



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επίδραση των μεθόδων ξήρανσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των
σταυρανθών λαχανικών



Συγγραφείς:

ΑΛΗ ΚΕΧΑΓΙΑ ΜΟΥΡΑΤ ΑΜ: 16002

ΤΣΙΛΙΓΚΗΡ ΧΟΥΣΕΙΝ ΑΡΖΟΥ ΑΜ: 17110

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

ΡΕΒΕΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ-ΚΥΡΙΑΚΗ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF FOOD SCIENCE

DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

DIPLOMA THESIS

Effect of drying methods on the quality characteristics of cruciferous vegetables



Authors:

ALI KECHAGIA MOURAT R.N:16002

TSILIGKIR CHOUSEIN ARZOU R.N: 17110

Supervisor:

REVELOU PANAGIOTA-KYRIAKI

ATHENS, JULY 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF FOOD SCIENCE

DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

Επίδραση των μεθόδων ξήρανσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταυρανθών λαχανικών

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ-ΚΥΡΙΑΚΗ ΡΕΒΕΛΟΥ	ΔΡ./ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	
2	ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΡΟΥ ΜΑΡΙΑ	ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
3	ΜΥΡΤΩ ΤΡΙΑΝΤΗ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Τσιλιγκήρ Χουσεΐν Αρζού του Ραμαδάν και Αλή Κεχαγιά Μουράτ του Ρεμζή, με αριθμούς μητρώου 17110, 16002, αντίστοιχα, φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα



Τσιλιγκήρ Χουσεΐν Αρζού

Ο Δηλών



Αλή Κεχαγιά Μουράτ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, στο χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο του 2021 έως τον Ιούλιο του 2022. Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση της διπλωματικής μας εργασίας χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη της επιβλέπουσας καθηγήτριάς μας, Παναγιώτα – Κυριακή Ρεβέλου (Ακαδημαϊκή Υπότροφος). Της εκφράζουμε θερμές ευχαριστίες για τη διαρκή καθοδήγησή της και τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε ώστε να μας δώσει διευκρινήσεις. Επίσης, δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε το αμείωτο ενδιαφέρον που μας έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Επιπλέον, εκφράζουμε ευχαριστίες στα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής Μαρία Γιαννακούρου (Καθηγήτρια) και Μυρτώ Τριάντη (Ακαδημαϊκή Υπότροφος) για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς και τους φίλους μας για τις ιδέες, τη βοήθεια και τη στήριξη που μας προσέφεραν σε όλη την διαδρομή των σπουδών μας.

Τσιλιγκήρ Χουσεΐν Αρζού

Αλή Κεχαγιά Μουράτ

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει την επίδραση που έχουν οι διάφοροι μέθοδοι ξήρανσης στα σταυρανθή λαχανικά, χαρακτηριστικά παραδείγματα των οποίων αποτελεί το λάχανο, η ρόκα, το ρεπάνι, το μπρόκολο και το κουνουπίδι. Τα λαχανικά αυτά ανήκουν στην ευρύτερη οικογένεια λαχανικών *Brassicaceae* και είναι γνωστό ότι είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, όπως οι υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και βιταμίνες καθώς και βιοδραστικές ενώσεις που βοηθούν στην πρόληψη έναντι του καρκίνου. Στη συνέχεια γίνεται εκτεταμένη αναφορά στις μεθόδους ξήρανσης στις οποίες υποβάλλονται τα σταυρανθή λαχανικά, όπου η καθεμία από αυτές επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη σύσταση και στα θρεπτικά συστατικά των σταυρανθών λαχανικών. Μερικές από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται συχνότερα για την ξήρανση είναι η ξήρανση με κατάψυξη, η οποία έχει ως κυριότερο πλεονέκτημα την εξοικονόμηση ενέργειας και η ξήρανση με μικροκύματα, η οποία υπερτερεί στην ταχύτητά της. Τέλος, επιχειρείται η παρουσίαση των επιπτώσεων λόγω της διαδικασίας της ξήρανσης, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταυρανθών λαχανικών όπως χρώμα, υφή, σχήμα, αντιοξειδωτική δράση και βιοδραστικές ενώσεις. Η ξήρανση με θερμό αέρα επηρεάζει αρνητικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λαχανικών σε αντίθεση με την ξήρανση με κατάψυξη η οποία, αν και δαπανηρή, τα διατηρεί σε μεγάλο βαθμό. Εναλλακτικά, άλλες μέθοδοι ξήρανσης που διατηρούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταυρανθών λαχανικών είναι με παράθυρο διάθλασης και με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο.

ABSTRACT

The current study presents the effect of various drying methods on cruciferous vegetables, typical examples of which are cabbage, arugula, radish, broccoli and cauliflower. These vegetables belong to the Brassicaceae family and are known to be rich in nutrients such as carbohydrates, proteins and vitamins as well as bioactive compounds with cancer-preventive properties. An extensive reference to the drying methods of cruciferous vegetables is made, where each of them brings about significant changes in the composition and nutrients of cruciferous vegetables. Some of the most commonly used methods for drying are freeze-drying, which has the main advantage of saving energy, and microwave drying, which is superior in speed. Finally, a presentation of the effects of the drying process on the quality characteristics of cruciferous vegetables such as color, texture, shape, antioxidants and bioactive compounds is made. Hot air drying adversely affects the quality characteristics of vegetables as opposed to freeze-drying which, although expensive, retains them to a large extent. Alternatively, other drying methods that retain the quality characteristics of cruciferous vegetables are refractive window drying and high electric field drying.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΤΑΥΡΑΝΘΗ ΛΑΧΑΝΙΚΑ.....	11
1.1 Ιστορικά Στοιχεία.....	11
1.2 Βοτανική Προέλευση.....	11
1.3 Βοτανική Περιγραφή-Χαρακτηριστικά.....	14
1.3.1 Λάχανο (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.)	14
1.3.2 Μπρόκολο (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Italica</i>)	16
1.3.3 Κουνουπίδι (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Botrytis</i>)	17
1.3.4 Ρέβα (<i>Brassica rapa</i> var. <i>rapa</i>)	18
1.3.5 Ρόκα (<i>Eruca sativa</i>).....	19
1.3.6 Ρεπάνι (<i>Raphanus sativus</i>)	19
1.3.7 Νεροκάρδαμο (<i>Nasturtium officinale</i>)	20
1.3.8 Bok choy (<i>Brassica rapa</i> var. <i>chinensis</i>).....	20
1.3 Θρεπτικά Συστατικά Σταυρανθών Λαχανικών	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	24
2.1 Ξήρανση με κατάψυξη	26
2.2 Ξήρανση υπό κενό.....	28
2.3 Ξήρανση με μικροκύματα	29
2.4 Ξήρανση με παράθυρο διάθλασης	31
2.5 Ξήρανση σε δίσκο – Ξήρανση με θερμό αέρα	33
2.6 Ξήρανση στον ήλιο	34
2.7 Ξήρανση με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	37
3.1 Χρώμα, σχήμα, υφή.....	37
3.1.1 Χρώμα.....	37

3.1.1.1 Μπρόκολο	37
3.1.1.2 Λάχανο.....	39
3.1.1.3 Νεροκάρδαμο.....	39
3.1.1.4 Κινέζικο Λάχανο	40
3.1.1.5 Ραπανάκι	40
3.1.2 Σχήμα- Υφή.....	41
3.1.2.1 Μπρόκολο	41
3.1.2.2 Λάχανο.....	42
3.1.2.3 Ρόκα.....	43
3.1.2.4 Ραπανάκι	44
3.2. Θρεπτικά συστατικά.....	45
3.2.1 Βιταμίνες	45
3.2.1.1 Μπρόκολο	45
3.2.1.2 Λάχανο.....	46
3.2.1.3 Νεροκάρδαμο.....	47
3.2.1.4 Κινέζικο Λάχανο	47
3.3. Αντιοξειδωτική δράση.....	48
3.3.1 Μπρόκολο	49
3.3.2 Λάχανο.....	54
3.3.3 Νεροκάρδαμο.....	56
3.3.4 Ρόκα.....	57
3.3.5 Κινέζικο Λάχανο.....	58
3.4. Βιοδραστικές ενώσεις	59
3.4.1 Γλυκοζινολίτες	60
3.4.2 Ισοθειοκυανικά	62
3.4.3 Φλαβονοειδή.....	62
3.4.4 Καροτενοειδή	64
Σχόλια-Συμπεράσματα	64
Βιβλιογραφία	66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΑΝΕΠΤΥΓΜΕΝΟ ΛΑΧΑΝΟ	14
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΛΑΧΑΝΟΥ	14
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΥΠΟΙ ΛΑΧΑΝΟΥ	15
ΕΙΚΟΝΑ 4. ΜΠΡΟΚΟΛΟ	16
ΕΙΚΟΝΑ 5. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΠΡΟΚΟΛΟΥ	16
ΕΙΚΟΝΑ 6. ΤΥΠΟΙ ΜΠΡΟΚΟΛΟΥ	17
ΕΙΚΟΝΑ 7. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΜΕΝΟ ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙ	17
ΕΙΚΟΝΑ 8. ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙ	17
ΕΙΚΟΝΑ 9. ΡΕΒΑ	18
ΕΙΚΟΝΑ 10. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΕΒΑΣ	18
ΕΙΚΟΝΑ 11. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΟΚΑΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 12. ΡΕΠΑΝΙ	19
ΕΙΚΟΝΑ 13. ΝΕΡΟΚΑΡΔΑΜΟ	20
ΕΙΚΟΝΑ 14. ΒΟΚ ΣΧΟΥ	20
ΕΙΚΟΝΑ 15. ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΚΑΤΑΨΥΞΗ	28
ΕΙΚΟΝΑ 16. ΞΗΡΑΝΣΗ ΥΠΟ ΚΕΝΟ	29
ΕΙΚΟΝΑ 17. ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ	31
ΕΙΚΟΝΑ 18. ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	32
ΕΙΚΟΝΑ 19. ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ ΜΕ ΔΙΣΚΟΥΣ	34
ΕΙΚΟΝΑ 20. ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΟΝ ΗΛΙΟ	35
ΕΙΚΟΝΑ 21. ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΥΨΗΛΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	36
ΕΙΚΟΝΑ 22. ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΟ ΜΠΡΟΚΟΛΟ	41
ΕΙΚΟΝΑ 23. ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΟ ΛΑΧΑΝΟ	43
ΕΙΚΟΝΑ 24. ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΗ ΡΟΚΑ	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΤΑΞΗΣ BRASSICALES	12
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ & ΚΟΙΝΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	13
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	21
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙV ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	22
ΠΙΝΑΚΑΣ V ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	22
ΠΙΝΑΚΑΣ VI ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	23
ΠΙΝΑΚΑΣ VII ΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΠΡΟΚΟΛΟΥ	38
ΠΙΝΑΚΑΣ VIII ΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΑΧΑΝΟΥ	39
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙX ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΜΠΡΟΚΟΛΟΥ	46
ΠΙΝΑΚΑΣ X ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΛΑΧΑΝΟΥ	46
ΠΙΝΑΚΑΣ XI ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΝΕΡΟΚΑΡΔΑΜΟΥ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ XII ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΚΙΝΕΖΙΚΟΥ ΛΑΧΑΝΟΥ	48
ΠΙΝΑΚΑΣ XIII ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ	50
ΠΙΝΑΚΑΣ XIV ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	51
ΠΙΝΑΚΑΣ XV ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ	59

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1. ΔΟΚΙΜΗ ABTS ΝΕΡΟΚΑΡΔΑΜΟΥ -----	56
ΣΧΗΜΑ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ FOLIN-CIOCALTEU ΝΕΡΟΚΑΡΔΑΜΟΥ -----	57

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σταυρανθή λαχανικά, τα οποία ανήκουν στην ευρύτερη βοτανική οικογένεια των *Brassicaceae*, αποτελούνται πάνω από 3250 είδη. Παρά το γεγονός αυτό, είναι λίγα εκείνα τα λαχανικά που είναι βρώσιμα και αυτά ανήκουν στο γένος *Brassica*, όπου ανήκει το μπρόκολο, το λάχανο, το κουνουπίδι, η ρόκα κ.ά.

Είναι γνωστό ότι τα συγκεκριμένα λαχανικά περιέχουν θρεπτικά συστατικά όπως οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και οι βιταμίνες που έχουν μεγάλη σημασία για την υγεία του ανθρώπου. Για παράδειγμα η σουλφοραφάνη, μια φυτική ένωση με αντικαρκινικές ιδιότητες που συμβάλλει στην πρόληψη και αντιμετώπιση διάφορων τύπων καρκίνου. Επιπλέον, πρόσφατες κλινικές μελέτες έδειξαν ότι μερικά από αυτά τα λαχανικά συμβάλλουν και στην πρόληψη από τον COVID-19. Τέλος, στα μακροθρεπτικά συστατικά τους συμπεριλαμβάνεται ο φώσφορος, το κάλιο, το μαγνήσιο, το νάτριο και το ασβέστιο, ενώ στα μικροθρεπτικά συστατικά συγκαταλέγεται ο χαλκός, ο σίδηρος, το σελήνιο, το μαγνήσιο και ο ψευδάργυρος.

Η διαδικασία της ξήρανσης των σταυρανθών λαχανικών αποτελεί μία από τις πιο ουσιαστικές διαδικασίες στην επεξεργασία των λαχανικών. Αναμφισβήτητα, υπάρχουν πολλά θετικά χαρακτηριστικά που την κάνει σημαντική, μερικά από τα οποία είναι η σταθερότητα αποθήκευσης, η παραγωγή προϊόντων με ευδιαλυτότητα και η ταχεία ενυδάτωση.

Από την αρχαιότητα έως και σήμερα, οι άνθρωποι προσπαθούν να επινοήσουν καινούργιες μεθόδους στην ξήρανση και φαίνεται πως το έχουν καταφέρει με μεγάλη επιτυχία. Πλέον, αριθμούμε τουλάχιστον επτά μεθόδους ξήρανσης τροφίμων, η καθεμία από τις οποίες αποτελείται από πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα. Η επιλογή ενός ξηραντήρα είναι μια σημαντική παράμετρος, καθώς χρειάζεται να ληφθούν υπόψιν τα χαρακτηριστικά της ξήρανσης, η θερμοκρασία του προϊόντος, η δυναμικότητα παραγωγής και πολλά ακόμη στοιχεία πριν την τελική απόφαση.

Στις μεθόδους ξήρανσης συμπεριλαμβάνεται η ξήρανση με κατάψυξη, η ξήρανση υπό κενό, η ξήρανση με μικροκύματα, η ξήρανση με παράθυρο διάθλασης, η ξήρανση

σε δίσκο, η ξήρανση στον ήλιο και τέλος, η ξήρανση με θερμό αέρα. Όλες οι παραπάνω μέθοδοι επιφέρουν κάποιες αλλαγές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταυρανθών λαχανικών, όπως για παράδειγμα στο χρώμα, στην υφή και στο σχήμα των προϊόντων. Τέλος, για τον προσδιορισμό της αλλαγής στην αντιοξειδωτική δράση μετά την ξήρανση έχουν εφαρμοστεί αρκετές αναλυτικές μέθοδοι, όπως η μέθοδος Folin-Ciocalteu, η δοκιμή DPPH, η ABTS και η δοκιμή ORAC.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΤΑΥΡΑΝΘΗ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

1.1 Ιστορικά Στοιχεία

Τα σταυρανθή λαχανικά είναι μια από τις κυρίαρχες καλλιέργειες τροφίμων παγκοσμίως. Καταναλώνονται παραδοσιακά στην διατροφή του ανθρώπου ως φρέσκα και διατηρημένα λαχανικά, φυτικά έλαια και καρυκεύματα, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Αντιπροσωπεύουν μια οικογένεια λαχανικών που κατανέμεται σε όλο τον κόσμο εκτός από την Ανταρκτική (Al-Shehbaz, 2002). Τα *Brassicaceae* προήλθαν από το Ηώκαινο στην περιοχή Ιρανό-Τουρανίας, από όπου εξαπλώθηκαν παγκοσμίως (Franzke et al., 2011). Είναι αποδεδειγμένο ότι οι αρχαίοι Έλληνες, οι Ρωμαίοι, οι Ινδοί και οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν και εκτιμούσαν σε μεγάλο βαθμό τα σταυρανθή λαχανικά (Abbaoui et al., 2018). Σύμφωνα με τα σανσκριτικά αρχεία η χρήση των σταυρανθών λαχανικών άρχισε στην Ινδία ήδη από το 3000 π.Χ., ενώ μερικά άλλα προγονικά δείχνουν ότι οι καλλιέργειες *Brassica* καλλιεργούνταν κατά μήκος της παράκτιας Ευρώπης κοντά στα 8000 χρόνια πριν (Šamec & Salopek-Sondi, 2019). Διατηρημένοι σπόροι σταυρανθών σε αρχαία Κινεζικά χωριά χρονολογούνται από το 4000 και 5000 π.Χ. και στο Πακιστάν από το 2000 π.Χ.. Επιπλέον, ο Ιπποκράτης και ο Πυθαγόρας κατέγραψαν τη χρήση της μουστάρδας ως μπαχαρικό, αλλά χρησιμοποιήθηκε και ως φάρμακο έναντι του δηλητηρίου του σκορπιού. Στη συνέχεια τα σταυρανθή συνέχισαν τη διεθνή διάδοσή τους και μάλιστα οι πρώτοι Αμερικανοί έποικοι έφεραν είδη σταυρανθών από την Ευρώπη στο Jamestown της Βιρτζίνια (Ρεβέλου, 2018). Σήμερα τα σταυρανθή λαχανικά *Brassicaceae* διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό στη Μεσογειακή Ευρώπη, την Ασία και τη Βόρεια Αμερική (Šamec & Salopek-Sondi, 2019).

1.2 Βοτανική Προέλευση

Ο Σουηδός βοτανολόγος, Κάρολος Λινναίος, τον 18^ο αιώνα ονόμασε έτσι τα σταυρανθή λαχανικά εξαιτίας των τεσσάρων ίσου μεγέθους πετάλων στα λουλούδια τους που σχηματίζουν ένα σταυρό. Τα σταυρανθή λαχανικά ανήκουν στην βοτανική οικογένεια *Brassicaceae*, στην τάξη *Brassicales* (*Capparales*). Μέσα σε αυτή την τάξη υπάρχουν 17 οικογένειες¹ οι οποίες περιέχουν γλυκοζινολίτες. Τα *Brassicaceae* είναι

¹ Πίνακας Ι

μια μεγάλη οικογένεια, με περίπου 3000 είδη σε 350 γένη², που συμπεριλαμβάνουν πολλά είδη βρώσιμων φυτών. Πιο παλιά ονομάζονταν *Cruciferae* ή *Cruciferaeae*, και συχνά αναφέρεται ως «η οικογένεια του λάχανου» ή «η οικογένεια της μουστάρδας» (IARC Lyon, 2004).

Πίνακας I Οικογένειες Τάξης Brassicales
Akaniaceae
Bataceae
Brassicaceae
Capparaceae
Caricaceae
Cleomaceae
Emblingaceae
Gyrostemonaceae
Koeberlinaceae
Limnanthaceae
Moringaceae
Pentadiplandraceae
Resedaceae
Salvadoraceae
Setchellanthaceae
Tovarianaceae

Πηγή: (Leite & Castilho, 2017)

Τα κυριότερα καλλιεργούμενα λαχανικά τα οποία ανήκουν στην οικογένεια *Brassicaceae* είναι το λάχανο, το μπρόκολο, το κουνουπίδι, το λάχανο Βρυξελλών, η ρόκα, η ρέβα (γογγύλι), το ραπανάκι και το λάχανο της Κίνας.

Στον πίνακα II παρουσιάζονται τα κύρια σταυρανθή λαχανικά.

² Πίνακας II

Πίνακας II Επιστημονικές & Κοινές Ονομασίες Σταυρανθών Λαχανικών		
Κοινή Ονομασία	Γένος	Είδος & Ποικιλία
Κουνουπίδι	<i>Brassica</i>	<i>B. oleracea</i> var. <i>botrytis</i>
Λάχανο		<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i>
Πορτογαλικό Λάχανο		<i>B. oleracea</i> var. <i>costata</i>
Λαχανάκια Βρυξελλών		<i>B. oleracea</i> var. <i>gemmifera</i>
Kolhrabi		<i>B. oleracea</i> var. <i>gongyloides</i>
Μπρόκολο		<i>B. oleracea</i> var. <i>italica</i>
Κόκκινο Λάχανο		<i>B. oleracea</i> var. <i>rubra</i>
Λάχανο Σαβαγιάρ		<i>B. oleracea</i> var. <i>sabauda</i>
Σγουρό Λάχανο		<i>B. oleracea</i> var. <i>sabellica</i>
Λαχανίδα		<i>B. oleracea</i> var. <i>viridis</i>
Κινέζικο Λάχανο		<i>B. oleracea</i> var. <i>alboglabra</i>
Bok Choy		<i>B. rapa</i> var. <i>chinensis</i>
Turnip rape		<i>B. rapa</i> var. <i>oleifera</i>
Pe-tsai		<i>B. rapa</i> var. <i>pekinensis</i>
Γογγύλι		<i>B. rapa</i> var. <i>rapa</i>
Choi sum		<i>B. rapa</i> var. <i>parachinensis</i>
Σουηδικό Γογγύλι		<i>B. napus</i> var. <i>napobrassica</i>
Canola		<i>B. napus</i> var. <i>oleifera</i>
Λευκή Μουστάρδα		<i>B. alba</i>
Ινδική Μουστάρδα		<i>B. juncea</i>
Και Choi	<i>B. juncea</i> var. <i>rugosa</i>	
Μαύρη Μουστάρδα	<i>B. nigra</i>	
Ραπανάκι	<i>Raphanus</i>	<i>R. sativus</i>
Χρένο	<i>Armoracia</i>	<i>A. rusticana</i>
Νεροκάρδαμο	<i>Nasturtium</i>	<i>N. officinalis</i>
Κάρδαμο κήπου	<i>Lepidium</i>	<i>L. sativum</i>
Ρόκα	<i>Eruca</i>	<i>E. vesicaria</i>
Wasabi	<i>Wasabia</i>	<i>W. japonica</i>
Crambe	<i>Crambe</i>	<i>C. abyssinica</i>

Πηγή: (IARC Lyon, 2004)

1.3 Βοτανική Περιγραφή-Χαρακτηριστικά

1.3.1 Λάχανο (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)



Εικόνα 1. Ανεπτυγμένο Λάχανο

Το λάχανο (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) είναι ένα υποείδος του γένους *Brassica*. Πρωτοκαλλιεργήθηκε στη χώρα μας το 600 π.Χ., ονομάστηκε και ως «κράμβη» από τον Θεόφραστο (διάδοχος του Αριστοτέλη). Χρησιμοποιούταν από τους Αρχαίους Έλληνες, πέρα από τροφή και ως φάρμακο για την βαρηκοΐα, τους πονοκεφάλους, τα στομαχικά προβλήματα κ.ά.. Ύστερα, έγινε γνωστό από τους αρχαίους Ρωμαίους, οι οποίοι χάρη στο λάχανο, έζησαν υγιείς για 600 χρόνια χωρίς τους γιατρούς.

Σήμερα, οι *Chiang et al*, κατατάσσουν το λάχανο ως ένα από τα σπουδαιότερα λαχανικά στον κόσμο και μάλιστα, στη χώρα μας καλλιεργείται περίπου 75.000 στρέμματα με παραγωγή 200.000 τόνων.

Το λάχανο είναι ένα φυτό γρήγορης ανάπτυξης, ποώδες με επιφανειακό ριζικό σύστημα (12,5 - 30 εκ.) (Θανόπουλος, 2008). Ήταν μονοετές αλλά κατά την εξελικτική του πορεία αφού απέκτησε κεφαλή έγινε διετές, δηλαδή σε περιοχές με ήπιο χειμώνα σχηματίζει άνθη τον δεύτερο χρόνο. Οι ιδανικές θερμοκρασίες ανάπτυξης είναι 10-15 °C ενώ το ανθικό στέλεχος αναπτύσσεται σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Στην αρχή, το φυτό αναπτύσσει μια ροζέτα, η οποία αυξάνεται για δυο μήνες, ύστερα σχηματίζεται η κεφαλή μέσω των άμισχων φύλλων που καλύπτουν τον ακραίο οφθαλμό. Μετά το στάδιο της εαρινοποίησης, ο ακραίος οφθαλμός αναπτύσσεται σε ανθοφόρο στέλεχος και το γεγονός αυτό οδηγεί στο σκάσιμο της κεφαλής. Τα άνθη του λαχανικού που εμφανίζονται σε ταξιανθίες βότρυ έχουν σχήμα σταυρού και τέσσερα σέπαλα και τέσσερα κίτρινα πέταλα. Επίσης, εμφανίζουν τέσσερις μακρούς και δυο κοντούς στήμονες (συνολικά έξι) και μια ωοθήκη με δυο καρπόφυλλα (Κουτσός, 1997).



Εικόνα 2. Καλλιέργεια λάχανου

Το έδαφος που καλλιεργείται το λάχανο πρέπει να είναι μέσης σύστασης, πλούσιο σε οργανικές ουσίες, να είναι γόνιμο και να διαθέτει υγρασία. Επιπλέον θα πρέπει να έχει τιμή pH τουλάχιστον 6-6,5 αλλιώς επηρεάζονται τα ιχνοστοιχεία του φυτού.

Όσον αφορά τον τρόπο καλλιέργειας οι σπόροι τοποθετούνται σε 1 εκ. στο έδαφος και η ιδανικότερη θερμοκρασία για την βλάστησή τους είναι μεταξύ 20-30 °C. Επίσης, οι αποστάσεις που θα πρέπει να τηρούνται είναι μεταξύ των γραμμών φύτευσης 70 εκ. και μεταξύ των λαχανιών πάνω στην γραμμή 50 εκ.

Υπάρχουν πολλοί τύποι λαχανικών οι οποίοι εμφανίζουν διαφορές ως προς την διάρκεια του βιολογικού κύκλου και είναι κατάλληλες για καλοκαιρινή καλλιέργεια (πρώιμη παραγωγή), φθινοπωρινή (μεσοπρώιμη παραγωγή) και χειμωνιάτικη (όψιμη παραγωγή) (Θανόπουλος, 2008). Επίσης, διαφέρουν ως προς το σχήμα και το χρώμα της κεφαλής, τα οποία διακρίνονται σε άσπρα, κόκκινα και τύπου Σαβοΐας (Tsao & Lo, 2005; Θανόπουλος, 2008).



Εικόνα 3. Διάφοροι τύποι λάχανου

1.3.2 Μπρόκολο (*Brassica oleracea* var. *Italica*)



Εικόνα 4. Μπρόκολο

Το μπρόκολο είναι μια ετήσια καλλιέργεια που ανήκει στην οικογένεια *Brassicaceae*. Η ονομασία του προέρχεται από το ιταλικό «broccolo», το οποίο υποδηλώνει την ανθισμένη κορυφή του λάχανου. Το μπρόκολο κατάγεται από την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και εισήχθη στην Αμερική και την Αγγλία τον 17ο αιώνα και στην Κίνα στα τέλη του 1900.

Αποτελεί ένα λειτουργικό τρόφιμο με δυνατότητες για την υγεία. Μάλιστα πρόσφατα, κλινικές δοκιμές έδειξαν ότι το μπρόκολο μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη των σοβαρών συμπτωμάτων του COVID-19. Η συνολική παραγωγή του το 1999 ήταν περίπου 15,00 εκ. τόνοι και αυξήθηκε το 2019 σε περίπου 26,92 εκ. τόνους (Li et al., 2022).

Το μπρόκολο διαθέτει πλατιά, μεγάλα και σαρκώδη φύλλα και το ύψος του αναπτύσσεται από 45 έως 60 εκ., η οποία εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη ποικιλία. Επιπλέον, έχει σχετικά επιφανειακό ριζικό σύστημα 45 εκ. (Ρεβέλου, 2018).



Εικόνα 5. Καλλιέργεια Μπρόκολου

οποία είναι 75 έως 20 εκ.

Θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι, το μπρόκολο είναι παρόμοιο με το κουνουπίδι στη δομή του κεφαλιού του διότι και τα δυο σχηματίζουν ανθοκεφαλές. Η μόνη διαφορά είναι όμως ότι, το μπρόκολο σχηματίζει και μια δευτερεύουσα ανθοκεφαλή, ακανόνιστου σχήματος, στις μασχάλες των φύλλων του. Οι δευτερεύουσες έχουν μικρότερη διάμετρο από την κεντρική, η

καλό θα ήταν να αναφερθεί ότι εάν μετά την συγκομιδή, η ανθοκεφαλή παραμείνει στο έδαφος, τότε τα ανθικά στελέχη επιμηκύνονται για να δώσουν τα άνθη. Φυτά που διαθέτουν μεγάλα πράσινα φύλλα παράγουν, πάνω σε ψιλό ανθικό στέλεχος, μικρές ανθοκεφαλές.

Η διάρκεια της καλλιέργειας είναι περίπου 3 με 5 μήνες και οι βέλτιστες θερμοκρασίες για την ανάπτυξη του φυτού είναι 20-22 °C, της κεφαλής 18 °C. Τα φρέσκα μπρόκολα διατηρούνται για ένα μήνα σε θερμοκρασίες 0-4.5 °C και σχετική υγρασία 80% ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες δηλαδή 0 °C με σχετική υγρασία 95-98% διατηρούνται για δυο βδομάδες (Tsao & Lo, 2005; Ρεβέλου, 2018).



Εικόνα 6. Τύποι Μπρόκολου

1.3.3 Κουνουπίδι (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*)



Εικόνα 7. Καλλιεργημένο κουνουπίδι

Το κουνουπίδι είναι ένα φυτό ποώδες, μονοετές ή διετές. Υπάρχουν 2 τύποι κουνουπιδιού. Το ένα είναι το Ευρωπαϊκό κουνουπίδι, το οποίο πρωτοεμφανίστηκε στην Ιταλία και ύστερα σε πολλές άλλες χώρες (Γαλλία, Αγγλία, Γερμανία και Ολλανδία). Ο άλλος τύπος κουνουπιδιού είναι το Ινδικό κουνουπίδι το οποίο διαφέρει χαρακτηριστικά από τον Ευρωπαϊκό τύπο, είναι ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες και υγρασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στην Ινδία, το κουνουπίδι παίρνει το όνομά του από τον μήνα κατά το οποίο το τυρόπηγμα είναι έτοιμο για συγκομιδή (Singh et al., 2018).

Το φυτό αναπτύσσεται σε ύψος έως 80 εκ., έχει σχετικά επιφανειακό ριζικό σύστημα 45 εκ. Διαθέτει μακριά φύλλα (πιο στενά από το λάχανο) τα οποία στρέφουν προς το κέντρο του. Η ανθοκεφαλή είναι λευκού ή υποκίτρινου χρώματος στο οποίο υπάρχουν ανθικά στελέχη (Ρεβέλου, 2018).



Εικόνα 8. Κουνουπίδι

Το κουνουπίδι καλλιεργείται σχεδόν σε όλα τα χωράφια που διαθέτουν κατάλληλη ύδρευση. Πρώτα καλλιεργείται η σπορά ύστερα από 5 μήνες πραγματοποιείται η συγκομιδή. Όταν η ανθοκεφαλή φτάσει στο επιθυμητό σχήμα, αφαιρείται από το έδαφος μαζί με τα φύλλα έτσι ώστε να προστατευτεί από το φως. Επίσης, παρουσιάζει ευαισθησία στις βροχοπτώσεις και υψηλές θερμοκρασίες (Wikipedia, 2021a). Η θερμοκρασία ανάπτυξής του κυμαίνεται από 5-8°C έως 25-28°C. Ακόμη, για μερικές ημέρες, κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, μπορεί να αντέξει θερμοκρασίες από -10°C έως 40°C (Singh et al., 2018).

1.3.4 Ρέβα (*Brassica rapa var. rapa*)



Εικόνα 9. Ρέβα

Η ρέβα ή αλλιώς γογγύλι είναι ένα από τα παλιότερα καλλιεργούμενα λαχανικά που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση από τους προϊστορικούς χρόνους. Το φυτό αυτό είναι γνωστό στην Ευρώπη, ιδίως στις ψυχρότερες περιοχές της. Καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά στη βόρεια Ευρώπη ύστερα εξαπλώθηκε ανατολικά στην Κίνα και στην Ιαπωνία το 700 μ.Χ.

Τα φύλλα της ρέβας είναι ανοιχτοπράσινα, λεπτά και χνουδωτά. Στη βάση των μίσχων των φύλλων του αναπτύσσεται μια μεγάλη, σφαιρική, λευκή, ρίζα. Παράγονται επίσης διακλαδώσεις και επάνω τους συγκεντρώνονται οι ταξιανθίες τα οποία φέρουν άνθη που μπορούν να φτάσουν σε ύψους 1 μ. (Fernandes et al., 2007; Wikipedia, 2021).



Εικόνα 10. Καλλιέργεια ρέβας

Η θερμοκρασία ανάπτυξης του φυτού κυμαίνεται μεταξύ 15-18°C. Η διάρκεια καλλιέργειας από τη σπορά έως τη συγκομιδή είναι 2-3 μήνες και εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη ποικιλία. Επιπλέον μπορεί να για 1-2 μήνες μέσα σε έναν θάλαμο με σχετική υγρασία 95% για 0-1,5°C (Tsao & Lo, 2005;

Ρεβέλου, 2018).

1.3.5 Ρόκα (*Eruca sativa*)



Εικόνα 11. Καλλιέργεια ρόκας

Η ρόκα είναι χειμωνιάτικο φυτό, που ανθίζει από το Μάρτιο έως τον Ιούνιο. Το ύψος του φτάνει τα 80 χιλιοστά με βλαστούς που διακλαδίζονται. Τα άνθη της, που έχουν διάμετρο 2-4 εκατοστά, είναι λευκά με πορφυρές φλέβες ή κιτρινωπά διατεταγμένα και σχηματίζουν ταξιανθίες (Wikipedia, 2020). Τα φύλλα της είναι πτεροειδή

και ο καρπός είναι μικρός και κωνικός, ραμφοειδής και φέρει σπόρια ωσειδή, κίτρινου χρώματος. Ο βλαστός και τα φύλλα της ρόκας τρώγονται σε πολλές σαλάτες και σε μερικές χώρες μαγειρεύονται. Ευδοκιμεί στα περισσότερα εδάφη με μικρή αντοχή στο pH (6-7) και καλλιεργείται για τα μικρά της φύλλα (Ρεβέλου, 2018). Η άγρια ρόκα έχει πιο πιπεράτη γεύση και πιο έντονο άρωμα σε σχέση με τη καλλιεργούμενη. Από τα σπόρια του φυτού συλλέγεται ένα ελαφρώς καυστικό έλαιο που χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική.

1.3.6 Ρεπάνι (*Raphanus sativus*)



Εικόνα 12. Ρεπάνι

Το ρεπάνι ή αλλιώς ραπανάκι είναι ένα λαχανικό ρίζας που καλλιεργείται και καταναλώνεται σε όλο τον κόσμο και θεωρείται μέρος της ανθρώπινης διατροφής, αν και δεν είναι τόσο συνηθισμένο σε ορισμένους πληθυσμούς. Συνήθως, οι άνθρωποι τρώνε ραπανάκια ωμά ως τραγανό λαχανικό, κυρίως σε σαλάτα, ενώ εμφανίζεται επίσης σε

πολλά ευρωπαϊκά πιάτα. Μερικοί άνθρωποι, τουλάχιστον στη Μέση Ανατολή, προτιμούν να πίνουν το χυμό τους, καθώς αυτό έχει πολλά οφέλη για την υγεία. Τα ραπανάκια έχουν διαφορετικά χρώματα (κόκκινο, μοβ, μαύρο, κίτρινο και λευκό), ενώ η σάρκα του είναι συνήθως λευκή. Επιπλέον, η βρώσιμη ρίζα του ραπανιού ποικίλλει στη γεύση, στο μέγεθος και μήκος σε όλο τον κόσμο. Στην Ουνάνι, την Έλληνο-αραβική και την ινδική λαϊκή ιατρική, το ραπανάκι χρησιμοποιείται ως οικιακή θεραπεία για τη θεραπεία πολλών ασθενειών όπως ο ίκτερος, χολόλιθος, ασθένειες συκωτιού, ορθική πρόπτωση, δυσπεψία, και άλλοι γαστρικοί πόνοι

(Banihani, 2017). Το ρεπάνι είναι ένα ανθεκτικό λαχανικό στις χαμηλές θερμοκρασίες και η γεύση τους είναι ήπια αλλά καυστική (Ρεβέλου, 2018). Η σπορά των ρεπανιών αρχίζει από την άνοιξη και συνεχίζεται κάθε 10 μέρες για να υπάρχει συνεχής παραγωγή. Όταν αποκτήσουν το κατάλληλο μέγεθος, τότε ξεριζώνονται και στέλνονται στο εμπόριο. Το ρεπάνι προτιμά κλίμα δροσερό και απαλλαγμένο από τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Στις ψυχρές περιοχές δεν καλλιεργείται τους μήνες με τις χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ στις θερμές περιοχές πρέπει να προστατεύεται από τους θερμούς και ξηρούς ανέμους γιατί υποβαθμίζουν την ποιότητα της γογγυλόριζας.

1.3.7 Νεροκάρδαμο (*Nasturtium officinale*)



Εικόνα 13. Νεροκάρδαμο

Το νεροκάρδαμο είναι ένα φυτό που αναπτύσσεται γρήγορα, υδρόβιο και πολυετές φυτό της χειμερινής περιόδου. Εάν δεν γίνει συγκομιδή, το ύψος του αυξάνεται από 50 έως 120 εκατοστά. Τα φύλλα του μπορούν να αποθηκευτούν φρέσκα για κάποιο χρονικό διάστημα. Σε περίπτωση λάθος χειρισμού, μετά τη συγκομιδή τα φύλλα του γίνονται κίτρινα και γλοιώδη. Είναι πολύ ευαίσθητο και για αυτό απαιτούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την ψύξη του. Διατηρείται στους 0°C με σχετικά υψηλή υγρασία (95-100%) για περίπου 3-4 ημέρες (Ρεβέλου, 2018).

1.3.8 Bok choy (*Brassica rapa var. chinensis*)



Εικόνα 14. Bok Choy

Το Μποκ Τσόϊ είναι ένας τύπος κινέζικου λάχανου, που ως συνήθως χρησιμοποιείται σαν φαγητό, είναι το πιο δημοφιλές λαχανικό στην Κίνα, πρόσφατα όμως απέκτησε μεγάλη δημοτικότητα σε ΗΠΑ, Καναδά και Ευρώπη λόγω της εξάπλωσης της Κινέζικης κουζίνας (Wikipedia, 2022). Είναι ένα κοντό πράσινο φυτό που φτάνει τα 30-45 εκατοστά σε ύψος με φύλλα που

μοιάζουν με μαρούλι με κοντά, επίπεδα και μυτερά φύλλα. Η γεύση του θυμίζει το σπανάκι είναι όμως ελαφρώς πιο γλυκιά και πικάντικη. Οι σπόροι του Μποκ Τσόϊ φυτεύονται στις αρχές της άνοιξης και είναι ανθεκτικό στις χαμηλές θερμοκρασίες.

1.3 Θρεπτικά Συστατικά Σταυρανθών Λαχανικών

Τα κύρια θρεπτικά συστατικά των σταυρανθών λαχανικών είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και οι βιταμίνες (Πίνακας III). Η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες, κυμαίνεται μεταξύ 1,0 – 3,3% (w/w) νωπού βάρους. Εντούτοις, τα σταυρανθή λαχανικά περιέχουν 1,0% λίπος. Το γεγονός αυτό τα καθιστά σημαντικό και έτσι συστήνονται σχεδόν από όλους τους διατροφολόγους. Επίσης, αποτελούν καλή πηγή υδατανθράκων η οποία κυμαίνεται από 0,3 – 10% (w/w) νωπού βάρους. Όσον αφορά τα φαινολικά συστατικά η συνολική περιεκτικότητά τους κυμαίνεται μεταξύ 9,92 – 82,90mg/100g νωπού βάρους (Manchali et al., 2012).

Τα σταυρανθή λαχανικά είναι πλούσια σε βιταμίνες A, B, C, και K (Πίνακας IV). Ενώ περιέχουν μικρές ποσότητες βιταμίνης E και πολύ λίγες ή σχεδόν καθόλου βιταμίνες B7 (βιοτίνη) και B12 (κοβαλαμίνη). Η βιταμίνη που δεν περιέχεται σε κανένα σταυρανθή λαχανικό είναι η βιταμίνη D (Σάββας, 2016).

Πίνακας III Θρεπτικά Συστατικά Σταυρανθών Λαχανικών (g/100 g φρέσκο βάρος)				
Σταυρανθή Λαχανικά	Πρωτεΐνες	Ίνες	Λίπος	Υδατάνθρακες
Ρόκα	2,58	1,60	0,66	3,65
Bok Choy	1,42	1,42	0,00	2,85
Μπρόκολο	2,82	30,40 ¹	0,37	6,64
Λαχανάκια Βρυξελλών	2,55	26,94 ¹	0,51	8,67
Λάχανο	1,53 (πράσινο)	23,24 ¹	0,00	6,00
	0,97 (κόκκινο)			
Κουνουπίδι	29,9*	26,70 ¹	0,45 ²	4,11 ²
Κινέζικο Λάχανο	1,50	1,00	0,20	2,20
Daikon	<2,00	<2,00	0,00	4,00
Kale	3,28	1,94	0,74	10,0
Kohlrabi	1,70	3,62	0,07	6,22
Ραπανάκι	0,68	37,40 ¹	0,08	3,45
Γαρύφαλα	0,90	1,76	0,10	6,43
Νεροκάρδαμο	3,00	1,50	1,00	0,35

¹Ξηρό Βάρος ²Βρασμένο

Πίνακας IV Βιταμίνες Σταυρανθών Λαχανικών

Σταυρανθή Λαχανικά	A(UI) ¹	B1(mg) ²	B2(mg) ³	B3(mg) ⁴	B6(mg) ⁵	B9(mg) ⁶	C(mg) ⁷	E(mg) ⁷	K(μg) ⁸
Μπρόκολο	660	0,07	0,12	0,64	0,18	63,0	89,2	0,78	101,6
Λάχανο	171	0,05	0,04	0,30	0,10	43,0	32,2	0,15	76,0
Λαχανάκια Βρυξελλών	754	0,41	0,09	0,75	0,22	61,0	85,0	0,38	1,60
Κουνουπίδι	13,0	0,06	0,06	0,53	0,22	57,0	46,4	0,08	15,5
Ραπανάκι	7,00	0,01	0,04	0,25	0,07	25,0	14,8	-	1,3
Ρέβα	36,0	0,05	0,02	0,04	0,15	16,0	62,0	0,48	0,10

¹A: ρετινόλη, ²B1: θειαμίνη, ³B2: ριβοφλαβίνη, ⁴B3: νιασίνη, ⁵B6: πυριδοξίνη, ⁶B9: φυλλικό ή φολικό οξύ, ⁷C: ασκορβικό οξύ, ⁸E: τοκοφερόλη, ⁹K: φυλλοκινόνη

Τα μακροθρεπτικά συστατικά των σταυρανθών λαχανικών είναι: ο φώσφορος, το κάλιο, το μαγνήσιο, το νάτριο και το ασβέστιο τα οποία παρατίθενται στον Πίνακα V.

Πίνακας V Μακροθρεπτικά Συστατικά Σταυρανθών Λαχανικών (mg/g νωπού βάρους)

Σταυρανθή Λαχανικά	Φώσφορος	Κάλιο	Μαγνήσιο	Νάτριο	Ασβέστιο
Ρόκα	0,50	3,70	0,45	0,25	1,60
Bok Choy	0,37	2,50	0,19	0,92	1,06
Μπρόκολο	0,66	3,17	0,21	0,33	0,47
Βλαστάρια Βρυξελλών	0,69	3,89	0,23	0,25	0,42
Λάχανο	0,23	2,46	0,15	0,18	0,47
Κουνουπίδι ¹	0,44	3,03	0,15	0,30	0,22
Κινέζικο Λάχανο	0,37	2,51	0,19	0,65	1,05
Ραπανάκι	0,23	2,27	0,16	0,21	0,27
Kale	0,56	4,46	0,34	0,43	1,35
Kohlrabi	0,46	3,34	0,19	0,20	0,24
Νεροκάρδαμο	0,60	3,30	0,20	0,40	1,20

¹Περιέχει 0.001 μg/g φθορίου

Ο σίδηρος, το σελήνιο, ο χαλκός, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος αποτελούν τα μικροθρεπτικά συστατικά (Πίνακας VI).

**Πίνακας VI Μικροθρεπτικά Συστατικά Σταυρανθών Λαχανικών
(μg/g νωπού βάρους)**

Σταυρανθή Λαχανικά	Σίδηρος	Σελήνιο	Χαλκός	Μαγγάνιο	Ψευδάργυρος
Ρόκα	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
Βοκ Choy	8,00	-	-	1,42	1,00
Μπρόκολο	7,70	0,025	-	2,20	4,40
Βλαστάρια Βρυξελλών	14,00	0,016	1,10	3,40	4,50
Λάχανο	5,60	0,009	0,22	1,50	1,70
Κουνουπίδι ¹	4,00	0,006	-	2,00	0,30
Κινέζικο Λάχανο	8,50	0,004	-	1,40	1,40
Ραπανάκι	4,10	0,007	1,20	0,30	1,50
Kale	16,00	0,009	3,00	7,50	0,45
Kohlrabi	3,70	0,007	1,50	1,50	0,00
Γαρύφαλλο (πράσινο)	10,00	0,013	3,60	5,40	1,80
Νεροκάρδαμο	3,00	0,009	0,00	3,00	0,00

¹Περιέχει 0.001 μg/g φθορίου



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

Η διαδικασία της ξήρανσης αποτελεί μια από τις παλαιότερες και περισσότερο γνωστές μεθόδους διατήρησης των τροφίμων και η αξία που απέκτησε οδήγησε την ανθρωπότητα στην εξέλιξη της διαδικασίας αυτής. Η ξήρανση τροφίμων αναφέρεται στην απομάκρυνση υγρασίας και άλλων επιβλαβών στοιχείων και αποτελεί ένα σημαντικό στάδιο κατεργασίας των τροφίμων, καθώς στοχεύει αφενός στην παρεμπόδιση των ανεπιθύμητων ενζυμικών και μικροβιακών δράσεων με τη διατήρηση της υγρασίας σε χαμηλά επίπεδα και αφετέρου διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα κατά την μεταφορά και την αποθήκευση των τροφίμων (Κυρανούδης, 1992). Κατά συνέπεια, ο κύριος σκοπός της ξήρανσης είναι να παραταθεί η ζωή του προϊόντος στο ράφι μέσω της μείωσης της κυτταρικής δραστηριότητας του νερού και ταυτόχρονα, η μείωση του αρχικού όγκου του προϊόντος (Xu et al., 2022). Πολλοί επιστήμονες θέλοντας να αναφερθούν λεπτομερώς στη συγκεκριμένη διαδικασία, συχνά χρησιμοποιούν τον όρο «ξηράνση» για να περιγράψουν τη βιολογική διαδικασία απομάκρυνσης του νερού με την έκθεση του τροφίμου στον ήλιο (Brennand, 1994) και «αφυδάτωση» ως την τεχνητή ξήρανση κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (Potter & Hotchkiss, 1998). Η διεργασία της ξήρανσης διαφέρει από αυτή της εξάτμισης καθώς αναφέρεται στην απομάκρυνση υγρασίας από στερεά. Η εξήγηση και ο ρόλος των ξηραντήρων απεικονίζεται στα περισσότερα συγγράμματα φυσικών διεργασιών (McCabe et al., 2003). Υπάρχουν μερικοί εμπειρικοί κανόνες που ακολουθούνται κατά τις διεργασίες της ξήρανσης λαχανικών με σκοπό την επίτευξη των ποιοτικών προδιαγραφών που απαιτούνται (Van & Copley, 1964). Για παράδειγμα, πριν τη διαδικασία της ξήρανσης, όλα τα λαχανικά κατεργάζονται εν θερμώ, έτσι ώστε να απενεργοποιηθούν τα ενζυματικά συστήματα που περιέχουν. Μια ακόμα σημαντική λεπτομέρεια είναι ότι μερικά τρόφιμα έχουν αξιοσημείωτη σταθερότητα αν γίνει προ κατεργασία με θειούχες ενώσεις πριν την ξήρανση, όπου στην περίπτωση των λαχανικών η σταθερότητα αυτή επιτυγχάνεται με πολύ χαμηλή τελική υγρασία (4% w.b. ή και χαμηλότερη). Τέλος, μια ακόμη παρατήρηση αποτελεί η προσθήκη αφυδατικού μέσου στη συσκευασία του τελικού προϊόντος, το οποίο προστατεύει από την πιθανή μη-ενζυμική αμαύρωση των ξηρών λαχανικών, καθώς ρυθμίζει την τιμή της υγρασίας του χώρου σε απαγορευτικά επίπεδα για την

ανάπτυξη αυτών των δράσεων. Η ξήρανση των λαχανικών πραγματοποιείται κυρίως με ξηραντήρες μεταφορικής ταινίας, οι οποίοι αποτελούνται από ξεχωριστά τμήματα που διαφοροποιούνται μεταξύ τους από την ταχύτητα της μεταφορικής ταινίας. Τα κομμάτια του προς ξήρανση υλικού τοποθετούνται στην μεταφορική ταινία του ξηραντήρα και στη συνέχεια, έρχονται σε επαφή με το ζεστό αέρα που κυκλοφορεί στο θάλαμο. Με αυτό τον τρόπο, απομακρύνεται η υγρασία του λαχανικού και συγχρόνως θερμαίνεται. Η ρύθμιση της υγρασίας του χώρου ξήρανσης εξασφαλίζεται με την είσοδο φρέσκου αέρα χαμηλής υγρασίας από το περιβάλλον. Οι συνθήκες της ξήρανσης αφορούν την τελική περιεκτικότητα του ξηρού προϊόντος σε υγρασία, την θερμοκρασία που πρέπει να βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον και την αποφυγή αύξησης της θερμοκρασίας του προϊόντος το οποίο θα επιφέρει την θερμική του αλλοίωση και έτσι την ποιοτική υποβάθμιση του.

Υπάρχουν μερικά αξιοσημείωτα θετικά, αλλά και κάποια αρνητικά στοιχεία που κάνουν τη διαδικασία της ξήρανσης να αποτελεί μια από τις πιο ουσιαστικές διαδικασίες στην επεξεργασία των λαχανικών. Ένα από τα πιο βασικά θετικά του χαρακτηριστικά είναι η σταθερότητα αποθήκευσης που προσφέρει η συγκεκριμένη διαδικασία το οποίο έχει ως συνέπεια την ελαχιστοποίηση της απαίτησης συσκευασίας και τη μείωση του βάρους μεταφοράς. Επιπλέον, στοχεύει στην παραγωγή των προϊόντων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά χρήσεως όπως ευδιαλυτότητα και ταχεία ενυδάτωση. Ένα χαρακτηριστικό που μπορεί να θεωρηθεί ως ελάττωμα είναι το γεγονός ότι το αφυδατωμένο λαχανικό φτάνει με μεγάλη ποικιλία στον καταναλωτή, κάτι που κάνει τη διαδικασία της ξήρανσης απαιτητική αφού το προϊόν φτάνει σε αυτόν με υψηλές προδιαγραφές πράγμα το οποίο είναι χρονοβόρο και επιφέρει ολοένα και υψηλότερες απαιτήσεις. Μερικές από αυτές τις απαιτήσεις αποτελούν το ικανοποιητικό επίπεδο υγρασίας, η διατήρηση της θρεπτικής αξίας, το χαμηλό κόστος παραγωγής και η σταθερή ποιότητα.

Παλαιότερα, οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τον ήλιο και τον άνεμο για την φυσική ξήρανση των τροφίμων. Η εμπειρία χιλιάδων ετών και η σύγχρονη έρευνα οδήγησαν σε διάφορες μεθόδους ξήρανσης όπου κάθε μία από αυτές έχει τα δικά της χαρακτηριστικά (Jin, 2013).

Η τελική αξιολόγηση για την επιλογή μιας μεθόδου ξήρανσης θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- τη δυναμικότητα παραγωγής
- την αρχική περιεκτικότητα του προϊόντος σε υγρασία
- την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων
- τα χαρακτηριστικά ξήρανσης του προϊόντος
- τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία του προϊόντος
- τα χαρακτηριστικά της μεθόδου (π.χ. ξήρανση με ψεκασμό ή ξήρανση σε ρευστή κλίνη)
- τις ισόθερμες υγρασίας
- τα φυσικά δεδομένα του υλικού (Vega-Mercado et al., 2001).

2.1 Ξήρανση με κατάψυξη

Η ξήρανση υπό κατάψυξη γίνεται με εξάχνωση του πάγου όταν το τρόφιμο είναι κατεψυγμένο. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης δημιουργούνται τάσεις ατμών οι οποίοι διασπώνται μεταξύ του πάγου στο εσωτερικό του τροφίμου και του περιβάλλοντος. Ο ατμός αυτός απομακρύνεται από την επιφάνεια του τροφίμου χωρίς να λιώνει ο πάγος στο εσωτερικό του. Στη πορεία της ξήρανσης εμφανίζονται κάποιες επιφανειακές δυνάμεις οι οποίες όμως δεν προκαλούν συρρίκνωση. Όταν το τρόφιμο καταψύχεται, το νερό στο εσωτερικό μέρος του (που είναι σε ελεύθερη ή σε μορφή κολλοειδούς διαλύματος) αρχικά, μετατρέπεται σε πάγο και ύστερα όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει το σημείο υαλώδους μετάπτωσης γίνεται κρυστάλλωση των πυκνών ευτηκτικών διαλυμάτων. Από την επιφάνεια του τροφίμου, πρώτα εξαχνώνονται οι κρύσταλλοι του πάγου και μετά των ευτηκτικών διαλυμάτων (λόγω του ότι έχουν μικρότερη πίεση ατμών). Αξίζει να σημειωθεί ότι, το φαινόμενο της συρρίκνωσης είναι αμελητέο ενώ η εξάχνωση του νερού αφήνει μια πορώδη δομή.

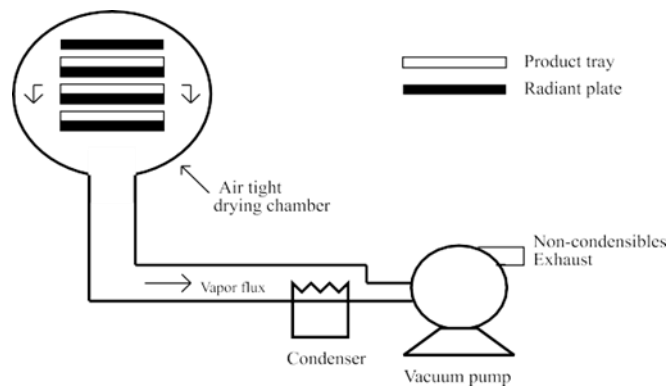
Η ξήρανση υπό κατάψυξη απαιτεί υψηλό κενό μεταξύ 0.1 και 2 mmHg, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξασφάλιση της χαμηλής θερμοκρασίας στο χώρο του υψηλού

κενού. Αξίζει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη θερμοκρασία διεπιφάνειας εξάχνωσης η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του πάγου έτσι ώστε να παρέχεται η κατάλληλη θερμότητα εξάχνωσης αλλά δεν πρέπει να είναι τόσο υψηλή ώστε να προκαλεί τήξη σε κάποιο σημείου του τροφίμου. Επίσης, η πίεση του χώρου πρέπει να είναι μικρότερη από την πίεση στη διεπιφάνεια εξάχνωσης ώστε να προάγεται η ροή ατμών από το εσωτερικό του τροφίμου στην επιφάνεια και ύστερα στην αντλία κενού (Κροκίδα, 1999). Συνήθως η κατάψυξη ενός προϊόντος γίνεται αρκετά γρήγορα ώστε να μην συμβεί κάποια κατάσταση ισορροπίας στην πορεία της διαδικασίας. Με λίγα λόγια η δομή του κατεψυγμένου προϊόντος οφείλεται όχι μόνο στα συστατικά του αλλά και σε μεγάλο βαθμό από τον ρυθμό κατάψυξης και την θερμοκρασία που σημειώνεται στο τέλος της διαδικασίας κατάψυξης. Γενικότερα κατά τη διαδικασία αργής κατάψυξης οι πυρήνες έχουν χρόνο να αναπτύσσονται και το διάλυμα μεταξύ των παγοκρυστάλλων γίνεται όλο και πιο συμπυκνωμένο. Αντίθετα στην ταχεία κατάψυξη μπορούν να αναπτυχθούν μόνο μικροί κρύσταλλοι (Oetjen, 2012).

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα:

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της ξήρανσης υπό κατάψυξη είναι ότι πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να διατηρείται το αρχικό χρώμα, άρωμα και η γεύση του τροφίμου και αποφεύγεται η απώλεια θρεπτικών συστατικών. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τρόφιμα ευαίσθητα στη θερμότητα. Επίσης, τα αποξηραμένα τρόφιμα που έχουν υποστεί ξήρανση υπό κατάψυξη μπορούν να ανασυσταθούν με γρήγορη ταχύτητα ενυδάτωσης.

Από την άλλη όμως η μέθοδος είναι χρονοβόρα και αρκετά δαπανηρή διότι απαιτεί μεγάλο κόστος σε ενέργεια (για την κατάψυξη των προϊόντων, την εξάχνωση και την θέρμανση) (Liu et al., 2022). Η ξήρανση με κατάψυξη αποτελεί την πιο πολύπλοκη και δαπανηρή διαδικασία συντήρησης τροφίμων από όλες τις μεθόδους ξήρανσης. Ωστόσο είναι και ο μόνος τρόπος ώστε να διατηρηθούν πολλά φαρμακευτικά προϊόντα στις αρχικές τους ιδιότητες για ορισμένο χρονικό διάστημα ακόμα και σε θερμοκρασίες δωματίου και άνω.



Εικόνα 15. Ξήρανση με κατάψυξη

Πηγή: (Liapis & Marchello, 1984)

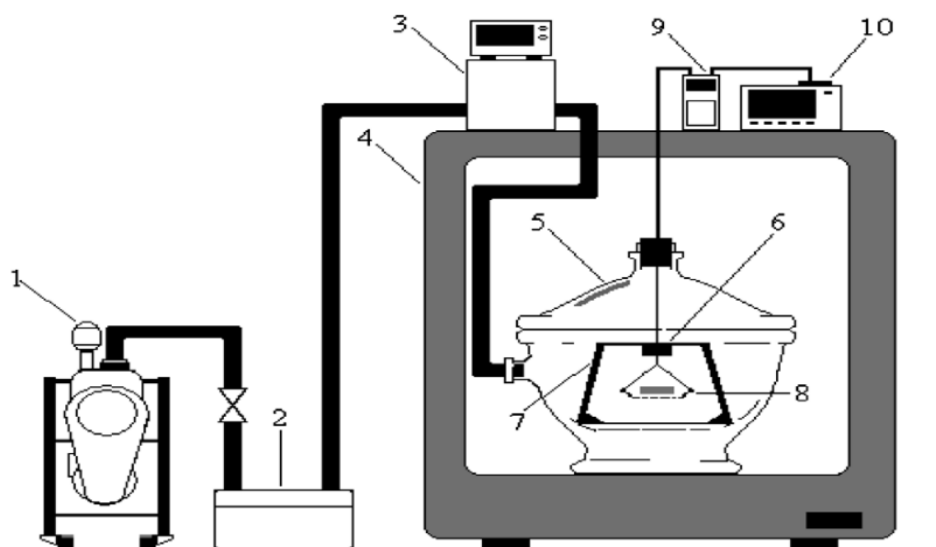
2.2 Ξήρανση υπό κενό

Η ξήρανση υπό κενό είναι μια βιώσιμη τεχνολογία που χρησιμοποιείται με επιτυχία πολλά χρόνια στη βιομηχανία τροφίμων. Είναι μια διαδικασία κατά την οποία τα τρόφιμα ξηραίνονται σε περιβάλλον χαμηλής πίεσης, το οποίο μειώνει τη θερμότητα που απαιτείται για την ταχεία ξήρανση. Προσφέρει ξήρανση σε χαμηλές θερμοκρασίες θερμοευαίσθητων υλικών και είναι κατάλληλη για ανάκτηση διαλυτών από στερεά προϊόντα που περιέχουν διαλύτες. Η θερμότητα παρέχεται συνήθως με τη διέλευση ατμού ή ζεστού νερού μέσω κοίλων ραφιών και υπάρχει η δυνατότητα να ελεγχθούν προσεκτικά οι θερμοκρασίες ξήρανσης. Το τρόφιμο στο μεγαλύτερο μέρος της ξήρανσης παραμένει στο σημείο βρασμού του διαβρεκτικού παράγοντα. Οι χρόνοι ξήρανσης είναι μεγάλοι, συνήθως περίπου 12 έως 48 ώρες. Η μέθοδος αυτή θεωρείται έμμεσης θέρμανσης διότι, όταν το τρόφιμο έρχεται σε επαφή με την θερμαινόμενη επιφάνεια του ξηραντήρα, η θερμότητα μεταφέρεται στο τρόφιμο, ξηραίνοντάς το, μέσω αγωγιμότητας.

Το ανώτερο όριο θερμοκρασίας ενός ξηραντήρα υπό κενό είναι περίπου 600 °F (χαμηλότερο από έναν ξηραντήρα άμεσης θέρμανσης). Ο ρυθμός με τον οποίο μπορεί να αυξηθεί η θερμοκρασία του τροφίμου σε έναν ξηραντήρα κενού είναι περιορισμένος επειδή περιορίζεται από την επιφάνεια που είναι διαθέσιμη για μεταφορά θερμότητας.

Πλεονεκτήματα:

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ξήρανσης υπό κενό είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την ξήρανση, έτσι μειώνεται το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος που συνδέεται με την ξήρανση ενός τροφίμου για αποθήκευση ή πώληση. Η διαδικασία ξήρανσης υπό κενό τείνει να λειτουργεί ταχύτερα από τις άλλες μεθόδους αυτό οδηγεί στη μείωση του χρόνου επεξεργασίας, κάτι που μπορεί να είναι σημαντικό σε ορισμένες εγκαταστάσεις όπου τα προϊόντα μεταφέρονται γρήγορα. Επίσης, αποτελεί την λιγότερο επιζήμια διαδικασία ξήρανσης. Αυτό σημειώνεται ως ένα πλεονέκτημα διότι τείνει να διατηρεί την ακεραιότητα του αρχικού τροφίμου χωρίς να το καταστρέφει με την θερμότητα (Parikh, 2015).



1. Αντλία Κενού 2. Παγίδα Ψύξης, 3. Μονάδα Ελέγχου Κενού, 4. Φούρνος Ξήρανσης Με Εξαναγκασμένη Συναγωγή, 5. Γυάλινος Ξηραντήρας, 6. Κυψελίδα Φορτίου, 7. Πλαίσιο Στήριξης, 8. Υποδοχή Δείγματος Με Συρμάτινο Πλέγμα, 9. Ενισχυτής Οργάνων και 10. Καταγραφέας δεδομένων.

Εικόνα 16. Ξήρανση υπό κενό

Πηγή: (Wu et al., 2007)

2.3 Ξήρανση με μικροκύματα

Η θέρμανση – ξήρανση με μικροκύματα εκμεταλλεύεται την πόλωση που λαμβάνει χώρα σε μοριακό και ατομικό επίπεδο. Παρατηρείται κατά την απορρόφηση

ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με συχνότητα 300MHz και 300GHz. Υπάρχουν τρεις διαθέσιμες συχνότητες για την τεχνολογία μικροκυμάτων :

(α) 915 MHz που χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις λόγω τεχνικών επιπλοκών

(β) 2,45 GHz που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο σε οικιακούς φούρνους μικροκυμάτων

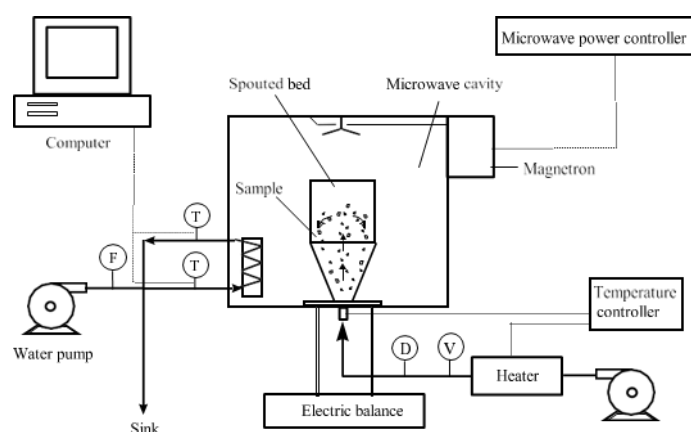
(γ) 28 – 30 GHz που δεν είναι εφικτή σε μεγάλη βιομηχανική κλίμακα αλλά αποτελεί εναλλακτική λύση χαμηλού κόστους (Vega-Mercado et al., 2001).

Ωστόσο, οι περισσότερες εφαρμογές με τη μέθοδο ξήρανσης με μικροκύματα χρησιμοποιούν μικροκύματα στα 915 – 2450 MHz. Για την απορρόφηση της ενέργειας των μικροκυμάτων από ένα τρόφιμο απαραίτητη προϋπόθεση είναι να περιέχει δίπολα συστατικά. Μέσα σε ένα φούρνο μικροκυμάτων, όταν το τρόφιμο εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα δίπολα του νερού που βρίσκονται σε τυχαίες θέσεις, λόγω του ηλεκτρικού πεδίου, ευθυγραμμίζονται. Με την υποχώρηση του πεδίου, τα δίπολα επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και στο σημείο ξαναεπαναλαμβάνεται η διαδικασία επειδή το πεδίο επαναδημιουργείται με αντίθετη πολικότητα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με συχνότητα περίπου ένα δισεκατομμύριο φορές το δευτερόλεπτο και έτσι (στο εσωτερικό μέρους του τροφίμου) τα μόρια του νερού δονούνται συνεχώς. Αξίζει να αναφερθεί ότι, παρατηρείται μια μετατροπή μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας του πεδίου και δυναμικής ενέργειας του τροφίμου. Με αποτέλεσμα η δυναμική ενέργεια να μετατρέπεται σε κινητική ή θερμική ενέργεια το οποίο θερμαίνει τα μόρια του τροφίμου. Η παραγόμενη θερμότητα με τη βοήθεια των μηχανισμών συναγωγής μεταφέρεται σε όλη τη μάζα του τροφίμου. Έτσι, μειώνεται σημαντικά ο χρόνος που απαιτείται για την ξήρανση με στόχο την βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος (Κροκίδα, 1999).

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα:

Η μέθοδος ξήρανσης με μικροκύματα παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα όπως: η ταχύτητα ξήρανσης είναι γρήγορη και πραγματοποιείται σε σύντομο χρόνο,

θερμαίνει ομοιόμορφα το τρόφιμο με υψηλή ποιότητα τέλος, έχει χαμηλό λειτουργικό κόστος. Από την άλλη παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα όπως: έχει υψηλό αρχικό κόστος για στεγνωτήρια βιομηχανικής κλίμακας, μερική απώλεια αρώματος και μπορεί να επηρεαστεί η υφή του προϊόντος.



Εικόνα 17. Ξήρανση με μικροκύματα

Πηγή: (Feng et al., 1999)

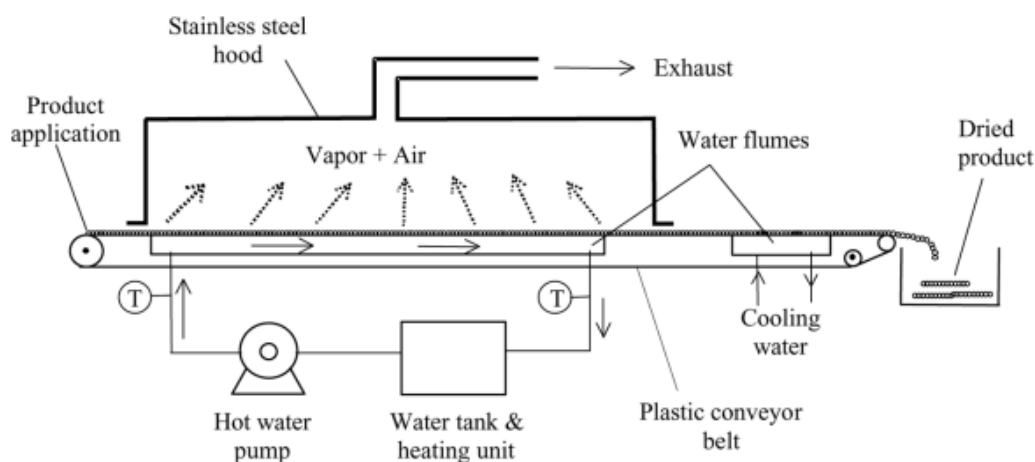
2.4 Ξήρανση με παράθυρο διάθλασης

Η μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης (Refractance Window) είναι ένα σύστημα ξήρανσης λεπτής μεμβράνης όπου έχει υψηλή θερμοκρασία και υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς μάζας που επιταχύνουν τον ρυθμό ξήρανσης. Χρησιμοποιεί ζεστό νερό που κυκλοφορεί, συνήθως στους 95-97°C και σε ατμοσφαιρική πίεση, για να μεταφέρει θερμική ενέργεια στο προς ξήρανση υλικό. Η θερμική ενέργεια από το κυκλοφορούν ζεστό νερό μεταφέρεται στο υγρό προϊόν μέσω του πολυεστέρα Mylar, το οποίο είναι ένα υπέρθυρο διαφανές πλαστικό. Μεταδίδει θερμότητα ακτινοβολίας στα τρόφιμα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης με υψηλότερο ρυθμό ξήρανσης, περισσότερη ικανότητα διατήρησης θρεπτικών συστατικών και χαμηλή απώλεια αρώματος – γεύσης. Η πραγματική θερμοκρασία του προϊόντος είναι συνήθως κάτω από 70°C. Το θερμαινόμενο νερό ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται, βελτιώνοντας έτσι τη θερμική απόδοση του συστήματος. Η χρήση ζεστού νερού ως μέσου μεταφοράς θερμότητας και σε θερμοκρασίες λίγο

κάτω από τον βρασμό είναι ένα σχεδιαστικό χαρακτηριστικό που είναι μοναδικό σε αυτή τη μέθοδο ξήρανσης.

Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα υγρών προϊόντων, όπως πουρές από φρούτα και λαχανικά ο οποίος μετατρέπεται μετά την ξήρανση σε μορφή σκόνης. Όμως, το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου φαίνεται να επηρεάζεται από το πάχος του πουρέ και τη θερμοκρασία ξήρανσης, καθώς τα παχιά δείγματα χρειάζονται μεγαλύτερο χρόνο ξήρανσης, παράγουν υψηλότερη δραστηριότητα νερού, επιφέρουν αλλαγές στις παραμέτρους χρώματος, παρουσιάζουν υψηλότερο αποτελεσματικό συντελεστή διάχυσης ($Deff$) και έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερη διαλυτότητα της σκόνης.

Η ξήρανση με παράθυρο διάθλασης σε συγκριτικά με άλλες διαδικασίες ξήρανσης διατηρεί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, το αφυδατωμένο προϊόν είναι ασφαλές, αφού παρατηρείται μείωση του μικροβιακού φορτίου, και είναι μέθοδος χαμηλότερου κόστους συγκριτικά με άλλες μεθόδους ξήρανσης. Για να είναι αποτελεσματική όμως οι αναρτήσεις του συστήματος ξήρανσης πρέπει να είναι κατάλληλα ρυθμισμένες ώστε να διευκολύνεται η εφαρμογή και η ομοιόμορφη εξάπλωση του προϊόντος στον μεταφορικό ιμάντα (Channe & Datta, 2018; Nindo & Tang, 2007).



Εικόνα 18. Ξήρανση με παράθυρο διάθλασης

Πηγή: (Nindo et al., 2003)

2.5 Ξήρανση σε δίσκο – Ξήρανση με θερμό αέρα

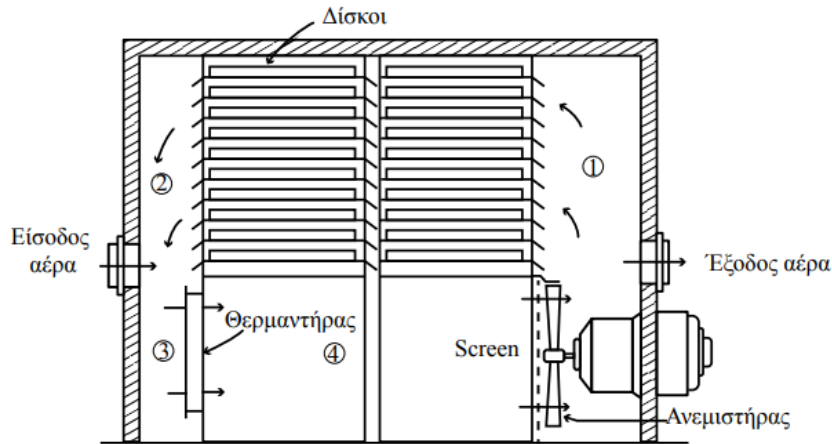
Ο ξηραντήρας με δίσκους αποτελείται από ένα ορθογώνιο χώρο, κατασκευασμένο από μεταλλικό έλασμα, το οποίο περιέχει δυο οχήματα για να στηρίζονται τα ράφια με τους δίσκους. Το κάθε ράφι περιέχει δίσκους στα οποία και τοποθετούνται τα τρόφιμα που πρόκειται να ξηραθούν. Μεταξύ των δίσκων, με την βοήθεια ανεμιστήρα και θερμαντήρα, κυκλοφορεί θερμός αέρας, ο οποίος χάρη στους ανακλαστές ροής, κατανέμεται ομοιόμορφα. Το τρόφιμο εκτίθεται σε συνεχή ροή θερμού αέρα για την απομάκρυνση της υγρασίας. Τα ράφια τοποθετούνται με συγκεκριμένο τρόπο πάνω στα τροχοφόρα οχήματα έτσι ώστε, στο τέλος της ξήρανσης, να μπορούν τα οχήματα να τα μεταφέρουν εκτός θαλάμου για την εκφόρτωση των δίσκων. Καλό θα ήταν να αναφερθεί ότι, τα ξηραντήρια δίσκων θεωρούνται χρήσιμα όταν ο ρυθμός παραγωγής είναι μικρός (25-50 kg/h).

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα:

Η λειτουργία ενός ξηραντήρα δίσκου είναι δαπανηρή διότι απαιτείται η εργασία φόρτωσης – εκφόρτωσης. Για αυτό και η χρήση τους προτιμάται για προϊόντα υψηλής αξίας (McCabe et al., 2003).

Η ξήρανση με θερμό αέρα είναι φυσικά αβλαβές και μη τοξικό, παρέχει ένα πιο ομοιόμορφο, υγιεινό και γρήγορο αποξηραμένο προϊόν που μπορεί να έχει παρατεταμένη διάρκεια ζωής τουλάχιστον ενός έτους, ωστόσο, η ποιότητα των αποξηραμένων με θερμό αέρα προϊόντων συχνά μειώνεται δραστικά.

Από την άλλη όμως οδηγεί σε υψηλή ενεργειακή ζήτηση και παρατεταμένο χρόνο ξήρανσης, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει σοβαρή συρρίκνωση, μειωμένη χύδην πυκνότητα και ικανότητα επανυδάτωσης, ιδίως σε υψηλές θερμοκρασίες (Onwude et al., 2016; Wang et al., 2014).



Εικόνα 19. Ξηραντήρας με δίσκους

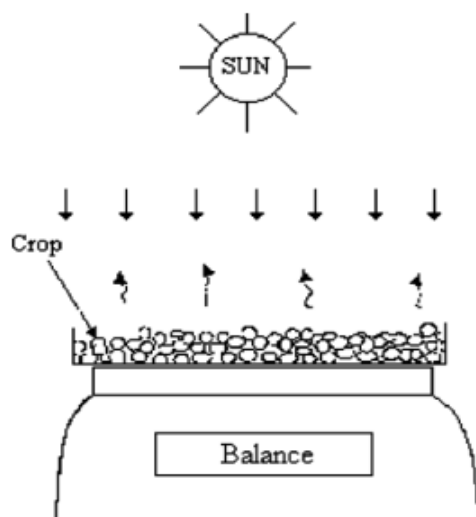
Πηγή: (McCabe et al., 2003)

2.6 Ξήρανση στον ήλιο

Η ξήρανση στον ήλιο χρησιμοποιείται από αρχαιοτάτων χρόνων, εξακολουθεί να είναι μια συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την συντήρηση των γεωργικών προϊόντων και εφαρμόζεται σε πολλά μέρη του κόσμου όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι κατάλληλη. Το τρόφιμο που θα ξηραθεί, τοποθετείται πάνω σε μια επιφάνεια ή στο έδαφος, ώστε να υπάρχει καλή θέα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή δεν είναι δαπανηρή, καθώς απαιτεί χαμηλό κόστος εργασίας. Ο χρόνος ξήρανσης όμως, μπορεί να φτάσει ακόμα και τις 10 ημέρες (ιδιαίτερα σε μέρες συννεφιάς). Για την άμεση ξήρανση προτιμώνται οι μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, όπου ο ήλιος είναι εντονότερος.

Μειονεκτήματα:

Η ξήρανση στον ήλιο δεν είναι κατάλληλη για παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Διότι υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα, όπως: η έλλειψη ικανότητας να ελέγχεται σωστά η λειτουργία της ξήρανσης, η διάρκεια του χρόνου ξήρανσης, η απαίτηση μεγάλης έκτασης, η προσβολή από έντομα, η ανάμειξη του τροφίμου με σκόνη καθώς και οι καιρικές αβεβαιότητες (Toğrul & Pehlivan, 2004).



Εικόνα 20. Ξήρανση στον ήλιο

Πηγή: (Toğrul & Pehlivan, 2004)

2.7 Ξήρανση με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο

Η μέθοδος ξήρανσης υψηλού ηλεκτρικού πεδίου - High Electric Field (HEF) είναι μια νέα μη θερμική τεχνική ξήρανσης όπου αναπτύσσεται πρόσφατα. Σε αυτήν την μέθοδο ξήρανσης μια υψηλή τάση που δημιουργείται μεταξύ αιχμηρού και γειωμένου ηλεκτροδίου εξατμίζει το νερό από το υλικό των τροφίμων.

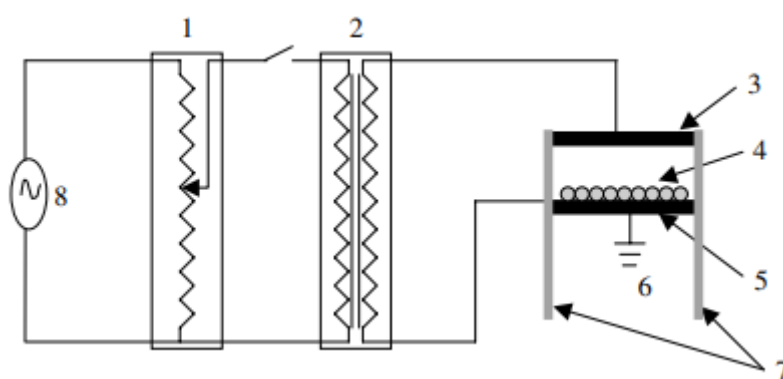
Κατά τη δημιουργία της υψηλής τάσης σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλού ηλεκτρικού πεδίου από αιχμή σε πλάκα, τα σωματίδια του αέρα και οι υδρατμοί στην περιβάλλουσα ατμόσφαιρα φορτίζονται και έτσι πραγματοποιείται σύγκρουση και ιονισμός των αρχικά ουδέτερων μορίων με αποτέλεσμα την εισαγωγή της τοπικής ενέργειας και την εξάτμιση του νερού που σχηματίζει την ουσία - στόχο.

Τα τρόφιμα αποτελούνται κυρίως από το νερό, τα θρεπτικά συστατικά (πρωτεΐνες, βιταμίνες, υδατάνθρακες κ.ά.) και τα ανόργανα άλατα, τα οποία όταν υποβάλλονται σε ηλεκτρικό πεδίο, η πόλωση των διπολικών μορίων και η μαζική κίνηση φορέων φορτίου, όπως τα ιόντα, προκαλούν χωρητικό ρεύμα και ρεύμα αντίστασης. Η περιστροφική επίδραση στα διηλεκτρικά μόρια από το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί

επίσης να είναι ένας παράγοντας για την περαιτέρω ενίσχυση των ρυθμών μεταφοράς μάζας από το δείγμα.

Πλεονεκτήματα:

Η μέθοδος ξήρανσης υψηλού ηλεκτρικού πεδίου διατηρεί κατά μεγάλο βαθμό το χρώμα του αποξηραμένου τροφίμου, παρουσιάζει μικρότερη συρρίκνωση, υψηλή απορρόφηση νερού και καλύτερη επανυδάτωση (Bajgai & Hashinaga, 2001).



1. Ρυθμιστής Τάσης 2. Μετασχηματιστής Ανύψωσης Εναλλασσόμενου Και Συνεχούς Ρεύματος 3. Χάλκινη Πλάκα Διαστάσεων (40x30x0.05cm) 4. Λαχανικό 5. Χάλκινη Πλάκα Διαστάσεων (40x30x0.05cm) 6. Γείωση 7. Μονωτής Στήριξης 8. Πηγή Εναλλασσόμενου Ρεύματος (100 V)

Εικόνα 21. Ξήρανση με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο

Πηγή: (Bajgai et al., 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΤΑΥΡΑΝΘΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

3.1 Χρώμα, σχήμα, υφή

3.1.1 Χρώμα

Το χρώμα των αποξηραμένων τροφίμων είναι ένα σημαντικό ποιοτικό χαρακτηριστικό. Αλλάζει κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, λόγω διαφόρων χημικών και βιολογικών αντιδράσεων. Τα λαχανικά, ως συνήθως περιέχουν φαινολικές ουσίες, οι οποίες αποτελούν υποστρώματα για ένα φυσικό ένζυμο που απαντάται στους περισσότερους φυτικούς ιστούς και ονομάζεται πολυφαινολοξειδάση. Αυτή η ενζυμική αντίδραση μπορεί να προχωρήσει στη δημιουργία οξειδωμένων μορφών φαινολικών συστατικών, τα οποία πολυμερίζονται και σχηματίζουν καφέ χρωστικές κατά την ξήρανση, την αποθήκευση ή την διανομή. Επιπλέον, άλλες χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι: η αντίδραση Maillard (αντίδραση μη ενζυμικής αμαύρωσης που σχηματίζεται κατά την αντίδραση αναγόντων σακχάρων με αμινοξέα), η καραμελοποίηση και η διάσπαση του ασκορβικού οξέος (Perera, 2005).

Το χρώμα των σταυρανθών λαχανικών μπορεί να προσδιοριστεί με χρωματόμετρο. Εφαρμόζεται το χρωματικό σύστημα CIE Lab με το L^* να περιγράφει το φως και το a^* να αντιπροσωπεύει τον άξονα κόκκινο – πράσινο ενώ το b^* κίτρινο – μπλε.

3.1.1.1 Μπρόκολο

Σύμφωνα με την έρευνα των Xu et al., 2020 (Πίνακας VII), οι τιμές L^* του δείγματος ποικίλλουν με τις διάφορες μεθόδους ξήρανσης. Παρουσιάζουν σημαντική μείωση, γεγονός που θα μπορούσε να αποδοθεί στην αποικοδόμηση των χρωστικών και στην αντίδραση αμαύρωσης κατά την ξήρανση. Για το a^* παρατηρούμε αρνητικές τιμές δηλαδή διατηρεί το πράσινο χρώμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι τιμές L^* και a^* ύστερα από 6 διαφορετικές μεθόδους ξήρανσης, διέφεραν σημαντικά.

Όσον αφορά τις μεθόδους ξήρανσης:

- Η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη παρουσίασε την καλύτερη απόδοση ξήρανσης στη διατήρηση του χρώματος. Ακολούθως, όλες οι άλλες μέθοδοι

ξήρανσης έδειξαν καλύτερη διατήρηση της υποβάθμισης του χρώματος από την μέθοδο ξήρανσης με θερμό αέρα

- Η μέθοδο ξήρανσης με θερμό αέρα είχε την χαμηλότερη τιμή L* και την υψηλότερη τιμή a* από τις υπόλοιπες μεθόδους. Αυτό υποδεικνύει την εμφανής υποβάθμιση του χρώματος.
- Επιπλέον, οι τιμές L* και b* της μεθόδου ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & της μεθόδου ξήρανσης με θερμό αέρα σε σύγκριση με την μέθοδο ξήρανσης με μικροκύματα διαφέρουν. Αυτό υποδηλώνει ότι η μέθοδο ξήρανσης με μικροκύματα σε συνδυασμό με την μέθοδο ξήρανσης υπό κενό ή την μέθοδο ξήρανσης με θερμό αέρα παρουσίασε κακή πρόληψη στην αλλοίωση του χρώματος κίτρινου - μπλε.

Πίνακας VII Χρωματικές Παράμετροι Μπρόκολου

Μέθοδοι Ξήρανσης	L*	a*	b*
Φρέσκο Μπρόκολο	50,19	-7,58	22,75
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)	35,71	-3,45	30,06
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)	48,38	-7,10	21,07
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)	40,32	-5,28	29,06
Ξήρανση υπό κενό (VD)	43,82	-4,51	25,06
(MVD) + (HAD)	38,39	-5,79	28,05
(MVD) + (VD)	43,36	-6,22	25,08
<i>Πηγή: (Xu et al., 2020)</i>			
Φρέσκο Μπρόκολο	37,35	-20,22	24,63
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)	47,24	-15,47	23,20
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)	30,88	-7,34	16,98
Ξήρανση με παράθυρο διάθλασης (RWD)	49,35	-17,70	26,81
<i>Πηγή: (Vargas et al., 2022)</i>			

Σύμφωνα με την έρευνα των Vargas et al., 2022 (Πίνακας VII), παρατηρούμε ότι, το λαχανικό είχε αυξημένες τιμές L* στις μεθόδους ξήρανσης με κατάψυξη και ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης ενώ από την άλλη η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα παρουσίαζε σημαντικά χαμηλότερη τιμή, οπότε εμφανίστηκε λίγο πιο σκούρο. Ωστόσο στον άξονα a* η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα σημείωσε χαμηλότερες τιμές από το δείγμα με αποτέλεσμα να καταστραφεί το πράσινο χρώμα. Ομοίως και στον άξονα b* η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα είχε τις χαμηλότερες τιμές.

3.1.1.2 Λάχανο

Οι χρωματικές ενδείξεις λάχανου παρουσιάζονται στον Πίνακα VIII. Παρατηρούμε ότι, η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη και η μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης σημείωσαν αυξημένες τιμές L^* , a^* και b^* ενώ από την άλλη η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές. Γενικά, το λάχανο παρουσιάζει σκουροπράσινο χρωματισμό. Όμως οι μεγαλύτερες (άνω των 60 °C) θερμοκρασίες ξήρανσης οδηγούν στην απώλεια του πράσινου χρώματος. Οπότε, η μικρότερη μεταβολή της τιμής L^* που έδειξε η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα συνέβαλε στην επίτευξη μικρότερης αλλαγής χρώματος (Vargas et al., 2022).

Πίνακας VIII Χρωματικές Παράμετροι Λάχανου			
Μέθοδοι Ξήρανσης	L^*	a^*	b^*
Δείγμα Λάχανου	31,29	-15,64	18,15
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)	46,80	-13,81	23,07
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)	29,64	- 7,57	14,78
Ξήρανση με παράθυρο διάθλασης (RWD)	45,80	-16,34	28,20

3.1.1.3 Νεροκάρδαμο

Για το νεροκάρδαμο διαπιστώθηκε ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ξήρανσης του τόσο πιο σκούρο χρώμα αποκτά. Συγκεκριμένα, το λαχανικό ύστερα από ξήρανση με συναγωγή, στις θερμοκρασίες 40, 55 και 70 °C παρουσίασε μειωμένες τιμές στις παραμέτρους L^* και b^* καθώς αυξανόταν η θερμοκρασία ξήρανσης ενώ η παράμετρος a^* διατηρήθηκε πρακτικά σταθερή. Δηλαδή, μειώθηκε η ένταση της φωτεινότητας, το κίτρινο χρώμα καθώς και (λιγότερο) το πράσινο χρώμα. Αξίζει να αναφερθεί ότι, ακόμα και η συνολική διαφορά χρώματος, αυξήθηκε με την αύξηση των θερμοκρασιών, γεγονός που αποδεικνύει ότι η θερμοκρασία ξήρανσης είχε έντονη επίδραση σε αυτήν την παράμετρο. Τέλος, εξετάστηκε και ο δείκτης αμαύρωσης, όπου σημειώθηκαν υψηλές θερμοκρασίες στην χαμηλότερη και υψηλότερη θερμοκρασία ξήρανσης. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να εξηγηθούν από τις αντιδράσεις αμαύρωσης που συμβαίνουν σε υψηλές θερμοκρασίες και τη μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες, δεδομένου ότι η θερμοκρασία επεξεργασίας και η διάρκεια της ξήρανσης είναι κρίσιμοι παράγοντες που οδηγούν στην παραγωγή χρώματος (Ek et al., 2018).

3.1.1.4 Κινέζικο Λάχανο

Στο κινέζικο λάχανο φάνηκε να ποικίλλουν οι τιμές των χρωματικών παραμέτρων. Η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη παρουσίασε υψηλότερες τιμές στις παραμέτρους L^* , b^* και χαμηλότερη τιμή στην a^* ενώ η μέθοδος ξήρανσης στον φούρνο έδειξε το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή χαμηλές τιμές L^* , b^* και υψηλή τιμή στην παράμετρο a^* .

Η χρωματική αλλαγή παίζει καθοριστικό ρόλο στη συσχέτιση των ακριβών αλλαγών στο χρώμα των αποξηραμένων προϊόντων. Αν η τιμή της χρωματικής αλλαγής είναι μικρότερη από 1,0 σημαίνει ότι οι διαφορές στο χρώμα δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές. Ωστόσο, στην μελέτη των *Managa et al., 2020* σημειώθηκαν τιμές μεγαλύτερες από 1,0. Η εντονότερη χρωματική αλλαγή παρατηρήθηκε με την μέθοδο ξήρανσης στον φούρνο (καθώς είχε την μεγαλύτερη τιμή) ενώ η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη παρουσίασε ελάχιστη χρωματική αλλαγή (*Managa et al., 2020*).

3.1.1.5 Ραπανάκι

Το ραπανάκι, ύστερα από την ξήρανση με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο φαίνεται να διατήρησε καλύτερα το φυσικό του χρώμα, σε σχέση με την ξήρανση στον φούρνο ή την ξήρανση στον αέρα περιβάλλοντος. Διότι, στην μέθοδο ξήρανσης με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο το δείγμα δεν έδειξε αποχρωματισμό ενώ στην μέθοδο ξήρανσης με φούρνο πήρε καφέ χρώμα. Επιπλέον, η φωτεινότητα L^* μειώθηκε με τον χρόνο ξήρανσης σε όλες τις μεθόδους και μάλιστα πολύ περισσότερο στην μέθοδο ξήρανσης με φούρνο.

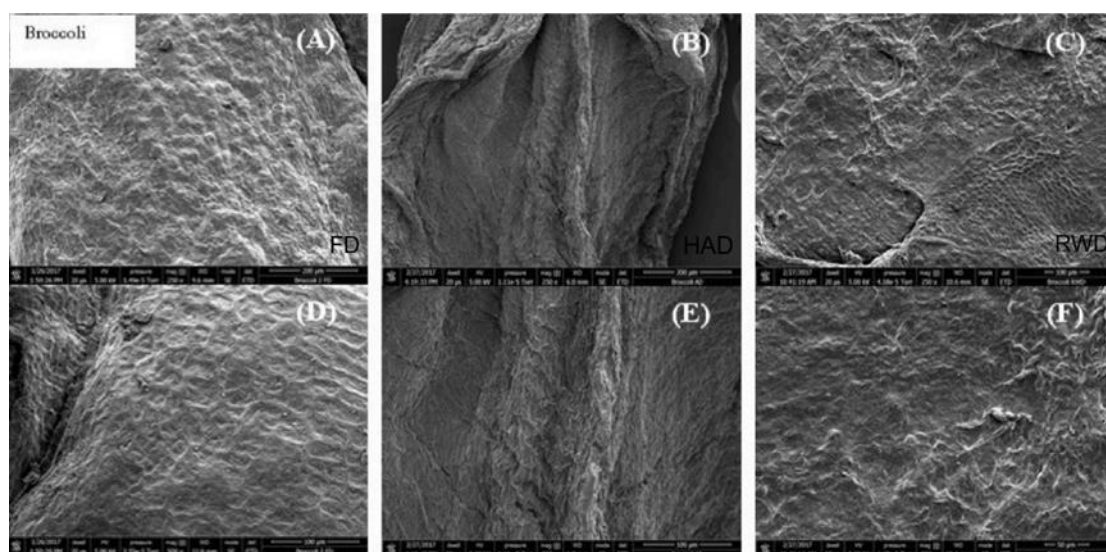
Στην παράμετρο a^* δεν σημειώθηκε σημαντική μεταβολή για την ξήρανση με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο. Ωστόσο, η μέθοδος ξήρανσης με φούρνο μειώθηκε περισσότερο, ενώ μικρή αύξηση παρουσίασε η μέθοδος ξήρανσης στον αέρα περιβάλλοντος.

Όσον αφορά την παράμετρο b^* , η μέθοδος ξήρανσης με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο μεταβλήθηκε ελάχιστα, ενώ πολύ μεγάλη αύξηση έδειξε η μέθοδος ξήρανσης στον φούρνο και μικρή μείωση η ξήρανση στον αέρα περιβάλλοντος (*Bajgai & Hashinaga, 2001*).

3.1.2 Σχήμα- Υφή

3.1.2.1 Μπρόκολο

Ύστερα από την ξήρανση, λήφθηκαν εικόνες αποξηραμένου μπρόκολου με την βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (Εικόνα 23). Το δείγμα φωτογραφήθηκε με δυο διαφορετικές μεγεθύνσεις. Οι εικόνες A, B, C, ανήκουν στο μέγεθος 250x και οι εικόνες D, E, F στο μέγεθος 500x. Μεταξύ των τριών μεθόδων ξήρανσης, το μπρόκολο που ξηράνθηκε με την μέθοδο ξήρανσης θερμού αέρα είχε τραχιά μορφολογία επιφάνειας. Στην μέθοδο ξήρανσης του παραθύρου διάθλασης, οι επιφάνειά του, είναι σχετικά λεία αλλά το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να σχετίζεται με την μέθοδο λειτουργίας της. Όσο για την ξήρανση με κατάψυξη, το λαχανικό φαίνεται να έχει διατηρήσει την κυτταρική δομή του (Vargas et al., 2022). Αξίζει να σημειωθεί ότι και η ξήρανση με το παράθυρο διάθλασης μπορεί να αποφέρει προϊόντα με καλή διατήρηση της ποιότητας σε χαμηλό κόστος.



Εικόνα 22. Αποξηραμένο Μπρόκολο

Πηγή: (Vargas et al., 2022)

Η συρρίκνωση εμφανίστηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια όλων των μεθόδων ξήρανσης. Η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη παρουσίασε ελάχιστη συρρίκνωση λόγω αργής εξάχνωσης. Μάλιστα, οι ακατάλληλες συνθήκες που δημιουργούνται λόγω υαλώδους μετάβασης μπορούν να προκαλέσουν κατάρρευση, γεγονός που οδηγεί στη συρρίκνωση. Η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό και η μέθοδος ξήρανσης με

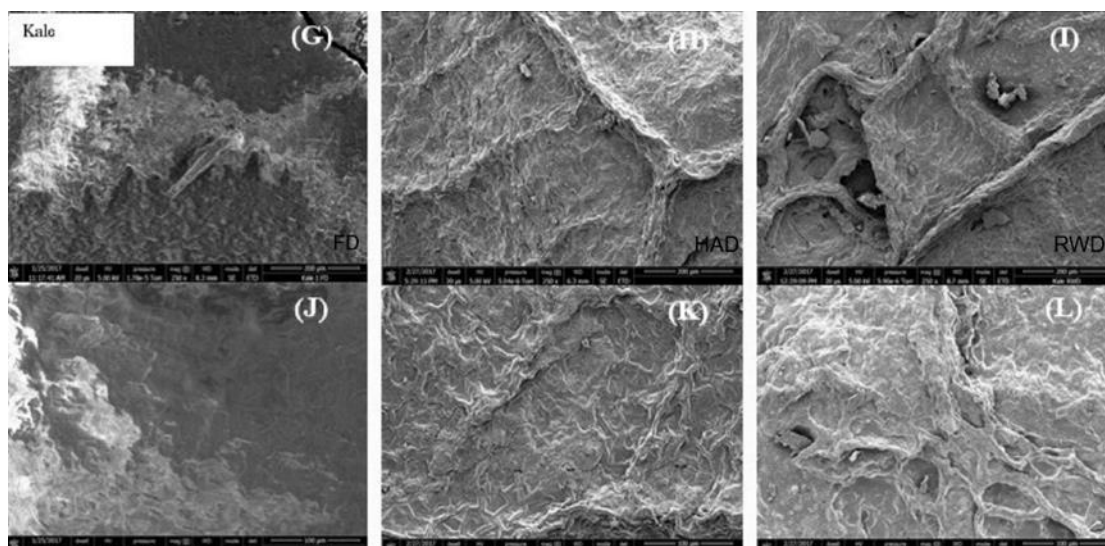
θερμό αέρα παρουσίασαν την υψηλότερη συρρίκνωση από τις άλλες μεθόδους. Διότι, στο ακατέργαστο μπρόκολο η υγρασία περιέχεται σε υψηλή περιεκτικότητα και έτσι κατά την εξάτμιση του νερού, από τον ατμό των δυο μεθόδων, χάνεται μεγάλη ποσότητα νερού με αποτέλεσμα την κατάρρευση της δομής. Επιπλέον, η διαφορά πίεσης του δείγματος μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού θα μπορούσε να οδηγήσει σε συμπιεστικές τάσεις συρρίκνωσης. Η αμέσως επόμενη μέθοδος που παρουσίασε σχετικά υψηλή συρρίκνωση ήταν η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα, η οποία λόγω της ταχείας παραγωγής θερμότητας επιταχύνει την απομάκρυνση του νερού από το κύτταρο και συμβάλλει στην κατάρρευση της δομής. Επακολούθως, ο συνδυασμός ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης με θερμό αέρα παρουσίασε μικρή συρρίκνωση και ακόμα μικρότερη ο συνδυασμός ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης υπό κενό.

Η σκληρότητα του δείγματος διαφέρει και εξαρτάται από την κάθε μέθοδο ξεχωριστά. Χαμηλότερη σκληρότητα παρουσίασε η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην πορώδη δομή του μπρόκολου, στην μη συρρίκνωση καθ' όλη τη διάρκεια της ξήρανσης αλλά και στις περιορισμένες αλλαγές που εμφανίστηκαν στη δομή του κυττάρου του. Από την άλλη υψηλότερη σκληρότητα έδειξε η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα γεγονός που οφείλεται στην εμφάνιση εμφανών καταπτώσεων της δομής και βέβαια στην υψηλή συρρίκνωση του δείγματος. Ωστόσο η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα οδήγησε σε χαμηλότερη σκληρότητα αυτό οφείλεται στην ενίσχυση μεσοκυττάριου χώρου της διευρυμένης δομής αλλά στη μείωση της κυτταρικής πρόσφυσης. Τέλος, οι συνδυασμοί των μεθόδων ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης υπό κενό και ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης με θερμό αέρα παρουσίασαν σχετικά υψηλή σκληρότητα από την μέθοδο ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα αλλά χαμηλότερη από την μέθοδο ξήρανσης υπό κενό και την μέθοδο ξήρανσης θερμού αέρα (Xu et al., 2020).

3.1.2.2 Λάχανο

Μετά από την ξήρανση, λήφθηκαν εικόνες αποξηραμένου λάχανου με την βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης. Τα δείγμα φωτογραφήθηκε με δυο διαφορετικές μεγεθύνσεις. Οι εικόνες G, H, I ανήκουν στη μεγέθυνση 250x και οι

εικόνες J, K, L στη μεγέθυνση 500x. Μεταξύ των τριών μεθόδων ξήρανσης, το λάχανο που ξηράνθηκε με την μέθοδο ξήρανσης θερμού αέρα παρουσίαζε τραχιά επιφάνεια. Στην μέθοδο ξήρανσης του παραθύρου διάθλασης οι επιφάνεια του λαχανικού φαίνεται να είναι σχετικά λεία, αλλά το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να σχετίζεται με την μέθοδο λειτουργίας της. Όσο για την ξήρανση με κατάψυξη, τα λαχανικό φαίνεται να έχει διατηρήσει την κυτταρική δομή του (Vargas et al., 2022).

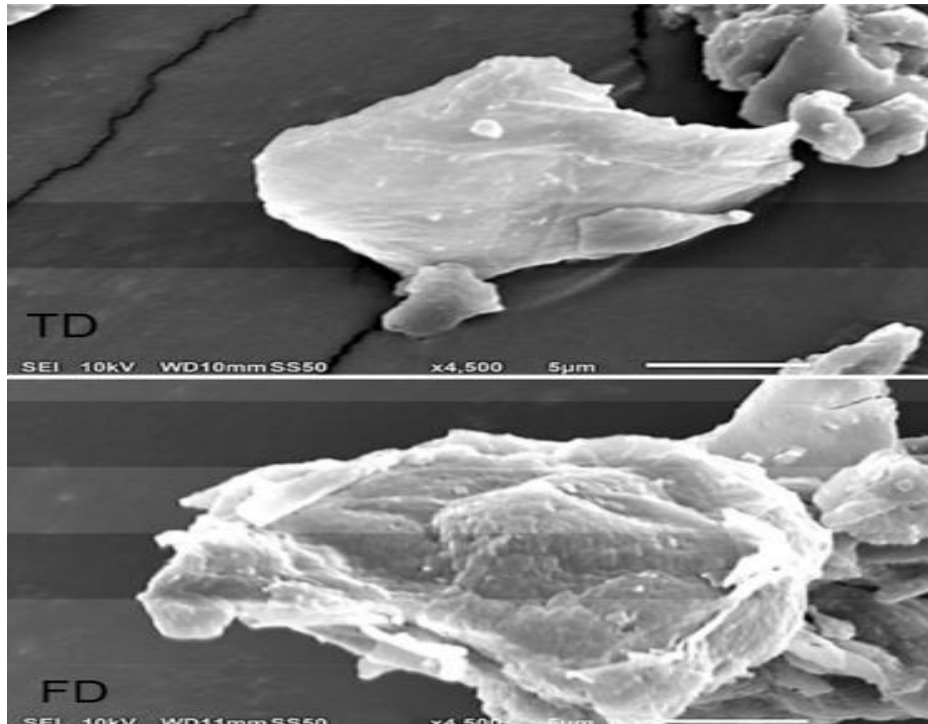


Εικόνα 23. Αποξηραμένο Λάχανο

Πηγή: (Vargas et al., 2022)

3.1.2.3 Ρόκα

Η ρόκα ξηράνθηκε με την μέθοδο ξήρανσης υπό κατάψυξη και με την μέθοδο ξήρανσης σε δίσκο. Λήφθηκαν εικόνες με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM). Το λαχανικό φωτογραφήθηκε σε μεγέθυνση 4500x.



(TD): Ξήρανση με δίσκο και (FD): Ξήρανση με κατάψυξη

Εικόνα 24. Αποξηραμένη Ρόκα

Πηγή: (Alruwaih & Yaylayan, 2017)

Υπολογίστηκε η μέση διάμετρος και των δυο μεθόδων. Η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη, έχει διπλάσια διάμετρο από την μέθοδο ξήρανσης σε δίσκο. Τα σωματίδια ρόκας της μεθόδου ξήρανσης με κατάψυξη φαίνεται να έχουν ανομοιομορφία στη δομή τους και για αυτό παρουσιάζουν σταγονοειδείς πλατύτερες επιφάνειες. Από την άλλη η μέθοδος ξήρανσης σε δίσκο παρουσίασε περισσότερα συρρικνωμένα και αποξηραμένα αλλά επίπεδα μικρότερα σωματίδια. Οι δύο μέθοδοι παρουσίασαν ακανόνιστα σχήματα ρόκας μετά την ξήρανση. Είναι προφανές ότι η εφαρμογή της θερμικής επεξεργασίας οδηγεί σε σημαντική απώλεια της ακεραιότητας των φύλλων της ρόκας, ωστόσο στην μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη, τα σωματίδια παρουσίασαν πιο άθικτες δομές και η κυτταρική ακεραιότητα δεν έχει καταστραφεί πλήρως από τη διαδικασία ξήρανσης (Alruwaih & Yaylayan, 2017).

3.1.2.4 Ραπανάκι

Η συρρίκνωση του ραπανιού διαπιστώθηκε ότι είναι σχεδόν διπλάσια με την μέθοδο ξήρανσης σε φούρνο. Ύστερα από ξήρανση των 7 ωρών, η τελική συρρίκνωση της

μεθόδου ξήρανσης με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο ήταν 50% ενώ της μεθόδου ξήρανσης με φούρνο 80%. Έτσι, παρατηρήθηκε μικρότερη συρρίκνωση στο ραπανάκι που ξηράθηκε με την μέθοδο ξήρανσης με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο. Από την άλλη, η ξήρανση σε φούρνο είχε ως αποτέλεσμα εκτεταμένη συρρίκνωση η οποία μπορεί να σχετίζεται με την κυτταρική κατάρρευση πιθανώς λόγω θερμικής βλάβης των κυττάρων τοιχώματος και της κυτταρικής μεμβράνης (Bajgai & Hashinaga, 2001).

3.2. Θρεπτικά συστατικά

3.2.1 Βιταμίνες

Κατά την θέρμανση του τροφίμου στο φως ή στο οξυγόνο υπάρχουν ορισμένες απώλειες βιταμινών. Ειδικότερα, αυτό παρατηρείται όταν λαμβάνουν χώρα διάφορες ενζυμικές αντιδράσεις κατά το πρώιμο στάδιο της ξήρανσης, όπου η περιεκτικότητα του προϊόντος σε υγρασία είναι υψηλή και η θερμοκρασία του χαμηλή. Για παράδειγμα, η οξειδάση του ασκορβικού οξέος είναι ικανή να καταστρέψει τη βιταμίνη C, ενώ η οξειδάση της τοκοφερόλης την βιταμίνη E και η λιποξυγενάση μπορεί να καταστρέψει τις βιταμίνες A και β-καροτένιο (Perera, 2005).

3.2.1.1 Μπρόκολο

Η βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ) είναι μια λακτόνη έξι ατόμων άνθρακα που συντίθεται από γλυκόζη στο ήπαρ των περισσότερων ειδών θηλαστικών και είναι απαραίτητη για τον άνθρωπο. Μετρήθηκαν οι βιταμίνες B: θειαμίνη, νιασίνη, παντοθενικό οξύ, πυριδοξίνη, ριβοφλαβίνη και η βιταμίνη C για την κάθε μέθοδο ξεχωριστά όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα IX (Vargas et al., 2022).

Στο μπρόκολο με την μέθοδο ξήρανσης του παραθύρου διάθλασης βρέθηκαν υψηλότερα επίπεδα βιταμίνης C σε σύγκριση με την μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη και την μέθοδο ξήρανσης με θερμό αέρα. Διότι, όπως είναι ήδη γνωστό η θερμική επεξεργασία απενεργοποιεί τα ενδογενή οξειδωτικά ένζυμα. Γενικότερα, η υψηλότερη διατήρηση βιταμίνης C στη μέθοδο ξήρανσης με το παράθυρο διάθλασης, θα μπορούσε να εξηγηθεί από την πρόληψη της ενζυμικής οξείδωσης που προκαλεί απώλεια της αντιοξειδωτικής ένωσης στο δείγμα.

Πίνακας ΙΧ Βιταμίνες Μπρόκολου			
Βιταμίνες (µg/g ξ.β)	FD¹	RWD²	HAD³
Θειαμίνη	6803	5,803	6,181
Νιασίνη	28,289	29,180	33,959
Παντοθενικό Οξύ	43,520	32,696	26,652
Πυριδοξίνη	420	460	853
Ριβοφλαβίνη	10,194	8,659	8,922
Συνολική Βιταμίνη Β	89,226	77,245	75,200
Βιταμίνη C (mg/100 g)	342,82	612,46	439,93
¹ (FD): Μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη, ² (RWD): μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης, ³ (HAD): μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα			

Η θειαμίνη, που παίζει σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό μεταβολισμό του ανθρώπινου οργανισμού και το παντοθενικό οξύ, του οποίου η κύρια λειτουργία είναι η σύνθεση του συνενζύμου Α, θεωρούνται θερμοευαίσθητα. Παρόλα αυτά, το μπρόκολο, παρουσίασε υψηλά επίπεδα κατακράτησης στην μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη λόγω της σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας κατά τη διαδικασία ξήρανσης (Vargas et al., 2022).

3.2.1.2 Λάχανο

Μετρήθηκαν οι βιταμίνες Β: θειαμίνη, νιασίνη, παντοθενικό οξύ, πυριδοξίνη, ριβοφλαβίνη καθώς και η βιταμίνη C για την κάθε μέθοδο ξεχωριστά όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα Χ (Vargas et al., 2022). Η θειαμίνη και το παντοθενικό οξύ (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω) θεωρούνται θερμοευαίσθητα.

Πίνακας Χ Βιταμίνες Λάχανου			
Βιταμίνες (µg/g ξ.β.)	FD¹	RWD²	HAD³
Θειαμίνη	744	743	630
Νιασίνη	13,085	17,711	25,957
Παντοθενικό Οξύ	28,237	21,830	20,934
Πυριδοξίνη	151	172	258
Ριβοφλαβίνη	8,071	8,672	9,392
Σύνολο Βιταμινών Β	50,088	49,129	57,171
Βιταμίνη C (mg/100 g)	1120,48	637,43	89,60
¹ FD: Μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη, ² RWD: μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης, ³ HAD: μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα			

Παρόλα αυτά, το λάχανο παρουσίασε αυξημένες τιμές στην μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας κατά την ξήρανση. Ωστόσο, υψηλότερη

συνολική βιταμίνη Β έδειξε η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα ενώ, υψηλότερη συγκράτηση βιταμίνης C παρουσιάστηκε με την μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη (Vargas et al., 2022).

3.2.1.3 Νεροκάρδαμο

Από τον πίνακα XI παρατηρούμε πως η βιταμίνη C τόσο και το ασκορβικό οξύ μαζί με τις διατηρήσεις τους, μειώθηκαν αρκετά μετά την ξήρανση. Επιπλέον, το ασκορβικό οξύ παρουσίασε χαμηλότερη ικανότητα συγκράτησης από το δεϋδροασκορβικό οξύ. Ενώ αντίθετα, η διατήρηση του δεϋδροασκορβικού οξέος στους 40 °C αυξήθηκε κατά 14% σε σύγκριση με το φρέσκο νεροκάρδαμο. Όμως, κατά την αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης (55 και 70 °C), η συγκέντρωση του δεϋδροασκορβικού οξέος μειωνόταν.

Πίνακας XI Βιταμίνες Νεροκάρδαμου

Θερμοκρασίες ξήρανσης (°C)	Βιταμίνη C (mg/100 g ξ.β.)	Διατήρηση (%)	[AA] ¹ (mg/100 g ξ.β.)	Διατήρηση (%)	[DAA] ² (mg/100 g ξ.β.)	Διατήρηση (%)
Φρέσκο Νεροκάρδαμο	2305,1	-	1143,9	-	1161,2	-
40	1678,4	72,8	344,7	30,1	1333,6	114,8
55	1221,9	53,0	229,0	20,0	992,8	85,5
70	287,4	12,5	5,4	0,5	282,1	24,3

¹[AA]: ασκορβικό οξύ, ²[DAA]: δεϋδροασκορβικό οξύ

Ωστόσο, η αύξηση που σημειώθηκε στους 40 °C μπορεί να εξηγηθεί από τη μετατροπή του ασκορβικού οξέος σε δεϋδροασκορβικό οξύ, εάν ληφθεί υπόψιν ότι το δεϋδροασκορβικό οξύ είναι το προϊόν οξειδωσης του ασκορβικού οξέος. Επίσης, η μείωση της βιταμίνης C κατά τη διάρκεια της ξήρανσης θα μπορούσε να οφείλεται σε μη αναστρέψιμες οξειδωτικές διεργασίες, στην ευαισθησία της σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς και στην έκπλυση της κατά την διάρκεια της ξήρανσης (Ek et al., 2018).

3.2.1.4 Κινέζικο Λάχανο

Η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη σημείωσε υψηλότερη ποσότητα ασκορβικού οξέος ενώ η μέθοδος ξήρανσης σε φούρνο σημείωσε την χαμηλότερη συγκέντρωση.

Έτσι, παρατηρούμε την αποικοδόμηση του ασκορβικού οξέος κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας. Το γεγονός αυτό πιθανώς οφείλεται στη ενέργεια του φωτός κατά τη διάρκεια της ξήρανσης (Managa et al., 2020).

Πίνακας XII Βιταμίνες Κινέζικου Λάχανου	
Μέθοδοι ξήρανσης	Ασκορβικό οξύ (mg 100g⁻¹)
Φρέσκο κινέζικο λάχανο	58,1
Ηλιακή ξήρανση	47,9
Ξήρανση με μικροκύματα	30,5
Ξήρανση με κατάψυξη	57,5
Ξήρανση σε φούρνο	23,6
Ξήρανση στον ήλιο	40,0

3.3. Αντιοξειδωτική δράση

Το οξυγόνο είναι το πιο απαραίτητο στοιχείο για τη ζωή ενός ανθρώπου. Όταν τα κύτταρα χρησιμοποιούν οξυγόνο για την παραγωγή ενέργειας, δημιουργούνται ελεύθερες ρίζες ως συνέπεια της παραγωγής ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη) από τα μιτοχόνδρια. Αυτά τα παραπροϊόντα είναι γενικά δραστικά είδη οξυγόνου (ROS) καθώς και δραστικά είδη αζώτου (RNS) που προκύπτουν από την κυτταρική διαδικασία οξειδοαναγωγής. Τα παραπάνω δυο είδη, διαδραματίζουν ρόλο ως τοξικές και ωφέλιμες ενώσεις. Σε χαμηλά καθώς και μέτρια επίπεδα, ασκούν ευεργετικές επιδράσεις στις κυτταρικές αποκρίσεις και την ανοσολογική λειτουργία. Ενώ αντίθετα, σε υψηλές συγκεντρώσεις, δημιουργούν οξειδωτικό στρες, μια επιβλαβή διαδικασία που μπορεί να βλάψει όλες τις κυτταρικές δομές. Όπως είναι ήδη γνωστό, το οξειδωτικό στρες παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη χρόνιων παθήσεων όπως είναι ο καρκίνος, η γήρανση, η αρθρίτιδα κ.ά.. Ο ανθρώπινος οργανισμός διαθέτει διάφορους μηχανισμούς για την αντιμετώπιση του οξειδωτικού στρες με την παραγωγή αντιοξειδωτικών, τα οποία είτε παράγονται φυσικά επιτόπου (ενδογενή) είτε παρέχονται εξωτερικά μέσω των τροφίμων (εξωγενή). Τα ενδογενή και εξωγενή αντιοξειδωτικά δρουν ως "καθαριστές ελευθέρων ριζών", προλαμβάνοντας και επιδιορθώνοντας τις βλάβες που προκαλούνται από τα δραστικά είδη οξυγόνου και αζώτου με αποτέλεσμα να ενισχύσουν την ανοσολογική άμυνα και να μειώσουν τον κίνδυνο χρόνιων παθήσεων. Τα πιο κοινά αντιοξειδωτικά της διατροφής μας είναι: τα флаβονοειδή, οι πολυφαινολικές ενώσεις, οι βιταμίνες E & C καθώς και τα καροτενοειδή. Ωστόσο, για τον προσδιορισμό της ικανότητας

αντιοξειδωτικών ενώσεων για την εξουδετέρωση ελεύθερων ριζών των σταυρανθών λαχανικών, χρησιμοποιήθηκαν οι φασματοφωτομετρικές μέθοδοι που παρατίθενται στον πίνακα XIII (Pham-Huy et al., 2008). Υπάρχουν διάφορες μελέτες σχετικά με την αντιοξειδωτική δράση των σταυρανθών λαχανικών τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα XIV.

3.3.1 Μπρόκολο

ΜΕΘΟΔΟΣ FOLIN-CIICALTEU: Η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη σημείωσε υψηλότερη ολική περιεκτικότητα φαινολών από όλες τις μεθόδους αλλά και από το φρέσκο μπρόκολο. Σύμφωνα με τους *Asami et al.*, η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη κρυστάλλων πάγου στον ιστό του φυτού (*Asami et al.*, 2003). Οι παγοκρύσταλλοι έχουν την ικανότητα να προκαλούν μεγαλύτερη ρήξη των φυτικών κυττάρων, η οποία οδηγεί στην καλύτερη διείσδυση του διαλύτη και εκχύλιση. Όσο για το ποσοστό απώλειας των μεθόδων (το οποίο υπολογίστηκε με την βοήθεια εξισώσεων) η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό και η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα οδήγησαν σε υψηλότερο ποσοστό απώλειας ολικών φαινολών με τιμές 41,58% και 40,16% αντίστοιχα. Επακολούθως, η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα ήταν 22,63%. Από την άλλη ο συνδυασμός των μεθόδων ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης υπό κενό είχε ποσοστό 18,83% ενώ ο συνδυασμός μέθοδος ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης με θερμό αέρα σημείωσε χαμηλότερο ποσοστό απώλειας. Οι δύο συνδυασμοί παρουσίασαν χαμηλά ποσοστά σε αντίθεση με την ατομική τους ξήρανση. Οι *Lim* και *Murtijaya* ανέφεραν ότι η θερμότητα που παράγεται από την ακτινοβολία μικροκυμάτων είναι πολύ ταχεία και έντονη, γεγονός που θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρή αποικοδόμηση των πολυφαινολών (*Lim & Murtijaya*, 2007).

Πίνακας XIII Αντιοξειδωτική Δράση

ABTS	DPPH	
<p><u>Χημική Ονομασία:</u> (2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazolin) -6-sulfonic acid)</p> <p>Η ABTS οξειδώνεται με την προσθήκη υπερθειικού καλίου (K₂S₂O₈) και έτσι δημιουργείται η δραστική ρίζα ABTS^{•+}. Ενώ με την προσθήκη αντιοξειδωτικού, ανάγεται η ρίζα ABTS^{•+} σε ABTS και παρατηρούμε τον αποχρωματισμό του μπλε – πράσινου χρώματος.</p> <p>Έτσι με την βοήθεια φασματοφωτομετρίας (μέτρηση της απορρόφησης στα 734nm) προσδιορίζεται η απώλεια χρώματος του ABTS μετά την προσθήκη του αντιοξειδωτικού.</p>	<p><u>Χημική Ονομασία:</u> (2,2'-diphenyl-1-picryl-hydrazyl)</p> <p>Η σταθερή ελεύθερη ρίζα DPPH σχηματίζει βαθύ ιώδες χρώμα ωστόσο αλληλοεπιδρώντας με τα αντιοξειδωτικά μόρια ανάγεται:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ μέσω μεταφοράς ενός ατόμου υδρογόνου ή ➤ μέσω μεταφοράς ενός ηλεκτρονίου <p>και γίνεται άχρωμο έως ανοιχτό κίτρινο.</p> <p>Με την φασματοφωτομετρία (μέτρηση της απορρόφησης στα 517nm) προσδιορίζεται η μεταβολή της απορρόφησης της σταθερής ρίζας DPPH μετά την προσθήκη του αντιοξειδωτικού.</p>	
<p>Χαρακτηριστικά: Η μέθοδος ABTS είναι εφαρμόσιμη τόσο για υδρόφιλα όσο και για υδρόφιλα (λιπόφιλα) αντιοξειδωτικά καθώς είναι εύκολη ταχεία αλλά και ευαίσθητη.</p>	<p>Χαρακτηριστικά: Η μέθοδος DPPH είναι γρήγορη, αξιόπιστη, οικονομική (δεν εμπλέκεται με πολλά ούτε αντιδραστήρια), φθνή σε σύγκριση με άλλες δοκιμές και εφαρμόζεται μόνο σε οργανικούς διαλύτες.</p>	
FRAP	ORAC	FOLIN - CIOCALTEU
<p><u>Ορολογία FRAP:</u> <i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i> (Αντιοξειδωτικής Ισχύος Αναγωγής Τρισθενούς Σιδήρου).</p> <p><u>Χημική Ονομασία TPTZ:</u> (2,4,6-tripyridyl-s-triazine)</p> <p>Η μέθοδος FRAP ανάγεται με μηχανισμό μεταφοράς ενός ηλεκτρονίου.</p> <p>Σε χαμηλή τιμή pH (3,6) ανάγεται προς Fe το σύμπλοκο του τρισθενούς σιδήρου (Fe III TPTZ) και αποκτά έντονο μπλε χρώμα. Η αναγωγή αυτή παρακολουθείται με την μέτρηση της μεταβολής της απορρόφησης στα 593nm με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου.</p>	<p><u>Ορολογία ORAC:</u> <i>Oxygen Radical Absorbance Capacity</i> (Ικανότητα Απορρόφησης Ριζών Οξυγόνου)</p> <p><u>Χημική Ονομασία AAPH:</u> (2, 2-azobis-2-methyl-propanimidamide, dihydrochloride)</p> <p>Αναπτύχθηκε με τη χρήση της φθορίζουσας πρωτεΐνης (β-φυκοερυθρίνης) ως στόχου ριζών, η οποία αργότερα αντικαταστάθηκε από τη φλουορεσκεΐνη λόγω της ασυνέπειας, της ευαισθησίας της στο φως και των προβλημάτων με τη δέσμευση των πολυφαινολών.</p> <p>Η μέθοδος ORAC βασίζεται στην αναστολή της επαγόμενης από ρίζες υπεροξυλίου οξειδωσης που εκκινείται με θερμική αποσύνθεση αζω ενώσεων όπως το AAPH. Επίσης, μετρά την απώλεια φθορισμού φλουορεσκεΐνης με την πάροδο του χρόνου λόγω σχηματισμού ριζών υπεροξυλίου από τη διάσπαση του AAPH.</p> <p>Ο φθορισμός καταγράφεται στο μήκος κύματος διέγερσης 485nm και μήκος κύματος εκπομπής 520nm.</p>	<p><u>Ορολογία FC:</u> <i>Folin-Ciocalteu</i></p> <p>Η μέθοδος προσδιορισμού Folin-Ciocalteu βασίζεται στην αντίδραση των φαινολικών συστατικών με τη βοήθεια χρωματομετρικού αντιδραστηρίου.</p> <p>Μεταφέρει ηλεκτρόνια από φαινολικές ενώσεις σε φωσφομολυβδικά/φωσφοβολφραιμικά όξινα σύμπλοκα και έτσι σχηματίζει σύμπλοκα μπλε χρώματος τα οποία προσδιορίζονται φασματοσκοπικά στα 750-770nm.</p>
<p>Χαρακτηριστικά: Η μέθοδος FRAP είναι αξιόπιστη, οικονομική όμως δεν προσδιορίζει τις θειόλες και αυτό σημειώνεται ως μειονέκτημα της μεθόδου.</p>	<p>Χαρακτηριστικά: Η μέθοδος ORAC είναι μια εξελιγμένη μέθοδος ανάλυσης και απαιτεί τη χρήση ακριβούς εξοπλισμού.</p>	<p>Χαρακτηριστικά: Η μέθοδος Folin-Ciocalteu είναι ευαίσθητη και ποσοτική.</p>

Πηγή: (Alam et al., 2013; Gupta, 2015)

**Πίνακας XIV Συγκεντρωτικός Πίνακας Αντιοξειδωτικής Δράσης Σταυρανόων
Λαχανικών**

Μέθοδοι Ξήρανσης	Είδος Λαχανικού	Δοκιμή ABTS (μmol/g ξ.β.)	Βιβλιογραφική Παραπομπή
Φρέσκο Μπρόκολο	Μπρόκολο	21,08	(Xu et al., 2020)
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		12,16	
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		23,99	
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)		20,92	
Ξήρανση υπό κενό (VD)		15,67	
(MVD) + (HAD)		18,56	
(MVD) + (VD)		20,87	
		(TEAC mg /100 g ξ.β.)	
Ηλιακή Ξήρανση (SD)	Κινέζικο Λάχανο	1,07	(Managa et al., 2020)
Ξήρανση με μικροκύματα (MVD)		0,90	
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		3,01	
Ξήρανση σε φούρνο (OD)		1,84	
		(TEAC mg/g ξ.β.)	
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)	Λάχανο	8,94	(Yue et al., 2021)
Ξήρανση με μικροκύματα (MD)		13,78	
Ξήρανση υπό κενό (VD)		12,80	
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)		18,92	
Ξήρανση υπό κενό με κατάψυξη (VFD)		21,67	
		Δοκιμή DPPH (μmol TE/g ξ.β.)	
Φρέσκο Μπρόκολο	Μπρόκολο	24,06	(Xu et al., 2020)
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		15,23	
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		25,42	
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)		19,33	
Ξήρανση υπό κενό (VD)		18,14	
(MVD) + (HAD)		17,72	
(MVD) + (VD)		20,15	
		(TEAC mg/g ξ.β.)	
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)	Λάχανο	10,74	(Yue et al., 2021)
Ξήρανση με μικροκύματα (MD)		18,31	
Ξήρανση υπό κενό (VD)		13,30	
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)		19,29	
Ξήρανση υπό κενό με κατάψυξη (VFD)		21,37	
		(TEAC mg /100 g ξ.β.)	

Ηλιακή Ξήρανση (SD)	Κινέζικο Λάχανο	0,18		(Managa et al., 2020)
Ξήρανση με μικροκύματα (MD)		0,14		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		0,28		
Ξήρανση σε φούρνο (OD)		0,11		
Ξήρανση στον ήλιο (DS)		0,12		
		DPPH-AOA (%)		
Φρέσκια Ρόκα	Ρόκα	20,0-35,0		(Alruwaih & Yaylayan, 2017)
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		28,01		
Ξήρανση σε δίσκο (TD)		27,96		
		Δοκιμή ORAC (μmol TE/g ξ.β.)		
Φρέσκο Μπρόκολο	Μπρόκολο	34,31		(Xu et al., 2020)
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		21,51		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		35,98		
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)		26,42		
Ξήρανση υπό κενό (VD)		24,65		
(MVD) + (HAD)		22,16		
(MVD) + (VD)		26,24		
		Δοκιμή FRAP (TEAC mg /100 g ξ.β.)		
Ηλιακή Ξήρανση (SD)	Κινέζικο Λάχανο	4,36		(Managa et al., 2020)
Ξήρανση με μικροκύματα (MVD)		2,94		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		4,49		
Ξήρανση σε φούρνο (OD)		1,38		
Ξήρανση στον ήλιο		2,23		
		(mg Fe²⁺/g ξ.β.)		
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)	Λάχανο	134,38		(Yue et al., 2021)
Ξήρανση με μικροκύματα (MD)		226,84		
Ξήρανση υπό κενό (VD)		208,80		
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)		245,11		
Ξήρανση υπό κενό με κατάψυξη (VFD)		326,38		
		Μέθοδος Folin-Ciocalteu (mg GAE/g ξ.β.)		
Φρέσκο Μπρόκολο	Μπρόκολο	4,29		(Xu et al., 2020)
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		2,51		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		4,98		
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)		3,32		
Ξήρανση υπό κενό (VD)		2,57		
(MVD) + (HAD)		3,18		
(MVD) + (VD)		3,48		
		(mg/g)		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		Κουμαρικό οξύ	11,87	
		Φερουλικό οξύ	38,82	

		Συνολικά	14,03	
Ξήρανση με παράθυρο διάθλασης (RWD)	Λάχανο	Κουμαρικό οξύ	10,47	(Vargas et al., 2022)
		Φερουλικό οξύ	41,31	
		Συνολικά	18,77	
Κουμαρικό οξύ		10,65		
Φερουλικό οξύ		36,87		
Συνολικά		14,83		
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		(g/100 g ξ. β)		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)	Ρόκα		8,67	(Alruwaih & Yaylayan, 2017)
Ξήρανση σε δίσκο (TD)			8,50	

Από τα παραπάνω και με βάση τον πίνακα XIV, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι η επίδραση των μεθόδων ξήρανσης στα επίπεδα των ολικών φαινολικών συστατικών εξαρτάται από την πρώτη ύλη καθώς και από τους τύπους πολυφαινολών που παρουσιάζονται στα κύτταρα.

ΔΟΚΙΜΗ ABTS: Η χαμηλότερη ικανότητα απορρόφησης ABTS (σε σύγκριση με το φρέσκο μπρόκολο) παρατηρήθηκε στη μέθοδο ξήρανσης με θερμό αέρα ενώ αντίθετα, η υψηλότερη στην μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη. Επακολούθως, οι τιμές ABTS της μεθόδου ξήρανσης υπό κενό μικροκυμάτων και του συνδυασμού ξήρανσης υπό κενό μικροκυμάτων & ξήρανσης υπό κενό, οι οποίες είχαν ελάχιστη διαφορά μεταξύ τους. Ωστόσο, η υψηλότερη τιμή ABTS που παρατηρήθηκε στη μέθοδο ξήρανση με κατάψυξη οφείλεται στην υψηλή κατακράτηση των ολικών φαινολικών συστατικών, η οποία απομακρύνει αποτελεσματικά τις ελεύθερες ρίζες ABTS.

ΔΟΚΙΜΗ DPPH: Παρομοίως με την δοκιμή ABTS, η χαμηλότερη ικανότητα απορρόφησης DPPH (σε σύγκριση με το φρέσκο μπρόκολο) παρατηρήθηκε στη μέθοδο ξήρανσης με θερμό αέρα ενώ η υψηλότερη στην μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη.

ΔΟΚΙΜΗ ORAC: Η δοκιμή ORAC (σε σύγκριση με τις άλλες δοκιμές) σημείωσε τις υψηλότερες τιμές σε όλες τις μεθόδους ξήρανσης. Όσον αφορά τις μεθόδους, την υψηλότερη τιμή παρουσίασε η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη επακολούθως, η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό μικροκυμάτων και ο συνδυασμός ξήρανσης υπό κενό

μικροκυμάτων & ξήρανσης υπό κενό. Ενώ η ξήρανση με θερμό αέρα τόσο και ο συνδυασμός ξήρανσης υπό κενό μικροκυμάτων & ξήρανσης με θερμό αέρα παρουσίασαν χαμηλότερη τιμή ORAC. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι όσο η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό τόσο και η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα διατήρησαν αποτελεσματικά την αντιοξειδωτική δράση του μπρόκολου. Ενώ η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα εντοπίστηκε ότι έχει πιο αρνητική επίδραση. Τέλος, καλό θα ήταν αναφερθεί ότι, η δοκιμή ORAC παρουσίασε συσχέτιση με το ασκορβικό οξύ και τα ολικά φαινολικά ενώ αντίθετα δεν έδειξε συσχέτιση με τα φλαβονοειδή.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι, οι κατάλληλες τεχνολογίες θερμικής ξήρανσης μπορούν να μειώσουν την αντιοξειδωτική ικανότητα ενός αποξηραμένου λαχανικού. Λόγω του ότι, η επίδραση της θερμότητας ορισμένων συστατικών ρυθμίζει την αντιοξειδωτική ικανότητα, τα ασκορβικά οξέα, τα φλαβονοειδή και τις φαινολικές ενώσεις. Επιπλέον, οι *Dorta et al.* τόνισαν ότι η μείωση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας των λαχανικών κατά τη διαδικασία θερμικής ξήρανσης οφείλεται στην οξειδωτική και θερμική αποικοδόμηση των φαινολικών ενώσεων. Οπότε, μια χαμηλή θερμοκρασία και ένας σύντομος χρόνος ξήρανσης θα ήταν κατάλληλοι για τη διατήρηση της αντιοξειδωτικής δράσης σε αφυδατωμένα μπρόκολα (*Dorta et al.*, 2012).

3.3.2 Λάχανο

ΔΟΚΙΜΕΣ ABTS, DPPH, FRAP: το λάχανο από τον Πίνακα XIV παρατηρούμε πως η ξήρανση υπό κενό με κατάψυξη παρουσίασε την υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση από όλες τις άλλες μεθόδους. Καθώς η μέθοδος αυτή θεωρείται μη θερμική. Σύμφωνα με τους *Hamid et al.*, οι υψηλότερες αντιοξειδωτικές ιδιότητες της μεθόδου ξήρανσης υπό κενό με κατάψυξη μπορεί να οφείλονται στο υψηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής των πολυφαινολών, που τους επιτρέπει να δρουν ως αναγωγικοί παράγοντες, δότες υδρογόνου και αποσβεστήρες του οξυγόνου (*Hamid et al.*, 2020). Ενώ οι *Li et al.*, διαπίστωσαν πως η έντονη παρατεταμένη θερμική επεξεργασία κατά τη διαδικασία ξήρανσης προκαλεί συνήθως σοβαρές απώλειες στην αντιοξειδωτική δράση και την αποικοδόμηση των ενεργών συστατικών (*Li et al.*, 2021). Ωστόσο, οι μέθοδοι ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα, ξήρανσης με μικροκύματα, ξήρανσης

με θερμό αέρα και ξήρανσης υπό κενό μειώθηκαν εκ περιτροπής. Επομένως, εύκολα διαπιστώνουμε πως κατά τη χρήση μη θερμικής μεθόδου (ξήρανση υπό κενό με κατάψυξη) και των ταχέων θερμικών μεθόδων (ξήρανση με μικροκύματα και ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα) οι ικανότητες απορρόφησης των ριζών (DPPH, ABTS και FRAP) ήταν υψηλότερες σε σύγκριση με τις παρατεταμένες υψηλής θερμότητας μεθόδους (ξήρανση με θερμό αέρα και ξήρανση υπό κενό). Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στις δυσμενείς συνθήκες αυτών των μεθόδων, όπως ο παρατεταμένος χρόνος ξήρανσης σε υψηλή θερμοκρασία καθώς και το περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η έντονη θερμότητα και η παρατεταμένη θερμική επεξεργασία κατά τη ξήρανση προκαλούν σοβαρότερες απώλειες στην αντιοξειδωτική δράση (Yue et al., 2021).

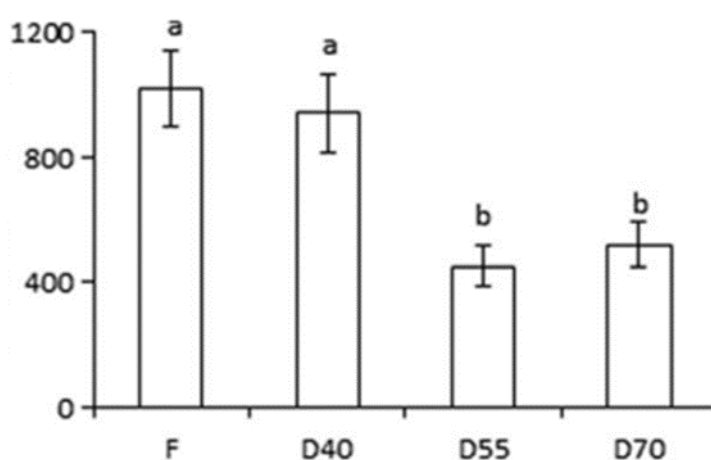
ΜΕΘΟΔΟΣ FOLIN-CIOCALTEU: Η μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης παρουσίασε υψηλότερη ολική περιεκτικότητα φαινολικών από όλες τις μεθόδους. Γενικά γνωρίζουμε πως, στα προϊόντα τροφίμων υψηλής ποιότητας, εφαρμόζεται η ξήρανση με κατάψυξη (Rashmi & Negi, 2020). Όμως, στην μέθοδο ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης ο χρόνος είναι μικρότερος, σε αντίθεση με την ξήρανση με κατάψυξη όπου ο χρόνος είναι μεγαλύτερος (Nindo & Tang, 2007). Επιπλέον, η αυξημένη συνολική περιεκτικότητα φαινολικών μπορεί να οφείλεται και στην ενισχυμένη διάσπαση των κυτταρικών συστατικών είτε στην αποδέσμευση των δεσμευμένων φαινολικών ενώσεων λόγω της θερμότητας. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως και σε άλλες έρευνες, ιδιαίτερα, των Nayak et al., και Nindo et al., η υψηλότερη διατήρηση φαινολικών σημειώθηκε στην μέθοδο ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης (Nayak et al., 2011; Nindo et al., 2003). Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε εύκολα ότι η μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης έχει περιορισμένη επίδραση στην περιεκτικότητα σε φαινόλες διότι, φαίνεται να διατηρεί πιο πολύ από όλες τις μεθόδους τη θρεπτική ποιότητα με πολύ μικρότερο κόστος εξοπλισμού.

Όσον αφορά τις περιεκτικότητες των ταυτοποιημένων φαινολικών οξέων (κουμαρικό και φερουλικό οξύ), παρατηρούμε πως η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη σημείωσε την υψηλότερη τιμή στο κουμαρικό οξύ ενώ η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα την χαμηλότερη. Αυτό συμβαίνει επειδή τα υδροξυκιναμωμικά οξέα (όπως το

κουμαρικό οξύ) είναι ευαίσθητα στη θερμότητα, ως αποτέλεσμα η υψηλή θερμοκρασία και το οξυγόνο να οδηγήσουν σε αποικοδόμηση του κουμαρικού οξέος (Arruda et al., 2020). Τέλος, την υψηλότερη τιμή φερουλικού οξέος παρουσίασε η μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης (Vargas et al., 2022).

3.3.3 Νεροκάρδαμο

ΔΟΚΙΜΗ ABTS: Η συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα (TAOC) ανάμεσα στο φρέσκο και το αποξηραμένο στους 40 °C νεροκάρδαμο δεν έδειξε μεγάλη διαφορά (Σχήμα 1). Όπως επίσης, η ξήρανση στους 55 °C δεν διέφερε από εκείνο στους 70°C.



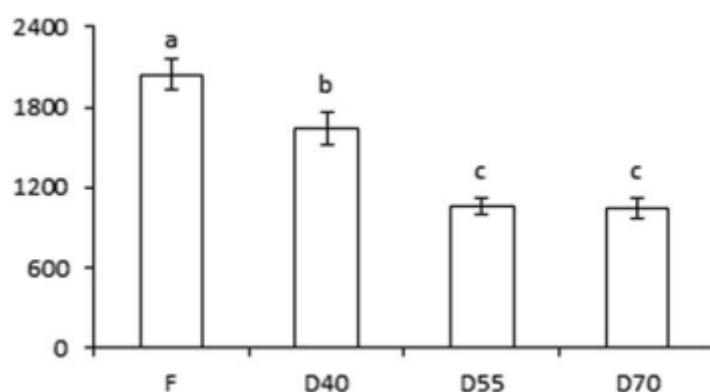
Σχήμα 1. Δοκιμή ABTS Νεροκάρδαμου

(F): Φρέσκο Νεροκάρδαμο & Αποξηραμένο νεροκάρδαμο στους: (D40), (D55) και (D70) °C

Παρόλα αυτά όμως, η μεταξύ τους διαφορά εξακολουθεί να καταδεικνύει ότι η θερμοκρασία ξήρανσης επηρεάζει αρνητικά την αντιοξειδωτική ικανότητα του νεροκάρδαμου, ειδικά με την έκθεσή του σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες ξήρανσης. Αυτή η δυσμενής επίδραση μπορεί να οφείλεται στην υποβάθμιση της βιταμίνης C και των ολικών φαινολικών ενώσεων. Όσον αφορά την ομοιότητα (μεταξύ των θερμοκρασιών 55 και 70 °C) οι Vega-Gálvez et al, διαπίστωσαν πως, η αντιοξειδωτική ικανότητα αυξάνεται σε υψηλές θερμοκρασίες ξήρανσης (π.χ. 80, 90 °C) λόγω μικρότερων χρόνων ξήρανσης αλλά και της δημιουργίας μελανοϊδινών που προέρχονται από την αντίδραση Maillard (Ek et al., 2018; Vega-Gálvez et al., 2009).

ΔΟΚΙΜΗ FOLIN-CIOCALTEU: Παρατηρούμε μείωση της ολικής περιεκτικότητας των φαινολικών, ύστερα από την ξήρανση του νεροκάρδαμου σε διάφορες θερμοκρασίες

(Σχήμα 2). Αν και η ξήρανση στους 55 °C δεν διέφερε από εκείνη στους 70 °C όμως, σημειώθηκαν χαμηλότερες τιμές από εκείνες που επιτεύχθηκαν με τη χρήση της χαμηλότερης θερμοκρασίας ξήρανσης. Η μείωση αυτή μπορεί να αποδοθεί στη σύνδεση των πολυφαινολών με άλλες ενώσεις (πρωτεΐνες) ή στις μεταβολές της χημικής δομής των πολυφαινολών που δεν μπορούν να εξαχθούν και να προσδιοριστούν με τις διαθέσιμες μεθόδους (Di Scala et al., 2011). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια των θερμικών διεργασιών μπορεί να προκύψουν αντιδράσεις αυτοοξειδωσης στις οποίες εμπλέκονται φαινολικές ενώσεις (Ek et al., 2018).



Σχήμα 2. Μέθοδος Folin-Ciocalteu Νεροκάρδαμου

(F): Φρέσκο Νεροκάρδαμο & Αποξηραμένο νεροκάρδαμο στους: (D40), (D55) και (D70) °C

3.3.4 Ρόκα

ΔΟΚΙΜΗ FOLIN-CIOCALTEU: Παρατηρούμε ελάχιστη διαφορά στη περιεκτικότητα ολικών φαινολικών ανάμεσα στις δυο μεθόδους ξήρανσης. Σύμφωνα με την έρευνα των *Pasini et al.*, οι οποίοι υπολόγισαν την περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις διαφόρων ειδών ρόκας (σε βάση ξηρού βάρους), βρέθηκαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις φαινολικών ενώσεων (9,99 – 31,39 g/kg DW ως ισοδύναμα ρουτίνης) (*Pasini et al.*, 2012). Ενώ οι *Martínez-Sánchez et al.*, μελέτησαν την περιεκτικότητα πολυφαινολών σε φύλλα ρόκας (σε βάση νωπού βάρους) όπου και εκείνοι βρήκαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις (για σαλάτα ρόκας: 132,3 mg/100 g και για άγρια ρόκα: 139,1 mg/100 g) (*Martínez-Sánchez et al.*, 2008). Επομένως, διαπιστώνουμε ότι οι φαινολικές ενώσεις που μετρήθηκαν με τη μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη και την

μέθοδο ξήρανσης σε δίσκο φάνηκε να είναι υψηλότερες σε σύγκριση με τη φρέσκια και την αποξηραμένη ρόκα στις προηγούμενες μελέτες.

Η ανάλυση των ολικών φαινολικών με την μέθοδο Folin-Ciocalteu είναι μια απλή και αναπαραγωγική μέθοδος που χρησιμοποιείται τακτικά από άλλους ερευνητές (Huang et al., 2005). Η περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες, όπως και τα φλαβονοειδή, επηρεάζεται από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, από την ωριμότητα των φύλλων και από την περίοδο ανάπτυξης. Η ασυνέπεια στις συγκεντρώσεις μπορεί να συνδέεται με τις διαφορετικές συνθήκες εκχύλισης και τον τύπο ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε, εάν ληφθεί υπόψιν ότι παραπάνω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ως ξηρό βάρος σε σύγκριση με το νωπό βάρος άλλων μελετών (Heimler et al., 2007).

ΔΟΚΙΜΗ DPPH: Οι δύο μέθοδοι ξήρανσης της ρόκας παρουσίασαν σχεδόν παρόμοια μείωση της DPPH σε συγκέντρωση 25 mg/ml (ξηρό βάρος). Η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη εμφάνισε 28,01% ενεργότητα απορρόφησης ενώ η μέθοδος ξήρανσης σε δίσκο 27,96%. Η μέση ενεργότητα της φρέσκιας ρόκας κυμαίνεται περίπου στο 20-35% σε συγκέντρωση 7 mg/ml. Τα αποτελέσματα της αντιοξειδωτικής δράσης εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες εκ των οποίων συμπεριλαμβάνονται το στάδιο ανάπτυξης του λαχανικού, ο χρόνος συγκομιδής του καθώς και οι μέθοδοι ξήρανσης που χρησιμοποιούνται.

3.3.5 Κινέζικο Λάχανο

ΔΟΚΙΜΕΣ ABTS, DPPH και FRAP: Η μέθοδος ξήρανσης στον ήλιο επέδειξε ότι έχει αρνητική επίδραση στα φύλλα του κινέζικου λάχανου επίσης, η μέθοδος ξήρανσης με μικροκύματα να μειώνει την αντιοξειδωτική δράση. Ενώ από την άλλη, η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη εκφράστηκε θετικά και στις τρεις δοκιμές. Όπως είναι ήδη γνωστό, η θερμική ξήρανση αυξάνει την αντιοξειδωτική δράση. Παρόλα αυτά όμως, η θέρμανση στους 65°C ή 100°C επηρέασε αρνητικά, παρουσιάζοντας μείωση σε όλες τις δοκιμές. Ενώ η ξήρανση με κατάψυξη φαίνεται να έχει διατηρήσει τα μη φαινολικά αντιοξειδωτικά (ασκορβικό οξύ, καροτενοειδή) τα οποία έχουν υψηλότερο δυναμικό οξειδοαναγωγής με αποτέλεσμα να συμβάλλουν περισσότερο στις δοκιμές

DPPH και ABTS. Επομένως, για την διατήρηση της αντιοξειδωτικής δράσης, η ξήρανση με κατάψυξη προτιμάται από τις άλλες μεθόδους ξήρανσης (Managa et al., 2020).

3.4. Βιοδραστικές ενώσεις

Οι βιοδραστικές ενώσεις των σταυρανθών λαχανικών επηρεάζονται κατά μεγάλο ή μικρό βαθμό ύστερα από την ξήρανσή τους με διαφορετικές μεθόδους τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα XV.

Πίνακας XV Συγκεντρωτικός Πίνακας Βιοδραστικών Ενώσεων				
Μέθοδοι Ξήρανσης	Είδος Λαχανικού	Γλυκοζινολίτες (μμοι RE/g ξ.β.)		Βιβλιογραφική Παραπομπή
Φρέσκο Μπρόκολο	Μπρόκολο	19,79		Xu et al., 2019
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		7,30		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		13,37		
Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)		7,26		
Ξήρανση υπό κενό (VD)		8,85		
(MVD) + (HAD)		8,89		
(MVD) + (VD)		9,31		
		(mg/g ξ.β.)		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)	Λάχανο	Γλυκοϊβερίνη	75,00	Vargas et al., 2021
		Προγοϊτρίνη	11,16	
		Σινιγκρίνη	11,10	
		Γλυκοραφανίνη	3,99	
		Συνολικά	100,18	
Ξήρανση με παράθυρο διάθλασης (RWD)		Γλυκοϊβερίνη	62,05	
		Προγοϊτρίνη	20,56	
		Σινιγκρίνη	12,14	
		Γλυκοραφανίνη	5,03	
		Συνολικά	100,06	
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		Γλυκοϊβερίνη	62,21	
		Προγοϊτρίνη	19,83	
		Σινιγκρίνη	12,34	
		Γλυκοραφανίνη	4,14	
		Συνολικά	99,25	
		Ισοθειοκυανικά (μg/g ξ. β)		
Ξήρανση με κατάψυξη	Ρόκα	3,26		Alruwaih and Yaylayan, 2016
Ξήρανση σε δίσκο		6,05		
		Φλαβονοειδή (mg RE/g ξ.β.)		
Φρέσκο Μπρόκολο		2,36		
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		0,95		
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		1,01		

Ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα (MVD)	Μπρόκολο	1,31	Xu et al., 2019
Ξήρανση υπό κενό (VD)		1,19	
(MVD) + (HAD)		1,27	
(MVD) + (VD)		1,78	
		(mg/g)	
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)	Λάχανο	18,72	Vargas et al., 2021
Ξήρανση με παράθυρο διάθλασης (RWD)		19,51	
Ξήρανση με θερμό αέρα (HAD)		19,53	
		(g/100g ξ.β)	
Ξήρανση με κατάψυξη	Ρόκα	3,29	Alruwaih and Yaylayan, 2016
Ξήρανση σε δίσκο		2,42	
		Καροτενοειδή (mg/100g v.β.)	
Φρέσκο Κ. Λάχανο	Κινέζικο Λάχανο	0,93	Managa, Sultanbawa and Sivakumar, 2020
Ηλιακή Ξήρανση (SD)		1,75	
Ξήρανση με μικροκύματα (MD)		0,67	
Ξήρανση με κατάψυξη (FD)		1,81	
Ξήρανση σε φούρνο (OD)		0,55	

3.4.1 Γλυκοζινολίτες

Μπρόκολο

Η ολική περιεκτικότητα σε γλυκοζινολίτες του φρέσκου μπρόκολου ήταν 19,79 mg /g ξηρού βάρους (Πίνακας XV) η οποία μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό από τις μεθόδους ξήρανσης και με ποσοστό απώλειας πάνω από 50%. Εξαίρεση αποτέλεσε η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη, το οποίο παρουσίασε χαμηλότερο ποσοστό απώλειας 32,94%. Ενώ από την άλλη η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα και η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα προκάλεσαν το υψηλότερο ποσοστό απώλειας με πάνω από 60%. Όσο για τον συνδυασμό ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης με θερμό αέρα και ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης υπό κενό παρατηρούμε πως οδήγησαν σε ποσοστό απώλειας 55,07% και 52,65% αντίστοιχα. Αυτό έδωσε σαν αποτέλεσμα ότι η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα σε συνδυασμό με μια από τις μεθόδους ξήρανσης με θερμό αέρα ή ξήρανσης υπό κενό θα μπορούσε να βελτιώσει αποτελεσματικά τη διατήρηση των γλυκοζινολιτών. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ο μεγάλος χρόνος ξήρανσης και η

υψηλή θερμοκρασία θα προωθούσαν την αποικοδόμηση των γλυκοζινολιτών (Xu et al., 2020).

Λάχανο

Για το λάχανο μελετήθηκαν συνολικά 4 γλυκοζινολίτες: η γλυκοϊβερίνη, η προγοϊτρίνη, η σινικκρίνη και η γλυκοραφανίνη. Από τον Πίνακα XV παρατηρούμε πως η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη παρουσίασε υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα γλυκοζινολιτών με ελάχιστη διαφορά από τις άλλες μεθόδους ξήρανσης. Η περιεκτικότητα της γλυκοϊβερίνης ήταν υψηλότερη σε όλες τις μεθόδους, ενώ αντίθετα η γλυκοραφανίνη, χαμηλότερη.

Σύμφωνα με άλλες έρευνες διαπιστώθηκε ότι, οι υψηλές θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται για την ξήρανση έχουν την ικανότητα να αδρανοποιήσουν τη δραστηριότητα του ενζύμου μυροσινάση το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποικοδόμηση των γλυκοζινολιτών. Υπάρχουν διάφορες μελέτες που μελετούν την επίδραση των μεθόδων ξήρανσης στη διατήρηση των γλυκοζινολιτών. Με βάση τις έρευνες των *Mediani et al.*, και *Roshanak et al.*, αποδείχθηκε ότι η ξήρανση με κατάψυξη διατηρεί περισσότερα βιοδραστικά από τις παραδοσιακές μεθόδους ξήρανσης (ξήρανση με θερμό αέρα) λόγω της χρήσης χαμηλότερων θερμοκρασιών (*Mediani et al.*, 2014; *Roshanak et al.*, 2016). Ενώ αντίθετα, οι *Aires, Carvalho and Rosa* και οι *Eylen et al.*, ανέφεραν ότι η δραστηριότητα της μυροσινάσης θα μπορούσε να μειωθεί έντονα από την υψηλή θερμοκρασία με αποτέλεσμα να καθυστερήσει η αποικοδόμηση των γλυκοζινολιτών έτσι ώστε να διατηρηθεί μια αξιόλογη ποσότητα (*Aires et al.*, 2012; *Eylen et al.*, 2008). Εν κατακλείδι, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η περιεκτικότητα των γλυκοζινολιτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος του λαχανικού και από την χρησιμοποιούμενη μέθοδο ξήρανσης. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρούμε πως δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στην περιεκτικότητα των γλυκοζινολιτών μεταξύ των τριών μεθόδων ξήρανσης. Επομένως, ακόμα και η μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα μπορεί να είναι αποτελεσματική στην ξήρανση διατηρώντας υψηλές περιεκτικότητες γλυκοζινολιτών.

3.4.2 Ισοθειοκυανικά

Ρόκα

Η μέθοδος ξήρανσης σε δίσκο παρουσίασε σχεδόν διπλάσια συγκέντρωση σε σχέση με την μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη. Ωστόσο, υπήρχαν ελάχιστες πληροφορίες στη βιβλιογραφία σχετικά με την ολική περιεκτικότητα σε ισοθειοκυανικά της φρέσκιας ή αποξηραμένης ρόκας. Οι Melchini et al., εντόπισαν σε εκχυλίσματα της ρόκας υψηλότερα επίπεδα σουλφοραφάνης (0,615 mg/g ξηρού βάρους) σε αντίθεση με την ερουκίνη (8,84 μg/g ξηρού βάρους) (Melchini et al., 2009). Ενώ οι Tang et al., μελέτησαν 8 ακατέργαστα σταυρανθή λαχανικά (σε νωπό βάρος) και τα αποτελέσματα έδειξαν 16,2 μmol/100g μέση περιεκτικότητα ισοθειοκυανικών, με χαμηλότερη την 1,5 μmol/100g και υψηλότερη 61,31 μmol/100g (Tang et al., 2013). Επομένως, παρά την διπλάσια περιεκτικότητα που σημείωσε η μέθοδος ξήρανσης σε δίσκο (6,05 μg/g ξ. β) περιείχε μια μέση ποσότητα περιεκτικότητας ισοθειοκυανικών σε σύγκριση με άλλα ωμά σταυρανθή λαχανικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι διαφορετικές μέθοδοι ξήρανσης ή ακόμα και η προετοιμασία των λαχανικών επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγή και την απελευθέρωση ισοθειοκυανικών ενώσεων (Alruwaih & Yaylayan, 2017).

3.4.3 Φλαβονοειδή

Μπρόκολο

Από τον Πίνακα XV παρατηρούμε πως, ύστερα από την ξήρανση, όλες οι τιμές βρίσκονται κάτω από την τιμή του φρέσκου μπρόκολου. Μάλιστα, ακόμα χαμηλότερη τιμή φλαβονοειδών παρουσίασε η μέθοδος ξήρανσης θερμού αέρα το οποίο είχε και ποσοστό απώλειας 56,96%. Αυτό θα μπορούσε να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι είχε την υψηλότερη θερμοκρασία. Η μέθοδος ξήρανσης υπό κενό είχε ποσοστό απώλειας 49,36% και ακολουθούμενη η μέθοδος ξήρανσης υπό κενού με μικροκύματα είχε ποσοστό 44,31%. Όσο για τον συνδυασμό των μεθόδων ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης με θερμό αέρα σημειώθηκε ποσοστό απώλειας 46,30% ενώ ο συνδυασμός των μεθόδων ξήρανσης υπό κενό με μικροκύματα & ξήρανσης υπό κενό παρουσίασε την υψηλότερη διατήρηση φλαβονοειδών με ποσοστό απώλειας 24,61%. Τα αποτελέσματα αυτά έδειξαν ότι η

απώλεια των φλαβονοειδών κατά την διαδικασία της ξήρανσης έχει την τάση να επηρεάζεται τόσο από την διάρκεια όσο και από την θερμοκρασία. Σύμφωνα με τους Kubra, Kumar and Rao η μέτρια διεισδυτικότητα μικροκυμάτων θα μπορούσε να οδηγήσει σε διάσπαση των κυτταρικών συστατικών και να διευκολύνει την εκχύλιση των φλαβονοειδών, αξιολογώντας την τάση των επιπέδων τους, στη διαδικασία της μεθόδου ξήρανσης με μικροκύματα (Rahath Kubra et al., 2016).

Λάχανο

Η υψηλότερη ολική περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή σημειώθηκε στην μέθοδο ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης με ελάχιστη διαφορά από τις υπόλοιπες δυο μεθόδους. Σύμφωνα με τις έρευνες των Barrett & Lloyd και των Niamnuy, Devahastin, Soronronnarit διαπιστώθηκε ότι η ξήρανση επηρεάζει την απελευθέρωση των φλαβονοειδών ακόμα και των φαινολικών ενώσεων στα λαχανικά λόγω μικροδομικών αλλαγών (Barrett & Lloyd, 2012; Niamnuy et al., 2014). Οι αλλαγές αυτές μπορεί να προκαλέσουν θετικές, αρνητικές ή ουδέτερες αλλαγές στις περιεκτικότητες ολικών φαινολικών και φλαβονοειδών. Τα φλαβονοειδή βρίσκονται κυρίως σε δεσμευμένη μορφή στη φυτική μήτρα και τα αποτελέσματα μας αποκάλυψαν ότι η θερμότητα μπορεί να συμβάλει στην απελευθέρωση ορισμένων φλαβονοειδών. Εντούτοις, η θερμική επεξεργασία είναι υπεύθυνη για την παραγωγή αλλαγών στην εκχυλισιμότητα αυτών των ενώσεων λόγω της διάσπασης των κυτταρικών τοιχωμάτων του φυτού με αποτέλεσμα, τα δεσμευμένα φλαβονοειδή να απελευθερωθούν ευκολότερα (Dewanto et al., 2002; Jeong et al., 2004; Liu et al., 2022).

Ρόκα

Η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη σημείωσε υψηλότερη συγκέντρωση ολικών φλαβονοειδών από την μέθοδο ξήρανσης σε δίσκο. Όπως είναι ήδη γνωστό, η κατάψυξη οδηγεί σε υψηλή αποτελεσματικότητα της εκχύλισης, καθώς οι κρύσταλλοι πάγου που σχηματίζονται στη φυτική μήτρα μπορούν να διαρρήξουν την κυτταρική δομή προκαλώντας την απελευθέρωση κυτταρικών συστατικών. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη προσβασιμότητα του διαλύτη και την εκχύλιση (Chan et al.,

2009). Έτσι η ξήρανση με κατάψυξη θεωρείται η καλύτερη μέθοδος για την διατήρηση των φλαβονοειδών (Alruwaih & Yaylayan, 2017).

3.4.4 Καροτενοειδή

Κινέζικο Λάχανο

Η περιεκτικότητα σε καροτενοειδή ήταν υψηλότερη στις μεθόδους ξήρανσης στον ήλιο, ηλιακής ξήρανσης και ξήρανσης με κατάψυξη από το φρέσκο κινέζικο λάχανο. Καθώς η ξήρανση με κατάψυξη, η οποία θεωρείται μη θερμική επεξεργασία επηρέασε, περισσότερο τη διατήρηση της περιεκτικότητας σε καροτενοειδή ενώ αντίθετα, η ξήρανση στον φούρνο την υποβάθμισε. Ωστόσο, όπως είναι ήδη γνωστό το χρώμα του τελικού προϊόντος σχετίζεται με την οπτική εμφάνιση και την αποδοχή των καταναλωτών. Επομένως, η καταλληλότερη μέθοδος ξήρανσης για τη διατήρηση του χρώματος θα μπορούσε να είναι η ξήρανση με κατάψυξη, η οποία παρέχει πορώδη δομή, με περιορισμένη ή λιγότερη συρρίκνωση για τη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος (Managa et al., 2020).

Σχόλια-Συμπεράσματα

Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές ξήρανσης για την πρόληψη της ανάπτυξης μικροοργανισμών, τη μείωση του βάρους, του όγκου καθώς και την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς ή αποθήκευσης των τροφίμων. Οι διαφορετικές μέθοδοι ξήρανσης επιδρούν θετικά ή αρνητικά στην ποιότητα των σταυρανθών λαχανικών.

Το χρώμα των λαχανικών εξαρτάται από την θερμοκρασία ξήρανσής τους. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ξήρανσης τα λαχανικά αποκτούν ολόένα και περισσότερο σκούρο χρώμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αποικοδόμηση της χρωστικής και στην αντίδραση μαυρίσματος (Maillard) που σχηματίζεται κατά την αντίδραση αναγωγικών σακχάρων με τα αμινοξέα. Οπότε οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν θερμικές μέθοδοι (ξήρανση με θερμό αέρα, ξήρανση με μικροκύματα) κατά τη διάρκεια της ξήρανσης παρουσιάζουν κακή πρόληψη χρώματος και φωτεινότητας.

Ενώ οι μη θερμικές μέθοδοι (ξήρανση με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο, ξήρανση με κατάψυξη) διατηρούν καλύτερα το χρώμα του λαχανικού.

Οι βιταμίνες είναι ευαίσθητες σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς και η θερμική επεξεργασία απενεργοποιεί τα ενδογενή οξειδωτικά ένζυμα ακόμα και η ενέργεια του φωτός ή η έκπλυση του λαχανικού παίζουν καθοριστικό ρόλο κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι θερμικές μέθοδοι ξήρανσης (μέθοδος ξήρανσης με θερμό αέρα, αλλά και ο κάθε συνδυασμός με αυτήν την μέθοδο) να οδηγούν στην αποικοδόμησή τους.

Η παρατεταμένη και έντονη θερμική επεξεργασία προκαλεί σοβαρές απώλειες και στην αντιοξειδωτική δράση των σταυρανθών λαχανικών. Μια θερμική μέθοδος ξήρανσης μπορεί να οδηγήσει σε ποσοστό απώλειας έως και 42%. Οπότε μια μη θερμική μέθοδος θα μπορούσε να δώσει καλύτερα αποτελέσματα. Εάν ληφθούν υπόψιν όμως ο χρόνος ξήρανσης και το κόστος εξοπλισμού, τότε η μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης προτιμάται από την μέθοδο ξήρανσης με κατάψυξη.

Τέλος, όσον αφορά τα βιοδραστικά συστατικά των σταυρανθών λαχανικών βρέθηκε ότι η θερμική μέθοδος μπορεί να δώσει απώλεια έως και 60% ενώ εάν συνδυαστεί με κάποια άλλη μέθοδο οδηγεί σε μικρότερο ποσοστό απώλειας. Εξαιρέση αποτελεί πάλι η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη παρουσιάζοντας την μικρότερη απώλεια (έως και 33%) με αποτέλεσμα να προτιμάται έναντι των άλλων μεθόδων.

Εν κατακλείδι, η συμβατική ξήρανση με θερμό αέρα προκαλεί συχνά θερμικές βλάβες επηρεάζοντας την υφή, το χρώμα, τη γεύση και τη θρεπτική αξία των αποξηραμένων προϊόντων. Καθώς ακόμα και ο συνδυασμός της με άλλες μεθόδους δίνει τα ίδια αποτελέσματα. Λύση σε αυτό φέρει η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί για την παράκαμψη της θερμικής βλάβης και την παραγωγή του προϊόντος με εξαιρετική διατήρηση της δομής, όμως είναι δαπανηρή διαδικασία και χρησιμοποιείται για προϊόντα υψηλής αξίας. Ωστόσο, για προϊόντα χαμηλής αξίας είναι κατάλληλη και η μέθοδος ξήρανσης με παράθυρο διάθλασης. Ενώ η νέα μη θερμική τεχνική ξήρανσης είναι η ξήρανση με υψηλό ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο διαπιστώθηκε ότι, διατηρεί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταυρανθών λαχανικών κατά μεγάλο βαθμό.

Βιβλιογραφία

- Abbaoui, B., Lucas, C. R., Riedl, K. M., Clinton, S. K., & Mortazavi, A. (2018). Cruciferous vegetables, isothiocyanates, and bladder cancer prevention. *Molecular Nutrition & Food Research*, *62*(18), 1800079.
- Aires, A., Carvalho, R., & Rosa, E. (2012). Glucosinolate Composition of Brassica Is Affected by Postharvest, Food Processing and Myrosinase Activity. *Journal of Food Processing and Preservation*, *36*(3), 214–224.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00581.x>
- Alam, Md. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, Md. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *21*(2), 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002>
- Alruwaih, N. A., & Yaylayan, V. A. (2017). Comparative evaluation of bioactive compounds in lyophilized and tray-dried rocket (*Eruca sativa*). *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*(5), e13205.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.13205>
- Al-Shehbaz, I. A. (2002). Brassicaceae (Mustard Family). In *ELS*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0003690>
- Arruda, C., Pena Ribeiro, V., Oliveira Almeida, M., Aldana Mejía, J. A., Casoti, R., & Kenupp Bastos, J. (2020). Effect of light, oxygen and temperature on the stability of artepillin C and p-coumaric acid from Brazilian green propolis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *178*, 112922.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.112922>

- Asami, D. K., Hong, Y.-J., Barrett, D. M., & Mitchell, A. E. (2003). Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air-Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(5), 1237–1241. <https://doi.org/10.1021/jf020635c>
- Bajgai, T. R., & Hashinaga, F. (2001). High Electric Field Drying of Japanese Radish. *Drying Technology*, *19*(9), 2291–2302. <https://doi.org/10.1081/DRT-100107499>
- Banihani, S. A. (2017). Radish (*Raphanus sativus*) and diabetes. *Nutrients*, *9*(9), 1014.
- Barrett, D. M., & Lloyd, B. (2012). Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *92*(1), 7–22. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4718>
- Brennand, C. (1994). *Home Drying of Food*. 28.
- Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, S. K., Lim, K. K., Tan, S. P., Lianto, F. S., & Yong, M. Y. (2009). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food Chemistry*, *113*(1), 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.090>
- Channe, D., & Datta, A. (2018). Refractance window drying of fruits and vegetables: A Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9356>
- Dewanto, V., Wu, X., & Liu, R. H. (2002). Processed Sweet Corn Has Higher Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(17), 4959–4964. <https://doi.org/10.1021/jf0255937>

- Di Scala, K., Vega-Gálvez, A., Uribe, E., Oyanadel, R., Miranda, M., Vergara, J., Quispe, I., & Lemus-Mondaca, R. (2011). Changes of quality characteristics of pepino fruit (*Solanum muricatum* Ait) during convective drying. *International Journal of Food Science & Technology*, *46*(4), 746–753.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02555.x>
- Dorta, E., Lobo, M. G., & González, M. (2012). Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, *45*(2), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.08.016>
- Ek, P., Araújo, A. C., Oliveira, S. M., Ramos, I. N., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2018). Assessment of nutritional quality and color parameters of convective dried watercress (*Nasturtium officinale*). *Journal of Food Processing and Preservation*, *42*(2), e13459. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13459>
- Eylen, D. V., Oey, I., Hendrickx, M., & Loey, A. V. (2008). Effects of pressure/temperature treatments on stability and activity of endogenous broccoli (*Brassica oleracea* L. cv. Italica) myrosinase and on cell permeability. *Journal of Food Engineering*, *89*(2), 178–186.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.04.016>
- Feng, H., Tang, J., Mattinson, D. S., & Fellman, J. K. (1999). MICROWAVE and SPOUTED BED DRYING of FROZEN BLUEBERRIES: The EFFECT of DRYING AND PRETREATMENT METHODS ON PHYSICAL PROPERTIES and RETENTION of FLAVOR VOLATILES. *Journal of Food Processing and Preservation*, *23*(6), 463–479. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1999.tb00398.x>
- Fernandes, F., Valentão, P., Sousa, C., Pereira, J. A., Seabra, R. M., & Andrade, P. B. (2007). Chemical and antioxidative assessment of dietary turnip (*Brassica*

rapa var. Rapa L.). *Food Chemistry*, 105(3), 1003–1010.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.063>

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.

Gupta, D. (2015). Methods for determination of antioxidant capacity: A review.

INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACEUTICAL SCIENCES AND RESEARCH, 6, 546–566. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6\(2\).546-66](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6(2).546-66)

Hamid, Thakur, N. S., Thakur, A., & Kumar, P. (2020). Effect of different drying modes on phenolics and antioxidant potential of different parts of wild pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae*, 274, 109656.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109656>

Heimler, D., Isolani, L., Vignolini, P., Tombelli, S., & Romani, A. (2007). Polyphenol

Content and Antioxidative Activity in Some Species of Freshly Consumed Salads. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(5), 1724–1729.

<https://doi.org/10.1021/jf0628983>

Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The Chemistry behind Antioxidant Capacity

Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856.

<https://doi.org/10.1021/jf030723c>

IARC Lyon. (2004). *Cruciferous Vegetables, Isothiocyanates and Indoles*. IARC.

Jeong, S.-M., Kim, S.-Y., Kim, D.-R., Jo, S.-C., Nam, K. C., Ahn, D. U., & Lee, S.-C.

(2004). Effect of Heat Treatment on the Antioxidant Activity of Extracts from Citrus Peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3389–3393.

<https://doi.org/10.1021/jf049899k>

- Jin, X. (2013). *Drying of Healthy Foods From Mechanism to Optimization*.
- Leite, P. M., & Castilho, R. O. (2017). Chemosystematics of Brassicales. *Biochemical Systematics and Ecology*, 71, 205–211.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2017.02.011>
- Li, H., Xia, Y., Liu, H.-Y., Guo, H., He, X.-Q., Liu, Y., Wu, D.-T., Mai, Y.-H., Li, H.-B., Zou, L., & Gan, R.-Y. (2022). Nutritional values, beneficial effects, and food applications of broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica* Plenck). *Trends in Food Science & Technology*, 119, 288–308.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.015>
- Li, J., Li, Z., Li, L., Song, C., Raghavan, G. S. V., & He, F. (2021). Microwave drying of balsam pear with online aroma detection and control. *Journal of Food Engineering*, 288, 110139. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110139>
- Liapis, A., & Marchello, J. (1984). Advances in the Modeling and Control of Freeze-Drying. *Advances in Drying, Volume 3*.
https://scholarsmine.mst.edu/che_bioeng_facwork/175
- Lim, Y. Y., & Murtijaya, J. (2007). Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods. *LWT - Food Science and Technology*, 40(9), 1664–1669. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.12.013>
- Liu, Y., Zhang, Z., & Hu, L. (2022). High efficient freeze-drying technology in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(12), 3370–3388.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1865261>
- Managa, M. G., Sultanbawa, Y., & Sivakumar, D. (2020). Effects of Different Drying Methods on Untargeted Phenolic Metabolites, and Antioxidant Activity in Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. *Chinensis*) and Nightshade (*Solanum*

retroflexum Dun.). *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(6), E1326.

<https://doi.org/10.3390/molecules25061326>

Manchali, S., Murthy, K. N. C., & Patil, B. S. (2012). Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 94–106.

Martínez-Sánchez, A., Gil-Izquierdo, A., Gil, M. I., & Ferreres, F. (2008). A Comparative Study of Flavonoid Compounds, Vitamin C, and Antioxidant Properties of Baby Leaf Brassicaceae Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(7), 2330–2340. <https://doi.org/10.1021/jf072975+>

McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2003). *Βασικές Φυσικές Διεργασίες Μηχανικής* (Τζιόλα).

Mediani, A., Abas, F., Tan, C. P., & Khatib, A. (2014). Effects of Different Drying Methods and Storage Time on Free Radical Scavenging Activity and Total Phenolic Content of *Cosmos Caudatus*. *Antioxidants*, 3(2), 358–370. <https://doi.org/10.3390/antiox3020358>

Melchini, A., Costa, C., Traka, M., Miceli, N., Mithen, R., De Pasquale, R., & Trovato, A. (2009). Erucin, a new promising cancer chemopreventive agent from rocket salads, shows anti-proliferative activity on human lung carcinoma A549 cells. *Food and Chemical Toxicology*, 47(7), 1430–1436. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.03.024>

Nayak, B., Berrios, J. D. J., Powers, J. R., Tang, J., & Ji, Y. (2011). Colored Potatoes (*solanum Tuberosum* L.) Dried for Antioxidant-Rich Value-Added Foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(5), 571–580. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00502.x>

- Niamnuy, C., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2014). Some recent advances in microstructural modification and monitoring of foods during drying: A review. *Journal of Food Engineering*, *123*, 148–156.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.026>
- Nindo, C. I., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., & Powers, J. R. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *LWT - Food Science and Technology*, *36*(5), 507–516. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00046-X)
- Nindo, C. I., & Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*.
<https://doi.org/10.1080/07373930601152673>
- Oetjen, G.-W. (2012). *Freeze-Drying*.
- Onwude, D. I., Hashim, N., & Chen, G. (2016). Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops. *Trends in Food Science & Technology*, *57*, 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.012>
- Parikh, D. (2015). Vacuum Drying: Basics and Application. *Chemical Engineering*, *122*.
- Pasini, F., Verardo, V., Caboni, M. F., & D'Antuono, L. F. (2012). Determination of glucosinolates and phenolic compounds in rocket salad by HPLC-DAD–MS: Evaluation of *Eruca sativa* Mill. and *Diplotaxis tenuifolia* L. genetic resources. *Food Chemistry*, *133*(3), 1025–1033.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.021>
- Perera, C. O. (2005). Selected Quality Attributes of Dried Foods. *Drying Technology*, *23*(4), 717–730. <https://doi.org/10.1081/DRT-200054180>

- 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.
- Potter, N. N., & Hotchkiss, J. H. (1998). *Food Science*.
- Rahath Kubra, I., Kumar, D., & Jagan Mohan Rao, L. (2016). Emerging Trends in Microwave Processing of Spices and Herbs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(13), 2160–2173.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2013.818933>
- Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, 136, 109298. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109298>
- Roshanak, S., Rahimmalek, M., & Goli, S. A. H. (2016). Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of green tea (*Camellia sinensis* or *C. assamica*) leaves. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 721–729.
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-2030-x>
- Šamec, D., & Salopek-Sondi, B. (2019). Chapter 3.11—Cruciferous (Brassicaceae) Vegetables. In S. M. Nabavi & A. S. Silva (Eds.), *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements* (pp. 195–202). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00027-8>
- Singh, B. K., Singh, B., & Singh, P. M. (2018). Breeding Cauliflower: A Review. *International Journal of Vegetable Science*, 24(1), 58–84.
<https://doi.org/10.1080/19315260.2017.1354242>

- Tang, L., Paonessa, J. D., Zhang, Y., Ambrosone, C. B., & McCann, S. E. (2013). Total isothiocyanate yield from raw cruciferous vegetables commonly consumed in the United States. *Journal of Functional Foods*, *5*(4), 1996–2001.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.07.011>
- Toğrul, İ. T., & Pehlivan, D. (2004). Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering*, *65*(3), 413–425. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.001>
- Tsao, J. S.-J., & Lo, H.-F. (2005). 20 Vegetables: Types and Biology. *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering-4 Volume Set*.
- Van, A. W. B., & Copley, M. J. (1964). *Food Dehydration. Volume 2. Products and Technology*.
- Vargas, L., Kapoor, R., Nemzer, B., & Feng, H. (2022). Application of different drying methods for evaluation of phytochemical content and physical properties of broccoli, kale, and spinach. *LWT*, *155*, 112892.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112892>
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., & Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, *117*(4), 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>
- Vega-Mercado, H., Marcela Góngora-Nieto, M., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, *49*(4), 271–289. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00224-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00224-7)

- Wang, H., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2014). Comparison of Three New Drying Methods for Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*). *Drying Technology*, 32(15), 1791–1802.
<https://doi.org/10.1080/07373937.2014.947426>
- Wikipedia. (2020). Ρόκα (φυτό). In *Βικιπαίδεια*.
[https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%A1%CF%8C%CE%BA%CE%B1_\(%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C\)&oldid=8530145](https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%A1%CF%8C%CE%BA%CE%B1_(%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C)&oldid=8530145)
- Wikipedia. (2021a). Κουνουπίδι. In *Βικιπαίδεια*.
<https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%9A%CE%BF%CF%85%CE%BD%CE%BF%CF%85%CF%80%CE%AF%CE%B4%CE%B9&oldid=8686425>
- Wikipedia. (2021b). Γογγύλι. In *Βικιπαίδεια*.
<https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%93%CE%BF%CE%B3%CE%B3%CF%8D%CE%BB%CE%B9&oldid=9168231>
- Wikipedia. (2022). Bok choy. In *Wikipedia*.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bok_choy&oldid=1093438046
- Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., & Tagawa, A. (2007). Vacuum drying characteristics of eggplants. *Journal of Food Engineering*, 83(3), 422–429.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.030>
- Xu, B., Sylvain Tiliwa, E., Yan, W., Roknul Azam, S. M., Wei, B., Zhou, C., Ma, H., & Bhandari, B. (2022). Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review. *Food Research International*, 152, 110744. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110744>
- Xu, Y., Xiao, Y., Lagnika, C., Song, J., Li, D., Liu, C., Jiang, N., Zhang, M., & Duan, X. (2020). A comparative study of drying methods on physical characteristics,

- nutritional properties and antioxidant capacity of broccoli. *Drying Technology*, 38(10), 1378–1388.
<https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1656642>
- Yue, T., Xing, Y., Xu, Q., Yang, S., Xu, L., Wang, X., & Yang, P. (2021). Physical and chemical properties of purple cabbage as affected by drying conditions. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 997–1010.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1953070>
- Θανόπουλος, Χ. (2008). *Τεχνική βιολογικής καλλιέργειας λαχανικών—Λάχανο*.
- Κουτσός, Θ. (1997). *ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΕΓΧΩΡΙΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ ΛΑΧΑΝΟΥ*.
<https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/10554>
- Κροκίδα, Μ. (1999). *Επίδραση της μεθόδου ξήρανσης στις ιδιότητες των αφυδατωμένων προϊόντων* [Doctoral Dissertation, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Τμήμα Χημικών Μηχανικών. Τομέας Ανάλυσης. Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων. Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών].
<http://hdl.handle.net/10442/hedi/11561>
- Κυρανούδης, Χ. (1992). *ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ*.
<https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/2274>
- Ρεβέλου, Π.-Κ. (2018). *Απομόνωση βιοδραστικών ενώσεων από σταυρανθή λαχανικά. Ταυτοποίηση και ποσοτικός προσδιορισμός με συνθετικές και φασματοσκοπικές τεχνικές*. <http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/6760>
- Σάββας, Δ. (2016). *Γενική Λαχανοκομία*.