



Πανεπιστήμιο Δυτική Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Μελέτη της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής δράσης φυτών της οικογένειας Brassicaceae (Cruciferae)”

DIPLOMA THESIS

“Study of the antioxidant and antiradical activity of plants of the family Brassicaceae (Cruciferae)”

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/ NAME OF STUDENT

Ευάγγελος Ράπτης

Evangelos Raptis

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/ NAME OF SUPERVISOR

Ειρήνη Στρατή

Eirini Strati

ΑΙΓΑΛΕΩ 2024/AIGALEO 2024

Έγινε δεκτή

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο “Μελέτη της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής δράσης φυτών της οικογένειας Brassicaceae (Cruciferae)” που παρουσιάστηκε από τον ή την Ευάγγελο Ράπτη και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

A/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1.	Στρατή Ειρήνη	Επίκουρος Καθηγήτρια/Επιβλέπουσα	
2.	Ξανθάκης Επαμεινώνδας	Επίκουρος Καθηγητής/Μέλος	
3.	Μπρατάκος Σωτήριος	Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό/Μέλος	

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο Κάτωθι υπογεγραμμένος Ευάγγελος Ράπτης με αριθμό μητρώου 18684037, προπτυχιακός φοιτητής του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, με πτυχιακή εργασία “Μελέτη της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής δράσης φυτών της οικογένειας Brassicaceae (Cruciferae)”, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

“Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.”

Ο/Η Δηλών/ούσα

Ευάγγελος Ράπτης

A photograph of a handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature is written in a cursive style and appears to read 'Evangelos Raptis'.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα και Επίκουρη Καθηγήτρια, Δρ. Ειρήνη Στρατή τόσο για την στήριξη της, όσο και για την καθοδήγηση της καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής Επίκουρο καθηγητή κ. Ξανθάκη και τον κ. Μπρατάκο, ΕΔΙΠ για τη βοήθειά τους. Ένα ξεχωριστό ευχαριστώ και στην φοιτήτρια του μεταπτυχιακού προγράμματος Όλγα Στατίλκο, τόσο για τη συνεργασία μας όσο και για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τόσο την οικογένεια μου όσο και τους φίλους μου, οι οποίοι με στήριξαν και βρίσκονταν στο πλευρό μου σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η οικογένεια των φυτών Brassicaceae ή γνωστή και ως Cruciferae, αποτελεί πολύ σημαντικό κομμάτι της αγροτικής αλλά και της παγκόσμιας οικονομίας. Η παραγωγή της αυξάνεται διαρκώς σε όλο τον κόσμο καθώς πρόκειται για μια διατροφική επιλογή, η οποία προσφέρει σημαντικά οφέλη στην υγεία του οργανισμού μας. Τα τελευταία χρόνια, έχουν ξεκινήσει μελέτες και εντείνονται με γρήγορους ρυθμούς σχετικά με την περιεκτικότητα των φυτοχημικών συστατικών και την επίδραση των αντιοξειδωτικών τους ικανοτήτων ,για την μείωση των οξειδωτικών δράσεων που προκαλούν δυσάρεστες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω διάφορων παθήσεων και ασθενειών.

Με την παρούσα μελέτη λοιπόν, εξετάζεται το ολικό φαινολικό περιεχόμενο, η αντιοξειδωτική και αντιριζική ιδιότητα τριών υβριδικών δειγμάτων της ποικιλίας *Brassica oleraceae var. Capitata* (λάχανο) και του είδους *Brassica rapa spp. Pekinensis* (Κινέζικο λάχανο). Τα δείγματα αυτά ήταν το λευκό λάχανο Klabishi (*Brassica oleraceae var. capitata f. alba*), το κόκκινο λάχανο Ranchero (*Brassica oleraceae var. capitata f. rubra*) και το κινέζικο λάχανο Manoko (*Brassica rapa subsp. pekinensis*). Ο προσδιορισμός τόσο του ολικού φαινολικού περιεχομένου, όσο και των αντιοξειδωτικών και αντιριζικών ιδιοτήτων εξετάστηκαν με φασματομετρικές μεθόδους, ενώ παράλληλα έγινε έρευνα για την επίδραση της διαφορετικής προκατεργασίας των δειγμάτων και διαφορετικών εκχυλισμάτων.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που συλλέχθηκε, έγινε με την χρήση στατιστικών αναλύσεων. Από τα αποτελέσματα που λήφθηκαν για τον προσδιορισμό του ολικού φαινολικού περιεχομένου (TPC), παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών δειγμάτων, τόσο των φρέσκων όσο και εκείνων που ακολούθησαν την προκατεργασία της λυοφιλίωσης. Οι μέθοδοι της αντιριζικής (ABTS) και αντιοξειδωτικής (FRAP) ικανότητας των δειγμάτων έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα, αλλά διαπιστώθηκαν διαφορές όσον αφορά την επίδραση του διαλύτη των εκχυλισμάτων. Τέλος, διαπιστώθηκε πως υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ της αντιοξειδωτικής ικανότητας (μέθοδος FRAP) με το ολικό φαινολικό περιεχόμενο ($R=0,85$) και την αντιριζική δράση ($R=0,86$). Επιπροσθέτως

παρατηρήθηκε ικανοποιητική συσχέτιση της αντιριζικής δράσης (μέθοδος ABTS) και του ολικού φαινολικού περιεχομένου ($R=0,74$).

Abstract

The Brassicaceae family of plants, also known as Cruciferae, constitutes a highly significant part of both agricultural and global economies. Its production is increasing all over the world as it is a food choice, which offers significant health benefits to our body.

In recent years, studies have been initiated and are rapidly intensifying on the content of phytochemicals and the effect of their antioxidant capacities, to reduce oxidative actions that cause unpleasant effects on the human body through various diseases and illnesses

Thus, in this study, the total phenolic content, antioxidant and antiradical properties of three hybrid samples of the *Brassica oleracea* var. *Capitata* variety (cabbage) and the *Brassica rapa* spp. *Pekinensis* species (Chinese cabbage) are examined. These samples were the white cabbage Klabishi (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*), the red cabbage Ranchero (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) and the Chinese cabbage Manoko (*Brassica rapa* subsp. *Pekinensis*). The determination of the total phenolic content, as well as the antioxidant and radical scavenging properties, were examined using spectrometric methods, while research was also conducted on the impact of different pre-treatments of the samples and different extracts.

The evaluation of the collected results was conducted using statistical analyses. From the results obtained for the determination of total phenolic content (TPC), a significant difference was observed among the three samples, both fresh and those that underwent different pre-treatment of lyophilization. The methods for determining the antiradical (ABTS) and antioxidant (FRAP) capacity of the samples showed similar results, but differences were also noted regarding the effect of the extract solvent. Finally, it was found that there is a correlation between the antioxidant capacity method and the TPC and ABTS methods, in contrast to the correlation between the two methods, as a lower coefficient was observed.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright	3
Ευχαριστίες	4
Περίληψη	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
1. Εισαγωγή	12
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	13
2.1 Οικογένεια Brassicaceae	13
2.1.1 Γενικές πληροφορίες	13
2.2 Φυτοχημικά: Χαρακτηριστικά & Κατηγορίες	14
2.2.1 Γλυκοζινολικές ενώσεις	16
2.2.2 Φαινολικές ενώσεις	18
2.2.3 Φλαβονοειδή	19
2.2.4 Φαινολικά Οξέα	21
2.2.5 Καροτενοειδή	22
2.2.6 Βιταμίνη C	23
2.3 Αντιοξειδωτική και Αντιριζική δράση	25
2.3.1 Ελεύθερες ρίζες	25
2.3.1.1 Κατηγορίες ριζών	26
2.3.2 Αντιοξειδωτική ικανότητα	26
2.3.3 Αντιριζική ικανότητα	27
2.3.4 Αντιοξειδωτική ιδιότητα των φυτοχημικών της οικογένειας <i>Brassicaceae</i>	28
2.4 Είδη <i>Brassica oleraceae</i> και <i>Brassica rapa</i>	30
2.4.1 Λευκό (<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>Alba</i>) και Κόκκινο Λάχανο (<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>)	30
2.4.1.1 Αντιοξειδωτική δράση λευκού και κόκκινου λάχανου	33
2.4.2 Κινέζικο Λάχανο (<i>Brassica rapa</i> spp. <i>pekinensis</i>)	34
2.4.2.1 Αντιοξειδωτική δράση κινέζικου λάχανου	36

4. Μέθοδοι Και Υλικά	37
4.1 Υλικό Δειγμάτων & Μέθοδοι Ανάλυσης.....	37
4.2 Προετοιμασία Δειγμάτων και Εκχύλιση	38
4.3 Προσδιορισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου με την μέθοδο Folin-Ciocalteu	41
4.3.1 Πειραματική Πορεία Μεθόδου Folin-Ciocalteu	42
4.4 Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS•+ [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]	43
4.4.1 Πειραματική Πορεία Μεθόδου ABTS•+	43
4.5 Εκτίμηση αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη Μέθοδο FRAP (Ferric Ion Reducing Antioxidant Power Assay)	44
4.5.1 Πειραματική Πορεία Μεθόδου FRAP	45
4.6 Στατιστική Ανάλυση	46
5. Αποτελέσματα & Συζήτηση	47
5.1 Προσδιορισμός Ολικών Φαινολικών	47
5.2 Αποτελέσματα αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας	49
6. Συμπεράσματα	52
Βιβλιογραφία.....	54

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα1 . Φυτό της οικογένειας <i>Brassicaceae</i>	13
Εικόνα 2 . Πίνακας Φυτοχημικών της οικογένειας <i>Brassicaceae</i> (Hedges & Lister, 2006).....	16
Εικόνα 3 . Δομή γλυκοζινολικών ενώσεων.....	17
Εικόνα 4 . Περιεκτικότητα σε γλυκοζινολικές ενώσεις στην οικογένεια <i>Brassicaceae</i> (Hedges & Lister, 2006)	18
Εικόνα 5 . Κατηγορίες και δομή φλαβονοειδών	20
Εικόνα 6 . Περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή στο γένος <i>Brassica</i> (Moreb et al., 2020)	21
Εικόνα 7 . Δομή Καροτενοειδών.....	22
Εικόνα 8 . Περιεκτικότητα καροτενοειδών στα λαχανικά <i>Brassica</i> (Hedges & Lister, 2006).....	23
Εικόνα 9 . Δομή ασκορβικού οξέος	24
Εικόνα 10 . Λευκό λάχανο (<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>alba</i>).....	31
Εικόνα 11 . Μωβ λάχανο (<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>).....	31
Εικόνα 12 . Κινέζικο λάχανο(<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>Pekinensis</i>)	35
Εικόνα 13 . Θερμοζυγός Kern MLS	39
Εικόνα14 . Συσκευή υπέρηχων Sonplus HD 2070	39
Εικόνα15 . Φυγόκεντρος SL 16R	40
Εικόνα 16 . Φασματοφωτόμετρο UV-Vis.....	42

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 . Είδη υβριδίων που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα	37
Πίνακας 2 . Μέθοδοι παραλαβής δειγμάτων και η κωδικοποίηση τους	40
Πίνακας 3 . Αποτελέσματα συγκεντρώσεων ολικών φαινολικών με την Μέθοδο <i>Folin-Ciocalteu</i>	47
Πίνακας 4 . Αποτελέσματα της δοκιμής <i>ABTS</i>	49
Πίνακας 5 .Αποτελέσματα της δοκιμής <i>FRAP</i>	49
Πίνακας 6 . Συντελεστές συσχέτισης <i>Pearson (r)</i>	50

1. Εισαγωγή

Μία από τις μεγαλύτερες οικογένειες καλλιεργούμενων φυτών παγκοσμίως, με μεγάλο αντίκτυπο στην αγροτική οικονομία αποτελεί η οικογένεια Brassicaceae. Ειδικότερα το γένος Brassica, το οποίο αφορά την κατηγορία των λάχανων αυτής της οικογένειας, αποτελεί βασική πηγή για την παγκόσμια οικονομία, καθώς επίσης και μία πολύ βασική φθηνή διατροφική επιλογή με αποδεδειγμένα πολλαπλά οφέλη για την υγεία του ανθρώπινου οργανισμού.

Το συγκεκριμένο είδος αποτελεί καθημερινή επιλογή των καταναλωτών σε πολλά έθνη ανά τον κόσμο, με τις έρευνες μάλιστα να δείχνουν πως η ποικιλότητα που εμφανίζει στην σύσταση του, το καθιστά ενεργό σύμμαχο για την αντιμετώπιση χρόνιων παθήσεων και ασθενειών, όπως είναι ο καρκίνος. Μάλιστα, οι μελέτες αυτές εξετάζουν πως τα φυτοχημικά χαρακτηριστικά αυτής της οικογένειας καταπολεμούν μέσω των αντιοξειδωτικών και αντιριζικών ιδιοτήτων τους, το οξειδωτικό στρες που προκαλείται στα ανθρώπινα κύτταρα.

Μέσω της παρούσας μελέτης λοιπόν, θα αναλυθούν τρία διαφορετικά είδη υβριδίων του είδους Brassica, το κόκκινο λάχανο Ranchero F1, το λευκό λάχανο Klabishi F1 και το κινέζικο λάχανο Manoko F1, για τις αντιοξειδωτικές και αντιριζικές τους ικανότητες καθώς επίσης και για το συνολικό φαινολικό τους περιεχόμενο με τις αντίστοιχες μεθόδους που θα πραγματοποιηθούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Στο δεύτερο κεφάλαιο που αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο, δίνονται γενικές πληροφορίες σχετικά με την οικογένεια Brassicaceae, αναλύονται τα φυτοχημικά συστατικά τους και η αντιοξειδωτική και αντιριζική δράση τους. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση των δειγμάτων της μελέτης αυτής και των χαρακτηριστικών τους. Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των τριών δειγμάτων της μελέτης.

Τέλος, δίνονται τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν και γίνεται ο σχολιασμός τους με σκοπό να αποδοθούν κάποια τελικά πορίσματα.

2.Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Οικογένεια Brassicaceae

2.1.1 Γενικές πληροφορίες

Η οικογένεια Brassicaceae, που μερικές φορές αναφέρεται ως η οικογένεια λάχανου ή μουστάρδας, είναι μια ευρεία ομάδα ανθοφόρων φυτών που περιέχει αρκετά είδη εμπορικής σημασίας. Πρόκειται για μια από τις μεγαλύτερες οικογένειες στο φυτικό βασίλειο, αποτελούμενη από περισσότερα από 3.709 είδη και 338 γένη. Τα μέλη της διανέμονται ευρέως σε όλο τον κόσμο και είναι πολύτιμα για τις εφαρμογές τους στην κηπουρική, την ιατρική και τη γεωργία (Ojha, 2023; Jabeen, 2020).



Εικόνα 1. Φυτό της οικογένειας *Brassicaceae*

Η οικογένεια αυτή είναι γνωστή και με την ονομασία "Cruciferae" (που προέρχεται από το λατινικό "crucis", που σημαίνει σταυρός), και οφείλεται στο γεγονός πως τα τέσσερα πέταλα στα λουλούδια των φυτών Brassicaceae συνήθως δημιουργούν ένα σχήμα σταυρού, από εκεί προκύπτει και η συχνή αναφορά τους ως Σταυρανθή φυτά. Αποτελούνται από μονοετή και πολυετή φυτά και τα φύλλα τους είναι απλά, αδιαίρετα ή οδοντωτά και πτεροσχιδή (Ojha, 2023; Franzke et al., 2011). Επίσης, έχουν μια

χαρακτηριστική έντονη μυρωδιά ή οποία οφείλεται στην ύπαρξη γλυκοζινολιτών (Jabeen, 2020).

Υπάρχουν και άλλα γένη μέσα στην οικογένεια, με τα πιο γνωστά να είναι τα Brassica, Raphanus και Lepidium. Τα ραπανάκια (*Raphanus sativus*), τα μπρόκολα (*Brassica oleracea* var. *italica*), και το λάχανο (*Brassica oleracea*) είναι τα πιο κοινά είδη. Αυτά τα φυτά καλλιεργούνται συχνά για τα βρώσιμα φύλλα, τα στελέχη, τις ρίζες και τους σπόρους τους. Εντοπίζονται κατά κύριο λόγο στις εύκρατες και αλπικές περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου και στην μεσόγειο (Ojha, 2023).

Η οικογένεια Brassicaceae διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην παγκόσμια γεωργία. Πολλά είδη καλλιεργούνται ως λαχανικά, ελαιόδεντρα και καλλιέργειες ζωοτροφών. Επιπλέον, αρκετά είδη Brassicaceae χρησιμοποιούνται ως μπαχαρικά, όπως μουστάρδα (από *Brassica nigra*) και ποτειδή (από *Armoracia rusticana*). Η οικογένεια περιλαμβάνει επίσης, φυτά με φαρμακευτικές ιδιότητες, τα οποία χρησιμοποιούνται στην παραδοσιακή ιατρική για διάφορες ασθένειες, οπότε είναι αντιληπτός ο αντίκτυπος που έχει στην ανθρώπινη υγεία (Ojha, 2023; Jabeen, 2020).

Συγκεκριμένα αρκετές μελέτες τα τελευταία χρόνια έχουν συνδέσει την αυξημένη κατανάλωση των Σταυρανθών λαχανικών με την μείωση των πιθανοτήτων για την εμφάνιση πολλών ειδών καρκίνου (Liu et al., 2013; Liu & Lv, 2013). Γι' αυτό τον λόγο χαρακτηρίζονται ως λειτουργικά τρόφιμα, και τα εκχυλίσματα τους εντοπίζονται σε αρκετά συμπληρώματα διατροφής.

2.2 Φυτοχημικά: Χαρακτηριστικά & Κατηγορίες

Τα Σταυρανθή λαχανικά περιλαμβάνουν μια ποικιλία από φυτά τα οποία καταναλώνονται ευρέως και σε μεγάλη συχνότητα ανά τον κόσμο, φυτά όπως το μπρόκολο, η κολοκύθα, οι βλαστοί Βρυξελλών και τα λάχανα. Αυτά τα λαχανικά δεν εκτιμώνται μόνο για το θρεπτικό τους περιεχόμενο αλλά και για τα μοναδικά φυτοχημικά τους συστατικά, τα οποία προσδίδουν τα ιδιαίτερα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά όσον αφορά την γεύση, το χρώμα και την μυρωδιά.

Στο γένος Brassica η σύνθεση, η ιδιομορφία και οι ποσότητες των φυτοχημικών, μεταβάλλονται από παράγοντες που αφορούν τη βλάστηση, τις περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και τα θρεπτικά συστατικά που παρέχονται κατά την καλλιέργειά τους.

Από τα φυτοχημικά τους συστατικά, ξεχωρίζουν οι γλυκοζινολικές ενώσεις λόγω της μεγάλης βιοδραστικής τους ικανότητας και της αυξημένης παρουσίας τους στα λαχανικά της οικογένειας Brassica. Μάλιστα, έχει συσχετιστεί η δράση τους με την μείωση του κινδύνου διάφορων καρκίνων, ιδίως του παχέος εντέρου (Ağagündüz et al., 2022).

Επιπλέον, στα λαχανικά αυτά έχουν βρεθεί μεγάλες ποσότητες φαινολικών ενώσεων, οι οποίες σε πολύ μεγάλο ποσοστό απαρτίζονται από τα φλαβονοειδή και τα φαινολικά οξέα, τα οποία σύμφωνα με έρευνες αποτελούν τον κυριότερο λόγο που προτιμώνται τα φυτά του γένους Brassica, εξαιτίας της αντιοξειδωτικής και αντιφλεγμονώδους δράσης στον ανθρώπινο οργανισμό (Ramirez et al., 2020; Fusari et al., 2020).

Εκτός από τις φαινολικές ενώσεις, οι χαρακτηριστικές ομάδες των καροτενοειδών και βιταμινών, όπως είναι η βιταμίνη C, ανάλογα και με την περιεκτικότητά τους επιτυγχάνουν να εξουδετερώσουν τις ελεύθερες ρίζες, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην μείωση του οξειδωτικού στρες (Nawaz, Shad, Muzaffar, et al., 2018).

Έτσι, μέσω των φυτοχημικών προκύπτουν πολλαπλά οφέλη στην υγεία του καταναλωτή, όπως είναι η πρόληψη του καρκίνου, η διαχείριση χρόνιων παθήσεων από φλεγμονές και η βελτίωση της καρδιαγγειακής υγείας, με την μείωση τόσο της αρτηριακής πίεσης όσο και της χοληστερόλης.

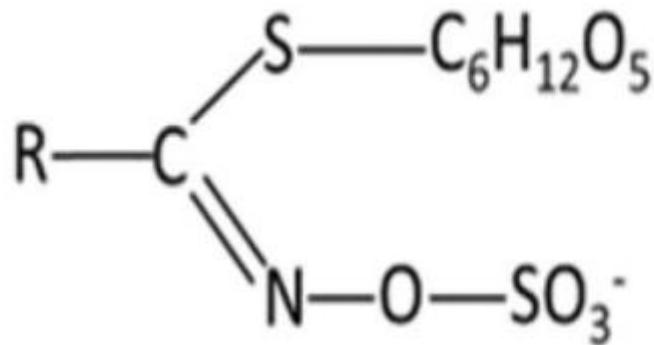
	β-carotene	Lutein/Zeaxanthin	Anthocyanins	Flavonoids	Phenolic acids	Lignans	Glucuronic acid	Chlorophyll	Phytosterols	Glutathione	Glucosinolates
Broccoli	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Brussels sprouts	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓
Cabbage	✓	✓		✓	✓			✓	✓		✓
Chinese broccoli	✓	✓						✓			✓
Chinese cabbage	✓	✓						✓			✓
Red cabbage	✓	✓	✓								
Cauliflower				✓			✓		✓		✓
Kale	✓	✓		✓				✓			✓
Turnip/swede									✓		✓

Εικόνα 2. Πίνακας φυτοχημικών της οικογένειας *Brassicaceae* (Hedges & Lister, 2006)

2.2.1 Γλυκοζινολικές ενώσεις

Πρόκειται για μια από τις πιο σημαντικές ομάδες των σταυρανθών φυτών (Ağagündüz et al., 2022). Τα γλυκοζινολικά (GLS) είναι υδατοδιάλυτα ανιόντα που υπάρχουν σε δεκαέξι οικογένειες δικοτυλεδονικών αγγειοσπερμάτων, συμπεριλαμβανομένου ενός μεγάλου αριθμού βρώσιμων ειδών. Είναι μια μικρή, αλλά ποικίλη ομάδα πάνω από 130 προϊόντων που περιέχουν άζωτο και θείο.

Η δομή των γλυκοζινολικών αποτελείται από μια ομάδα β-θειογλυκόζης συνδεδεμένη μέσω ενός ατόμου άνθρακα με ένα N-υδροξυμινοθειϊκό εστέρα και μια πλευρική ομάδα (R), η οποία καθορίζεται από τα διακλαδιζόμενα αμινοξέα που την αποτελούν (Bischoff, 2016). Η πλευρική ομάδα μπορεί να είναι είτε αλειφατική, εφόσον προέρχεται από τα αμινοξέα αλανίνη, λευκίνη, ισολευκίνη, μεθειονίνη ή βαλίνη, είτε 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 3. Δομή γλυκοζινολικών ενώσεων

Αποτελούν πρόδρομες ενώσεις για βιοδραστικούς μεταβολίτες, όπως είναι τα ισοθιοκυανικά και οι ινδόλες, που σχηματίζονται όταν οι γλυκοζινολίτες υδρολύονται από το ένζυμο μυροσινάση. Μάλιστα, ο σχηματισμός της ισοθιοκυανίνης είναι ο πιο διαδεδομένος, πραγματοποιείται σε φυσιολογικό pH και είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό της βιοδραστικότητας της οικογένειας των σταυρανθών φυτών (Ağagündüz et al., 2022).

Πρόκειται όμως για ασταθείς ενώσεις και έτσι η δράση τους ποικίλλει ανάλογα με τη συγκέντρωση των GSL, την μαγειρική διαδικασία που θα υποστούν και ανάλογα με την πρόσληψη λαχανικών και τον ανθρώπινο μεταβολισμό (Ramírez et al., 2020). Το προφίλ των ισοθιοκυανικών αλλάζει σημαντικά ανάλογα με την μέθοδο εκχύλισης, το είδος ή υποείδος, τη βοτανική ποικιλία, καθώς και τον φυτικό ιστό από τον οποίο λαμβάνεται το εκχύλισμα (Blažević & Mastelić, 2009).

Food (raw)	Serving	Total glucosinolates (mg)
Brussels sprouts	½ cup (44 g)	104
Garden cress	½ cup (25 g)	98
Mustard greens	½ cup, chopped (28 g)	79
Turnip	½ cup, cubes (65 g)	60
Cabbage, savoy	½ cup, chopped (45 g)	35
Kale	1 cup, chopped (67 g)	34
Watercress	1 cup, chopped (34 g)	32
Kohlrabi	½ cup, chopped (67 g)	31
Cabbage, red	½ cup, chopped (45 g)	29
Broccoli	½ cup, chopped (44 g)	27
Horseradish	1 tablespoon (15 g)	24
Cauliflower	½ cup, chopped (50 g)	22
Bok choy (pak choi)	½ cup, chopped (35 g)	19

Εικόνα 4. Περιεκτικότητα σε γλυκοζινολικές ενώσεις στην οικογένεια *Brassicaceae* (Hedges & Lister, 2006).

2.2.2 Φαινολικές ενώσεις

Οι φαινολικές ενώσεις είναι μια ποικιλόμορφη ομάδα φυτοχημικών ουσιών που εντοπίζονται ευρέως στα λαχανικά Brassica. Αποτελούνται από έναν βενζολικό δακτύλιο, την φαινόλη, που τις καθιστά αρωματικές ενώσεις και είναι υποκατεστημένος με ένα υδροξύλιο στη θέση ενός υδρογόνου (Mamari, 2021). Η ομάδα των φαινολικών ενώσεων διακρίνεται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τα φλαβονοειδή και τα φαινολικά οξέα.

Οι σημαντικότερες ενώσεις που εντοπίζονται σε αυτά τα λαχανικά περιλαμβάνουν την κερσετίνη, την καεμπφερόλη και διάφορα υδροξυκιναμικά οξέα όπως το φερουλικό και το καφεϊκό οξύ (Andrés-Lacueva et al., 2009).

Οι ενώσεις αυτές είναι γνωστές για τις αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες, οι οποίες βοηθούν στην καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες στο σώμα. Ανάλογα με το είδος των λαχανικών, ποικίλλει και η περιεκτικότητά τους σε φαινολικές ενώσεις, οπότε υπάρχουν και οι αντίστοιχες διαφορές στην αντιοξειδωτική τους ικανότητα (Ramirez et al., 2020).

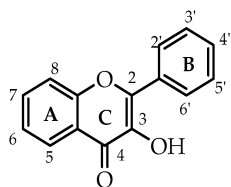
Τα εκχυλίσματα του γένους Brassica έχει αποδειχθεί πως έχουν την υψηλότερη φαινολική περιεκτικότητα και αντιοξειδωτική δράση, όταν χρησιμοποιείται εκχύλισμα μεθανόλης. Η

αξία των φαινολικών δεν σταματά εκεί, καθώς διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στα φυτά, συμβάλλοντας στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, τη δομή και την επικοινωνία τους, ενώ ακόμα αυξάνει την αντοχή τους σε παράσιτα και παθογόνα (Giada, 2013).

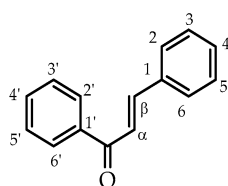
2.2.3 Φλαβονοειδή

Τα φλαβονοειδή είναι μια μεγάλη ομάδα πολυφαινολικών φυτοχημικών ουσιών που διανέμονται ευρέως στα φυτά. Ο αριθμός των φλαβονοειδών που υπάρχουν στα φρούτα και τα λαχανικά μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία των ειδών, τις κλιματικές συνθήκες, το μέρος του φυτού, την καλλιέργεια και τον βαθμό ωριμότητας (Safe et al., 2021).

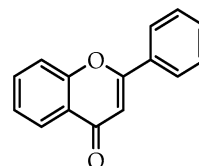
Πρόκειται για μια ποικιλόμορφη ομάδα φυτικών πολυφαινολών με μια κοινή σκελετική δομή ανθράκων τύπου C6-C3-C6, αποτελούμενη από 2 αρωματικούς δακτύλιους, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μέσω 3 ατόμων άνθρακα (Feng et al., 2017). Τα φλαβονοειδή ταξινομούνται ανάλογα με την δομή τους σε διάφορες κατηγορίες: τις φλαβόνες, τα ισοφλαβονοειδή, τις φλαβονόλες, τις φλαβανόλες, τις φλαβανόλες και τις ανθοκυανίνες.



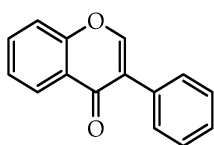
Flavonols



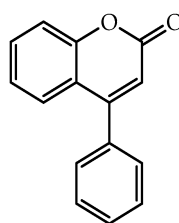
Chalcones



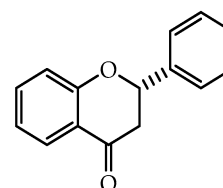
Flavones



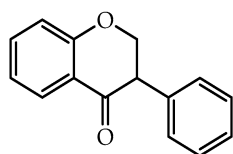
Isoflavones



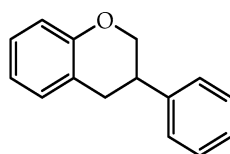
Neoflavones



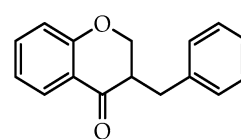
Flavanones



Isoflavanones



Isoflavans



Homoisoflavones

Εικόνα 5. Κατηγορίες και δομή φλαβονοειδών.

Ο διαχωρισμός αυτών των ενώσεων γίνεται με βάση τον βαθμό οξείδωσης του υποκατεστημένου άνθρακα C3, τη σύνδεση του δακτυλίου A και B και από την θέση που έχει συνδεθεί ο δακτύλιος B (Feng et al., 2017). Μπορούν βέβαια, να προκύψουν και περαιτέρω δομικές ποικιλομορφίες, οι οποίες εξαρτώνται από το βαθμό της υδροξυλίωσης, της μεθυλίωσης, της ακυλίωσης και της γλυκοζυλίωσης (Pereira et al., 2023; Feng et al., 2017).

Την μεγαλύτερη και μία από τις πιο σημαντικές κατηγορίες των φαινολικών ενώσεων αποτελούν οι ανθοκυανίνες, εξαιτίας της ισχυρής αντιοξειδωτικής τους δράσης, καθώς έχουν ισχυρή επίδραση όταν καταναλώνονται τακτικά. 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 (Yañez-Aram et al., 2023).

Πρόκειται για γλυκοζίτες (δηλαδή στο μόριο τους εμπεριέχεται κάποιο σάκχαρο) και προσδίδουν τα χαρακτηριστικά χρώματα στα λαχανικά της οικογένειας Brassicaceae, τα οποία ποικίλουν από κόκκινο, ροζ, μωβ μέχρι και το μπλέ χρώμα. Αυτά τα μόρια χωρίς σάκχαρο ονομάζονται ανθοκυανιδίνες. Τα ξεχωριστά χρώματά τους προκύπτουν από ένα σύμπλεγμα διαφορετικών μορίων ανθοκυανίνης και φλαβονών με ιόντα μετάλλων. Συγκεκριμένα, οι αποχρώσεις αυτές οφείλονται, από τον αριθμό του άνθρακα που έχει υποκατασταθεί ο B δακτύλιος, την παρουσία οξέων και της τιμής του pH που έχουν κατά την αποθήκευσή τους (Fu et al., 2022).

Η μεταβλητότητα στο χρώμα και στη σταθερότητά τους, επηρεάζεται από την παρουσία διαφόρων ομάδων σακχάρου και ακυλίων που συνδέονται με τον πυρήνα της ανθοκυανιδίνης. Οι κοινές ανθοκυανιδίνες περιλαμβάνουν την πελαργονιδίνη, την κυανιδίνη και τη δελφινιδίνη, οι οποίες διαφέρουν στο επίπεδο οξείδωσης και στην αντικατάσταση τους με τα σάκχαρα και τις ακυλικές ομάδες (Yañez-Aram et al., 2023) .

Τα λαχανικά Brassica, ιδιαίτερα οι ποικιλίες λάχανου, είναι γνωστά για την υψηλή περιεκτικότητά τους σε ανθοκυανίνες, ειδικά στις μωβ καλλιέργειες. Μάλιστα, έρευνα δείχνει ότι το γονίδιο BraANS.A03 συσχετίζεται με το μωβ χρώμα των φύλλων στο Brassica rapa, το οποίο υποδηλώνει μια γενετική βάση για τη διαφορά στα επίπεδα ανθοκυανίνης μεταξύ των διαφόρων τύπων λάχανων. Η συγκεκριμένη συγκέντρωση των ανθοκυανινών

ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τις καλλιέργειες και τις συνθήκες ανάπτυξης, με το μωβ λάχανο να παρουσιάζει γενικά υψηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με τις πράσινες ποικιλίες (Tan et al., 2023).

Contents value per 100 g	Raw cabbage (<i>Brassica oleracea</i>)	Raw Chinese cabbage—pakchoi (<i>Brassica rapa</i>)	Raw savoy cabbage (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabauda</i>)	Raw red cabbage (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata f. rubra</i>)
<i>Flavonoids</i>				
Cyanidin	0 mg ⁴	0 mg ⁴	0 mg ⁴	209.8 mg ⁴
Delphinidin	0 mg ⁴	0 mg ⁴	0 mg ⁴	0.1 mg ⁴
<i>Flavones</i>				
Apigenin	0.1 mg ⁴	0.2 mg ⁴	0.7 mg ⁴	0.1 mg ⁴
Luteolin	0.1 mg ⁴	0.1 mg ⁴	0.2 mg ⁴	0.1 mg ⁴
<i>Flavanols</i>				
Kaempferol	0.2 mg ⁴	4.3 mg ⁴	0.8 mg ⁴	0 mg ⁴
Quercetin	0.3 mg ⁴	2.1 mg ⁴	0.4 mg ⁴	0.4 mg ⁴
Myricetin	0.0 mg ⁴	0.0 mg ⁴	0.1 mg ⁴	0.2 mg ⁴

Εικόνα 6. Περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή στο γένος *Brassica* (Moreb et al., 2020)

2.2.4 Φαινολικά Οξέα

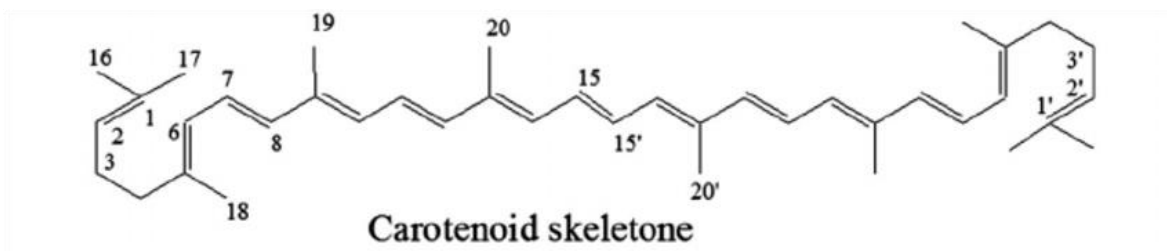
Τα φαινολικά οξέα είναι μια ποικιλόμορφη ομάδα φυτοχημικών ουσιών που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ενός φαινολικού δακτυλίου και μιας ομάδας καρβοξυλικού οξέος. Στα φυτικά προϊόντα εμφανίζονται κυρίως με την μορφή εστέρα, γλυκοζιτών ή αμινών, με τις δομές τους να διαφέρουν ανάλογα με τη θέση και τον αριθμό που βρίσκεται η ομάδα του υδροξυλίου στον αρωματικό δακτύλιο (Pereira et al., 2009). Είναι γνωστά για τις αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες και τα πιθανά οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων των αντιφλεγμονωδών και αντικαρκινικών δράσεων.

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα υδροξυκιναμικά οξέα τα οποία δομούνται από μια ομάδα φαινόλης συνδεδεμένη με προπένιο και τα υδροξυβενζοϊκά οξέα (Cartea et al., 2010). Τα πιο χαρακτηριστικά υδροξυκιναμικά οξέα που εντοπίζονται στην οικογένεια Brassicaceae είναι το καφεϊκό οξύ, το φερουλικό, το σιναπινικό και το *p*-κουμαρικό, με τις συγκεντρώσεις τους να διαφέρουν ανάλογα με το είδος του φυτού (Li et al., 2018).

2.2.5 Καροτενοειδή

Τα καροτενοειδή είναι ακόμη μια σημαντική κατηγορία φυτοχημικών που βρίσκονται στα σταυρανθή λαχανικά. Είναι υπεύθυνα για τα ζωντανά χρώματα αυτών των λαχανικών και περιλαμβάνουν ενώσεις όπως το β-καροτένιο και η λουτεΐνη. Τα καροτενοειδή είναι γνωστά για το ρόλο τους στην προώθηση της υγείας των ματιών και τη μείωση του κινδύνου από χρόνιες ασθένειες μέσω των αντιοξειδωτικών τους δράσεων, όπως επίσης είναι υπεύθυνα για το χρώμα των λαχανικών αυτών (Khoο et al., 2011; Sun et al., 2022).

Τα καροτενοειδή είναι μια ποικιλόμορφη ομάδα ισοπρενοειδών χρωστικών που διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο τόσο στη φυσιολογία των φυτών όσο και στην ανθρώπινη διατροφή. Χαρακτηρίζονται από μακριές αλυσίδες υδρογονανθράκων, οι οποίες συνήθως περιέχουν μια σειρά συζευγμένων διπλών δεσμών (Meléndez-Martínez et al., 2022).



Εικόνα 7. Δομή καροτενοειδών.

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα καροτένια, τα οποία είναι μη-οξυγονωμένα και διαθέτουν χαρακτηριστική δομή υδρογονάνθρακα και τις οξυγονωμένες ξανθοφύλλες. Τα καροτένια χωρίζονται με τη σειρά τους και αυτά σε δύο βασικές κατηγορίες, τα α- και β-καροτένια. 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 (Gebregziabher et al., 2023; Cartea et al., 2010).

Τα χρώματα που προσδίδουν στα φυτά κυμαίνονται από κίτρινο έως κόκκινο και οφείλονται κατά κύριο λόγο στην δομή τους, η οποία τους επιτρέπει να λειτουργούν και ως χρωστικές που συλλέγουν το φως στη φωτοσύνθεση. Πιο συγκεκριμένα τα καροτενοειδή εντοπίζονται στα φυτά κυρίως στα χλωροπλαστικά τους μέρη, όπου

βοηθούν στην απορρόφηση της ενέργειας του φωτός και τα προστατεύουν από τις αρνητικές συνέπειες της ηλιακής ακτινοβολίας (Meléndez-Martínez et al., 2022).

Η συσσωρευμένη ύπαρξη καροτενοειδών στα είδη Brassica δεν ενισχύει μόνο το χρώμα και την ελκυστικότητά τους, αλλά εξυπηρετεί επίσης και την προσέλκυση επικονιαστών και βοηθά στην αναπαραγωγή των φυτών (Meléndez-Martínez et al., 2022). Τα σταυρανθή λαχανικά λοιπόν, είναι πλούσιες πηγές προβιταμίνης Α καροτενοειδών, όπως β-καροτένιο και α-καροτένιο, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανθρώπινη υγεία καθώς μπορούν να μετατραπούν σε βιταμίνη Α, ζωτικής σημασίας για την όραση και την ανοσοποιητική λειτουργία.

Table 6: Major carotenoids in assorted Brassica vegetables (mcg/100 g) from USDA National Nutrient Database for Standard Reference Release 18, 2005 (USDA 2005).

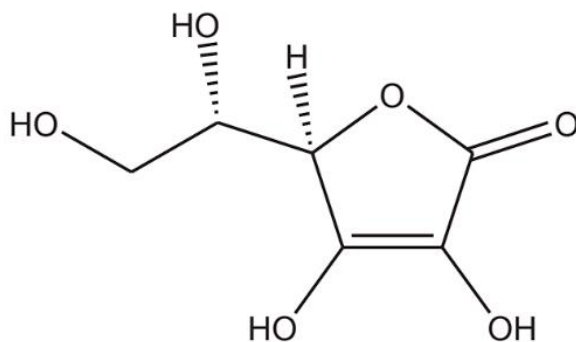
Food	β-carotene	α-carotene	Lutein + zeaxanthin
Broccoli, raw	361	25	1403
Broccoli, Chinese, cooked (gai lan)	983	0	912
Brussels sprouts, inner leaves, raw	450	6	1590
Cabbage, Chinese, raw (bok choy)	2681	1	40
Cabbage, Peking (Pe tsai) raw	190	1	48
Cabbage, red, inner leaves, raw	670	320	329
Cabbage, savoy, inner leaves, raw	60	0	77
Cabbage, white, inner and outer leaves, raw	90	25	310
Cauliflower, raw	8	0	33
Swede, flesh, raw	1	0	0
Turnip, flesh, raw	0	0	0

Εικόνα 8. Περιεκτικότητα καροτενοειδών στα λαχανικά Brassica (Hedges & Lister, 2006).

2.2.6 Βιταμίνη C

Η βιταμίνη C, επίσης γνωστή ως ασκορβικό οξύ, είναι μια υδατοδιαλυτή βιταμίνη που συμμετέχει με πολλούς ρόλους τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στη φυσιολογία των φυτών. Στους ανθρώπους, λειτουργεί κυρίως ως αντιοξειδωτικό, προστατεύοντας τα κύτταρα από οξειδωτικές βλάβες και συμμετέχει σε διάφορες ενζυματικές αντιδράσεις, συμπεριλαμβανομένης της σύνθεσης κολλαγόνου και της απορρόφησης σιδήρου. Σε αντίθεση με πολλά ζώα, οι άνθρωποι δεν μπορούν να συνθέσουν βιταμίνη C λόγω της απώλειας του γονιδίου που είναι υπεύθυνο για την παραγωγή της, καθιστώντας απαραίτητη τη πρόσληψή της μέσω της διατροφής (Granger & Eck, 2018).

Η βιταμίνη C δομικά είναι παρόμοια με την γλυκόζη και αποτελείται από έξι ασύμμετρα άτομα C ($C_6H_8O_6$) (Elmore, 2005).



Ascorbic acid

Εικόνα 9. Δομή ασκορβικού οξέος.

Υπάρχουν κυρίως δύο μορφές: το ασκορβικό οξύ και η οξειδωμένη μορφή του, το δεϋδρο-ασκορβικό οξύ. Σε υδατικά διαλύματα, το ασκορβικό οξύ υφίσταται διάσπαση σε ιόντα ασκορβικού, τα οποία αποτελούν τη δραστική του μορφή που χρησιμοποιείται σε βιολογικά συστήματα. Αυτή η μοναδική δομή επιτρέπει στη βιταμίνη C να συμμετέχει σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις ενός ηλεκτρονίου, καθιστώντας την ένα αποτελεσματικό αντιοξειδωτικό και έχοντας κρίσιμο ρόλο σε διάφορες μεταβολικές οδούς (Paciolla et al., 2019).

Τα λαχανικά Brassica είναι γνωστά για την υψηλή αντιοξειδωτική τους ικανότητα, που αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στην περιεκτικότητά τους σε βιταμίνη C. Αυτά τα λαχανικά όχι μόνο παρέχουν μια πλούσια πηγή αυτού του απαραίτητου θρεπτικού συστατικού,

αλλά ενισχύουν και τη βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου όταν καταναλώνονται μαζί. Επιπλέον, η συσσώρευση βιταμίνης C στα φυτά Brassica επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών συνθηκών και του μεταβολισμού των φυτών, οι οποίοι μπορούν να βελτιστοποιηθούν μέσω γεωργικών πρακτικών που στοχεύουν στη βιοδυναμωση (Domínguez-Perles et al., 2014).

2.3 Αντιοξειδωτική και αντιριζική δράση

2.3.1 Ελεύθερες ρίζες

Με τον όρο ελεύθερη ρίζα αναφερόμαστε σε ένα μόριο με ένα ή περισσότερα μη ζευγαρωμένα ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα. Ο σχηματισμός τους προκαλείται μέσω της διάσπασης ενός χημικού δεσμού, έτσι ώστε κάθε θραύσμα να διατηρεί ένα ηλεκτρόνιο, από το σπάσιμο μιας προϋπάρχουσας ρίζας για να δημιουργηθεί μια καινούργια μέσω οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων (Halliwell & Gutteridge, 2015).

Οι βιολογικές ελεύθερες ρίζες είναι εξαιρετικά ασταθή μόρια που έχουν διαθέσιμα ηλεκτρόνια για να αντιδράσουν με διάφορα οργανικά υποστρώματα, όπως τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες και το DNA. Παράγονται μέσω του φυσιολογικού κυτταρικού μεταβολισμού, συγκεκριμένα στα μιτοχόνδρια, αλλά μπορεί επίσης να προκύψουν από εξωτερικές πηγές όπως η ρύπανση και η ακτινοβολία (Pizzino et al., 2017).

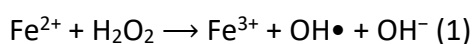
Η χημεία των ελεύθερων ριζών χαρακτηρίζεται από την ικανότητά τους να συμμετέχουν σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, όπου μπορούν είτε να δώσουν ή να δεχτούν ηλεκτρόνια. Αυτή η λειτουργία τους έχει δύο όψεις. Από την μία, όταν εντοπίζονται σε μικρές συγκεντρώσεις, συμβάλλουν σε φυσιολογικές διεργασίες του οργανισμού, όπως είναι η κυτταρική σηματοδότηση. Όταν όμως παράγονται σε περίσσεια, οι ελεύθερες ρίζες και οι οξειδωτικοί παράγοντες δημιουργούν ένα φαινόμενο που ονομάζεται οξειδωτικό στρες, μια επιβλαβής διαδικασία που έχει ως αποτέλεσμα την κυτταρική βλάβη και την πρόκληση σοβαρών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου, των καρδιαγγειακών παθήσεων και νευροεκφυλιστικών διαταραχών (Phaniendra et al., 2015; Pham-Huy et al., 2008).

2.3.1.1 Κατηγορίες ριζών

Οι ελεύθερες ρίζες προέρχονται κυρίως από ένα μόριο οξυγόνου (O_2) και ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, εκείνες που ανήκουν στα δραστικά παράγωγα οξυγόνου (Reactive oxygen species-ROS) και στις δραστικές μορφές αζώτου (Reactive nitrogen species-RNS) (Halliwell & Gutteridge, 2015).

Οι σημαντικότερες ελεύθερες ρίζες που παράγονται κατά τη διάρκεια μεταβολικών αντιδράσεων είναι οι ρίζες που προέρχονται από το οξυγόνο, ROS. Το ανιόν του υπεροξειδίου ($O_2^{\bullet-}$), είναι η πιο σημαντική και ευρέως διαδεδομένη ROS που σχηματίζεται από την ενζυματική διαδικασία, την αυτο-οξειδωτική αντίδραση και από μια αντίδραση μεταφοράς ηλεκτρονίων χωρίς ένζυμο με τη βοήθεια μετάλλων, στην οποία ένα ηλεκτρόνιο μεταφέρεται σε μοριακό οξυγόνο (Lobo et al., 2010; Phaniendra et al., 2015). Μια άλλη μορφή ελεύθερης ρίζας, η ρίζα υδροξυλίου (OH^{\bullet}), η οποία έχει εξίσου δραστική μορφή και σχηματίζεται σε χαμηλό pH, έχει την ικανότητα να αντιδράσει με μεγάλο αριθμό οργανικών και ανόργανων μορίων με εξαιρετικά καταστρεπτικές συνέπειες στο κύτταρο (Halliwell & Gutteridge, 2015).

Ο σχηματισμός της προκαλείται από μέταλλα μετάπτωσης, τα οποία σχετίζονται στενά με το σχηματισμό ελεύθερων ριζών καθώς συμμετέχουν σε αντιδράσεις διάσπασης υπεροξειδίων (διάσπαση Fenton), επιδεινώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις επιπτώσεις της οξειδωτικής βλάβης (Valko et al., 2005). Έτσι, με την αντίδραση Fenton, ένα μεταλλικό ιόν Fe^{2+} ή Cu^+ , αντιδρά με το υπεροξείδιο του υδρογόνου και δημιουργεί την ρίζα του υδροξυλίου όπως γίνεται στην αντίδραση (1).



2.3.2 Αντιοξειδωτική ικανότητα

Τα αντιοξειδωτικά λειτουργούν αποτρέποντας ή καθυστερώντας την οξείδωση των χημικών ουσιών. Οπότε μιλώντας για τους αντιοξειδωτικούς μηχανισμούς, γίνεται αναφορά στις διάφορες χημικές αντιδράσεις, μέσω των οποίων οι αντιοξειδωτικές ενώσεις εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες και τα αντιδρώντα είδη οξυγόνου / αζώτου

(ROS / RNS), για την ανακούφιση του οξειδωτικού στρες και την πρόληψη της κυτταρικής βλάβης. Οι κύριοι μηχανισμοί περιλαμβάνουν τη ρύθμιση της δράσης των ενζύμων που επιδρούν στην οξειδωτική καταπόνηση και την ικανότητα σχηματισμού χηλικών συμπλόκων με μέταλλα (Santos-Sánchez et al., 2019; Markonić, 2016).

Τα ενζυμικής φύσεως αντιοξειδωτικά αποτελούν ενδογενείς μηχανισμούς αδρανοποίησης των δραστικών μορφών, καταλύοντας την διάσπασή τους στο ενδοκυττάριο περιβάλλον.

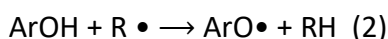
Τα κυριότερα ενζυμικά αντιοξειδωτικά είναι η δισμουτάση του υπεροξειδίου (SOD), η οποία καταλύει την μετατροπή της ρίζας $O_2^{\bullet-}$ σε υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), η καταλάση (CAT), η οποία με τη σειρά της καταλύει τη διάσπαση του υπεροξειδίου του υδρογόνου σε νερό και οξυγόνο και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (GPx), η οποία καταλύει επίσης τη διάσπαση του υπεροξειδίου του υδρογόνου καθώς και μεγάλο αριθμού οργανικών υδροϋπεροξειδίων (Nandi et al., 2019; Lobo et al., 2010).

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 ($O_2^{\bullet-}$). Το ένζυμο ξανθοξειδάση συμμετέχει στο σχηματισμό ουρικού οξέος στο σώμα, καταλύοντας την οξείδωση της υποξανθίνης και ξανθίνης σε ουρικό οξύ, παράγοντας ταυτόχρονα ανιόντα υπεροξειδίου και υπεροξείδιο του υδρογόνου (Berry & Hare, 2004; Phaniendra et al., 2015). Η ικανότητα χηλικοποίησης των μετάλλων αποτελεί άλλον έναν μηχανισμό αδρανοποίησης των ριζών με την χρήση αντιοξειδωτικών. Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να δεσμεύονται σε ιόντα μεταβατικών μετάλλων, όπως ο σίδηρος και ο χαλκός, εμποδίζοντάς τα να καταλύσουν το σχηματισμό του ROS μέσω της αντίδρασης Fenton (Lü et al., 2010; Santos-Sánchez et al., 2019).

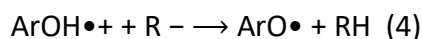
Οι πιο συνήθεις και γρήγορες μέθοδοι για τη μελέτη και τον προσδιορισμό της ικανότητας των αντιοξειδωτικών είναι οι χημικές μέθοδοι, όπως η μέθοδος αναγωγής μεταβατικών μετάλλων με την μέθοδο FRAP, η τιμή Trolox (TEAC) και η μέθοδος DPPH (Lü et al., 2010).

2.3.3 Αντιριζική ικανότητα

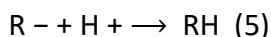
Η αντιριζική ικανότητα μιας ουσίας είναι πιο απλή ως προς τους μηχανισμούς της και συναντάται με τρεις διαφορετικούς μηχανισμούς δράσης για την αδρανοποίηση των ριζών. Πρόκειται για την μεταφορά ατόμου υδρογόνου (Hydrogen Atom Transfer-HAT), με αυτόν τον μηχανισμό, το αντιοξειδωτικό δωρίζει ένα άτομο υδρογόνου στην ελεύθερη ρίζα, σταθεροποιώντας την και αποτρέποντας την αντίδρασή της με άλλα μόρια, όπως φαίνεται στην αντίδραση (2):



Τη μεταφορά μονήρους ηλεκτρονίου-πρωτονίου (Single Electron-Proton Transfer – SET-PT), η οποία περιγράφεται από τις αντιδράσεις 3 και 4:



τελευταίος μηχανισμός, αφορά τη μεταφορά μονήρους ηλεκτρονίου (Single Electron Transfer-SET), κατά την οποία το αντιοξειδωτικό μεταφέρει ένα μόνο ηλεκτρόνιο στην ελεύθερη ρίζα, μειώνοντάς την σε ένα λιγότερο αντιδραστικό είδος και περιγράφεται από την αντίδραση 5.



Σύμφωνα με τις παραπάνω αντιδράσεις, 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•), η οποία είναι πιο σταθερή από την αρχική ρίζα (R•) (Santos-Sánchez et al., 2019; Marković, 2016).

2.3.4 Αντιοξειδωτική ιδιότητα των φυτοχημικών της οικογένειας *Brassicaceae*

Τα λαχανικά της οικογένειας *Brassicaceae*, προτιμώνται σε μεγάλο βαθμό για το θετικό αντίκτυπο τους στην υγεία του καταναλωτή, ο οποίος οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις αντιοξειδωτικές ιδιότητες των φυτοχημικών τους συστατικών. Η αντιοξειδωτική δράση των φυτοχημικών εξαρτάται κυρίως από τη δομή τους, πιο συγκεκριμένα από 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). Οι ιδιότητές τους αποδίδονται κυρίως στην πλούσια φυτοχημική τους περιεκτικότητα, ιδιαίτερα στους γλυκοζινολίτες (GSLs) και τα προϊόντα αποσύνθεσής τους, καθώς και στις φαινολικές ενώσεις όπως τα флаβονοειδή και τα υδροξυκιναμικά οξέα. Οι μηχανισμοί τους συμβάλλουν στην εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών και δραστικών μορφών οξυγόνων που παράγονται στον ανθρώπινο οργανισμό, μειώνοντας έτσι το οξειδωτικό στρες και αποτρέποντας την κυτταρική βλάβη (Nawaz et al., 2018; Ramirez et al., 2020).

Οι φαινολικές ενώσεις που αποτελούν εξίσου μεγάλο κομμάτι της φυτοχημικής σύστασης, χρησιμοποιούν συνδυαστικούς μηχανισμούς. Η μεταφορά ενός ατόμου υδρογόνου από τα флаβονοειδή και οι αντιδράσεις μεταφοράς μονήρους ηλεκτρονίου είναι από τους πιο βασικούς τους μηχανισμούς για την σταθεροποίηση και μείωση των ελεύθερων ριζών και την μετατροπή τους σε τελικές ενώσεις λιγότερο αντιδραστικές και επιβλαβείς για τα κύτταρα (Fusari et al., 2020). Πιο συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι τα флаβονοειδή της κερσετίνης και της καμπφερόλης μπορούν να δωρίσουν άτομα υδρογόνου σε ρίζες υπεροξειδίου στα λιπίδια, τερματίζοντας με αυτόν τον τρόπο την αλυσιδωτή δράση τους (Nawaz, Shad, Muzaffar, et al., 2018; Ramirez et al., 2020).

Η αντιριζική δράση των флаβονοειδών οφείλεται κυρίως στην προσφορά ατόμου υδρογόνου από τις υδροξυλομάδες στις ελεύθερες ρίζες. Τόσο ο ολικός αριθμός υδροξυλίων όσο και η διαμόρφωσή τους επηρεάζουν σημαντικά την αντιριζική ικανότητά τους (Heim et al., 2002). Όσον αφορά τις ανθοκυανίνες, αναστέλλουν την οξειδωτική καταπόνηση κυρίως μέσω της αδρανοποίησης ελεύθερων ριζών (Tena et al., 2020).

Επιπλέον, οι ισοθειοκυανίνες, που αποτελούν προϊόντα διάσπασης των GSLs, παρουσιάζουν αντιοξειδωτική δραστηριότητα μέσω της μεταγραφής κυτταροπροστατευτικών γονιδίων, τα οποία ενεργοποιούν ενδογενή αντιοξειδωτικά ένζυμα. Σε υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης, μπορούν να ενεργοποιήσουν την παύση του κυτταρικού κύκλου και να καταστρέψουν τα καρκινικά κύτταρα, αποδεικνύοντας τις αντικαρκινογόνες ιδιότητές τους (Ramirez et al., 2020).

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των καρτενοειδών εξαρτάται κυρίως από τη διάταξη των συζυγών διπλών δεσμών στο μόριο τους. Ανάλογα με τον αριθμό των διπλών δεσμών, το μόριο 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).

Ένας ακόμη λόγος που τα λαχανικά παρέχουν τόσο μεγάλο αντιοξειδωτικό δυναμικό, αποτελεί η αλληλεπίδραση που μπορούν να έχουν μεταξύ τους τα φυτοχημικά, μέσω των συνεργιστικών τους ικανοτήτων, ενισχύοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την αντιοξειδωτική τους δράση. Όπως για παράδειγμα, η βιταμίνη C έχει την ικανότητα να αναγεννήσει την οξειδωμένη μορφή της βιταμίνης E, για να συνεχίσει τη δράση της κατά των ελεύθερων ριζών (Lü et al., 2010).

2.4 Είδη *Brassica oleraceae* και *Brassica rapa*

2.4.1 Λευκό (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *Alba*) και Κόκκινο Λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra*)

Το λάχανο ανήκει στο γένος *Capitata*, το οποίο μεταφράζεται ως "κεφαλή" από τα λατινικά, ανήκει στο είδος *Brassica oleracea*, το οποίο ανήκει στην οικογένεια *Brassicaceae*. Το γένος αυτό διαφέρει σε αρκετά χαρακτηριστικά του ανάλογα με την καλλιέργεια, όπως είναι το σχήμα και το χρώμα, καθώς επίσης και η υφή των φύλλων του ποικίλλει αναλόγως (Stefan & Opa, 2020). Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει διάφορα καλλιεργήσιμα είδη, τα οποία ξεχωρίζουν από το χρώμα τους και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: το λευκό λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba*) και το κόκκινο ή μωβ λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra*). Ανάλογα με το σχήμα τους, χαρακτηρίζονται επίσης και ως σφαιρικά, κωνικά (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *acuta*), και πεπλατυσμένα ή επίπεδα (Liang et al., 2019).



Εικόνα 10. Λευκό λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba*).



Εικόνα 11. Μωβ λάχανο (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra*).

Τα λάχανα *Capitata* ευδοκούν σε ψυχρότερα κλίματα και καλλιεργούνται συνήθως ως καλλιέργεια ψυχρής εποχής. Η ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης κυμαίνεται μεταξύ 15-18° C. Προτιμούν καλά αποστραγγισμένα, εύφορα εδάφη με pH μεταξύ 6,0 και 7,5. Η τακτική άρδευση και λίπανση είναι απαραίτητες για τη βέλτιστη ανάπτυξη (Tamta et al., 2014).

Παρόλο που το κόκκινο και το λευκό λάχανο ανήκουν στο ίδιο γένος, παρατηρούνται διαφορές ως προς την σύσταση τους στα φυτοχημικά. Διαφορές εντοπίζονται ταυτόχρονα και μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών και υβριδίων ως προς την τελική τους σύσταση με βάση τις όσες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα.

Οι γλυκοζινολικές ενώσεις (GLS), που αποτελούν και σημαντικό κομμάτι της συνολικής σύστασης των λάχανων αυτών, εμφανίζουν αισθητές διαφορές. Από έρευνα που έγινε, τα επίπεδα GLS στο λευκό λάχανο βρέθηκαν στην περιοχή μεταξύ 1,05 και 70,56 $\mu\text{mol/g}$ ξηρού βάρους (dw), ενώ στο κόκκινο λάχανο κυμαίνονταν από 5,9 έως 25,5 $\mu\text{mol/g}$ dw (Park et al., 2014; Šamec et al., 2017).

Βέβαια, όπως δείχνανε οι μελέτες, τα επίπεδα των GLS δείχνουν να επηρεάζονται από κλιματικούς παράγοντες, από το γονιδίωμα και από την εποχή της συγκομιδής. Επίσης, φάνηκε να επηρεάζονται από τις εποχιακές διακυμάνσεις, αφού λάχανα που καλλιεργήθηκαν στη βορειοδυτική Ισπανία και την Πορτογαλία, έδειξαν υψηλότερα επίπεδα GLS την άνοιξη, με εκείνα του φθινοπώρου (Cartea et al., 2008).

Το κόκκινο λάχανο είναι πολύ πλούσιο σε φαινολικές ενώσεις, όπου η συνολική φαινολική περιεκτικότητα (TPC) αναφέρθηκε σε $37,0 \pm 22,8$ και $48,7 \pm 14,7$ μg ισοδύναμα γαλλικού οξέος (GAE)/g f.w. σε νερό και εκχύλισμα που περιέχει τις μεσαίες πολικές ενώσεις, αντίστοιχα (Zayed et al., 2023). Αυτό επιβεβαιώνεται και από την έρευνα των Voča το 2018, οι οποίες έδειξαν ότι το φαινολικό περιεχόμενο στο φρέσκο ιστό του κόκκινου λάχανου κυμαινόταν μεταξύ 170,53 και 174,38 mg ισοδύναμων γαλλικού οξέος (GAE)/g σε σχέση με τον ιστό του λευκού λάχανου που κυμαινόταν μεταξύ 24,83 με 60,36 mg ισοδύναμων γαλλικού οξέος (GAE)/g (Voča et al., 2018). Η υψηλότερη φαινολική περιεκτικότητα στο κόκκινο λάχανο, αποδίδεται πιθανότατα στην πλούσια περιεκτικότητά του σε ανθοκυανίνες που απουσιάζουν στο λευκό λάχανο.

Ωστόσο, το προφίλ των φαινολικών μεταβολιτών επηρεάζεται από το γενετικό υπόβαθρο και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της εποχής φύτευσης, των κλιματικών συνθηκών και του σταδίου ωρίμανσης των φυτών.

Τα φλαβονοειδή που αποτελούν εξίσου σημαντικό κομμάτι των συστατικών, παρατηρούνται σε μεγάλο ποσοστό και στα δύο λάχανα. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται με τις μορφές της καμπφερόλης (10,2 και 15,4 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους στο λευκό και στο κόκκινο λάχανο, αντίστοιχα), της κερκετίνης (5,7 $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους στο λευκό λάχανο και 9,2 $\mu\text{g/g}$

ξηρού βάρους στο κόκκινο λάχανο) και της ισοραμεντίνης (1,1 μg/g ξηρού βάρους στο λευκό λάχανο και 1,9 μg/g ξηρού βάρους στο κόκκινο λάχανο) (Kim et al., 2004; Koss-Mikołajczyk et al., 2019).

Όσον αφορά τις ανθοκυανίνες, μπορούμε να πούμε ότι βρίσκονται σε αφθονία στα κόκκινα λάχανα (≥ 10 mg/g dw) και διαθέτει περίπλοκο προφίλ των ενώσεων αυτών. Οι κόκκινες χρωστικές στο κόκκινο λάχανο ωστόσο μπορεί να προέρχονται, σε μικρότερο βαθμό και από το λυκοπένιο και τις ξανθοφύλλες (Khoο 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 λάχανου 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). Ωστόσο, τέτοια επίπεδα βιταμίνης C μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την περίοδο βλάστησης, τη γονιμοποίηση και τις γεωγραφικές συνθήκες .

2.4.1.1 Αντιοξειδωτική δράση λευκού και κόκκινου λάχανου

Η μελέτη της αντιοξειδωτικής δράσης των διάφορων ποικιλιών αυτών των λάχανων, γίνεται με την αξιολόγηση της αναστολής της ρίζας ABTS \bullet + και DPPH \bullet . Η ρίζα DPPH \bullet (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 \bullet + [(2'2-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 \bullet + μπορεί να αναφέρεται και ως TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Activity) (Christodoulou et al., 2022; Munteanu & Apetrei, 2021).

Εξίσου αξιόλογη και συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική, είναι η μέθοδος FRAP (Ferric Ion Reducing Antioxidant Power Assay), η οποία προσδιορίζει την ικανότητα αναγωγής ενός

συμπλόκου τρισθενούς σιδήρου (Fe^{3+}) σε δισθενή (Fe^{2+}) από αντιοξειδωτικές ενώσεις (Munteanu & Apetrei, 2021).

Από την έρευνα που έγινε για την αντιριζική ικανότητα από τους Podsedek το 2006, μεταξύ ποικιλιών λευκού και κόκκινου λάχανου, διαπιστώθηκε πως το κόκκινο λάχανο έχει μεγαλύτερη αντιριζική ικανότητα σε σχέση με το λευκό. Πιο συγκεκριμένα οι ποικιλίες κόκκινου λάχανου για την δοκιμή με ABTS•+ έλαβαν τιμές 81 $\mu\text{mol Trolox/g f.w.}$ και 12.64 $\mu\text{mol Trolox/g f.w.}$, ενώ για τις ποικιλίες λευκού λάχανου έλαβε τιμές από 1,34 έως 1,81 $\mu\text{mol Trolox/g f.w.}$ (Podsedek et al., 2006). Για τη δοκιμή με DPPH• για τις λευκές ποικιλίες λήφθηκαν τα παρακάτω νούμερα: 1, 0,77 και 0,9 $\mu\text{mol vitamin C/g f.w.}$, ενώ για τις κόκκινες λήφθηκαν οι τιμές 6,76 και 9,19 $\mu\text{mol vitamin C/g f.w.}$ (Podsedek et al., 2006).

Από άλλη έρευνα μεταξύ κόκκινων και λευκών λάχανων από τους Voca το 2018, σημειώθηκε πάλι σημαντική διαφορά στην αντιριζική ικανότητα μεταξύ των δύο ειδών, με το κόκκινο λάχανο να εμφανίζει περίπου 4 φορές μεγαλύτερη αντιριζική ικανότητα. Επίσης σημειώθηκε και διαφορά στις τιμές μεταξύ των υβριδίων του λευκού λάχανου σε σχέση με διαφορετική ποικιλία (Voca et al., 2018).

Από μια άλλη έρευνα που έγινε μεταξύ ποικιλιών με διαφορετικό φαινότυπο, πιο συγκεκριμένα μέρος της μελέτης ήταν το κόκκινο λάχανο, το οβάλ λάχανο και το κωνικό λάχανο, παρατηρήθηκε ότι το κόκκινο λάχανο εμφάνισε υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση σε σχέση με τα άλλα δύο (δοκιμές DPPH και ABTS και FRAP με τις τιμές 69.8%, 87.23% και 0.53%, αντίστοιχα). Αντιθέτως, μεταξύ του οβάλ και του κωνικού λάχανου δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ως προς τα ποσοστά τους (Liang et al., 2019).

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

Το κινεζικό λάχανο, επίσης γνωστό ως λαχανικό Νάπα ή *Brassica rapa subsp. pekinensis*, είναι ένα λαχανικό ιδιαίτερα δημοφιλές στην κουζίνα της Ανατολικής Ασίας (Liang et al., 2019).

Το κινεζικό λάχανο είναι ευρέως διαθέσιμο στις ασιατικές αγορές και τα καταστήματα τροφίμων, αντανakλώντας την υψηλή ζήτησή του. Η καλλιέργεια και η πώλησή του συμβάλλουν σημαντικά στην γεωργική οικονομία χωρών, όπως η Κίνα και η Κορέα, όπου καλλιεργείται εκτενώς. Το κινεζικό λάχανο έχει ένα μακρύ, κυλινδρικό σχήμα με σφιχτά

συσκευασμένα φύλλα, με το χρώμα τους να παρατηρείται κυρίως λευκό ή πράσινο. Επίσης, τα φύλλα του είναι εύθραυστα και τρυφερά, με ελαφρώς γλυκιά γεύση (Kim et al., 2014).



Εικόνα 12. Κινέζικο λάχανο (*Brassica rapa subsp. Pekinensis*).

Υπάρχουν κυρίως δύο τύποι κινεζικού λάχανου, το λάχανο Νάπα, που έχει ένα πιο επιμηκυμένο σχήμα και χρησιμοποιείται συνήθως σε σαλάτες και μπιριζόλες και ο τύπος που είναι γνωστός ως Bok Choy, γνωστό και ως Pak Choi. Αυτή η ποικιλία έχει σκούρα πράσινα φύλλα και ένα παχύτερο λευκό στέλεχος.

Όσον αφορά τις συνθήκες καλλιέργειάς του, το κινεζικό λάχανο ευδοκimei σε ψυχρότερα κλίματα και καλλιεργείται συνήθως την άνοιξη και το φθινόπωρο, με βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης να κυμαίνονται από 15-22°C. Προτιμά καλά αποστραγγισμένα, εύφορα εδάφη με pH από 6,0 έως 7,5. Επιπλέον, είναι συνήθως έτοιμο για συγκομιδή μετά από 70 έως 90 ημέρες από τη φύτευσή του και συλλέγεται όταν η κεφαλή του είναι σταθερή και πλήρως ανεπτυγμένη (Gupta et al., 2018).

Οι μελέτες που αφορούν τη φυτοχημική σύσταση του κινεζικού λάχανου είναι περιορισμένες, καθώς δεν έχει μελετηθεί αρκετά σε σχέση με τα υπόλοιπα λάχανα του είδους του.

Παρόλα αυτά από την έρευνα της Park το 2019, μελετήθηκε η φυτοχημική σύσταση μεταξύ δυο διαφορετικών φαινοτύπων του κινεζικού λάχανου, κατά την οποία μελετήθηκε μια ποικιλία με οβάλ σχήμα κεφαλής και μια ποικιλία με κυλινδρικό σχήμα κεφαλής. Παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν διαφορές ως προς την συνολική περιεκτικότητα τους σε γλυκοζινολίτες, η οποία κυμαινόταν σε 2577,79 και 2896,78 μg ξηρού βάρους, για το κυλινδρικό και οβάλ, αντίστοιχα. Τα επίπεδα αλειφατικών γλυκοζινολικών ενώσεων ήταν

γενικά υψηλότερα στην οβάλ ποικιλία ενώ τα επίπεδα ινδολικών γλυκοζινολικών ενώσεων ήταν υψηλότερα στην κυλινδρική. Επιπλέον προσδιορίστηκε το περιεχόμενο σε ολικά φαινολικά και παρατηρήθηκε ότι στην οβάλ ποικιλία, ήταν κατά 1,17 υψηλότερη η συγκέντρωση των φαινολικών σε σχέση με το κυλινδρικό (226,53 $\mu\text{g/g d.w.}$ σε αντίθεση με 194,34 $\mu\text{g/g d.w.}$) (Park et al., 2019).

Μια ακόμη έρευνα που διεξήχθη γενικά για το ολικό φαινολικό περιεχόμενο στα κινέζικα λάχανα έδειξε ότι η συγκέντρωση ολικών φαινολικών κυμαινόταν μεταξύ 347,46 $\text{mg}/100 \text{ g d.w.}$ στα εξωτερικά φύλλα και 148,81 $\text{mg}/100 \text{ g d.w.}$ στα εσωτερικά (Seong et al., 2016).

2.4.2.1 Αντιοξειδωτική δράση κινέζικου λάχανου

Λίγες είναι οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για την αντιοξειδωτική ικανότητα του κινέζικου λάχανου. Από αυτές, μπορούμε να πούμε ότι σε σχέση με το λευκό και το κόκκινο λάχανο, έχει μικρότερη ικανότητα από το κόκκινο και μεγαλύτερη από εκείνη του λευκού. Οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν από τους Seong et al. το 2016, για την αντιοξειδωτική ικανότητα ποικιλίας κινέζικου λάχανου, με βάση την ικανότητα ανάσχεσης των ριζών DPPH• , ABTS•+ και την ικανότητα αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου (μέθοδος FRAP), λάβαμε τα εξής αποτελέσματα: 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 $\mu\text{M TE}$ και η ικανότητα αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου (FRAP) μεταξύ 87,00 $\mu\text{M TE}$ και 714,50 $\mu\text{M TE}$ (Seong et al., 2016). Άρα αντιλαμβανόμαστε ότι η αντιοξειδωτική δράση είναι μεγαλύτερη στα εξωτερικά φύλλα.

3. Σκοπός

Η έρευνα αυτή έχει ως σκοπό να μελετήσει συγκριτικά το ολικό φαινολικό περιεχόμενο (Total Phenolic Content, TPC), καθώς και την αντιοξειδωτική και αντιριζική δράση εκχυλισμάτων συγκεκριμένων ειδών λάχανων, του λευκού λάχανου (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *Alba*), του κόκκινου λάχανου (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *Rubra*) και του κινέζικου λάχανου (*Brassica rara* subsp. *Pekinensis*) της οικογένειας Brassicaceae σε νωπή και λυοφιλιωμένη μορφή.

4. Μέθοδοι Και Υλικά

4.1 Υλικό Δειγμάτων & Μέθοδοι Ανάλυσης

Το υλικό των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκε, περιελάμβανε 3 διαφορετικά υβρίδια του γένους *Brassica*, τα *Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *alba*, *Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra* και *Brassica rara* spp. *Pekinensis*. Για κάθε υβρίδιο χρησιμοποιήθηκαν 3 δείγματα, τα οποία προμηθεύτηκαν από γνωστή αλυσίδα καταστημάτων. Στον Πίνακα 1 δίνονται όλες οι πληροφορίες για τα δείγματα των υβριδίων.

Πίνακας 1. Είδη υβριδίων που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα

Είδος	Κοινή ονομασία	Περιοχή Καλλιέργειας	Υβρίδιο
<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>alba</i>	Λευκό Λάχανο	Χαλκηδόνα Θεσσαλονίκης	Klabishi F1 Ranchero F1
<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>	Κόκκινο Λάχανο	Χαλκηδόνα Θεσσαλονίκης	Manoco F1
<i>Brassica rara</i> spp. <i>Pekinensis</i>	Κινέζικο Λάχανο	Χαλκίδα	

Για την ανάλυση των συγκεκριμένων δειγμάτων στην έρευνα αυτή, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω μέθοδοι :

- Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε υγρασία
- Προσδιορισμός ολικών φαινολικών(Μέθοδος Folin-Ciocolteu)
- Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας(Μέθοδος FRAP)
- Προσδιορισμός αντιριζικής ικανότητας(Μέθοδος ABTS)

4.2 Προετοιμασία Δειγμάτων και Εκχύλιση

Για κάθε δείγμα που τεμαχίστηκε από τα τρία νωπά υβρίδια, ζυγίστηκε ποσότητα περίπου 100 g. Τα τεμαχισμένα αυτά δείγματα αναμίχθηκαν για το σχηματισμό ενός σύνθετου δείγματος. Από το φρέσκο σύνθετο δείγμα, λήφθηκαν 5,0 g και υποβλήθηκαν σε εκχύλιση με 40 mL υδατομεθανολικού διαλύματος $\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}= 80:20$ v/v, αναλογία δείγματος: διαλύτη = 1:8 (w/v), ενώ 250 g φρέσκου δείγματος αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη στους -20°C , για μια μέρα πριν υποβληθούν σε λυοφιλίωση. Η λυοφιλίωση πραγματοποιήθηκε υπό κενό στους -50°C (ModulyoD-230, Thermo Electrion Corporation, US).

Για την εκχύλιση των λυοφιλιωμένων δειγμάτων, ζυγίστηκε 1,5 g για κάθε σύνθετο δείγμα, το οποίο εκχυλίστηκε σε 30 mL υδατομεθανόλης $\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}= 80:20$ v/v και αναλογία δείγματος:διαλύτη= 1:20 (w/v).

Για το υβρίδιο Ranchero F1 του είδους *Brassica oleraceae var. capitata f. Rubra*, 1,5 g λυοφιλοποιημένου δείγματος χρησιμοποιήθηκε επιπλέον ένα εκχύλισμα με διάλυμα μεθανόλης/υδροχλωρικού οξέος $\text{CH}_3\text{OH}:\text{HCL}=80:20$, v/v και αναλογία δείγματος:διαλύματος= 1:20 (w/v), καθώς οι ανθοκυανίνες διατηρούνται σε μεγαλύτερο ποσοστό σε όξινο pH, ενώ σε υψηλότερες τιμές pH, επέρχεται η υποβάθμισή τους (Khou et al., 2017).

Τα δείγματα εκχυλίστηκαν σε συσκευή υπερήχων Sonoplus HD 2070 (Bandelin Sonoplus, Berlin, Germany) (Εικ.14) 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.15). Οι συνθήκες εκχύλισης και φυγοκέντρησης ήταν ίδιες για τα φρέσκα και λυοφιλιωμένα 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.13)



Εικόνα 13. Θερμοζυγός Kern MLS.



Εικόνα 14. Συσκευή υπέρηχων Sonplus HD 2070.



Εικόνα 15. Ψυχόμενη φυγόκεντρος SL 16R.

Στον Πίνακα 2, παρουσιάζονται τα δείγματα, η μέθοδος παραλαβής τους και οι κωδικοποιήσεις τους.

Πίνακας 2. Μέθοδοι παραλαβής δειγμάτων και η κωδικοποίηση τους.

Δείγματα	Προκατεργασία	Διαλύτης	Κωδικη ονομασία
Klabishi F1	Φρέσκο	$CH_3OH:H_2O= 80:20$	Klab fresh
	Λυοφιλωμένο	$CH_3OH:H_2O= 80:20$	Klab fd
Ranchero F1	Φρέσκο	$CH_3OH:H_2O= 80:20$	Ran fresh
	Λυοφιλωμένο	$CH_3OH:H_2O= 80:20$	Ran fd 1
		$CH_3OH:HCL= 80:20$	Ran fd 2
Manoco F1	Φρέσκο	$CH_3OH:H_2O= 80:20$	Man fresh
	Λυοφιλωμένο	$CH_3OH:H_2O= 80:20$	Man fd

4.3 Προσδιορισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu

Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο των δειγμάτων προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu (F-C). Η μέθοδος αναπτύχθηκε αρχικά 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 το 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 αντιδραστηρίου σε αλκαλικό περιβάλλον. Το αντιδραστήριο αποκτά χαρακτηριστικό κυανό χρώμα που οφείλεται στο πεντασθενές μολυβδαίνιο. Η ένταση του κυανού χρώματος είναι ανάλογη του φαινολικού περιεχομένου, και η συγκέντρωσή 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.16).



Εικόνα 16. Φασματοφωτόμετρο UV-Vis

4.3.1 Πειραματική Πορεία Μεθόδου Folin-Ciocalteu

Η παρούσα μελέτη αποτελεί τροποποιημένη μορφή 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.

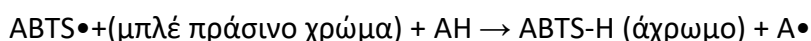
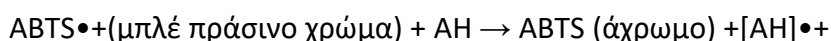
Για την κατασκευή της καμπύλης συσχέτισης επιλέχθηκε ως πρότυπη φαινολική ουσία το γαλλικό οξύ (gallic acid, GA). Για την παρασκευή stock διαλύματος γαλλικού οξέος συγκέντρωσης 5 g GA/L, 0,5g γαλλικού οξέος διαλύονται πλήρως σε 10 mL μεθανόλης και αραιώνονται με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 100 mL. Το stock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

Τα δείγματα τοποθετούνται σε πλαστικές κυψελίδες των 4 mL για την ανάλυση τους, σε ποσότητες των 50-250μL, ανάλογα με την ποσότητα που απαιτείται για κάθε κωδικό ώστε να μπορεί να συγκριθεί η ποσότητα των φαινολικών με την πρότυπη καμπύλη. Στην κυψελίδα προστίθενται μαζί με το εκχύλισμα και 2,25-2,5 mL απεσταγμένου νερού και 0,2 mL αντιδραστηρίου F-C.

4.4 Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS•+ [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]

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

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



4.4.1 Πειραματική Πορεία Μεθόδου ABTS•+

Παρασκευάζεται υδατικό διάλυμα που περιέχει διαλυμένη την ρίζα ABTS συγκέντρωσης 7 mM και υπερθειϊκό νάτριο ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) συγκέντρωσης 2,45 mM. Το μίγμα αφήνεται για 16 ώρες στο σκοτάδι σε θερμοκρασία δωματίου. Για την παρασκευή του διαλύματος, 14,58 mg $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ($M_r=238,11$) διαλύονται σε αποσταγμένο νερό μαζί με 96 mg ABTS ($M_r=548,68$) 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 $A_{734\text{nm}} = 0,9002$. 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 $\text{ABTS}^{\bullet+}$. 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 $\text{ABTS}^{\bullet+}$. 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.

4.5 Εκτίμηση αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη Μέθοδο FRAP (Ferric Ion Reducing Antioxidant Power Assay)

Η μέθοδος FRAP αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τους ερευνητές Benzie και Strain το 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, συμπεριλαμβανόμενων των φυτικών εκχυλισμάτων και αποτελεί οικονομική μέθοδο προσδιορισμού της αντιοξειδωτικής ικανότητας μιας ουσίας (Çelik et al., 2010).

Προσδιορίζει την ικανότητα αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου (Fe^{3+}) από ένα αντιοξειδωτικό, και συγκεκριμένα του συμπλόκου Fe^{3+} - TPRZ (Iron[III]-2,4,6-τριπυριδυλο-S-τριαζίνη) σε δισθενή (Fe^{2+}) με έντονο μπλε χρώμα σε όξινο περιβάλλον ($\text{pH}=3,6$), 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 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.

4.5.1 Πειραματική Πορεία Μεθόδου FRAP

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι μια τροποποίηση 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 $d=1,18 \text{ g/mL}$ 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 μM.

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 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 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 μM. Ο Fe^{2+} αποτελεί αποτέλεσμα της αντίδρασης του συμπλόκου

Fe³⁺ 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 μL ρυθμιστικού διαλύματος και 900 μL 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 H₂O, 500 μL ρυθμιστικού διαλύματος και 900 μL αντιδραστηρίου FRAP. Ο μηδενισμός του φασματοφωτόμετρου πραγματοποιήθηκε με απεσταγμένο νερό.

4.6 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 τη 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 Προσδιορισμός Ολικών Φαινολικών

Τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των ολικών φαινολικών από τα δείγματα που αναλύθηκαν με την μέθοδο Folin-Ciocalteu, δίνονται από τις τιμές στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ολικό φαινολικό περιεχόμενο των δειγμάτων.

Δείγμα	TPC (mg GAE/100 g d.w)
Klab fresh	295,671 ± 9,09 b
Ran fresh	479,717±49,89 c
Man fresh	243,931±21,31 ab
Klab fd	159,687±30,60 a
Ran fd1	805,643±51,64 d
Ran fd2	774,97±48,51 d
Man fd	230,736±8,96 ab

Οι τιμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση τριών διαφορετικών μετρήσεων (n=3). Τα διαφορετικά γράμματα δίπλα από κάθε τιμή κατά μήκος της στήλης, δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$) ($a<b<c<d$).

Από τα αποτελέσματα της μελέτης που συλλέχθηκαν για το ολικό φαινολικό περιεχόμενο στα 3 νωπά υβρίδια και στα λυοφιλιωμένα δείγματά τους, παρατηρήθηκε ότι τόσο το φρέσκο κόκκινο λάχανο Ranchero F1 όσο και το λυοφιλιωμένο, έχουν την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε ολικό φαινολικό περιεχόμενο σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δείγματα, ενώ δεν εντοπίζεται σημαντική διαφορά μεταξύ του νωπού λευκού Klabish και του νωπού κινέζικου Manoko. Αυτή η διαφορά του Ranchero με τα υπόλοιπα υβρίδια είναι πιθανόν να οφείλεται στο αυξημένο ποσοστό φαινολικών ενώσεων, ιδιαιτέρως στις ανθοκυανίνες που εμπεριέχονται στην συνολική σύσταση τους, σε σχέση με το λευκό και το κινέζικο λάχανο (Voca et al., 2018).

Οι συγκεντρώσεις των φαινολικών που βρέθηκαν από την μελέτη των Voca το 2018, για δύο διαφορετικά υβρίδια Maestro F1 και Primero F1, έδειξαν ποσότητες 174,38 και 170,53

mg GAE/100 g f.w., αντίστοιχα, αρκετά μεγαλύτερες του δείγματος Ranchero F1 της μελέτης μας (51,57 mg GAE/100g f.w.) (Voča et al., 2018) .Το ίδιο παρατηρείται και στην μελέτη των Yue το 2024 σε αρκετές ποικιλίες κόκκινου λάχανου, οι οποίες έδωσαν τιμές που κυμαίνονταν από 348 mg/100 g f.w. έως 1,585 mg/100 g f.w., τιμές σαφώς μεγαλύτερες από το δείγμα μας (Yue et al., 2024).

Επιπροσθέτως, μεταξύ των λυοφιλιωμένων δειγμάτων Ranchero και του φρέσκου δείγματος, παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$) .

Ωστόσο, μεταξύ των δύο λυοφιλιωμένων δειγμάτων, για τα οποία χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό εκχύλισμα (υδατομεθανολικό διάλυμα στο fd1, διάλυμα μεαθνόλης/αιθανικού οξέος στο fd2), δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στις ποσότητες τους, παρά την αστάθεια των ανθοκυανινών σε υψηλό pH.

Για το λευκό λάχανο, από τις έρευνες που πραγματοποίησαν οι Jakobek το 2018 και Lončarić το 2020, για τις φαινολικές περιεκτικότητες σε ποικιλίες λευκών λάχανων, όπως ήταν οι ποικιλίες πεπλατυσμένων λάχανων Varazdinski και Ogulinski , διαπιστώθηκε ότι οι συνολικές τους περιεκτικότητες σε φαινολικά κυμαινόταν από 59,82 mg/100 g f.w. και 59,48 mg/100 g f.w. για το Varazdinski και από 58,33 mg/100 g f.w. και 48,09 mg/100 g f.w. αντίστοιχα στην ποικιλία Ogulinski (Jakobek et al., 2018; Lončarić et al., 2020). Με βάση την τιμή που μετρήθηκε μετά από την εκχύλιση για το φρέσκο Klabishi F1, η οποία ήταν 28,56 mg/100 g f.w, δεν παρατηρείται συσχέτιση με την παραπάνω βιβλιογραφία .

Επιπλέον, για το δείγμα του Klabishi F1, παρατηρείται σημαντική μείωση των ολικών φαινολικών σε σύγκριση με το λυοφιλιωμένο δείγμα του, με βάση τις στατιστικές ενδείξεις ($P<0,05$).

Για το κινέζικο λάχανο, από την έρευνα των Seong το 2016, η οποία μελέτησε τα ολικά φαινολικά στα φύλλα της ποικιλίας Hwiparami, αναφέρεται πως οι τιμές συμπεριλαμβάνονταν μεταξύ 148,81 και 347,46 mg GAE/100 g d.w. (Seong et al., 2016).

Επιπλέον, από την έρευνα των Singh το 2007, οι οποίοι ανέλυσαν το φαινολικό περιεχόμενο 4 φρέσκων ποικιλιών, βρήκαν τιμές που κυμαίνονταν μεταξύ 5.10 mg/100 g f.w. και 13,7 mg/100 g f.w. Από τις παραπάνω έρευνες, προκύπτει πως η τιμή του Manoko F1, βρίσκεται κοντά στις τιμές που προαναφέρθηκαν (230,736 mg GAE/100 g d.w. ή 26,954 mg/100 g f.w) (Singh et al., 2007).

Όσον αφορά τα δείγματα για το Manoko F1, δεν παρατηρείται σημαντικά στατιστική διαφορά μεταξύ του φρέσκου και του λυοφιλωμένου δείγματος ως προς το ολικό φαινολικό περιεχόμενο. Αυτό, ίσως να οφείλεται στο ότι το κινέζικο λάχανο έχει φύλλα με λεπτή και τρυφερή υφή, οπότε η τελική απόδοση του εκχυλίσματος μετά από την λυοφυλίωση φαίνεται να μην επηρεάζεται.

5.2 Αποτελέσματα αντιοξειδωτικής και αντιριζικής ικανότητας

Στους Πίνακες που ακολουθούν δίνονται τα αποτελέσματα της αντιριζικής ικανότητας των εκχυλισμάτων (Πίνακας 4) και τα αποτελέσματα της αντιοξειδωτικής δράσης από την μέθοδο FRAP (Πίνακας 5). Επιπλέον, στον Πίνακα 6 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης Pearson r για τις τρεις μεθόδους που πραγματοποιηθήκαν κατά την μελέτη αυτή.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα της δοκιμής ABTS.

Δείγμα	mg Trolox Equivalent /100g 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 fd1	1170,730±59,67 f
Ran fd2	1052,073±8,23 e
Man fd	185,158±1,87 b

Οι τιμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση τριών διαφορετικών μετρήσεων ($n=3$). Τα διαφορετικά γράμματα δίπλα από κάθε τιμή κατά μήκος της στήλης, δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)($a<b<c<d<e<f$).

Πίνακας 5. Αποτελέσματα της δοκιμής FRAP.

Δείγμα	mg Fe^{2+} / 100g d.w.
Klab fresh	777,936±72,54 b
Ran fresh	2394,914±62,21 c
Man fresh	806,959±25,99 b

Klab fd	759,289±21,86 b
Ran fd1	2799,068±13,80 d
Ran fd2	2522,812±64,51 c
Man fd	516,910±18,70 a

Οι τιμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση τριών διαφορετικών μετρήσεων (n=3). Τα διαφορετικά γράμματα δίπλα από κάθε τιμή κατά μήκος της στήλης, δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$) ($a<b<c<d$).

Πίνακας 6. 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

Ο συντελεστής συσχέτισης (r), προτάθηκε από τον Karl Pearson για πρώτη φορά το 1920 και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα (Pearson, 1920). Αποτελεί δείκτη μια γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών και λαμβάνει τιμές από -1 έως 1. Όταν η τιμή που θα ληφθεί από τις δύο μεταβλητές βρίσκεται κοντά στο 1, τότε η συσχέτιση τους είναι θετική. Διαφορετικά όταν λαμβάνει τιμές κοντά στο -1, η συσχέτιση είναι αρνητική. Ενώ, όταν η τιμή βρίσκεται κοντά στο μηδέν, η συσχέτιση τους είναι αδύναμη. Στην παρούσα μελέτη υπάρχει μια καλή συσχέτιση μεταξύ της μεθόδου της FRAP με το ολικό φαινολικό περιεχόμενο (TPC) και της αντιριζικής δράσης (μέθοδος ABTS). Επιπλέον, παρατηρείται πως οι μέθοδοι TPC και ABTS εμφανίζουν η κάθε μία καλό συντελεστή συσχέτισης μόνο με τη μέθοδο FRAP ($r>0,8$) και όχι μεταξύ τους, καθώς ο συντελεστής είναι μικρότερος ($r<0,8$).

Βάσει των αποτελεσμάτων που λήφθηκαν, παρατηρείται ότι στη δοκιμή της ABTS, για την αντιριζική ικανότητα των φρέσκων και λυοφιλιωμένων δειγμάτων, παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$), για όλα τα δείγματα εκτός του κινέζικου λάχανου Manoko. Ακόμη φαίνεται, πως την μεγαλύτερη αντιριζική ικανότητα μεταξύ των φρέσκων υβριδίων παρουσιάζει το κόκκινο λάχανο Ranchero και την μικρότερη ικανότητα το λευκό λάχανο Klabishi.

Στα λυοφιλιωμένα δείγματα παρουσιάζεται μια σημαντικά στατιστική αύξηση ($P < 0,05$) σε σύγκριση με τα φρέσκα, στα δείγματα του λευκού Klabishi και του κόκκινου Ranchero εκτός του κινέζικου Manoko. Μάλιστα, τα λυοφιλιωμένα δείγματα του Ranchero δείχνουν να έχουν την μεγαλύτερη αντιριζική ικανότητα μεταξύ των δειγμάτων, ειδικά το Ranchero fd1 με το εκχύλισμα υδατομεθανόλης.

Όσον αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα των δειγμάτων με τη μέθοδο FRAP, από τα αποτελέσματα δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των λυοφιλιωμένων δειγμάτων και των φρέσκων, με μόνη εξαίρεση το λυοφιλιωμένο Manoko, το οποίο παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά ($P < 0,05$) σε σχέση με το φρέσκο δείγμα του.

Παρατηρείται ξανά, πως το νωπό κόκκινο λάχανο Ranchero έχει την μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα και την μικρότερη το νωπό λευκό λάχανο Klabishi. Επίσης, και στη μέθοδο FRAP, τα λυοφιλιωμένα δείγματα εμφανίζουν την μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ιδιότητα μεταξύ όλων των δειγμάτων και πιο συγκεκριμένα το δείγμα με το εκχύλισμα υδατομεθανόλης Ranchero fd1 έχει την μεγαλύτερη τιμή (Voča et al., 2018).

Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα για το κόκκινο λάχανο Ranchero, έρχονται και οι έρευνες των Voča (2018) και Podsek (2006) της βιβλιογραφίας, αφού και εκείνοι διαπίστωσαν ότι την μεγαλύτερη αντιοξειδωτική και αντιριζική ιδιότητα κατέχει το κόκκινο λάχανο έναντι του λευκού. Πιθανόν, αυτή η διαφορά να οφείλεται στις αυξημένες συγκεντρώσεις των φαινολικών ενώσεων, ιδιαιτέρως της ανθοκυανίνης, στο κόκκινο λάχανο (Voča et al., 2018; Podsedek et al., 2006).

Επιπλέον, η σημαντική αύξηση που διαπιστώθηκε στα λυοφιλιωμένα δείγματα του Ranchero που εκχυλίστηκαν με υδατομεθανολικό διάλυμα, ίσως να οφείλεται στη βελτιωμένη απόδοση της εκχύλισης των πολικών φαινολικών ενώσεων στο διάλυμα αυτό, έναντι του διαλύματος μεθανόλης / υδροχλωρίου (Nawaz, Shad, & Rauf, 2018; Tena & Asuero, 2022).

Για τη σημαντική αύξηση που διαπιστώθηκε στο λυοφιλιωμένο Klabishi στις τιμές του για την αντιριζική του ικανότητα, μια εξήγηση που μπορεί να δοθεί είναι πως με την λυοφιλίωση βελτιώθηκε η απόδοση της εκχύλισης των υπόλοιπων φυτοχημικών του λάχανου, όπως η βιταμίνη C και τα καροτενοειδή, τα οποία επηρεάζουν εξίσου την αντιοξειδωτική και αντιριζική ιδιότητα του λαχάνου (De Santiago et al., 2018).

Για το κινέζικο λάχανο δεν υπάρχουν πολλές έρευνες για να επαληθεύσουν τις τιμές. Αντιθέτως, οι Rokaya et al. το 2014 διαπίστωσαν πως το κινέζικο λάχανο έχει μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο της FRAP, μια μελέτη που δεν επιβεβαιώνεται από τις τιμές μας (Rokayga et al., 2014).

6. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν από την συγκεκριμένη μελέτη, για τα υβρίδια Ranchero F1, Klabishi F1 και Manoko F1, με τις μεθόδους που διεξήχθησαν για την ποσότητα των ολικών φαινολικών και για την αντιοξειδωτική και αντιριζική τους δράση (μέθοδοι ABTS και FRAP), οδηγούν σε αρκετά πορίσματα.

Το μεγαλύτερο ποσοστό σε ολικά φαινολικά στα φρέσκα λάχανα παρατηρήθηκε στο κόκκινο Ranchero. Ίδια ήταν και η εικόνα από τις τιμές που δόθηκαν για την αντιοξειδωτική και αντιριζική ιδιότητα, αφού και σε αυτές τις μετρήσεις το φρέσκο κόκκινο λάχανο είχε την μεγαλύτερη αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα έναντι των υπολοίπων. Οι μετρήσεις αυτές είναι πολύ πιθανόν να οφείλονται στην αυξημένη περιεκτικότητα του κόκκινου λάχανου σε ανθοκυανίνες. Την μικρότερη ποσότητα φαινολικών ενώσεων και μικρότερη αντιοξειδωτική και αντιριζική δράση την είχε το φρέσκο λευκό λάχανο Klabish και μετά ακολούθησε το κινέζικο Manoko.

Για τα λυοφιλωμένα δείγματα, στο δείγμα του Ranchero εντοπίστηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση της απόδοσης του μετά την εκχύλιση τόσο στο ολικό φαινολικό περιεχόμενο όσο και στην αντιριζική και αντιοξειδωτική δράση (μέθοδοι ABTS και FRAP, αντίστοιχα). Οπότε, θα μπορούσε να ειπωθεί πως η λυοφιλίωση βελτίωσε την απόδοση της εκχύλισης και της σταθερότητας των φαινολικών ενώσεων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως οι μεγαλύτερες τιμές και για τις τρεις μεθόδους παρατηρήθηκαν στο υδατομεθανολικό εκχύλισμα, σε σχέση με το εκχύλισμα μεθανόλης/υδροχλωρίου που χρησιμοποιήθηκε στο δεύτερο δείγμα λυοφιλωμένου κόκκινου λάχανου.

Στο λυοφυλωμένο δείγμα για το Klabishi, παρατηρήθηκε μια σημαντική μείωση των ολικών φαινολικών σε σχέση με το νωπό, στον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής δράσης με τη μέθοδο FRAP δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ νωπού και λυοφιλωμένου, ενώ παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της αντιριζικής δράσης στο λυοφιλωμένο δείγμα. Είναι πολύ πιθανό, να ενισχύθηκε η υπόλοιπη φυτοχημική

σύσταση στο τελικό εκχύλισμα και να διατηρήθηκε ένα μεγάλο ποσοστό του ασκορβικού και των καροτενοειδών του.

Στο κινέζικο Μανόκο, δεν παρατηρήθηκε σημαντικά στατιστική διαφορά μεταξύ του λυοφιλωμένου δείγματος και του φρέσκου στον προσδιορισμό των φαινολικών και στην αντιριζική μέθοδο της ABTS, με εξαίρεση την μέθοδο της FRAP για την αντιοξειδωτική δράση, στην οποία το λυοφιλωμένο δείγμα εμφάνισε σημαντική μείωση της αντιοξειδωτικής δράσης.

Τέλος, χρειάζεται να αναφερθεί πώς με βάση τον συντελεστή συσχέτισης για τις τρεις μεθόδους που πραγματοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη, εμφανίστηκε μια καλή συσχέτιση της μεθόδου FRAP με την μέθοδο ABTS και του ολικού φαινολικού περιεχομένου (TPC), ενώ μεταξύ των μεθόδων TPC και ABTS παρατηρήθηκε μικρότερη συσχέτιση.

Βιβλιογραφία

- Ağagündüz, D., Şahin, T. Ö., Yılmaz, B., Ekenci, K. D., Duyar Özer, Ş., & Capasso, R. (2022). Cruciferous Vegetables and Their Bioactive Metabolites: From Prevention to Novel Therapies of Colorectal Cancer. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine : eCAM*, 2022, 1534083. <https://doi.org/10.1155/2022/1534083>
- Andrés-Lacueva, C., Medina-Rejon, A., Llorach, R., Urpi-Sarda, M., Khan, N., Chiva-Blanch, G., Zamora-Ros, R., Rotches-Ribalta, M., & Lamuela-Raventós, R. M. (2009). Phenolic Compounds: Chemistry and Occurrence in Fruits and Vegetables. In *Fruit and Vegetable Phytochemicals* (pp. 53–88). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780813809397.ch2>
- Berry, C. E., & Hare, J. M. (2004). *Xanthine oxidoreductase and cardiovascular disease: Molecular mechanisms and pathophysiological implications*. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.055913>
- Bischoff, K. L. (2016). Chapter 40—Glucosinolates. In R. C. Gupta (Ed.), *Nutraceuticals* (pp. 551–554). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00040-1>
- 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>
- 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>
- 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), 1300–1309.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.02.025>
- Charlton, N. C., Mastuyugin, M., Török, B., & Török, M. (2023). Structural Features of Small Molecule Antioxidants and Strategic Modifications to Improve Potential Bioactivity. *Molecules*, *28*(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/molecules28031057>
- 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), Article 11. <https://doi.org/10.3390/antiox11112213>
- 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>
- 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>
- Domínguez-Perles, R., Mena, P., Cristina, G.-V., & Moreno, D. A. (2014). Brassica Foods as a Dietary Source of Vitamin C: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *54*, 1076–1091. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.626873>
- 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)
- 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>

- Feng, W., Hao, Z., Li, M., Feng, W., Hao, Z., & Li, M. (2017). Isolation and Structure Identification of Flavonoids. In *Flavonoids—From Biosynthesis to Human Health*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/67810>
- 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>
- Fu, H., Chao, H., Zhao, X., Wang, H., Li, H., Zhao, W., Sun, T., Li, M., & Huang, J. (2022). Anthocyanins identification and transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in purple Brassica napus. *Plant Molecular Biology*, *110*(1–2), 53–68. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01285-6>
- Fusari, C. M., Nazareno, M. A., Locatelli, D. A., Fontana, A., Beretta, V., & Camargo, A. B. (2020). Phytochemical profile and functionality of Brassicaceae species. *Food Bioscience*, *36*, 100606. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100606>
- Gebregziabher, B. S., Gebremeskel, H., Debesa, B., Ayalneh, D., Mitiku, T., Wendwessen, T., Habtemariam, E., Nur, S., & Getachew, T. (2023). Carotenoids: Dietary sources, health functions, biofortification, marketing trend and affecting factors – A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100834. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100834>
- Giada, M. de L. R. (2013). Food Phenolic Compounds: Main Classes, Sources and Their Antioxidant Power. In *Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases—A Role for Antioxidants*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/51687>
- Granger, M., & Eck, P. (2018). Chapter Seven—Dietary Vitamin C in Human Health. In N. A. M. Eskin (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 83, pp. 281–310). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.11.006>
- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, *11*(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- Gupta, R. K., Khurara, D. S., & Singh, H. (2018). Chinese Cabbage. In *Vegetable Crop Science* (M.K. Rana). CRC Press.

- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free radicals in Biology and Medicine* (5th ed.). Oxford University Press.
- Hedges, L., & Lister, C. (2006). *Nutritional attributes of Brassica vegetables*.
- 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)
- Jabeen, N. (2020). Agricultural, Economic and Societal Importance of Brassicaceae Plants. In M. Hasanuzzaman (Ed.), *The Plant Family Brassicaceae: Biology and Physiological Responses to Environmental Stresses* (pp. 45–128). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6345-4_2
- Jakobek, L., Tomac, I., Matić, P., Sabo, M., Đugum, J., & Šubarić, 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>
- 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*. <https://foodandnutritionresearch.net/index.php/fnr/article/view/1257>
- 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), C685–C689. <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), 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.009>

- Koss-Mikołajczyk, I., Kusznierevicz, B., Wiczkowski, 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>
- Li, Z., Lee, H. W., Liang, X., Liang, D., Wang, Q., Huang, D., & Ong, C. N. (2018). Profiling of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of 12 Cruciferous Vegetables. *Molecules*, *23*(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/molecules23051139>
- 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>
- 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, 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>
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, *4*(8), 118–126. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
- 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.-M., 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>

- Mamari, H. H. A. (2021). Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis. In *Phenolic Compounds—Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98958>
- Marković, Z. (2016). Study of the mechanisms of antioxidative action of different antioxidants. *Journal of Serbian Society for Computational Mechanics*, *10*, 135–150. <https://doi.org/10.5937/jsscm1601135M>
- Meléndez-Martínez, A. J., Mandić, A. I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G. I. A., Brnčić, M., Bysted, A., Cano, M. P., Dias, M. G., Elgersma, A., Fikselová, M., García-Alonso, J., Giuffrida, D., Gonçalves, V. S. S., Hornero-Méndez, D., Kljak, K., Lavelli, V., Manganaris, G. A., Mapelli-Brahm, P., ... O'Brien, N. (2022). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: Status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(8), 1999–2049. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
- 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>
- 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>
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- 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), 9613090. <https://doi.org/10.1155/2019/9613090>
- Nawaz, H., Shad, M. A., Muzaffar, S., Nawaz, H., Shad, M. A., & Muzaffar, S. (2018). Phytochemical Composition and Antioxidant Potential of Brassica. In *Brassica*

- Germplasm—Characterization, Breeding and Utilization*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.76120>
- Nawaz, H., Shad, M. A., & Rauf, A. (2018). Optimization of extraction yield and antioxidant properties of *Brassica oleracea* Convar Capitata Var L. leaf extracts. *Food Chemistry*, 242, 182–187. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.041>
- Ojha, T. R. (2023, August 29). *Brassicaceae Family: Characteristics, Floral Formula, Diagram*.
<https://microbenotes.com/brassicaceae-family/>
- Paciolla, C., Fortunato, S., Dipierro, N., Paradiso, A., De Leonardis, S., Mastropasqua, L., & de Pinto, M. C. (2019). Vitamin C in Plants: From Functions to Biofortification. *Antioxidants*, 8(11), 519. <https://doi.org/10.3390/antiox8110519>
- 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, 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>
- Pearson, K. (1920). *NOTES ON THE HISTORY OF CORRELATION | Biometrika | Oxford Academic*.
<https://academic.oup.com/biomet/article-abstract/13/1/25/205100?redirectedFrom=fulltext>
- Pereira, A. M., Cidade, H., & Tiritan, M. E. (2023). Stereoselective Synthesis of Flavonoids: A Brief Overview. *Molecules*, 28(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/molecules28010426>
- Pereira, D. M., Valentão, P., Pereira, J. A., & Andrade, P. B. (2009). Phenolics: From Chemistry to Biology. *Molecules*, 14(6), Article 6. <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. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3614697/>
- 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>
- 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, 8416763. <https://doi.org/10.1155/2017/8416763>
- Podsedek, A., Sosnowska, D., Redzynia, 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>
- 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>
- Rokayya, S., Li, C.-J., Zhao, Y., Li, Y., & Sun, C.-H. (2014). Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. Capitata) phytochemicals with antioxidant and anti-inflammatory potential. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP*, 14(11), 6657–6662. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2013.14.11.6657>
- Safe, S., Jayaraman, A., Chapkin, R. S., Howard, M., Mohankumar, K., & Shrestha, R. (2021). Flavonoids: Structure–function and mechanisms of action and opportunities for drug development. *Toxicological Research*, 37(2), 147–162. <https://doi.org/10.1007/s43188-020-00080-z>
- 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>
- Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Villanueva-Cañongo, C., Hernández-Carlos, B., Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Villanueva-Cañongo, C., & Hernández-Carlos, B. (2019). Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism. In *Antioxidants*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85270>
- 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>
- 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>
- Ştefan, I., & Ona, A. (2020). *Cabbage (Brassica oleracea L.). Overview of the Health Benefits and Therapeutical Uses*.
- Sun, T., Rao, S., Zhou, X., & Li, L. (2022). Plant carotenoids: Recent advances and future perspectives. *Molecular Horticulture*, 2(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43897-022-00023-2>
- Tamta, S., Jaipaul, Choudhary, A., Negi, M., & Kumar, A. (2014). *Scientific Cultivation of Cabbage (Brassica oleracea L. var. Capitata)* (pp. 79–86).
- Tan, C., Chen, H., Dai, G., Liu, Y., Shen, W., Wang, C., Liu, D., Liu, S., Xu, S., Zhu, B., Chen, D., & Cui, C. (2023). Identification and characterization of the gene BraANS.A03 associated with purple leaf color in pak choi (*Brassica rapa* L. ssp. *Chinensis*). *Planta*, 258(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04171-7>
- Tena, N., & Asuero, A. G. (2022). *Antioxidants | Free Full-Text | Up-To-Date Analysis of the Extraction Methods for Anthocyanins: Principles of the Techniques, Optimization, Technical Progress, and Industrial Application*. <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/2/286>

- 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), Article 5. <https://doi.org/10.3390/antiox9050451>
- Valko, M., Morris, H., & Cronin, M. T. D. (2005). Metals, Toxicity and Oxidative Stress. *Current Medicinal Chemistry*, 12(10), 1161–1208. <https://doi.org/10.2174/0929867053764635>
- 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>
- Wojtunik-Kulesza, K. A. (2020). Approach to Optimization of FRAP Methodology for Studies Based on Selected Monoterpenes. *Molecules*, 25(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/molecules25225267>
- Yañez-Apam, J., Domínguez-Uscanga, A., Herrera-González, A., Contreras, J., Mojica, L., Mahady, G., & Luna-Vital, D. A. (2023). Pharmacological Activities and Chemical Stability of Natural and Enzymatically Acylated Anthocyanins: A Comparative Review. *Pharmaceuticals*, 16(5), 638. <https://doi.org/10.3390/ph16050638>
- 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>
- Zayed, A., Sheashea, M., Kassem, I. A. A., & Farag, M. A. (2023). Red and white cabbages: An updated comparative review of bioactives, extraction methods, processing practices, and health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(24), 7025–7042. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2040416>