



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκχύλιση και Αξιοποίηση Βιοδραστικών εκχυλισμάτων από κουμκουάτ (Fortunella margarita): πολυπαραμετρική βελτιστοποίηση εκχύλισης, μελέτη εκχυλισμάτων με ενόργανες τεχνικές ανάλυσης και αξιοποίηση τους για παρασκευή αντηλιακών σκευασμάτων και τροφοκαλλυντικών

Extraction and Utilization of Bioactive Extracts from Kumquat (Fortunella margarita): Multi-parameter Optimization of Extraction, Analytical Characterization of Extracts Using Instrumental Techniques, and Their Application in the Preparation of Sunscreen Formulations and Cosmeceuticals



ΠΑΤΑ ΑΣΠΑΣΙΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΑΜ: 2820105

ΣΟΥΛΤΑΙΤΕ ΚΡΙΣΤΙΝΑ ΑΜ: 2820023

ΤΡΙΚΟΥΠΗ ΕΛΕΝΑ ΑΜ: 2820119

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΤΖΗΜΗΤΑΚΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑ 2025

Ευχαριστίες

Η παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε κατά την θερινή περίοδο του Ακαδημαϊκού Έτους 2024 -2025, στα πλαίσια των Προπτυχιακών Σπουδών στο Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Αρχικά, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ειλικρινή μας ευγνωμοσύνη η μία προς την άλλη για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας και της συγγραφής της εργασίας. Επιπλέον, αισθανόμαστε βαθιά εκτίμηση προς την οικογένεια και τους φίλους μας, που στάθηκαν δίπλα μας με κατανόηση και στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της απαιτητικής προσπάθειας.

Τέλος, να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής μελέτης. Ιδιαίτερως, οφείλουμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Χατζημητάκο Θεόδωρο, καθώς και την υποψήφια διδάκτορα Κωτσού Κωνσταντίνα, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τη διαρκή υποστήριξη και τη συμβολή τους σε όλα τα στάδια της ερευνητικής διαδικασίας. Ευχαριστούμε ακόμη, τους λοιπούς διδάσκοντες και τα μέλη του εργαστηρίου για την ουσιαστική τους συμβολή στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Περίληψη

Τίτλος: Παρασκευή και ανάλυση εκχυλισμάτων κουμκουάτ πλούσιων σε πολυφαινολικά συστατικά και χρήση τους για εμπλουτισμό τροφίμων και καλλυντικών.

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον των ερευνητών έχει στραφεί στη χρήση συστατικών από φυσικές πηγές στη βιομηχανία τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών, διότι μπορούν να αντικαταστήσουν επιβλαβείς χημικές ουσίες και να προσδώσουν τις επιθυμητές ιδιότητες και χαρακτηριστικά στα προϊόντα. Η παρούσα προπτυχιακή διπλωματική εργασία αναφέρει τις ευεργετικές ιδιότητες του κουμκουάτ, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες, αντιοξειδωτικά και βιταμίνες. Κατά την χρήση τους σε καλλυντικά προϊόντα λειτουργεί ως αντιγηραντικό, φωτοπροστατευτικό και έχει αναπλαστική δράση. Η ενσωμάτωσή του σε τρόφιμα βελτιώνει τη διατροφική τους αξία, το χρόνο συντήρησής τους και έχει αντιφλεγμονώδη και αντιοξειδωτική δράση. Όσον αφορά το πειραματικό μέρος, εφαρμόστηκαν η μέθοδος Folin-Ciocalteu (TPC) για την αξιολόγηση της ολικής περιεκτικότητας των πολυφαινολών, η μέθοδος Frap για την αξιολόγηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας και φασματοφωτομετρική ανάλυση στο υπεριώδες για την αξιολόγηση της αντηλιακής ικανότητας. Στη συνέχεια παρασκευάστηκαν αντιοξειδωτική κρέμα, αντηλιακή κρέμα με SPF 50 και αντιοξειδωτικό νερό, εμπλουτισμένα όλα με κουμκουάτ. Τα προϊόντα αξιολογήθηκαν από το καταναλωτικό κοινό με τη βοήθεια του οργανοληπτικού ελέγχου, προκύπτοντας ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα.

Λέξεις Κλειδιά: Κουμκουάτ, εκχύλισμα, αντιοξειδωτική κρέμα, αντηλιακή κρέμα, αντιοξειδωτικό νερό.

Abstract

Title: Preparation and analysis of kumquat extracts rich in polyphenolic compounds and their use for enriching foods and cosmetics.

In recent years, researchers have turned their attention to the use of ingredients from natural sources in the food, pharmaceutical, and cosmetics industries, as they can replace harmful chemicals and impart desirable properties and characteristics to products. This undergraduate thesis reports on the beneficial properties of kumquat, due to its high content of polyphenols, antioxidants, and vitamins. When used in cosmetic products, it acts as an anti-aging agent, photoprotective agent, and has a regenerative effect. Its incorporation into foods improves their nutritional value and shelf life and has anti-inflammatory and antioxidant effects. As for the experimental part, the Folin-Ciocalteu (TPC) method was used to evaluate the total polyphenol content, the Frap method to evaluate antioxidant capacity, and spectrophotometric analysis in the ultraviolet to evaluate sun protection capacity. Antioxidant cream, sunscreen cream with SPF 50, and antioxidant water, all enriched with kumquat, were then prepared. The products were evaluated by consumers using organoleptic testing, with particularly positive results.

Keywords: Kumquat, extract, antioxidant cream, sunscreen cream, antioxidant water.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Χημικός τύπος φλαβονοειδών.....	21
Εικόνα 2 Παραδείγματα φαινολικών οξέων.....	21
Εικόνα 3 Χημικός τύπος στιλβενίων.....	22
Εικόνα 4 Χημικός τύπος λιγνανών.....	22
Εικόνα 5 Χαρτογράφημα περιεκτικότητας αντιοξειδωτικών σε εκχύλισμα κουμκουάτ.....	25
Εικόνα 6 Τεμαχισμός και κατάψυξη των φρούτων κουμκουάτ.....	41
Εικόνα 7 Αντιοξειδωτική κρέμα εμπλουτισμένη με κουμκουάτ.....	45
Εικόνα 8 Αντηλιακή κρέμα με SPF 50 εμπλουτισμένη με κουμκουάτ.....	46
Εικόνα 9 Επίδραση της συγκέντρωσης του διαλύτη.....	54
Εικόνα 10 Επίδραση της διάρκειας εκχύλισης.....	55
Εικόνα 11 Επίδραση της θερμοκρασίας εκχύλισης.....	55

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Σύγκριση μεθόδων	35
Πίνακας 2 Σύγκριση αναλυτικών τεχνικών	39
Πίνακας 3 Αναλυτική αναφορά κωδικοποιημένων δειγμάτων και συνθηκών εκχύλισης	42
Πίνακας 4 Περιεκτικότητα ολικών πολυφαινολών (TPC)	53
Πίνακας 5 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας (FRAP)	54
Πίνακας 6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα οργανοληπτικού ελέγχου	58

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Κατάλογος Εικόνων.....	5
Κατάλογος Πινάκων	6
Περιεχόμενα	7
Εισαγωγή	10
1.1 Η σπουδαιότητα των φυσικών εκχυλισμάτων στη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών.....	10
1.1.1 Αύξηση της ζήτησης των καταναλωτών για φυσικά τρόφιμα και καλλυντικά.....	10
1.1.2 Πλεονεκτήματα των φυσικών εκχυλισμάτων σε σχέση με τα συνθετικά (βιολογική δραστηριότητα, ασφάλεια, κανονισμοί)	11
1.2 Το κουμκουάτ: Βοτανική και θρεπτική αξία.....	14
1.2.1 Βοτανική περιγραφή του κουμκουάτ: Σύντομη αναφορά στην ταξινόμηση, τη γεωγραφική κατανομή και τις κύριες ποικιλίες του κουμκουάτ	14
1.2.2 Χημική σύνθεση του κουμκουάτ: Παρουσίαση των κύριων συστατικών του κουμκουάτ με έμφαση στα πολυφαινολικά συστατικά και τις θρεπτικές του ιδιότητες... ..	16
1.2.3 Παραδοσιακή και σύγχρονη χρήση του κουμκουάτ: Αναφορά στις παραδοσιακές χρήσεις του κουμκουάτ στη διατροφή και την ιατρική, καθώς και στη σύγχρονη βιομηχανική αξιοποίησή του.....	18
1.3 Γενικά χαρακτηριστικά των φυτικών πολυφαινολών	20
1.3.1 Ορισμός και Χημική Δομή: Περιγραφή των πολυφαινολών, συμπεριλαμβανομένων των υποκατηγοριών τους (φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα, κλπ) και ανάλυσης της δομής τους.....	20
1.3.2 Ιδιότητες και Βιολογική Δράση: Ανάλυση των αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και αντιβακτηριακών ιδιοτήτων των πολυφαινολών, καθώς και των πιθανών ευεργετικών δράσεων τους στην υγεία.	23

1.4 Πολυφαινόλες στο κουρκουάτ: Σύσταση και Ποιοτική Ανάλυση	24
1.4.1 Ανασκόπηση των γνωστών πολυφαινολικών συστατικών στο κουρκουάτ όπως φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα και αντιοξειδωτικά.	24
1.4.2 Προηγούμενες μελέτες και δημοσιεύσεις που εξετάζουν την παρουσία και συγκέντρωση πολυφαινολών στο κουρκουάτ.	25
1.5 Πολυφαινόλες στα Τρόφιμα και τα Καλλυντικά	26
1.5.1 Χρήση Πολυφαινολών στη Βιομηχανία Τροφίμων: Συζήτηση για την ενσωμάτωση πολυφαινολών σε τρόφιμα για τη βελτίωση της διατροφικής τους αξίας, τη συντήρηση και την αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης.	26
1.5.2 Χρήση Πολυφαινολών στα Καλλυντικά: Παρουσίαση της αντιγηραντικής, φωτοπροστατευτικής και αναπλαστικής δράσης των πολυφαινολών όταν χρησιμοποιούνται σε καλλυντικά προϊόντα.	29
1.6 Τεχνολογίες Παρασκευής και Ανάλυσης Εκχυλισμάτων	33
1.6.1 Μέθοδοι Εκχύλισης Πολυφαινολών: Περιγραφή των μεθόδων εκχύλισης (π.χ., εκχύλιση με διαλύτες, υπερκρίσιμη εκχύλιση, μικροκύματα) και σύγκρισή τους με βάση την απόδοση και την αποτελεσματικότητα.	33
1.6.2 Μέθοδοι Ανάλυσης Πολυφαινολών: Συζήτηση των τεχνικών ανάλυσης (π.χ., υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC), φασματοφωτομετρία) για την ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση των πολυφαινολών.	35
Σκοπός	40
2. Πειραματικό Μέρος.....	41
2.1 Υλικά και αντιδραστήρια	41
2.2 Προετοιμασία δείγματος	41
2.3 Παρασκευή εκχυλισμάτων.....	41
2.4 Μέθοδος Folin-Ciocalteu (TPC).....	42
2.5 Μέθοδος FRAP	43
2.6 Αξιολόγηση αντηλιακής προστασίας.....	43
2.7 Παρασκευή αντιοξειδωτικής κρέμας εμπλουτισμένη με κουρκουάτ	44
2.8 Παρασκευή αντηλιακής κρέμας με SPF 50 εμπλουτισμένη με κουρκουάτ	45

2.9 Παρασκευή αντιοξειδωτικού νερού εμπλουτισμένο με κουρκουάτ	46
2.10 Οργανοληπτικός έλεγχος τελικών προϊόντων.....	47
2.10.1 Οργανοληπτικός έλεγχος αντιοξειδωτικής κρέμας εμπλουτισμένη με κουρκουάτ.....	48
2.10.2 Οργανοληπτικός έλεγχος αντηλιακής κρέμας με SPF 50 εμπλουτισμένη με κουρκουάτ	48
2.10.3 Οργανοληπτικός έλεγχος αντιοξειδωτικού νερού εμπλουτισμένο με κουρκουάτ ..	49
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση	51
3.1 Πολυφαινολικές ιδιότητες των εκχυλισμάτων (TPC).....	51
3.2 Αντιοξειδωτικές ιδιότητες των εκχυλισμάτων (FRAP)	53
3.3 Επιλογή βέλτιστου δείγματος	55
3.4 Περιεκτικότητα φαινολικών ενώσεων στο βέλτιστο δείγμα.....	56
3.5 Αντηλιακές ιδιότητες εκχυλισμάτων.....	57
3.6 Αποτελέσματα οργανοληπτικού ελέγχου	58
Κεφάλαιο 4ο : Συμπεράσματα.....	59
Βιβλιογραφία	60

Εισαγωγή

1.1 Η σπουδαιότητα των φυσικών εκχυλισμάτων στη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών

1.1.1 Αύξηση της ζήτησης των καταναλωτών για φυσικά τρόφιμα και καλλυντικά.

Ο κόσμος της φύσης ανέκαθεν αποτελούσε πηγή έμπνευσης και δημιουργικότητας για τους ανθρώπους. Τα φυσικά εκχυλίσματα αποτελούν αντικείμενο ενδιαφέροντος και έρευνας καθώς περιέχουν πολύτιμα και μοναδικά συστατικά απευθείας από την φύση. Στην σύγχρονη κοινωνία παρατηρείται μια στροφή στην αγορά σε προϊόντα φυτικής προέλευσης σε πολλούς τομείς όπως στην ιατρική, στην κοσμετολογία, στην φαρμακευτική, σε τομείς παραγωγής ενέργειας, στην βιομηχανία τροφίμων και στην βιομηχανία καλλυντικών.

Η αξιοποίηση φυσικών εκχυλισμάτων δεν είναι απλώς μια τάση, αλλά μια επανάσταση που ήρθε για να μείνει λόγω της επιτακτικής ανάγκης για προστασία του περιβάλλοντος καθώς η κλιματική αλλαγή είναι πλέον μια ξεκάθαρη απειλή για την ανθρωπότητα. Επιπλέον η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η αυξανόμενη ζήτηση για αγαθά συμβάλει στην αναγκαιότητα για εύρεση και αξιοποίηση φυσικών πόρων που ενισχύουν την υγεία, την οικονομία και την βιωσιμότητα (Malhi Y, Franklin J, Seddon N, 2019).

Οι άνθρωποι έχουν μια έμφυτη και ενστικτώδης αίσθηση προσκόλλησης και έλξης στα φυσικά και στα αυθεντικά πράγματα (Wilson, 1984). Επομένως είναι αναμενόμενο το γεγονός ότι η πλειοψηφία των καταναλωτών στην σύγχρονη εποχή έχουν έντονη προτίμηση στα φυσικά τρόφιμα και καλλυντικά (Rozin, Fischler, & Shields-Argeles, 2012).

Τα ευρήματα της έρευνας της Nielsen Global Health and Wellness Survey (2015), που πραγματοποιήθηκε σε 60 χώρες και με την συμβολή 30.000 καταναλωτών υποδεικνύουν ότι τα πιο αναγκαία και επιθυμητά στοιχεία των τροφίμων είναι η φρεσκάδα, η φυσικότητα και η ελάχιστη επεξεργασία. Παρόμοια, τα αποτελέσματα της έρευνας Kampffmeyer Food Innovation Study (2012: 1) στην οποία έλαβαν μέρος πάνω από 4.000 καταναλωτές σε 8 Ευρωπαϊκές χώρες δείχνουν ότι η φυσικότητα των τροφίμων είναι «καθοριστικό κίνητρο αγοράς».

Ένα ακόμα δεδομένο από αυτή την μελέτη είναι ότι σχεδόν τα τρία τέταρτα των καταναλωτών που ρωτήθηκαν αντιλαμβάνονται μια ισχυρή σύνδεση μεταξύ «φυσικού» και

«υγιεινού». Επομένως αυτά τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ξεκάθαρα ότι οι καταναλωτές τείνουν να καταναλώνουν φυσικά τρόφιμα.

Ομοίως, οι καταναλωτικές τάσεις στον κλάδο των καλλυντικών προϊόντων, δείχνουν αυξημένο ενδιαφέρον στα φυσικά καλλυντικά. Οι καταναλωτές επιλέγουν με βάση την υγεία και το περιβάλλον καθώς ενδιαφέρονται περισσότερο για την ασφάλεια των προϊόντων και την επίδραση τους στο περιβάλλον. Αυτό είναι μεγάλη εξέλιξη για τον κλάδο των καλλυντικών αλλά και φυσικό επακόλουθο καθώς οι αρνητικές επιπτώσεις των συνθετικών υλικών στην υγεία και στο περιβάλλον έχουν γίνει εμφανείς.

Επιπλέον τα τρέχοντα περιβαλλοντικά προβλήματα ενισχύουν την τάση των καταναλωτών να αγοράζουν φυσικά καλλυντικά και τους δίνουν ένα μεγάλο κίνητρο να επενδύουν περισσότερο χρόνο στην ενημέρωσή τους σχετικά με τα φυσικά καλλυντικά, τις ιδιότητές τους και τους φυσικούς πόρους από τους οποίους παρασκευάζονται (The Benefits of an Environmentally Friendly Business: 2014) (Green Cosmetics: The Push for Sustainable Beauty: June 2019). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα αντηλιακά και σε φυσικά εκχυλίσματα που προστατεύουν από τη UV ακτινοβολία, καθώς η ένταση της έχει αυξηθεί εξαιτίας της αποδυνάμωσης του όζοντος προκαλώντας δερματικά προβλήματα όπως ηλιακά εγκαύματα, πρόωρη γήρανση, και καρκίνο του δέρματος, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ανάγκη για πιο δραστικά και πιο αποδοτικά φυτικά εκχυλίσματα (González-Minero : 2018).

1.1.2 Πλεονεκτήματα των φυσικών εκχυλισμάτων σε σχέση με τα συνθετικά (βιολογική δραστικότητα, ασφάλεια, κανονισμοί)

Τα φυσικά εκχυλίσματα υπερέχουν σε πολλούς τομείς σε σύγκριση με τα συνθετικά, αναφορικά με την βιολογική δραστικότητα, κυρίως λόγω της αντιοξειδωτικής τους δράσης και των θρεπτικών επιδράσεων της υγείας. Στον κλάδο των καλλυντικών ο αντιοξειδωτικός παράγοντας είναι πολύ σημαντικός καθώς προστατεύει τα κύτταρα του δέρματος, δεσμεύοντας τις ελεύθερες ρίζες που προκαλούν πρόωρη γήρανση και εξουδετερώνοντας την δράση τους. Επιπλέον ενθαρρύνει τον σχηματισμό κολλαγόνου αυξάνοντας την ελαστικότητα της επιδερμίδας ενώ διατηρεί το δέρμα λαμπερό αφού βοηθάει στην πρόσληψη των σκούρων κηλίδων αποτρέποντας την τοπική συσσώρευση της μελανίνης.

Τα φυσικά εκχυλίσματα φρούτων, βοτάνων, λαχανικών και άλλων φυτικών υλικών εμφανίζουν μεγάλο ενδιαφέρον καθώς οι φαινολικές ενώσεις που περιέχουν, συμβάλουν στην προστασία από την οξειδωτική αποικοδόμηση των λιπιδίων επιβραδύνοντας την, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η ποιότητα και η θρεπτική αξία των τροφίμων. Έχει διαπιστωθεί

ότι τα φλαβονοειδή παίζουν σημαντικό προληπτικό ρόλο στην ανάπτυξη του καρκίνου και των καρδιακών παθήσεων. Φαίνεται καθαρά πως τα φυσικά εκχυλίσματα έχουν ευεργετικές επιδράσεις στον οργανισμό μας καθώς προσφέρουν προστασία στην υγεία (Lo^o-liger, 1991) (Serafini et al., 1998; Carbonneau et al., 1998). Έχει σημασία να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών έχουν δείξει ότι υπάρχει σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ κατανάλωσης φυσικών τροφίμων και της θνησιμότητας από καρδιακές παθήσεις, γεγονός που ενδυναμώνει την άποψη ότι τα φυσικά αντιοξειδωτικά έχουν προστατευτικό ρόλο για την υγεία (Her-tog et al., 1993, 1995; Knekt et al., 1996). Οι πηγές αντιοξειδωτικών δεν περιλαμβάνουν μόνο φρούτα και λαχανικά αλλά και φλοιούς, ρίζες, μπαχαρικά και βότανα (Ramarathnam et al., 1995). Τα φλαβονοειδή και τα υπόλοιπα φαινολικά στοιχεία όπως οι τανίνες, τα στιλβένια, οι λιγνάνες και η λιγνίνη εντοπίζονται σε φύλλα, ξυλώδη μέρη και σε ανθοφόρους ιστούς, γεγονός που αναδεικνύει την μεγάλη ποικιλία φυσικών πηγών με ευεργετικές ιδιότητες (Larson, 1988).

Οι φαινολικές ουσίες είναι αντιοξειδωτικές χάρη στις οξειδοαναγωγές ιδιότητες τους, που τους βοηθούν να δράσουν ως αναγωγικοί παράγοντες, δότες υδρογόνου και σβηστής οξυγόνου και αναστολείς της οξείδωσης των μετάλλων, γι' αυτό είναι τόσο πολύτιμα στην διατροφή καθώς και στην βιομηχανία καλλυντικών. Συνεπώς, τα φυσικά εκχυλίσματα διαθέτουν αξιοσημείωτα οφέλη παρουσιάζοντας ανώτερες και πολυτιμότερες βιολογικές ιδιότητες και συνεισφέροντας σημαντικά στην πρόσληψη χρόνιων ασθενειών (Rice-Evans et al., 1995).

Επιπλέον, τα φυσικά εκχυλίσματα έχουν προβάδισμα σε σχέση με τα συνθετικά σε θέματα ασφάλειας. Η χρήση φυσικών εκχυλισμάτων, όπως τα φυτικά και αιθέρια έλαια, αποτελεί πρακτική με βαθιές ρίζες στο παρελθόν, κυρίως στην παραδοσιακή ιατρική και την κοσμετολογία. Αυτά τα φυσικά συστατικά θεωρούνται πιο συμβατά με τον ανθρώπινο οργανισμό, καθώς προέρχονται από φυτά που χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες (Edris, 2007). Σε σύγκριση με τα συνθετικά, τείνουν να προκαλούν λιγότερους ερεθισμούς ή αλλεργικές αντιδράσεις (Burt, 2004).

Σε αντίστοιχη έρευνα, διαπιστώθηκε ότι τα φυσικά συστατικά στα καλλυντικά προϊόντα έχουν καλύτερη ανοχή από τον οργανισμό και συνοδεύονται από λιγότερες ανεπιθύμητες ενέργειες, κάτι που τα καθιστά ιδανική επιλογή για ευαίσθητες επιδερμίδες (Dweck, 2002). Αυτό ενισχύει τη στροφή των καταναλωτών και των εταιρειών προς προϊόντα φυσικής προέλευσης. Επίσης, έρευνες έχουν επιβεβαιώσει ότι η χρήση αιθέριων ελαίων και φυτικών εκχυλισμάτων προσφέρει σημαντικά οφέλη για το δέρμα, όπως ενυδάτωση,

καταπραϋντική δράση και πρόληψη ερεθισμών (Orchard & Van Vuuren, 2017). Η μακροχρόνια παραδοσιακή χρήση τους, σε συνδυασμό με σύγχρονα επιστημονικά δεδομένα, στηρίζει την αξιοποίησή τους στην αισθητική και τη φροντίδα του δέρματος.

Ωστόσο, παρά τα οφέλη τους, η ασφάλεια των φυσικών εκχυλισμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σωστή χρήση, τη δοσολογία και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η έρευνα συνεχίζεται ώστε να αποσαφηνιστούν πλήρως οι μηχανισμοί δράσης και να εξασφαλιστεί η βέλτιστη εφαρμογή τους. Τα φυσικά εκχυλίσματα, όταν γίνετε ορθή χρήση τους σπάνια περιέχουν τοξικές ουσίες σε επίπεδα που να θεωρούνται επικίνδυνα. (Bakkali et al., 2008) Στον αντίποδα, ορισμένες συνθετικές ουσίες (parabens, Phthalates, PAHs κτλ) ενδέχεται να επιφέρουν μακροχρόνιες επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, οι οποίες δεν είναι πάντοτε πλήρως κατανοητές (Burt, 2004).

Η σωστή χρήση και η ποιότητα των φυσικών συστατικών εγγυώνται την ασφάλή τους εφαρμογή χωρίς κινδύνους για την υγεία, ενώ τα συνθετικά προϊόντα απαιτούν πιο προσεκτική και αυστηρή παρακολούθηση των πιθανών τοξικολογικών τους επιπτώσεων. (Dweck, 2002). Τα συνθετικά συστατικά, έχουν την τάση να συσσωρεύονται στον οργανισμό με την πάροδο του χρόνου, κάτι που μπορεί να προκαλέσει, ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην υγεία. Αντίθετα τα φυσικά εκχυλίσματα σπάνια συσσωρεύονται στο σώμα, καθώς τα συστατικά τους είναι συνήθως πιο βιοδιασπώμενα και εύκολα αποδομούνται από τον οργανισμό. Η σωστή χρήση των φυσικών εκχυλισμάτων και η τακτική απομάκρυνση των μεταβολιτών τους από τον οργανισμό συμβάλει σημαντικά στη μείωση της συσσώρευσης (Bakkali et al., 2008).

Κανονισμοί που προβάλουν τα πλεονεκτήματα των φυσικών εκχυλισμάτων σε σχέση με τα συνθετικά. Η σύγχρονη ευρωπαϊκή και διεθνής νομοθεσία ενισχύει την θέση των φυσικών εκχυλισμάτων έναντι των συνθετικών, μέσα από κανονισμούς που ευνοούν τη διαφάνεια, τη βιωσιμότητα και την ασφάλεια των καλλυντικών προϊόντων και των τροφίμων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά πλεονεκτήματα των φυσικών εκχυλισμάτων, οι κανονισμοί και τα πρότυπα που τα υποστηρίζουν. Ο κανονισμός (ΕΚ) 1223/2009 ρυθμίζει την ασφάλεια την σήμανση και τη σύνθεση των καλλυντικών. Ο κανονισμός αυτός προβλέπει την υποχρεωτική αναγραφή των συστατικών με βάση το INCI (International Nomenclature of Cosmetic Ingredients). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης των καταναλωτών προς τα φυσικά εκχυλίσματα, τα οποία είναι ευκολότερα αναγνωρίσιμα και αποδεκτά. Σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) 1334/2008 θεσπίζεται η επισήμανση και η χρήση φυσικών αρωμάτων στα τρόφιμα. Από την εφαρμογή αυτού του

κανονισμού προκύπτει ότι ένα άρωμα μπορεί να χαρακτηριστεί «φυσικό» μόνο όταν το 95% της σύνθεσής του προέρχεται από φυσικές πρώτες ύλες, αναδεικνύοντας τα φυσικά εκχυλίσματα ως ποιοτικότερα και διατροφικά ασφαλέστερα έναντι των συνθετικών αρωμάτων και αποφεύγοντας τα αλλεργιογόνα αρώματα. Το διεθνές πρότυπο ISO 16128, μολονότι δεν αποτελεί νομικά δεσμευτικό κανονιστικό πλαίσιο, παρέχει σαφείς κατευθυντήριες γραμμές για τον υπολογισμό του ποσοστού φυσικότητας σε καλλυντικά προϊόντα, επιτρέποντας στους παραγωγούς να προβάλλουν το ποσοστό φυσικότητας, αναδεικνύοντας φυσικά εκχυλίσματα ως στοιχείο ποιότητας και εμπιστοσύνης. Ο κανονισμός (ΕΕ) 2018/848 υποστηρίζει τη βιωσιμότητα και την φιλικότητα προς το περιβάλλον ρυθμίζοντας τη βιολογική καλλιέργεια και την παραγωγή φυσικών εκχυλισμάτων. Συγκεκριμένα προωθεί τη χρήση φυσικών εκχυλισμάτων που έχουν παραχθεί χωρίς φυτοφάρμακα ή συνθετικά λιπάσματα. Επιπλέον φορείς όπως η ECOCERT, προσφέρουν επίσημες πιστοποιήσεις για φυσικά ή βιολογικά προϊόντα. Έτσι, ένα προϊόν με φυσικά εκχυλίσματα μπορεί με φέρει σήμανση όπως «100% φυσικό» ή «πιστοποιημένο βιολογικό» διαφοροποιώντας το αισθητά από τα συνθετικά ή χημικά προϊόντα.

1.2 Το κουμκουάτ: Βοτανική και θρεπτική αξία

1.2.1 Βοτανική περιγραφή του κουμκουάτ: Σύντομη αναφορά στην ταξινόμηση, τη γεωγραφική κατανομή και τις κύριες ποικιλίες του κουμκουάτ

Το κουμκουάτ (*Fortunella* spp.) είναι ένα μοναδικό εσπεριδοειδές που ανήκει στην οικογένεια Rutaceae, και στο γένος *Fortunella*. Είναι ένα μικρό αειθαλές, καρποφόρο δέντρο που φτάνει σε ύψος περίπου 2-4 μέτρα, ο καρπός του είναι βρώσιμος και μοιάζει με το πορτοκάλι σε χρώμα και σχήμα αλλά είναι πολύ μικρότερος, στο μέγεθος μιας μεγάλης ελιάς. Αν και δεν είναι τόσο διαδεδομένο σε σχέση με τα υπόλοιπα εσπεριδοειδή, έχει τραβήξει το ενδιαφέρον εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών του και των πολλαπλών χρήσεων του στην διατροφή, στην ιατρική, στην φαρμακευτική και στην βιομηχανία καλλυντικών. Το κουμκουάτ είναι ένα από τα πιο ανθεκτικά είδη στα ψυχρά κλίματα με μοναδική διατροφική αξία που δεν εντοπίζεται σε άλλα είδη εσπεριδοειδών. Ένα μοναδικό στοιχείο του καρπού είναι η ιδιόμορφη αντίθεση γεύσεων, η φλούδα του είναι γλυκιά και αρωματική με ευχάριστο άρωμα και η εσωτερική σάρκα του είναι όξινη και κάποιες φορές ξινή όταν ο καρπός δεν είναι πολύ ώριμος. Αυτή η αντίθεση κάνει τον καρπό να τρώγεται ευχάριστα ολόκληρος αφού η γλυκιά φλούδα φέρνει σε ισορροπία την οξύτητα της σάρκας. Στην φλούδα του κουμκουάτ κρύβονται όλα τα πολύτιμα συστατικά, συγκεκριμένα εντοπίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό

της βιταμίνης C, μαζί με το σύνολο των ελαιογόνων αδένων που παράγουν τα αιθέρια έλαια που διαθέτουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες.

Βοτανική ταξινόμηση :

- Βασίλειο: Plantae
- Ομοταξία: Angiosperms
- Τάξη: Sapindales
- Οικογένεια: Rutaceae
- Γένος: Fortunella
- Είδος: Fortunella margarita

Γεωγραφική κατανομή:

Το κουμκουάτ προέρχεται από την Κίνα και από εκεί διαδόθηκε σε άλλες περιοχές της Ανατολικής Ασίας (Ιαπωνία και Ταϊβάν), στη Νότια Ασία (Ινδία) και στη Νοτιοανατολική Ασία (ειδικά στις Φιλιππίνες). Η αρχαιότερη ιστορική αναφορά έγινε στην Κινεζική αυτοκρατορική λογοτεχνία του 12 ου αιώνα. Το όνομα του προέρχεται από την καντονέζικη διάλεκτο της Κινεζικής Γλώσσας, που προκύπτει από την λέξη “gam gwat” που σημαίνει «χρυσό πορτοκάλι». Εισήχθησαν στην Ευρώπη, κυρίως στην Μεσόγειο τον 19 ο αιώνα, το 1846 από τον Robert Fortune, συλλέκτη της London Horticultural Society, και λίγο αργότερα μεταφέρθηκαν στη Βόρεια Αμερική κυρίως στην Καλιφόρνια και στην Φλόριντα.

Σήμερα καλλιεργείται εμπορικά σε εύκρατα κλίματα όπως:

- Κίνα
- Ιαπωνία
- Ηνωμένες πολιτείες (Καλιφόρνια, Φλόριντα)
- Νότια Ευρώπη (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία)
- Αυστραλία
- Νότια Αφρική

Στην Ελλάδα εντοπίζεται σε περιοχές όπως είναι η Κέρκυρα και η Ήπειρος που είναι γνωστές για την παρασκευή γλυκών του κουταλιού και λικέρ.

Κύριες ποικιλίες του κουμκουάτ:

Η πιο διαδεδομένη καλλιεργούμενη ποικιλία είναι η Nagami (*Fortunella Margarita*), ο καρπός της έχει ωοειδές σχήμα, η φλούδα είναι γλυκιά και το εσωτερικό ξινό και τρώγεται ολόκληρος μαζί με την φλούδα. Επιπλέον ο καρπός είναι ανθεκτικός στο ψύχος, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για καλλιέργεια σε εύκρατα κλίματα. Ακολουθεί η ποικιλία Marumi (*Fortunella japonica*) είναι αρωματική, με στρόγγυλο καρπό, και πιο γλυκιά γεύση σε σχέση με το Nagami, είναι η πιο κατάλληλη ποικιλία για μαρμελάδες και Λικέρ. Ένα άλλο στέλεχος είναι η Meiwa (*Fortunella crassifolia*) που είναι υβρίδιο Nagami και Marumi, ο καρπός είναι πιο μεγάλος και στρογγυλός, η γεύση είναι πιο γλυκιά και καθόλου ξινή, καταναλώνεται νωπό και συνήθως καλλιεργείται σε οικιακούς κήπους. Μία πιο σπάνια ποικιλία είναι η Hong Kong (*Fortunella hindsii*), είναι κυρίως διακοσμητική, καθώς ο καρπός είναι πολύ ξινός και καθόλου ευχάριστος.

1.2.2 Χημική σύνθεση του κουμκουάτ: Παρουσίαση των κύριων συστατικών του κουμκουάτ με έμφαση στα πολυφαινολικά συστατικά και τις θρεπτικές του ιδιότητες

Το κουμκουάτ είναι ένα μοναδικό εσπεριδοειδές καθώς διαθέτει πολύτιμα διατροφικά και βιοδραστικά συστατικά. Μεγάλο ενδιαφέρον έχει η φλούδα του που αποτελεί πηγή ισχυρών αντιοξειδωτικών, καθώς περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σε πολυφαινολικά συστατικά, φαινολικές ενώσεις και φλαβονοειδή. Αυτά τα συστατικά έχουν ευεργετικές ιδιότητες για την ανθρώπινη υγεία, εμπεριέχοντας αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδης και αντιμικροβιακές ιδιότητες γεγονός που έχει τραβήξει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Μερικές από τις πιο σημαντικές ενώσεις που έχουν ταυτοποιηθεί στη φλούδα και στο εσωτερικό μέρος του καρπού συγκαταλέγονται το Fortunelin και η DGPP. Η Fortunelin, που ταξινομείται ως μια φλαβόνη (αραττίνη-7-O-neohesperidoside), απομονώθηκε αρχικά, από τον Matsuno το 1958 και αποτελεί κύριο φλαβονοειδές του κουμκουάτ. Μετέπειτα, το 1985, η φλούδα του κουμκουάτ (*F.japonica*), ανέδειξε την παρουσία οκτώ επιπρόσθετων φλαβονοειδών, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται ενώσεις όπως η 6,8-δι-C-γλυκοζυλαπιγενίνη, η 3,C6-δι- γλυκοζυλκαμπερόλη και το poncirin.

Σε αντίστοιχη ερευνητική προσπάθεια των Kawail et al., έγινε ποσοτική ανάλυση των φλαβονοειδών σε τρία είδη κουμκουάτ (*F. japonica*, *F. margarita* και *F. crassifolia*) με εκχύλιση με μεθανόλη και διμεθυλοσουλφοξείδιο. Τα πιο σημαντικά φλαβονοειδή στο βρώσιμο μέρος των καρπών ήταν η ναριβουτίνη, ριφολίνη, καμπερόλη, λουτεολίνη, πονσιρίνη, εσπεριδίνη, νεοποντιέν, εριοσιτριν και κουερσετίνη. Η υψηλή συγκέντρωση ναριβουτίνης αποτελεί στοιχείο με ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αποξηραμένα δείγματα, η οποία κυμάνθηκε μεταξύ 289 και 460 μg/100 mg. Σε επόμενες αναλύσεις από το ίδιο εργαστήριο,

διαπιστώθηκε ότι η ουσία που αρχικά είχε ταυτοποιηθεί ως ναριρουτίνη ήταν στην πραγματικότητα η DGPP, μια διγλυκοζυλιωμένη διϋδροχαλκόνη. Η DGPP έχει αναγνωριστεί ως χαρακτηριστική ένωση του γένους *Fortunella*, η οποία δεν φαίνεται να υπάρχει στα γένη *Citrus* ή *Poncirus*. Επιπλέον, ταυτοποιήθηκαν τρεις ακόμα φλαβονοειδείς ενώσεις, οι οποίες είναι τα O2''-O-α-L-ραμνοπυρανοζυλο-ισοσοσίδη, O2''-O-α-L-ραμνοπυρανοζυλο-κυτισοσίδη και η στελλουλίνη. Η παρουσία του Fortunelin και της DGPP επιβεβαιώθηκε και από τους Cho et al., ενώ εντοπίστηκαν επίσης τα acacetin-8-C neohesperidoside και kaempferide-3-O-ραμνοπυρανοζίτης. Σε άλλη μελέτη, σε εκχύλισμα φλούδας με οξικό αιθέρα, ανιχνεύθηκαν τρία διαφορετικά παράγωγα της acacetin με ρουτινοσίδη, χωρίς όμως να εντοπιστούν τα νεοεσπεριδοειδή που είχαν αναφερθεί από προηγούμενους ερευνητές. Συμπερασματικά, το κουμκουάτ περιέχει μια μεγάλη ποικιλία από φλαβονοειδή, με ορισμένες ενώσεις να είναι χαρακτηριστικές του γένους *Fortunella*. Η διαφοροποίηση αυτή ενισχύει το ενδιαφέρον για τη χημική του σύσταση, τόσο για διατροφικές όσο και για φαρμακολογικές εφαρμογές. Επιπρόσθετα, τα κουμκουάτ περιέχουν πολλές φυτικές ίνες, υδατάνθρακες και μικροθρεπτικά συστατικά. Σύμφωνα με στοιχεία από την Υπηρεσία Γεωργικής Έρευνας του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ (USDA), σε 100 γραμμάρια βρώσιμου μέρους κουμκουάτ περιέχονται:

- 80,85 g νερό
- 1,88 g πρωτεΐνες
- 0,86 g λιπαρά
- 15,90 g υδατάνθρακες
- 6,5 g φυτικές ίνες
- 9,36 g σάκχαρα
- ασβέστιο (62 mg)
- σίδηρο (0,86 mg)
- μαγνήσιο (20 mg)
- φώσφορο (19 mg)
- κάλιο (186 mg)
- νάτριο (10 mg)
- ψευδάργυρο (0,17 mg)

- χαλκό (0,095 mg)
- μαγγάνιο (0,135 mg)

Η κατανάλωση 100 g κουμ κουάτ προσφέρει 71 θερμίδες (296 kJ). Το κύριο οργανικό οξύ που περιέχουν είναι το κιτρικό οξύ, με συγκέντρωση περίπου 2,8 g ανά 100 mL χυμού, ενώ το μηλικό και το οξαλικό οξύ υπάρχουν σε πολύ μικρότερες ποσότητες (0,35 και 0,02 mg/100 mL αντίστοιχα). Τα κουμ κουάτ είναι επίσης πλούσια σε φυτοχημικά με αντιοξειδωτική δράση, όπως φλαβονοειδή, καροτενοειδή, βιταμίνες και τερπενοειδή. Η περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις και φλαβονοειδή είναι υψηλότερη στη φλούδα σε σύγκριση με τη σάρκα, και αυξάνεται σημαντικά στα άγουρα φρούτα σε σχέση με τα ώριμα – σχεδόν διπλάσια ποσότητα. Όσον αφορά τις βιταμίνες, 100 g κουμ κουάτ περιέχουν:

- Βιταμίνη C: 43,20 mg
- Βιταμίνη B1: 0,03 mg
- Βιταμίνη B2: 0,09 mg
- Βιταμίνη B3: 0,04 mg
- Βιταμίνη B5: 0,037 mg
- Βιταμίνη B6: 0,03 mg
- Φυλλικό οξύ: 17 μg
- Βιταμίνη A: 290 IU
- Βιταμίνη E ως α-τοκοφερόλη: 0,15 mg
- Συνολική βιταμίνη E: 1,19 mg

1.2.3 Παραδοσιακή και σύγχρονη χρήση του κουμκουάτ: Αναφορά στις παραδοσιακές χρήσεις του κουμκουάτ στη διατροφή και την ιατρική, καθώς και στη σύγχρονη βιομηχανική αξιοποίησή του

Το κουμκουάτ με πολλές παραδοσιακές χρήσεις στην διατροφή, από την άμεση κατανάλωση ως φρούτο μέχρι την παρασκευή μαρμελάδων, γλυκών, ποτών και αλμυρών πιάτων. Στην παραδοσιακή διατροφή καταναλώνεται ολόκληρο με την φλούδα και τον καρπό, λόγω της γλυκόξινης γεύσης του θεωρείται πολύ δημοφιλές στις παραδοσιακές κουζίνες. Στην Κίνα και την Ιαπωνία, το κουμκουάτ παρασκευάζεται συχνά σε μαρμελάδες και γλυκά. Η γλυκιά φλούδα και ξινή σάρκα το καθιστούν ιδανικό για την δημιουργία

γλυκισμάτων. Επιπρόσθετα το κουμκουάτ χρησιμοποιείται για την παρασκευή χυμών, δροσιστικών ποτών, λικέρ και παραδοσιακών αλκοολούχων ποτών. Η ιδιαίτερη γεύση του κουμκουάτ το καθιστά ικανό να χρησιμοποιηθεί ως καρύκευμα για την νοστιμιά φαγητών και ιδιαίτερων σαλτσών. Μπορεί να προσθέσει γεύση στην κινεζική κουζίνα σε σούπες, φαγητά, κρέας, ψάρι και σαλάτες. Όσον αφορά τις παραδοσιακές του χρήσεις στην ιατρική ο καρπός και ο χυμός ενισχύουν τη λειτουργία του πεπτικού συστήματος, τα αιθέρια έλαια και οι ίνες του κουμκουάτ βοηθούν στην λειτουργία του εντέρου και στην μείωση του φουσκώματος. Επιπλέον τα αιθέρια έλαια της φλούδας του κουμκουάτ έχει αποδειχτεί ότι έχουν αντιβακτηριδιακή και αντιμυκητιακή δράση ενώ χρησιμοποιούνται σε παραδοσιακές θεραπείες για απολύμανση. Ένα από τα παραδοσιακά οφέλη είναι η ανακούφιση από τον βήχα, τις αναπνευστικές παθήσεις και την ήπια καταπολέμηση λοιμώξεων του αναπνευστικού συστήματος, εξαιτίας των αντιμικροβιακών και αντιφλεγμονωδών ιδιοτήτων του. Το κουμκουάτ θεωρείται ότι λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε βιταμίνη C, ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα, την άμυνα του οργανισμού προστατεύοντας από λοιμώξεις και κρυολογήματα. Τα πολυφαινολικά συστατικά και τα φλαβονοειδή προστατεύουν από τις ελεύθερες ρίζες και την καταπολέμηση της βλεμονής γιαυτό το κουμκουάτ χρησιμοποιείται παραδοσιακά για την βελτίωση φλεγμονών.

Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον για τη βιομηχανική αξιοποίηση του κουμκουάτ συνεχώς αυξάνεται σε τομείς όπως η αγροδιατροφή, η φαρμακευτική και τα καλλυντικά. Το κουμκουάτ περιέχει σημαντικά ποσά αντιοξειδωτικών, αιθέριων ελαίων, βιταμίνης C, φλαβονοειδών και πηκτίνης, τα οποία του προσδίδουν ωφέλιμες λειτουργικές ιδιότητες. Η ποικιλία των χημικών συστατικών του, καθιστά το κουμκουάτ ιδανικό για την παραγωγή λειτουργικών τροφίμων, φυσικών καλλυντικών και διατροφικών συμπληρωμάτων, ενώ οι φλούδες και τα υποπροϊόντα προσφέρουν δυνατότητες βιοτεχνολογικής αξιοποίησης στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας. Η σύγχρονη βιομηχανική αξιοποίηση του κουμκουάτ επεκτείνεται σε τέσσερις βασικούς τομείς. Ο πρώτος είναι η βιομηχανία καλλυντικών, όπου τα αιθέρια έλαια του καρπού χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φυσικών σαπουνιών, λοσιόν, και αρωμάτων, ακολουθώντας την διεθνή τάση για καθαρά φυτικά καλλυντικά. (Pino & Rosado, 2017) Δεύτερος τομέας είναι η κατηγορία των συμπληρωμάτων διατροφής, όπου τα εκχυλίσματα και οι σκόνες κουμκουάτ, πλούσια σε πολυφαινόλες και αντιοξειδωτικά, χρησιμοποιούνται για την ενσωμάτωσή τους σε λειτουργικά τρόφιμα και ροφήματα. (Liu, Chen, & Cao, 2018). Ένας τρίτος τομέας είναι η παραγωγή καινοτόμων τροφίμων, όπως χυμοί, μπάρες, αποξηραμένα φρούτα, ανθρακούχα ποτά και σνακ, γεγονός

που ενισχύει την εμπορική αξία του (Li et al., 2023). Τέλος, στο πλαίσιο της βιοτεχνολογικής και ενεργειακής αξιοποίησης, τα υποπροϊόντα του κουμκουάτ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πηκτίνης, την παραγωγή βιοαιθανόλης, ή ακόμα και για την δημιουργία άλλων επιθυμητών προϊόντων συμβάλλοντας στην υποστήριξη της κυκλικής οικονομίας. (Nawamawat & Uthairatanakij, 2018).

1.3 Γενικά χαρακτηριστικά των φυτικών πολυφαινολών

1.3.1 Ορισμός και Χημική Δομή: Περιγραφή των πολυφαινολών, συμπεριλαμβανομένων των υποκατηγοριών τους (φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα, κλπ) και ανάλυσης της δομής τους.

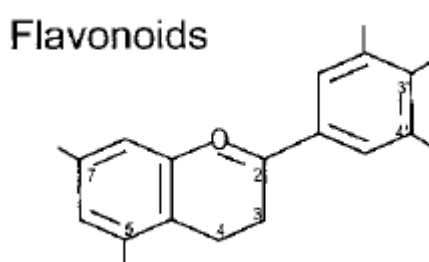
Οι φαινολικές ενώσεις ή αλλιώς πολυφαινόλες όπως έχει επικρατήσει και στη διεθνή βιβλιογραφία αποτελεί μια εκτενή και πολύπλοκη ομάδα. Εμφανίζονται είτε ως απλά μόρια όπως τα φαινολικά οξέα, είτε ως πολυμερισμένες ενώσεις όπως οι ταννίνες. Οι πολυφαινόλες απαντώνται στο φυτικό βασίλειο συνήθως στη συζευγμένη τους μορφή, όπου μία ή περισσότερες ομάδες σακχάρων ενώνονται με ομάδες υδροξυλίων (μεθυλιωμένη μορφή) ή ομάδες σακχάρων άμεσα συνδεδεμένες με τους άνθρακες αρωματικών δακτυλίων (γλυκοζίτες). Το υδατανθρικό τμήμα μπορεί να είναι μονοσακχαρίτης, δισακχαρίτης ή ολιγοσακχαρίτης. Το πιο κοινό σάκχαρο είναι η γλυκόζη, αν και εντοπίζονται επιπλέον γαλακτόζη, ραμνόζη, ξυλόζη, αραβινόζη, γλυκουρονικό και γαλακτουρονικό οξύ. Ακόμη μπορούν να είναι συζευγμένες με οργανικά οξέα, καρβοξυλικά οξέα, λίπη και αμίνες. (Bravo, 1998)

Σε πολλά τρόφιμα (φρούτα - λαχανικά) και ποτά της καθημερινής μας διατροφής βρίσκονται οι πολυφαινόλες, έχουν ταυτοποιηθεί περισσότερες από 8000. Η κύρια πολυφαινόλη που απαντώνται σε όλα τα φρούτα και λαχανικά είναι η φλαβονόλη. Όμως, αναλόγως το είδος των φυτικών τροφίμων η περιεκτικότητα των πολυφαινολών διαφέρει. Για παράδειγμα τα εσπεριδοειδή είναι πλούσια σε φλαβονοειδή ενώ τα μήλα σε φαινολικά οξέα. Επιπρόσθετα, οι ΡΡ αποτελούν δευτερογενή προϊόντα του μεταβολισμού των φυτών και των φρούτων-λαχανικών, έχοντας σημαντικό ρόλο στους μηχανισμούς προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία, τις περιβαλλοντικές πιέσεις, την προσβολή από τα παθογόνα και το φωτεινό χρώμα αντίστοιχα.

Η ταξινόμηση των πολυφαινολών γίνεται με βάση τον αριθμό των φαινολικών δακτυλίων που περιέχουν και τα δομικά στοιχεία που είναι συνδεδεμένα. Επομένως, διακρίνονται σε φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα και στυλβένια. (Manach et al., 2004)

Φλαβονοειδή

Αποτελούν μια κατηγορία πολυφαινολών ευρέως διαδεδομένη στη φύση και χωρίζονται σε 6 υποκατηγορίες τις φλαβονόλες, τις φλαβόνες, τις ισοφλαβόνες τις φλαβονόνες, τις ανθοκυανιδίνες και τις φλαβονόλες (Harbone, 1989, n.d.). Η χημική δομή τους έχει έναν βασικό ανθρακικό σκελετό αποτελούμενος από δεκαπέντε άτομα άνθρακα, σε μια διάταξη με δύο αρωματικούς δακτυλίους συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω τριών ατόμων άνθρακα σχηματίζοντας έναν οξειδωμένο ετεροκυκλικό δακτύλιο. Το μεγαλύτερο μέρος των φλαβονοειδών σε φυτά και τρόφιμα απαντώνται υπό τη μορφή γλυκοζιτών. Μεταξύ των 6 υποκατηγοριών οι φλαβονόλες είναι τα πιο άφθονα στη φύση και στα τρόφιμα (Manach et al., 2004)

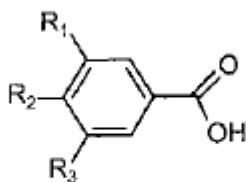


Εικόνα 1 Χημικός τύπος φλαβονοειδών

Φαινολικά οξέα

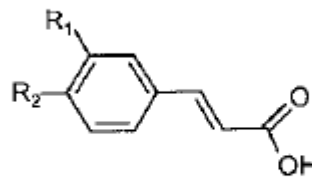
Η δομή των φαινολικών οξέων είναι πιο απλή σε σχέση με αυτήν των φλαβονοειδών. Συνήθως βρίσκονται στην ελεύθερη τους μορφή ή με τη μορφή μεθυλό- και αιθυλό- εστέρων σε ανώτερα φυτά και φτέρες (Harbone, 1989, n.d.). Διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες τα υδροξυβενζοϊκά οξέα και στα υδροξυκινναμικά οξέα.

Hydroxybenzoic acids



$R_1 = R_2 = OH, R_3 = H$: Protocatechuic acid
 $R_1 = R_2 = R_3 = OH$: Gallic acid

Hydroxycinnamic acids



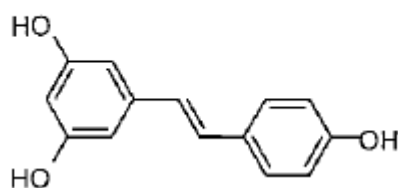
$R_1 = OH$: Coumaric acid
 $R_1 = R_2 = OH$: Caffeic acid
 $R_1 = OCH_3, R_2 = OH$: Ferulic acid

Εικόνα 2 Παραδείγματα φαινολικών οξέων

Στιλβένια

Τα στιλβένια ανήκουν σε μια ευρύτερη κατηγορία ενώσεων της φυτοαλεξίνες. Η βασική χημική τους δομή συγκροτείται από δύο αρωματικούς δακτυλίους που συνδέονται μεταξύ τους με μια γέφυρα μεθυλενίου. Όμως υπάρχουν περιπτώσεις που συνδέονται με σάκχαρα, μεθυλομάδες, μεθοξυλομάδες και άλλες ενώσεις, καθορίζοντας τη στερεοχημική τους διαμόρφωση και την ικανότητά τους να συμμετέχουν σε αντιδράσεις για τον σχηματισμό πολυμερών. Διακρίνονται σε 2 υποκατηγορίες τα μονομερή και τα ολιγομερή στιλβένια (Shen et al., 2009).

Stilbenes

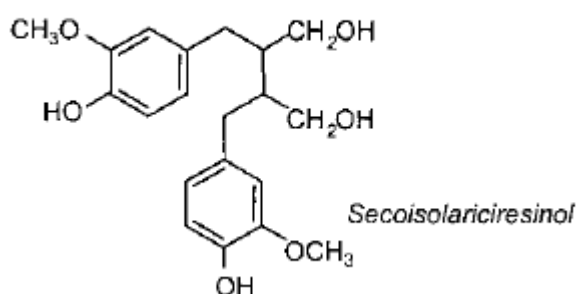


Εικόνα 3 Χημικός τύπος στιλβενίων

Λιγνάνες

Οι λιγνάνες είναι διμερείς φαινυλοπροπανωδίων που συνδέονται μεταξύ τους μέσω των ανθρακικών πλευρικών αλυσίδων. Υπάρχουν 4 υποκατηγορίες, διαφοροποιημένες στο άτομο άνθρακα που συνδέεται το οξυγόνο, οι οποίες είναι οι λιγνάνες, οι λιγνανολίδες, οι μονοεπξυλιγνάνες και οι διεπξυλιγνάνες. Απαντώνται σε διάφορα είδη φυτών, φρούτων και σπόρων, έχοντας ταυτοποιηθεί πάνω από 300. Συνήθως βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή, όμως σε κάποια είδη υπάρχουν συνδεδεμένες με σάκχαρα (γλυκόζη). Επιπρόσθετα, είναι ευρέως γνωστές για την αντικαρκινική, την αντιοξειδωτική και την αντιβακτηριακή τους δράση (Ferrazzano et al., 2011).

Lignans



Εικόνα 4 Χημικός τύπος λιγνανών

1.3.2 Ιδιότητες και Βιολογική Δράση: Ανάλυση των αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και αντιβακτηριακών ιδιοτήτων των πολυφαινολών, καθώς και των πιθανών ευεργετικών δράσεων τους στην υγεία.

Οι πολυφαινόλες είναι υπεύθυνες για το χρώμα των φρούτων και λαχανικών, την οσμή τους, την γεύση τους (πικρή) αλλά προστατεύουν και όλες από τις αντίξοες κλιματικές συνθήκες, την υπεριώδη ακτινοβολία, την οξείδωση και την ενζυμική αντίδραση καφέ χρώσης. Εκτός από τις οργανοληπτικές και διατροφικές ιδιότητες οι πολυφαινολικές ενώσεις είναι γνωστές και για την για την αντιοξειδωτική τους ικανότητα. Αυτή η δράση τους οφείλεται στους δεσμευτές ελευθέρων ριζών ή στους αποδομητές των αλυσιδωτών οξειδωτικών αντιδράσεων, ιδίως των μορίων που έχουν ορθό-διφαινολική σύνταξη. Τα πιο ισχυρά αντιοξειδωτικά είναι τα φλαβονοειδή διότι έχουν ορθό-διφαινολική δομή και ομάδες υδροξυλίου στις θέσεις 3 και 5 (αφού η αντιοξειδωτική ικανότητα ενώσεων με πολλές ομάδες υδροξυλίου είναι υψηλή). Σύμφωνα με μια μελέτη των Rice-Evans και N.J. Miller, οι μη εκχυλιζόμενες πολυφαινόλες είναι έως τριάντα φορές πιο ισχυρά αντιοξειδωτικά από τις εκχυλιζόμενες πολυφαινόλες.

Τα τελευταία χρόνια πολλές μελέτες *in vivo* και *in vitro* απέδειξαν ότι οι φυτικές πολυφαινόλες έχουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Η εμφάνιση μιας φλεγμονής σε έναν οργανισμό προκαλεί υπερπαραγωγή ROS (αντιδραστικά είδη οξυγόνου) στα μιτοχόνδρια και συνθέτει προφλεγμονώδεις κυτοκίνες ενεργοποιώντας το σύμπλοκο NLRP3 (κεντρικός κόμβος που συνδέει τα μονοπάτια σηματοδότησης της φλεγμονής μεταξύ τους). Στην ενεργοποίηση του συμπλόκου NLRP3 ευθύνεται και η αντιφλεγμονώδη δράση των φαινολικών ενώσεων. Η προαναφερθείσα ικανότητα των πολυφαινολών έχει γίνει στόχος φαρμακευτικών ερευνών για τη δημιουργία φαρμάκων πρόληψης και θεραπείας εκφυλιστικών και μη μεταδοτικών ασθενειών (Zhang & Tsao, 2016)

Ποικίλα είδη των πολυφαινολών όπως η λιγνίνη, η σουβερίνη και η κατεχίνη έχουν αντιβακτηριακές ιδιότητες. Ορισμένες είναι φυτοαντιπρολακτικές ενώσεις, έχουν αμυντικό ρόλο και βρίσκονται στα επιδερμικά κύτταρα των φυτών απομακρύνοντας παθογόνους μικροοργανισμούς. Άλλες πολυφαινόλες (φαινολικές φυτοαλεξίνες) αφού προσβληθεί το φυτό από κάποιον παθογόνο μικροοργανισμό περιορίζουν τη βλάβη και συγκεντρώνουν αντιβιοτικές ενώσεις. Επιπρόσθετα κάποιες παράγουν υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) τροποποιώντας τη διαπερατότητα της μικροβιακής μεμβράνης ή παρεμβαίνουν στην παραγωγή και ανάπτυξη μιας βακτηριακής αποικίας (Ferrazzano et al., 2011).

Οι πολυφαινόλες είναι άφθονες στα τρόφιμα και σε φαρμακευτικά φυτά, αποτελώντας αναπόσπαστο κομμάτι της διατροφής. Ο κύριος λόγος για τον οποίο ερευνητές έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον. Σκοπός των ερευνών τους, τα οφέλη της πρόληψής τους για την υγεία. Εκτός των αντιοξειδωτικών, αντιβακτηριακών και αντιφλεγμονωδών ιδιοτήτων τους, οι PP έχουν πολλές άλλες βιολογικές δράσεις. Ενεργούν σημαντικό ρόλο στην πρόληψη ασθενειών που οφείλονται στο οξειδωτικό στρες (καρκίνος, νευροεκφυλιστικές ασθένειες και καρδιαγγειακά νοσήματα) (Manach et al., 2004). Κάποιες κατηγορίες, όπως τα φλαβονοειδή, χρησιμοποιούνται ως αντιβιοτικά, αντιδιαρροϊκά και αντιελκώδη. Άλλες ενώσεις εφαρμόζονται για τη θεραπεία ασθενειών, όπως είναι η υπέρταση, η αγγειακή ευθραυστότητα, η υπερχοληστερολαιμία και οι αλλεργίες (Bravo, 1998).

1.4 Πολυφαινόλες στο κουμκουάτ: Σύσταση και Ποιοτική Ανάλυση

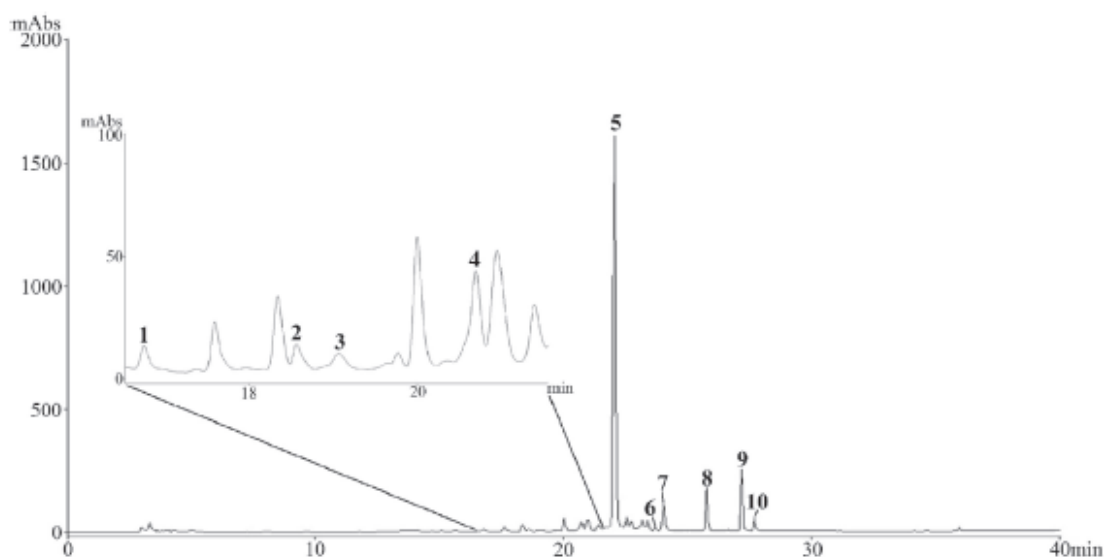
1.4.1 Ανασκόπηση των γνωστών πολυφαινολικών συστατικών στο κουμκουάτ όπως φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα και αντιοξειδωτικά.

Το κουμκουάτ είναι πηγή πλούσια σε δευτερεύοντες μεταβολίτες όπως φλαβονοειδή, καροτενοειδή, τερπένια και βιταμίνες που έχουν ευεργετική δράση στην υγεία του ανθρώπου. Η ποσότητα και η ποιότητα αυτών των ευεργετικών ουσιών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Βάσει ερευνών, αποδείχθηκε ότι το τοπικό υπόβαθρο του φυτού, το είδος, το μέρος του φυτού που χρησιμοποιείται ή καταναλώνεται (ολόκληρο φρούτο, φρούτο χωρίς φλούδα ή μόνο τη φλούδα του φρούτου) την επεξεργασία που έχει υποστεί το φρούτο (χυμός, πολτός, αποξηραμένο, φρέσκο ή εκχυλισμένο), την ένταση ωριμότητας (άγουρο ή ώριμο) και την εποχή συγκομιδής, επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα του.

Οι πολυφαινόλες οι οποίες βρίσκονται σε σημαντικές ποσότητες στο κουμκουάτ είναι οι ομάδες των φλαβονοειδών, των φαινολικών οξέων και των καροτενοειδών και ασκούν αρκετά σημαντική επίδραση στη θρεπτική, υγειονομική, γευστική και καλλυντική ποιότητα προϊόντων που περιέχουν ως κύριο συστατικό το κουμκουάτ. Τα πιο σημαντικά φλαβονοειδή και φαινολικά οξέα που περιέχει είναι η καεμπφερόλη, η λουτεολίνη, η ρουτίνη, η μαργαρίτηνη, η φορτουνελλίνη, η ροιφόλη, η ναριρουτίνη, η εσπεριδίνη, η πονκυρίνη, η διδυμίνη, η φλωρετίνη και η φλοριζίνη. Μελέτες αποκάλυψαν πως υπάρχουν σε μεγαλύτερες ποσότητες στη φλούδα του φρούτου σε σχέση με τη σάρκα, όπως επίσης η ποσότητά τους είναι διπλάσια στα άγουρα κουμκουάτ από ότι στα ώριμα. Οι κυριότερες καροτενοειδείς ενώσεις είναι λουτεΐνη, η βιολαξανθίνη, η κιτρανυρίνη, η κρυπτοξανθίνη και η β-κρυπτοξανθίνη. Ευθύνονται για το χρυσό-πορτοκαλί χρώμα του φρούτου και η ποσότητά

τους είναι μεγαλύτερη στη φλούδα. Επιπλέον, αυτό το χρώμα που προσδίδουν είναι απαραίτητο στην κοσμετολογία όσο και στην βιομηχανία τροφίμων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κουμκουάτ είναι πιθανότατα το μόνο εσπεριδοειδές που δεν περιέχει καθόλου β-καροτίνη, το πιο κοινό καροτοειδές του φυτικού κόσμου (Singh et al., n.d.)

Όλες οι παραπάνω ενώσεις και ιδιότητες ευθύνονται για την αντιοξειδωτική δράση στο κουμκουάτ. Οι λίγες μελέτες που έχουν δημοσιευτεί πάνω σε αυτό το θέμα, παρατηρήθηκε ότι οι φαινολικές ενώσεις εξουδετερώνουν τις ρίζες DPPH και ABTSt που ευθύνονται για την οξείδωση πολλών φυτικών και ζωικών οργανισμών (Lou & Ho, 2017). Σύμφωνα με χρωματογραφήματα εκχυλισμάτων κουμκουάτ, το DGPP (3'-5'-di-c-glucopyrano-syphlorein) ήταν το κύριο αντιοξειδωτικό συστατικό σε ποσοστό σχεδόν 70%, που οφείλεται μάλλον στην ενέργεια του δακτυλίου A και στην υδροξυομάδα του δακτυλίου B (Lou et al., 2016)



Εικόνα 5 Χαρτογράφημα περιεκτικότητας αντιοξειδωτικών σε εκχύλισμα κουμκουάτ

1.4.2 Προηγούμενες μελέτες και δημοσιεύσεις που εξετάζουν την παρουσία και συγκέντρωση πολυφαινόλων στο κουμκουάτ.

Τα τελευταία χρόνια το κουμκουάτ έχει κινήσει το ενδιαφέρον των ερευνητών για τα φαινολικά του συστατικά, τις ιδιότητές τους και την εφαρμογή τους στη βιομηχανία τροφίμων και τη φαρμακευτική. Ο αριθμός των ερευνών που το αφορούν είναι μικρός αλλά υπάρχουν κάποιες αξιόλογες. Μία από αυτές είναι των Shyi-Neng Lou et al (201) που μελέτησαν τις πολυφαινόλες και την αντιοξειδωτική δράση των εκχυλισμάτων κουμκουάτ που παρασκευάστηκαν από διάφορες διαλυτές. Χρησιμοποιήθηκαν ώριμα και ανώριμα φρούτα, η φλούδα, ο πολτός και ως διαλύτες η αιθανόλη, η μεθανόλη το διχλωρομεθάνιο, η βουτανόλη

και το ζεστό νερό. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν στους 4°C ως την ανάλυση της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC) για τον προσδιορισμό των πολυφαινόλων και η μέθοδος DPPH (1,1-διφαινυλο-2-πικρυλχιδραζύλιο) για την αντιοξειδωτική δραστηριότητα. Ως αποτέλεσμα, το κουμκουάτ είναι πλούσιο σε πολυφαινόλες και εμφανίζει ισχυρή αντιοξειδωτική δράση (Lou et al., 2016)

Σε μια άλλη ανασκόπηση του Xunhan Li et al 2023, παρουσιάζεται η συνολική χημική σύνθεση, τα οφέλη για την υγεία καθώς και η επίδραση διαφόρων παραμέτρων επεξεργασίας του καρπού και των υποπροϊόντων του. Εφαρμόστηκαν διάφορες αναλογίες φρούτου-διαλύτη (50%, 60%, 70%, 80% και 95%) και θερμοκρασίες (80°C, 90°C και 100°C) και ο συνδυασμός μεθόδων αντίστροφοποιημένης χρωματογραφίας και φασματομετρίας ιοντικών παγίδων. Το συμπέρασμα αυτής της ανασκόπησης ήταν πως οι ανώριμοι καρποί έχουν τριπλάσια ποσότητα πολυφαινολικών συστατικών σε σχέση με τους ώριμους καρπούς. Επιπρόσθετα, τα αποξηραμένα δείγματα του κουμκουάτ έχουν μικρότερη ποσότητα πολυφαινόλων σε σχέση με τα ωμά δείγματα (Li et al., 2023)

Συμπληρωματικά, οι ερευνητές E. Sadek, D. Makris και P. Kefalas ασχολήθηκαν με τη μελέτη ίδιας ποικιλίας κουμκουάτ (*Fortunella margarita*) σε 2 διαφορετικά μέρη (Κέρκυρα-Γκίζα). Για τη συγκεκριμένη διαδικασία, αξιοποίησαν τις φλούδες του φρούτου με τις μεθόδους Soxhlet και φασματογραφίας μάζας προσδιορίστηκαν οι φαινολικές ενώσεις των αποξηραμένων φλουδών. Αποδεικνύοντας ότι η ποικιλία στην περιοχή της Γκίζας έχει υψηλότερη συγκέντρωση πολυφαινόλων (106,2 mg/g ξηρού κλάσματος) σε σχέση με την περιοχή της Κέρκυρας (77,4 mg/g ξηρού κλάσματος) (Sadek et al., 2009).

1.5 Πολυφαινόλες στα Τρόφιμα και τα Καλλυντικά

1.5.1 Χρήση Πολυφαινόλων στη Βιομηχανία Τροφίμων: Συζήτηση για την ενσωμάτωση πολυφαινόλων σε τρόφιμα για τη βελτίωση της διατροφικής τους αξίας, τη συντήρηση και την αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης.

Οι πολυφαινόλες, μια ποικίλη κατηγορία φυτοχημικών ουσιών που υπάρχουν σε φρούτα, λαχανικά, τσάι, κακάο και κρασί, έχουν αναδειχθεί ως πολυλειτουργικές βιοδραστικές ουσίες στη βιομηχανία τροφίμων. Οι εφαρμογές τους περιλαμβάνουν τη βελτίωση της θρεπτικής αξίας, την παράταση της διάρκειας ζωής μέσω αντιοξειδωτικής και αντιμικροβιακής δράσης, καθώς και την ενίσχυση των αισθητηριακών και λειτουργικών ιδιοτήτων των τροφίμων. Λόγω των ισχυρών αντιοξειδωτικών και αντιφλεγμονωδών αποτελεσμάτων τους, οι πολυφαινόλες έχουν ενσωματωθεί στα συστήματα τροφίμων είτε ως

φυσικά πρόσθετα, συντηρητικά ή λειτουργικά συστατικά με στόχο την προώθηση της υγείας και τη μείωση της αλλοίωσης των τροφίμων.

Βελτίωση της διατροφικής αξίας και ανάπτυξη λειτουργικών τροφίμων

Οι πολυφαινόλες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση του διατροφικού προφίλ των τροφίμων, συμβάλλοντας στην αντιοξειδωτική ικανότητα, ρυθμίζοντας το μεταβολισμό των λιπιδίων και των υδατανθράκων και αλληλεπιδρώντας με το μικροβίωμα του εντέρου. Για παράδειγμα, τα φλαβονοειδή και τα φαινολικά οξέα που βρίσκονται στους σπόρους σταφυλιού, στο πράσινο τσάι και στα μούρα έχουν αποδειχθεί ότι αναστέλλουν τις οξειδωτικές οδούς που εμπλέκονται σε χρόνιες ασθένειες (Câmara et al., 2022). Ως αποτέλεσμα, αναπτύσσονται όλο και περισσότερο λειτουργικές συνταγές τροφίμων εμπλουτισμένες με πολυφαινόλες, ιδιαίτερα στους τομείς της γαλακτοκομικής, της αρτοποιίας και της βιομηχανίας ποτών.

Στο γιαούρτι και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, ο εμπλουτισμός με πολυφαινόλες έχει αποδείξει οφέλη όπως βελτιωμένη οξειδωτική σταθερότητα και αυξημένη βιωσιμότητα των προβιοτικών. Οι Oliveira et al. (2020) ανέφεραν ότι η προσθήκη πολυφαινολών σταφυλιού στο γιαούρτι όχι μόνο ενίσχυσε το αντιοξειδωτικό του προφίλ, αλλά συνέβαλε και στην ευνοϊκή αισθητηριακή αποδοχή. Παρόμοιες τάσεις παρατηρούνται στα προϊόντα με βάση τα δημητριακά, όπου τα εκχυλίσματα πολυφαινολών από φρούτα ή αγροβιομηχανικά υποπροϊόντα βελτιώνουν την περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και καθυστερούν την αλλοίωση.

Ρόλος συντηρητικού και παράταση της διάρκειας ζωής

Η χρήση πολυφαινολών ως φυσικών συντηρητικών ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση των καταναλωτών για προϊόντα διατροφής με καθαρή ετικέτα, χωρίς συνθετικά πρόσθετα. Οι πολυφαινόλες ασκούν αντιμικροβιακή δράση διαταράσσοντας τα κυτταρικά τοιχώματα των μικροοργανισμών, μεταβάλλοντας τη διαπερατότητα της μεμβράνης και παρεμβαίνοντας στην ενζυμική δραστηριότητα (Cherubim et al., 2020). Επιπλέον, οι αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες εξουδετερώνουν την υπεροξείδωση των λιπιδίων, μια σημαντική αιτία της τάγγισης στα λιπαρά τρόφιμα.

Στα προϊόντα κρέατος, τα εκχυλίσματα πλούσια σε κατεχίνες ή ελλαγιταννίνες καθυστερούν την οξείδωση, διατηρώντας τόσο τη γεύση όσο και το χρώμα. Οι Petruk et al. (2018) έδειξαν ότι οι πολυφαινόλες του πράσινου τσαγιού μείωσαν σημαντικά τις τιμές TBARS (ουσίες που αντιδρούν με το θειοβαρβιτουρικό οξύ) στο αποθηκευμένο κρέας, υποδηλώνοντας ενισχυμένη οξειδωτική σταθερότητα. Στα φρέσκα προϊόντα, οι βρώσιμες

επικαλύψεις με βάση πολυφαινόλες από φλούδα ροδιού ή δενδρολίβανο βελτιώνουν την μικροβιακή αντοχή, διατηρώντας παράλληλα την οπτική και την υφή τους.

Επιπλέον, οι Hoang et al. (2021) τόνισαν ότι οι πολυφαινόλες, όταν συνδυάζονται με τεχνολογίες συσκευασίας, δρουν συνεργικά σε ενεργά συστήματα συσκευασίας. Αυτά τα συστήματα απελευθερώνουν σταδιακά φαινολικές ενώσεις, προσφέροντας παρατεταμένη προστασία από τους μικροοργανισμούς που προκαλούν αλλοίωση και την οξείδωση.

Αντιοξειδωτική ικανότητα και μείωση του οξειδωτικού στρες

Η βασική αξία των πολυφαινολών στον τομέα των τροφίμων έγκειται στην ικανότητά τους να καταστρέφουν τις ελεύθερες ρίζες και να χηλικοποιούν τα μεταλλικά ιόντα, μειώνοντας έτσι το οξειδωτικό στρες. Αυτή η δράση είναι κρίσιμη όχι μόνο για τη διατήρηση της ακεραιότητας των τροφίμων, αλλά και για την παροχή οφελών για την υγεία κατά την κατανάλωση. Οι ανθοκυανίνες, η ρεσβερατρόλη, η κερσετίνη και το γαλλικό οξύ είναι από τα πιο ισχυρά αντιοξειδωτικά της διατροφής. Μελέτες δείχνουν ότι η τακτική πρόσληψή τους συμβάλλει στη μείωση των δεικτών φλεγμονής και οξειδωτικής βλάβης in vivo (Bouzroud et al., 2023).

Οι Oliveira et al. (2020) διερεύννησαν τη συνεργιστική δράση των πολυφαινολών και της βιταμίνης C σε μείγματα χυμών, αναφέροντας αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας (μετρούμενη με δοκιμές ORAC και DPPH) σε σύγκριση με τα μεμονωμένα συστατικά. Αυτή η συνέργεια αξιοποιείται συχνά σε σκευάσματα πολλαπλών συστατικών, όπως εμπλουτισμένα ποτά, smoothies και λειτουργικές μπάρες.

Τεχνολογική ενσωμάτωση: Μικροενθυλάκωση και χορήγηση

Παρά τα οφέλη τους, οι πολυφαινόλες παρουσιάζουν προκλήσεις που σχετίζονται με τη σταθερότητα, τη διαλυτότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα. Η έκθεση σε θερμότητα, φως και αλλαγές pH κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας μπορεί να αποικοδομήσει τις πολυφαινολικές ενώσεις. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, η σύγχρονη τεχνολογία τροφίμων ενσωματώνει τεχνικές όπως η μικροενθυλάκωση, οι νανογαλακτώματα και τα σύμπλοκα εγκλεισμού κυκλοδεξτρίνης για την προστασία και τον έλεγχο της απελευθέρωσης των πολυφαινολών.

Η μικροενθυλάκωση με χρήση μαλτοδεξτρίνης ή αλγινικών πλεγμάτων έχει αποδειχθεί επιτυχής σε γαλακτοκομικά, αρτοσκευάσματα και ποτά. Σύμφωνα με τους Mayer et al. (2017), τα ενθυλακωμένα εκχυλίσματα σπόρων σταφυλιού διατήρησαν πάνω από το 85% της αντιοξειδωτικής τους δράσης μετά από ψήσιμο σε υψηλή θερμοκρασία, υποδηλώνοντας βελτιωμένη θερμική αντοχή. Οι νανοσυνθέσεις επιτρέπουν επιπλέον τη

στοχευμένη απελευθέρωση στο γαστρεντερικό σωλήνα, βελτιώνοντας την απορρόφηση και τις συστηματικές επιδράσεις.

Περιορισμοί και ρυθμιστικές παραμέτρους

Αν και η ενσωμάτωση των πολυφαινολών στα συστήματα τροφίμων είναι πολλά υποσχόμενη, εξακολουθούν να υπάρχουν περιορισμοί. Ορισμένες πολυφαινολικές ενώσεις προσδίδουν στυφή ή πικρή γεύση, επηρεάζοντας ενδεχομένως την αποδοχή από τους καταναλωτές. Επιπλέον, η αλληλεπίδρασή τους με πρωτεΐνες ή μέταλλα μπορεί να επηρεάσει τη βιοδιαθεσιμότητα. Τα ρυθμιστικά πλαίσια διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Για παράδειγμα, στην ΕΕ, η χρήση πολυφαινολικών εκχυλισμάτων ως προσθέτων τροφίμων πρέπει να συμμορφώνεται με τις κατευθυντήριες γραμμές της EFSA σχετικά με την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα. Επιπλέον, οι Hoang et al. (2021) παρατήρησαν μεταβλητότητα στη σταθερότητα των πολυφαινολών ανάλογα με τη σύνθεση της τροφικής μήτρας, υποδηλώνοντας ότι η βελτιστοποίηση της σύνθεσης πρέπει να είναι συγκεκριμένη και να επικυρώνεται εμπειρικά.

Οι πολυφαινόλες αντιπροσωπεύουν μια ευέλικτη και ευεργετική για την υγεία κατηγορία ενώσεων που βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων. Οι αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές τους ιδιότητες, σε συνδυασμό με την ικανότητά τους να βελτιώνουν τη θρεπτική αξία και τη διάρκεια ζωής των τροφίμων, τις καθιστούν πολύτιμα συστατικά σε λειτουργικά και καθαρά τρόφιμα. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στα συστήματα ενθυλάκωσης και χορήγησης έχουν επεκτείνει περαιτέρω την εφαρμοσιμότητά τους, αν και εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις που σχετίζονται με τη σταθερότητα, τη γεύση και τη ρύθμιση. Καθώς οι προτιμήσεις των καταναλωτών στρέφονται προς τα φυσικά και υγιεινά τρόφιμα, ο ρόλος των πολυφαινολών αναμένεται να αυξηθεί, υποστηριζόμενος από τη συνεχή έρευνα και καινοτομία.

1.5.2 Χρήση Πολυφαινολών στα Καλλυντικά: Παρουσίαση της αντιγηραντικής, φωτοπροστατευτικής και αναπλαστικής δράσης των πολυφαινολών όταν χρησιμοποιούνται σε καλλυντικά προϊόντα.

Οι πολυφαινόλες, ως βιοδραστικές ενώσεις φυτικής προέλευσης, έχουν αποκτήσει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην βιομηχανία καλλυντικών λόγω των ευρέων βιολογικών τους επιδράσεων. Οι αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις, φωτοπροστατευτικές και αναγεννητικές τους ιδιότητες τις καθιστούν ιδανικές για χρήση σε αντιγηραντικές συνθέσεις, αντηλιακά και προϊόντα αποκατάστασης του δέρματος. Προερχόμενες από πηγές όπως το πράσινο τσάι, οι

σπόροι σταφυλιού, τα μούρα και το ρόδι, οι πολυφαινόλες προσφέρουν μια φυσική, αποτελεσματική εναλλακτική λύση στα συνθετικά πρόσθετα. Η ενσωμάτωση αυτών των ενώσεων σε τοπικές εφαρμογές ενισχύει τόσο τη λειτουργικότητα του προϊόντος όσο και την ελκυστικότητά του για τον καταναλωτή, ειδικά στο πλαίσιο των καλλυντικών με καθαρή ετικέτα και φυτικής προέλευσης.

Αντιγηραντικές ιδιότητες των πολυφαινολών

Η γήρανση του δέρματος σχετίζεται με ενδογενείς παράγοντες (γενετική και μεταβολισμός) και εξωγενείς παράγοντες (έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, ρύπανση, τρόπος ζωής). Ένας βασικός παράγοντας που συμβάλλει στη γήρανση του δέρματος είναι το οξειδωτικό στρες, το οποίο οδηγεί σε κυτταρική βλάβη, αποικοδόμηση του κολλαγόνου και μείωση της ελαστικότητας του δέρματος. Οι πολυφαινόλες βοηθούν στην καταπολέμηση αυτών των επιδράσεων μέσω πολλαπλών μηχανισμών. Δρουν ως ισχυρά αντιοξειδωτικά, καταστρέφοντας τις ελεύθερες ρίζες και αποτρέποντας την υπεροξείδωση των λιπιδίων στις κυτταρικές μεμβράνες.

Οι Bouzroud et al. (2023) τόνισαν ότι οι πολυφαινόλες αναστέλλουν τις μεταλλοπρωτεϊνάσες της μήτρας (MMP), ένζυμα που είναι υπεύθυνα για την αποικοδόμηση των εξωκυτταρικών συστατικών της μήτρας, όπως το κολλαγόνο και η ελαστίνη. Η ρεσβερατρόλη, η επιγαλλοκατεχίνη γαλλική (EGCG) και η κερσετίνη είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην αναστολή της δραστηριότητας των MMP-1 και MMP-9, διατηρώντας έτσι τη δομή του δέρματος. Η δράση τους μειώνει το σχηματισμό ρυτίδων, βελτιώνει τη σφριγηλότητα και αποκαθιστά τη λειτουργία του δερματικού φραγμού.

Επιπλέον, οι πολυφαινόλες ρυθμίζουν την έκφραση γονιδίων που συνδέονται με τη γήρανση του δέρματος. Μελέτες δείχνουν ότι η τοπική ρεσβερατρόλη ρυθμίζει προς τα πάνω τη σιρτουίνη-1 (SIRT1), ένα γονίδιο που σχετίζεται με τη μακροζωία και προστατεύει από την κυτταρική γήρανση (Petruk et al., 2018).

Φωτοπροστατευτικά αποτελέσματα κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) είναι ένας πρωταρχικός εξωτερικός παράγοντας στη φωτογήρανση, τη φλεγμονή και ακόμη και την καρκινογένεση. Οι πολυφαινόλες προσφέρουν φωτοπροστατευτικά αποτελέσματα απορροφώντας άμεσα το υπεριώδες φως, μειώνοντας τον σχηματισμό αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS) και ρυθμίζοντας τις φλεγμονώδεις οδούς. Για παράδειγμα, οι πολυφαινόλες του πράσινου τσαγιού προστατεύουν τα κερατινοκύτταρα

από τη βλάβη του DNA που προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία και την υπεροξειδωση των λιπιδίων (Zhou et al., 2018).

Στις συνθέσεις αντηλιακών, οι πολυφαινόλες μπορούν να λειτουργήσουν ως δραστικά συστατικά ή ενισχυτικά των συνθετικών φίλτρων UV. Οι Dunaway et al. (2018) διαπίστωσαν ότι οι πολυφαινόλες από σπόρους σταφυλιού και ρόδι ενίσχυσαν τις τιμές SPF σε πειραματικά αντηλιακά, μειώνοντας ταυτόχρονα τη φλεγμονή μετά την έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία. Αυτά τα αποτελέσματα αποδίδονται στην ικανότητα των πολυφαινολών να καταστέλλουν τη σηματοδότηση του πυρηνικού παράγοντα-kappa B (NF-κB) και την έκφραση της COX-2, δύο βασικοί μεσολαβητές της φλεγμονής που προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία. Οι πολυφαινόλες είναι επίσης ικανές να σταθεροποιούν άλλα αντιοξειδωτικά σε σκευάσματα, όπως οι βιταμίνες C και E, ενισχύοντας έτσι τη συνολική φωτοπροστατευτική αποτελεσματικότητα (Hoang et al., 2021).

Αναγεννητικές και επουλωτικές επιδράσεις

Εκτός από τις αντιοξειδωτικές και αντιγηραντικές τους ιδιότητες, οι πολυφαινόλες παρουσιάζουν αναγεννητικό δυναμικό που είναι ζωτικής σημασίας για την επούλωση τραυμάτων και την ανανέωση του δέρματος. Οι ανθοκυανίνες και οι φλαβονόλες διεγείρουν τον πολλαπλασιασμό των ινοβλαστών, την αγγειογένεση και τη σύνθεση κολλαγόνου, που είναι απαραίτητα για την επιδιόρθωση των ιστών.

Οι Nowak-Perlak et al. (2025), ανέφεραν ότι οι πολυφαινόλες φυτικής προέλευσης επιτάχυναν την επανεπιθηλιοποίηση και μείωσαν τις φλεγμονώδεις κυτοκίνες (π.χ. IL-6, TNF-α) σε μοντέλα πληγών. Επιπλέον, πολυφαινόλες όπως η κουρκουμίνη και το γαλλικό οξύ υποστηρίζουν την ενυδάτωση και την παραγωγή κεραμιδίων, αποκαθιστώντας το φράγμα υγρασίας του δέρματος. Αυτά τα αποτελέσματα αξιοποιούνται σε σκευάσματα όπως κρέμες κατά των ουλών, μάσκες μετά από επεμβάσεις και οροί για το δέρμα. Έχουν αναπτυχθεί επιθέματα νανοϊνών και υδρογέλη εμπλουτισμένα με πολυφαινόλες για στοχευμένη αναγέννηση του δέρματος και παρατεταμένη απελευθέρωση βιοδραστικών ουσιών (Kostyuk et al., 2018).

Σκευάσματα και συστήματα χορήγησης στα καλλυντικά

Παρά τα οφέλη τους, οι πολυφαινόλες είναι χημικά ασταθείς και ευαίσθητες στην αποικοδόμηση υπό την επίδραση της θερμότητας, του φωτός και του οξυγόνου. Η ενσωμάτωσή τους σε καλλυντικά προϊόντα απαιτεί τεχνικές σταθεροποίησης. Η ενθυλάκωση

σε λιποσώματα, νανοσωματίδια ή μήτρες βιοπολυμερών εξασφαλίζει παρατεταμένη απελευθέρωση και ενισχύει τη δερματική διείσδυση.

Οι Mayer et al. (2017) ανέπτυξαν νανοκάψουλες φορτωμένες με πολυφαινόλες για κρέμες και τζελ που έδειξαν αυξημένη κατακράτηση στο δέρμα και βελτιωμένη φωτοσταθερότητα. Τα σύμπλοκα εγκλεισμού κυκλοδεξτρίνης βελτιώνουν επίσης την υδατοδιαλυτότητα των υδρόφοβων πολυφαινολών όπως η κουρκουμίνη, διευκολύνοντας τη χρήση τους σε υδατικές καλλυντικές βάσεις. Επιπλέον, φυσικοί γαλακτωματοποιητές και φορείς όπως το τζελ αλόης βέρα ή τα φυτικά έλαια συνδυάζονται συχνά με πολυφαινόλες για να δημιουργήσουν συνεργατικά αποτελέσματα σε θεραπείες ενυδάτωσης, καταπράυνσης και κατά της ακμής.

Τάσεις των καταναλωτών και ρυθμιστικές πτυχές

Η άνοδος των φυσικών, βιολογικών και «καθαρών» προϊόντων ομορφιάς έχει οδηγήσει σε αύξηση της ζήτησης για φυτικά δραστικά συστατικά όπως οι πολυφαινόλες. Η συμβατότητά τους με βιώσιμες και vegan συνθέσεις ενισχύει την αντίληψη των καταναλωτών και την αξία του προϊόντος. Ωστόσο, η σύνθεση με φυτικά εκχυλίσματα δημιουργεί προκλήσεις στην τυποποίηση και τον ποιοτικό έλεγχο. Η διακύμανση της περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες από παρτίδα σε παρτίδα μπορεί να επηρεάσει τη συνέπεια και την αποτελεσματικότητα του προϊόντος.

Οι ρυθμιστικές αρχές, συμπεριλαμβανομένης της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Χημικών Προϊόντων (ECHA) και της Αμερικανικής Υπηρεσίας Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA), απαιτούν αξιολογήσεις ασφάλειας και καταχώριση INCI (Διεθνής Ονοματολογία Καλλυντικών Συστατικών) για εκχυλίσματα πλούσια σε πολυφαινόλες. Η κλινική επικύρωση των ισχυρισμών για αντιγήρανση ή φωτοπροστασία τονίζεται επίσης όλο και περισσότερο στο μάρκετινγκ των προϊόντων (Cherubim et al., 2020).

Οι πολυφαινόλες προσφέρουν μια πολύπλευρη συμβολή στην επιστήμη των καλλυντικών, λειτουργώντας ως φυσικά αντιοξειδωτικά, αντιγηραντικά, προστατευτικά από την υπεριώδη ακτινοβολία και αναγεννητικά του δέρματος. Η ενσωμάτωσή τους σε τοπικά προϊόντα συνάδει τόσο με τη δερματολογική αποτελεσματικότητα όσο και με τη ζήτηση των καταναλωτών για φυσικές και βιώσιμες λύσεις. Οι εξελίξεις στα συστήματα χορήγησης και στην επιστήμη της σύνθεσης έχουν βελτιώσει τη χρηστικότητα και τη σταθερότητα αυτών των ενώσεων. Η συνεχής έρευνα και τυποποίηση θα επεκτείνει περαιτέρω το δυναμικό τους

στην καλλυντική βιομηχανία, τοποθετώντας τις πολυφαινόλες ως βασικά δραστικά συστατικά στις μελλοντικές καινοτομίες στην περιποίηση του δέρματος.

1.6 Τεχνολογίες Παρασκευής και Ανάλυσης Εκχυλισμάτων

1.6.1 Μέθοδοι Εκχύλισης Πολυφαινολών: Περιγραφή των μεθόδων εκχύλισης (π.χ., εκχύλιση με διαλύτες, υπερκρίσιμη εκχύλιση, μικροκύματα) και σύγκρισή τους με βάση την απόδοση και την αποτελεσματικότητα.

Η εκχύλιση πολυφαινολών από φυτικά υλικά είναι ένα κρίσιμο βήμα για τη μεγιστοποίηση της λειτουργικότητάς τους σε εφαρμογές τροφίμων, καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων. Οι πολυφαινόλες είναι ευαίσθητες στις περιβαλλοντικές συνθήκες και μπορούν να υποβαθμιστούν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας εάν χρησιμοποιηθούν ακατάλληλες μέθοδοι. Με την πάροδο των ετών, οι τεχνολογίες εκχύλισης έχουν εξελιχθεί από τις συμβατικές τεχνικές με βάση διαλύτες σε πιο αποτελεσματικές και φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους, όπως η εκχύλιση με τη βοήθεια υπερήχων (UAE), η εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων (MAE) και η εκχύλιση με υπερκρίσιμα υγρά (SFE). Κάθε μέθοδος προσφέρει ξεχωριστά πλεονεκτήματα και περιορισμούς ανάλογα με τη μήτρα, τις στοχευόμενες ενώσεις και την προβλεπόμενη χρήση.

Συμβατική εκχύλιση με διαλύτες

Η εκχύλιση με διαλύτες είναι η πιο παραδοσιακή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την ανάκτηση πολυφαινολών. Περιλαμβάνει τη χρήση πολικών διαλυτών όπως αιθανόλη, μεθανόλη, ακετόνη ή νερό —είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό— για τη διαλυτοποίηση φαινολικών ενώσεων από φυτικούς ιστούς. Η μέθοδος είναι σχετικά απλή, χαμηλού κόστους και επεκτάσιμη, γεγονός που την καθιστά ελκυστική για βιομηχανική χρήση. Ωστόσο, οι περιορισμοί της περιλαμβάνουν μεγάλους χρόνους εκχύλισης, υψηλή χρήση διαλυτών και πιθανή αποικοδόμηση θερμοευαίσθητων ενώσεων. Η πολικότητα του διαλύτη και οι παράμετροι εκχύλισης (θερμοκρασία, χρόνος, pH, αναλογία στερεού προς διαλύτη) επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση και την επιλεκτικότητα. Οι Dias-Costa et al. (2025) διαπίστωσαν ότι τα μείγματα αιθανόλης-νερού (70:30) παρείχαν βέλτιστη ανάκτηση των συνολικών φαινολικών ενώσεων από τα στέμφυλα σταφυλιών, αλλά απαιτούσαν μεγαλύτερο χρόνο εκχύλισης και υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τις προηγμένες μεθόδους.

Εξόρυξη με τη βοήθεια υπερήχων (UAE)

Η UAE βελτιώνει την εκχύλιση με διαλύτη χρησιμοποιώντας υπερηχητικά κύματα (συνήθως 20-100 kHz) που προκαλούν σπηλαίωση και ρήξη των κυτταρικών τοιχωμάτων των φυτών, βελτιώνοντας τη μεταφορά μάζας. Αυτή η τεχνική μειώνει σημαντικά το χρόνο εκχύλισης και την κατανάλωση διαλύτη, ενώ αυξάνει την απόδοση και την αποτελεσματικότητα. Οι Barzkar et al. (2024) συνέκριναν την UAE με τις συμβατικές μεθόδους και ανέφεραν έως και 40% υψηλότερη απόδοση φαινολικών ενώσεων από καφέ φύκια. Η UAE είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για εύθραυστες ενώσεις λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας και της ελάχιστης οξείδωσης. Ωστόσο, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την άνιση ηχητική επεξεργασία σε συστήματα μεγάλης κλίμακας και την πιθανή υποβάθμιση εάν η έκθεση σε υπερήχους είναι υπερβολικά παρατεταμένη. Η βελτιστοποίηση παραμέτρων όπως το πλάτος, η διάρκεια του παλμού και η σύνθεση του διαλύτη είναι απαραίτητη για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης.

Εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων (MAE)

Η MAE χρησιμοποιεί ενέργεια μικροκυμάτων για να θερμάνει γρήγορα πολικούς διαλύτες εντός των φυτικών ιστών, προκαλώντας ρήξη του κυτταρικού τοιχώματος και ταχεία απελευθέρωση ενδοκυτταρικών πολυφαινολών. Αυτή η μέθοδος προσφέρει εξαιρετική εξοικονόμηση χρόνου, μειώνοντας μερικές φορές την εκχύλιση από ώρες σε λεπτά.

Οι Walayat et al. (2025) διαπίστωσαν ότι η MAE παρήγαγε υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες και αντιοξειδωτική δράση από τα φύλλα πράσινου τσαγιού σε σύγκριση με την UAE ή τις συμβατικές μεθόδους. Επιπλέον, η μέθοδος είναι ενεργειακά αποδοτική και προσαρμόσιμη σε πράσινους διαλύτες όπως η αιθανόλη και το νερό. Παρά τα πλεονεκτήματά της, η MAE μπορεί να οδηγήσει σε θερμική αποικοδόμηση ευαίσθητων ενώσεων εάν δεν ελέγχεται προσεκτικά. Η ομοιόμορφη θέρμανση αποτελεί επίσης ένα πρόβλημα, ιδιαίτερα σε ιξώδεις ή ετερογενείς μήτρες.

Εκχύλιση με υπερκρίσιμο υγρό (SFE)

Η SFE χρησιμοποιεί υπερκρίσιμο CO₂ — μερικές φορές με συνδιαλύτες όπως η αιθανόλη — για την εκχύλιση πολυφαινολών υπό ελεγχόμενη θερμοκρασία και πίεση. Η μέθοδος αυτή είναι φιλική προς το περιβάλλον, δεν χρησιμοποιεί διαλύτες και είναι ιδανική για ευαίσθητες ενώσεις λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας εκχύλισης.

Ο Silva (2025) απέδειξε ότι η SFE υπερείχε όλων των άλλων τεχνικών όσον αφορά την επιλεκτικότητα και την καθαρότητα των κλάσματος πολυφαινολών από εκχύλισμα κελύφους

καρύδας, αν και η συνολική απόδοση ήταν ελαφρώς χαμηλότερη από την UAE. Οι κύριοι περιορισμοί της SFE είναι το υψηλό κόστος του εξοπλισμού και η ανάγκη για ακριβή έλεγχο της πίεσης. Ωστόσο, για εκχυλίσματα υψηλής αξίας που προορίζονται για φαρμακευτικά ή καλλυντικά προϊόντα, η SFE προσφέρει απaráμιλλη καθαρότητα και σταθερότητα.

Σύγκριση μεθόδων: Απόδοση και βιωσιμότητα

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί	Τυπική απόδοση
Εκχύλιση με διαλύτη	Απλό, χαμηλού κόστους, επεκτάσιμο	Μεγάλη διάρκεια, υψηλή χρήση διαλυτών, χαμηλή επιλεκτικότητα	Μέτρια
UAE	Υψηλή απόδοση, χαμηλή θερμοκρασία, σύντομος χρόνος, ενεργειακή απόδοση	Προκλήσεις κλιμάκωσης εξοπλισμού, απαιτεί βελτιστοποίηση	Υψηλή
MAE	Γρήγορο, αποδοτικό, εξαιρετικό για θερμοευαίσθητες ενώσεις	Πιθανή υπερθέρμανση, άνιση θέρμανση	Πολύ Υψηλή
SFE	Πράσινο, χωρίς διαλύτες, υψηλή επιλεκτικότητα και καθαρότητα	Ακριβή, λειτουργία υπό υψηλή πίεση, χαμηλότερη απόδοση όγκου	Μέτρια- Υψηλή

Πίνακας 1 Σύγκριση μεθόδων

(Πηγή: Dias-Costa et al., 2025; Walayat et al., 2025; Silva, 2025)

Η βιωσιμότητα έχει καταστεί σημαντικός παράγοντας στην τεχνολογία εκχύλισης. Οι μέθοδοι MAE και UAE συνάδουν με τις αρχές της πράσινης χημείας, μειώνοντας τη χρήση διαλυτών και ενέργειας. Η μέθοδος SFE, αν και δαπανηρή, εξαλείφει τα υπολείμματα διαλυτών και προτιμάται για εφαρμογές σε τρόφιμα και καλλυντικά.

1.6.2 Μέθοδοι Ανάλυσης Πολυφαινολών: Συζήτηση των τεχνικών ανάλυσης (π.χ., υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC), φασματοφωτομετρία) για την ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση των πολυφαινολών.

Οι πολυφαινόλες, λόγω της δομικής τους ποικιλομορφίας και των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεών τους με τα τρόφιμα ή τις βιολογικές μήτρες, απαιτούν ακριβείς και αξιόπιστες αναλυτικές τεχνικές για τον χαρακτηρισμό τους. Η ανάλυσή τους περιλαμβάνει τόσο την ποιοτική ταυτοποίηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιμέρους φαινολικών ενώσεων, όσο και τη συνολική αντιοξειδωτική δράση. Με την πάροδο των ετών, έχει αναπτυχθεί μια σειρά από κλασικές και σύγχρονες αναλυτικές μεθόδους, όπως η φασματοφωτομετρία, η υψηλής απόδοσης υγρή χρωματογραφία (HPLC), η υγρή

χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (LC-MS) και η πυρηνική μαγνητική συντονισμός (NMR). Αυτά τα εργαλεία είναι ζωτικής σημασίας στην επιστήμη των τροφίμων, τη φαρμακολογία και τις εφαρμογές καλλυντικών για την επικύρωση της σύνθεσης και της αποτελεσματικότητας των προϊόντων πλούσιων σε πολυφαινόλες.

1. Φασματοφωτομετρικές μέθοδοι

Η φασματοφωτομετρία είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την εκτίμηση της συνολικής περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες (TPC) λόγω της απλότητας, της προσιτής τιμής και της υψηλής απόδοσής της. Η μέθοδος Folin–Ciocalteu είναι ο χρυσός κανόνας για την αξιολόγηση της TPC, η οποία περιλαμβάνει μια χρωματομετρική αντίδραση μεταξύ των πολυφαινολών και του αντιδραστηρίου Folin, με αποτέλεσμα ένα μπλε χρωμοφόρο ανιχνεύσιμο στα 765 nm.

- **Πλεονεκτήματα:** Εύκολη στην εκτέλεση, απαιτεί βασικό εργαστηριακό εξοπλισμό, οικονομικά αποδοτική.
- **Περιορισμοί:** Μη ειδική — αντιδρά με άλλα αναγωγικά μέσα (π.χ. ασκορβικό οξύ), οδηγώντας ενδεχομένως σε υπερεκτίμηση της περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες.

Οι Dias-Costa et al. (2025) σημείωσαν ότι, παρά τους περιορισμούς της, η μέθοδος Folin–Ciocalteu παραμένει απαραίτητη για γρήγορο έλεγχο και συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με χρωματογραφικές τεχνικές για ένα πληρέστερο προφίλ.

Μια άλλη κοινή φασματοφωτομετρική μέθοδος είναι η μέθοδος DPPH για την απομάκρυνση των ελεύθερων ριζών, η οποία μετρά την αντιοξειδωτική δράση των πολυφαινολών. Άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν τις μεθόδους ABTS, FRAP και ORAC, καθεμία από τις οποίες στοχεύει σε διαφορετικές πτυχές των αντιοξειδωτικών μηχανισμών.

2. Υψηλής απόδοσης υγρή χρωματογραφία (HPLC)

Η HPLC είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον διαχωρισμό και την ποσοτικοποίηση μεμονωμένων πολυφαινολικών ενώσεων. Με την υψηλή ανάλυση και αναπαραγωγιμότητά της, η HPLC επιτρέπει την ανίχνευση φλαβονοειδών, φαινολικών οξέων, στυλβενίων και τανινών σε σύνθετες μήτρες.

- Τρόποι ανίχνευσης: Η ανίχνευση με συστοιχία διόδων UV/Vis (DAD) και η ανίχνευση φθορισμού είναι συνηθισμένες. Η HPLC-DAD είναι ιδιαίτερα

αποτελεσματική λόγω της ισχυρής απορρόφησης των πολυφαινολών στις περιοχές UV (200–370 nm).

- Ποσοτικοποίηση: Επιτρέπει την ακριβή μέτρηση ενώσεων όπως η κερσετίνη, οι κατεχίνες, το γαλλικό οξύ και η ρεσβερατρόλη.

Οι Barzkar et al. (2024) έδειξαν ότι η HPLC αντίστροφης φάσης με χρήση στηλών C18 και κινητής φάσης ακετονιτρίλιου και νερού (με τροποποιητές οξέος) παρείχε βέλτιστο διαχωρισμό των πολυφαινολών από εκχυλίσματα φυκιών.

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή ευαισθησία και ειδικότητα.
- Εφαρμόζεται τόσο σε ποιοτική όσο και σε ποσοτική ανάλυση.

Περιορισμοί:

- Απαιτεί πρότυπα για βαθμονόμηση.
- Ακριβός εξοπλισμός και συντήρηση.

3. Υγρή χρωματογραφία–φασματομετρία μάζας (LC-MS/MS)

Για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί της ειδικότητας ανίχνευσης στην HPLC, η LC-MS/MS συνδυάζει τον χρωματογραφικό διαχωρισμό με την ταυτοποίηση βάσει μάζας. Αυτή η τεχνική είναι ιδανική για την ταυτοποίηση άγνωστων ενώσεων, την ανίχνευση ιχνών και την επιβεβαίωση της δομής των ενώσεων.

- Ανιχνευτές MS: Συνήθως χρησιμοποιούνται οι λειτουργίες ηλεκτροψεκασμού (ESI) ή χημικής ιονισμού ατμοσφαιρικής πίεσης (APCI).
- Ποσοτικοποίηση: Η LC-MS επιτρέπει την ακριβή ποσοτικοποίηση χωρίς προηγούμενη παραγωγή.

Οι Ren et al. (2025) εφάρμοσαν την LC-MS/MS για να προφίλ 40+ μεμονωμένων πολυφαινολών σε εκχυλίσματα φυτών με υψηλή ακρίβεια, ακόμη και σε επίπεδα νανογραμμάρων.

Πλεονεκτήματα:

- Εξαιρετικά ευαίσθητη.
- Χρήσιμο για σύνθετες μήτρες και μεταβολομικές μελέτες.

Περιορισμοί:

- Υψηλό κόστος και τεχνική πολυπλοκότητα.
- Απαιτεί εξειδίκευση στην ερμηνεία φασμάτων.

4. Φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR)

Η NMR προσφέρει δομική αποσαφήνιση των πολυφαινολών χωρίς την ανάγκη προτύπων ή παραγωγήσης. Η ^1H και ^{13}C NMR μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των δομικών χαρακτηριστικών, της ισομερίας και της καθαρότητας των ενώσεων.

- Κατάλληλη για: Καθαρισμένα ή ημι-καθαρισμένα δείγματα.
- Προηγμένη χρήση: Οι τεχνικές 2D-NMR (COSY, HSQC, HMBC) βελτιώνουν τη δομική ανάλυση για σύνθετες πολυφαινόλες όπως οι τανίνες.

Σύμφωνα με τον Silva (2025), η NMR διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στην επιβεβαίωση των μοτίβων γλυκοζυλίωσης σε παράγωγα φλαβονοειδών που εξήχθησαν από εκχυλίσματα κελύφους κάσιου.

Πλεονεκτήματα:

- Μη καταστρεπτική.
- Λεπτομερής μοριακή ανάλυση.

Περιορισμοί:

- Ακριβά όργανα.
- Δεν είναι κατάλληλο για δείγματα χαμηλής συγκέντρωσης ή ακατέργαστα δείγματα.

5. Χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (TLC)

Αν και λιγότερο ακριβής από την HPLC ή την LC-MS, η TLC παραμένει μια γρήγορη, φθηνή μέθοδος για την προκαταρκτική ταυτοποίηση πολυφαινολών, ειδικά σε περιβάλλοντα με περιορισμένους πόρους. Η οπτικοποίηση γίνεται συνήθως με υπεριώδη ακτινοβολία ή συγκεκριμένα χρωμογόνα αντιδραστήρια.

- Χρησιμοποιείται συχνά στον ποιοτικό έλεγχο βοτάνων και τροφίμων.

- Περισσότερο ποιοτική παρά ποσοτική.

Σύγκριση αναλυτικών τεχνικών

Μέθοδος	Τύπος	Σκοπός	Ευαισθησία	Πολυπλοκότητα	Καταλληλότητα
Φασματοφωτομετρική	Χρωματομετρικός	TPC και αντιοξειδωτική δράση	Χαμηλή	Χαμηλή	Ρουτίνα ελέγχου σε τρόφιμα και καλλυντικά
HPLC-DAD	Χρωματογραφικός	διαχωρισμός και ποσοτικοποίησης	Μέτρια-Υψηλή	Μέτρια	Ανάλυση μεμονωμένων πολυφαινολών
LC-MS/MS	Χρωματογραφικός	Ταυτοποίηση & ποσοτικοποίησης	Πολύ υψηλή	Υψηλή	Προηγμένη έρευνα, μεταβολομική
NMR	Φασματοσκοπικός	Διευκρίνιση δομής	Μέτρια	Πολύ υψηλή	Purified compound analysis Ανάλυση καθαρισμένων ενώσεων
TLC	Planar Επίπεδος	Ποιοτική δακτυλοσκόπηση	Χαμηλή	Πολύ Χαμηλή	Προκαταρκτική ανάλυση

Πίνακας 2 Σύγκριση αναλυτικών τεχνικών

(Πηγή: Dias-Costa et al., 2025; Barzkar et al., 2024; Silva, 2025)

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η προετοιμασία και ανάλυση των εκχυλισμάτων κουρκουάτ με έμφαση στις πολυφαινόλες. Μέσω αναλυτικών τεχνικών θα αναλυθούν οι πολυφαινολικές ενώσεις που υπάρχουν σε αυτά τα εκχυλίσματα και θα διερευνηθούν οι πιθανές εφαρμογές τους στον εμπλουτισμό τροφίμων και καλλυντικών προϊόντων, προκειμένου να αναδειχθούν τα πιθανά οφέλη τους στην ενίσχυση των θρεπτικών και βιοδραστικών ιδιοτήτων.

2. Πειραματικό Μέρος

2.1 Υλικά και αντιδραστήρια

Όλοι οι διαλύτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν καθαρότητας HPLC και αγοράστηκαν από την Carlo Erba (Val de Reuil, France). Υδροχλωρικό οξύ, χλωριούχος σίδηρος (III), αιθανόλη και μεθανόλη χλωριούχος σίδηρος (III), αιθανόλη και μεθανόλη ελήφθησαν από τη Sigma Aldrich (Steinheim, Germany). Ανθρακικό νάτριο, αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu και 2,4,6-τρι-2-πυριδινυλ-1-3-5-τριαζίνη (TPTZ) προμηθεύτηκαν από την Penta (Prague, Czech Republic). Για όλα τα πειράματα έχει χρησιμοποιηθεί απιονισμένο νερό.

2.2 Προετοιμασία δείγματος

Δείγμα φρέσκων φρούτων κουμκουάτ (*Fortunella margarita*) βιολογικής καλλιέργειας προμηθεύτηκε από τοπικό κατάστημα. Οι καρποί τεμαχίστηκαν σε λεπτές φέτες, τοποθετήθηκαν σε δισκάκια και καταψύχθηκαν στους -40°C . Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν για λυοφιλίωση και αλέστηκαν σε λεπτή σκόνη. Αποθηκεύτηκε σε κατάψυξη (-40°C) μέχρι να χρησιμοποιηθεί σε περαιτέρω αναλύσεις.



Εικόνα 6 Τεμαχισμός και κατάψυξη των φρούτων κουμκουάτ

2.3 Παρασκευή εκχυλισμάτων

Οι εκχυλίσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το σχέδιο που περιγράφεται στον Πίνακα 3, το οποίο περιλαμβάνει διάφορες συνθέσεις διαλύτη (% EtOH / % H₂O), διαφορετικές θερμοκρασίες ($T^{\circ}\text{C}$) και χρόνους εκχύλισης (t , min). Οι διαδικασίες εκχύλισης έλαβαν χώρα υπό συνεχή ανάδευση σε ταχύτητα 500 rpm με τη χρήση μαγνητικού αναδευτήρα (Heidolph Instruments GmbH & Co. KG, Schwabach, Germany) και με αναλογία μάζας διαλυμένης ουσίας προς όγκο διαλύτη 1:20. Συγκεκριμένα, σε δοχεία Duran των 50 mL

προστέθηκε 1 g ξηρής σκόνης κουρκουάτ και 20 mL του αντίστοιχου διαλύτη. Τα δείγματα που ελήφθησαν από την υπερκείμενη φάση στους προκαθορισμένους χρόνους εκχύλισης υποβλήθηκαν σε φυγοκέντριση για 5 λεπτά στις 10.000 στροφές ανά λεπτό και ακολούθως αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες βαθιάς κατάψυξης (-40°C) για περαιτέρω ανάλυση.

ΔΕΙΓΜΑ	ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΙΑΛΥΤΗ (%EtOH)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ ($^{\circ}\text{C}$)	ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (min)
1(30)	0	20	30
1(60)	0	20	60
1(90)	0	20	90
2(30)	0	50	30
2(60)	0	50	60
2(90)	0	50	90
3(30)	0	80	30
3(60)	0	80	60
3(90)	0	80	90
4(30)	50	20	30
4(60)	50	20	60
4(90)	50	20	90
5(30)	50	50	30
5(60)	50	50	60
5(90)	50	50	90
6(30)	50	80	30
6(60)	50	80	60
6(90)	50	80	90
7(30)	100	20	30
7(60)	100	20	60
7(90)	100	20	90
8(30)	100	50	30
8(60)	100	50	60
8(90)	100	50	90
9(30)	100	80	30
9(60)	100	80	60
9(90)	100	80	90

Πίνακας 3 Αναλυτική αναφορά κωδικοποιημένων δειγμάτων και συνθηκών εκχύλισης

2.4 Μέθοδος Folin-Ciocalteu (TPC)

Ο προσδιορισμός των ολικών φαινολικών συστατικών (Total Phenolic Content, TPC) των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω της αντίδρασής τους με το αντιδραστήριο Folin Ciocalteu, το οποίο αποτελείται από διάλυμα φωσφορομολυβδενικού και φωσφοροβολφραμικού οξέος. Αρχικά, φυγοκεντρήθηκαν τα δείγματα χρησιμοποιώντας τη συσκευή Remi Elektrotechnik Ltd. (Palghar, India) στις 10.000 στροφές ανά λεπτό για 5 λεπτά και αραιώθηκαν κατάλληλα. Συγκεκριμένα, 100 μL του αραιωμένου δείγματος

κουμκουάτ αναμίχθηκαν με 100 μL αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu σε σωληνάρια Eppendorf και επώστηκαν για 2 λεπτά. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 800 μL διαλύματος ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3), αναδεύτηκε στο Vortex και επώστηκε σε υδατόλουτρο στους 40°C για 20 λεπτά. Μετά την ολοκλήρωση της επώασης των δειγμάτων ακολούθησε μηδενισμός του φασματοφωτόμετρου (Shimadzu UV 1700, Shimadzu Europa GmbH, Duisburg) με το τυφλό δείγμα και η απορρόφηση κάθε δείγματος μετρήθηκε στα 740 nm. Η πειραματική διαδικασία και οι προσδιορισμοί επαναλήφθηκαν 3 φορές για κάθε δείγμα, ώστε να διασφαλιστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Για την ποσοτικοποίηση των ολικών φαινολικών συστατικών (TPC), κατασκευάστηκε πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος (GAE) ανά γραμμάριο (g).

2.5 Μέθοδος FRAP

Το συνολικό αντιοξειδωτικό δυναμικό των εκχυλισμάτων αξιολογήθηκε με τη μέθοδο FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power). Αρχικά, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε φυγοκέντρηση χρησιμοποιώντας φυγόκεντρο της Remi Elektrotechnik Ltd. (Palghar, India) στις 10,000 rpm για διάρκεια 5 λεπτών και κατόπιν αραιώθηκαν κατάλληλα. Στη συνέχεια, 50 μL του αραιωμένου εκχυλίσματος κουμκουάτ αναμίχθηκαν με 50 μL διαλύματος FeCl_3 (4mM σε 0.05 M HCl) σε σωληνάρια Eppendorf και το μείγμα επώστηκε σε υδατόλουτρο στους 37°C για 30 λεπτά. Ακολούθως, προστέθηκαν 900 μL διαλύματος TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine, 1 Mm σε 0.05 M HCl), το μείγμα αναδεύτηκε με τη βοήθεια Vortex και αφέθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για 5 λεπτά. Η απορρόφηση των δειγμάτων μετρήθηκε 3 φορές για κάθε δείγμα στα 620nm, αφού προηγουμένως είχε μηδενιστεί το φασματοφωτόμετρο με το τυφλό δείγμα. Η αντιοξειδωτική ικανότητα των εκχυλισμάτων κουμκουάτ, όπως προέκυψε από τη μέθοδο FRAP, εκφράστηκε ως μmol ασκορβικού οξέος ανά 100 γραμμάρια ξηρής μάζας ($\mu\text{mol Asc}/100\text{ g dw}$), βάσει πρότυπης καμπύλης βαθμονόμησης.

2.6 Αξιολόγηση αντηλιακής προστασίας

Για τον προσδιορισμό της αντηλιακής δράσης του εκχυλίσματος κουμκουάτ, εφαρμόστηκε φασματοφωτομετρική ανάλυση για τη μέτρηση της απορρόφησης σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας UV-B (290-320 nm). Μέσω της τεχνικής αυτής αξιολογείται η ικανότητα του εκχυλίσματος να απορροφά ή να εμποδίζει την υπεριώδη ακτινοβολία, προσδιορίζοντας την αντηλιακή του δράση. Το εκχύλισμα κουμκουάτ προετοιμάστηκε σε κατάλληλη συγκέντρωση διαλυμένο σε

νερό και αναδεύτηκε επιμελώς, ώστε να διασφαλιστεί η ομογένεια του διαλύματος και η ομοιόμορφη κατανομή της ουσίας. Ως δείγμα αναφοράς-μηδενισμού χρησιμοποιήθηκε καθαρό νερό. Το εκχύλισμα κουμκουάτ τοποθετήθηκε σε κυψελίδα χαλαζία με μήκος οπτικής διαδρομής 1cm και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις απορρόφησης στα μήκη κύματος 290, 295, 300, 305, 310, 315 και 320 nm. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε θερμοκρασία δωματίου και κάθε μέτρηση απορρόφησης επαναλήφθηκε τουλάχιστον τρεις φορές για την εξασφάλιση της ακρίβειας και επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων. Ο δείκτης SPF υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο:

$$SPF = CF * \sum_{320}^{290} EE(\lambda) * I(\lambda) * Abs(\lambda)$$

όπου:

- EE (λ) είναι το σχετικό φασματικό ενεργειακό πρότυπο ερυθήματος της ηλιακής ακτινοβολίας.
- I (λ) είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- CF ο παράγοντας διόρθωσης.
- Abs(λ) είναι η απορρόφηση του εκχυλίσματος στα αντίστοιχα μήκη κύματος.
- Δλ είναι το βήμα του μήκους κύματος.

2.7 Παρασκευή αντιοξειδωτικής κρέμας εμπλουτισμένη με κουμκουάτ

Μια αντιοξειδωτική κρέμα εμπλουτισμένη με κουμκουάτ προσφέρει πολλά οφέλη στην επιδερμίδα, κυρίως λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του φρούτου σε βιταμίνη C, πολυφαινόλες, και άλλα αντιοξειδωτικά. Συγκεκριμένα η βιταμίνη C προστατεύει τα κύτταρα του δέρματος ως αντιοξειδωτικός παράγοντας, αφού δεσμεύει τις ελεύθερες ρίζες που προκαλούν πρόωρη γήρανση και εξουδετερώνει την δράση τους, βοηθά στην προστασία της επιδερμίδας από περιβαλλοντικές επιθέσεις (ρύπανση, ήλιος, στρες) και μειώνει τη φθορά των κυττάρων καθυστερώντας τα σημάδια γήρανσης. Η βιταμίνη C δίνει λάμψη, ομοιόμορφο τόνο στην επιδερμίδα και βοηθά στη μείωση των δυσχρωμιών. Ενθαρρύνει το σχηματισμό κολλαγόνου αυξάνοντας την ελαστικότητα της επιδερμίδας ενώ διατηρεί το δέρμα λαμπερό αφού βοηθάει στην πρόληψη των σκούρων κηλίδων αποτρέποντας την τοπική συσσώρευση της μελανίνης. Επιπλέον παρέχει στο δέρμα μέταλλα που έχουν τονωτική δράση, κάνοντας το δέρμα πιο ελαστικό και απαλό.

Για την παρασκευή της ενυδατικής αντιοξειδωτικής κρέμας, αναμίχθηκαν 90,5 g ενυδατικής βάσης με 10 g βέλτιστου εκχυλίσματος κουμκουάτ. Η διαδικασία παρασκευής του εκχυλίσματος ξεκίνησε με την κοπή του φρέσκου καρπού κουμκουάτ σε λεπτές φέτες, οι οποίες ζυγίστηκαν και στη συνέχεια καταψύχθηκαν. Ακολούθησε η λυοφιλίωση των δειγμάτων, ώστε να αφαιρεθεί πλήρως η υγρασία και να διατηρηθούν τα δραστικά συστατικά. Το λυοφιλιωμένο δείγμα τοποθετήθηκε σε θερμαντικές πλάκες με λάδι και θερμάνθηκε σε διαφορετικές θερμοκρασίες, χρησιμοποιώντας αιθανόλη σε διάφορες συγκεντρώσεις, ενώ σε ορισμένα δείγματα η αιθανόλη απουσίαζε πλήρως. Η αντιοξειδωτική ικανότητα των εκχυλισμάτων αξιολογήθηκε με τη μέθοδο FRAP, ενώ η συνολική περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu. Με βάση τα αποτελέσματα, επιλέχθηκε το βέλτιστο εκχύλισμα, το οποίο πριν την ενσωμάτωσή του στην ενυδατική βάση, θερμάνθηκε στους 60 °C για να εξατμιστεί πλήρως η αιθανόλη. Έπειτα, προστέθηκαν 20 ml απιονισμένου νερού και το μείγμα υποβλήθηκε σε υπερήχους και φυγοκέντρωση. Τέλος, το καθαρό εκχύλισμα κουμκουάτ ενσωματώθηκε στην ενυδατική βάση και πραγματοποιήθηκε καλή ανάδευση του τελικού μείγματος, ώστε να επιτευχθεί ομογενοποίηση και σταθερότητα της κρέμας.



Εικόνα 7 Αντιοξειδωτική κρέμα εμπλουτισμένη με κουμκουάτ

2.8 Παρασκευή αντηλιακής κρέμας με SPF 50 εμπλουτισμένη με κουμκουάτ

Για την παρασκευή της αντηλιακής κρέμας, χρησιμοποιήθηκαν 93 g ενυδατικής βάσης και 7 g εκχυλίσματος κουμκουάτ, το οποίο είχε επιλεγεί ως το πιο αποτελεσματικό. Η διαδικασία παραγωγής του εκχυλίσματος ξεκίνησε με την κοπή φρέσκων καρπών κουμκουάτ σε λεπτές φέτες, οι οποίες στη συνέχεια ζυγίστηκαν και καταψύχθηκαν. Ακολούθησε η λυοφιλίωση για την πλήρη απομάκρυνση της υγρασίας και τη διατήρηση των δραστικών

συστατικών. Το αποξηραμένο δείγμα θερμάνθηκε σε πλάκες με χρήση λαδιού, σε διάφορες θερμοκρασίες, και εκχυλίστηκε με αιθανόλη σε διαφορετικές συγκεντρώσεις ενώ σε



Εικόνα 8 Αντηλιακή κρέμα με SPF 50 εμπλουτισμένη με κουμκουάτ

ορισμένες περιπτώσεις δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου αιθανόλη. Η αντιοξειδωτική δράση των εκχυλισμάτων εκτιμήθηκε με τη μέθοδο FRAP, ενώ η συνολική ποσότητα πολυφαινόλων μετρήθηκε με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε φασματοφωτομετρική ανάλυση για την απορρόφηση ακτινοβολίας στα μήκη κύματος της UV-B περιοχής (290-320 nm), ώστε να εκτιμηθεί η αντηλιακή προστασία που παρέχει το εκχύλισμα. Με βάση τις μετρήσεις, επιλέχθηκε το πιο αποτελεσματικό εκχύλισμα, το οποίο θερμάνθηκε στους 60 °C πριν από την ενσωμάτωσή του στη βάση, προκειμένου να απομακρυνθεί η αιθανόλη. Το μείγμα υποβλήθηκε σε φυγοκέντρηση για να διαχωριστούν τα συστατικά και να απομονωθεί το καθαρό εκχύλισμα. Τέλος, το εκχύλισμα προστέθηκε στην ενυδατική βάση και το τελικό προϊόν αναδεύθηκε καλά, ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη υφή.

2.9 Παρασκευή αντιοξειδωτικού νερού εμπλουτισμένο με κουμκουάτ

Για την παρασκευή του αντιοξειδωτικού νερού χρησιμοποιήθηκε εκχύλισμα κουμκουάτ, το οποίο παρασκευάστηκε με τη μέθοδο εκχύλισης σε υδατόλουτρο. Ως διαλύτης επιλέχθηκε 0% αιθανόλη, ένας από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους πολικούς πρωτικούς διαλύτες για την απομόνωση φαινολικών ενώσεων και φλαβονοειδών από φρούτα και εσπεριδοειδή, λόγω της υψηλής εκλεκτικότητας και της ασφάλειάς της για τρόφιμα και καλλυντικά προϊόντα.

Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία 80 °C για χρονικό διάστημα 60 λεπτών. Οι συγκεκριμένες συνθήκες επελέγησαν ώστε να επιτευχθεί επαρκής απόδοση εκχυλίσματος, δεδομένου ότι η θερμοκρασία επιδρά άμεσα στη διάχυση και εκχύλιση των

πολικών φαινολικών ενώσεων, ενώ ο χρόνος σχετίζεται με τη σταθερότητα των αντιοξειδωτικών συστατικών. Αν και υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη εκχύλιση, ενδέχεται να προκαλέσουν και μερική αποικοδόμηση θερμοευαίσθητων ενώσεων, γεγονός που καθιστά τον συνδυασμό 80 °C/60 λεπτά μια ισορροπημένη επιλογή για τη διατήρηση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας.

Για την παρασκευή του τελικού προϊόντος, σε 500 mL εμφιαλωμένου νερού προστέθηκαν 2,5 mL εκχυλίσματος κουρκουάτ, και το μείγμα αναδεύτηκε μέχρι πλήρους ομογενοποίησης. Η συγκέντρωση αυτή επιλέχθηκε ώστε να διασφαλίζεται αφενός η παρουσία ικανοποιητικής ποσότητας βιοδραστικών συστατικών, αφετέρου η αποδοχή του προϊόντος από αισθητική και οργανοληπτική άποψη, όπως έχει αναφερθεί και σε ανάλογες μελέτες εμπλουτισμού τροφίμων με φυτικά εκχυλίσματα.

Το τελικό διάλυμα αποτέλεσε το αντιοξειδωτικό νερό εμπλουτισμένο με κουρκουάτ, το οποίο στη συνέχεια αξιολογήθηκε οργανοληπτικά (βλ. ενότητα 2.10.3).

2.10 Οργανοληπτικός έλεγχος τελικών προϊόντων

Ο οργανοληπτικός έλεγχος αποτελεί βασικό στάδιο αξιολόγησης της αποδοχής και της ποιότητας ενός νέου προϊόντος, καθώς εξετάζει παραμέτρους που συνδέονται άμεσα με την εμπειρία του καταναλωτή, όπως η εμφάνιση, η υφή, το άρωμα, η γεύση και η συνολική αποδοχή. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική αξιολόγηση τριών προϊόντων εμπλουτισμένων με εκχύλισμα κουρκουάτ:

- **αντιοξειδωτική κρέμα,**
- **αντηλιακή κρέμα SPF 50,**
- **αντιοξειδωτικό νερό.**

Για τη συλλογή δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν **δομημένα ερωτηματολόγια**, τα οποία μοιράστηκαν σε **60 συμμετέχοντες** (42 γυναίκες και 18 άνδρες). Ο μέσος όρος ηλικίας του δείγματος ήταν **35 έτη για τις γυναίκες και 30 έτη για τους άνδρες**. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να αξιολογήσουν τα προϊόντα με βάση συγκεκριμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, σε πενταβάθμια κλίμακα (1 = πολύ χαμηλή αξιολόγηση, 5 = πολύ υψηλή αξιολόγηση).

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στα αντίστοιχα υποκεφάλαια (2.10.1–2.10.3), όπου γίνεται αναλυτική παρουσίαση της αποδοχής κάθε προϊόντος.

2.10.1 Οργανοληπτικός έλεγχος αντιοξειδωτικής κρέμας εμπλουτισμένη με κουρκουάτ

Ο οργανοληπτικός έλεγχος της ενυδατικής αντιοξειδωτικής κρέμας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ερωτηματολογίων, τα οποία μοιράστηκαν στους συμμετέχοντες (42 γυναίκες, 18 άνδρες). Στόχος ήταν η αξιολόγηση της συνολικής αποδοχής του προϊόντος με βάση την απόδοση, την εφαρμογή, την υφή, το άρωμα, καθώς και την πιθανή εμφάνιση παρενεργειών.

Όσον αφορά τη συχνότητα χρήσης, παρατηρήθηκε διαφοροποίηση μεταξύ των φύλων: η πλειονότητα των γυναικών δήλωσε ότι χρησιμοποιεί ενυδατική κρέμα καθημερινά, ενώ οι άνδρες ανέφεραν ότι η χρήση είναι σπάνια.

Στην ερώτηση για την απόδοση του προϊόντος, το σύνολο του δείγματος αξιολόγησε θετικά την ενυδατική δράση, δηλώνοντας ότι είναι ικανοποιημένο με το αποτέλεσμα.

Σε σχέση με την εφαρμογή και υφή:

- Η κρέμα απορροφάται εύκολα χωρίς να αφήνει αίσθηση λιπαρότητας.
- Η υφή χαρακτηρίστηκε ως κανονική, ενώ το άρωμα ως ευχάριστο.
- Το χρώμα της κρέμας αναγνωρίστηκε ως μπεζ.
- Οι συμμετέχοντες δήλωσαν ικανοποιημένοι από την υφή του προϊόντος.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα και τις παρενέργειες, το δείγμα ανέφερε ότι παρατηρήθηκε βελτίωση στην υφή του δέρματος, χωρίς να καταγραφούν αρνητικές παρενέργειες όπως ερεθισμοί ή κοκκινίλες.

Στη γενική ικανοποίηση, οι περισσότεροι συμμετέχοντες απάντησαν ότι θα αγόραζαν το προϊόν και θα το πρότειναν σε τρίτους. Δεν καταγράφηκαν αρνητικά σχόλια ή παρατηρήσεις.

Συνολικά, η ενυδατική αντιοξειδωτική κρέμα εμπλουτισμένη με κουρκουάτ αξιολογήθηκε θετικά, με υψηλά επίπεδα αποδοχής τόσο ως προς την αισθητική και οργανοληπτική εμπειρία όσο και ως προς την αποτελεσματικότητά της.

2.10.2 Οργανοληπτικός έλεγχος αντηλιακής κρέμας με SPF 50 εμπλουτισμένη με κουρκουάτ

Ο οργανοληπτικός έλεγχος της αντηλιακής κρέμας με δείκτη προστασίας SPF 50 πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ερωτηματολογίων. Οι απαντήσεις ανέδειξαν διαφοροποίηση στις συνήθειες χρήσης: οι άνδρες δήλωσαν ότι χρησιμοποιούν αντηλιακό κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, ενώ οι γυναίκες ανέφεραν ότι το εφαρμόζουν καθημερινά, ανεξάρτητα από την εποχή.

Σχετικά με την περιοχή εφαρμογής, η πλειονότητα των συμμετεχόντων ανέφερε ότι το χρησιμοποιεί σε όλο το σώμα. Ο δείκτης προστασίας που προτιμάται από το καταναλωτικό κοινό είναι ο SPF 50, επιβεβαιώνοντας την επιλογή του προϊόντος.

Στην αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, η αντηλιακή κρέμα έλαβε θετικές κριτικές:

- Η υφή της χαρακτηρίστηκε ως καλή,
- το προϊόν δεν αφήνει λιπαρότητα,
- το χρώμα του αναγνωρίστηκε ως μπεζ,
- ενώ η απορρόφηση θεωρήθηκε ικανοποιητική.

Αναφορικά με πιθανές παρενέργειες ή αλλεργικές αντιδράσεις, δεν καταγράφηκε καμία αρνητική απάντηση.

Στο σκέλος της γενικής ικανοποίησης, οι συμμετέχοντες δήλωσαν ότι το άρωμα του αντηλιακού ήταν ευχάριστο, ενώ η πλειονότητα θα προχωρούσε σε αγορά του προϊόντος και θα το πρότεινε σε τρίτους. Η συνολική αξιολόγηση του προϊόντος ήταν θετική, ενώ δεν υπήρξαν πρόσθετα σχόλια ή παρατηρήσεις.

Συνολικά, η αντηλιακή κρέμα με SPF 50 εμπλουτισμένη με κουρκουάτ εμφάνισε υψηλά επίπεδα αποδοχής, τόσο ως προς την αποτελεσματικότητα όσο και ως προς τα αισθητικά και λειτουργικά της χαρακτηριστικά, γεγονός που την καθιστά προϊόν με υψηλές προοπτικές καταναλωτικής αποδοχής.

2.10.3 Οργανοληπτικός έλεγχος αντιοξειδωτικού νερού εμπλουτισμένο με κουρκουάτ

Η αξιολόγηση του αντιοξειδωτικού νερού εμπλουτισμένου με κουρκουάτ πραγματοποιήθηκε μέσω ερωτηματολογίων που μοιράστηκαν στους συμμετέχοντες, με στόχο να καταγραφούν οι καταναλωτικές αντιλήψεις σχετικά με τη γεύση, το άρωμα, την εμφάνιση και τη συνολική αποδοχή του προϊόντος.

Στην ερώτηση για τη συχνότητα κατανάλωσης αντιοξειδωτικών προϊόντων (όπως χυμοί, τσάι, σνακ κλπ.), η πλειονότητα του δείγματος απάντησε ότι τα καταναλώνει μερικές φορές την εβδομάδα, στοιχείο που δείχνει ενδιαφέρον για τέτοιου είδους λειτουργικά προϊόντα, χωρίς όμως να αποτελούν καθημερινή συνήθεια.

Αναφορικά με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά:

- Η γεύση του νερού αξιολογήθηκε ουδέτερα, καθώς οι συμμετέχοντες δήλωσαν ότι ήταν ούτε ικανοποιημένοι ούτε δυσαρεστημένοι.

- Το άρωμα, αντίθετα, αξιολογήθηκε θετικά, με τους καταναλωτές να δηλώνουν ότι ήταν ικανοποιημένοι.
- Στην ερώτηση για την απόδοση του προϊόντος, και συγκεκριμένα για το αν ένιωθαν ενεργητικοί ή ανανεωμένοι μετά την κατανάλωση, οι περισσότεροι απάντησαν ουδέτερα.

Σχετικά με τα αποτελέσματα και τις παρενέργειες, κανένας συμμετέχων δεν ανέφερε ανεπιθύμητες αντιδράσεις, όπως ερεθισμούς ή στομαχικές διαταραχές.

- Η γενική ικανοποίηση ήταν ενθαρρυντική:
- Η πλειονότητα δήλωσε ότι θα αγόραζε το προϊόν,
- ενώ στην πρόθεση σύστασης σε τρίτους οι απαντήσεις ήταν μέτριες (κυρίως «ίσως»).
- Ο μέσος όρος βαθμολογίας του προϊόντος ήταν 7/10,
- ενώ η εμφάνιση του εμπλουτισμένου νερού αξιολογήθηκε υψηλότερα, με μέσο όρο 8/10.

Συνολικά, το αντιοξειδωτικό νερό εμπλουτισμένο με κουρκουάτ κατέγραψε θετική αλλά όχι απόλυτα ενθουσιώδη αποδοχή. Η εμφάνιση και το άρωμα αποτέλεσαν τα πιο δυνατά σημεία του προϊόντος, ενώ η γεύση και η αντιληπτή ενεργητική δράση άφησαν πιο ουδέτερες εντυπώσεις. Ωστόσο, η πρόθεση αγοράς και η υψηλή αξιολόγηση της εμφάνισης καταδεικνύουν ότι το προϊόν διαθέτει σημαντικές προοπτικές στην αγορά λειτουργικών ροφημάτων.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Πολυφαινολικές ιδιότητες των εκχυλισμάτων (TPC)

Οι διαφορετικές παράμετροι εκχύλισης που εφαρμόστηκαν είχαν σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα σε ολικές πολυφαινόλες (TPC) στα εκχυλίσματα του φρούτου κουμκουάτ. Η περιεκτικότητα των ολικών πολυφαινολών (TPC) κυμάνθηκε από 2,74 mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος ανά γραμμάριο εκχυλίσματος (GAE/g) έως 11,27 mg GAE/g, όπως αναφέρεται αναλυτικά στον Πίνακα 4. Η μέγιστη συγκέντρωση ολικών πολυφαινολών διαπιστώθηκε στο δείγμα 9(90), με χρήση αιθανόλης (EtOH) 100% ως διαλύτης, σε θερμοκρασία εκχύλισης των 80°C και διάρκεια 90 λεπτών. Οι συνθήκες αυτές φαίνεται να βελτιστοποιούν την απόδοση των φαινολικών ενώσεων, υποδεικνύοντας ότι η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών εκχύλισης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 4, παρατηρούμε ότι η περιεκτικότητα σε TPC διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δειγμάτων, εξαιτίας των διαφοροποιήσεων στις συνθήκες εκχύλισης, όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος εκχύλισης, η συγκέντρωση του διαλύτη και ο τύπος του χρησιμοποιούμενου διαλύτη. Παραδείγματος χάριν, στο δείγμα 9(90) διαπιστώθηκε ότι έχει υψηλότερες τιμές σε περιεκτικότητα ολικών πολυφαινολών (11,27 mg GAE/g), στο οποίο χρησιμοποιήθηκε διαλύτης αιθανόλης σε συγκέντρωση 100% και εκχυλίστηκε σε θερμοκρασία 80°C για 90 λεπτά. Συμπεραίνοντας ότι αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται μάλλον στην ικανότητα της αιθανόλης σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας να διαλύουν τις φαινολικές ενώσεις.

Εν αντιθέσει, τα εκχυλίσματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε μόνο νερό ως διαλύτης (0% EtOH) είχαν χαμηλή περιεκτικότητα σε TPC, είτε στους 20°C είτε στους 80°C. Το δείγμα 1(90) που εκχυλίστηκε μόνο με νερό ως διαλύτης στους 20°C για 90 λεπτά παρουσίασε τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε TPC, 2,74 mg GAE/g. Το νερό εξαιτίας της περιορισμένης ικανότητας διάλυσης και διαπερατότητας που έχει στους φυτικούς ιστούς εμφανίζει πιθανόν περιορισμένη ικανότητα διάλυσης πολυφαινολών, ειδικά σε χαμηλές θερμοκρασίες εκχύλισης.

Όσον αφορά τα δείγματα που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση αιθανόλης (50%) παρουσιάζουν μια αύξηση σε περιεκτικότητα ολικών πολυφαινολών σε σχέση με τα δείγματα στα οποία ως διαλύτης χρησιμοποιήθηκε μόνο νερό (0% EtOH), χωρίς να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο η θερμοκρασία εκχύλισης. Η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στο δείγμα

5(90) που εκχυλίστηκε στους 50°C για 90 λεπτά. Ενώ στα δείγματα που περιέχουν 100% αιθανόλη εντοπίστηκαν οι υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας σε TPC, με τον χρόνο εκχύλισης να επηρεάζει σημαντικά τις αποδόσεις των εκχυλίσεων, καθώς παρατηρήθηκε αύξηση της περιεκτικότητας ολικών πολυφαινόλων με την αύξηση της διάρκειας εκχύλισης. Το δείγμα με την υψηλότερη τιμή είναι το 9(90) που εκχυλίστηκε στους 80°C και διάρκεια 90 λεπτών (11,27 mg GAE/g).

Βάσει των αποτελεσμάτων, συμπεραίνεται ότι μικρές αλλαγές στις συνθήκες εκχύλισης (διάρκεια εκχύλισης, θερμοκρασία, συγκέντρωση και είδος διαλύτη) έχουν σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα των ολικών πολυφαινόλων. Για παράδειγμα, στα δείγματα με διαλύτη το νερό (0% EtOH) η περιεκτικότητα των ολικών πολυφαινόλων ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν αιθανόλη ως διαλύτη σε συγκεντρώσεις 50% και 100%. Η ίδια τάση παρατηρήθηκε και στη διάρκεια εκχύλισης των δειγμάτων. Στα δείγματα που περιείχαν 100% αιθανόλη (9(30), 9(60), 9(90)) παρατηρήθηκε αύξηση της περιεκτικότητας σε TPC από 30 έως στα 90 λεπτά. Συμπερασματικά, η βελτιστοποίηση των συνθηκών εκχύλισης του φρούτου κουρκουάτ είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοποίηση των φαινολικών ενώσεων διότι έχουν αποδεδειγμένες αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις και αντιμικροβιακές ιδιότητες στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω των εφαρμογών σε τρόφιμα, καλλυντικά και φαρμακευτικά προϊόντα.

ΔΕΙΓΜΑ	ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΙΑΛΥΤΗ (%EtOH)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (°C)	ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (min)	mg Asc/g
1(30)	0	20	30	3.62
1(60)	0	20	60	3.96
1(90)	0	20	90	3.32
2(30)	0	50	30	2.66
2(60)	0	50	60	2.87
2(90)	0	50	90	2.19
3(30)	0	80	30	1.60
3(60)	0	80	60	1.28
3(90)	0	80	90	1.41
4(30)	50	20	30	2.25
4(60)	50	20	60	2.20
4(90)	50	20	90	2.27
5(30)	50	50	30	4.37
5(60)	50	50	60	4.91
5(90)	50	50	90	5.22
6(30)	50	80	30	5.23
6(60)	50	80	60	6.15
6(90)	50	80	90	6.01
7(30)	100	20	30	5.51

7(60)	100	20	60	5.48
7(90)	100	20	90	4.49
8(30)	100	50	30	5.18
8(60)	100	50	60	6.00
8(90)	100	50	90	5.65
9(30)	100	80	30	5.69
9(60)	100	80	60	5.94
9(90)	100	80	90	6.20

Πίνακας 4 Περιεκτικότητα ολικών πολυφαινολών (TPC)

3.2 Αντιοξειδωτικές ιδιότητες των εκχυλισμάτων (FRAP)

Η προσδιορισμένη αντιοξειδωτική δράση των εκχυλισμάτων του φρούτου κουρκούτ αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) και τα αποτελέσματα καταγράφονται στον Πίνακα 5, με τις τιμές να κυμαίνονται από 1,28 μmol ασκορβικού οξέος ανά γραμμάριο εκχυλίσματος ($\mu\text{mol Asc/g}$) έως 6,20 $\mu\text{mol Asc/g}$. Η μέγιστη τιμή της αντιοξειδωτικής ικανότητας διαπιστώθηκε στο δείγμα 9(90), το οποίο εκχυλίστηκε για 90 λεπτά στους 80°C. Οι διαφορετικές παράμετροι εκχύλισης που εφαρμόστηκαν είχαν σημαντική επίδραση στην προσδιορισμένη αντιοξειδωτική δράση, με τα αποτελέσματα να δείχνουν σημαντικές διακυμάνσεις.

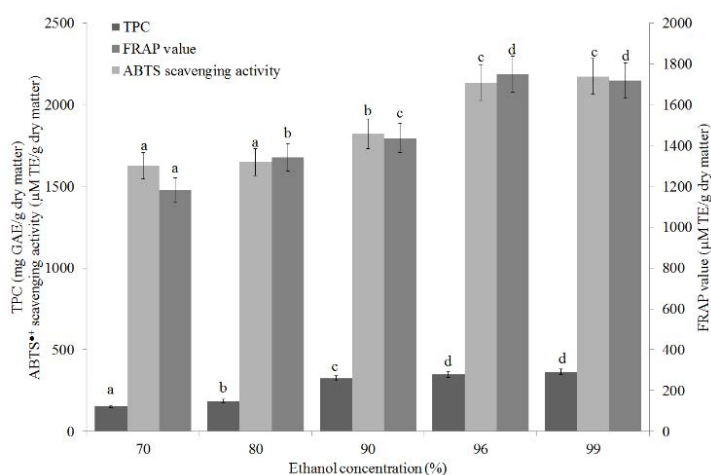
Για παράδειγμα, στα δείγματα που περιείχαν ως διαλύτη αιθανόλη σε συγκεντρώσεις 50% και 100% οι τιμές ήταν υψηλότερες σε σχέση με τις τιμές των δειγμάτων που ως διαλύτη χρησιμοποιήθηκε νερό (0% EtOH). Τα δείγματα τα οποία εκχυλίστηκαν με 100% αιθανόλη στους 80°C (9(30), 9(60), 9(90)), παρατηρούμε αύξηση της τιμής της αντιοξειδωτικής ικανότητας με την πάροδο του χρόνου εκχύλισης (από τα 30 στα 90 λεπτά). Σε αντίθεση με τα δείγματα που περιείχαν 0% EtOH, στα οποία η διάρκεια εκχύλισης δεν διαδραμάτισε ουσιαστικό ρόλο. Με βάσει την ανάλυση και μελέτη των αποτελεσμάτων, οι βέλτιστες συνθήκες εκχύλισης που υποδεικνύουν την βέλτιστη τιμή της αντιοξειδωτικής ικανότητας είναι με χρήση διαλύτη αιθανόλης σε συγκέντρωση 100% στους 80°C και διάρκεια 90 λεπτών.

ΔΕΙΓΜΑ	ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΙΑΛΥΤΗ (%EtOH)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (°C)	ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (min)	FRAP ($\mu\text{mol Asc/g}$)
1(30)	0	20	30	6,76
1(60)	0	20	60	4,43
1(90)	0	20	90	2,74
2(30)	0	50	30	6,63
2(60)	0	50	60	7,31
2(90)	0	50	90	5,08
3(30)	0	80	30	6,80

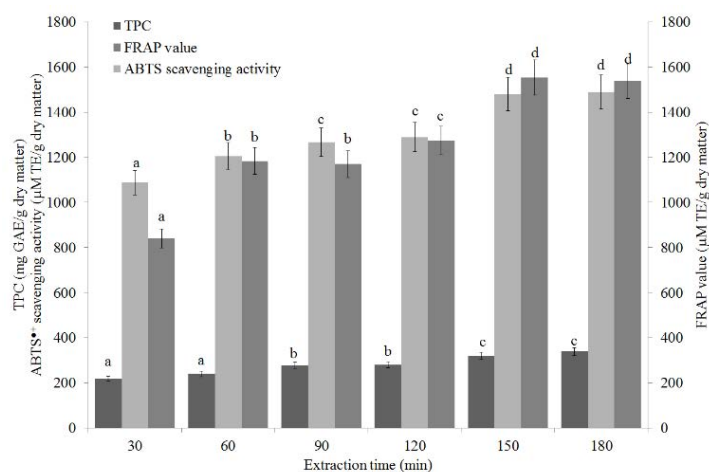
3(60)	0	80	60	5,00
3(90)	0	80	90	5,23
4(30)	50	20	30	7,55
4(60)	50	20	60	9,47
4(90)	50	20	90	9,52
5(30)	50	50	30	9,73
5(60)	50	50	60	7,80
5(90)	50	50	90	10,33
6(30)	50	80	30	9,45
6(60)	50	80	60	10,06
6(90)	50	80	90	10,32
7(30)	100	20	30	6,05
7(60)	100	20	60	7,81
7(90)	100	20	90	9,22
8(30)	100	50	30	8,19
8(60)	100	50	60	9,01
8(90)	100	50	90	9,81
9(30)	100	80	30	10,27
9(60)	100	80	60	8,97
9(90)	100	80	90	11,27

Πίνακας 5 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας (FRAP)

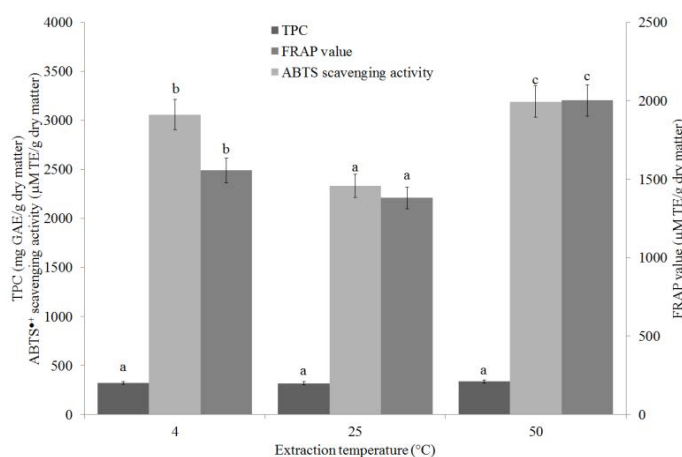
Σε συγκριτική μελέτη των Vo Dinh Le Tam και Nguyen Dinh Duyen Hai (2021) που αξιολόγησε την εκχύλιση φαινολικών ενώσεων και τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας, απέδειξε ότι η θερμοκρασία, η διάρκεια εκχύλισης, το είδος και η συγκέντρωση του διαλύτη έχουν άμεση συσχέτιση με την αποδοτικότητα των εκχυλίσεων. Στις εικόνες 3.2.1, 3.2.2 και 3.2.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας.



Εικόνα 9 Επίδραση της συγκέντρωσης του διαλύτη



Εικόνα 10 Επίδραση της διάρκειας εκχύλισης



Εικόνα 11 Επίδραση της θερμοκρασίας εκχύλισης

3.3 Επιλογή βέλτιστου δείγματος

Η συγκέντρωση των φυτικών ενώσεων σε ένα εκχύλισμα επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος και η αναλογία των διαλυτών που χρησιμοποιούνται, η διάρκεια και η θερμοκρασία της διαδικασίας εκχύλισης, καθώς και η χημική σύσταση και οι φυσικές ιδιότητες του φυτικού υλικού. Επιπρόσθετα, οι κλιματικές συνθήκες και η γεωγραφική περιοχή καλλιέργειας του φυτού διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό των χημικών ουσιών που αυτό περιέχει. Όλοι αυτοί οι παράγοντες αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής φυτικών εκχυλισμάτων, ειδικά όταν προορίζονται για χρήση ως συντηρητικά τροφίμων, καθώς οι χημικές διαφορές μεταξύ διαφορετικών παρτίδων μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές διακυμάνσεις στην αποτελεσματικότητά τους (Kryszczuk I.P., 2023).

Οι πολυφαινόλες, οι οποίες ανήκουν στις βιοδραστικές ενώσεις με μέτρια πολικότητα, απαιτούν την επιλογή ενός κατάλληλου διαλύτη για να επιτευχθεί αποτελεσματική εκχύλιση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, το βέλτιστο εκχυλιστικό μέσο ήταν το μείγμα αιθανόλης και νερού, το οποίο αποδείχθηκε πιο αποδοτικό για την απομόνωση των πολυφαινολικών ενώσεων από το φυτό. Η θερμοκρασία φάνηκε να είναι καθοριστικός παράγοντας για την απόδοση της εκχύλισης, καθώς υψηλότερες θερμοκρασίες (60°C και 80°C) ενίσχυσαν σημαντικά την απομόνωση των βιοδραστικών συστατικών, σε αντίθεση με χαμηλότερες θερμοκρασίες (30°C) που απέδωσαν λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Με βάση τα δεδομένα από τις μεθόδους αξιολόγησης (Folin-Ciocalteu και FRAP), οι ιδανικές συνθήκες εκχύλισης προσδιορίστηκαν στους 80°C για διάρκεια 90 λεπτών, με χρήση καθαρής αιθανόλης (100%) ως διαλύτη και στους 80°C για διάρκεια 60 λεπτών, με χρήση καθαρό νερό (0%) ως διαλύτη. Υπό αυτές τις συνθήκες, τα δείγματα εμφάνισαν την υψηλότερη περιεκτικότητα ολικών πολυφαινολών καθώς η μέθοδος FRAP κατέγραψε την υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων ανέδειξε τη σημασία της κατάλληλης ρύθμισης των παραμέτρων εκχύλισης για την αποτελεσματική απομόνωση και αξιολόγηση φυτικών εκχυλισμάτων. Παράγοντες όπως ο τύπος του διαλύτη, η θερμοκρασία και η διάρκεια της εκχύλισης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και απαιτούν προσεκτική βελτιστοποίηση, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόδοση και σταθερότητα των εκχυλισμάτων. Η παρούσα μελέτη παρέχει χρήσιμα δεδομένα που μπορούν να αξιοποιηθούν στην καθιέρωση πρότυπων διαδικασιών για την παρασκευή εκχυλισμάτων με ενισχυμένες βιοδραστικές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες, ενισχύοντας έτσι τις δυνατότητες αξιοποίησής τους τόσο στον βιομηχανικό όσο και στον τομέα των καλλυντικών.

3.4 Περιεκτικότητα φαινολικών ενώσεων στο βέλτιστο δείγμα

Τα βέλτιστα δείγματα εκχυλίσματος κουρκουάτ, όπως προσδιορίστηκαν βάσει της υψηλότερης αντιοξειδωτικής ικανότητας, παρουσίασαν σημαντική συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων. Η αυξημένη αυτή περιεκτικότητα τεκμηριώνει τη βιοδραστικότητα των δειγμάτων και συνδέεται άμεσα με την αποτελεσματικότητά τους ως αντιοξειδωτικός παράγοντας. Η παρουσία υψηλού φορτίου φαινολικών ενώσεων ενισχύει τη δυναμική των εκχυλισμάτων για εφαρμογές τόσο στον τομέα των φυσικών καλλυντικών όσο και σε λειτουργικά τρόφιμα, υποστηρίζοντας την περαιτέρω αξιοποίησή του ως φυσικό ενεργό συστατικό με πιθανές φωτοπροστατευτικές και αντιγηραντικές ιδιότητες. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην

αξιολόγηση της αντιοξειδωτικής και φωτοπροστατευτικής δράσης των εκχυλισμάτων του φυτού *Citrus japonica* (κουμκουάτ), με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησής τους στην παρασκευή προϊόντων εμπλουτισμού τροφίμων και καλλυντικών σκευασμάτων. Τα εκχυλίσματα κουμκουάτ εμφάνισαν σημαντική διακύμανση στην αντιοξειδωτική τους δράση, η οποία επηρεάζεται άμεσα από τις παραμέτρους της εκχύλισης, όπως η θερμοκρασία και η αναλογία του διαλύτη. Η ισχυρή αντιοξειδωτική και εν δυνάμει φωτοπροστατευτική δράση των επιλεγμένων εκχυλισμάτων αναδεικνύει τη δυνατότητα ενσωμάτωσής τους σε καινοτόμες συνθέσεις καλλυντικών και λειτουργικών τροφίμων με φυσικά ενεργά συστατικά.

3.5 Αντηλιακές ιδιότητες εκχυλισμάτων

Η αντηλιακή ικανότητα του εκχυλίσματος κουμκουάτ αξιολογήθηκε μέσω φασματοφωτομετρικής ανάλυσης στο υπεριώδες φάσμα, σε μήκη κύματος 290–320 nm, τα οποία αντιστοιχούν στην περιοχή της ακτινοβολίας UV-B. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται διεθνώς για την εκτίμηση της δυνατότητας φυσικών εκχυλισμάτων να απορροφούν και να παρεμποδίζουν τη διείσδυση της υπεριώδους ακτινοβολίας, προσδιορίζοντας έτσι την αντηλιακή τους δράση.

Το εκχύλισμα κουμκουάτ παρασκευάστηκε σε κατάλληλη συγκέντρωση, διαλυμένο σε νερό, και τοποθετήθηκε σε κυψελίδα χαλαζία μήκους οπτικής διαδρομής 1 cm. Οι μετρήσεις απορρόφησης πραγματοποιήθηκαν σε μήκη κύματος 290, 295, 300, 305, 310, 315 και 320 nm, ενώ ως δείγμα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε καθαρό νερό.

Με βάση τα φασματοφωτομετρικά δεδομένα, υπολογίστηκε ο δείκτης αντηλιακής προστασίας (SPF) σύμφωνα με την καθιερωμένη μαθηματική μέθοδο (Mansur et al., 1986):

$$SPF = CF \times 290 \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$$

όπου $EE(\lambda)$ είναι το φασματικό ενεργειακό πρότυπο ερυθήματος, $I(\lambda)$ η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, $Abs(\lambda)$ η απορρόφηση του εκχυλίσματος στα αντίστοιχα μήκη κύματος, και CF ο διορθωτικός παράγοντας.

Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τουλάχιστον τρεις φορές για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το εκχύλισμα κουμκουάτ διαθέτει ικανοποιητική ικανότητα απορρόφησης στην περιοχή UV-B, γεγονός που υποδηλώνει ότι μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της φωτοπροστασίας, ιδιαίτερα όταν ενσωματώνεται σε καλλυντικά προϊόντα (αντηλιακές κρέμες) ή σε συνθέσεις με αντηλιακούς παράγοντες.

3.6 Αποτελέσματα οργανοληπτικού ελέγχου

Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6. Η ενυδατική αντιοξειδωτική κρέμα αξιολογήθηκε ιδιαίτερα θετικά ως προς την υφή, την απορρόφηση και το άρωμα, χωρίς να παρατηρηθούν αρνητικές παρενέργειες. Η αντηλιακή κρέμα με SPF 50 έλαβε υψηλή αποδοχή, κυρίως λόγω της καλής υφής, της απουσίας λιπαρότητας και της προτίμησης του δείκτη προστασίας. Το αντιοξειδωτικό νερό παρουσίασε θετική αξιολόγηση στην εμφάνιση και στο άρωμα, ενώ η γεύση του κρίθηκε ουδέτερη από το δείγμα.

Προϊόν	Υφή	Απορρόφηση / Ενυδάτωση	Άρωμα	Γεύση	Παρενέργειες	Πρόθεση αγοράς
Αντιοξειδωτική κρέμα	Κανονική, ευχάριστη	Υψηλή	Ευχάριστο	-	Όχι	Ναι
Αντηλιακή κρέμα SPF 50	Καλή	Υψηλή	Ευχάριστο	-	Όχι	Ναι
Αντιοξειδωτικό νερό	-	Ουδέτερη	Ικανοποιητικό	Ουδέτερη	Όχι	Ναι / Ίσως

Πίνακας 6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα οργανοληπτικού ελέγχου

Κεφάλαιο 4ο : Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, το εκχύλισμα κουμκουάτ αξιοποιήθηκε για την ανάπτυξη τριών καινοτόμων προϊόντων: μιας ενυδατικής κρέμας με αντιοξειδωτική δράση, μιας αντηλιακής κρέμας και ενός λειτουργικού νερού εμπλουτισμένου με εκχύλισμα κουμκουάτ. Τα δείγματα αξιολογήθηκαν τόσο χημικά όσο και οργανοληπτικά, με ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Η αντηλιακή κρέμα που περιείχε εκχύλισμα κουμκουάτ παρουσίασε αυξημένες τιμές SPF, καταδεικνύοντας την ικανότητά της να προσφέρει προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για χρήση ως φυσικό αντηλιακό. Παράλληλα, η αντιοξειδωτική ενυδατική κρέμα αξιολογήθηκε θετικά ως προς την υφή, την απορροφητικότητα και τη συνολική αίσθηση στο δέρμα, τη λιπαρότητα και το άρωμα.

Όσον αφορά το εμπλουτισμένο νερό, η σύγκριση με το μη ενισχυμένο δείγμα έδειξε ότι το προϊόν με κουμκουάτ υπερείχε ως προς την οργανοληπτική του ταυτότητα με βελτιωμένη γεύση, δροσιστική αίσθηση και ωραίο διακριτικό άρωμα. Η γενική εντύπωση ήταν θετική, με πλειοψηφική προτίμηση προς το εμπλουτισμένο προϊόν.

Τα συνολικά ευρήματα αναδεικνύουν τη δυναμική των φυσικών εκχυλισμάτων, όπως αυτό του κουμκουάτ, στη βελτίωση της βιολειτουργικότητας και της αποδεκτότητας διαφόρων τροφίμων και καλλυντικών. Η ένταξή τους σε τελικά προϊόντα προσφέρει όχι μόνο ενισχυμένα οφέλη για την υγεία και την περιποίηση της επιδερμίδας, αλλά και προστιθέμενη αξία σε επίπεδο καταναλωτικής απήχησης, υποστηρίζοντας τη στροφή προς πιο φυσικές και φιλικές προς το περιβάλλον επιλογές.

Βιβλιογραφία

1. Al-Saman MA, Abdella A, Mazrou KE, Tayel AA, Irmak S (2019) Αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές δραστηριότητες διαφορετικών εκχυλισμάτων της φλούδας του κουμκουάτ (*Citrus japonica* Thunb). *J Food Measur Charact* 13(4):3221–3229
2. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
3. Barzkar, N., Ivanova, S., Sukhikh, S., et al. (2024). Phenolic compounds of brown algae: Analytical and extraction methods. *Food Bioscience*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429224018054>
4. Bouzroud, S., El Maaiden, E., & Sobeh, M. (2023). Biotechnological approaches to producing natural antioxidants: Anti-aging and skin longevity. *Int J Mol Sci*, 24(2), 1397. <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/2/1397>
5. Bravo, L. (1998). Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance.
<https://academic.oup.com/nutritionreviews/article/56/11/317/1901722>
6. Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
7. Câmara, J. S., Locatelli, M., Pereira, J. A. M., & Oliveira, H. (2022). Behind the scenes of anthocyanins—From the health benefits to potential applications in food, pharmaceutical and cosmetic fields. *Nutrients*, 14(23), 5133.
<https://www.mdpi.com/2072-6643/14/23/5133>
8. Cherubim, D. J. L., et al. (2020). Polyphenols as natural antioxidants in cosmetics and food applications. *Journal of Cosmetic Dermatology*,
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jocd.13093>
9. Claudia Musial, Alicja Kuban-Jankowska, Magdalena Gorska-Ponikowska(2020), Beneficial Properties of Green Tea Catechins,
10. Department of Pharmacognosy
11. Dias-Costa, R., Coelho, M., Domínguez-Perles, R., et al. (2025). Polyphenols from Winery By-products: Conventional vs. Unconventional Extraction Methodologies. *IntechOpen*. <https://www.intechopen.com/online-first/1187131>

12. Dunaway, S., Odin, R., Zhou, L., Ji, L., Zhang, Y., & Kadekaro, A. L. (2018). Natural Antioxidants: Multiple Mechanisms to Protect Skin From Solar Radiation. *Frontiers in pharmacology*, 9, 392.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00392>
13. Dweck, A. C. (2002). Herbal medicine for the skin: Dermatological preparations from plant sources. *Pharmaceutical Journal*, 268, 754–758.
14. Edris, A. E. (2007). Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: A review. *Phytotherapy Research*, 21(4), 308–323. <https://doi.org/10.1002/ptr.2072>
15. Ferrazzano, G. F., Amato, I., Ingenito, A., Zarrelli, A., Pinto, G., & Pollio, A. (2011). Plant polyphenols and their anti-cariogenic properties: A review. In *Molecules* (Vol. 16, Issue 2, pp. 1486–1507).
<https://doi.org/10.3390/molecules16021486>
16. González-Minero, J.; Bravo-Díaz, L. The Use of Plants in Skin-Care Products, Cosmetics and Fragrances:
17. Green Cosmetics: The Push for Sustainable Beauty. Available online: <https://www.acme-hardesty.com/green-cosmetics-sustainable-beauty/> (accessed on 23 June 2019).
18. Harbone, 1989. (n.d.).
19. Hertog, M. G. L.; Kromhout, D.; Aravanis, C.; Blackburn, H.; Buzina, R.; Fidanza, F.; Ciampaoli, S.; Jansen, A.; Menotti, A.; Nedeljkovic, S.; Pekkarinen, M.; Simic, B. S.; Toshima, H.; Feskens, E. J. M.; Hollman, P. C. H.; Katan, M. B. Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. *Arch. Int. Med.* 1995, 155, 381–386
20. Hoang, H. T., Moon, J. Y., & Lee, Y. C. (2021). Natural antioxidants from plant extracts in skincare cosmetics: Recent applications and perspectives. *Cosmetics*, 8(4), 106. <https://www.mdpi.com/2079-9284/8/4/106>
21. <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1167101>
22. <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1167101>
23. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1530750>
24. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1530750>
25. <https://doi.org/10.3390/molecules28030764>
26. <https://doi.org/10.3390/molecules28030764>

27. Ibrahim NA, El-Hawary SS, Mohammed MM, Farid MA, AbdelWahed NA, Ali MA, El-Abd EA (2015) Χημική σύνθεση, αντιικό κατά της γρίπης των πτηνών (H5N1) και αντιμικροβιακές δραστηριότητες των αιθέριων ελαίων των φύλλων και των καρπών της *Fortunella margarita*, λάουρ. Swingle, αυξανόμενη στην Αίγυπτο. *J Phal Phharm Sci* 1(1): 06–012
- Li, X., Song, Y., Liu, S., Yu, Y., & Zhou, Y. (2023). Changes in the volatile components of candied kumquats in different processing methodologies with headspace–gas chromatography–ion mobility spectrometry. *Molecules*, 28(3), 764.
28. International Journal of Molecular Sciences
29. Izabela Podgórska-Kryszczuk, Urszula Pankiewicz (2023), Assessment of the Fungistatic Properties of *Calendula officinalis* L. Water Extract and the Effect of Its Addition on the Quality of Wheat B
30. J.Y. Τσο, K. Kawazoe, J.H. Σελήνη, K.X. Παρκ, K. Μουρακάμι, Y. Τακάισι Χημικά συστατικά από τις φλούδες φρούτων της *Fortunella japonica* *Food Sci Biotechnol*, 14 (2005), σελ. 599-603
31. Kampffmeyer Food Innovation Study (2012).
http://goodmillsinnovation.com/sites/kfi.kampffmeyer.faktor3server.de/files/attachments/1_pi_kfi_cleanlabelstudy_english_final.pdf/Accessed 15.10.16.
32. Khaled Rashed (2020), Kaempferol-3-D-glucoside bioactivities: A review,
33. Kostyuk, V., Potapovich, A., Albuhaydar, A. R., et al. (2018). Natural substances for skin photoaging prevention. *Rejuvenation Research*, 21(5), 380–391.
<https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/rej.2017.1931>
34. Larson, R. A. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry* 1988, 27, 969-978
35. Li, X., Meenu, M., & Xu, B. (2023). Recent Development in Bioactive Compounds and Health Benefits of Kumquat Fruits. In *Food Reviews International* (Vol. 39, Issue 7, pp. 4312–4332). Taylor and Francis Ltd.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2023818>
36. Li, X., Song, Y., Liu, S., Yu, Y., & Zhou, Y. (2023). Changes in the volatile components of candied kumquats in different processing methodologies with headspace–gas chromatography–ion mobility spectrometry. *Molecules*, 28(3), 764.
37. Liu, Z., Chen, F., & Cao, C. (2018). Chemical composition and antioxidant activity of kumquat peel extract. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2228–2238.

38. Lo'ligier, J. The use of antioxidants in food. In *Free Radicals and Food Additives*; Aruoma, O. I., Halliwell, B., Eds.; Taylor and Francis: London, 1991; pp 129-150.
39. Lou, S. N., & Ho, C. T. (2017). Phenolic compounds and biological activities of small-size citrus: Kumquat and calamondin. In *Journal of Food and Drug Analysis* (Vol. 25, Issue 1, pp. 162–175). Elsevier Taiwan LLC.
<https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.10.024>
40. Lou, S. N., Lai, Y. C., Hsu, Y. S., & Ho, C. T. (2016). Phenolic content, antioxidant activity and effective compounds of kumquat extracted by different solvents. *Food Chemistry*, 197, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.096>
41. Malhi Y, Franklin J, Seddon N, Solan M, Turner M, Field C, et al. Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions B*. 2019; 375:20190104.
42. Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability 1,2. In *Am J Clin Nutr* (Vol. 79).
43. Mayer, W., Korkina, L. G., & De Luca, C. (2017). Meristem plant cells as a sustainable source of redox actives for food and skin rejuvenation. *Biomolecules*, 7(2), 40. <https://www.mdpi.com/2218-273X/7/2/40>
44. Nawamawat, S., & Uthairatanakij, A. (2018). Potential use of kumquat fruit waste for pectin extraction. *International Food Research Journal*, 25(6), 2427–2433.
45. Nawamawat, S., & Uthairatanakij, A. (2018). Potential use of kumquat fruit waste for pectin extraction. *International Food Research Journal*, 25(6), 2427–2433.
46. Nielsen Global Health, Wellness Survey We are what we eat (2015)
47. Nowak-Perlak, M., Olszowy, M., & Woźniak, M. (2025). Natural defense: Anti-aging potential of plant-derived substances. *Int J Mol Sci*, 26(16), 8061.
<https://www.mdpi.com/1422-0067/26/16/8061>
48. Oliveira, H., Pereira, A. R., Araújo, P., et al. (2020). Exploring the applications of anthocyanins in biological systems. *Int J Mol Sci*, 21(20), 7464.
<https://www.mdpi.com/1422-0067/21/20/7464>
49. Orchard, A., & Van Vuuren, S. F. (2017). Commercial essential oils as potential antimicrobials to treat skin diseases. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017, Article ID 4517971.
<https://doi.org/10.1155/2017/4517971>
50. P. Rozin, C. Fischler, C. Shields-Argelès European and american perspectives on the meaning of natural Appetite, 59 (2012), pp. 448-455

51. Past and Present. *Cosmetics* 2018, 5, 50. [CrossRef]
52. Petruk, G., Del Giudice, R., & Rigano, M. M. (2018). Antioxidants from plants protect against skin photoaging. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, 1454936. <https://doi.org/10.1155/2018/1454936>
53. Pino, J. A., & Rosado, A. (2017). Volatile components of kumquat (*Fortunella japonica*) peel oil. *Journal of Essential Oil Research*, 29(1), 65–68.
54. Pino, J. A., & Rosado, A. (2017). Volatile components of kumquat (*Fortunella japonica*) peel oil. *Journal of Essential Oil Research*, 29(1), 65–68.
55. Ramarathnam, N.; Ochi, H.; Takeuchi, M. Antioxidant defensesystem in vegetable extracts. In *Natural Antioxidants:Chemistry, Health Effects, and Applications*; Shahidi, F.,Ed.; AOCS Press: Champaign, IL, 1997; pp 76-87
56. Ren, S., Su, Z., Walayat, N., et al. (2025). Bioactive Compounds in Tea: Trends in Extraction and Analysis. *Stress*.
<https://media.sciltp.com/articles/2508001087/2508001087.pdf>
57. Rice-Evans, C.-A.; Miller, N. J.; Bolwell, P. G.; Bramley, P.M.; Pridham, J. B. The relative antioxidant activities ofplant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Res.*1995, 22, 375-383.
58. Sadek, E. S., Makris, D. P., & Kefalas, P. (2009). Polyphenolic composition and antioxidant characteristics of kumquat (*Fortunella margarita*) peel fractions. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(4), 297–302. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0140-1>
59. Serafini, M.; Maiani, G.; Ferro-Luzzi, A. Alcohol-free red wineenhances plasma antioxidant capacity in humans. *J. Nutr.*1998, 128 (6), 1003-1007
60. Shen, T., Wang, X. N., & Lou, H. X. (2009). Natural stilbenes: An overview. In *Natural Product Reports* (Vol. 26, Issue 7, pp. 916–935). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/b905960a>
61. Silva, J. (2025). Sustainable recovery of valuable compounds from cashew nut testa shell using green techniques. UFSC Repository.
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/265997>
62. Singh, S., Sneh, P., Bangar, P., & Kaur, P. (n.d.). Recent Advances in Citrus Fruits.
63. The Benefits of an Environmentally Friendly Business. Available online:
<https://www.business.qld.gov.au/running-business/environment/environment-business/benefits> (accessed on 1 September 2014).

64. Walayat, N., Ren, S., Su, Z., Yasir, M., & Wei, R. (2025). Bioactive compounds in tea: Emerging trends in their extraction and application. *Stress*.
<https://media.sciltp.com/articles/2508001087/2508001087.pdf>
65. Wang, Y., Zhang, L., Li, Y., & Chen, H. (2022). Drying kinetics and physicochemical properties of kumquat under hot air and air-impingement jet dryings. *Food Science & Nutrition*, 10(4), 1138–1149.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.2722> Liu, Z., Chen, F., & Cao, C. (2018). Chemical composition and antioxidant activity of kumquat peel extract. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2228–2238.
66. Wilson E.O. (1984) *Biophilia*. Harvard University Press.
67. Zhang, H., & Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 8, pp. 33–42). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.02.002>
68. Zhou, L., Ji, L., Zhang, Y., et al. (2018). Natural antioxidants for photoprotection. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 392.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2018.00392/full>
69. Δομή και υποταξική δράση των γλυκοσιδών φλας γλυκοσίδη σε λινελασμένες (*Fortunella japonica*) αποφλοιώσεις *Agric Biol Chem*, 49 (1985), σελ. 2613-2618
70. Κ. Ογκάβα, Α. Kawasaki, Μ. Ομούρα, Τ. Γιοσίντα, Υ. Ικόμα, Μ. Γιάνο 3',5'-Di-C-β-γλυκοκυραρινυλοφυλλτηρίνη, ένα φλαβονοειδές χαρακτηριστικό του γένους *Fortunella* *Φυτοχημεία*, 57 (2001), σελ. 737-742
71. Σ. Kawail, Υ. Τομόνο, Ε. Κατσέ, Κ. Ογκάβα, Μ. Γιάνο Ποσοτάμενη των φλαβονοειδών συστατικών στα εσπεριδοειδή *J Agric Food Chem*, 47 (1999), σελ. 3565-3571
72. Συγγραφέας: Δρ Βασίλειος Ζιώγας, Εντεταλμένος Ερευνητής Δενδροκομίας Εσπεριδοειδών, ΕΛΓΟ – ΔΗΜΗΤΡΑ
73. Τ. Ματσούνο Συναίσθημα των cumquats: απομόνωση μιας νέας σφαιρόστερης φλαβόνης, *Fortunellin Γιακουγκάκου Ζάσι*, 78 (1958), σ. 1311 Η. Κουμαμότο, Υ. Matsubara, Υ. Iizuka, Κ. Οκαμότο, Κ. Γιοκούι