ 347,46 mg/100 g d.w. στα εξωτερικά φύλλα και 148,81 mg/100 g d.w. στα εσωτερικά (Seong et al., 2016).

Οι Park et al. (2019) μελέτησαν το φυτοχημική σύσταση δύο διαφορετικών φαινοτύπων Κινέζικου λάχανου. Συγκεκριμένα, σύγκριναν την φυτοχημική σύσταση μεταξύ μιας ποικιλίας με οβάλ σχήμα κεφαλής (Asia Spring), και μιας ποικιλίας με κυλινδρικό σχήμα κεφαλής (Miss Jin). Σύμφωνα με τα ευρήματά τους, στους δύο τύπους Κινέζικου λάχανου εντοπίστηκαν 8 γλυκοζινολικές ενώσεις, τα επίπεδα των οποίων διέφεραν μεταξύ των τύπων. Οι γλυκοζινολικές ενώσεις που εντοπίστηκαν ήταν η προγοϊτρίνη, γλυκοαλυσσίνη, γλυκοαμπρασσιναπίνη, γλυκοναπίνη, 4-μεθοξυγλυκοαμπρασικίνη, 4-υδροξυαμπρασικίνη, γλυκοαμπρασικίνη και νεογλυμομπρασικίνη. Το ολικό επίπεδο

γλυκοζινολικών ενώσεων κυμαινόταν μεταξύ 2577,79 και 2896,78 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους στην κυλινδρική και οβάλ ποικιλία αντίστοιχα. Τα επίπεδα αλειφατικών γλυκοζινολικών ενώσεων ήταν γενικά υψηλότερα στην οβάλ ποικιλία ενώ τα επίπεδα ινδολικών γλυκοζινολικών ενώσεων ήταν υψηλότερα στην κυλινδρική. Στην ίδια έρευνα προσδιορίστηκε το ολικό φαινολικό περιεχόμενο των δύο μορφών Κινέζικου λάχανου. Το Κινέζικο λάχανο με οβάλ σχήμα κεφαλής είχε κατά 1,17 υψηλότερη συγκέντρωση ολικών φαινολικών σε σχέση με το κυλινδρικό (226,53 $\mu\text{g/g d.w.}$ σε αντίθεση με 194,34 $\mu\text{g/g d.w.}$) (C. H. Park et al., 2019).

2.4.2.3. Αντιοξειδωτική δράση Κινέζικου λάχανου

Το κινέζικο λάχανο παρουσιάζει αντιοξειδωτική ικανότητα υψηλότερη από αυτή του λευκού λάχανου, αλλά χαμηλότερη από του κόκκινου (Rokayya et al., 2013). Λίγοι ερευνητές έχουν μελετήσει την αντιοξειδωτική ικανότητα ποικιλιών και υβριδίων του κινέζικου λάχανου.

Οι Seong et al. (2016), αξιολόγησαν την αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα των φύλλων της ποικιλίας Hwiparam, με βάση την ικανότητα ανασχεσης των ριζών DPPH[•], ABTS^{•+}, την ικανότητα αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου (FRAP), καθώς και την ικανότητα σάρωσης του μονήρους οξυγόνου (δοκιμή ORAC). Σύμφωνα με τα ευρήματα τους, η αντιοξειδωτική δράση ήταν αυξημένη στα εξωτερικά φύλλα. Η ικανότητα αναστολής της ρίζας DPPH[•] κυμαινόταν μεταξύ 92,17 $\mu\text{M TE}$ (Trolox Equivalent) στα εσωτερικά φύλλα και 239,17 $\mu\text{M TE}$ στα εξωτερικά, η ικανότητα αναστολής της ρίζας ABTS^{•+} μεταξύ 175,17 $\mu\text{M TE}$ και 393,83 $\mu\text{M TE}$, η ικανότητα αναστολής του μονήρους οξυγόνου μεταξύ 493,7 $\mu\text{M TE}$ και 1394,28 $\mu\text{M TE}$, και η ικανότητα αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου μεταξύ 87,00 $\mu\text{M TE}$ και 714,50 $\mu\text{M TE}$ (Seong et al., 2016).

Πίνακας 5. Ολικό φαινολικό περιεχόμενο ποικιλιών και υβριδίων Κινέζικου λάχανου

Ποικιλία/υβρίδιο	Τύπος	Ολικά φαινολικά	Πηγή
CCSH-1	-	5,10 $\text{mg}/100 \text{ g f.w.}$	(Singh et al., 2007)
CCSH-2	-	9,44 $\text{mg}/100 \text{ g f.w.}$	
Solan Band Sarson	-	13,7 $\text{mg}/100 \text{ g f.w.}$	
Optico	-	11,5 $\text{mg}/100 \text{ g f.w.}$	
Miss Jin	Rectangular	194,34 $\mu\text{g/g d.w.}$	(C. H. Park et al., 2019)
Asia Spring	Oval	226,53 $\mu\text{g/g d.w.}$	

3. Σκοπός

Η γενετική σύσταση αποτελεί πρωτεύοντα παράγοντα που επηρεάζει άμεσα την περιεκτικότητα του λάχανου σε αντιοξειδωτικές ενώσεις στο λάχανο καθώς καθορίζει την περιεκτικότητα τους σε θρεπτικά συστατικά μαζί με το χρώμα το μέγεθος και το σχήμα των επιμέρους ποικιλιών και υβριδίων (Moreb et al., 2020). Ωστόσο, έρευνες που να εστιάζουν στις διαφορές μεταξύ των ποικιλιών και υβριδίων είναι περιορισμένες (Jakobec et al., 2018). Επιπλέον, οι έρευνες αυτές σπάνια εστιάζουν στις διαφορές μεταξύ των ποικιλιών όσον αφορά το χρώμα, το σχήμα και την υφή (Voča et al., 2018). Επιπλέον, δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των διαφορετικών μεθόδων ξήρανσης του λάχανου στις φυσικοχημικές του ιδιότητες (Xu et al., 2020).

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο προσδιορισμός του ολικού φαινολικού περιεχομένου, της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας τριών διαφορετικών υβριδίων της οικογένειας Brassicaceae που δεν έχουν μελετηθεί στο παρελθόν, ενώ διερευνήθηκε και η επίδραση της λυοφιλίωσης στα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών.. Επιπλέον, προσδιορίστηκαν χαρακτηριστικά που σχετίζονταν με το σχήμα, το χρώμα και την υφή τους. Οι αναλύσεις επιλέχθηκαν λαμβάνοντας υπόψιν την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Οι αναλύσεις που επιλέχθηκαν συνοψίζονται παρακάτω:

- i. Μορφολογική ανάλυση υβριδίων
- ii. Ανάλυση υφής (Texture profile analysis)
- iii. Μέτρηση παραμέτρων χρώματος
- iv. Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε υγρασία
- v. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών ενώσεων (μέθοδος Folin-Ciocalteu)
- vi. Προσδιορισμός αντιριζικής ικανότητας (μέθοδος ABTS)
- vii. Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας (μέθοδος FRAP)

4. Υλικά και μέθοδοι

4.1. Φυτικό υλικό

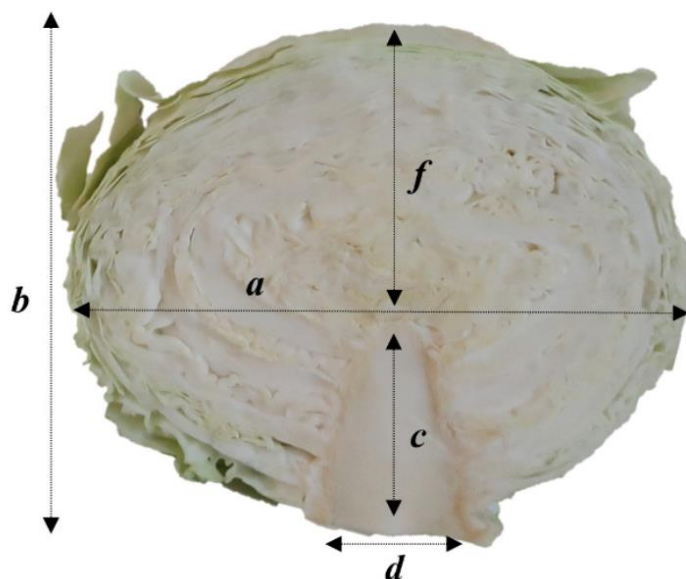
Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε τρία διαφορετικά υβρίδια των υποειδών *Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba*, *Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra* και *Brassica rapa* spp. *pekinensis*. Κάθε υβρίδιο αποτελούνταν από 3 δείγματα, τα οποία προμηθεύτηκαν από γνωστή αλυσίδα καταστημάτων. Οι πληροφορίες για το κάθε υβρίδιο δίνονται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6. Υβρίδια που αξιοποιήθηκαν στο πείραμα

Υποείδος/βοτανική ποικιλία	Κοινή ονομασία	Περιοχή καλλιέργειας	Υβρίδιο
<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>alba</i>	Λευκό λάχανο	Χαλκηδόνα Θεσσαλονίκης	Klabishi F1
<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>	Κόκκινο λάχανο	Χαλκηδόνα Θεσσαλονίκης	Ranchero F1
<i>Brassica rapa</i> spp. <i>pekinensis</i>	Κινέζικο λάχανο	Χαλκίδα	Manoco F1

4.2. Μορφολογική ανάλυση

Η μορφολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους Lončarić et al. (2020). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με χάρακα ξεχωριστά στα τρία δείγματα ανά υβρίδιο κομμένα στη μέση. Προσδιορίστηκαν οι παράμετροι που δίνονται στην Εικ. 15. Συγκεκριμένα, μετρήθηκε το πλάτος της κεφαλής (a), το ύψος της κεφαλής (b), το μήκος του μίσχου (c), το πάχος του μίσχου (d) και η απόσταση από την κορυφή του μίσχου έως της κορυφή της κεφαλής (f) (Lončarić et al., 2020). Προσδιορίστηκε επίσης το βάρος της κεφαλής του κάθε δείγματος.



Εικόνα 15. Μετρήσεις που λήφθηκαν για την μορφολογική ανάλυση. (a) πλάτος κεφαλής, (b) ύψος κεφαλής, (c) μήκος μίσχου, (d) πλάτος μίσχου, (f) απόσταση από την κορυφή του μίσχου μέχρι την κορυφή της κεφαλής

4.3. Ανάλυση υφής

Η ανάλυση υφής πραγματοποιήθηκε με τη χρήση αναλυτή υφής TA.XTPlusC (Stable Micro Systems Ltd) (Εικ. 16) σε συνδυασμό με κυλινδρικό αισθητήριο υφής διαμέτρου 25 mm (P/25) (Εικ. 17).

Τα δείγματα του κοινού λάχανου κόπηκαν σε ομοιόμορφα κυλινδρικά κομμάτια διαστάσεων 18 x 18 mm με τη βοήθεια αποπυρηνωτή μήλου. Από το κινέζικο λάχανο λήφθηκαν δείγματα από δύο διαφορετικά σημεία, ένα από το φύλλο κατά τρόπο ίδιο με το κοινό λάχανο, και ένα από τη κύρια νεύρωση του φύλλου μεγέθους 18 x 8 mm. Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε δύο κύκλους συμπίεσης προσομοιάζοντας τη διαδικασία της μάσησης (Texture profile analysis – TPA). Το κυλινδρικό σχήμα προτιμήθηκε με σκοπό να μειωθεί η διαφορά τάσης στις άκρες του δείγματος (Kamali & Farahnaky, 2015). Οι παράμετροι της ανάλυσης καθορίστηκαν με βάση τις οδηγίες σωστής διεξαγωγής της δοκιμής από την εταιρεία και σύμφωνα με τους Wang et al. (2019) (R. Wang et al., 2019). Η ταχύτητα καθόδου του αισθητηρίου υφής πριν την έναρξη της συμπίεσης ορίστηκε στα 10 mm/s, η ταχύτητα συμπίεσης στα 5 mm/s και η ταχύτητα ανόδου μετά την έναρξη του κύκλου συμπίεσης επίσης στα 5 mm/s, καθώς η ταχύτητα συμπίεσης και η ταχύτητα ανόδου ενδείκνυται να συμπίπτουν (Trinh & Glasgow, 2012). Το βάθος διείδυσης ρυθμίστηκε στο 60% του ύψους του δείγματος (10,8 mm και 4,8 mm).

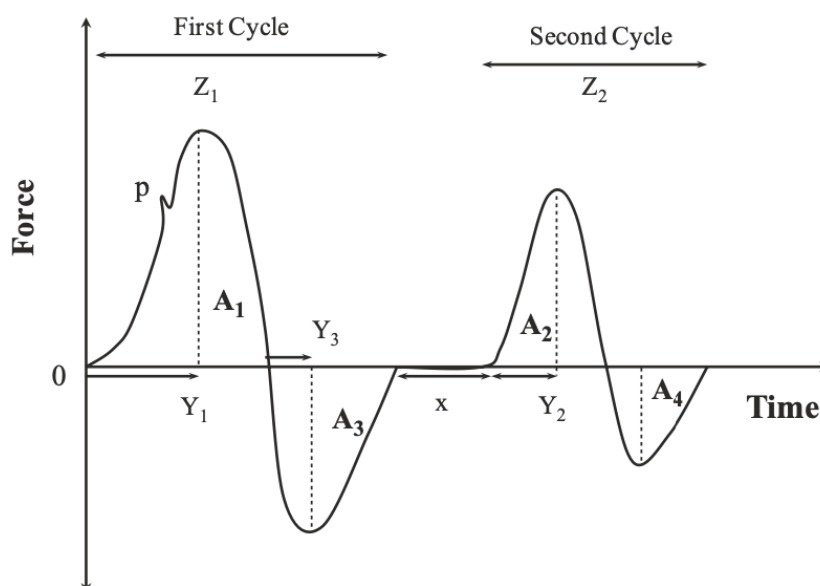


Εικόνα 16. Αναλυτής υφής TA.XTPlusC



Εικόνα 17. Κύλινδρος συμπίεσης P/25

Η μορφή του διαγράμματος που προκύπτει από το λογισμικό του αναλυτή υφής δίνεται στην Εικ. 18. Οι παράμετροι υφής που αναλύθηκαν είναι οι παρακάτω (Rahman et al., 2021):



Εικόνα 18. Τυπικό διάγραμμα ανάλυσης υφής (Rahman et al., 2021)

- i. Σκληρότητα (hardness): ορίζεται ως η μέγιστη δύναμη (δηλαδή η δύναμη που απαιτείται για να επιτυγχάνουμε μια δεδομένη παραμόρφωση) της περιοχής A_1 κατά τον πρώτο κύκλο συμπίεσης. Η μονάδα μέτρησης της είναι το Newton (N). Πρόκειται για την τιμή Z_1 του διαγράμματος.
- ii. Συνεκτικότητα (cohesiveness): αναφέρεται στην δύναμη των δεσμών που συγκρατούν το τρόφιμο και ορίζεται ως ο λόγος του δεύτερου προς το πρώτο θετικό εμβαδό του διαγράμματος υφής (A_2/A_1). Δεν έχει μονάδα μέτρησης.
- iii. Ελαστικότητα (springiness): εκφράζει το πόσο ένα δείγμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση μετά από την πρώτη συμπίεση. Αποτελεί μέτρηση του ποσοστού διάσπασης του δείγματος κατά την πρώτη συμπίεση. Σε ένα διάγραμμα δύναμης/χρόνου, υπολογίζεται ως τον χρόνο που παρήλθε από την αρχή της δεύτερης συμπίεσης μέχρι την μέγιστη δύναμη της δεύτερης συμπίεσης, ως προς τον χρόνο που παρήλθε από την αρχή της πρώτης συμπίεσης μέχρι την μέγιστη δύναμη της πρώτης συμπίεσης (Y_2/Y_1). Μονάδα μέτρησης της είναι τα s.
- iv. Μασητικότητα (Chewiness): ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται για γίνουν τα στερεά τρόφιμα έτοιμα για κατάποση. Σχετίζεται με τις παραμέτρους της σκληρότητας, συνεκτικότητας και ελαστικότητας, και υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό των παραμέτρων αυτών (σκληρότητα x συνεκτικότητα x ελαστικότητα). Μονάδα μέτρησης είναι $N \cdot s$.

4.4. Ανάλυση χρώματος

Η μέτρηση των παραμέτρων του χρώματος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση χρωματομέτρου τριπλής διέγερσης (CR-400 Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan) (Εικ. 19). Προσδιορίστηκαν οι χρωματικές παράμετροι L^* , a^* , b^* και h (hue) σύμφωνα με το διεθνές χρωματικό μοντέλο CIE Lab. Η παράμετρος L^* αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα. Οι παράμετροι a^* και b^* αποτελούν χρωματικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, οι θετικές τιμές της παραμέτρου a^* αντιπροσωπεύουν το κόκκινο χρώμα και οι θετικές τιμές το πράσινο, ενώ οι θετικές τιμές της παραμέτρου b^* αντιπροσωπεύουν το κίτρινο χρώμα ενώ οι αρνητικές τιμές το μπλε. Οι τιμές της χροιάς (hue angle), προσδιορίζουν την απόχρωση και η χροιά μετράται σε μοίρες ($^{\circ}$).

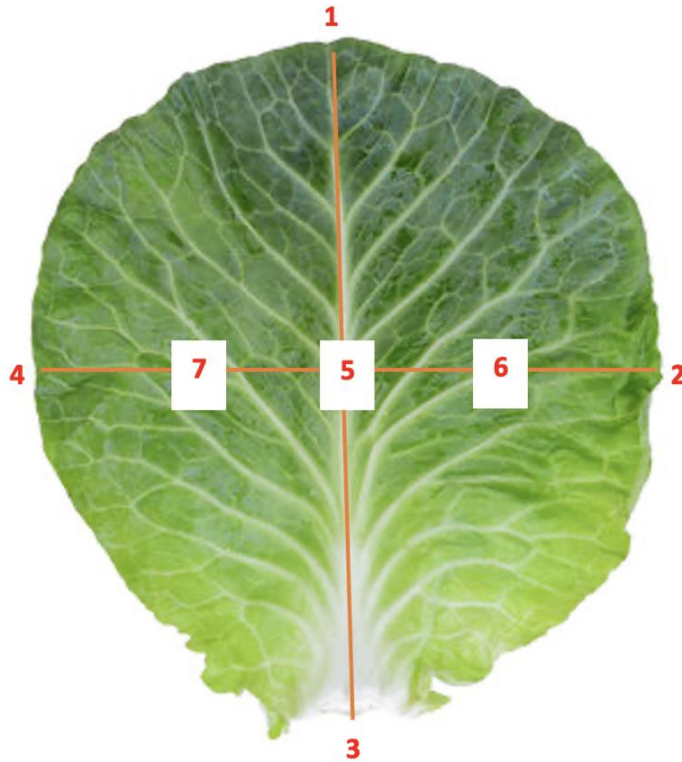
Οι τιμές λήφθηκαν σε 7 διαφορετικά σημεία 3 διαφορετικών φύλλων μετά την απόρριψη των εξωτερικών, σύμφωνα με την Εικ. 20. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κάθε δείγμα των τριών υβριδίων. Πριν από τη λήψη των χρωματικών παραμέτρων προηγήθηκε βαθμονόμηση του οργάνου με τη λήψη μετρήσεων από πρότυπη λευκή κεραμική πλάκα με τιμές $L^*=97,83$, $a^*=-0,45$ και $b^*=1,88$. Η διαφορά μεταξύ του χρώματος των φύλλων υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση διαφοράς χρώματος CIE76 (Abasi et al., 2020):

$$\Delta E^* = \sqrt{L_2^* - L_1^* + a_2^* - a_1^* + b_2^* - b_1^*}$$

όπου L_1^* , a_1^* και b_1^* οι χρωματικές παράμετροι ενός φύλλου και L_2^* , a_2^* και b_2^* του άλλου.



Εικόνα 19. Χρωματομέτρο CR-400



Εικόνα 20. Σημεία από τα οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις χρώματος

4.5. Προετοιμασία δειγμάτων και εκχύλιση

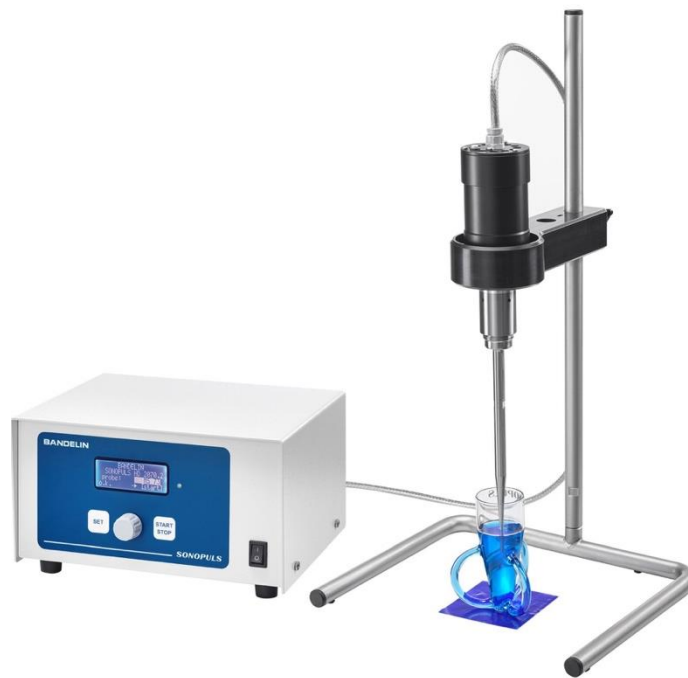
Ποσότητα 100 g κάθε δείγματος από τα τρία νωπά υβρίδια τεμαχίστηκε με πολυκόφτη. Τα τεμαχισμένα πλέον δείγματα αναμίχθηκαν προς σχηματισμό σύνθετου δείγματος. 5,0 g φρέσκου σύνθετου δείγματος υποβλήθηκαν σε εκχύλιση σε 40 mL υδατομεθανολικού διαλύματος $\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O} = 80:20$ v/v και αναλογία τροφίμου:διαλύτη 1:8 (w/v), ενώ 250 g φρέσκου δείγματος αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη στους -20°C για μια ημέρα πριν υποβληθούν σε λυοφιλίωση. Η λυοφιλίωση πραγματοποιήθηκε υπό κενό στους -50°C (ModulyoD-230, Thermo Electron Corporation, US) (Εικ. 21). Για την εκχύλιση των λυοφιλωμένων δειγμάτων, ζυγίστηκε 1,5 g κάθε σύνθετου λυοφιλωμένου δείγματος και εκχυλίστηκε σε 30 mL υδατομεθανολικού διαλύματος $\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O} = 80:20$ v/v και αναλογία τροφίμου:διαλύτη 1:20 (w/v). Για το υβρίδιο Ranchero F1 1,5 g λυοφιλοποιημένου δείγματος ζυγίστηκε και εκχυλίστηκε σε διάλυμα μεθανόλης/υδροχλωρικού οξέος $\text{CH}_3\text{OH}:\text{HCl} = 80:20$ v/v και αναλογία τροφίμου:διαλύτη 1:20 (w/v), καθώς οι ανθοκυανίνες εμφανίζουν υψηλότερη σταθερότητα σε όξινες συνθήκες, ενώ σε υψηλότερα pH επέρχεται υποβάθμισή τους (H. E. Khoo et al., 2017).

Τα δείγματα εκχυλίστηκαν με ομογενοποιητή υπερήχων Sonoplus HD 2070 (Bandelin Sonoplus, Berlin, Germany) (Εικ. 22) για 15 min στο 50% της ισχύος. Τα δείγματα ήταν τοποθετημένα σε παγόλουτρο για σταθεροποίηση της θερμοκρασίας. Το εκχύλισμα υποβλήθηκε σε φυγοκέντρηση στα 8000 rpm σε θερμοκρασία 18°C (SL 16R, Thermo Fischer Scientific, Massachusetts, USA) (Εικ. 23). Οι συνθήκες εκχύλισης και φυγοκέντρησης ήταν ίδιες για τα φρέσκα και λυοφιλωμένα δείγματα. Η παραλαβή της υγρής φάσης πραγματοποιήθηκε με διήθηση.

Τόσο στα φρέσκα όσο και στα λυοφιλωμένα δείγματα προσδιορίστηκε η υγρασία με τη χρήση συσκευής υπέρυθρων ακτίνων (θερμοζυγός) (Kern MLS 50-3 HA, KERN & SOHN, GmbH, Balingen, Germany) (Εικ. 24)



Εικόνα 21. Λυοφιλωτής ModulyoD-230



Εικόνα 22. Ομογενοποιητής υπερήχων Sonplus HD 2070



Εικόνα 23. Φυγόκεντρος SL 16R



Εικόνα 24. Θερμοζυγός KERN MLS 50-3

Στον Πιν. 7 δίνονται τα δείγματα, η μέθοδος παραλαβής και οι κωδικοποιήσεις τους.

Πίνακας 7. Μέθοδοι παραλαβής δειγμάτων και κωδικοποίηση τους

Υβρίδιο	Προκατεργασία	Διαλύτης	Κωδικοποίηση
Klabishi F1	Φρέσκο	CH ₃ OH:H ₂ O = 80:20	Klab fresh
	Λυοφιλωμένο	CH ₃ OH:H ₂ O = 80:20	Klab fd
Ranchero F1	Φρέσκο	CH ₃ OH:H ₂ O = 80:20	Ran fresh
	Λυοφιλωμένο	CH ₃ OH:H ₂ O = 80:20	Ran fd 1
		CH ₃ OH:HCL = 80:20	Ran fd 2
Manoko F1	Φρέσκο	CH ₃ OH:H ₂ O = 80:20	Man fresh
	Λυοφιλωμένο	CH ₃ OH:H ₂ O = 80:20	Man fd

4.6. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών με τη μικρο-μέθοδο Folin-Ciocalteu

Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο των δειγμάτων προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu (F-C). Η μέθοδος αναπτύχθηκε το 1927 για τον προσδιορισμό της τυροσίνης, καθώς το αντιδραστήριο αντιδρά με το φαινολικό δακτύλιο της προς σχηματισμό έγχρωμου προϊόντος. Στη συνέχεια βελτιώθηκε από τους Singleton και Rossi (1965) οι οποίοι τη χρησιμοποίησαν για τον προσδιορισμό των ολικών φαινολικών ουσιών στο κρασί. Έκτοτε, χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό του φαινολικού περιεχομένου διαφόρων φυσικών προϊόντων καθώς η μέθοδος είναι απλή, πρακτική και δίνει αναπαραγώγιμα αποτελέσματα.

Το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu αποτελείται από άλατα του μολυβδαινίου (Mo) και του βολφραμίου (W). Η μέθοδος βασίζεται στην οξείδωση των φαινολικών ενώσεων με ταυτόχρονη αναγωγή του αντιδραστήριου σε αλκαλικό περιβάλλον. Το αντιδραστήριο αποκτά χαρακτηριστικό κυανό χρώμα που οφείλεται στα παντασθενές μολυβδαίνιο. Η ένταση του κυανού χρώματος είναι ανάλογη του φαινολικού περιεχομένου, και η συγκέντρωση του εκφράζεται σε ισοδύναμα ενός επιλεγμένου προτύπου, συνήθως του γαλλικού οξέος. Η απορρόφηση μετράται στα 765 nm με τη βοήθεια ψηφιακού φασματοφωτόμετρου υπεριώδους-ορατού (UV-Vis) (Εικ. 25).

4.6.1. Πειραματική πορεία (μέθοδος Folin-Ciocalteu)

Υλικά και αντιδραστήρια	Όργανα
Αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu's Phenol Reagent	
Κορεσμένο διάλυμα ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3)	Ψηφιακό φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης (Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc, USA)
Απεσταγμένο νερό	Πιπέτες ρυθμιζόμενου όγκου
Δείγματα (50-250 μl)	Σιφώνια των 10-100 mL
Πρότυπη ουσία γαλλικού οξέος (gallic acid – GAE)	Υδατόλουτρο ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας
Μεθανόλη αναλυτικής καθαρότητας	
Πλαστικές κυψελίδες	

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη αποτελεί τροποποίηση της Folin-Ciocalteu, με σκοπό την ελάχιστη χρήση αντιδραστηρίων και διαλυτών. Αρχικά, παρασκευάστηκε κορεσμένο διάλυμα ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) διαλύοντας 200 g άνυδρου ανθρακικού νατρίου σε 800 mL απεσταγμένου νερού υπό βρασμό. Μετά την επαναφορά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, προστέθηκαν 80 g κρυστάλλων ανθρακικού νατρίου και το διάλυμα αφέθηκε για 24 ώρες. Τέλος, φιλτραρίστηκε και αραιώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι να αποκτήσει όγκο 1 L. Το διάλυμα μένει σταθερό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την παρασκευή του.

Για την κατασκευή της καμπύλης συσχέτισης επιλέχθηκε ως πρότυπη φαινολική ουσία το γαλλικό οξύ (gallic acid, GA). Για την παρασκευή stock διαλύματος γαλλικού οξέος συγκέντρωσης 5 g GA/L, 0,5g γαλλικού οξέος διαλύονται πλήρως σε 10 mL μεθανόλης και αραιώνονται με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 100 mL. Το stock διάλυμα διατηρείται στο ψυγείο μέχρι 2 εβδομάδες, και από αυτό παρασκευάζονται πρότυπα διαλύματα συγκέντρωσεως από 25 μέχρι 500 mg GA/L

Τα δείγματα προς ανάλυση τοποθετούνται σε πλαστικές κυψελίδες των 4 mL, σε ποσότητες από 50-250 μL ανάλογα με την ποσότητα που απαιτείται για να μπορεί να συγκριθεί η ποσότητα φαινολικών με την πρότυπη καμπύλη. Μαζί με το εκχύλισμα, στην

κυψελίδα τοποθετούνται επίσης 2,25-2,5 mL απεσταγμένου νερού και 0,2 mL αντιδραστηρίου F-C.

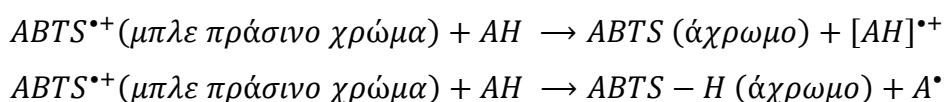


Εικόνα 25. Ψηφιακό φασματοφωτόμετρο Spectro 23

4.7. Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης/ανάσχεσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας $ABTS^{\bullet+}$ [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]

Η μέθοδος αναπτύχθηκε αρχικά από τους Miller et al. (1993) και βασίζεται στην ικανότητα των αντιοξειδωτικών να σαρώνουν την ρίζα $ABTS^{\bullet+}$ [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)] (Miller et al., 1993). Αποτελεί μέθοδο προσδιορισμού της αντιρριζικής ικανότητας ενός αντιοξειδωτικού και εφαρμόζεται εξίσου σε λιπόφιλα και υδρόφιλα αντιοξειδωτικά.

Η μονοκατιονική ρίζα $ABTS^{\bullet+}$, χρώματος μπλε-πράσινου με μέγιστο απορρόφησης στα 734 nm, σχηματίζεται άμεσα από την οξείδωση του μορίου ABTS με υπερθεϊκό νάτριο. Παρουσία αντιοξειδωτικών, η ρίζα $ABTS^{\bullet+}$ μειώνεται ποσοτικά ανάλογα με την δραστηριότητα του αντιοξειδωτικού, τη συγκέντρωση αυτού και τη διάρκεια της αντίδρασης σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



4.7.1. Πειραματική πορεία (μέθοδος ABTS^{•+})

Υλικά και αντιδραστήρια	Όργανα
Αντιδραστήριο ABTS ^{•+} [2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σοθλφονικό οξύ)	
Υπερθειικό νάτριο (Na ₂ S ₂ O ₈)	
Απεσταγμένο νερό	Ψηφιακό φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης (Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc, USA)
Δείγματα (50-250 μl)	
Πρότυπη ουσία Trolox	Πιπέτες ρυθμιζόμενου όγκου
Αιθανόλη αναλυτικής καθαρότητας	Σιφόνια των 10-100 mL
Πλαστικές κυψελίδες	

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη αποτελεί τροποποίηση της μεθόδου με τη δυνατόν ελάχιστη χρήση αντιδραστηρίων και διαλυτών. Παρασκευάζεται υδατικό διάλυμα που περιέχει διαλυμένη την ρίζα ABTS συγκέντρωσης 7 mM και υπερθειικό νάτριο (Na₂S₂O₈) συγκέντρωσης 2,45 mM. Το μίγμα αφήνεται για 16 ώρες στο σκοτάδι σε θερμοκρασία δωματίου. Για την παρασκευή του διαλύματος, 14,58 mg Na₂S₂O₈ (Mr=238,11) διαλύονται σε αποσταγμένο νερό μαζί με 96 mg ABTS (Mr=548,68) και αραιώνεται στα 25 mL. Τα υπερθειικά ιόντα οξειδώνουν απευθείας την ρίζα ABTS, αλλά η στοιχειομετρία της αντίδρασης είναι 1:0,5, οπότε η οξείδωση είναι ατελής. Η ρίζα είναι σταθερή για πάνω από 2 ημέρες αποθηκευμένη στο σκοτάδι σε θερμοκρασία δωματίου.

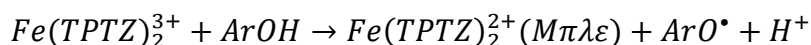
Για την παρασκευή πρότυπης καμπύλης χρησιμοποιήθηκε η τεχνητή αντιοξειδωτική ουσία Trolox, της οποίας παρασκευάστηκε stock αιθανολικό διάλυμα 0,006 M. Από το διάλυμα stock παρασκευάστηκαν πρότυπα διαλύματα εργασίας συγκεντρώσεων από 0,2 έως 1,5 mM.

Στην αρχή κάθε σειράς πειραμάτων, το διάλυμα της ρίζας αραιώνεται κατάλληλα με αιθανόλη μέχρι να δώσει τιμή απορρόφησης $A_{734nm} = 0,90,02$. Τα δείγματα προς ανάλυση τοποθετούνται σε κυψελίδες των 4 mL, σε ποσότητες όμοιες με την δοκιμή Foin-Ciocalteu, μαζί 2,75-3 mL του αραιωμένου διαλύματος ABTS^{•+}. Το προκύπτον διάλυμα αναδεύεται για 1 min. Η απορρόφηση μετράται στο φασματοφωτόμετρο στα 734 nm για κάθε δείγμα ή

πρότυπο μετά από 4 min. Η διόρθωση στο σφάλμα της τιμής απορρόφησης εξαιτίας του διαλύτη και των αντιδραστηρίων έγινε με μέτρηση τυφλού διαλύματος που παρασκευάστηκε παράλληλα με τα διαλύματα των δειγμάτων με προσθήκη σε κυψελίδα 3 mL διαλύματος ABTS^{•+}. Ο μηδενισμός του φασματοφωτόμετρου πραγματοποιήθηκε με αιθανόλη. Η συγκέντρωση των δειγμάτων εκφράστηκε ως ισοδύναμα της πρότυπης ουσίας Trolox (Trolox equivalents, TE) μέσω της καμπύλης συσχέτισης πρότυπων διαλυμάτων.

4.8. Εκτίμηση αντιοξειδωτικής ικανότητα με τη Μέθοδο FRAP (Ferric Ion Reducing Antioxidant Power Assay)

Η μέθοδος FRAP αναπτύχθηκε αρχικά από τους ερευνητές Benzie και Strain (1996) για την ποσοτικοποίηση του ασκορβικού οξέος στο πλάσμα και τον ορό του αίματος. Από τότε, έχει τροποποιηθεί για τη χρήση της και σε φυσικά προϊόντα, συμπεριλαμβάνων των φυτικών εκχυλισμάτων, και αποτελεί οικονομική μέθοδος προσδιορισμού της αντιοξειδωτικής ικανότητας μιας ουσίας (Çelik et al., 2010). Προσδιορίζει την ικανότητα αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου (Fe³⁺) από ένα αντιοξειδωτικό, και συγκεκριμένα του συμπλόκου Fe³⁺-TPRZ (Iron[III]-2,4,6-τριπυριδυλο-S-τριαζίνη) σε δισθενή (Fe²⁺) με έντονο μπλε χρώμα σε όξινο περιβάλλον (pH=3,6), σύμφωνα με την αντίδραση:



Το όξινο pH=3,6 εξασφαλίζει τη διαλυτότητα του σιδήρου στον διαλύτη (Wojtunik-Kulesza, 2020). Η απορρόφηση προσδιορίζεται με φασματοφωτόμετρο UV-Vis στα 593 nm. Εξαιτίας της βαθμιαίας μείωσης της απορρόφησης με την πάροδο του χρόνου για ορισμένες κατηγορίες φαινολικών ενώσεων, όπως τα φλαβονοειδή, θα πρέπει ο προσδιορισμός να πραγματοποιείται σε συγκεκριμένο χρόνο από την έναρξη της αντίδρασης. Έτσι, οι Firuzi et al. (2008) θεωρούν ότι οι τιμές που λαμβάνονται με την μέτρηση της απορρόφησης στα 593 nm έπειτα από 4 min λαμβάνουν υπ' όψη την κινητική της αντίδρασης καλύτερα από τιμές που λαμβάνονται σε διάστημα 60 min.

3.8.1. Πειραματική πορεία

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη αποτελεί τροποποίησης της μεθόδου FRAP με τη χρήση ελάχιστων ποσοτήτων αντιδραστηρίων και διαλυτών.

Για την παρασκευή του διαλύματος TPTZ, παρασκευάστηκε αρχικά διάλυμα υδροχλωρικού οξέος HCl συγκέντρωσης 40 mM με αραιώση 3,53 mL HCl 35% w/w με $d=1,18$ g/mL στα 1000 mL. Το διάλυμα TPTZ συγκέντρωσης 10 mM παρασκευάστηκε με διάλυση και αραιώση 0,1562 g αντιδραστηρίου TPTZ στα 50 mL του παρασκευασμένου διαλύματος HCl 40 μ M.

Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου FRAP, παρασκευάστηκε αρχικά ρυθμιστικό διάλυμα $\text{CH}_3\text{COOH}-\text{CH}_3\text{COO}^-$ με pH 3,6 με προσθήκη 0,536 g NaOH σε 200 mL διαλύματος οξικού οξέος 1 mol/L. Έπειτα παρασκευάστηκε διάλυμα $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ συγκέντρωσης 20 mM με διάλυση και αραιώση 0,27 g αντιδραστηρίου $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ σε 25 mL απεσταγμένου νερού. Το τελικό διάλυμα FRAP παρασκευάστηκε με ανάμιξη του ρυθμιστικού διαλύματος, του διαλύματος TPTZ και του διαλύματος $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ σε αναλογία όγκων 10:1:1 (v/v). Το αντιδραστήριο FRAP διατηρείται στο σκοτάδι, και πριν από τη χρήση τοποθετείται σε υδατόλουτρο στους 40°C για 20 min, οπότε αποκτά ένα ασθενές γκρι-μωβ χρώμα.

Για την δημιουργία πρότυπης καμπύλης, προετοιμάστηκαν πρότυπα διαλύματα Fe^{2+} συγκέντρωσης 20-400 μ M. Ο Fe^{2+} αποτελεί αποτέλεσμα της αντίδρασης του συμπλόκου Fe^{3+} με τα αντιοξειδωτικά, και επομένως η αντιοξειδωτική ισχύς μπορεί να εκφραστεί με την ποσοτικοποίηση του δισθενούς σιδήρου.

Τα δείγματα προς ανάλυση τοποθετούνται σε κυψελίδες των 4 mL, σε ποσότητες όμοιες με την δοκιμή Foin-Ciocalteu, μαζί με 1,25-1,5 mL απεσταγμένου νερού, 500 μ L ρυθμιστικού διαλύματος και 900 μ L αντιδραστηρίου FRAP και τα προκύπτοντα διαλύματα αναδεύτηκαν και τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 40°C για 90 min. Αφού αναπτύχθηκε το επιθυμητό χρώμα και το περιεχόμενο των κυψελίδων απέκτησε θερμοκρασία περιβάλλοντος, μετρήθηκε στο φασματοφωτόμετρο η απορρόφηση στα 596 nm για κάθε δείγμα ή πρότυπο. Η διόρθωση στο σφάλμα της τιμής της απορρόφησης εξαιτίας του διαλύτη και των αντιδραστηρίων έγινε με τη μέτρηση τυφλού δείγματος που παρασκευάστηκε παράλληλα με τα δείγματα με προσθήκη σε 1,5 mL H_2O , 500 μ L ρυθμιστικού διαλύματος και 900 μ L αντιδραστηρίου FRAP. Ο μηδενισμός του φασματοφωτόμετρου πραγματοποιήθηκε με απεσταγμένο νερό.

4.9. Στατιστική ανάλυση

Τα αποτελέσματα των δεδομένων για τον καθορισμό των διαφορών μεταξύ των δειγμάτων αναλύθηκαν με τη χρήση μονόδρομης ανάλυσης διακύμανσης (One-way ANOVA). Για την

σύγκριση των αποτελεσμάτων αξιοποιήθηκε η δοκιμή Tukey (Tukey's HSD) μέσω της post hoc ανάλυσης των αποτελεσμάτων ANOVA. Για την συσχέτιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (r). Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SPSS v29 (IBM Corp.)

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

5.1. Μορφολογικά χαρακτηριστικά ποικιλιών

Τα αποτελέσματα των μορφολογικών μετρήσεων δίνονται στον Πιν. 8. Τα σχήματα των κεφαλών του κοινού λάχανου δίνονται από τον λόγο του ύψους προς το πλάτος (Lončarić et al., 2020). Η κεφαλή του υβριδίου Klabishi είναι οβάλ (0,76), και του υβριδίου Ranchero είναι σχεδόν σφαιρική (1,06) (Εικ. 26). Το υβρίδιο Manoko έχει κυλινδρικό σχήμα κεφαλής (3,39) (Fordham & Hadley, 2003) (Εικ. 27). Τα σχήματα των κεφαλών δίνονται στον Πιν. 9.

Παρατηρείται ότι το μήκος του μίσχου στο υβρίδιο Ranchero είναι μικρότερο από αυτό του υβριδίου Klabishi (6,8 και 7,4 cm αντίστοιχα). Το μικρό μήκος μίσχου στα κοινά λάχανα επηρεάζει την απόσταση μεταξύ των φύλλων και οδηγεί στον σχηματισμό συμπαγών κεφαλών (Šamec et al., 2017). Επιπλέον, ο κοντός μίσχος αποτελεί επιθυμητό χαρακτηριστικό για τους καταναλωτές (Balkaya et al., 2005).

Πίνακας 8. Αποτελέσματα μορφολογικής ανάλυσης

Μετρήσεις	Υβρίδια		
	Klabishi	Ranchero	Manoko
Μάζα κεφαλής (kg)	3,114±0,373	1,303±0,114	0,486±0,07
Πλάτος κεφαλής (cm)	23,8±1,135	14,66±0,577	7,166±0,577
Ύψος κεφαλής	18,30±1,04	15,66±0,763	24,26±1,32
Μήκος μίσχου	7,40±1,153	6,80±0,288	1,30±0,53
Πλάτος μίσχου	4,00±0,5	3,66±0,763	2,66±0,21

Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=3).

Πίνακας 9. Σχήματα κεφαλής των δειγμάτων

Υβρίδιο	Λόγος Ύψους/πλάτους	Σχήμα
Klabishi	0,76	Πεπλατυσμένο/οβάλ
Ranchero	1,06	Σφαιρικό
Manoko	3,39	Κυλινδρικό



Εικόνα 26. Υβρίδιο Klabishi F1 (αριστερά) και υβρίδιο Ranchero F1 (αριστερά)



Εικόνα 27. Υβρίδιο Manoko F1

5.2. Αποτελέσματα ανάλυσης υφής

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υφής δίνονται στον Πιν. 10.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα ανάλυσης υφής

Παράμετροι					
Υβρίδιο	Σημείο	Σκληρότητα (N)	Ελαστικότητα (s)	Συνεκτικότητα (α)	Μασητικότητα(N·s)
Klabishi F1	Φύλλα	196,83±25,96	0,61±0,08	0,395±0,03	48,20
Ranchero F1	Φύλλα	208,16±20,16	0,56±0,11	0,286±0,07	32,15
Manoko F1	Φύλλα	23,41±18,57	0,91±0,12	0,988±0,66	21,05
	Μίσχος	168,84±33,53	0,50±0,06	0,370±0,07	31,23

Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=9).

Η υψηλότερη τιμή σκληρότητας του υβριδίου Ranchero F1 σε σχέση με το υβρίδιο Klabishi F1 μπορεί να οφείλεται στην πιο συμπαγή κεφαλή του, όπως προκύπτει από την μορφολογική ανάλυση. Επιπλέον, μπορεί να οφείλεται σε υψηλότερο ποσοστό αδιάλυτων φυτικών ινών στο υβρίδιο Ranchero F1, όπως η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη, οι οποίες προσφέρουν μηχανική στήριξη στο φυτό (Lončarić et al., 2020).

Η αύξηση της σκληρότητας μειώνει την τιμή της συνεκτικότητας, γεγονός που παρατηρήθηκε σε όλα τα δείγματα (Rahman et al., 2021). Η συνεκτικότητα και η ελαστικότητα σχετίζονται με το ύψος του δείγματος κατά την επαφή του αισθητηρίου υφής με το δείγμα κατά την δεύτερη συμπίεση, και οι υψηλότερες τιμές που παρατηρούνται στα φύλλα του υβριδίου Manoko F1 υποδηλώνουν πως ανέκτησε σε περισσότερο βαθμό το αρχικό του ύψος (Jonkers et al., 2022).

Η μασητικότητα εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για την μάσηση του τροφίμου μέχρι αυτό να καταστεί έτοιμο για κατάποση (Rahman et al., 2021). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το υβρίδιο Klabishi F1 απαιτεί την υψηλότερη ενέργεια μάσησης για να καταστεί έτοιμο για κατάποση.

5.3. Αποτελέσματα ανάλυσης χρώματος

Οι χρωματικές παράμετροι των δειγμάτων δίνονται στον πίνακα 11.

Πίνακας 11. Αποτελέσματα ανάλυσης χρώματος

Τιμές					
Υβρίδιο	Φύλλο	L*	a*	b*	h
Klabishi F1	4 ^ο φύλλο	77,61±1,2	-6,19±1,35	15,47±2,37	110,50±1,32
	5 ^ο φύλλο	78,26±1,00	-5,87±1,20	15,14±2,04	109,44±1,61
	6 ^ο φύλλο	79,92±1,12	-5,05±1,40	13,91±2,25	107,93±1,69
Ranchero F1	4 ^ο φύλλο	42,27±2,96	18,00±1,90	-7,86±2,33	336,89±4,43
	5 ^ο φύλλο	41,72±1,89	18,25±0,45	-7,83±1,53	337,07±3,46
	6 ^ο φύλλο	42,42±2,25	19,03±1,63	-8,30±2,50	336,92±4,95
Manoko F1	4 ^ο φύλλο	73,62±1,20	-8,75±1,92	19,76±1,94	112,65±2,57
	5 ^ο φύλλο	74,26±1,44	-9,68±1,15	21,05±0,70	113,47±2,09
	6 ^ο φύλλο	75,06±1,30	-8,25±1,86	18,77±1,82	112,38±3,29

Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο τυπική απόκλιση (n=9).

Το υβρίδιο Klabishi F1 ήταν το πιο ανοιχτόχρωμο μεταξύ των δειγμάτων, και η τιμή L* παρατηρείται πως αυξάνεται από τα εξωτερικά φύλλα προς τα εσωτερικά, γεγονός που παρατηρείται και στο υβρίδιο Manoko F1. Η αύξηση της τιμής L* από τα εξωτερικά φύλλα προς τα εσωτερικά έχει παρατηρηθεί στο λευκό λάχανο και σε άλλες έρευνες (Cuong et al., 2022; Leahu et al., 2018; Lončarić et al., 2020). Η τιμή L* του υβριδίου Ranchero F1 ήταν χαμηλότερη από αυτή των άλλων υβριδίων, υποδηλώνοντας τον σκούρο χρωματισμό του.

Η θετικές τιμές της παραμέτρου b* στα υβρίδια Klabishi F1 και Manoko F1 δηλώνουν την ύπαρξη κίτρινου χρώματος. Οι αρνητικές τιμές της παραμέτρου a* δηλώνουν το πράσινο χρώμα των δύο υβριδίων. Στην ποικιλία Ranchero οι αρνητικές τιμές της παραμέτρου b* δηλώνουν την ύπαρξη μπλε χρώματος και η θετική τιμή της παραμέτρου a* κόκκινο χρωματισμό.

Οι τιμές της παραμέτρου h κυμαίνονται μεταξύ του 0° και του 360°, όπου η τιμή 0° (ή 360°) αντιστοιχεί στο μέγιστο κόκκινο, η τιμή 90° στο μέγιστο κίτρινο, η τιμή 180° στο μέγιστο πράσινο και η τιμή 270° στο μέγιστο μπλε (Scalisi et al., 2022). Επομένως, τα

αποτελέσματα των τιμών της παραμέτρου h δείχνουν πως το χρώμα του κόκκινου λάχανου βρίσκεται μεταξύ του μπλε και του κόκκινου, τείνοντας προς το κόκκινο, ενώ τα υβρίδια Klabishi F1 και Manoko F1 βρίσκονται μεταξύ του κίτρινου και του πράσινου, τείνοντας προς το κίτρινο.

Οι τιμές της διαφοράς χρώματος που προκύπτουν από την Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των χρωμάτων (ΔE^*) μπορούν να χωριστούν σε 5 διαφορετικά όρια (Mokrzycki & Tatol, 2011):

- $0 < \Delta E^* < 1$: η διαφορά δεν είναι αντιληπτή
- $1 < \Delta E^* < 2$: η διαφορά είναι αντιληπτή μόνο από έμπειρο παρατηρητή
- $2 < \Delta E^* < 3.5$: η διαφορά είναι αντιληπτή και από άπειρο παρατηρητή
- $3.5 < \Delta E^* < 5$: η διαφορά είναι ξεκάθαρα αντιληπτή
- $5 < \Delta E^*$: τα χρώματα φαίνονται διαφορετικά μεταξύ τους

Σύμφωνα με την εξίσωση χρωματικής διαφοράς, το πιο ομοιόμορφο χρώμα παρατηρήθηκε στο υβρίδιο Ranchero F1, στο οποίο η διαφορά χρώματος ΔE^* κυμαινόταν μεταξύ των τιμών 0,6049 μεταξύ του 4^{ου} και 5^{ου} φύλλου και 1,15 μεταξύ του 5^{ου} και του 6^{ου} φύλλου.

Στο υβρίδιο Klabishi F1 η διαφορά ΔE^* ήταν 1,71 μεταξύ του 4^{ου} και 5^{ου} φύλλου, αλλά αυξήθηκε σε 2,22 μεταξύ του 5^{ου} και του 6^{ου}. Η μείωση της παραμέτρου b^* από 15,14 σε 13,91 δηλώνει σταδιακή μείωση των κίτρινων αποχρώσεων. Στο υβρίδιο Manoko F1 παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ του 5^{ου} και 6^{ου} φύλλου, με τιμή ΔE^* 2,80. Οι μεταβολές αυτές στο χρώμα από τα εξωτερικά φύλλα προς τα μέσα μπορεί να υποδηλώνουν μεταβολή στην συγκέντρωση των διαφόρων χρωστικών που συμπεριφέρονται και ως αντιοξειδωτικά, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεταβολή της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας εντός της ίδιας κεφαλής λάχανου, όπως παρατήρησαν οι Cuong et al. (2022) στο λευκό λάχανο και οι Seong et al. (2016) στο Κινέζικο λάχανο (Seong et al., 2016).

5.4. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών

Οι τιμές ολικού φαινολικού περιεχομένου των υβριδίων στην παρούσα μελέτη δίνονται στον πίνακα 12.

Πίνακας 12. Αποτελέσματα συγκέντρωσης ολικών φαινολικών με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu

Δείγμα	TPC (mg/100 g d.w.)
Klab fresh	295,67±9,09 c
Ran fresh	479,717±49,89 d
Man fresh	243,931±21,32 ab
Klab fd	156,687±30,61 a
Ran fd 1	805,643±51,65 e
Ran fd 2	774,974±48,51 e
Man fd	230,736±8,96 ab

Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο τυπική απόκλιση (n=3). Διαφορετικά γράμματα δίπλα στην κάθε τιμή κατά μήκος της ίδιας στήλης, δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$) ($a<b<c<d<e$)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 12, υψηλότερη συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων παρατηρείται στο υβρίδιο κόκκινου λάχανου Ranchero F1, τόσο στο φρέσκο όσο και στο λυοφιλωμένο δείγμα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη ανθοκυανινών, καθώς και στο αυξημένο επίπεδο των υπόλοιπων φαινολικών ενώσεων στο κόκκινο λάχανο σε σχέση με το λευκό και το κινέζικο (Farag & Motaal, 2010; Voća et al., 2018). Ωστόσο, παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p<0,05$) μεταξύ των φρέσκων και λυοφιλωμένων δειγμάτων του υβριδίου Ranchero F1.

Στο υβρίδιο Ranchero F1, παρατηρείται σημαντική αύξηση του ολικού φαινολικού περιεχομένου στα λυοφιλωμένα δείγματα. Πολλοί ερευνητές έχουν παρατηρήσει αύξηση της συγκέντρωσης των ανθοκυανινών σε λυοφιλωμένα δείγματα σε σχέση με τα φρέσκα. Οι Coklar & Akbulut (2017) παρατήρησαν αύξηση της συγκέντρωσης των ανθοκυανινών κατά 16% σε δείγματα που υποβλήθηκαν σε λυοφιλίωση στους -110°C για 48 h σε σχέση με τα φρέσκα (Coklar & Akbulut, 2017). Μια πιθανή εξήγηση αποτελεί ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων στο φυτικό ιστό κατά τη διαδικασία της λυοφιλίωσης, οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν σε περαιτέρω θραύση του κυτταρικού τοιχώματος αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της εκχύλισης (Asami et al., 2003). Επιπλέον, σύμφωνα με τους An et al. (2016), η λυοφιλίωση αυξάνει την αποτελεσματικότητα της εκχύλισης εξαιτίας της τελικής μορφής του δείγματος, καθώς παρατηρείται αύξηση των πόρων (An et al., 2016). Γενικά, εξαιτίας της ευαισθησίας των ανθοκυανινών στη θερμότητα, η ξήρανση τους σε χαμηλές θερμοκρασίες επιταχύνει την εκχύλιση επιτρέποντας την διείσδυση του διαλύτη στα κύτταρα και διατηρώντας τις χημικές ιδιότητες των ανθοκυανινών (Ijod et al., 2022).

Επιπλέον, καθώς η διαδικασία της λυοφιλίωσης πραγματοποιείται σε συνθήκες κενού, αποτρέπεται η υποβάθμιση των ανθοκυανών εξαιτίας της οξειδωσης (Mejías et al., 2024).

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι Tan et al. (2023), παρατήρησαν σημαντική μείωση των ανθοκυανινών σε λυοφιλωμένα δείγματα κόκκινου λάχανου σε σχέση με τα φρέσκα δείγματα μετά από εκχύλιση με υπερήχους. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να οφείλεται στην αναλογία διαλύτη στερεού. Στην παραπάνω έρευνα, η αναλογία λυοφιλωμένου κόκκινου λάχανου προς υδατομεθανολικό διάλυμα (20:80) ήταν 1:10 w/v. Η σημασία της αναλογίας υγρού:στερεού έχει αναφερθεί προηγουμένως στην βιβλιογραφία ως σημαντικός παράγοντας εκχύλισης των ανθοκυανινών (Blackhall et al., 2018). Οι ερευνητές Yuan et al. (2020), δοκιμάζοντας διάφορες αναλογίες υγρού:στερεού για την εκχύλιση ανθοκυανών από δείγματα μύρτιλλου, συμπέραναν πως η αύξηση της αναλογίας μέχρι ένα ορισμένο σημείο (20:1) οδήγησε σε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης των ανθοκυανών στο τελικό εκχύλισμα (Yuan et al., 2020). Οι Liu et al. (2012), δοκιμάζοντας να βελτιστοποιήσουν την εκχύλιση των ανθοκυανών από το φυτό *Rhodomyrtus tometosa*, μελέτησαν μεταξύ των διαφορετικών παραγόντων και την επίδραση της αναλογίας υγρού:στερεού σε λυοφιλωμένα δείγματα, καταλήγοντας και αυτοί στο συμπέρασμα πως η αύξηση της αναλογίας μέχρι ένα ορισμένο σημείο οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης των ανθοκυανών στο τελικό εκχύλισμα (G.-L. Liu et al., 2012). Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός πως αυξάνοντας την αναλογία υγρού:στερεού μέχρι ένα ορισμένο σημείο, αυξάνεται και η επιφάνεια διαβροχής του υλικού από τον διαλύτη, οδηγώντας έτσι και σε αύξηση των ανθοκυανών στο τελικό εκχύλισμα (Golmakani & Moayyedi, 2016). Επομένως, μια πιθανή εξήγηση της μειωμένης συγκέντρωσης ανθοκυανών στα λυοφιλωμένα δείγματα κόκκινου λάχανου στην έρευνα των Tan et al. (2023), είναι η χαμηλή αναλογία υγρού:στερεού, που δεν επιτρέπει την διαβροχή ολόκληρης της επιφάνειας του δείγματος και μειώνει έτσι την αποτελεσματικότητα της εκχύλισης.

Επιπλέον, παρά την αστάθεια των ανθοκυανινών σε υψηλές τιμές pH, δεν παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των εκχυλισμάτων των λυοφιλωμένων δειγμάτων που εκχυλίστηκαν με υδατομεθανολικό διάλυμα και διάλυμα μεθανόλης/υδροχλωρικού οξέος. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως οι ανθοκυανίνες στο κόκκινο λάχανο παρουσιάζουν υψηλότερη σταθερότητα εξαιτίας της ακυλίωσης τους, η οποία αποτρέπει την υδρόλυση του σκελετού φλαβυλίου (McDougall et al., 2007).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των Voca et al. (2018) με αυτά της παρούσας μελέτης, η συγκέντρωση ολικών φαινολικών στο φρέσκο δείγμα του υβριδίου Ranchero F1 (51,57 mg (GAE)/100g f.w.) είναι χαμηλότερη σε σχέση με αυτή των υβριδίων Maestro F1

και Primero F1 (174,38 και 170,53 mg (GAE)/100 g f.w. αντίστοιχα) (Voća et al., 2018). Οι Yue et al. (2024) αναφέρουν πως η μέση συγκέντρωση φαινολικών στις ποικιλίες κόκκινου λάχανου που μελέτησαν (New Red Road, Purple Light, Luyi Purple Red 65, Luyi Purple Red 80, Purple Jade, Purple Jade III) ήταν 9,75 mg/g f.w. (975 mg/100 g f.w.) και κυμαινόταν μεταξύ 348 mg/100 g f.w. στην ποικιλία Luyi Purple Red 65 και 1.585 mg/100 g f.w. στην ποικιλία Purple Jade, συγκεντρώσεις υψηλότερες από αυτή του υβριδίου Ranchero F1 (Z. Yue et al., 2024).

Οι Podsędek et al. (2006) υπολόγισαν την συγκέντρωση φαινολικών στις ποικιλίες κόκκινου λάχανου Kissendrup και Koda, οι οποίες είχαν υποστεί λυοφιλίωση, και οι τιμές που προέκυψαν ήταν 171,36 mg/100 g f.w. και 134,73 mg/100 g f.w. αντίστοιχα (Podsędek et al., 2006). Οι τιμές που προέκυψαν από την ανάλυση των λυοφιλωμένων δειγμάτων της παρούσας μελέτης της παρούσας μελέτης ήταν 613,578 mg/100 g f.w. για το υδατομεθανολικό εκχύλισμα και 590,220 mg/100 g f.w. για το εκχύλισμα μεθανόλης/υδροχλωρίου. Η διαφορά αυτή ωστόσο, μπορεί να προκύπτει και εξαιτίας των διαφορών στις πειραματικές συνθήκες.

Στο υβρίδιο Klabishi F1, παρατηρείται στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) μείωση του ολικού φαινολικού περιεχομένου στα λυοφιλωμένα δείγματα. Το μεγαλύτερο μέρος των φαινολικών ενώσεων στο λευκό λάχανο αποτελείται από φαινολικά οξέα, και συγκεκριμένα σιναπικό οξύ (Y. Liang et al., 2019). Οι Cuong et al. (2022) μελέτησαν την επίδραση της λυοφιλίωσης και της ξήρανσης με θερμό αέρα στη συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων στο λευκό λάχανο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τους, η συγκέντρωση του σιναπικού οξέος μειώνεται σημαντικά με την λυοφιλίωση (Cuong et al., 2022). Βέβαια, οι Xu et al. (2020), μελετώντας την επίδραση διαφόρων μεθόδων ξήρανσης του λευκού λάχανου παρατήρησαν σημαντική αύξηση στα λυοφιλωμένα δείγματα σε σχέση με τα φρέσκα, γεγονός που απέδωσαν στον σχηματισμό παγοκρυστάλλων και την βελτίωση της εκχύλισης εξαιτίας της βλάβης του κυττάρου. Οι ίδιοι ερευνητές αναφέρουν πως η αποτελεσματικότητα των διαφορετικών μεθόδων ξήρανσης μπορεί να εξαρτάται από το φυτικό υλικό και το είδος των φαινολικών ενώσεων που το αποτελούν (Xu et al., 2020).

Οι Yue et al. (2024) αναφέρουν πως η μέση συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων στις λευκές πεπλατυσμένες ποικιλίες λάχανου είναι 10,8 mg/g f.w. (δηλαδή 1080 mg/100 g f.w.), και κυμαίνεται μεταξύ 434 mg/100 g f.w. στην ποικιλία Dabao και 1728 mg/100 g f.w. στην ποικιλία Saitama (Z. Yue et al., 2024). Τα ευρήματα αυτά δεν συμφωνούν με την υπόλοιπη βιβλιογραφία. Οι Jakobek et al. (2018) και Lončarić et al. (2020) αναφέρουν πως στα πεπλατυσμένα λευκά λάχανα Varazdinski και Ogulinski οι συγκεντρώσεις ολικών

φαινολικών ενώσεων ήταν 59,82 mg/100 g f.w. και 59,48 mg/100 g f.w. αντίστοιχα στην ποικιλία Varazdinski και 58,33 mg/100 g f.w. και 48,09 mg/100 g f.w. αντίστοιχα στην ποικιλία Ogulinski (Jakobec et al., 2018; Lončarić et al., 2020). Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμφωνούν περισσότερο με αυτά των Jakobec et al. (2018) και Lončarić et al. (2020). Η συγκέντρωση ολικών φαινολικών ενώσεων στο υβρίδιο Klabishi F1, έπειτα από εκχύλιση φρέσκου φυτικού υλικού ήταν 28,562 mg/100 g f.w.

Οι Podsędek et al. (2006) υπολόγισαν την συγκέντρωση φαινολικών στις ποικιλίες λευκού λάχανου Almanag, Tukana και Vestri, οι οποίες είχαν υποστεί λυοφιλίωση, και οι τιμές που προέκυψαν ήταν 29,70 mg/100 g f.w., 20,81 mg/100 g f.w. και 23,32 mg/100 g f.w. αντίστοιχα (Podsędek et al., 2006). Η τιμή που προέκυψε από την ανάλυση του λυοφιλωμένου λευκού λάχανου στην παρούσα μελέτη ήταν 125,365 mg/100 g f.w.

Όσον αφορά το υβρίδιο Manoko F1, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών στα λυοφιλωμένα και φρέσκα δείγματα. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην διαφορετική υφή των φύλλων του, τα οποία είναι τρυφερά σε αντίθεση με των άλλων υβριδίων και επομένως η λυοφιλίωση δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της εκχύλισης. Οι Seong et al. (2016) σύγκριναν το ολικό φαινολικό περιεχόμενο μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών φύλλων της ποικιλίας Hwiparami και ανέφεραν πως οι τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 148,81 και 347,46 mg GAE/100 g d.w. (Seong et al., 2016). Οι τιμές αυτές βρίσκονται πολύ κοντά στα ευρήματα της παρούσας έρευνας (230,736 mg GAE/100 g d.w.). Σύμφωνα με την μελέτη των Park et al. (2019), το ολικό φαινολικό περιεχόμενο λυοφυλιωμένου δείγματος της κυλινδρικής ποικιλίας Miss Jin ήταν 194.34 μg/g d.w. (19,434 mg/100 g d.w.) (C. H. Park et al., 2019). Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο, ότι η τιμή αυτή προέκυψε από ανάλυση των δειγμάτων με υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) και όχι με την δοκιμή Folin Ciocalteu. Οι Singh et al. (2007) ανέλυσαν το ολικό φαινολικό περιεχόμενο εκχυλίσματος φρέσκων δειγμάτων τεσσάρων ποικιλιών Κινέζικου λάχανου (CCSH-1, CCLH-1, Solar Band Sarson και Optico). Οι τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 5.10 mg/100 g f.w. στην ποικιλία CCSH-1 και 13,7 mg/100 g f.w. στην ποικιλία Solar Band Sarson. (Singh et al., 2007). Στην παρούσα έρευνα, η συγκέντρωση ολικού φαινολικού περιεχόμενου εκφρασμένου σε φρέσκο ιστό ήταν 26,954 mg/100 g f.w.

Οι Singh et al. (2007), συγκρίνοντας ποικιλίες λευκού και Κινέζικου λάχανου, αναφέρουν πως η συγκέντρωση ολικών φαινολικών είναι χαμηλότερη στο Κινέζικο λάχανο σε σχέση με το λευκό, γεγονός που δεν παρατηρήθηκε στην παρούσα εργασία (Singh et al., 2007).

5.5. Αποτελέσματα αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας

Τα αποτελέσματα της ικανότητας ανάσχεσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS⁺ των υβριδίων που μελετήθηκαν στην παρούσα μελέτη δίνονται στον πίνακα 13, ενώ τα αποτελέσματα της δοκιμής FRAP δίνονται στον Πιν. 14. Στον Πιν. 15 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης Pearson *r* μεταξύ της ολικής συγκέντρωσης φαινολικών ενώσεων, της δοκιμής ABTS και της δοκιμής FRAP.

Πίνακας 13. Αποτελέσματα δοκιμής ABTS

Δείγμα	meq (Trolox) mg/100 g d.w.)
Klab fresh	85,261±8,51 a
Ran fresh	671,795±34,65 d
Man fresh	171,250±24,79 b
Klab fd	343,157±29,50 c
Ran fd 1	1.177,730±59,67 f
Ran fd 2	1.052,073±8,23 e
Man fd	185,158±1,87 b

Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο τυπική απόκλιση (n=3). Διαφορετικά γράμματα δίπλα στην κάθε τιμή κατά μήκος της ίδιας στήλης, δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά (P<0,05) (a<b<c<d<e<f)

Πίνακας 14. Αποτελέσματα δοκιμής FRAP

Δείγμα	mg Fe ²⁺ /100 g d.w.)
Klab fresh	777,936±72,54 b
Ran fresh	2.394,914±62,21 c
Man fresh	806.959±25,99 b
Klab fd	759,289±21,86 b
Ran fd 1	2.799,068±13,80 d
Ran fd 2	2.522,812±64,51 c
Man fd	516,910±18,70 a

Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο τυπική απόκλιση (n=3). Διαφορετικά γράμματα δίπλα στην κάθε τιμή κατά μήκος της ίδιας στήλης, δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά (P<0,05)

Πίνακας 15. Συντελεστές συσχέτισης Pearson (*r*)

TPC ABTS FRAP

TPC	1,000000	0,744066	0,851393
ABTS	0,744066	1,000000	0,863777
FRAP	0,851393	0,863777	1,000000

Όλα τα δείγματα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$) μεταξύ των εκχυλισμάτων που προέρχονται από το λυοφιλωμένο και φρέσκο δείγμα, εκτός από το υβρίδιο Κινέζικου λάχανου Manoko F1 με τη δοκιμή ABTS⁺. Στην αντιοξειδωτική ικανότητα με τη δοκιμή FRAP, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των λυοφιλωμένων και φρέσκων δειγμάτων του υβριδίου λευκού λάχανου Klabishi F1 καθώς και του φρέσκου και λυοφιλωμένου και εκχυλισμένου με διάλυμα μεθανόλης-υδροχλωρίου υβριδίου κόκκινου λάχανου Ranchero F1.

Ο Karl Pearson πρότεινε την χρήση του συντελεστή συσχέτισης (r), ο οποίος αξιοποιείται μέχρι και σήμερα, το 1920 (Pearson, 1920). Ο συντελεστής συσχέτισης (r) αποτελεί δείκτη της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών και λαμβάνει τιμές μεταξύ -1 και 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του συντελεστή στο 1, τόσο πιο υψηλή θετική είναι η συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών, ενώ όσο πιο κοντά είναι η τιμή του στο -1 τότε πιο έντονη η αρνητική συσχέτιση. Όταν η τιμή του συντελεστή συσχέτισης βρίσκεται κοντά στο 0, η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών είναι αδύναμη ή μη γραμμική. Στην παρούσα μελέτη, παρατηρείται υψηλή συσχέτιση ($r > 0,7$) μεταξύ της αντιοξειδωτικής (δοκιμή FRAP) και αντιριζικής ικανότητας (δοκιμή ABTS) και της ολικής συγκέντρωσης φαινολικών ενώσεων.

Και με τις δύο δοκιμές, υψηλότερες τιμές εμφάνισε το λυοφιλωμένο υβρίδιο κόκκινου λάχανου Ranchero F1, εκχυλισμένο με υδατομεθανολικό διάλυμα. Η υψηλότερη αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα του κόκκινου λάχανου πιθανόν οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα του σε φαινολικές ενώσεις και ειδικά ανθοκυανίνες (Voća et al., 2018). Η παρουσία νερού, ως πολικός διαλύτης, στο υδατομεθανολικό διάλυμα πιθανόν βελτιώνει την απόδοση της εκχύλισης των ανθοκυανών και άλλων φαινολικών ενώσεων σε σχέση με το διάλυμα μεθανόλης/υδροχλωρίου (Nawaz et al., 2018; Tena & Asuero, 2022). Οι Yue et al. (2021), μελετώντας την επίδραση διαφορετικών μεθόδων ξήρανσης στο κόκκινο λάχανο παρατήρησαν επίσης αύξηση των τιμών ABTS και FRAP μετά από λυοφιλίωση του δείγματος (T. Yue et al., 2021).

Σε αντίθεση με τη συγκέντρωση ολικών φαινολικών ενώσεων, η οποία παρουσίασε στατιστικά σημαντική μείωση στο λυοφιλωμένο δείγμα του υβριδίου Klabishi F1, η αντιοξειδωτική ικανότητα δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0,05$) μεταξύ

του φρέσκου και λυοφιλιωμένου δείγματος, ενώ η αντιριζική ικανότητα παρουσίασε στατιστικά σημαντική αύξηση ($p < 0,05$) στο λυοφιλιωμένο σε σχέση με το φρέσκο δείγμα. Η αύξηση της αντιριζικής ικανότητας του λευκού λάχανου έχει αναφερθεί και από τους Xu et al. (2020), οι οποίοι ωστόσο παρατήρησαν και αύξηση στο ολικό φαινολικό περιεχόμενο μετά από τη λυοφιλίωση (Xu et al., 2020). Η λυοφιλίωση μπορεί να συνείσφερε στη διατήρηση αλλά και να βελτίωσε την εκχύλιση άλλων μη φαινολικών αντιοξειδωτικών, όπως το ασκορβικό οξύ και τα καροτενοειδή, με αποτέλεσμα να παρατηρείται διατήρηση ή και αύξηση της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας αντίστοιχα (De Santiago et al., 2018). Η αντιριζική ικανότητα επηρεάζεται γενικά από την περιεκτικότητα των λάχανων σε βιταμίνη C και καροτενοειδή (Multescu et al., 2021). Η λυοφιλίωση φαίνεται πως δεν επηρεάζει σημαντικά την περιεκτικότητα του ασκορβικού οξέος στο λευκό και Κινέζικο λάχανο (Managa et al., 2020; Xu et al., 2020).

Στο υβρίδιο Manoko F1 δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$) στην αντιριζική ικανότητα, αλλά η αντιοξειδωτική παρουσιάζει στατιστικά σημαντική μείωση στο λυοφιλιωμένο δείγμα σε σχέση με το φρέσκο.

Οι τιμές της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας των τριών υβριδίων γενικά συμφωνούν με αυτές της βιβλιογραφίας. Οι Voca et al. (2018) αναφέρουν πως τα κόκκινα λάχανα που μελέτησαν παρουσίασαν σημαντικά αυξημένη αντιριζική ικανότητα σε σχέση με τα λευκά (Voca et al., 2018). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Podsek et al. (2006) (Podsek et al., 2006). Σύμφωνα με τους Rokaya et al. (2013), τα λυοφιλιωμένα δείγματα Κινέζικου λάχανου εμφάνισαν υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα με τη δοκιμή FRAP σε σχέση με το λευκό λάχανο, γεγονός που έρχεται σε αντιπαράθεση με την παρούσα έρευνα. Επιπλέον, οι ίδιοι ερευνητές ανέφεραν πως η αντιριζική ικανότητα με τη δοκιμή ABTS ήταν σημαντικά χαμηλότερη στο κόκκινο λάχανο σε σχέση με το λευκό και το Κινέζικο λάχανο (Rokayya et al., 2013).

6. Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών, της υφής, του ολικού φαινολικού περιεχομένου και της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας των τριών υβριδίων (Klabishi F1, Ranchero F1 και Manoko F1), καθώς και η μελέτη της επίδρασης της προκατεργασίας των δειγμάτων και του διαλύτη στο τελικό αποτέλεσμα, οδήγησε σε αρκετά ενδιαφέροντα ευρήματα.

Σύμφωνα με τη μορφολογική ανάλυση των δειγμάτων, τα δύο υβρίδια κοινού λάχανου (Klabishi F1 και Ranchero F1) διέφεραν ως προς την εσωτερική διαμόρφωση της κεφαλής, γεγονός που μπορεί να επιβεβαιωθεί και από την ανάλυση υφής. Η κατηγοριοποίηση των δειγμάτων με βάση την μορφολογία τους μπορεί να αποτελέσει δείκτη της φυτοχημικής τους σύστασης, και επομένως οι διαφορές στα μορφολογικά χαρακτηριστικά μπορεί να αποτελέσουν κριτήριο κατάταξης ενός υβριδίου ή μιας ποικιλίας λάχανου.

Οι τιμές των χρωματικών παραμέτρων των υβριδίων διέφεραν μεταξύ των διαφορετικών φύλλων των δειγμάτων σε διαφορετικό βαθμό. Το υβρίδιο Ranchero F1 παρουσίασε την μεγαλύτερη ομοιομορφία μεταξύ των χρωματικών παραμέτρων ανάμεσα στα φύλλα, υποδηλώνοντας πως η περιεκτικότητα των χρωστικών του μάλλον παραμένει σχετικά σταθερή σε όλη τη μάζα της κεφαλής.

Το υβρίδιο κόκκινου λάχανου Ranchero F1 παρουσίασε το υψηλότερο ολικό φαινολικό περιεχόμενο καθώς και την υψηλότερη αντιριζική και αντιοξειδωτική ικανότητα, προσδιορισμένες με τις δοκιμές ABTS και FRAP αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη ανθοκυανινών. Επιπλέον, το Ranchero F1 ήταν το μοναδικό υβρίδιο στο οποίο η λυοφιλίωση είχε ξεκάθαρη επίδραση στις τιμές των δοκιμών αυτών. Συγκεκριμένα, η λυοφιλίωση είχε θετική επίδραση στις τιμές του ολικού φαινολικού περιεχομένου, της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας, και αυτό πιθανόν οφείλεται στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της εκχύλισης και τη διατήρηση των ανθοκυανινών.

Η επιλογή του μίγματος διαλυτών εκχύλισης επηρέασε με διαφορετικό τρόπο την αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα του υβριδίου Ranchero F1. Στην παρούσα έρευνα, η χρήση υδατομεθανολικού διαλύματος είχε ως αποτέλεσμα στατιστικά σημαντική αύξηση των αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας με τις δοκιμές FRAP και ABTS σε σχέση με το διάλυμα μεθανόλης/υδροχλωρίου.

Στο υβρίδιο Klabishi F1 παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωση της συγκέντρωσης φαινολικών ενώσεων στο λυοφιλιωμένο δείγμα σε σχέση με το φρέσκο. Το

γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην υποβάθμιση ορισμένων ενώσεων, όπως είναι το σιναπικό οξύ, γεγονός που έχει παρατηρηθεί από άλλους ερευνητές. Ωστόσο, η αντιοξειδωτική ικανότητα (δοκιμή FRAP) δεν επηρεάστηκε από τη λυοφιλίωση ενώ η αντιριζική ικανότητα (δοκιμή ABTS) παρουσίασε στατιστικά σημαντική αύξηση στο λυοφιλωμένο σε σχέση με το φρέσκο δείγμα. Πιθανή εξήγηση για το γεγονός αυτό αποτελεί η συνεισφορά άλλων ενώσεων εκτός από τις φαινολικές, όπως το ασκορβικό οξύ και τα καροτενοειδή, στην αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα του λευκού λάχανου. Οι ενώσεις αυτές μπορεί να διατηρούνται καθώς και να βελτιώνεται η απόδοση της εκχύλισης τους μέσω της λυοφιλίωσης.

Η συνολική περιεκτικότητα του υβριδίου Klabishi F1 σε φαινολικές ενώσεις διαφέρει σημαντικά από αυτές που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία για άλλα υβρίδια και ποικιλίες λευκού λάχανου. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στον γενότυπο ή και διαφορές στην καλλιεργητική πρακτική.

Στο υβρίδιο Κινέζικου λάχανου Manoko F1 δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά του ολικού φαινολικού περιεχομένου και της αντιριζικής ικανότητας μεταξύ του λυοφιλωμένου και φρέσκου δείγματος. Παρατηρήθηκε ωστόσο στατιστικά σημαντική μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας στο λυοφιλωμένο σε σχέση με το φρέσκο.

Τέλος, παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ του ολικού φαινολικού περιεχομένου, της αντιοξειδωτικής και της αντιριζικής ικανότητας των δειγμάτων.

7. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- Συγκριτική μελέτη περισσότερων ποικιλιών και υβριδίων (επίδραση του γενοτύπου) της οικογένειας Brassicaceae
- Βελτιστοποίηση της εκχύλισης με υπερήχους με χρήση διαφορετικών μιγμάτων διαλυτών, διαφορετικών αναλογιών στερεού/υγρού και διαφορετικής ισχύος
- Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός ολικών φλαβονοειδών, ολικών γλυκοζινολικών ενώσεων και χρωστικών (ανθοκυανίνες, καροτενοειδή, χλωροφύλλες)
- Προσδιορισμός και ταυτοποίηση συγκεκριμένων φαινολικών ενώσεων στα εκχυλίσματα με χρήση χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC), υγρή χρωματογραφία με αντίχενυση LC-MS, φασματοσκοπία μετασχηματισμού Fourier με αποσβένουσα ολική ανάκλαση (FTIR).
- Αξιολόγηση διατροφικής αξίας ποικιλιών και υβριδίων της οικογένειας Brassicaceae μέσω του προσδιορισμού μετάλλων και ιχνοστοιχείων και συσχέτιση με το αντιοξειδωτικό τους περιεχόμενο
- Η επίδραση του τρόπου ξήρανσης στο αντιοξειδωτικό περιεχόμενο

Βιβλιογραφία

- Abasi, S., Amani Tehran, M., & Fairchild, M. D. (2020). Distance metrics for very large color differences. *Color Research & Application*, 45(2), 208–223. <https://doi.org/10.1002/col.22451>
- Abbas, Z. K., Saggu, S., Sakeran, M. I., Zidan, N., Rehman, H., & Ansari, A. A. (2015). Phytochemical, antioxidant and mineral composition of hydroalcoholic extract of chicory (*Cichorium intybus* L.) leaves. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(3), 322–326. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.11.015>
- Ahmed, S. I., Hayat, M. Q., Tahir, M., Mansoor, Q., Ismail, M., Keck, K., & Bates, R. B. (2016). Pharmacologically active flavonoids from the anticancer, antioxidant and antimicrobial extracts of *Cassia angustifolia* Vahl. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 460. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1443-z>
- Al Mamari, H. (2022). *Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98958>
- Albahrani, A. A., & Greaves, R. F. (2016). Fat-Soluble Vitamins: Clinical Indications and Current Challenges for Chromatographic Measurement. *The Clinical Biochemist. Reviews*, 37(1), 27–47.
- Aldred, E. (2009). Terpenes. In *Pharmacology* (pp. 167–174). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-06898-0.00022-0>
- Al-Shehbaz, I. A. (2011). Brassicaceae (Mustard Family). In *Encyclopedia of Life Sciences*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0003690.pub2>
- An, K., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J., Xu, Y., & Xiao, G. (2016). Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food Chemistry*, 197, 1292–1300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.033>
- Andres-Lacueva, C., Medina-Reyon, A., Llorach, R., Urpi-Sarda, M., Khan, N., Chiva-Blanch, G., Zamora-Ros, R., Rotches-Ribalta, M., & Lamuela-Raventos, R. M. (2010). Phenolic compounds: chemistry and occurrence in fruits and vegetables. In L. A. de la Rosa, E. Alvarez-Parrilla, & G. A. Gonzalez-Aguilar (Eds.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value, and Stability* (pp. 53–88). John Wiley & Sons.
- Aron, P. M., & Kennedy, J. A. (2008). Flavan-3-ols: Nature, occurrence and biological activity. *Molecular Nutrition & Food Research*, 52(1), 79–104. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700137>
- 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. <https://doi.org/10.1021/jf020635c>

- Babior, B. M. (1999). NADPH oxidase: an update. *Blood*, 93(5), 1464–1476.
- Baek, S.-A., Jung, Y.-H., Lim, S.-H., Park, S. U., & Kim, J. K. (2016). Metabolic Profiling in Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis*) Cultivars Reveals that Glucosinolate Content Is Correlated with Carotenoid Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(21), 4426–4434. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01323>
- Balkaya, A., Yanmaz, R., Apaydin, A., & Kar, H. (2005). Morphological characterisation of white head cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* subvar. *alba*) genotypes in Turkey. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33(4), 333–341. <https://doi.org/10.1080/01140671.2005.9514367>
- Barba, F. J., Nikmaram, N., Roohinejad, S., Khelifa, A., Zhu, Z., & Koubaa, M. (2016). Bioavailability of Glucosinolates and Their Breakdown Products: Impact of Processing. *Frontiers in Nutrition*, 3. <https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00024>
- Berry, C. E., & Hare, J. M. (2004). Xanthine oxidoreductase and cardiovascular disease: molecular mechanisms and pathophysiological implications. *The Journal of Physiology*, 555(3), 589–606. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.055913>
- Beydoun, M. A., Chen, X., Jha, K., Beydoun, H. A., Zonderman, A. B., & Canas, J. A. (2019). Carotenoids, vitamin A, and their association with the metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition Reviews*, 77(1), 32–45. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy044>
- Bischoff, K. L. (2016). Glucosinolates. In *Nutraceuticals* (pp. 551–554). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00040-1>
- Björkman, M., Klingen, I., Birch, A. N. E., Bones, A. M., Bruce, T. J. A., Johansen, T. J., Meadow, R., Mølmann, J., Seljåsen, R., Smart, L. E., & Stewart, D. (2011). Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health – Influences of climate, environment and agronomic practice. *Phytochemistry*, 72(7), 538–556. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.014>
- Blackhall, M. L., Berry, R., Davies, N. W., & Walls, J. T. (2018). Optimized extraction of anthocyanins from Reid Fruits’ *Prunus avium* ‘Lapins’ cherries. *Food Chemistry*, 256, 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.137>
- Blažević, I., & Mastelić, J. (2009). Glucosinolate degradation products and other bound and free volatiles in the leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). *Food Chemistry*, 113(1), 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.029>
- Blažević, I., Montaut, S., Burčul, F., Olsen, C. E., Burow, M., Rollin, P., & Agerbirk, N. (2020). Glucosinolate structural diversity, identification, chemical synthesis and metabolism in plants. *Phytochemistry*, 169, 112100. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.112100>

- Bones, A., & Rossiter, J. (2006). The enzymic and chemically induced decomposition of glucosinolates. *Phytochemistry*, 67(11), 1053–1067.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.02.024>
- Borkowski, T., Szymusiak, H., Gliszczynska-Swigło, A., & Tyrakowska, B. (2005). The effect of 3-O- β -glucosylation on structural transformations of anthocyanidins. *Food Research International*, 38(8–9), 1031–1037.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.020>
- Borowski, J., Szajdek, A., Borowska, E. J., Ciska, E., & Zieliński, H. (2008). Content of selected bioactive components and antioxidant properties of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *European Food Research and Technology*, 226(3), 459–465.
<https://doi.org/10.1007/s00217-006-0557-9>
- Campos-Vega, R., & Oomah, B. D. (2013). Chemistry and classification of phytochemicals. In B. K. Tiwari, N. P. Brunton, & C. S. Brennan (Eds.), *Handbook of Plant Food Phytochemicals* (pp. 7–48). John Wiley & Sons, Ltd .
- Cartea, M. E., Francisco, M., Soengas, P., & Velasco, P. (2010). Phenolic Compounds in Brassica Vegetables. *Molecules*, 16(1), 251–280.
<https://doi.org/10.3390/molecules16010251>
- Cartea, M. E., Velasco, P., Obregón, S., Padilla, G., & de Haro, A. (2008). Seasonal variation in glucosinolate content in Brassica oleracea crops grown in northwestern Spain. *Phytochemistry*, 69(2), 403–410.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.08.014>
- Cartea, M.-E., Lema, M., Francisco, M., & Velasco, P. (2011). Basic information on vegetable Brassica crops. In J. Sadowski & K. Chittaranjan (Eds.), *Genetics, Genomics and Breeding of Vegetable Brassicas* (pp. 1–33). CRC Press.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, Ma. de L., Páez-Hernández, Ma. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859–871.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>
- Catani, M. V., Savini, I., Rossi, A., Melino, G., & Avigliano, L. (2005). Biological Role of Vitamin C in Keratinocytes. *Nutrition Reviews*, 63(3), 81–90.
<https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2005.tb00125.x>
- Cedrowski, J., Grebowski, J., & Litwinienko, G. (2022). Anti oxidant Activity of Edible Isothiocyanates. In *Lipid Oxidation in Food and Biological Systems* (pp. 277–303). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-87222-9_13
- Çelik, S. E., Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2010). Solvent effects on the antioxidant capacity of lipophilic and hydrophilic antioxidants measured by CUPRAC, ABTS/persulphate and FRAP methods. *Talanta*, 81(4–5), 1300–1309.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.02.025>

- Charlton, N. C., Mastuygin, M., Török, B., & Török, M. (2023). Structural Features of Small Molecule Antioxidants and Strategic Modifications to Improve Potential Bioactivity. *Molecules*, 28(3), 1057. <https://doi.org/10.3390/molecules28031057>
- Charron, C. S., Clevidence, B. A., Britz, S. J., & Novotny, J. A. (2007). Effect of Dose Size on Bioavailability of Acylated and Nonacylated Anthocyanins from Red Cabbage (*Brassica oleracea* L. Var. *capitata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(13), 5354–5362. <https://doi.org/10.1021/jf0710736>
- Chen, J., Zhang, J., Xiang, Y., Xiang, L., Liu, Y., He, X., Zhou, X., Liu, X., & Huang, Z. (2016). Extracts of Tsai Tai (*Brassica chinensis*): enhanced antioxidant activity and anti-aging effects both in vitro and in *Caenorhabditis elegans*. *Food & Function*, 7(2), 943–952. <https://doi.org/10.1039/C5FO01241D>
- Chen, S., Nelson, M. N., Chèvre, A.-M., Jenczewski, E., Li, Z., Mason, A. S., Meng, J., Plummer, J. A., Pradhan, A., Siddique, K. H. M., Snowdon, R. J., Yan, G., Zhou, W., & Cowling, W. A. (2011). Trigenomic Bridges for *Brassica* Improvement. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(6), 524–547. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.615700>
- Choudhari, A. S., Mandave, P. C., Deshpande, M., Ranjekar, P., & Prakash, O. (2020). Phytochemicals in Cancer Treatment: From Preclinical Studies to Clinical Practice. *Frontiers in Pharmacology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01614>
- Christodoulou, M. C., Orellana Palacios, J. C., Hesami, G., Jafarzadeh, S., Lorenzo, J. M., Domínguez, R., Moreno, A., & Hadidi, M. (2022). Spectrophotometric Methods for Measurement of Antioxidant Activity in Food and Pharmaceuticals. *Antioxidants*, 11(11), 2213. <https://doi.org/10.3390/antiox11112213>
- Çoklar, H., & Akbulut, M. (2017). Effect of Sun, Oven and Freeze-Drying on Anthocyanins, Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Black Grape (Ekşikara) (*Vitis vinifera* L.). *South African Journal of Enology & Viticulture*, 38(2). <https://doi.org/10.21548/38-2-2127>
- Collett, M. G., Stegelmeier, B. L., & Tapper, B. A. (2014). Could Nitrile Derivatives of Turnip (*Brassica rapa*) Glucosinolates Be Hepato- or Cholangiotoxic in Cattle? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(30), 7370–7375. <https://doi.org/10.1021/jf500526u>
- Cuong, D. M., Kim, H. Y., Keshawa Ediriweera, M., & Cho, S. K. (2022). Evaluation of Phytochemical Content and the Antioxidant and Antiproliferative Potentials of Leaf Layers of Cabbage Subjected to Hot Air and Freeze-Drying. *Journal of Food Quality*, 2022, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2022/8040456>
- Cvetković, B. R., Pezo, L. L., Pestorić, M., Filipčev, B., Kevrešan, Ž., & Mastilović, J. (2014). Comparative study of white cabbage, traditional variety and hybrid intended for biological fermentation. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 87, 286–290.

- de Moel, C. P., & Everaarts, A. P. (1990). Growth, development and yield of white cabbage in relation to time of planting. *Acta Horticulturae*, 267, 279–288. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.267.35>
- De Santiago, E., Domínguez-Fernández, M., Cid, C., & De Peña, M.-P. (2018). Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 240, 1055–1062. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.039>
- de Souza, R. F. V., & De Giovani, W. F. (2004). Antioxidant properties of complexes of flavonoids with metal ions. *Redox Report*, 9(2), 97–104. <https://doi.org/10.1179/135100004225003897>
- Devasagayam, T. P. A., Bloor, K. K., & Ramasarma, T. (2003). Methods for estimating lipid peroxidation: an analysis of merits and demerits. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, 40(5), 300–308.
- Dias, M. C., Pinto, D. C. G. A., & Silva, A. M. S. (2021). Plant Flavonoids: Chemical Characteristics and Biological Activity. *Molecules*, 26(17), 5377. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>
- Dizdaroglu, M., & Jaruga, P. (2012). Mechanisms of free radical-induced damage to DNA. *Free Radical Research*, 46(4), 382–419. <https://doi.org/10.3109/10715762.2011.653969>
- Domínguez-Perles, R., Mena, P., García-Viguera, C., & Moreno, D. A. (2014). Brassica Foods as a Dietary Source of Vitamin C: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(8), 1076–1091. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.626873>
- Dröge, W. (2002). Free Radicals in the Physiological Control of Cell Function. *Physiological Reviews*, 82(1), 47–95. <https://doi.org/10.1152/physrev.00018.2001>
- Edge, R., McGarvey, D. J., & Truscott, T. G. (1997). The carotenoids as anti-oxidants — a review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 41(3), 189–200. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(97\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(97)00092-4)
- Edge, R., & Truscott, T. G. (2010). Properties of carotenoid radicals and excited states and their potential role in biological systems. In J. T. Landrum (Ed.), *Carotenoids: Physical, Chemical and Biological Functions and Properties* (pp. 283–308). CRC Press.
- Elena Cartea, M., Cámara-Martos, F., Obregón, S., Rubén Badenes-Pérez, F., & De Haro, A. (2021). Advances in Breeding in Vegetable Brassica rapa Crops. In *Brassica Breeding and Biotechnology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95769>
- Elmore, A. R. (2005). Final Report of the Safety Assessment of L-Ascorbic Acid, Calcium Ascorbate, Magnesium Ascorbate, Magnesium Ascorbyl Phosphate, Sodium Ascorbate, and Sodium Ascorbyl Phosphate as Used in Cosmetics1. *International Journal of Toxicology*, 24(2_suppl), 51–111. <https://doi.org/10.1080/10915810590953851>

- Engelmann, M. D., Hutcheson, R., & Cheng, I. F. (2005). Stability of Ferric Complexes with 3-Hydroxyflavone (Flavonol), 5,7-Dihydroxyflavone (Chrysin), and 3',4'-Dihydroxyflavone. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 2953–2960. <https://doi.org/10.1021/jf048298q>
- Ezraty, B., Gennaris, A., Barras, F., & Collet, J.-F. (2017). Oxidative stress, protein damage and repair in bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, 15(7), 385–396. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.26>
- Fang, S., Lin, F., Qu, D., Liang, X., & Wang, L. (2018). Characterization of Purified Red Cabbage Anthocyanins: Improvement in HPLC Separation and Protective Effect against H₂O₂-Induced Oxidative Stress in HepG2 Cells. *Molecules*, 24(1), 124. <https://doi.org/10.3390/molecules24010124>
- FAO. (2023). *Agricultural production statistics 2000–2022*. <https://doi.org/10.4060/cc9205en>
- FAO. (2024). *Worldwide production of cabbage, broccoli and cauliflower*. FAOSTAT.
- Farag, M. A., & Motaal, A. A. A. (2010). Sulforaphane composition, cytotoxic and antioxidant activity of crucifer vegetables. *Journal of Advanced Research*, 1(1), 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2010.02.005>
- Ficco, D. B. M., Mastrangelo, A. M., Trono, D., Borrelli, G. M., De Vita, P., Fares, C., Beleggia, R., Platani, C., & Papa, R. (2014). The colours of durum wheat: a review. *Crop and Pasture Science*, 65(1), 1. <https://doi.org/10.1071/CP13293>
- Fordham, R., & Hadley, P. (2003). Vegetables of Temperate Climates | Oriental Brassicas. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 5938–5941). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01237-2>
- Francis, A., Lujan-Toro, B., Warwick, S., Macklin, J., & Martin, S. (2021). Update on the Brassicaceae species checklist. *Biodiversity Data Journal*, 9. <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e58773>
- Franzke, A., Lysak, M. A., Al-Shehbaz, I. A., Koch, M. A., & Mummenhoff, K. (2011). Cabbage family affairs: the evolutionary history of Brassicaceae. *Trends in Plant Science*, 16(2), 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.11.005>
- Fujimoto, R., Uezono, K., Ishikura, S., Osabe, K., Peacock, W. J., & Dennis, E. S. (2018). Recent research on the mechanism of heterosis is important for crop and vegetable breeding systems. *Breeding Science*, 68(2), 145–158. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.17155>
- Gachovska, T., Cassada, D., Subbiah, J., Hanna, M., Thippareddi, H., & Snow, D. (2010). Enhanced Anthocyanin Extraction from Red Cabbage Using Pulsed Electric Field Processing. *Journal of Food Science*, 75(6). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01699.x>

- Galaris, D., & Pantopoulos, K. (2008). Oxidative Stress and Iron Homeostasis: Mechanistic and Health Aspects. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 45(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/10408360701713104>
- Galindo, P., González-Manzano, S., Zarzuelo, M. J., Gómez-Guzmán, M., Quintela, A. M., González-Paramás, A., Santos-Buelga, C., Pérez-Vizcaíno, F., Duarte, J., & Jiménez, R. (2012). Different cardiovascular protective effects of quercetin administered orally or intraperitoneally in spontaneously hypertensive rats. *Food & Function*, 3(6), 643. <https://doi.org/10.1039/c2fo10268d>
- Gęgotek, A., & Skrzydlewska, E. (2022). Antioxidative and Anti-Inflammatory Activity of Ascorbic Acid. *Antioxidants*, 11(10), 1993. <https://doi.org/10.3390/antiox11101993>
- Genestra, M. (2007). Oxy radicals, redox-sensitive signalling cascades and antioxidants. *Cellular Signalling*, 19(9), 1807–1819. <https://doi.org/10.1016/j.cellsig.2007.04.009>
- George, B. P., Chandran, R., & Abrahamse, H. (2021). Role of Phytochemicals in Cancer Chemoprevention: Insights. *Antioxidants*, 10(9), 1455. <https://doi.org/10.3390/antiox10091455>
- Ghareaghajlou, N., Hallaj-Nezhadi, S., & Ghasempour, Z. (2021). Red cabbage anthocyanins: Stability, extraction, biological activities and applications in food systems. *Food Chemistry*, 365, 130482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130482>
- Golmakani, M.-T., & Moayyedi, M. (2016). Comparison of microwave-assisted hydrodistillation and solvent-less microwave extraction of essential oil from dry and fresh *Citruslimon* (Eureka variety) peel. *Journal of Essential Oil Research*, 28(4), 272–282. <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1145606>
- Gómez-Campo, C., & Prakash, S. (1999). Origin and domestication. In C. Gomez-Campo (Ed.), *Biology of Brassica Coenospecies, Developments in plant genetics and breeding* (4th ed., pp. 33–58). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S0168-7972\(99\)80003-6](https://doi.org/10.1016/S0168-7972(99)80003-6)
- Goulet, B. E., Roda, F., & Hopkins, R. (2017). Hybridization in Plants: Old Ideas, New Techniques. *Plant Physiology*, 173(1), 65–78. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01340>
- Granger, M., & Eck, P. (2018). *Dietary Vitamin C in Human Health* (pp. 281–310). <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.11.006>
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3), 651–715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, 11(8), 2248. <https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- Gupta, R. K., Khurara, D. S., & Singh, H. (2018). Chinese Cabbage. In M. K. Rana (Ed.), *Vegetable Crop Science* (pp. 299–310). CRC Press.

- Haenen, G. R. M. M., Paquay, J. B. G., Korthouwer, R. E. M., & Bast, A. (1997). Peroxynitrite Scavenging by Flavonoids. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 236(3), 591–593. <https://doi.org/10.1006/bbrc.1997.7016>
- Halliwell, B. (2007). Biochemistry of oxidative stress. *Biochemical Society Transactions*, 35(5), 1147–1150. <https://doi.org/10.1042/BST0351147>
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free radicals in Biology and Medicine* (B. Halliwell & J. M. C. Gutteridge, Eds.; 5th ed.). Oxford University Press.
- Hanschen, F. S., & Schreiner, M. (2017). Isothiocyanates, Nitriles, and Epithionitriles from Glucosinolates Are Affected by Genotype and Developmental Stage in Brassica oleracea Varieties. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01095>
- He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(1), 163–187. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754>
- Heim, K. E., Tagliaferro, A. R., & Bobilya, D. J. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(10), 572–584. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)
- Hollman, P. C., & Arts, I. C. (2000). Flavonols, flavones and flavanols - nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 1081–1093. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<1081::AID-JSFA566>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<1081::AID-JSFA566>3.0.CO;2-G)
- Huang, J., Wang, S., Zhu, M., Chen, J., & Zhu, X. (2011). Effects of Genistein, Apigenin, Quercetin, Rutin and Astilbin on serum uric acid levels and xanthine oxidase activities in normal and hyperuricemic mice. *Food and Chemical Toxicology*, 49(9), 1943–1947. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.04.029>
- Ijod, G., Musa, F. N., Anwar, F., Suleiman, N., Adzahan, N. M., & Azman, E. M. (2022). Thermal and nonthermal pretreatment methods for the extraction of anthocyanins: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17255>
- ISO Fruit. (2016). *Λαχανικά - Μακροχρόνια Συντήρηση (Τα μυστικά)*. Ειδικές εκδόσεις ISO Fruit .
- Jabeen, N. (2020). Agricultural, Economic and Societal Importance of Brassicaceae Plants. In *The Plant Family Brassicaceae* (pp. 45–128). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6345-4_2
- Jaeger, R., & Cuny, E. (2016). Terpenoids with Special Pharmacological Significance: A Review. *Natural Product Communications*, 11(9), 1934578X1601100. <https://doi.org/10.1177/1934578X1601100946>

- Jakobec, L., Tomac, I., Matic, P., Sabo, M., Dugum, J., & Subaric, D. (2018). Bioactive polyphenolic compounds from white cabbage cultivars. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, *10*(2), 164–172. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2018.10.2.03>
- Jampani, C., & Raghavarao, K. S. M. S. (2015). Differential partitioning for purification of anthocyanins from *Brassica oleracea* L. *Separation and Purification Technology*, *151*, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.07.030>
- Ji, M., Gong, X., Li, X., Wang, C., & Li, M. (2020). Advanced Research on the Antioxidant Activity and Mechanism of Polyphenols from Hippophae Species—A Review. *Molecules*, *25*(4), 917. <https://doi.org/10.3390/molecules25040917>
- Jin, S.-W., Rahim, M. A., Afrin, K. S., Park, J.-I., Kang, J.-G., & Nou, I.-S. (2018). Transcriptome profiling of two contrasting ornamental cabbage (*Brassica oleracea* var. *acephala*) lines provides insights into purple and white inner leaf pigmentation. *BMC Genomics*, *19*(1), 797. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5199-3>
- Johnston, C. S., Steinberg, F. M., & Rucker, R. B. (2007). Ascorbic Acid. In J. Zempleni, R. B. Rucker, D. B. McCormick, & J. W. Suttie (Eds.), *Handbook of Vitamins* (4th ed., pp. 489–520). CRC Press.
- Jonkers, N., van Dommelen, J. A. W., & Geers, M. G. D. (2022). Intrinsic mechanical properties of food in relation to texture parameters. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, *26*(2), 323–346. <https://doi.org/10.1007/s11043-021-09490-4>
- Jung, H.-J., Manoharan, R. K., Park, J.-I., Chung, M.-Y., Lee, J., Lim, Y.-P., Hur, Y., & Nou, I.-S. (2014). Identification of Yellow Pigmentation Genes in *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* Using Br300 Microarray. *International Journal of Genomics*, *2014*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/204969>
- Jung, U. J., Lee, M.-K., Park, Y. B., Jeon, S.-M., & Choi, M.-S. (2006). Antihyperglycemic and Antioxidant Properties of Caffeic Acid in *db/db* Mice. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, *318*(2), 476–483. <https://doi.org/10.1124/jpet.106.105163>
- Kalorizou, E., & Papachatzis, A. (2011). Cabbage. In *Growing Vegetables* (pp. 183–188). Γραμμικό.
- Kamali, E., & Farahnaky, A. (2015). Ohmic-Assisted Texture Softening of Cabbage, Turnip, Potato and Radish in Comparison with Microwave and Conventional Heating. *Journal of Texture Studies*, *46*(1), 12–21. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12106>
- Kang, K. A., Piao, M. J., Ryu, Y. S., Hyun, Y. J., Park, J. E., Shilnikova, K., Zhen, A. X., Kang, H. K., Koh, Y. S., Jeong, Y. J., & Hyun, J. W. (2017). Luteolin induces apoptotic cell death via antioxidant activity in human colon cancer cells. *International Journal of Oncology*, *51*(4), 1169–1178. <https://doi.org/10.3892/ijo.2017.4091>

- Kaur, C., Kumar, K., Anil, D., & Kapoor, H. C. (2007). Variations in antioxidant activity in Broccoli (*Brassica oleracea* L.) cultivars. *Journal of Food Biochemistry*, 31(5), 621–638. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00134.x>
- Kerry, N., & Rice-Evans, C. (1999). Inhibition of Peroxynitrite-Mediated Oxidation of Dopamine by Flavonoid and Phenolic Antioxidants and Their Structural Relationships. *Journal of Neurochemistry*, 73(1), 247–253. <https://doi.org/10.1046/j.1471-4159.1999.0730247.x>
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1361779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Khoo, H.-E., Prasad, K. N., Kong, K.-W., Jiang, Y., & Ismail, A. (2011). Carotenoids and Their Isomers: Color Pigments in Fruits and Vegetables. *Molecules*, 16(2), 1710–1738. <https://doi.org/10.3390/molecules16021710>
- Kim, D. -O., Padilla-Zakour, O. I., & Griffiths, P. D. (2004). Flavonoids and Antioxidant Capacity of Various Cabbage Genotypes at Juvenile Stage. *Journal of Food Science*, 69(9). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09916.x>
- Kim, J.-J., John, K. M. M., Hae-Kyung, M., Jin, K., Enkhtaivan, G., & Kim, D.H. (2014) Morphological and biochemical variation of Chinese cabbage (*Brassica rapa* spp. *Pekinensis*) cultivated using different agricultural practices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 36(1–2), 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.009>
- Kim, Y.-Y., Oh, S. H., Pang, W., Li, X., Ji, S.-J., Son, E., Han, S., Park, S., Soh, E., Kim, H., & Lim, Y. P. (2017). A Review of the Scientific Names of Chinese Cabbage according to the International Codes of Nomenclature. *Horticultural Science and Technology*, 35(2), 165–169. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20170019>
- Koh, E., Wimalasiri, K. M. S., Chassy, A. W., & Mitchell, A. E. (2009). Content of ascorbic acid, quercetin, kaempferol and total phenolics in commercial broccoli. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(7–8), 637–643. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.01.019>
- Köksal, E., Bursal, E., Gülçin, İ., Korkmaz, M., Çağlayan, C., Gören, A. C., & Alwasel, S. H. (2017). Antioxidant activity and polyphenol content of Turkish thyme (*Thymus vulgaris*) monitored by liquid chromatography and tandem mass spectrometry. *International Journal of Food Properties*, 20(3), 514–525. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1168438>
- Koss-Mikołajczyk, I., Kusznierevicz, B., Wiczowski, W., Płatosz, N., & Bartoszek, A. (2019). Phytochemical composition and biological activities of differently pigmented cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12), 5499–5507. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9811>

- Koyama. (1998). Antiviral effects of ascorbic and dehydroascorbic acids in vitro. *International Journal of Molecular Medicine*, 22(4).
https://doi.org/10.3892/ijmm_00000053
- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–16.
<https://doi.org/10.1155/2013/162750>
- Kupaeva, N. V., & Kotenkova, E. A. (2021). Current view on the assessment of antioxidant and antiradical activities: A mini review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 854(1), 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/854/1/012048>
- Kurpios-Piec, D., Majewska-Wierzbicka, M., Czczot, H., & Podsiad, M. (2022). Flavonoids as hydroxyl radical scavengers, iron reductants and chelators: in vitro antioxidant action. *Acta Poloniae Pharmaceutica - Drug Research*, 78(5), 635–648.
<https://doi.org/10.32383/appdr/143094>
- Lafay, S., & Gil-Izquierdo, A. (2008). Bioavailability of phenolic acids. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 301–311. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9077-x>
- Leahu, A., Ghinea, C., Oroian, M.-A., & Damian, C. (2018). Determination of essential and toxic elements, ascorbic acid content and color of different leaves in two cabbage varieties. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 29(2), 110–116.
<https://doi.org/10.2478/auoc-2018-0016>
- Lee, J.-Y., & Kunz, B. (2005). The antioxidant properties of baechu-kimchi and freeze-dried kimchi-powder in fermented sausages. *Meat Science*, 69(4), 741–747.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.006>
- Lee, M.-K., Chun, J.-H., Byeon, D. H., Chung, S.-O., Park, S. U., Park, S., Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A., Lim, Y.-P., & Kim, S.-J. (2014). Variation of glucosinolates in 62 varieties of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) and their antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 58(1), 93–101.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.001>
- Leitzmann, C. (2016). Characteristics and Health Benefits of Phytochemicals. *Complementary Medicine Research*, 23(2), 69–74. <https://doi.org/10.1159/000444063>
- Leja, M., Kamińska, I., & Kołton, A. (2010). Phenolic compounds as the major antioxidants in red cabbage. *Folia Horticulturae*, 22(1), 19–24.
<https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0146>
- Li, C. W. (1981). The origin, evolution, taxonomy and hybridization of Chinese cabbage. In N. S. Talekar & T. D. Griggs (Eds.), *Chinese Cabbage - Proceedings of the First International Symposium* (pp. 1–10). Asian Vegetable Research and Development Center.

- Li, Z., Lee, H., Liang, X., Liang, D., Wang, Q., Huang, D., & Ong, C. (2018). Profiling of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of 12 Cruciferous Vegetables. *Molecules*, 23(5), 1139. <https://doi.org/10.3390/molecules23051139>
- Liang, T., Yue, W., & Li, Q. (2010). Comparison of the Phenolic Content and Antioxidant Activities of *Apocynum venetum* L. (Luo-Bu-Ma) and Two of Its Alternative Species. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(11), 4452–4464. <https://doi.org/10.3390/ijms11114452>
- Liang, Y., Li, Y., Zhang, L., & Liu, X. (2019). Phytochemicals and antioxidant activity in four varieties of head cabbages commonly consumed in China. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43014-019-0003-6>
- Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., Kong, M., Li, L., Zhang, Q., Liu, Y., Chen, H., Qin, W., Wu, H., & Chen, S. (2016). An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Molecules*, 21(10), 1374. <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>
- Liu, B., Mao, Q., Cao, M., & Xie, L. (2012). Cruciferous vegetables intake and risk of prostate cancer: A meta-analysis. *International Journal of Urology*, 19(2), 134–141. <https://doi.org/10.1111/j.1442-2042.2011.02906.x>
- Liu, B., Mao, Q., Lin, Y., Zhou, F., & Xie, L. (2013). The association of cruciferous vegetables intake and risk of bladder cancer: a meta-analysis. *World Journal of Urology*, 31(1), 127–133. <https://doi.org/10.1007/s00345-012-0850-0>
- Liu, G.-L., Guo, H.-H., & Sun, Y.-M. (2012). Optimization of the Extraction of Anthocyanins from the Fruit Skin of *Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk and Identification of Anthocyanins in the Extract Using High-Performance Liquid Chromatography-Electrospray Ionization-Mass Spectrometry (HPLC-ESI-MS). *International Journal of Molecular Sciences*, 13(5), 6292–6302. <https://doi.org/10.3390/ijms13056292>
- Liu, X., & Lv, K. (2013). Cruciferous vegetables intake is inversely associated with risk of breast cancer: A meta-analysis. *The Breast*, 22(3), 309–313. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2012.07.013>
- Lončarić, A., Marček, T., Šubarić, D., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Sinković, K., Šubarić, D., & Ačkar, Đ. (2020). Comparative Evaluation of Bioactive Compounds and Volatile Profile of White Cabbages. *Molecules*, 25(16), 3696. <https://doi.org/10.3390/molecules25163696>
- Lü, J., Lin, P. H., Yao, Q., & Chen, C. (2010). Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 14(4), 840–860. <https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2009.00897.x>
- Lubos, E., Loscalzo, J., & Handy, D. E. (2011). Glutathione Peroxidase-1 in Health and Disease: From Molecular Mechanisms to Therapeutic Opportunities. *Antioxidants & Redox Signaling*, 15(7), 1957–1997. <https://doi.org/10.1089/ars.2010.3586>

- Luna-Guevara, Ma. L., Luna-Guevara, J. J., Hernández-Carranza, P., Ruíz-Espinosa, H., & Ochoa-Velasco, C. E. (2018). *Phenolic Compounds: A Good Choice Against Chronic Degenerative Diseases* (pp. 79–108). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64179-3.00003-7>
- Mageney, V., Neugart, S., & Albach, D. (2017). A Guide to the Variability of Flavonoids in Brassica oleracea. *Molecules*, 22(2), 252. <https://doi.org/10.3390/molecules22020252>
- Mahmud, A. R., Ema, T. I., Siddiquee, Mohd. F.-R., Shahriar, A., Ahmed, H., Mosfeq-Ul-Hasan, Md., Rahman, N., Islam, R., Uddin, M. R., & Mizan, Md. F. R. (2023). Natural flavonols: actions, mechanisms, and potential therapeutic utility for various diseases. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 12(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s43088-023-00387-4>
- Managa, M. G., Sultanbawa, Y., & Sivakumar, D. (2020). Effects of Different Drying Methods on Untargeted Phenolic Metabolites, and Antioxidant Activity in Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. chinensis) and Nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.). *Molecules*, 25(6), 1326. <https://doi.org/10.3390/molecules25061326>
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>
- Matsufuji, H., Kido, H., Misawa, H., Yaguchi, J., Otsuki, T., Chino, M., Takeda, M., & Yamagata, K. (2007). Stability to light, heat and hydrogen peroxide at different pH values and DPPH radical scavenging activity of acylated anthocyanins from red radish extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(9), 3692–3701.
- Mazurek, A., & Włodarczyk-Stasiak, M. (2023). A New Method for the Determination of Total Content of Vitamin C, Ascorbic and Dehydroascorbic Acid, in Food Products with the Voltammetric Technique with the Use of Tris(2-carboxyethyl)phosphine as a Reducing Reagent. *Molecules*, 28(2), 812. <https://doi.org/10.3390/molecules28020812>
- McDougall, G. J., Fyffe, S., Dobson, P., & Stewart, D. (2007). Anthocyanins from red cabbage – stability to simulated gastrointestinal digestion. *Phytochemistry*, 68(9), 1285–1294. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.02.004>
- McVetty, P. B. E., & Duncan, R. W. (2015). *Canola, Rapeseed, and Mustard: For Biofuels and Bioproducts* (pp. 133–156). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1447-0_7
- Mejías, N., Vega-Galvez, A., Gomez-Perez, L. S., Pasten, A., Uribe, E., Cortés, A., Valenzuela-Barra, G., Camus, J., Delporte, C., & Bernal, G. (2024). Health-Promoting Properties of Processed Red Cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata f. rubra): Effects of Drying Methods on Bio-Compound Retention. *Foods*, 13(6), 830. <https://doi.org/10.3390/foods13060830>

- Milenković, D., Đorović, J., Jeremić, S., Dimitrić Marković, J. M., Avdović, E. H., & Marković, Z. (2017). Free Radical Scavenging Potency of Dihydroxybenzoic Acids. *Journal of Chemistry*, 2017, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2017/5936239>
- Miller, N. J., Rice-Evans, C., Davies, M. J., Gopinathan, V., & Milner, A. (1993). A Novel Method for Measuring Antioxidant Capacity and its Application to Monitoring the Antioxidant Status in Premature Neonates. *Clinical Science*, 84(4), 407–412. <https://doi.org/10.1042/cs0840407>
- Mira, L., Tereza Fernandez, M., Santos, M., Rocha, R., Helena Florêncio, M., & Jennings, K. R. (2002). Interactions of Flavonoids with Iron and Copper Ions: A Mechanism for their Antioxidant Activity. *Free Radical Research*, 36(11), 1199–1208. <https://doi.org/10.1080/1071576021000016463>
- Mishra, A., Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Scientific Validation of the Medicinal Efficacy of *Tinospora cordifolia*. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2013/292934>
- Mokrzycki, W., & Tatol, M. (2011). Color difference Delta E - A survey. *Machine Graphics and Vision*.
- Moreb, N., Murphy, A., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2020). Cabbage. In *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 33–54). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00003-9>
- Moskaug, J. Ø., Carlsen, H., Myhrstad, M. C., & Blomhoff, R. (2005). Polyphenols and glutathione synthesis regulation. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 277S-283S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.277S>
- Multescu, M., Susman, I. E., Burnichi, F., & Israel-Roming, F. (2021). Antioxidant activity in selected Brassicaceae vegetables. *Scientific Buletin, Series F. Biotechnologies*, XXV(1).
- Muluye, A. B., Melese, E., & Adinew, G. M. (2015). Antimalarial activity of 80 % methanolic extract of *Brassica nigra* (L.) Koch. (Brassicaceae) seeds against *Plasmodium berghei* infection in mice. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15(1), 367. <https://doi.org/10.1186/s12906-015-0893-z>
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Myhrstad, M. C. W., Carlsen, H., Nordström, O., Blomhoff, R., & Moskaug, J. Ø. (2002). Flavonoids increase the intracellular glutathione level by transactivation of the γ -glutamylcysteine synthetase catalytical subunit promoter. *Free Radical Biology and Medicine*, 32(5), 386–393. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(01\)00812-7](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(01)00812-7)
- Nagaharu, U. (1935). Genome analysis in *Brassica* with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. *Japanese Journal of Botany*, 389–452.

- Nandi, A., Yan, L.-J., Jana, C. K., & Das, N. (2019). Role of Catalase in Oxidative Stress- and Age-Associated Degenerative Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 1–19. <https://doi.org/10.1155/2019/9613090>
- Nawaz, H., Shad, M. A., & Muzaffar, S. (2018). Phytochemical Composition and Antioxidant Potential of Brassica. In *Brassica Germplasm - Characterization, Breeding and Utilization*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76120>
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5(35), 27986–28006. <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>
- Ordas, A., & Cartea, M. E. (2008). Cabbage and Kale. In J. Prohens & F. Nuez (Eds.), *Handbook of Plant Breeding -Vegetables I (Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae and Cucurbitaceae)* (Vol. 1, pp. 119–150). Springer Science+Business Media.
- Ozcan, T., Akpınar-Bayızit, A., Yılmaz-Ersan, L., & Delikanlı, B. (2014). Phenolics in Human Health. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(5), 393–396. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2014.V5.416>
- Pacher, P., Beckman, J. S., & Liaudet, L. (2007). Nitric Oxide and Peroxynitrite in Health and Disease. *Physiological Reviews*, 87(1), 315–424. <https://doi.org/10.1152/physrev.00029.2006>
- Padayatty, S., & Levine, M. (2016). Vitamin C: the known and the unknown and Goldilocks. *Oral Diseases*, 22(6), 463–493. <https://doi.org/10.1111/odi.12446>
- Park, C. H., Yeo, H. J., Park, S.-Y., Kim, J. K., & Park, S. U. (2019). Comparative Phytochemical Analyses and Metabolic Profiling of Different Phenotypes of Chinese Cabbage (*Brassica Rapa* ssp. *Pekinensis*). *Foods*, 8(11), 587. <https://doi.org/10.3390/foods8110587>
- Park, H. R., Kang, T., Yi, G., Yu, S. H., Shin, H., Kim, G. W., Park, J. E., Kim, Y. S., & Huh, J. H. (2019). Genome divergence in *Brassica rapa* subspecies revealed by whole genome analysis on a doubled-haploid line of turnip. *Plant Biotechnology Reports*, 13(6), 677–687. <https://doi.org/10.1007/s11816-019-00565-w>
- Park, J.-M., Shin, J.-H., Gu, J.-G., Yoon, S.-J., Song, J.-C., Jeon, W.-M., Suh, H.-J., Chang, U.-J., Yang, C.-Y., & Kim, J.-M. (2011). Effect of antioxidant activity in kimchi during a short-term and over-ripening fermentation period. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 112(4), 356–359. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2011.06.003>
- Park, S., Arasu, M. V., Lee, M.-K., Chun, J.-H., Seo, J. M., Al-Dhabi, N. A., & Kim, S.-J. (2014). Analysis and metabolite profiling of glucosinolates, anthocyanins and free amino acids in inbred lines of green and red cabbage (*Brassica oleracea* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 58(1), 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.002>

- Park, S., Valan Arasu, M., Lee, M.-K., Chun, J.-H., Seo, J. M., Lee, S.-W., Al-Dhabi, N. A., & Kim, S.-J. (2014). Quantification of glucosinolates, anthocyanins, free amino acids, and vitamin C in inbred lines of cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Food Chemistry*, *145*, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.010>
- Park, Y., Nam, S., Yi, H.-J., Hong, H.-J., & Lee, M. (2009). Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids increase oxidative stress in rats with intracerebral hemorrhagic stroke. *Nutrition Research*, *29*(11), 812–818. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.10.019>
- Pasban Ziyarat, F., Asoodeh, A., Sharif Barfeh, Z., Pirouzi, M., & Chamani, J. (2014). Probing the interaction of lysozyme with ciprofloxacin in the presence of different-sized Ag nano-particles by multispectroscopic techniques and isothermal titration calorimetry. *Journal of Biomolecular Structure & Dynamics*, *32*(4), 613–629. <https://doi.org/10.1080/07391102.2013.785919>
- Patil, S., Mallaiah, S., & Patil, R. (2013). Antioxidative and radioprotective potential of rutin and quercetin in Swiss albino mice exposed to gamma radiation. *Journal of Medical Physics*, *38*(2), 87. <https://doi.org/10.4103/0971-6203.111321>
- Pearson, K. (1920). Notes on the history of correlation. *Biometrika*, *13*(1), 25–45. <https://doi.org/10.1093/biomet/13.1.25>
- Pennington, J. A. T., & Fisher, R. A. (2010). Food component profiles for fruit and vegetable subgroups. *Journal of Food Composition and Analysis*, *23*(5), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.01.008>
- Pereira, D., Valentão, P., Pereira, J., & Andrade, P. (2009). Phenolics: From Chemistry to Biology. *Molecules*, *14*(6), 2202–2211. <https://doi.org/10.3390/molecules14062202>
- Pham-Huy, L. A., He, H., & Pham-Huy, C. (2008). Free radicals, antioxidants in disease and health. *International Journal of Biomedical Science : IJBS*, *4*(2), 89–96.
- Phaniendra, A., Jestadi, D. B., & Periyasamy, L. (2015). Free Radicals: Properties, Sources, Targets, and Their Implication in Various Diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, *30*(1), 11–26. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>
- Pietta, P.-G. (2000). Flavonoids as Antioxidants. *Journal of Natural Products*, *63*(7), 1035–1042. <https://doi.org/10.1021/np9904509>
- Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., & Bitto, A. (2017). Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, *2017*, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2017/8416763>
- Pliszka, B., Mielezko, E., Huszcza-Ciolkowska, G., & Wroblewska-Wierzbiicka, B. (2007). Content of anthocyanins and their antioxidative properties in various cultivars of red head cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.f. *rubra*) . *Journal of Elementology* , *12*(3), 191–198.

- Podsędek, A., Redzyna, M., Klewicka, E., & Koziółkiewicz, M. (2014). Matrix Effects on the Stability and Antioxidant Activity of Red Cabbage Anthocyanins under Simulated Gastrointestinal Digestion. *BioMed Research International*, 2014, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/365738>
- Podsędek, A., Sosnowska, D., Redzyna, M., & Anders, B. (2006). Antioxidant capacity and content of *Brassica oleracea* dietary antioxidants. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(s1), 49–58. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01260.x>
- Prakash, S., Wu, X., & Bhat, S. R. (2011). History, Evolution, and Domestication of Brassica Crops. In *Plant Breeding Reviews* (pp. 19–84). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118100509.ch2>
- Psotová, J., Lasovský, J., & Vicar, J. (2003). Metal-chelating properties, electrochemical behavior, scavenging and cytoprotective activities of six natural phenolics. *Biomedical Papers of the Medical Faculty of the University Palacky, Olomouc, Czechoslovakia*, 147(2), 147–153. <https://doi.org/10.5507/bp.2003.020>
- R. Buettner, G. (2011). Superoxide Dismutase in Redox Biology: The Roles of Superoxide and Hydrogen Peroxide. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 11(4), 341–346. <https://doi.org/10.2174/187152011795677544>
- Rahman, M. S., Al-Attabi, Z. H., Al-Habsi, N., & Al-Khusaibi, M. (2021). Measurement of Instrumental Texture Profile Analysis (TPA) of Foods. In *Techniques to Measure Food Safety and Quality* (pp. 427–465). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68636-9_17
- Rakow, G. (2004). Species Origin and Economic Importance of Brassica. In E. C. Pua & C. J. Douglas (Eds.), *Brassica. Biotechnology in Agriculture and Forestry* (Vol. 54, pp. 3–11). https://doi.org/10.1007/978-3-662-06164-0_1
- Ramirez, D., Abellán-Victorio, A., Beretta, V., Camargo, A., & Moreno, D. A. (2020). Functional Ingredients From Brassicaceae Species: Overview and Perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), 1998. <https://doi.org/10.3390/ijms21061998>
- Rasheed, D. M., Porzel, A., Frolov, A., El Seedi, H. R., Wessjohann, L. A., & Farag, M. A. (2018). Comparative analysis of Hibiscus sabdariffa (roselle) hot and cold extracts in respect to their potential for α -glucosidase inhibition. *Food Chemistry*, 250, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.020>
- Ratty, A. K., & Das, N. P. (1988). Effects of flavonoids on nonenzymatic lipid peroxidation: Structure-activity relationship. *Biochemical Medicine and Metabolic Biology*, 39(1), 69–79. [https://doi.org/10.1016/0885-4505\(88\)90060-6](https://doi.org/10.1016/0885-4505(88)90060-6)
- Raza, A., Hafeez, M. B., Zahra, N., Shaukat, K., Umbreen, S., Tabassum, J., Charagh, S., Khan, R. S. A., & Hasanuzzaman, M. (2020). The Plant Family Brassicaceae: Introduction, Biology, And Importance. In *The Plant Family Brassicaceae* (pp. 1–43). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6345-4_1

- Ren, J., Liao, L., Shang, S., Zheng, Y., Sha, W., & Yuan, E. (2019). Purification, Characterization, and Bioactivities of Polyphenols from *Platycladus orientalis* (L.) Franco. *Journal of Food Science*, *84*(3), 667–677. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14483>
- Rizeq, B., Gupta, I., Ilesanmi, J., AlSafran, M., Rahman, M. M., & Ouhtit, A. (2020). The Power of Phytochemicals Combination in Cancer Chemoprevention. *Journal of Cancer*, *11*(15), 4521–4533. <https://doi.org/10.7150/jca.34374>
- Rizwan, D., Siqid, M., & Masoodi, F. A. (2023). Glucosinolates from Brassica vegetables: Their potential health benefits and effect of pre-harvest and processing factors on their content. *Medicinal and Aromatic Plants*, *12*, 458.
- Robin, A. H. K., Hossain, M. R., Park, J.-I., Kim, H. R., & Nou, I.-S. (2017). Glucosinolate Profiles in Cabbage Genotypes Influence the Preferential Feeding of Diamondback Moth (*Plutella xylostella*). *Frontiers in Plant Science*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01244>
- Rokayya, S., Li, C.-J., Zhao, Y., Li, Y., & Sun, C.-H. (2013). Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) Phytochemicals with Antioxidant and Anti-inflammatory Potential. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, *14*(11), 6657–6662. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2013.14.11.6657>
- Roy, M. K., Takenaka, M., Isobe, S., & Tsushida, T. (2007). Antioxidant potential, anti-proliferative activities, and phenolic content in water-soluble fractions of some commonly consumed vegetables: Effects of thermal treatment. *Food Chemistry*, *103*(1), 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.002>
- Russo, A., Acquaviva, R., Campisi, A., Sorrenti, V., Di Giacomo, C., Virgata, G., Barcellona, M. L., & Vanella, A. (2000). Bioflavonoids as antiradicals, antioxidants and DNA cleavage protectors. *Cell Biology and Toxicology*, *16*(2), 91–98. <https://doi.org/10.1023/A:1007685909018>
- Saini, N., Gahlawat, S. K., & Lather, V. (2017). Flavonoids: A Nutraceutical and Its Role as Anti-inflammatory and Anticancer Agent. In *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments* (pp. 255–270). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_13
- Salem, M. A., Zayed, A., Beshay, M. E., Abdel Mesih, M. M., Ben Khayal, R. F., George, F. A., & Ezzat, S. M. (2022). Hibiscus sabdariffa L.: phytoconstituents, nutritive, and pharmacological applications. *Advances in Traditional Medicine*, *22*(3), 497–507. <https://doi.org/10.1007/s13596-020-00542-7>
- Šamec, D., Bogović, M., Vincek, D., Martinčić, J., & Salopek-Sondi, B. (2014). Assessing the authenticity of the white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata f. alba) cv. ‘Varaždinski’ by molecular and phytochemical markers. *Food Research International*, *60*, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.015>

- Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., & Salopek-Sondi, B. (2021). The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Response: The Influence of Molecular Structure. *Plants*, 10(1), 118. <https://doi.org/10.3390/plants10010118>
- Šamec, D., Pavlović, I., & Salopek-Sondi, B. (2017). White cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata f. alba): botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Reviews*, 16(1), 117–135. <https://doi.org/10.1007/s11101-016-9454-4>
- Sandoval-Yanez, C., Mascayano, C., & Martinez-Araya, J. I. (2017). A theoretical assessment of antioxidant capacity of flavonoids by means of local hyper-softness. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(4), 554–563.
- Santana-Gálvez, J., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2018). Classification of Phenolic Compounds. In *Phenolic Compounds in Food* (pp. 3–20). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315120157-1>
- Sanz, M. J., Ferrandiz, M. L., Cejudo, M., Terencio, M. C., Gil, B., Bustos, G., Ubeda, A., Gunasegaran, R., & Alcaraz, M. J. (1994). Influence of a series of natural flavonoids on free radical generating systems and oxidative stress. *Xenobiotica*, 24(7), 689–699. <https://doi.org/10.3109/00498259409043270>
- Scalisi, A., O’Connell, M. G., Islam, M. S., & Goodwin, I. (2022). A Fruit Colour Development Index (CDI) to Support Harvest Time Decisions in Peach and Nectarine Orchards. *Horticulturae*, 8(5), 459. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050459>
- Sekher Pannala, A., Chan, T. S., O’Brien, P. J., & Rice-Evans, C. A. (2001). Flavonoid B-Ring Chemistry and Antioxidant Activity: Fast Reaction Kinetics. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 282(5), 1161–1168. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2001.4705>
- Semba, R. D. (2012). The Discovery of the Vitamins. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 82(5), 310–315. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000124>
- Semiz, A., Celik-Turgut, G., Karakurt, S., Akca, H., Arslan, S., Adali, O., & Sen, A. (2017). In vivo examination of the effects of hydroxycinnamic acid on xenobiotic metabolizing and antioxidant enzymes. *Archives of Biological Sciences*, 69(1), 103–110. <https://doi.org/10.2298/ABS160208083S>
- Seong, G.-U., Hwang, I.-W., & Chung, S.-K. (2016). Antioxidant capacities and polyphenolics of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*) leaves. *Food Chemistry*, 199, 612–618. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.066>
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- Sharma, B. R., Kumar, V., Gat, Y., Kumar, N., Parashar, A., & Pinakin, D. J. (2018). Microbial maceration: a sustainable approach for phytochemical extraction. *3 Biotech*, 8(9), 401. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1423-8>

- Sharma, I., Aaradhya, M., Kodikonda, M., & Naik, P. R. (2015). Antihyperglycemic, antihyperlipidemic and antioxidant activity of phenolic rich extract of *Brassica oleracea* var *gongylodes* on streptozotocin induced Wistar rats. *SpringerPlus*, 4(1), 212. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-0948-0>
- Sheftel, A. D., Mason, A. B., & Ponka, P. (2012). The long history of iron in the Universe and in health and disease. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1820(3), 161–187. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.08.002>
- Shih, P.-H., Yeh, C.-T., & Yen, G.-C. (2007). Anthocyanins Induce the Activation of Phase II Enzymes through the Antioxidant Response Element Pathway against Oxidative Stress-Induced Apoptosis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(23), 9427–9435. <https://doi.org/10.1021/jf071933i>
- Singh, J., Upadhyay, A. K., Bahadur, A., Singh, B., Singh, K. P., & Rai, M. (2006). Antioxidant phytochemicals in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, 108(3), 233–237. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.017>
- Singh, J., Upadhyay, A. K., Prasad, K., Bahadur, A., & Rai, M. (2007). Variability of carotenes, vitamin C, E and phenolics in Brassica vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(2), 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.08.002>
- Soengas, P., Sotelo, T., Velasco, P., & Cartea, M. E. (2011). Antioxidant properties of Brassica vegetables. *Functional Plant Science and Biotechnology*, 5((Special issue 2)), 43–55.
- Song, C., Ye, X., Liu, G., Zhang, S., Li, G., Zhang, H., Li, F., Sun, R., Wang, C., Xu, D., & Zhang, S. (2023). Comprehensive Evaluation of Nutritional Qualities of Chinese Cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) Varieties Based on Multivariate Statistical Analysis. *Horticulturae*, 9(12), 1264. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121264>
- Sova, M. (2012). Antioxidant and Antimicrobial Activities of Cinnamic Acid Derivatives. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 12(8), 749–767. <https://doi.org/10.2174/138955712801264792>
- Spiegel, M., Kapusta, K., Kołodziejczyk, W., Saloni, J., Żbikowska, B., Hill, G. A., & Sroka, Z. (2020). Antioxidant Activity of Selected Phenolic Acids–Ferric Reducing Antioxidant Power Assay and QSAR Analysis of the Structural Features. *Molecules*, 25(13), 3088. <https://doi.org/10.3390/molecules25133088>
- Stefova, M., Stafilov, T., & Kulevanova, S. (2003). HPLC Analysis of Flavonoids. In J. Cazes (Ed.), *Encyclopedia of Chromatography*. Marcel Dekker .
- Tena, N., & Asuero, A. G. (2022). Up-To-Date Analysis of the Extraction Methods for Anthocyanins: Principles of the Techniques, Optimization, Technical Progress, and Industrial Application. *Antioxidants*, 11(2), 286. <https://doi.org/10.3390/antiox11020286>

- Tena, N., Martín, J., & Asuero, A. G. (2020). State of the Art of Anthocyanins: Antioxidant Activity, Sources, Bioavailability, and Therapeutic Effect in Human Health. *Antioxidants*, 9(5), 451. <https://doi.org/10.3390/antiox9050451>
- Thakur, A. (2018). Health Promoting Phytochemicals in Vegetables: A Mini Review. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 8(2). <https://doi.org/10.30954/2277-9396.02.2018.1>
- Tirzitis, G., & Bartosz, G. (2010). Determination of antiradical and antioxidant activity: basic principles and new insights. *Acta Biochimica Polonica*, 57(2). <https://doi.org/10.18388/abp.2010.2386>
- Trinh, K. T., & Glasgow, S. (2012). On the texture profile analysis test . *Chemeca*.
- Tripathi, A., Punekar, R., Jain, V., Tyagi, C. K., Chandekar, A., & Vyas, A. (2017). Antioxidant and Antiulcer Potential on leaves of Brassica nigra L. against Gastric Ulcer. *International Journal of Phytomedicine*, 9(1), 144. <https://doi.org/10.5138/09750185.2075e>
- Tsao, R., & Deng, Z. (2004). Separation procedures for naturally occurring antioxidant phytochemicals. *Journal of Chromatography B*, 812(1–2), 85–99. [https://doi.org/10.1016/S1570-0232\(04\)00764-0](https://doi.org/10.1016/S1570-0232(04)00764-0)
- Valgimigli, L., & Iori, R. (2009). Antioxidant and pro-oxidant capacities of ITCs. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 50(3), 222–237. <https://doi.org/10.1002/em.20468>
- Valko, M., Morris, H., & Cronin, M. (2005). Metals, Toxicity and Oxidative Stress. *Current Medicinal Chemistry*, 12(10), 1161–1208. <https://doi.org/10.2174/0929867053764635>
- Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., & Mazur, M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160(1), 1–40. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2005.12.009>
- Voća, S., Šic Žlabur, J., Dobričević, N., Benko, B., Pliestić, S., Filipović, M., & Galić, A. (2018). Bioactive compounds, pigment content and antioxidant capacity of selected cabbage cultivars. *Journal of Central European Agriculture*, 19(3), 593–606. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.3.2077>
- Wang, J., Liu, Z., Dou, J., Lv, J., Jin, N., Jin, L., Li, Z., Zhang, B., Tang, Z., & Yu, J. (2022). A Comparative Study on the Nutrients, Mineral Elements, and Antioxidant Compounds in Different Types of Cruciferous Vegetables. *Agronomy*, 12(12), 3121. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123121>
- Wang, R., Xing, Y., Li, X., Guo, X., Xu, Q., Li, W., Chen, C., Yang, H., Bi, X., & Che, Z. (2019). Microstructure and quality of cabbage slices (*Brassica oleracea* L. var. capitata L.) as affected by cryogenic quick-freezing treatment. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1815–1833. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1681449>

- Wang, W., Wang, X., Ye, H., Hu, B., Zhou, L., Jabbar, S., Zeng, X., & Shen, W. (2016). Optimization of extraction, characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Brassica rapa* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 979–988. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.051>
- Wermter, N. S., Rohn, S., & Hanschen, F. S. (2020). Seasonal Variation of Glucosinolate Hydrolysis Products in Commercial White and Red Cabbages (*Brassica oleracea* var. capitata). *Foods*, 9(11), 1682. <https://doi.org/10.3390/foods9111682>
- Wiczowski, W., Szawara-Nowak, D., & Topolksa, J. (2013). Red cabbage anthocyanins: Profile, isolation, identification, and antioxidant activity. *Food Research International*, 51(1), 303–309.
- Williams, D. J., Critchley, C., Pun, S., Chaliha, M., & O'Hare, T. J. (2009). Differing mechanisms of simple nitrile formation on glucosinolate degradation in *Lepidium sativum* and *Nasturtium officinale* seeds. *Phytochemistry*, 70(11–12), 1401–1409. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.07.035>
- Wojtunik-Kulesza, K. A. (2020). Approach to Optimization of FRAP Methodology for Studies Based on Selected Monoterpenes. *Molecules*, 25(22), 5267. <https://doi.org/10.3390/molecules25225267>
- Xu, Y., Xiao, Y., Lagnika, C., Li, D., Liu, C., Jiang, N., Song, J., & Zhang, M. (2020). A comparative evaluation of nutritional properties, antioxidant capacity and physical characteristics of cabbage (*Brassica oleracea* var. Capitata var L.) subjected to different drying methods. *Food Chemistry*, 309, 124935. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.06.002>
- Yahia, E. M. (2010). The contribution of fruit and vegetable consumption to human health . In L. A. de la Rosa, E. Alvarez-Parrilla, & G. Gonzalez-Aguilar (Eds.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals - Chemistry, Nutritional Value and Stability* (pp. 3–52). Blackwell Publishing .
- Yahia, E. M., & Ornelas-Paz, J. de J. (2010). Chemistry, stability, and biological actions of carotenoids . In L. A. de la Rosa, E. Alvarez-Parrilla, & G. A. Gonzalez-Aguilar (Eds.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value and Stability* (pp. 177–222). Wiley-Blackwell Publishing.
- Yi, G., Lim, S., Chae, W. B., Park, J. E., Park, H. R., Lee, E. J., & Huh, J. H. (2016). Root Glucosinolate Profiles for Screening of Radish (*Raphanus sativus* L.) Genetic Resources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(1), 61–70. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04575>
- Young, A., & Lowe, G. (2018). Carotenoids—Antioxidant Properties. *Antioxidants*, 7(2), 28. <https://doi.org/10.3390/antiox7020028>
- Yuan, J., Li, H., Tao, W., Han, Q., Dong, H., Zhang, J., Jing, Y., Wang, Y., Xiong, Q., & Xu, T. (2020). An effective method for extracting anthocyanins from blueberry based

- on freeze-ultrasonic thawing technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105192. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105192>
- Yue, T., Xing, Y., Xu, Q., Yang, S., Xu, L., Wang, X., & Yang, P. (2021). Physical and chemical properties of purple cabbage as affected by drying conditions. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 997–1010. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1953070>
- Yue, Z., Zhang, G., Wang, J., Wang, J., Luo, S., Zhang, B., Li, Z., & Liu, Z. (2024). Comparative study of the quality indices, antioxidant substances, and mineral elements in different forms of cabbage. *BMC Plant Biology*, 24(1), 187. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04857-4>
- Zhang, N., & Jing, P. (2022). Anthocyanins in Brassicaceae: composition, stability, bioavailability, and potential health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 2205–2220. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1852170>
- Zhang, Y., Li, J., & Tang, L. (2005). Cancer-preventive isothiocyanates: dichotomous modulators of oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*, 38(1), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2004.09.033>
- Zhao, J., Wang, X., Deng, B., Lou, P., Wu, J., Sun, R., Xu, Z., Vromans, J., Koornneef, M., & Bonnema, G. (2005). Genetic relationships within *Brassica rapa* as inferred from AFLP fingerprints. *Theoretical and Applied Genetics*, 110(7), 1301–1314. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-1967-y>
- Zhou, J., Wang, L., Wang, J., & Tang, N. (2001). Antioxidative and anti-tumor activities of solid quercetin metal (II) complexes. *Transition Metal Chemistry*, 26(1/2), 57–63. <https://doi.org/10.1023/A:1007152927167>