



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΑΠΟ
ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΥΤΩΝ**



ΛΑΜΠΟΥΣΗ ΝΙΚΟΛΕΤΑ

ΑΜ: 71616054

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

ΤΣΙΑΚΑ ΘΑΛΕΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1) ΤΣΙΑΚΑ ΘΑΛΕΙΑ, Διδακτικό προσωπικό ΕΣΠΑ

2) ΒΑΣΙΛΕΙΑ ΣΙΝΑΝΟΓΛΟΥ, Καθηγήτρια

3) ΕΙΡΗΝΗ ΣΤΡΑΤΗ, Επίκουρη Καθηγήτρια

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΛΑΜΠΟΥΣΗ ΝΙΚΟΛΕΤΑ του ΘΕΟΔΩΡΟΥ, με αριθμό μητρώου 71616054 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Τεχνολογίας Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τις μέθόδους εκχύλισης και τις ιδιότητες των αιθέριων ελαίων και των βιοδραστικών ουσιών που παραλαμβάνονται από τα παραπροϊόντα των αρωματικών φυτών. Τα παραπροϊόντα των αρωματικών φυτών περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις βιοδραστικών συστατικών και αιθέριων ελαίων, τα οποία μπορεί να αξιοποιήσει ο άνθρωπος ώστε να παράγει νέα προϊόντα, με υψηλή προστιθέμενη αξία. Οι δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών, στους οποίους ανήκουν οι βιοδραστικές ενώσεις, έχουν ως κύριο ρόλο την ενίσχυση της άμυνας του φυτού και να το προστατεύουν από τις αντίξοες βιοτικές και αβιοτικές συνθήκες. Οι κυριότερες κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων είναι τα φαινυλοπροπανοειδή, τα τερπενοειδή και τα αλκαλοειδή, ενώ τα αιθέρια έλαια είναι κυρίως τερπενοειδείς ενώσεις. Η παραλαβή των βιοδραστικών ενώσεων από παραπροϊόντα αρωματικών φυτών πραγματοποιείται με τη βοήθεια διαφόρων τεχνικών εκχύλισης, είτε συμβατικές, όπως η διαβροχή, η έγχυση, η εξίκμαση ή η εκχύλιση Soxhlet είτε μη συμβατικές, όπως η εκχύλιση με υπερήχους, με υπερκρίσιμα υγρά, με τη βοήθεια μικροκυμάτων ή με παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Επίσης, για την παραλαβή αιθέριων ελαίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί απόσταξη ή η μηχανική συμπίεση. Τα αιθέρια έλαια και οι βιοδραστικές ενώσεις είναι δυνητικά πιθανόν να αξιοποιηθούν από τη βιομηχανία τροφίμων ως καρυκεύματα, ως χρωστικές ή ως συντηρητικά των τροφίμων και στο σύνολό τους δρουν προστατευτικά για τον ανθρώπινο οργανισμό καθώς, μπορούν να αναπτύξουν αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή και καρδιοπροστατευτική δράση.

Λέξεις-κλειδιά: αρωματικά φυτά, παραπροϊόντα, βιοδραστικές ουσίες, αιθέρια έλαια

ABSTRACT

This thesis deals with the extraction methods and properties of essential oils and bioactive substances obtained from the by-products of aromatic plants. The by-products of aromatic plants contain high concentrations of bioactive components and essential oils, which can be exploited by humans to produce new products with high added value. In particular, the secondary metabolites of plants are compounds whose role is to enhance the plant's defense and protect it from adverse biotic and abiotic conditions. The main groups of bioactive compounds are phenylpropanoids, terpenoids and alkaloids, while essential oils mainly include terpenoid compounds. Various extraction techniques, conventional such as maceration, infusion, percolation or Soxhlet extraction, or non-conventional, such as ultrasound assisted extraction, supercritical fluid extraction, microwave-assisted extraction or extraction with pulsed electric fields, are used to obtain the bioactive compounds from the by-products of aromatic plants. Distillation or mechanical compression can be used to obtain essential oils. Essential oils and bioactive compounds can be used in the food industry as seasonings, as colorants or as food preservatives since they can act protectively for the human health as they can present antioxidant, antimicrobial and cardioprotective effects.

Keywords: aromatic plants, by-products, bioactive substances, essential oils

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΥΤΩΝ	10
1.1 Ορισμός παραπροϊόντων και παραπροϊόντα τροφίμων	10
1.2 Αρωματικά φυτά και η χρήση τους	13
1.3 Καλλιέργεια και παραγωγή αρωματικών φυτών	14
1.4 Παραπροϊόντα αρωματικών φυτών	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΥΤΩΝ	17
2.1 Ορισμός βιοδραστικών ενώσεων αρωματικών φυτών	17
2.2 Αλκαλοειδή (Alcaloeides)	19
2.3 Φαινυλοπροπανοειδή (Phenylpropanoids)	20
2.3.1 Φλαβανοειδείς ενώσεις	23
2.3.1.1 Φλαβόνες (Flavones)	24
2.3.1.2 Φλαβονόλες (flavonols)	25
2.3.1.3 Φλαβανόνες (flavanones)	26
2.3.1.4 Ισοφλαβόνες (isoflavones)	26
2.3.1.5 Φλαβανόλες ή κατεχίνες	27
2.3.1.6 Ανθοκυανίνες (anthocyanins)	27
2.3.1.7 Χαλκόνες (chalcones)	28
2.3.2 Φαινολικά οξέα	28
2.4 Ταννίνες (tannins)	30
2.5 Κουμαρίνες (coumarins)	31
2.6 Τερπενοειδείς ενώσεις	33
2.7 Βιολογική δράση συστατικών αρωματικών φυτών	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΑΙΘΕΡΙΑ ΕΛΑΙΑ	37

3.1 Ορισμός αιθέριων ελαίων _____	37
3.2 Αιθέρια έλαια αρωματικών φυτών _____	37
3.3 Εφαρμογές των αιθέριων ελαίων _____	38
3.4 Βιολογικός ρόλος αιθέριων ελαίων _____	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ _____	42
4.1 Εισαγωγή στις μεθόδους παραλαβής βιοδραστικών ενώσεων και αιθερίων ελαίων _____	42
4.2 Προ-επεξεργασία δείγματος _____	43
4.3 Συμβατικές μέθοδοι εκχύλισης _____	44
4.3.1 Διαβροχή (maceration) _____	44
4.3.2 Χώνευση (digestion) _____	44
4.3.3 Έγχυση (infusion) _____	44
4.3.4 Αφέψημα (Decoction) _____	44
4.3.5 Εξίκμαση (percolation) _____	45
4.3.6 Εκχύλιση Soxhlet (Soxhlet Extraction) _____	46
4.3.7 Εκχύλιση με κρύο ή ζεστό λίπος _____	48
4.4 Μη συμβατικές μέθοδοι εκχύλισης _____	48
4.4.1 Εκχύλιση με υπερήχους (ultrasound assisted extraction) _____	50
4.4.2 Εκχύλιση κατ' αντιρροή (counter-current extraction) _____	51
4.4.3 Εκχύλιση με ζύμωση (extraction by fermentation) _____	52
4.4.4 Εκχύλιση με υπερκρίσιμο ρευστά (supercritical fluid extraction) _____	52
4.4.5 Εκχύλιση με υποκρίσιμο νερό _____	54
4.4.6 Εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων (microwave-assisted extraction) _____	54
4.4.7 Εκχύλιση με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF) _____	55
4.5 Σύγκριση τεχνικών εκχύλισης _____	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 _____	61
ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ _____	61
5.1 Μηχανική παραλαβή αιθερίων ελαίων με συμπίεση _____	61

5.2 Απόσταξη	61
5.2.1 Υδροαπόσταξη ή απόσταξη με νερό	62
5.2.2 Υδρο-ατμο-απόσταξη ή απόσταξη με νερό και ατμό	63
5.2.3 Απόσταξη με υδρατμούς	64
5.3 Κανονισμοί σχετικοί με τη χρήση φυσικών εκχυλισμάτων και αιθέριων ελαίων στη βιομηχανία τροφίμων	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ/ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	68
6.1 Συμπεράσματα	68
6.2 Περιορισμοί στη χρήση	68
6.3 Μελλοντικές προοπτικές	69
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	70
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Δομικές μορφές αλκαλοειδών	20
Εικόνα 2: Χημική δομή φαινυλοπροπάνιου.....	21
Εικόνα 3: Βιοχημικές οδοί παραγωγής φαινυλοπροπανοειδών (a) από L-φαινυλαλανίνη παραγωγή χαλκονών, φλαβονών και ισοφλαβονών, καθώς και φλαβονοειδών (b) από L φαινυλαλανίνη και L τυροσίνη σε ροσμαρινικό οξύ και φαινολικά οξέα	22
Εικόνα 4: Βασικός σκελετός φλαβονοειδών ενώσεων και προκύπτουσες κατηγορίες χημικών ενώσεων	24
Εικόνα 5: Δομές βενζοϊκού και κινναμωμικού οξέος (1) και παράγωγα υδροξυβενζοϊκών και υδροξυκινναμωμικών οξέων	30
Εικόνα 6: Ταξινόμηση ταννινών ανάλογα με τη δομή της. Οι λειτουργικές ομάδες είναι σε κύκλο	31
Εικόνα 7: Έξι βασικές κατηγορίες κουμαρινών (a) απλές κουμαρίνες (b)φουρανοκουμαρίνες (γραμμικού τύπου) (c)φουρανοκουμαρίνες (γωνιαίου τύπου) (d) βενζουκουμαρίνες της πυρανοκουμαρίνες (γραμμικού τύπου) (f)πυρανοκουμαρίνες (γωνιαίου τύπου) (g)δικουμαρίνες (h) κουμενστάνες...	33
Εικόνα 8: Δομή και χημική σύνθεση τερπενίων	34
Εικόνα 9: Διαδικασίες εκχύλισης για αρωματικά φυτά	42
Εικόνα 10: Στάδια διαδικασίας εξίκμασης	46
Εικόνα 11: Συσκευή απόσταξης Soxhlet.....	47
Εικόνα 12: Το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Από τη στιγμή που η φυσαλίδα διαμορφώθηκε μέχρι τη στιγμή της κατάρρευσης της	50
Εικόνα 13: Διάγραμμα φάσεων για μία καθαρή ουσία (CO ₂) σε ένα κλειστό σύστημα.	53
Εικόνα 14: Φυσική κατάσταση του νερού σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης	54
Εικόνα 15: Αποστακτική συσκευή Clevenger.....	62
Εικόνα 16: Σχηματική αναπαράσταση της απόσταξης με νερό και ατμό	64
Εικόνα 17: Σχηματική αναπαράσταση απόσταξης με υδρατμούς.....	65

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων και κατηγοριών βιοδραστικών ενώσεων.....	11
Πίνακας 2: Ορισμένα από τα κυριότερα ελληνικά αρωματικά φυτά	14
Πίνακας 3: Παραδείγματα εφαρμογών παραπροϊόντων των αρωματικών φυτών.....	15
Πίνακας 4: Συστατικά που απομονώθηκαν από ορισμένα αρωματικά φυτά.	18
Πίνακας 5: Ταξινόμηση τερπενίων	35
Πίνακας 6: Παραδείγματα ενώσεων φυτών και παραπροϊόντων, που διαθέτουν βιολογική δράση.....	35
Πίνακας 7: Μέρη των φυτών και αιθέρια έλαια.....	38
Πίνακας 8: Βιολογική επίδραση αιθερίων ελαίων στον άνθρωπο	40
Πίνακας 9: Εφαρμογές μη συμβατικών μεθόδων εκχύλισης σε αρωματικά φυτά και παραπροϊόντα αρωματικών φυτών	49
Πίνακας 10: Παραδείγματα εκχυλίσεων βιοδραστικών συστατικών με διαφορετικές τεχνικές εκχύλισης.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΥΤΩΝ

1.1 Ορισμός παραπροϊόντων και παραπροϊόντα τροφίμων

Τα παραπροϊόντα αποτελούν γενικά δευτερογενή προϊόντα που προέρχονται από πρωτογενείς διαδικασίες παραγωγής αγροδιατροφικών προϊόντων και αντιπροσωπεύουν μια ενδιαφέρουσα και φθηνή πηγή λειτουργικών βιοδραστικών συστατικών, όπως πεπτίδια, καροτενοειδή και φαινολικές ενώσεις, προωθώντας έτσι την ιδέα της κυκλικής οικονομίας (Faustino et al., 2019).

Σύμφωνα με τις τελευταίες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε ότι τα παραπροϊόντα και τα εκχυλίσματά τους μπορούν να ενσωματωθούν επιτυχώς σε τρόφιμα (Faustino et al., 2019). Για παράδειγμα, κατά τη βιομηχανική επεξεργασία της μελιτζάνας, παράγονται περισσότεροι από 10 εκατομμύρια τόνοι υποπροϊόντων ετησίως. Η μεγαλύτερη ποσότητα αυτών των υποπροϊόντων είναι φλούδες και κάλυκες και συνήθως απορρίπτονται ως απόβλητα. Ωστόσο, οι Karimi et al. (2021) πραγματοποίησαν βιβλιογραφική ανασκόπηση και διαπίστωσαν ότι τα υποπροϊόντα μελιτζάνας είναι πηγή βιοδραστικών ενώσεων: οι φλούδες αποτελούν σημαντική πηγή ανθοκυανινών και ιδιαίτερα δελφινιδίνης, ενώ ο κάλυκας είναι πλούσιος σε πηκτίνη. Επιπλέον, οι ανθοκυανίνες αυτές μπορούν να λειτουργήσουν σαν φυσικά αντιοξειδωτικά αν προστεθούν σε τρόφιμα και να αυξήσουν τη διάρκεια της ζωής τους (Kamiri et al., 2021).

Τα παραπροϊόντα περιέχουν σημαντικές ενώσεις προστιθέμενης αξίας με υψηλή λειτουργικότητα ή/και βιοδραστικότητα. Η πλήρης αξιοποίηση τους θα είχε πολλαπλά οφέλη για την οικονομία και το περιβάλλον. Πρώτα από όλα θα υπήρχε μία νέα πηγή πρόσθετων ουσιών για τα τρόφιμα φυσικής προέλευσης. Επίσης, θα μειωνόταν η σπατάλη των αγροδιατροφικών προϊόντων, θα ωφελούνταν το περιβάλλον και η οικονομία (Faustino et al., 2019).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα παραπροϊόντων της βιομηχανίας τροφίμων, καθώς και των βιοδραστικών ενώσεων που περιέχουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων και κατηγοριών βιοδραστικών ενώσεων

Παραπροϊόν	Προέλευση	Ενώσεις	Βιοδραστικότητα	Αναφορά
Κέρατο βουβάλου	Ζωική	Πεπτίδια	Αντιοξειδωτικό	Liu et al., 2010
Κολλαγόνο Αχίλλειου τένοντα βοοειδών	Ζωική	Πεπτίδια	Αντιυπερτασικό	Banerjee & Shanthi, 2012
Υδρόλυμα αιμοσφαιρίνης βοοειδών	Ζωική	Πεπτίδια	Αντιβακτηριακό, αντιυπερτασικό	Adje et al., 2011
Ψάρι σολωμού	Ζωική	Υδρολύματα	Ικανότητα γαλακτωματοποίησης. Σταθερότητα γαλακτώματος Ικανότητα προσρόφησης λίπους	Gbogouri et al., 2004
Φλοιοί σταφυλιού	Φυτική, καρπός	Φαινολικές ενώσεις Ανθοκυανίνες	Αντιοξειδωτικό	Ghafoor et al., 2010
Σπόροι ροδιού	Φυτική, καρπός	Φαινολικές ενώσεις	Αντιοξειδωτικό	Ersoumi et al., 2011
Φλούδες ανανά σε σκόνη	Φυτική, καρπός	Διαιτητικές ίνες	Παράγοντας υφής	Sah et al., 2016
Μπανανόφλουδες	Φυτική, καρπός	Φλαβονοειδή Ταννίνες β-καροτένιο	Αντιοξειδωτικό	Someya et al., 2002
Γίγαρτα σταφυλιού	Φυτική, καρπός	Φαινολικές ενώσεις Φλαβονοειδή	Αντιοξειδωτικό Αντιμικροβιακό	Shan et al., 2011

Εκχυλίσματα από πυρήνες σταφυλιού, φλοιούς και γίγαρτα	Φυτική, καρπός	Ολικές φαινολικές και φλαβονοειδείς ενώσεις	Αντιοξειδωτικό	Da Silva et al., 2015
Βράκτια ταξιανθίας μπανάνας	Φυτική, καρπός	Ανθοκυανίνη Κυανιδιν-3-ρουτινοσίδη	Αντιοξειδωτικό Χρωστικές	Pazmino et al., 2001
Παραπροϊόντα από την επεξεργασία ντομάτας	Φυτική	Διαιτητικές ίνες, Πρωτεΐνες, Καροτενοειδή, Τοκοφερόλες, Πολυφαινόλες Λυκοπένιο	Αντιφλεγμονώδη, Αντιαλλεργικό, Αντιμικροβιακό, Αγγειοδιασταλτικό, Αντιθρομβωτικό, Καρδιοπροστατευτικό Αντιοξειδωτικό Χρωστικές	Ciurlia et al, 2009, Viuda-Martos et al, 2014
Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	Ζωική	Καζεΐνες	Πηγή πρωτεϊνών	Akalin et al., 2012
Υδατικό εκχύλισμα ελαιοπυρήνα	Φυτική	Πολυφαινόλες	Αντιφλεγμονώδες	Di Nunzio et al., 2018
Ελαιοπυρήνας, Φύλλα και κλαδιά Υγρά απόβλητα ελαιотριβείου	Φυτική	Λιπαρά οξέα Φαινολικά Φυτοστερόλες Φλαβονοειδή Τριτερπενοειδή Ελευρωπαΐνη και συγγενείς ενώσεις Λιγνάνες Τοκοφερόλες	Αντικαρκινικό Καρδιοπροστατευτικό Προβιοτικό Αντιοξειδωτικό Αντιφλεγμονώδες Αντιδιαβητικό	Otero et al., 2021
Αποξηραμένος φλοιός και πολτός καφέ	Φυτική	Καροτενοειδή	Αντιοξειδωτικό Αντιμικροβιακό	Dias Moreira et al., 2018

1.2 Αρωματικά φυτά και η χρήση τους

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της επιστημονικής κοινότητας, από τα 350 000 διαφορετικών ειδών φυτών του φυτικού βασιλείου, περίπου 18 000 είδη είναι αρωματικά φυτά, ενώ περίπου 60 000 είδη φυτών θεωρούνται ως φαρμακευτικά φυτά. Τα αρωματικά φυτά κατατάσσονται κατά προσέγγιση σε ένα σύνολο πενήντα διαφορετικών οικογενειών με χαρακτηριστικότερες τις οικογένειες Apiaceae, Asteraceae, Geraniaceae, Labiatae, Rutaceae (Struwe, 2016).

Ήδη από την αρχαιότητα, πολλοί λαοί είχαν εκμεταλλευτεί τις ευεργετικές θεραπευτικές και φαρμακευτικές τους ιδιότητες. Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι τα βότανα έχουν χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο για να θεραπεύσουν πληγές ή να βοηθήσουν έναν ασθενή να ηρεμήσει. Μία από τις αρχαιότερες γραπτές μαρτυρίες για τη χρήση φυτών για φαρμακευτικό λόγο αναφέρεται σε μία πήλινη πλάκα των Σουμερίων ηλικίας περίπου 5000 ετών. Στην πλάκα αυτή καταγράφονται 12 συνταγές για την παρασκευή φαρμάκων με χρήση περισσότερων από 250 φυτών. Αναφορές για χρήση φυτικών παρασκευασμάτων ως φάρμακα υπάρχουν, επίσης, στην Αρχαία Αίγυπτο, όπου 6000 χρόνια, χρησιμοποιούσαν φυτικά εκχυλίσματα τα οποία είτε τα κατανάλωσαν σαν ροφήματα, είτε χρησιμοποιούσαν υποκαπνισμό ή εισπνοή ατμών. Επίσης, τα αρωματικά φυτά χρησιμοποιήθηκαν για θεραπευτικούς σκοπούς και από τους αρχαίους πολιτισμούς της Κίνας, της Ινδίας, του Θιβέτ αλλά και από τους Ινδιάνους, τους Αζτέκους και τους Μάγια. Ο Ιπποκράτης (460-370 π.Χ.) κατέγραψε πάνω από 400 είδη βοτάνων και φαρμακευτικών φυτών. Επίσης, αναφέρεται ότι οι Αρχαίοι Έλληνες μελέτησαν αρκετά τα αρωματικά φυτά, καθώς η Ελλάδα είχε τις κατάλληλες κλιματολογικές, εδαφολογικές και τοπογεωγραφικές συνθήκες να αναπτύξει πλούσια και ποικίλη χλωρίδα (Solomou et al., 2015).

Σήμερα, οι εφαρμογές των αρωματικών φυτών είναι ποικίλες και μπορούν να αποτελέσουν μία πρόσθετη εισοδηματική πηγή για τους αγρότες. Συνοπτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν (Solomou et al., 2015):

- Ως πρώτη ύλη από την οποία παράγονται αιθέρια έλαια
- Ως μπαχαρικά και καρυκεύματα στην μαγειρική
- Για την παραγωγή φαρμάκων

- Για την παραγωγή καλλυντικών, βαφών, αποσμητικών χώρου, φυτοφαρμάκων, εντομοαπωθητικών.

1.3 Καλλιέργεια και παραγωγή αρωματικών φυτών

Τα τελευταία χρόνια, οι καταναλωτές επιζητούν ωφέλιμα και ποιοτικά προϊόντα καθημερινά στην ζωή τους. Έτσι, η καλλιέργεια των αρωματικών φυτών έχει αυξηθεί ραγδαία, ανταποκρινόμενη σε αυτή την ανάγκη. Γενικά, τα αρωματικά φυτά δεν έχουν συγκεκριμένες πρακτικές καλλιέργειας (πχ σε επίπεδο έδαφος), έτσι η καλλιέργειά τους έχει συμβάλει στην αξιοποίηση και εκμετάλλευση διαφόρων περιοχών, εγκαταλειμμένων αγρών και πεδιάδων όπως επίσης και μη γόνιμων εδαφών, συντελώντας κατά αυτόν τον τρόπο στην προστασία της φύσης και του περιβάλλοντος (Στεφάνου κ.α., 2015). Ορισμένα από τα χαρακτηριστικότερα αρωματικά φυτά της ελληνικής χλωρίδας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Ορισμένα από τα κυριότερα ελληνικά αρωματικά φυτά

Επιστημονική Ονομασία	Κοινή ονομασία
<i>Coriandrum sativum</i> (καλλιεργούμενο)	Κόλιανδρο
<i>Crocus sativus</i> (καλλιεργούμενο)	Ζαφορά, κρόκος
<i>Cuminum cyminum</i> (καλλιεργούμενο)	Κίμινο
<i>Foeniculum vulgare</i> (καλλιεργούμενο)	Μάραθο
<i>Helichrysum stoechas</i> (αυτοφυές, καλλιεργούμενο)	Ελίχρυσο
<i>Humulus lupulus</i> (καλλιεργούμενο)	Λυκίσκος
<i>Laurus nobilis</i> (αυτοφυές)	Δάφνη
<i>Lavandula angustifolia</i> (καλλιεργούμενο)	Λεβάντα
<i>Matricaria recutita</i> (καλλιεργούμενο, αυτοφυές)	Χαμομήλι
<i>Melissa officinalis</i> (καλλιεργούμενο)	Μέλισσα φαρμακευτική
<i>Mentha spp.</i> (καλλιεργούμενο, αυτοφυές)	Μέντα, δυόσμος
<i>Ocimum Basilicum</i> (καλλιεργούμενο)	Βασιλικός
<i>Origanum Dictamnus</i> (καλλιεργούμενο, αυτοφυές)	Δίκταμος
<i>Origanum vulgare</i> (καλλιεργούμενο, αυτοφυές)	Ρίγανη

<i>Rosa damascena</i> (καλλιεργούμενο, αυτοφυές)	Τριαντάφυλλο
<i>Pimpinella anisum</i> (καλλιεργούμενο)	Γλυκάνισος
<i>Pistacia lentiscus</i> (καλλιεργούμενο)	Μαστίχα
<i>Salvia fruticose</i> (καλλιεργούμενο, αυτοφυές)	Φασκόμηλο
<i>Sideritis spp</i> (καλλιεργούμενο, αυτοφυές)	Τσάι του βουνού
<i>Thymus capitatus</i> (αυτοφυές)	Θυμάρι

Πηγή: Μαλούπα κ.α., 2013

1.4 Παραπροϊόντα αρωματικών φυτών

Κατά την επεξεργασία των αρωματικών φυτών από μία βιομηχανική μονάδα δημιουργούνται μεγάλης ποσότητας και ποικίλης φύσεως υπολειμματικές βιομάζες, όπως είναι το υπόλειμμα της απόσταξης ή τα μη χρησιμοποιούμενα μέρη του φυτού. Πρόκειται για φυτικές μάζες που αν η βιομηχανία θελήσει να τις χρησιμοποιήσει σωστά, δεν αποτελούν απόβλητα αλλά παραπροϊόντα που μπορούν να μετατραπούν σε τελικά προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας. Έτσι, με την εφαρμογή κατάλληλων επεξεργασιών (εκχύλιση, υδρόλυση, πυρόλυση και ζύμωση), από τις υπολειμματικές βιομάζες μπορούν να απομονωθούν βιοδραστικές ουσίες, να παραχθούν ζωοτροφές ή μπορούν να υποβληθούν σε κομποστοποίηση ή βιοαπανθράκωση, ώστε να προστεθούν στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικά (Saha & Basak, 2020).

Στον πίνακα 3, παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών των παραπροϊόντων των αρωματικών φυτών.

Πίνακας 3: Παραδείγματα εφαρμογών παραπροϊόντων των αρωματικών φυτών

Παραπροϊόν	Εφαρμογή	Αποτέλεσμα	Αναφορά
Υπολείμματα απόσταξης μεσογειακών αρωματικών φαρμακευτικών φυτών (MAPs) (λεβάντα, ελληνική ρίγανη, δεντρολίβανο, ελιά,	Εμπλουτισμός τροφής των προνυμφών <i>Tenebrio molitor</i>	Αύξηση βάρους και αριθμού προνυμφών, συνολικού φαινολικού περιεχομένου και αντιοξειδωτικής δράσης	Andreadis et al., 2022

σε αναλογία 1:1:1:1)			
Αιθέρια έλαια και αιθανολικά εκχυλίσματα - στερεά υπολείμματα αρωματικών φυτών (<i>Artemisia dracuncululus</i> , <i>Hyssopus officinalis</i> , <i>Lavandula stoechas</i> , <i>Origanum vulgare</i> και <i>Satureja montana</i>)	Έλεγχος της αντιμυκητιακής τους δράσης εναντίον 14 ταυτοποιημένων στελεχών μυκήτων από πρόβειο τυρί	Τα αιθέρια έλαια της ρίγανης, της αλμυρής και του εστραγκόν παρουσίασαν αντιμυκητιακή δράση . Τα αιθανολικά εκχυλίσματα έδρασαν ως αντιοξειδωτικά	Munoz-Tebar et al., 2021
Αιθέρια έλαια από αποξηραμένους μίσχους <i>Satureja montana</i> (θρούμπι)	In vitro έλεγχος αντιμικροβιακής δράσης έναντι των <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella enterica</i> και <i>Staphylococcus aureus</i>	Αντιμικροβιακή δράση (225 μg/mL για <i>E. coli</i> , 250 μg/mL για <i>S. enterica</i> , και 150 μg/mL <i>S. Aureus</i>)	Santos et al., 2019
Φυτική σκόνη φασκόμηλου υπόλειμμα από εργοστάσιο τσαγιού - φίλτρου.	Εκχύλιση με υπερήχους και εκχύλιση με μικροκύματα φαινολικών ενώσεων. Έλεγχος αντιοξειδωτικής δράσης	Δοσοεξαρτώμενη αντιοξειδωτική δράση	Zekovic et al., 2017

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΥΤΩΝ

2.1 Ορισμός βιοδραστικών ενώσεων αρωματικών φυτών

Τα φυτά έχουν την ικανότητα παραγωγής πληθώρας εξειδικευμένων ή δευτερογενών μεταβολιτών. Πρόκειται για μόρια με μικρό μοριακό βάρος, τα οποία όμως παρουσιάζουν σημαντική δομική και βιολειτουργική ποικιλομορφία. Οι δευτερογενείς μεταβολίτες αποτελούν την άμυνα του φυτού και παράγονται ως απόκριση σε αβιοτικές (αλατότητα, ξηρασία, έκθεση σε ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας, βαρέα μέταλλα) και βιοτικές (παθογόνοι μικροοργανισμοί, παράσιτα) δυσμενείς συνθήκες στις οποίες το φυτό εκτίθεται. Επίσης, τα έντονα αρώματα και χρώματα ενός φυτού συχνά αποσκοπούν στο να προσελκύσουν τους παράγοντες επικονίασης (π.χ. έντομα ή ζώα) και, κατά αυτόν τον τρόπο, να διευκολύνουν την επικονίαση και τη διασπορά των καρπών (Mahajan et al., 2020).

Έχει υπολογιστεί ότι ο αριθμός των δευτερογενών μεταβολιτών του φυτικού βασιλείου ανέρχεται περίπου στις 200.000 ενώσεις. Οι βιοδραστικές ενώσεις των αρωματικών φυτών διακρίνονται σε τρεις κύριες ομάδες: φαινυλοπροπανοειδή (phenylpropanoids), τερπενοειδή (terpenoids) και αλκαλοειδή (alkaloids). Ωστόσο, υπάρχουν και ομάδες ενώσεις που είναι λιγότερο άφθονες, όπως οι ταννίνες και οι κουμαρίνες (Yang et al., 2016).

Οι δευτερογενείς μεταβολίτες που κάθε φυτό παράγει και η ποσότητά τους, ποικίλουν όχι μόνο μεταξύ διαφορετικών ειδών, αλλά ακόμη και μεταξύ φυτών της ίδιας ποικιλίας. Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση και την αναλογία των δευτερογενών μεταβολιτών είναι η ποικιλία, η γεωγραφική προέλευση, οι εδαφολογικές και μικροκλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο ανάπτυξης και συγκομιδής των φυτών, η έκθεση σε συνθήκες stress, η προσβολή από παθογόνους για το φυτό μικροοργανισμούς, παράσιτα ή έντομα (Yang et al., 2016).

Στον πίνακα 4, παρουσιάζονται ορισμένα συστατικά που ταυτοποιήθηκαν σε ορισμένα μεσογειακά αρωματικά φυτά

Πίνακας 4: Συστατικά που απομονώθηκαν από ορισμένα αρωματικά φυτά

	Κύριο μεμονωμένο συστατικό	Κοινά αρωματικά φυτά
01	α-θουγένιο	Άνηθος, βάλσαμο, κύμινο, λεβάντα, μαντζουράνα, ρίγανη, φασκόμηλο
02	Καμφαίνη (camphene)	Μέντα, ύσσωπος, λεβάντα, μαντζουράνα, ρίγανη, φασκόμηλο, θυμάρι
03	Μυρκένιο	Άνηθος, μαϊντανός, μέντα, βάλσαμο, βασιλικός, κύμινο, μάραθο, ύσσωπος, λεβάντα, μαντζουράνα, ρίγανη, φασκόμηλο
04	β-πινένιο	Άνηθος, μαϊντανός, βάλσαμο, βασιλικός, κύμινο, μάραθο, μαντζουράνα, ρίγανη, φασκόμηλο
05	α-τερπινένιο	Μέντα, βάλσαμο, ύσσωπος, μαντζουράνα, ρίγανη, θυμάρι
06	γ-τερπινένιο	Μαϊντανός, μέντα, βάλσαμο, μάραθο, ύσσωπος, λεβάντα, μαντζουράνα, ρίγανη, φασκόμηλο, θυμάρι, βερβένια
07	Λιναλοόλη	Μέντα, βάλσαμο, βασιλικός, κύμινο, ύσσωπος, λεβάντα, μαντζουράνα, ρίγανη, φασκόμηλο, θυμάρι, βερβέινο
08	Λιμονένιο	Μέντα, βάλσαμο, βασιλικός, κύμινο, ύσσωπος, λεβάντα, μαντζουράνα, ρίγανη, φασκόμηλο, θυμάρι, βερβέινο
09	α-τερπινεόλη	Μαϊντανός
10	trans-p-μενθα-2,8-διεν-1-όλη Οξικός καρβομενθυλεστέρας	Μέντα
11	α-πινένιο	Άνηθος, μέντα, βάλσαμο, βασιλικός, μαντζουράνα, ρίγανη, φασκόμηλο, θυμάρι, βερβένια
12	καρβόνη	Άνηθος, κόλιανδρος,
13	θυμόλη	Βάλσαμο, μαντζουράνα, ρίγανη, θυμάρι
14	Καφεϊκό οξύ	Κανέλλα, ρίγανη, εστραγκόν, άγριο θυμάρι, μελισσόχορτο

15	κινναμαλδεΐδη	Κανέλλα
16	ευγενόλη	Κανέλλα
17	ροσμαρινικό οξύ	Μελισσόχορτο, ρίγανη, θυμάρι
18	Προκουανιδίνες	Καφές (<i>Coffea arabica</i>)

Πηγή: Elshafie & Camele, 2017

2.2 Αλκαλοειδή (*Alcaloeides*)

Προέλευση : Τα αλκαλοειδή είναι μία μεγάλη ομάδα φυσικών οργανικών ενώσεων που περιέχουν στο μόριο τους άζωτο (N) και παράγονται από φυτά, μικροοργανισμούς, θαλάσσιους οργανισμούς και μύκητες (Bribi, 2018).

Είναι δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών, όπου ο φυσικός τους ρόλος είναι να εκτελούν μία σημαντική οικολογική λειτουργία, καθώς πολλά αλκαλοειδή είναι τοξικά και χρησιμοποιούνται από τα φυτά για να προστατευθούν από την επιθετικότητα ζώων και παθογόνων μικροοργανισμών. Βρίσκονται σε όλο το φυτικό βασίλειο και είναι συστατικά κυρίως των ανώτερων φυτών της οικογένειας *Ranunculaceae* (*Thalictrum foliolosum*, ανεμώνη, ελλέβορος), *Leguminosae* (φασόλια, αρακάς, σόγια), *Papaveraceae* (παπαρούνα), *Menispermaceae* (*Ginseng radix*) και *Loganiaceae* (*Spigella marilandica*) (Debnath et al., 2018).

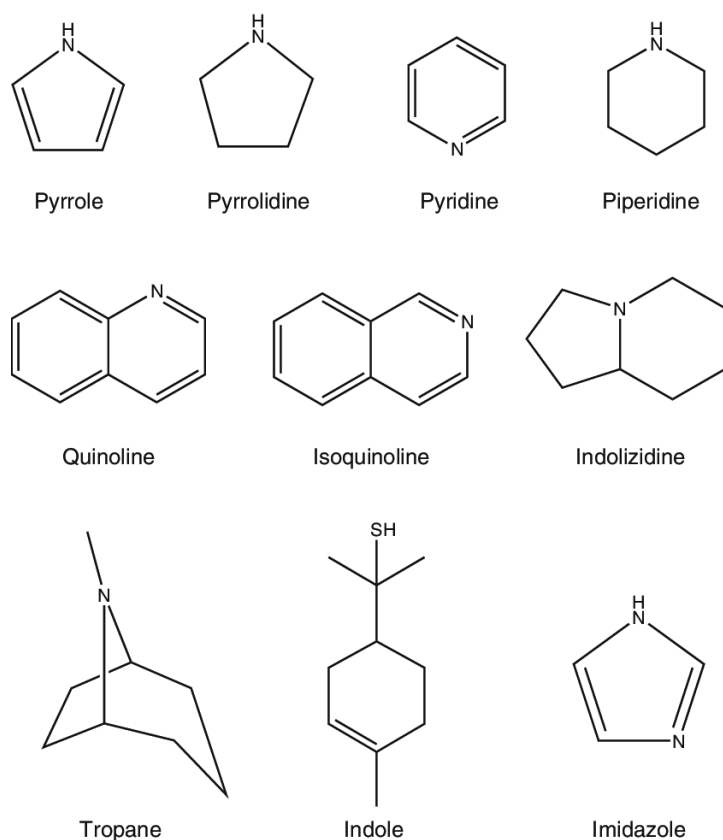
Εφαρμογή- χρήση: Ορισμένα από τα αλκαλοειδή επιδρούν στο νευρολογικό σύστημα του ανθρώπου με αποτέλεσμα να έχουν εθιστικό και διεγερτικό χαρακτήρα, όπως η κοκαΐνη και η νικοτίνη, ενώ ορισμένα έχουν κλινική εφαρμογή, όπως η μορφίνη και η κωδεΐνη που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση του πόνου (Bribi, 2018). Φαρμακευτική και κλινική εφαρμογή έχουν: η ατροπίνη , η οποία προκαλεί ταχυκαρδία, η σκοπολαμίνη που αντιμετωπίζει έμετο και ναυτία κατά τη διάρκεια μετακίνησης με μέσο μεταφοράς ή μετεγχειρητικά (Debnath et al., 2018), η τροπομορφίνη που χρησιμοποιείται στη νόσο του Parkinson, η παπαβερίνη που είναι μυοχαλαρωτική, η σαγκουαρινίνη και η βερβερίνη που λειτουργούν ως αντιμικροβιακά (Bribi, 2018).

Χημική δομή: Τα αλκαλοειδή είναι μία ομάδα ενώσεων που περιέχουν ένα ή περισσότερα άτομα αζώτου εντός ετεροκυκλικού δακτυλίου (Debnath et al., 2018). Ο όρος αλκαλοειδές εισήχθη από τον W. Meisner της αρχές του

δέκατου ένατου αιώνα για να προσδιορίσει της φυσικές ουσίες που «αντιδρούν σαν βάσεις, σαν αλκάλια» (Bribi, 2018).

Ταξινόμηση : Η ταξινόμηση των αλκαλοειδών μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια της με τη φυσική πηγή προέλευσης, τη χημική φύση της ένωσης, την βιοσυνθετική προέλευση. Η πιο κοινή ταξινόμηση είναι η κατανομή της σύμφωνα με την κύρια δομή, τον κύριο σκελετό C-N,

Στην παρακάτω Εικόνα 1, διακρίνονται οι κυριότεροι ετεροκυκλικοί δακτύλιοι που καθορίζουν τη διάκριση των αλκαλοειδών.



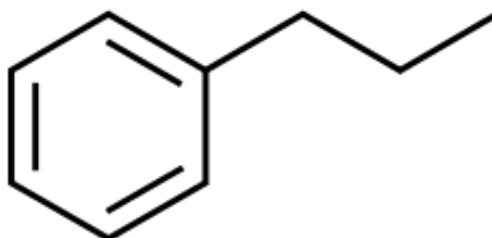
Εικόνα 1: Δομικές μορφές αλκαλοειδών

Πηγή: Gutierrez-Grijalva et al., 2020

2.3 Φαινυλοπροπανοειδή (Phenylpropanoids)

Τα φαινυλοπροπανοειδή (phenylpropanoids), που απαντώνται συνήθως στα φυτά, προέρχονται από την αρωματική ομάδα φαινυλίου με έξι άνθρακες και μία αλυσίδα προπενίου τριών ανθράκων (C_9H_{12}) (Εικόνα 2), τα οποία και σχηματίζουν μια μεγάλη ομάδα εξειδικευμένων μεταβολιτών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται φαινολικές ενώσεις, όπως οι μονολιγνόλες (monolignols),

οι λιγνάνες (lignans), τα φλαβονοειδή (flavonoids), τα φαινολικά οξέα (phenolic acids) και τα στιλβένια (stilbenes) (Yang et al., 2016).



Εικόνα 2: Χημική δομή φαινυλοπροπάνιου

Πηγή: <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.7385.html> (Τελευταία επίσκεψη: 15/9/2022)

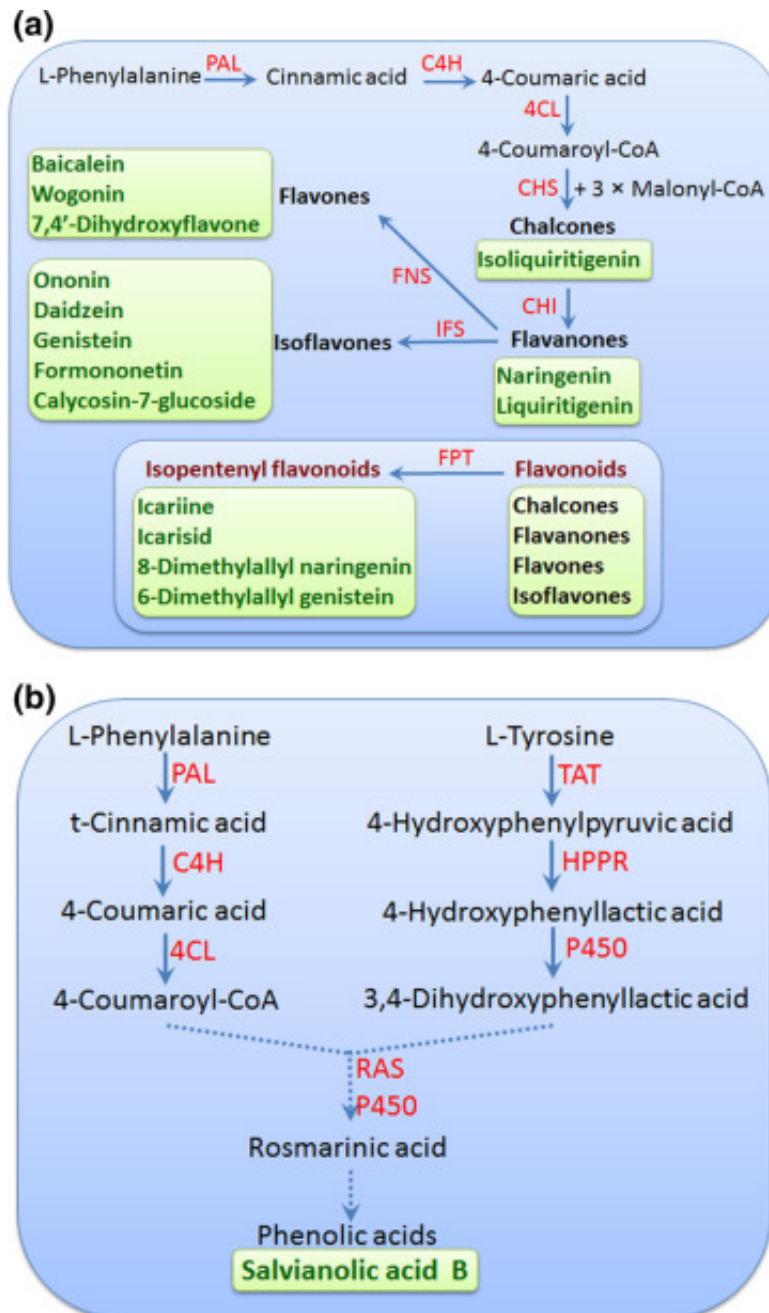
Βιοχημική οδό σύνθεσης: Οι περισσότερες κατηγορίες φαινυλοπροπανοειδών ενώσεων προέρχονται από τη φαινυλαλανίνη. Τα τρία πρώτα στάδια καταλύονται από τα ένζυμα (Teixeira et al. 2013):

- λυάση φαινυλαλανίνης-αμμωνίας (PAL): καταλύει την αντίδραση απαμίνωσης της φαινυλαλανίνης προς κινναμωμικό οξύ ($C_6H_5CHCHCOOH$).
- κινναμική-4-υδροξυλάση (C4H): είναι υπεύθυνη για τη μετατροπή του κινναμωμικού οξέος σε p- κουμαρικό με υδροξυλίωση.
- 4-κουμαρική-CoA λιγάση (4CL): εστεροποιεί το p- κουμαρικό προς σχηματισμό του 4-κουμαροϋλ-CoA

Τα τρία αυτά στάδια αναφέρονται ως «γενική οδός φαινυλοπροπανοειδούς». Το τελικό προϊόν, το 4-κουμαροϋλ-CoA χρησιμοποιείται με τη σειρά του ως πρόδρομος για τη βιοσύνθεση διαφόρων φαινυλοπροπανοειδών στα φυτά (Teixeira et al. 2013). Ένα μέρος των φαινυλοπροπανοειδών συντίθενται από την L-τυροσίνη. Ο μετασχηματισμός αυτός είναι περιορισμένος σε έκταση. Παράδειγμα αυτού του μετασχηματισμού είναι το 3,4-διυδροξυφαινυλλακτικό οξύ, ένας πρόδρομος του ροσμαρινικού οξέος, που συντίθεται από την οδό που προέρχεται από τυροσίνη σε ορισμένα

είδη Lamiaceae, όπως το *Salvia miltiorrhiza* (κόκκινο φασκόμηλο) (Yang et al., 2016).

Η βιοσύνθεση των φαινυλοπροπανοειδών παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Βιοχημικές οδοί παραγωγής φαινυλοπροπανοειδών (a) από L-φαινυλαλανίνη παραγωγή χαλκονών, φλαβονών και ισοφλαβονών, καθώς και φλαβονοειδών (b) από L φαινυλαλανίνη και L τυροσίνη σε ροσμαρινικό οξύ και φαινολικά οξέα

Πηγή: Yang et al., 2016

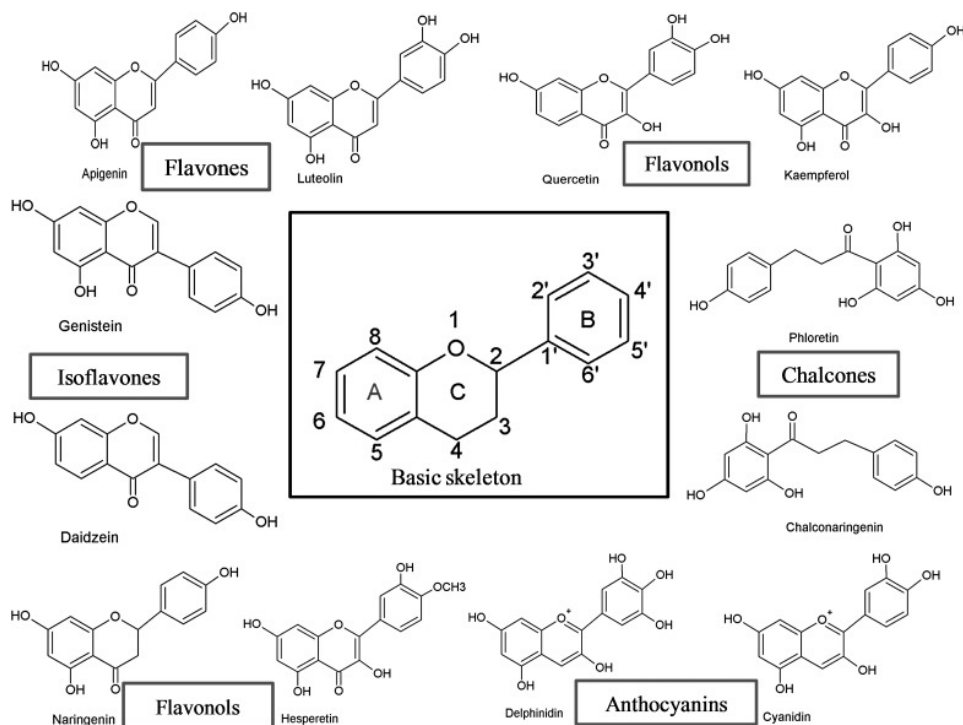
Βιολογικός ρόλος: Τα φαινυλοπροπανοειδή χρησιμεύουν ως βασικά συστατικά ενός αριθμού δομικών πολυμερών, καθώς και ως χρωστικές ενώσεις των άνθρων, ως αρωματικές ενώσεις ή ως μόρια σηματοδότησης που μεσολαβούν σε βιοαλληλεπιδράσεις. Επίσης, μπορεί να είναι φυτοαλεξίνες, δηλαδή ουσίες που παράγονται από το φυτό ως αντίδραση ή προστασία έναντι φυτοφάγων ζώων και παθογόνων μικροοργανισμών και προστατευτικά συστατικά έναντι της υπεριώδους ακτινοβολίας και άλλων αβιοτικών συνθηκών στρες (Yang et al., 2016).

Βιοδραστική ικανότητα: Σε πολλά αρωματικά φυτά, όπως τα φυτά της οικογένειας Lamiaceae, στα οποία ανήκει η ρίγανη, τα περισσότερα είδη φασκόμηλου, ο βασιλικός και το τσάι του βουνού ή της οικογένειας Asteraceae, όπως το χαμομήλι, το εστραγκόν, ορισμένα είδη φασκόμηλου και το χρυσάνθεμο, τα φαινυλοπροπανοειδή έχουν επίσης βιοδραστική ικανότητα. Έχει αποδειχθεί ότι δρουν ως αντιοξειδωτικά, ως αναγωγικοί παράγοντες για τις ελεύθερες ρίζες (δέσμευση ελεύθερων ριζών- free radical scavengers), αντιφλεγμονώδεις και αντικαρκινικές ενώσεις (Yang et al., 2016).

2.3.1 Φλαβονοειδείς ενώσεις

Τα φλαβονοειδή είναι μία εξαιρετικά ποικιλόμορφη κατηγορία δευτερογενών μεταβολιτών που αποτελείται από περισσότερες από 9.000 χημικές δομές (Yang et al., 2016). Βρίσκονται σε διάφορα είδη φυτών, όπως φρούτα, λαχανικά, τσάι και εντοπίζονται σε πολλά διαφορετικά μέρη του φυτού, όπως άνθη, ρίζα, καρπός, κοτσάνια (Panche et al, 2016).

Ταξινόμηση: Με βάση τον πυρήνα της αγλυκόνης, γενικά ομαδοποιούνται περαιτέρω σε φλαβανόνες, φλαβόνες, φλαβονόλες, ισοφλαβονοειδή, ανθοκυανίνες και προανθοκυανιδίνες (Εικόνα 4). Τα φλαβονοειδή είναι παράγωγα της 1,3-διφαινυλπροπαν-1-όνης (C6-C3-C6), η οποία προέρχεται από τη συμπύκνωση τριών μορίων μηλονυλ-CoA με ένα p-κουμαροϋλ-CoA για να σχηματιστεί ένα ενδιάμεσο χαλκόνης. Η ισομεράση της χαλκόνης μετατρέπει τη χαλκόνη σε φλαβονόνες και αντίστοιχα ένζυμα μετατρέπουν τις φλαβονόνες σε διάφορες φλαβόνες, ισοφλαβόνες, διϋδροφλαβονόλες, φλαβονόλες και ανθοκυανιδίνες (Yang et al., 2016).



Εικόνα 4: Βασικός σκελετός φλαβονοειδών ενώσεων και προκύπτουσες κατηγορίες χημικών ενώσεων

Πηγή: Panche et al., 2017

2.3.1.1 Φλαβόνες (Flavones)

Φυσική προέλευση: Οι φλαβόνες είναι μία υποομάδα των φλαβονοειδών ενώσεων, ιδιαίτερα σημαντική. Εντοπίζονται σε διάφορα μέρη του φυτού, όπως φύλλα, άνθη και καρπούς. Συνήθως είναι ενωμένες με μόρια σακχάρων, σχηματίζοντας γλυκοζίτες. Ορισμένα φυτά που περιέχουν σημαντική ποσότητα φλαβονών είναι: το σέλινο, ο μαϊντανός, οι κόκκινες πιπεριές, το χαμομήλι, η μέντα και το ginkgo biloba. Στις φλαβόνες ανήκουν επίσης η λουτεολίνη (luteolin), η απιγενίνη (apigenin) (Εικόνα 4) και η τανγκεριτίνη (tangeritin) (Panche et al., 2017).

Χημική δομή: Πρόκειται για μία ομάδα ενώσεων που στο βασικό σκελετό C6-C3-C6 φέρουν διπλό δεσμό μεταξύ των θέσεων 2 και 3 και μια κετόνη στη θέση 4 του δακτυλίου C. Οι περισσότερες φλαβόνες παρουσιάζουν, επίσης, μια ομάδα υδροξυλίου (-OH) στη θέση 5 του δακτυλίου A, ενώ μπορεί να έχουν υποστεί υδροξυλίωση και σε άλλες θέσεις, όπως στη θέση 7 του δακτυλίου A ή 3' και 4' του δακτυλίου B (Εικόνα 4). Η θέση και ο αριθμός των -OH μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το φυτό από το οποίο προέρχονται (Panche et al., 2017).

Βιολογική δράση: Οι φλαβόνες είναι οι κύριες χρωστικές που χρησιμοποιούνται σε λευκά και κρεμ άνθη, καθώς και στα μπλε άνθη μαζί με ανθοκυανίνες. Προστατεύουν τα φυτά από έντομα και μυκητιακές ασθένειες, αλλά και από την υπεριώδη ακτινοβολία UVB (290-320 nm), καθώς απορροφούν στην περιοχή 280 – 315 nm. Όταν καταναλώνονται από τον άνθρωπο, μία μικρή ποσότητα μόνο ποσότητα απορροφάται από τον οργανισμό (Hostetler et al., 2017). Μελέτες έχουν δείξει ότι οι φλαβόνες παρουσιάζουν αντιοξειδωτική δράση και αντιφλεγμονώδη δράση (Misra & Parshad, 2000), μειώνουν την HDL χοληστερόλη (εκχύλισμα από φύλλα αγκινάρας – Bundy et al., 2008), συμβάλλουν, επίσης, στη μείωση της αιμορραγίας και την επούλωση των πληγών (Guilhou et al., 1997, Misra & Parshad, 2000).

2.3.1.2 Φλαβονόλες (flavonols)

Φυσική προέλευση: Οι φλαβονόλες υπάρχουν σε αφθονία σε αρκετά φυτά. Οι πιο μελετημένες είναι η καμφερόλη, η κερσετίνη, η μυρικετίνη (περιέχεται στον μαϊντανό) και η φισετίνη. Πλούσιες πηγές φλαβονολών αποτελούν πολλά φρούτα και λαχανικά, όπως τα κρεμμύδια, το λάχανο, το μαρούλι, οι ντομάτες, τα μήλα, τα σταφύλια και τα μούρα, αλλά και το τσάι και το κόκκινο κρασί (Panche et al., 2017).

Χημική δομή: Οι φλαβονόλες είναι φλαβονοειδείς ενώσεις με παρόμοια δομή με τις φλαβόνες και -OH στη θέση 3 του δακτυλίου C (Εικόνα 4). Στη θέση αυτή μπορεί να συνδεθεί και μόριο σακχάρου (γλυκοζυλίωση). Αποτελούν τα κύρια δομικά στοιχεία των προανθοκυανινών. Ο αριθμός αυτών των ενώσεων είναι μεγάλος, καθώς με τη βοήθεια της μεθυλίωσης και της υδροξυλίωσης αυξάνονται πολύ οι δυνατές δομές που μπορούν να λάβουν αυτές οι ενώσεις (Panche et al., 2017).

Βιολογική δράση: Η πρόσληψη φλαβονολών από τον άνθρωπο σύμφωνα με τις έρευνες έχει συσχετιστεί με ευεργετικές δράσεις για την ανθρώπινη υγεία, όπως, για παράδειγμα, το αυξημένο αντιοξειδωτικό δυναμικό και ο μειωμένος κίνδυνος αγγειακής νόσου (Panche et al., 2017).

2.3.1.3 Φλαβανόνες (flavanones)

Φυσική προέλευση: Οι φλαβανόνες (flavanones) είναι μία κατηγορία φλαβονοειδών ενώσεων, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στον καρπό των εσπεριδοειδών, για παράδειγμα σε πορτοκάλια και λεμόνια, αλλά και σε καρπούς, όπως τα σταφύλια. Η εσπεριτίνη, η ναριγγενίνη (Εικόνα 4) και η εριοδικτυόλη ανήκουν στις φλαβανόνες. Οι φλαβανόνες είναι ενώσεις οι οποίες προσδίδουν πικρή γεύση στο χυμό και τη φλούδα των εσπεριδοειδών (Panche et al., 2017).

Χημική δομή: Οι φλαβανόνες, οι οποίες είναι γνωστές και ως διυδροφλαβόνες, έχουν τον δακτύλιο C κορεσμένο. Δομικά οι υποομάδες φλαβονοειδών, φλαβανόνες-φλαβόνες διαφέρουν στην ύπαρξη διπλού δεσμού ανάμεσα στους άνθρακες θέσεις 2 και 3 στο μόριο των φλαβονών. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει σημειωθεί σημαντική αύξηση στον αριθμό των διαφορετικών δομών φλαβανονών που έχουν εντοπισθεί (Panche et al., 2017).

Βιολογική δράση: Η κατανάλωση φλαβονονών θεωρείται ότι συμβάλλει στη διατήρηση της ανθρώπινης υγείας. Διαθέτουν αντιοξειδωτική δράση, καθώς δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες. Επίσης, εμφανίζουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και αποτελούν παράγοντες μείωσης των λιπιδίων του αίματος και της χοληστερόλης (Panche et al., 2017).

2.3.1.4 Ισοφλαβόνες (isoflavones)

Φυσική προέλευση: Οι ισοφλαβόνες (isoflavones) είναι μια πολυπληθής υποομάδα φλαβονοειδών ενώσεων. Συναντώνται σε αφθονία κυρίως στη σόγια, στο κόκκινο τριφύλλι (red clover) και σε άλλα όσπρια. Επίσης, υπάρχουν αναφορές ότι παράγονται και από μικροοργανισμούς (Desmawati & Sulastri, 2019).

Χημική δομή: Η κύρια δομική διαφορά των ισοφλαβονών με τις υπόλοιπες φλαβονοειδείς ενώσεις είναι ότι έχουν τον δακτύλιο B στη θέση 3 του δακτυλίου C, αντί για τη θέση 2 (Εικόνα 4).

Βιολογικός ρόλος: Σύμφωνα με έρευνες, θεωρείται ότι λειτουργούν ως πρόδρομες ουσίες για την ανάπτυξη φυτοαλεξινών, σε περίπτωση προσβολής του φυτού από παθογόνους μικροοργανισμούς. Επίσης, η κατανάλωσή τους από τον άνθρωπο παρουσιάζει δυνητικά θετικά αποτελέσματα για την

καταπολέμηση μιας σειράς ασθενειών. Ορισμένες ισοφλαβόνες, όπως η γενιστεΐνη και η δαΐδζεΐνη, θεωρείται ότι ανήκουν στην κατηγορία των φυτοοιστρογόνων, καθώς έχουν παρουσιάσει οιστρογονική δράση σε ορισμένα ζωικά μοντέλα. Θεωρείται ότι μία ημερήσια ποσότητα 40-70 mg φυτοοιστρογόνων μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στην υγεία. Στις ασιατικές κοινωνίες η μέση κατανάλωση ισοφλαβονών κυμαίνεται από 15 ως 50 mg την ημέρα, ενώ στις δυτικές χώρες μόνο περίπου 2 mg την ημέρα (Desmawati & Sulastri, 2019).

2.3.1.5 Φλαβανόλες ή κατεχίνες

Φυσική προέλευση: Οι φλαβανόλες βρίσκονται σε αφθονία στις μπανάνες, τα μήλα, τα βατόμουρα, τα ροδάκινα και τα αχλάδια.

Χημική δομή: Οι φλαβανονόλες ή φλαβαν-3-όλες ή δυδροφλαβονόλες ή κατεχίνες σχηματίζονται από την παρουσία ενός υδροξυλίου -OH στη θέση 3 του μορίου των φλαβανονών (Εικόνα 4).

Βιολογική δράση: Πρόκειται για ενώσεις με αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη δράση (Desmawati & Sulastri, 2019).

2.3.1.6 Ανθοκυανίνες (*anthocyanins*)

Φυσική προέλευση: Οι ανθοκυανίνες είναι χρωστικές ενώσεις. Είναι αυτές που καθορίζουν συχνά τα διαφορετικά χρώματα των φυτών, των άνθων και των καρπών. Οι ανθοκυανίνες που έχουν μελετηθεί περισσότερο είναι οι ανθοκυανίνες που συναντώνται στα κύτταρα του φλοιού καρπών όπως οι μαύρες σταφίδες, τα ερυθρά σταφύλια, τα σμέουρα, οι φράουλες, τα βατόμουρα, τα μύρτιλλα και τα βατόμουρα: η κυανιδίνη, η δελφινιδίνη, η μαλβιδίνη, η πελαργονιδίνη και η παιονιδίνη. (Desmawati & Sulastri, 2019).

Χημική δομή: Το χρώμα της ανθοκυανίνης οφείλεται στην παρουσία συζυγών διπλών δεσμών και μεταβάλλεται ανάλογα το pH ή επίσης από μεθυλίωση ή ακυλίωση που μπορεί να συντελεστεί στις διαφορετικές ομάδες υδροξυλίου των A και B δακτυλίων (Εικόνα 4) (Desmawati & Sulastri, 2019).

Βιολογικός ρόλος: Οι ανθοκυανίνες είναι βιοδραστικές ενώσεις με αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις επιδράσεις, που δρουν προστατευτικά έναντι της ανάπτυξης χρόνιων ασθενειών, που σχετίζονται με τις παθήσεις του

καρδιαγγειακού συστήματος, τον καρκίνο και με νευροεκφυλιστικές νόσους των οφθαλμών (Salehi et al., 2020). Πρόκειται για σταθερές ενώσεις με σαφή και επιστημονικά αποδεδειγμένο βιολογικό ρόλο που ασκούν θετική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, οπότε κατά συνέπεια θεωρούνται κατάλληλες για τη βιομηχανία τροφίμων, όπου βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές (Desmawati & Sulastri, 2019).

2.3.1.7 Χαλκόνες (*chalcones*)

Χημική δομή: Οι χαλκόνες είναι μια υποομάδα των φλαβονοειδών ενώσεων. Η δομή των ενώσεων αυτών χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι ο δακτύλιος C της βασικής δομής του σκελετού των φλαβονοειδών απουσιάζει. Λόγω αυτής της ιδιοτυπίας, συχνά αναφέρονται ως φλαβονοειδή ανοιχτής αλυσίδας. Τα κυριότερα παραδείγματα χαλκονών περιλαμβάνουν τη χλωριτζίνη, την αρμπουτίνη, τη φλορετίνη και τη χαλκοναρινγκενίνη.

Φυσική προέλευση: Οι χαλκόνες είναι συστατικά της ντομάτας, του αχλαδιού, της φράουλας, των μούρων και ορισμένων προϊόντων σιταριού.

Βιολογικός ρόλος: Πρόκειται για μία ομάδα ενώσεων που έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας λόγω των πολυάριθμων θρεπτικών και βιολογικών οφελών που θεωρείται ότι παρουσιάζουν.

2.3.2 Φαινολικά οξέα

Χημική δομή: Τα φαινολικά οξέα χημικά έχουν τουλάχιστον έναν αρωματικό δακτύλιο που διαθέτει από μία ομάδα υδροξυλίου (-OH). Διακρίνονται σε παράγωγα του υδροξυβενζοϊκού οξέος (C6-C1) και σε παράγωγα του υδροξυκινναμωμικού οξέος (C6-C3), που προέρχονται από τα μόρια του βενζοϊκού και κινναμωμικού οξέος αντίστοιχα. Συντίθενται από από τη βιοσυνθετική οδό του σικιμικού οξέος, στην οποία η L-φαινυλαλανίνη ή η L-τυροσίνη είναι οι πρόδρομες ενώσεις (Vuolo et al., 2019).

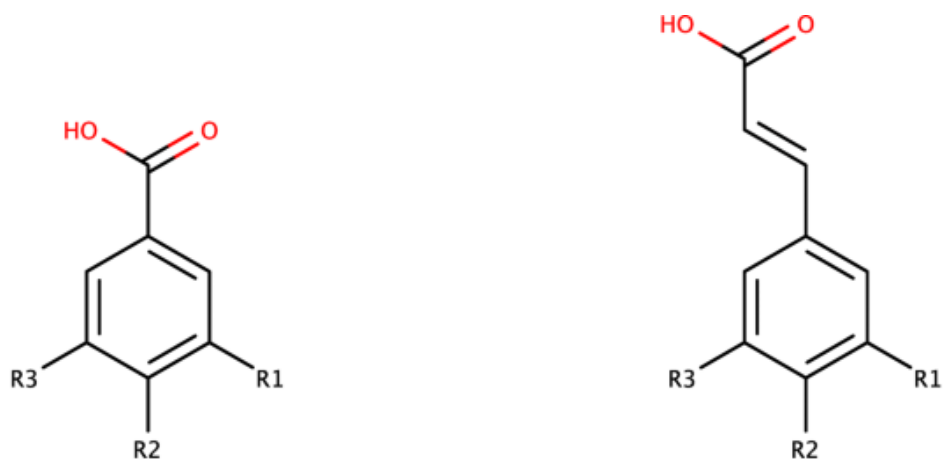
Τα παράγωγα του υδροξυβενζοϊκού οξέος είναι το σαλικυλικό οξύ, το 4-υδροξυβενζοϊκό οξύ, το πρωτοκατεχικό οξύ, το γεντασικό οξύ, το βανιλικό οξύ, το συριγγικό οξύ, το γαλλικό οξύ, το ελαγικό οξύ και το εξαϋδροξυδιφαινικό οξύ

(διλακτόνη ελαγικού οξέος) (Εικόνα 5). Τα παράγωγα του υδροξυκινναμωμικού οξέος έχουν τη βασική δομή C6 – C3, με διπλό δεσμό στην πλευρική αλυσίδα που μπορεί να έχει διαμόρφωση cis ή trans (Εικόνα 5).

Φυσική προέλευση: Είναι παρόντα στα φυτικά τρόφιμα ως προϊόντα σύζευξης, ενώ μπορούν να είναι ελεύθερα σε ορισμένα φρούτα (π.χ. γαλλικό οξύ σε λωτό) ή μπορούν να απελευθερωθούν κατά την επεξεργασία φρούτων ή λαχανικών. Ένα παράδειγμα συζευγμένων παραγώγων του υδροξυβενζοϊκού οξέος είναι το γαλλικό οξύ, το οποίο μπορεί να είναι διμερές, τριμερές ή τετραμερές (ελαγικό οξύ, τριγαλλικό οξύ και γαλαγικό οξύ, αντίστοιχα). Οι κύριες πηγές τροφίμων αυτών των ενώσεων είναι φρούτα, λαχανικά, τσάγια και δημητριακά. Το ελαγικό οξύ βρίσκεται στα βατόμουρα και της φράουλες. Το σαλικυλικό οξύ μπορεί να βρεθεί σε βερίκοκο, βατόμουρο και μαύρο τσάι, το γεντισικό οξύ υπάρχει στα εσπεριδοειδή και σταφύλια, το γαλλικό οξύ υπάρχει σε μια ποικιλία τσαγιών, συμπεριλαμβανομένων των ιαπωνικών και κινεζικών, πράσινων και μαύρων ποικιλιών (Vuolo et al.,2019).

Σε τρόφιμα συνήθως εμφανίζονται ως μονομερή, διμερή ή πολυμερή. Οι κύριες διατροφικές πηγές παραγώγων υδροξυκινναμωμικού οξέος είναι φρούτα, μήλα, κεράσια, διάφορα μούρα, ροδάκινα, δαμάσκηνα και μερικά εσπεριδοειδή. Σε μεγαλύτερο ποσοστό (75-100%) στα φρούτα συναντώνται το καφεϊκό οξύ και το p-κουμαρικό οξύ. Το καφεϊκό οξύ βρίσκεται στον καφέ, το βατόμουρο, το σταφύλι, το αχλάδι, το βακκίνιο, το μήλο και το πορτοκάλι. Για το κουμαρικό οξύ οι κύριες πηγές φρούτων είναι σταφύλια, κεράσια και φράουλα (Vuolo et al.,2019).

Βιολογικός ρόλος: Τα παράγωγα του υδροξυκινναμωμικού οξέος σύμφωνα με τα επιστημονικά δεδομένα φαίνεται ότι ασκούν θετική επίδραση στην αντιμετώπιση της παχυσαρκίας, δρουν προστατευτικά στην αποφυγή εμφάνισης χρόνιων νόσων όπως καρδιαγγειακών παθήσεων και σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 και παρουσιάζουν ορισμένες αντιοξειδωτική και νευροπροστατευτική δράση (Bento-Silva et al., 2019).



1, R1 = R2 = R3 = H, Benzoic acid

2, R1 = R2 = R3 = OH, Gallic acid

3, R1 = R2 = OH, R3 = H, Protocatechuic acid

4, R1 = R3 = H, R2 = OH, *p*-Hydroxybenzoic acid

5, R1 = OCH₃, R2 = OH, R3 = H, Vanillic acid

6, R1 = R2 = R3 = H, Cinnamic acid

7, R1 = R2 = OH, R3 = H, Caffeic acid

8, R1 = R3 = H, R2 = OH, *p*-Coumaric acid

9, R1 = OCH₃, R2 = OH, R3 = H, Ferulic acid

10, R1 = R3 = OCH₃, R2 = OH, Sinapic acid

Εικόνα 5: Δομές βενζοϊκού και κινναμωμικού οξέος (1) και παράγωγα υδροξυβενζοϊκών και υδροξυκινναμωμικών οξέων

Πηγή: Bento-Silva et al., 2019

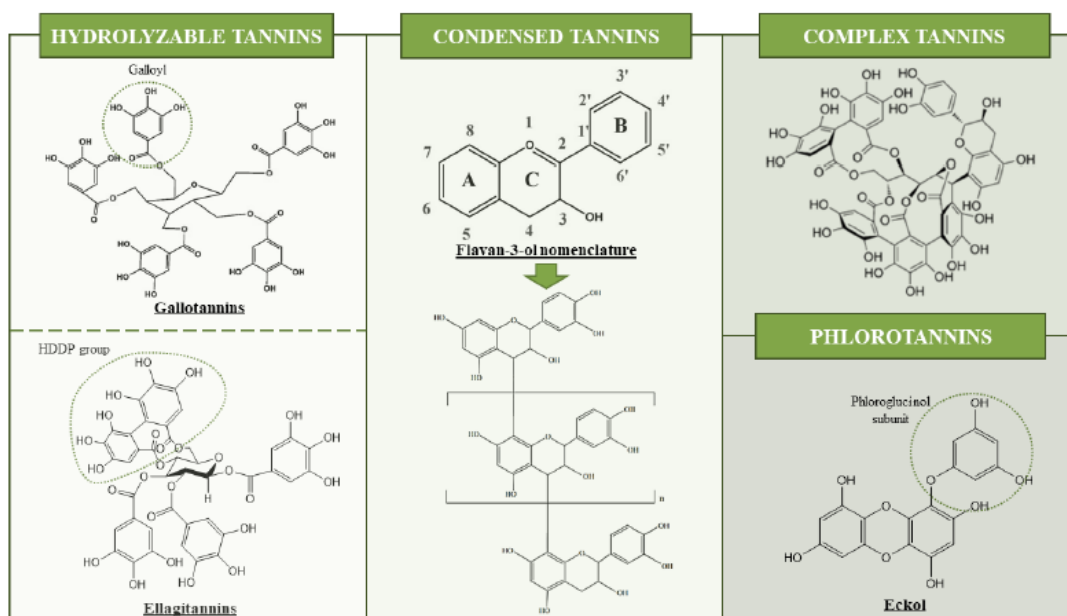
2.4 Ταννίνες (tannins)

Προέλευση: Οι ταννίνες (tannins) είναι δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών που παράγονται συνήθως ως αποτέλεσμα στρες και ασκούν αμυντική δράση έναντι άλλων οργανισμών και περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η ξηρασία, και προστατευτικό ρόλο, συμπεριλαμβανόμενης της φωτοπροστασίας έναντι των ακτινών UV και των ελεύθερων ριζών. Πρόκειται για ενώσεις με μοριακά βάρη μεταξύ 500 Da και 20.000 Da και πολύ διαφορετικές χημικές δομές (Fraga-Corral et al., 2021)

Δράση-Χρήση: Αν και οι ταννίνες έχουν συνδεθεί με ορισμένες δυσάρεστες οργανοληπτικές ιδιότητες, όπως η στυφότητα (π.χ. στην αγκινάρα), θεωρείται ότι ασκούν ευεργετική δράση στον ανθρώπινο οργανισμό. Ορισμένες από τις ιδιότητες που διαθέτουν είναι ότι, μεταξύ άλλων, παρουσιάζουν αντιοξειδωτική, καρδιοπροστατευτική, αντιμικροβιακή ή/και αντιφλεγμονώδη δράση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν φυσικά πρόσθετα στα τρόφιμα, με σκοπό να βελτιστοποιήσουν τη διατηρησιμότητα των προϊόντων. Έτσι, βρίσκουν εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων, σε διατροφικά και φαρμακευτικά προϊόντα. Επίσης, μεταξύ πολλών άλλων εφαρμογών έχουν

χρησιμοποιηθεί ως κόλλες και υλικά επικάλυψης, αφροί ή προσροφητικά μέσα, (Fraga-Corral et al.,2021).

Χημική δομή : Οι τανίνες ταξινομούνται ιστορικά σε υδρολύσιμες (hydrolyzable) και συμπυκνωμένες (condensed) ταννίνες. Οι ενώσεις της δεύτερης κατηγορίας ονομάζονται και προανθοκυανιδίνες. Η καλύτερη προσέγγιση των χημικών χαρακτηριστικών και των δομικών ιδιοτήτων των τανινών, οδήγησε σε μία διαφορετική ομαδοποίηση σε γαλλοταννίνες (gallotannins), ελαγγιταννίνες (ellagitannins), σύνθετες ταννίνες (complex tannins) και φλοροταννίνες (phlorotannins) (Εικόνα 6) (Fraga-Corral et al.,2021).



Εικόνα 6: Ταξινόμηση ταννινών ανάλογα με τη δομή της. Οι λειτουργικές ομάδες είναι σε κύκλο

Πηγή: Fraga-Corral et al.,2021

2.5 Κουμαρίνες (coumarins)

Προέλευση : Οι κουμαρίνες (coumarins) είναι ενώσεις διαδεδομένες σε ολόκληρο το φυτικό βασίλειο. Βρίσκονται σε διάφορες φυτικές πηγές, όπως τα λαχανικά, μπαχαρικά, φρούτα και φαρμακευτικά φυτά, καθώς και σε όλα τα μέρη των φυτών, όπως οι καρποί, οι ρίζες, οι μίσχοι και τα φύλλα. Συναντώνται

σε υψηλές συγκεντρώσεις σε ορισμένους τύπους κανέλας, οι οποίες αποτελούν την πιο συχνή πηγή πρόσληψης για τον άνθρωπο (Lončar et al., 2020).

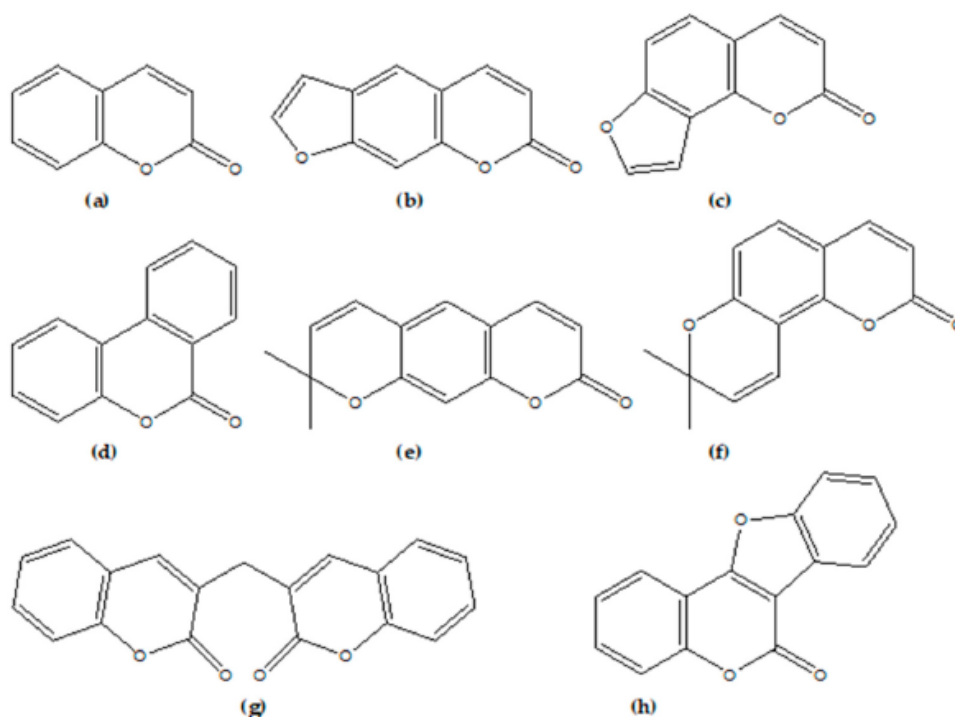
Το όνομα «κουμαρίνη» προέρχεται από ένα γαλλικό όρο «Coumarou» για το φασόλι Tonka (*Dipteryx odorata*), από το οποίο αρχικά ο Vogel το 1820 απομόνωσε την κουμαρίνη. Αργότερα, κουμαρίνες βρέθηκαν της και σε πολλά άλλα φυτά της όπως το γάλιο το αρωματικό (woodruff), το γλυκό τριφύλλι (*Melilotus officinalis*), η κανέλα, καθώς και η φράουλα, η μαύρη σταφίδα, το βερίκοκο και το κεράσι. Στη φύση, η κουμαρίνη και τα παράγωγα της μπορούν να βρεθούν σε ελεύθερη μορφή ή συζευγμένα με άλλα μόρια ως γλυκοζίτες (Lončar et al., 2020).

Οι οικογένειες Apiaceae, Asteraceae, Fabiaceae, Moraceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Solanaceae είναι οι κυριότερες πηγές κουμαρινών (Patel & Patel, 2016).

Οι κουμαρίνες ως δευτερογενείς μεταβολίτες προστατεύουν τα φυτά από παθογόνα. Δρουν ως αντιοξειδωτικά, ως ενζυμικοί αναστολείς και πρόδρομες τοξικές ουσίες. Εμπλέκονται στη δραστηριότητα των φυτικών ορμονών και ρυθμιστών της ανάπτυξης του φυτού, στον έλεγχο της αναπνοής και της φωτοσύνθεσης (Lončar et al., 2020).

Χημική δομή : Οι κουμαρίνες (1,2-βενζοπυρόνες ή 2^H-1-βενζοπυραν-2-όνες) αντιπροσωπεύουν μια σημαντική οικογένεια φυσικών ενώσεων βενζοπυρόνης, οι οποίες αποτελούνται από δακτύλιο βενζολίου συνδεδεμένο με δακτύλιο πυρόνης (βενζο-α-πυρόνες). Οι φυσικές κουμαρίνες μπορούν να χωριστούν σε έξι βασικές ομάδες ως εξής: απλές κουμαρίνες, φουρανοκουμαρίνες, πυρανοκουμαρίνες, δικουμαρίνες, βενζοκουμαρίνες και κουμεστάνες (Εικόνα 7) (Lončar et al., 2020).

Εφαρμογή – Χρήση : Η κουμαρίνη και τα παράγωγά της διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα βιολογικών ιδιοτήτων που εξαρτώνται κυρίως από τη χημική δομή της. Για το λόγο αυτό, έχουν εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα φαρμακολογικών εφαρμογών της ως αντιμικροβιακοί παράγοντες, αντιοξειδωτικά, αντιφλεγμονώδη, παράγοντες κατά του HIV, αντικαρκινικοί παράγοντες, αντιπηκτικά, αντιικά και για την καταπολέμηση της φυματίωσης. Έχουν βρει εφαρμογή στην παραγωγή φαρμάκων, καλλυντικών, αγροχημικών προϊόντων και στη βιομηχανία τροφίμων (Lončar et al., 2020).



Εικόνα 7: Έξι βασικές κατηγορίες κουμαρινών (a) απλές κουμαρίνες (b)φουρανοκουμαρίνες (γραμμικού τύπου) (c)φουρανοκουμαρίνες (γωνιαίου τύπου) (d) βενζουκουμαρίνες της πυρανοκουμαρίνες (γραμμικού τύπου) (f)πυρανοκουμαρίνες (γωνιαίου τύπου) (g)δικουμαρίνες (h) κουμενστάνες

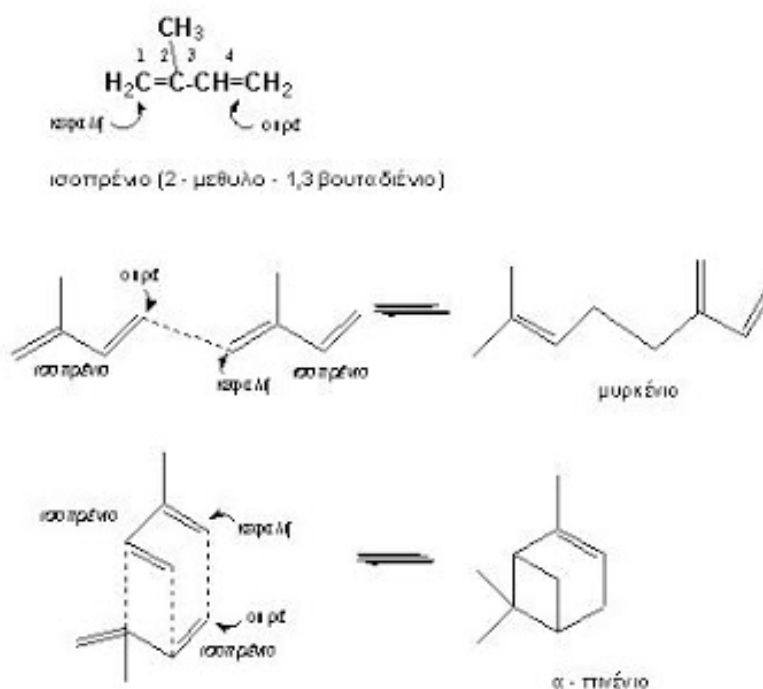
Πηγή: Lončar et al., 2020

2.6 Τερπενοειδείς ενώσεις

Τα τερπένια και οι τερπενοειδείς ενώσεις είναι μία πολυπληθής ομάδα οργανικών ενώσεων, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές και ποικιλομορφία ως προς τη δομή τους. Ορισμένες από αυτές τις ενώσεις αποτελούνται μόνο από άτομα C και H (υδρογονάνθρακες), άλλες περιέχουν άτομα οξυγόνου, άλλες είναι αλειφατικές και άλλα περιέχουν δακτυλίους. Τα αιθέρια έλαια αποτελούνται σε ποσοστό 85-99% από πτητικά συστατικά, που είναι μίγμα τερπενικών, τερπενοειδών και άλλων αρωματικών και αλειφατικών ενώσεων (Chatzoroulou et al., 2010).

Ωστόσο, παρά τις διαφορές που παρουσιάζουν στη δομή τους, όλα τα τερπένια σχετίζονται το ένα με το άλλο. Ο Leopold Ruzicka πρότεινε τον κανόνα του ισοπροπενίου, ο οποίος θεωρεί ότι η προέλευση των τερπενίων είναι από μόρια ισοπρενίου (2-μεθυλο-1,3-βουταδιένιο), τα οποία συνενώνονται κεφαλή – ουρά. Ο C-1 καλείται «κεφαλή» του μορίου ισοπρενίου, ενώ ο C-4 καλείται

«ουρά». Στην εικόνα 8, δίνονται δύο παραδείγματα σχηματισμού τερπενικών ενώσεων, του μυρκένιου που σχηματίζεται από δύο μόρια ισοπρενίου ενωμένα κεφαλή-ουρά. Από τη σύνδεση αυτή σχηματίζεται ένα μόριο που φέρει ανθρακική αλυσίδα οκτώ ατόμων άνθρακα και με δύο μεθυλομάδες (-CH₃) στις θέσεις 3 και 6. Στη συνέχεια ο διπλός δεσμός από την κύρια ανθρακική αλυσίδα μεταξύ του C-3 και C-4, μετατοπίζεται στην διακλάδωση της θέσης C-3 και σχηματίζεται το μυρκένιο.



Εικόνα 8: Δομή και χημική σύνθεση τερπενίων

Πηγή: McMurry, 2010

Κατά τη σύνθεση των κυκλικών τερπενίων, μπορούν να σχηματιστούν δακτύλιο πενταμελείς ή εξαμελείς. συντεθούν κυκλικά τερπένια. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν επιπρόσθετες συνδέσεις μεταξύ των μονάδων του ισοπροπενίου. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 8, το α-πινένιο προέρχεται από την ένωση δύο ισοπρενικών μονάδων που έχουν σχηματίζει μία περίπλοκη σύνδεση μεταξύ κεφαλής- ουράς, αλλά και ταυτόχρονα μεταξύ των υπολοίπων ανθράκων των αρχικών μορίων.

Ένας τρόπος ταξινόμησης των τερπενίων είναι ανάλογα με τον αριθμό των ισοπρενίων που συμμετέχουν στον σχηματισμό τους (πίνακας 5). Έτσι,

διαχωρίζονται σε μονοτερπένια που έχουν 10 άτομα άνθρακα και αποτελούν το προϊόν της βιοσύνθεσης δύο μονάδων ισοπρενίου ή τα διτερπένια με 20 άτομα άνθρακα και σχηματίζονται από 4 μονάδες ισοπρενίου κ.λπ. (Κατσιώτης & Χατζοπούλου, 2019).

Πίνακας 5: Ταξινόμηση τερπενίων

Ταξινόμηση	Μονάδες ισοπρενίου	Άτομα άνθρακα
Μονοτερπένια	2	C ₁₀
Σεσκιτερπένια	3	C ₁₅
Διτερπένια	4	C ₂₀
Σεστερτεπένια	5	C ₂₅
Τριτερπένια	6	C ₃₀
Τετρατερπένια	8	C ₄₀

Πηγή: McMurry, 2010

Τέλος, σημειώνεται πως συνήθως τα μονοτερπένια και τα σεσκιτερπένια είναι συστατικά κυρίως των φυτών, ενώ τα τερπένια με τις περισσότερες μονάδες ισοπρενίου, εκτός από τα φυτά, απαντώνται και σε μέλη του ζωικού βασιλείου (Μάρας, 2011).

2.7 Βιολογική δράση συστατικών αρωματικών φυτών

Στον πίνακα 6, δίνονται ορισμένα παραδείγματα όπου ενώσεις που απομονώθηκαν από φυτά και παραπροϊόντα τους εφαρμόστηκαν σε δοκιμές και παρουσίασαν βιολογική δράση.

Πίνακας 6: Παραδείγματα ενώσεων φυτών και παραπροϊόντων, που διαθέτουν βιολογική δράση

Φυτά και παραπροϊόντα φυτών	Κατηγορία ενώσεων	Ενώσεις	Κατηγορία ενώσεων - Βιολογική δράση	Αναφορά
Μίσχοι (παραπροϊόν επεξεργασίας) Satureja	Τερπενοειδείς ενώσεις	Μονοτερπενοειδή (84,4% εκ των οποίων 5% καρβακρόλη)	Αντιμικροβιακή δράση	Santos et al., 2019

montana (θρούμπι)		Σεσκιτερπενοειδή (0,3 – 0,5%)		
Λεπτή σκόνη <i>Salvia officinalis</i> L (φασκόμηλο) υπόλειμμα από εργοστάσιο τσαγιού - φίλτρου.	Φαινολικά οξέα	Καφεϊκό οξύ p- κουμαρικό οξύ φερουλικό οξύ ροσμαρινικό οξύ	Καλή αντιοξειδωτική δράση ανάλογη της ποσότητας των εκχυλιζόμενων φαινολικών ουσιών	Zekovic et al., 2017
Κέλυφος κόκκων <i>Theobroma cacao</i> L. (κακάο)	Πολυφαινόλες - Κατεχίνες	(-)-επικατεχίνη (+)- κατεχίνη Επικατεχίνη- (4β→8)-κατεχίνη Επικατεχίνη- (4β→8)-επικατεχίνη	Αντιοξειδωτική και αντιγηραντική δράση	Soares & Oliveira, 2022
Παραπροϊόν του τσαγιού <i>Rosa rugosa</i> <i>Thunb. var.</i> <i>plena</i>	Τερπενοειδείς αλκοόλες Ανώτερες μονοσθενείς αλκοόλες	Λιναλοόλη Κιτρονελλόλη Φαινυλαιθανόλη	Αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική δράση Λεύκανση δέρματος	Ren et al, 2018
Φύλλα και μίσχοι από δεντρολίβανο και θυμάρι	Φαινολικές ενώσεις, τερπένια	Ροσμαρινικό οξύ (κυρίως θυμάρι) Καρνοσόλη, ροσμανόλη (δεντρολίβανο)	Αντιοξειδωτική δράση	Tzima et al., 2021

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΑΙΘΕΡΙΑ ΕΛΑΙΑ

3.1 Ορισμός αιθέριων ελαίων

Σύμφωνα με τον Hergreaves (1975), ως αρωματικά αιθέρια έλαια ορίζονται οι αρωματικές πτητικές ουσίες, οι οποίες έχουν την ικανότητα να διαλύονται στην αιθανόλη, παρουσιάζουν μικρότερη διαλυτότητα στο νερό και στο μεγαλύτερο ποσοστό τους αποτελούνται από εστέρες, αλδεΐδες, κετόνες και τερπένια. Παράγονται με την βοήθεια διαφόρων ενζυμικών αντιδράσεων και το διακριτό άρωμα που παρουσιάζει κάθε αιθέριο έλαιο είναι σύνθεση των διαφορετικών συστατικών του. Σε αρκετές περιπτώσεις, ωστόσο, ένα συστατικό που περιέχεται σε ποσότητα ακόμη και μικρότερη του 1% μπορεί να διαφοροποιήσει ή και να αλλοιώσει το χαρακτηριστικό άρωμα ενός αιθερίου ελαίου (Σκρουμπής, 1985).

Ο πρώτος που πραγματοποίησε απόσταξη ήταν ο Καταλανός γιατρός Arnald de Villanova (1235-1311), ο οποίος στη συνέχεια περιέγραψε τη διαδικασία με λεπτομέρειες. Η απόσταξη χρησιμοποιήθηκε για την παραλαβή αιθέριων ελαίων από φυτά τον 15^ο αιώνα από τον Ελβετό Bombastus Paracalsus von Honhehheim (1493-1541). Κατά την περίοδο του 18^{ου} αιώνα η απόσταξη αιθέριων ελαίων είχε ξεκινήσει να χρησιμοποιείται από πολλούς ερευνητές και φαρμακοποιούς (Σκρουμπής, 1985).

3.2 Αιθέρια έλαια αρωματικών φυτών

Η χημική σύνθεση των αιθερίων ελαίων είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό τερπενικές ενώσεις. Τα αιθέρια έλαια παράγονται σε ειδικευμένους εκκριτικούς σχηματισμούς των φυτών, όπως είναι τα ελαιοφόρα δοχεία, τα αδενώδη τοιχώματα, οι ελαιοφόροι πόροι και τα ιδιόβλαστα ελαιοκύτταρα.

Τα αιθέρια έλαια, όπως φαίνεται στον πίνακα 7, μπορούν να βρεθούν σε διάφορα μέρη ενός αρωματικού φυτού.

Πίνακας 7: Μέρη των φυτών και αιθέρια έλαια

Μέρη φυτού όπου συναντάμε αιθέρια έλαια	Παραδείγματα φυτών
Πέταλα	Τριαντάφυλλο, γιασεμί, χαμομήλι, λεβάντα
Φύλλα	Ευκάλυπτος, γεράνι, μέντα, θυμάρι, δεντρολίβανο, δίκταμος, δυόσμος, κρίταμος
Ανθισμένες κορυφές βλαστών	Δίκταμος, τσάι βουνού, λεβάντα
Ξυλώδη ιστό	Σανταλόξυλο
Καρπό	Περγαμόντο, λεμόνι, άρκευθος
Σπόροι	Μάραθος, γλυκάνισο, κρίταμος
Ρίζες	Ίρις, αγγελική
Ριζώματα	Τζίντζερ
Ρητίνες	Πεύκο, μύρο, μαστίχα
Φλοιός	Κανέλλα
Φλοιός καρπών	Πορτοκάλι, νεράντζι
Όλο το φυτό	Μέντα, ρίγανη, θυμάρι, μελισσόχορτο, θρούμπι, φασκόμηλο

Πηγή: Μαλούπα κ.α., 2013

3.3 Εφαρμογές των αιθέριων ελαίων

Η παγκόσμια αγορά των αιθέριων ελαίων γνωρίζει άνθηση και εκτιμήθηκε για το έτος 2021 ότι ανήλθε σε 10,3 δισεκατομμύρια δολάρια και έχει υπολογιστεί ότι μέσα στην επόμενη πενταετία, ως το 2026, θα αγγίξει στα 16,0

δισεκατομμύρια δολάρια (Machato et al., 2022). Οι κυριότεροι παραγωγοί αιθέριων ελαίων σε παγκόσμια κλίμακα είναι η Κίνα, η Ινδία, η Ινδονησία, η Σρι Λάνκα και το Βιετνάμ. Στην Ευρώπη, οι κυριότεροι παραγωγοί είναι η Γαλλία και η Γερμανία.

Τα αρωματικά αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία καλλυντικών, αλλά και τη φαρμακοβιομηχανία ως πολύτιμες πρώτες ύλες για την παρασκευή διαφόρων προϊόντων. Αποτελούν βασικά προϊόντα αρωματοθεραπείας, για μασάζ ή αρωματισμό του χώρου με τα κυριότερα αιθέρια έλαια να προέρχονται από τη λεβάντα, το φασκόμηλο, το χαμομήλι, ο ευκάλυπτος, το λιβάνι και το τειόδεντρο. Στην βιομηχανία τροφίμων τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται ως αρωματικές ουσίες οι οποίες προστίθενται και εμπλουτίζουν των οργανοληπτικό χαρακτήρα διαφόρων διατροφικών προϊόντων ή δρουν ως φυσικά συντηρητικά (Machato et al., 2022). Για παράδειγμα, η μέντα, το λεμόνι και το πορτοκάλι χρησιμοποιούνται για τον αρωματισμό των επιδορπίων, της καραμέλας και της σοκολάτας, τα έλαια λεβάντας και περγαμόντο εφαρμόζονται στην κατασκευή σοκολάτας, ενώ το έλαιο θυμαριού και μαντζουράνας αρωματίζουν αλμυρά φαγητά. Ως συντηρητικά αυξάνουν την διάρκεια ζωής του τροφίμου, καθώς έχουν αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική δράση (Naja et al., 2022).

3.4 Βιολογικός ρόλος αιθέριων ελαίων

Τα αιθέρια έλαια φαίνεται ότι έχουν πολλαπλό ρόλο για τα φυτά. Ορισμένες από τις δράσεις τους εικάζεται ότι είναι (Irshad et al, 2018):

- Προστατεύουν το φυτό από το ψύχος και την υψηλή θερμοκρασία. Τα αιθέρια έλαια εξατμίζονται και σχηματίζουν ένα προστατευτικό νέφος γύρω από τα φυτά.
- Αυξάνουν την ανθεκτικότητα των φυτών στην ξηρασία. Εισέρχονται στους μεσοκυττάριους χώρους και οδηγούν σε μείωση της διαπνοής.
- Βοηθούν τις θρεπτικές ουσίες να αυξήσουν την ταχύτητα με την οποία κυκλοφορούν στο φυτό και κατά συνέπεια συμμετέχουν στη ρύθμιση του μεταβολισμού των φυτών.

- Προστατεύουν τα φυτά από φυτοφάγα ζώα και παράσιτα. Το άρωμά τους αποτρέπει την βρώση των φυτών από τα ζώα και την εγκατάσταση παρασίτων στα φυτικά όργανα.
- Έχουν καταλυτική δράση στις μεταβολικές αντιδράσεις που αφορούν τους γλυκοζιτές και άλλες ουσίες.
- Προσελκύουν τα έντομα επιτυγχάνοντας έτσι να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία της γονιμοποίησης και της διασταύρωσης των φυτών που είναι μη αυτογονιμοποιημένα.
- Η ρητίνη που παράγεται από ορισμένα αειθαλή δέντρα συμβάλλει στο να καλύπτονται οι πληγές του φλοιού, με αποτέλεσμα να προστατεύονται οι φυτικοί ιστοί.

Μελέτες απέδειξαν ότι τα αιθέρια έλαια μπορούν να συμβάλουν θετικά στην υγεία των ζώων και να επιμηκύνουν τον χρόνο ζωής τους, προστατεύοντας τα από την εμφάνιση διαφόρων παθήσεων, οι οποίες ορισμένες φορές είναι θανατηφόρες (Chatzoroulou et al, 2010). Τα αιθέρια έλαια θεωρείται ότι έχουν αντιμικροβιακή, αναλγητική, ηρεμιστική, αντιφλεγμονώδη, σπασμολυτική, και τοπικά αναισθητική δράση. Στον πίνακα 8, αναφέρονται ορισμένες από τις βιολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο.

Πίνακας 8: Βιολογική επίδραση αιθερίων ελαίων στον άνθρωπο

Είδος Φυτό	Χημικές ενώσεις	Τρόπος χορήγησης	Βιολογική Δράση	Αναφορά
<i>Eucalyptus globulus</i> (ευκάλυπτος)	1,8-κινεόλη (61,46%), λιμονένιο (13,68%)	Εισπνοή, 3% (v/v) σε αμυγδαλέλαιο. Κλινική δοκιμή	Ανακούφιση από τον πόνο και μείωση της αρτηριακής πίεσης μετά από χειρουργική επέμβαση ολικής αρθροπλαστικής γόνατος	Watanabe et al., 2015
<i>Lavandula angustifolia</i> (λεβάντα)	1,8-κινεόλη Λιμονένιο (13,68)	Αεροζόλ 5-20 μl / kg σε ποντίκια	Αντιφλεγμονώδης δράση σε βρογχικό άσθμα	Ueno-Iio et al., 2014

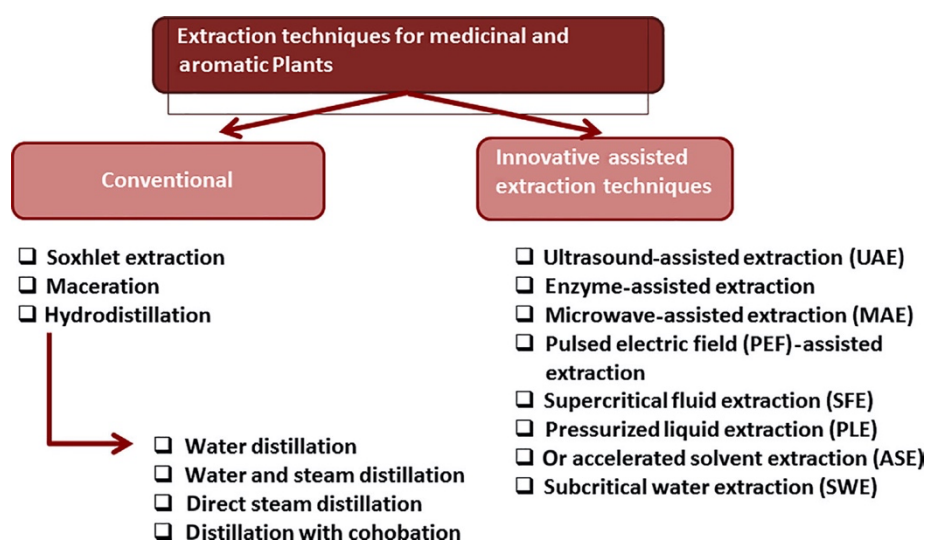
	Οξικός λιναλυεστέρας (35,35%), λιναλοόλη (33,25%) καμφορά (17,77%	Εισπνοή 2- 3 σταγόνων αιθερίων ελαίων για 15 min – κλινική δοκιμή	Θεραπεία οξείας ημικρανίας	Sasanneja d et al., 2012
<i>Mentha piperita</i> (μέντα)	Μενθόνη (17,7%) σινεόλη (6,34%) λιμονένιο (6,03%)	Εισπνοή, 0,1 mL 10 % αιθερίων ελαίων σε 10 mL νερό σε νεφελοποιητή του αναπνευστήρα / κλινική δοκιμή	Μείωση της ναυτίας και της τάσης έμετου μετά από εγχείρηση ανοικτής καρδιάς	Maghami et al., 2020

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ

4.1 Εισαγωγή στις μεθόδους παραλαβής βιοδραστικών ενώσεων και αιθερίων ελαίων

Η διαδικασία εκχύλισης αποτελεί μία μέθοδο διαχωρισμού ενός συστατικού από ένα μίγμα συστατικών. Η διαδικασία της εκχύλισης και η ποιότητα του εκχυλίσματος που παραλαμβάνεται από τα αρωματικά φυτά εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Οι κυριότεροι παράγοντες είναι: η ποιότητα της πρώτης φυτικής ύλης, η διαδικασία εκχύλισης και ο κατάλληλος εξοπλισμός, ο κατάλληλος διαλύτης καθώς και οι κατάλληλες συνθήκες εκχύλισης. Η εφαρμογή καλών πρακτικών παραγωγής κρίνεται απαραίτητη, ειδικά όταν τα εκχυλίσματα παράγονται σε βιομηχανική κλίμακα και για βιομηχανική χρήση (Manousi et al., 2019).

Στην εικόνα 9, απεικονίζονται διαγραμματικά ορισμένες από τις κυριότερες μεθόδους εκχύλισης και παραλαβής βιοδραστικών ενώσεων, συμβατικές και καινοτόμες.



Εικόνα 9: Διαδικασίες εκχύλισης για αρωματικά φυτά

Πηγή: Manousi et al., 2019

Επίσης, για την παραλαβή των αιθερίων ελαίων συνηθίζεται να εφαρμόζεται είτε όπως απόσταξη, είτε εκχύλιση, αν υπάρχουν θερμοευαίσθητα συστατικά όπως στα άνθη είτε μηχανική έκθλιψη (Σκρουμπής, 1985).

4.2 Προ-επεξεργασία δείγματος

Πριν τη διαδικασία εκχύλισης, τα αρωματικά φυτά ή τα παραπροϊόντα που προκύπτουν από την βιομηχανική επεξεργασία των αρωματικών φυτών συνηθίζεται να υποβάλλονται σε προ-επεξεργασία. Διαφορετικά μέρη φυτών μπορεί να παρέχουν διαφορετικές ομάδες ενώσεων κατά την εκχύλιση. Συνήθως για εκχύλιση μπορούν να οδηγηθούν φύλλα, φλοιοί, ρίζες, καρποί, γίγαρτα, άνθη κ.λπ. (Manousi et al., 2019)

Κατά την προ-επεξεργασία επιλέγεται αν τα φυτικά δείγματα θα χρησιμοποιηθούν νωπά ή αποξηραμένα. Σε γενικές γραμμές, τα δείγματα που έχουν αποξηρανθεί προτιμώνται. Το αποξηραμένο δείγμα διατηρείται για περισσότερο χρόνο, καθώς η μείωση της ενεργότητας νερού οδηγεί σε αναστολή ή αποτροπή της ανάπτυξης των μικροοργανισμών και σε επιβράδυνση των χημικών και ενζυμικών αντιδράσεων που μπορούν να προκαλέσουν αλλοιώσεις (Manousi et al., 2019).

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές ξήρανσης με τις πιο συνηθισμένες να είναι (Manousi et al., 2019) :

- Η ξήρανση στον αέρα.
- Η ξήρανση με τη βοήθεια μικροκυμάτων.
- Η ξήρανση σε φούρνο..
- Η λυοφιλίωση φυτικών δειγμάτων.

Σε αρκετές περιπτώσεις, επιλέγεται, επίσης κατά την προεπεξεργασία ο βαθμός μείωσης του μεγέθους των σωματιδίων του φυτικού υλικού. Το μέγεθος των σωματιδίων μπορεί να μειωθεί είτε με άλεση είτε με κονιοποίηση του δείγματος. Το μικρότερο μέγεθος σωματιδίων οδηγεί σε αύξηση της επιφάνειας επαφής μεταξύ του φυτού και του διαλύτη εκχύλισης (Majenkodunmi, 2015).

Τα δείγματα σε σκόνη προτιμώνται συγκριτικά με τα δείγματα που έχουν υποστεί άλεση, καθώς αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια και έχουν καλύτερη ομογενοποίηση. Κατά την προεπεξεργασία, η μείωση του μεγέθους του φυτικού υλικού θεωρείται ότι παίζει κρίσιμο ρόλο στην αποτελεσματικότητα της εκχύλισης. Πραγματοποιείται είτε με γουδοχέρια ή με ηλεκτρικά μπλέντερ και μύλους (Majenkodunmi, 2015).

4.3 Συμβατικές μέθοδοι εκχύλισης

4.3.1 Διαβροχή (maceration)

Κατά τη διαδικασία διαβροχής (maceration), το πλήρες ή τεμαχισμένο ακατέργαστο φυτικό υλικό τοποθετείται σε ένα δοχείο με πώμα μαζί με τον διαλύτη. Παραμένει σε συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία) για τουλάχιστον τρεις ημέρες, όπου αναδεύεται σε τακτά χρονικά διαστήματα μέχρι να διαλυθεί πλήρως η διαλυτή ύλη. Στη συνέχεια, το μίγμα στραγγίζεται, και η υγρή μάζα της δρόγης που παραμένει, συμπιέζεται. Το υγρό που προέκυψε από το στράγγισμα και το υγρό που προέκυψε από τη συμπίεση, ενώνονται και το τελικό εκχύλισμα οδηγείται σε διαύγαση είτε με διήθηση είτε με απόχυση μετά από παραμονή σε ακινησία (Majenkodunmi, 2015).

4.3.2 Χώνευση (digestion)

Η χώνευση (digestion) είναι μία διαδικασία παρόμοια με τη διαβροχή, η οποία όμως δεν πραγματοποιείται σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά εφαρμόζεται ήπια θέρμανση κατά τη διάρκεια της εκχύλισης. Ο τρόπος αυτός αυξάνει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου και χρησιμοποιείται όταν η μέτρια αυξημένη θερμοκρασία δεν πρόκειται να προκαλέσει αλλοιώσεις στη βιοδραστικά συστατικά του δείγματος (Majenkodunmi, 2015).

4.3.3 Έγχυση (infusion)

Τα φρέσκα εγχύματα, όπως τσάι, χαμομήλι ή φασκόμηλο, παρασκευάζονται με διαβροχή λίγων λεπτών του ακατέργαστου φυτικού υλικού για σύντομο χρονικό διάστημα με κρύο ή βραστό νερό. Τα διαλύματα που προκύπτουν είναι αραιά διαλύματα των ευδιάλυτων συστατικών του ακατέργαστου φυτικού υλικού (Majenkodunmi, 2015).

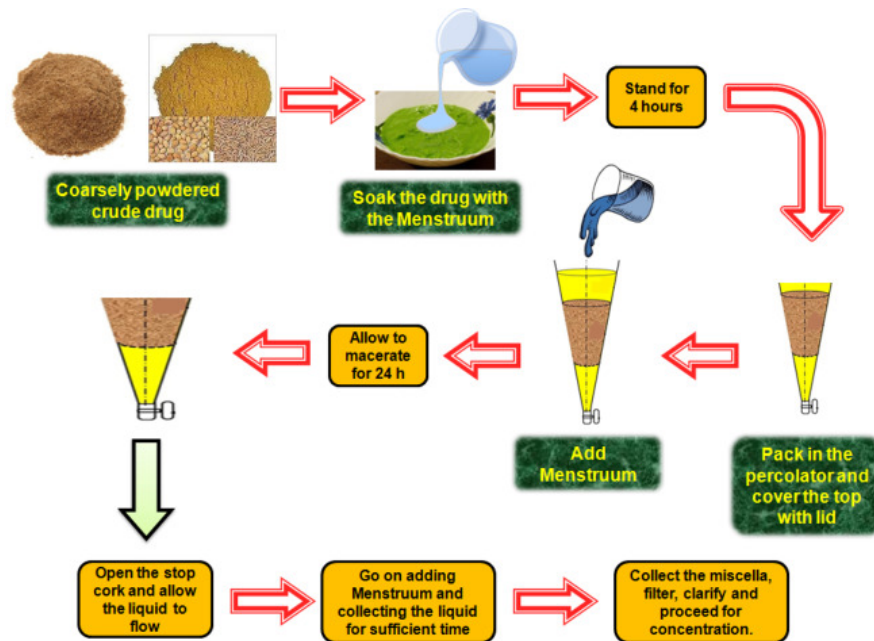
4.3.4 Αφέψημα (Decoction)

Κατά τη δημιουργία του αφεψήματος, το ακατέργαστο φυτικό υλικό βυθίζεται σε ορισμένο όγκο νερού και οδηγείται σε βρασμό σε όγκο νερού για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Ακολουθεί ψύξη, στράγγιση ή φιλτράρισμα.

Πρόκειται για μία διαδικασία κατάλληλη για την παραλαβή θερμοσταθερών συστατικών. Συνήθως, διατηρείται μία σταθερή αρχική αναλογία ακατέργαστου φυτικού υλικού προς νερό, όπως για παράδειγμα 1:4 ή 1:16. Η διαδικασία της εκχύλισης ολοκληρώνεται με βρασμό, ώστε ο αρχικός όγκος του δείγματος να μειωθεί στο ένα τέταρτο του αρχικού όγκου. Στη συνέχεια, το παραγόμενο εκχύλισμα που έχει συμπυκνωθεί, διηθείται και χρησιμοποιείται ως έχει ή υποβάλλεται σε περαιτέρω επεξεργασία (Majenkodunmi, 2015).

4.3.5 Εξίκμαση (percolation)

Η εξίκμαση είναι μία διαδικασία εκχύλισης κατάλληλη για την απομόνωση και παραλαβή βιοδραστικών ουσιών. Ωστόσο, δεν είναι κατάλληλη διαδικασία για πολύ λεπτές σκόνες, ρητίνες και σκόνες που διογκώνονται ή δίνουν ένα παχύρρευστο υγρό έκλουσης. Για τη διαδικασία χρησιμοποιείται γενικά ένας διηθητής, δηλαδή ένα στενό, κωνικό δοχείο, γυάλινο ή μεταλλικό, το οποίο είναι ανοιχτό και στα δύο άκρα (Εικόνα 10). Στο κάτω άκρο φέρει στρόφιγγα που ελέγχει τον ρυθμό έκλουσης του διαλύτη. Τα στερεά συστατικά υγραίνονται με την απαραίτητη ποσότητα του κατάλληλου μίγματος διαλυτών και αφήνονται να ηρεμήσουν για περίπου 4 ώρες σε ένα καλά κλεισμένο δοχείο. Στο τέλος του διαστήματος αναμονής, η μάζα συσκευάζεται στον διηθητή και η κορυφή του κλείνει. Προστίθεται επιπλέον μίγμα διαλυτών ώστε άνω της μάζας του εκχυλιζόμενου δείγματος να σχηματιστεί ένα λεπτό στρώμα διαλυτών και το μίγμα αφήνεται σε ηρεμία στον κλειστό διηθητή για ένα εικοσιτετράωρο. Έπειτα, ανοίγει η στρόφιγγα στην έξοδο του διηθητή και το εκχύλισμα που σχηματίστηκε απομακρύνεται αργά. Γίνεται προσθήκη επιπλέον ποσότητας διαλυτών, όπως και όταν απαιτείται, έως ότου η ποσότητα του διηθήματος φθάσει περίπου τα τρία τέταρτα του απαιτούμενου όγκου του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια, η υγρή υπολειμματική μάζα της δρόγης πιέζεται και το παραγόμενο υγρό προστίθεται στο διήθημα. Προστίθεται επαρκής ποσότητα διαλυτών ώστε να παραχθεί ο απαιτούμενος όγκος του τελικού προϊόντος και το εκχύλισμα που προκύπτει από την ανάμιξη των υγρών, διαυγάζεται με διήθηση ή με παραμονή και μετά απόχυση (Mukherjee, 2019).



Εικόνα 10: Στάδια διαδικασίας εξίκμασης

Πηγή: Mukherjee, 2019

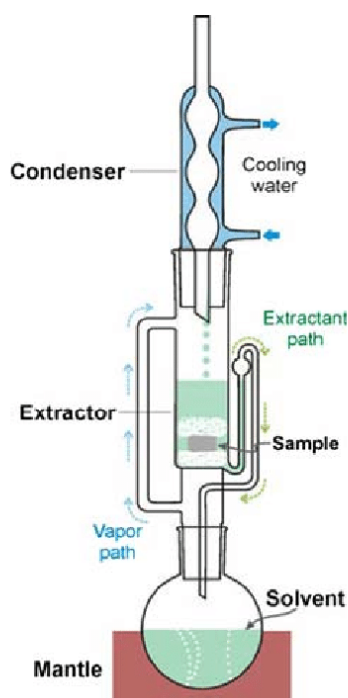
Για να μειωθεί η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων διαλυτών, μέρος του διηθήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για διαλύτη σε περίπτωση επαναδιήθησης. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί συνεχής εκχύλιση με αντίθετη ροή, όπου φρέσκος διαλύτης και φυτικό υλικό ρέουν σε αντίθετη κατεύθυνση. Το ήδη εκχυλισμένο υλικό έρχεται σε επαφή με τον φρέσκο διαλύτη, επιτυγχάνοντας μείωση του χρόνου εκχύλισης και αύξηση της αποδοτικότητας της διαδικασίας (Mukherjee, 2019).

4.3.6 Εκχύλιση Soxhlet (Soxhlet Extraction)

Η εκχύλιση Soxhlet (Soxhlet Extraction) είναι μια καθολική τεχνική, που χρησιμοποιείται ευρέως. Σχεδιάστηκε από τον Franz Ritter von Soxhlet το 1879 με αποκλειστικό σκοπό την εκχύλιση λιπιδίων. Σήμερα, η εκχύλιση Soxhlet είναι μία από τις πιο γνωστές μεθόδους εκχύλισης κατάλληλη για την εκχύλιση των βιοδραστικών ενώσεων από διαφορετικές φυσικές πηγές (Manousi et al., 2019).

Σε ένα συμβατικό σύστημα Soxhlet, όπως φαίνεται στην εικόνα 11, το δείγμα του φυτικού υλικού τοποθετείται σε μια θήκη από πορώδες υλικό, όπως διηθητικό χαρτί ή κυτταρίνη, η οποία είναι γνωστή ως «δακτυλήθρα» (thimble).

Ο θάλαμος που τοποθετείται η δακτυλήθρα με το φυτικό υλικό γεμίζεται με τους διαλύτες εκχύλισης. Στην κάτω φιάλη είναι οι διαλύτες εκχύλισης, οι οποίοι θερμαίνονται και εξατμίζονται. Ανεβαίνουν προς τον ψυκτήρα, όπου συμπυκνώνονται και ρέουν στο θάλαμο που περιέχει το δείγμα, τυλιγμένο στη δακτυλήθρα. Μόλις το συμπυκνωμένο μίγμα των διαλυτών φθάσει στο επίπεδο υπερχείλισης, πραγματοποιείται αναρρόφηση του διαλύματος με τη βοήθεια ενός σιφωνιού και το διάλυμα διαλυτών μαζί με τις ουσίες που έχουν εκχυλιστεί, επιστρέφει στη φιάλη απόσταξης. Οι διαλυμένες ουσίες και οι διαλύτες αφήνονται στη φιάλη και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί πλήρης εκχύλιση των επιθυμητών ενώσεων (Majenkodunmi, 2015).



Εικόνα 11:Συσκευή απόσταξης Soxhlet

Πηγή: Dabbs et al., 2006

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η εκχύλιση Soxhlet είναι (Majenkodunmi, 2015):

1. Αύξηση της αποδοτικότητας της εκχύλισης καθώς πραγματοποιείται επανειλημμένη επαφή φρέσκου διαλύτη με στερεό φυτικό υλικό.
2. Διατήρηση σχετικά υψηλής θερμοκρασία εκχύλισης, καθώς θερμότητα μεταφέρεται από τη φιάλη απόσταξης στον θάλαμο εκχύλισης.

3. Δεν είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί διήθηση του εκχυλίσματος, στο τέλος της διαδικασίας.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της εκχύλισης Soxhlet είναι (Majenkodunmi, 2015; Manousi, 2019):

1. Δεν είναι δυνατή η ανάδευση στη συσκευή Soxhlet.
2. Υπάρχει πιθανότητα μερικής θερμικής αποσύνθεσης των ενώσεων-στόχων, αφού η μέθοδος εκχύλισης Soxhlet απαιτεί ο διαλύτης να βρίσκεται στο σημείο βρασμού του για αρκετό χρόνο.
3. Οι διαλύτες συχνά είναι τοξικοί και εύφλεκτοι και, κατά συνέπεια, η μέθοδος δεν μπορεί να θεωρηθεί ούτε φιλική προς το περιβάλλον ούτε ασφαλής για τον χειριστή.
4. Οι διαλύτες πρέπει να έχουν υψηλή καθαρότητα, με αποτέλεσμα το κόστος της όλης διαδικασίας να αυξάνει αυτόματα.

4.3.7 Εκχύλιση με κρύο ή ζεστό λίπος

Η εκχύλιση με κρύο λίπος είναι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε παραδοσιακά για την παραλαβή αιθερίων ελαίων. Αποτελεί μία τεχνική που εφαρμόστηκε στο παρελθόν, αλλά σήμερα δε βρίσκει εφαρμογή. Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι άνθη ενώ η λιπαρή ύλη πρέπει να είναι ημίσκληρη και καθαρή. Η διάρκεια της διαδικασίας εκχύλισης είναι περίπου 24-30 λεπτά, και στη συνέχεια ακολουθεί κατεργασία του λίπους και του αιθέριου ελαίου με αλκοόλη, οπότε απομακρύνεται το λίπος (Σκουμπρής, 1985).

4.4 Μη συμβατικές μέθοδοι εκχύλισης

Στον πίνακα 9, παρουσιάζονται ορισμένες μελέτες που έχουν γίνει με σκοπό να αξιολογήσουν και να βελτιστοποιήσουν την εφαρμογή μη συμβατικών μεθόδων εκχύλισης σε αρωματικά φυτά και παραπροϊόντα αρωματικών φυτών.

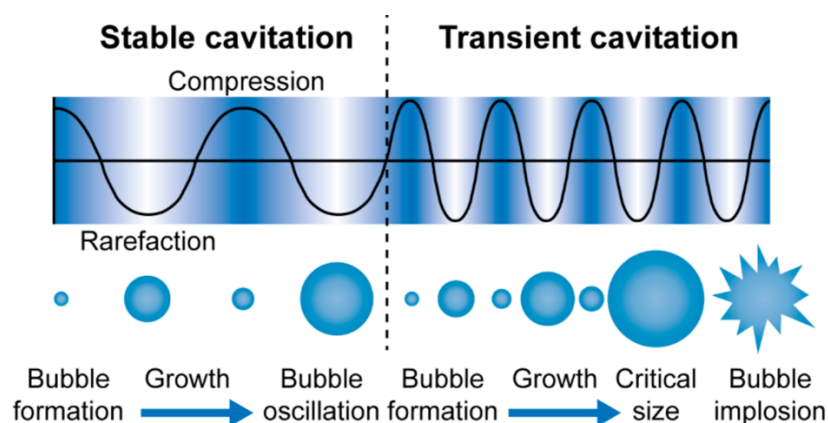
Πίνακας 9: Εφαρμογές μη συμβατικών μεθόδων εκχύλισης σε αρωματικά φυτά και παραπροϊόντα αρωματικών φυτών

Παραπροϊόντα	Συστατικό	Μέθοδος εκχύλισης	Αποτελέσματα	Αναφορά
Κονιοποιημένο κέλυφος καρύδας	Φαινολικές ενώσεις	Εκχύλιση με τη βοήθεια υπερήχων	Υψηλές ποσότητες φαινολικών εκχυλίστηκαν. Σημαντική παράμετρος: ο χρόνος εκχύλισης	Rodrigues & Pinto, 2007
Ροδαλά ισχία <i>Rosa canina L</i> και σπόροι κερασιού, <i>Cornus mas L.</i>	Έλαια	Εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (CO ₂)	Όσο η πίεση αυξάνει σε σταθερή θερμοκρασία, η απόδοση της εκχύλισης αυξάνει επίσης	Jakovljevic et al., 2018
Άγριο θυμάρι (<i>Thymus serpyllum L</i>)	Πολυφαινόλες	Εκχύλιση με τη βοήθεια υπερήχων	Βέλτιστες συνθήκες: μέγεθος σωματιδίων 0,3 mm, αναλογία 1:30 (στερεό: διαλύτη), 30% αιθανόλη, 30 λεπτά. Αντιοξειδωτική και αντιβακτηριακή δράση	Jovanovic et al., 2021
Πράσινος και ελαφρά καβουρντισμένος καφές	Καφεΐνη, χλωρογενικό οξύ, καφεϊκό οξύ	Εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων	Αντιοξειδωτική δράση. Απόπτωση καρκινικών	Montenegro et al., 2021

			κυττάρων προστάτη	
Salvia officinalis L. Leaves	Πολυφαινόλες	Εκχύλιση με παλμικά ηλεκτρικά πεδία	Βέλτιστος διαλύτης διάλυμα 25% v/v αιθανόλη με διάρκεια παλμού 100μs	Athanasiadis et al., 2021

4.4.1 Εκχύλιση με υπερήχους (ultrasound assisted extraction)

Οι υπέρηχοι είναι ηχητικά κύματα ειδικού τύπου τα οποία, όταν περνούν μέσα από ένα υγρό ή ένα υγρό που περιέχει στερεά υλικά, είναι σε θέση να δημιουργήσουν συμπίεση και διαστολή. Στη χημεία, χρησιμοποιείται μόνο ένα μικρό μέρος του φάσματος υπερήχων, το οποίο χρησιμοποιεί συχνότητες μεταξύ 20kHz και 100MHz και ονομάζεται ισχύς υπερήχων. Όταν χρησιμοποιούνται κύματα υπερήχων, λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της σπηλαίωσης (cavitation), το οποίο περιλαμβάνει την παραγωγή, την ανάπτυξη και την κατάρρευση των φυσαλίδων (Azmir et al., 2013). Το μηχανικό αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι να επιταχυνθεί η απελευθέρωση των οργανικών ενώσεων οι οποίες περιέχονται στα κύτταρα των φαρμακευτικών και αρωματικών φυτών και η επιτάχυνση της μεταφοράς μάζας. Ως αποτέλεσμα, είναι ευκολότερο για τον επιλεγμένο διαλύτη να εκχυλίσει το περιεχόμενο των κυττάρων (Shams et al., 2015).



Εικόνα 12: Το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Από τη στιγμή που η φυσαλίδα διαμορφώθηκε μέχρι τη στιγμή της κατάρρευσης της

Πηγή: Voronin et al., 2021

Οι δύο κύριες συσκευές για την παραγωγή υπερήχων είναι ο αισθητήρας υπερήχων, ο οποίος παρέχει άμεση εφαρμογή της διαδικασίας, και το λουτρό υπερήχων, το οποίο χρησιμοποιείται για έμμεση εφαρμογή.

Με την τεχνική εκχύλισης με τη βοήθεια υπερήχων, η απόδοση της εκχύλισης είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τις άλλες συμβατικές τεχνικές εκχύλισης, ανάλογα με τη φύση του φυτικού ιστού και των συστατικών του. Η αποτελεσματικότητα της εκχύλισης εξαρτάται επίσης από την απαιτούμενη προ-επεξεργασία και τα φυσικοχημικά φαινόμενα που είναι δυνατόν να συμβούν κατά την εφαρμογή των υπερήχων, όπως η διάρρηξη του κυτταρικού τοιχώματος και η ακόλουθη απελευθέρωση του περιεχομένου. Επίσης, συγκριτικά με άλλες μη συμβατικές τεχνικές όπως είναι η εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων χρησιμοποιούν φθηνότερο εξοπλισμό, ο οποίος είναι πιο εύκολος στη χρήση. Γενικά, η εκχύλιση με τη βοήθεια υπερήχων είναι μια αποτελεσματική, γρήγορη, επιλεκτική και όχι ιδιαίτερα ενεργοβόρα τεχνική, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμοευαίσθητες ενώσεις καθώς δεν χρησιμοποιεί υψηλή θερμοκρασία (Shams et al., 2015).

Ωστόσο, όταν χρησιμοποιείται ενέργεια υπερήχων, μπορεί να σχηματιστούν ελεύθερες ρίζες, οι οποίες θα είναι σε θέση να προκαλέσουν ανεπιθύμητες αλλαγές στα εκχυλιζόμενα μόρια (Shams et al., 2015).

4.4.2 Εκχύλιση κατ' αντιρροή (counter-current extraction)

Στην εκχύλιση κατ' αντιρροή (Counter-Current Extraction – CCE), η υγρή φυτική ύλη πρέπει αρχικά να κονιοποιηθεί χρησιμοποιώντας οδοντωτούς δίσκους αποσάθρωσης προκειμένου να επιτευχθεί η δημιουργία ενός λεπτού πολτού. Σε αυτήν την τεχνική εκχύλισης, το φυτικό δείγμα μετακινείται προς μία κατεύθυνση μέσα σε έναν κυλινδρικό εκχυλιστή όπου έρχεται σε άμεση επαφή με τον διαλύτη εκχύλισης. Όσο περισσότερο κινείται η πρώτη ύλη μέσα στη μάζα του διαλύτη, τόσο πιο συμπυκνωμένο γίνεται το λαμβανόμενο εκχύλισμα. Σημειώνεται αύξηση της αποδοτικότητας της εκχύλισης, με τη βελτιστοποίηση ορισμένων παραμέτρων, όπως είναι η ποσότητα του διαλύτη και του φυτικού δείγματος, καθώς και η ρύθμιση της ταχύτητας ροής.

Η διαδικασία αυτή παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι η υψηλή της απόδοση, ο μικρός χρόνος εκχύλισης και η έλλειψη κινδύνων απώλειας βιοδραστικών ενώσεων λόγω υψηλής θερμοκρασίας, αφού συνήθως γίνεται σε θερμοκρασία δωματίου.

Επίσης, συγκριτικά με άλλες τεχνικές εκχύλισης, για ορισμένη ποσότητα αρωματικού φυτικού υλικού απαιτείται σημαντικά μικρότερος όγκος διαλύτη (Handa et al., 2008).

4.4.3 Εκχύλιση με ζύμωση (extraction by fermentation)

Η υδατική αλκοολική εκχύλιση με ζύμωση είναι μια τεχνική εκχύλισης που βασίζεται στο γεγονός ότι για ορισμένα φαρμακευτικά φυτά οι βασικές αρχές της ζύμωσης μπορούν να υιοθετηθούν για την εκχύλιση των βιοδραστικών χημικών ενώσεων τους. Σε αυτή τη διαδικασία, το ακατέργαστο φυτό εμποτίζεται είτε ως σκόνη είτε ως αφέψημα για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Στο διάστημα αυτό, το φυτό παράγει αλκοόλ *in situ*, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην εκχύλιση φυτοχημικών συστατικών. Επιπλέον, η παραγόμενη αλκοόλη παίζει το ρόλο του συντηρητικού για το λαμβανόμενο εκχύλισμα προκειμένου να προστατεύσει το εκχύλισμα από την ανάπτυξη βακτηρίων.

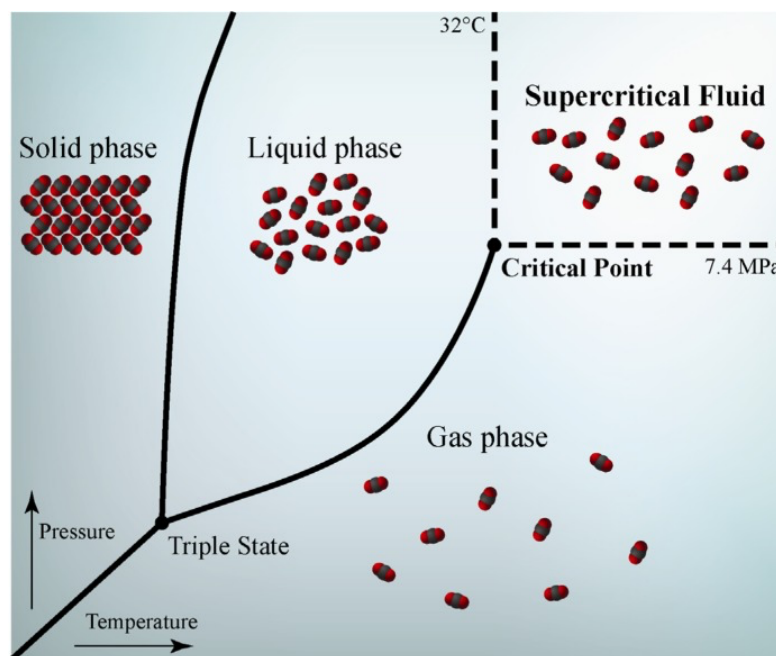
Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής εκχύλισης είναι ότι μπορεί να οδηγήσει στην εκχύλιση ενός ευρύτερου φάσματος δραστικών συστατικών που περιέχονται στο φυτικό κύτταρο σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη τεχνική. Επιπλέον, η ζύμωση βοηθά στην απομάκρυνση ανεπιθύμητων σακχάρων, φυτοφαρμάκων, βαρέων μετάλλων και άλλων προσμείξεων που μπορούν να μολύνουν το εκχύλισμα. Ως αποτέλεσμα, δεν απαιτείται εκτεταμένος καθαρισμός του ληφθέντος εκχυλίσματος, όταν χρησιμοποιείται υδατική αλκοολική εκχύλιση με ζύμωση (Handa et al., 2008).

4.4.4 Εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (supercritical fluid extraction)

Η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (supercritical fluid extraction – SFE) είναι μία αποτελεσματική και γρήγορη τεχνική εκχύλισης, στην οποία τα στάδια καθαρισμού έχουν εξαλειφθεί, οι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται δεν

είναι επιβλαβείς και οι συνθήκες θερμοκρασίας χαρακτηρίζονται ως ήπιες. Ως υπερκρίσιμο ρευστό θεωρείται οποιαδήποτε ουσία βρίσκεται σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, οι οποίες έχουν υπερβεί το κρίσιμο σημείο (Εικόνα 13). Στην κατάσταση αυτή, η υγρή και η αέρια φάση δεν υφίστανται, και το υπερκρίσιμο ρευστό έχει συμπεριφορά με στοιχεία και των δύο φάσεων, της πυκνότητα παρόμοια με τα υγρά και χαμηλό ιξώδες όπως τα αέρια (Cunico & Turner, 2017).

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) είναι ο διαλύτης που χρησιμοποιείται συχνότερα, καθώς σε σχέση με άλλα υπερκρίσιμα ρευστά παρουσιάζει υψηλή καθαρότητα, αδράνεια, χαμηλό κόστος, χαμηλή τοξικότητα, εύκολη επίτευξη κρίσιμου σημείου (32°C , $7,4\text{MPa}$), είναι μη αναφλέξιμο. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) είναι μία ουσία που παράγεται ως υποπροϊόν κατά την αλκοολική ζύμωση, την παραγωγή υδρογόνου από μεθάνιο και την παραγωγή φωσφορικού νατρίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για τη διάλυση ενώσεων που είναι μη πολικές, με χαμηλό μοριακό βάρος (Cunico & Turner, 2017).

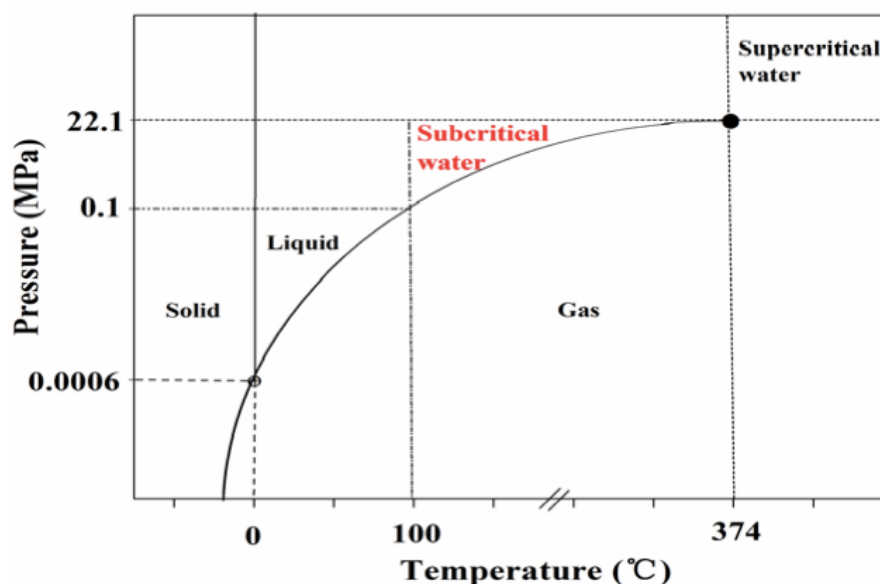


Εικόνα 13: Διάγραμμα φάσεων για μία καθαρή ουσία (CO_2) σε ένα κλειστό σύστημα.

Πηγή: Capuzzo et al., 2013

4.4.5 Εκχύλιση με υποκρίσιμο νερό

Η εκχύλιση με υποκρίσιμο νερό (subcritical water extraction – SWE) έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον λόγω των βασικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει, όπως είναι η ασφάλεια, η καλή απόδοση και η προστασία του περιβάλλοντος. Μεγάλες ποσότητες βιοδραστικών συστατικών όπως πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, αντιοξειδωτικά και πολυφαινόλες έχουν εκχυλιστεί με χρήση υποκρίσιμου νερού. Επιπλέον, το υποκρίσιμο νερό επιδρά στη μοριακή δομή, τροποποιώντας τη βιολογική δράση των βιοδραστικών συστατικών. Ως φιλική προς το περιβάλλον και αποτελεσματική τεχνολογία εκχύλισης, έχει δείξει πιθανή αξία για εφαρμογή σε πολλαπλά πεδία εκχύλισης (Zhang et al., 2020).



Εικόνα 14: Φυσική κατάσταση του νερού σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης

Πηγή: (Zhang et al., 2020).

4.4.6 Εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων (microwave-assisted extraction)

Η εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων (microwave-assisted extraction – MAE) είναι μία καινοτόμος διαδικασία εκχύλισης, με υψηλή απόδοση σε μικρό χρόνο, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και διαλύτη. Η ταχεία θέρμανση που επιτυγχάνεται με τα μικροκύματα επιτρέπει τον υψηλότερο ρυθμό εκχύλισης σε σύγκριση με την τεχνική Soxhlet ή με την εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά.

Είναι μία μέθοδος που μπορεί να συζευχθεί με σύστημα χρωματογραφίας ή φασματοσκοπίας για καλύτερη αξιολόγηση των βιοδραστικών ενώσεων (Mirzadeh et al., 2020).

Τα μικροκύματα στοχεύουν στα ελάχιστα ίχνη υγρασίας που έχουν απομείνει στα κύτταρα του αποξηραμένου φυτικού υλικού. Με τη θέρμανση η υγρασία εξατμίζεται, αυξάνοντας την εσωτερική πίεσης που ασκείται στο κυτταρικό τοίχωμα. Το κυτταρικό τοίχωμα, λόγω της της πίεσης, διαρρηγνύεται. Έτσι, τα δραστικά συστατικά αποβάλλονται από τα διερρηγμένα κύτταρα στο διαλύτη (Ingle et al., 2017)

4.4.7 Εκχύλιση με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF)

Η τεχνολογία παλμικού ηλεκτρικού πεδίου (Pulsed Electric Fields - PEF) είναι μια μη θερμική προσέγγιση που χρησιμοποιείται κυρίως για τη διατήρηση τροφίμων με υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα, όπως υγρά ή ημι-υγρά τρόφιμα. Το PEF χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρικό πεδίο για να δημιουργήσει μη αναστρέψιμο πόρο στην κυτταρική μεμβράνη, αυξάνοντας τη διαπερατότητα της μεμβράνης. Η εφαρμογή του PEF για την αύξηση του ποσοστού εκχύλισης στη βιομηχανία τροφίμων και θρεπτικών ουσιών είναι ακόμη σε αρχικό στάδιο (Martinez et al., 2020).

Η διαδικασία βασίζεται στη διακοπτόμενη εφαρμογή παλμών συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (kV), για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (μικροδευτερόλεπτα έως χιλιοστά του δευτερολέπτου), μέσω ενός προϊόντος που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια. Αυτή η τάση δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο, η ένταση του οποίου εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και της παρεχόμενης τάσης. Εάν το ηλεκτρικό πεδίο είναι αρκετά έντονο, εμφανίζεται ένα φαινόμενο που ονομάζεται ηλεκτροδιάτρηση, το οποίο συνίσταται στην αύξηση της διαπερατότητας της κυτταροπλασματικής μεμβράνης στη διέλευση ιόντων και μακρομορίων (Martinez et al., 2020).

Ανάλογα με την ένταση της επεξεργασίας, το κύτταρο μπορεί ακόμα να μπορεί να επανασφραγίσει τους πόρους, οπότε η διαπερατότητα είναι παροδική (αναστρέψιμη ηλεκτροδιάτρηση) ή, αντίθετα, οι πόροι είναι μόνιμοι (μη αναστρέψιμη ηλεκτροπόρωση). Οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την ηλεκτροδιάτρηση είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, ο χρόνος

επεξεργασίας, η ειδική ενέργεια και η θερμοκρασία εφαρμογής. Εάν το ηλεκτρικό πεδίο διατηρείται σταθερό, η αύξηση του χρόνου επεξεργασίας οδηγεί σε αύξηση της συνολικής ειδικής ενέργειας. Γενικά, η αύξηση της έντασης αυτών των παραμέτρων ενισχύει την ηλεκτροδιάτρηση (Martinez et al., 2020).

4.5 Σύγκριση τεχνικών εκχύλισης

Η επιλογή μίας τεχνικής εκχύλισης είναι μία απόφαση που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι ο σκοπός της εκχύλισης, η επιθυμητή ουσία που θέλει να παραλάβει ο αναλυτής, το φυτικό υλικό και η προετοιμασία του υλικού αυτού, ο μηχανολογικός εξοπλισμός που μία επιχείρηση διαθέτει, το κόστος αγοράς μηχανημάτων και αντιδραστηρίων, ο χρόνος και η αποτελεσματικότητα της εκχύλισης, η ικανότητα βελτιστοποίησης της διαδικασίας.

Μία πρώτη σύγκριση μπορεί να πραγματοποιηθεί μεταξύ των συμβατικών μεθόδων και των μη συμβατικών ή προηγμένων μεθόδων εκχύλισης. Οι μέθοδοι οι οποίες θεωρούνται ως συμβατικές, έχουν ευρεία χρήση μέχρι σήμερα στην εκχύλιση των βιοδραστικών ενώσεων τόσο από φαρμακευτικά όσο και από αρωματικά φυτά. Ωστόσο, παρουσιάζουν ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, πρόκειται για χρονοβόρες τεχνικές, καθώς ο χρόνος εκχύλισης που απαιτείται είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τις μη συμβατικές τεχνικές. Επίσης, χρησιμοποιούνται διαλύτες που είναι δαπανηροί και έχουν υψηλή καθαρότητα. Συχνά, η ποσότητα αυτών των διαλυτών είναι μεγάλη και σε αρκετές περιπτώσεις πρέπει τελικά να εξατμιστεί μέρος του πλεονάσματος του διαλύτη. Επιπλέον, υπάρχει χαμηλή εκλεκτικότητα εκχύλισης και πιθανή θερμική αποσύνθεση των θερμοευαίσθητων ενώσεων όταν χρησιμοποιείται υψηλή θερμοκρασία (Manousi et al., 2019).

Οι μη συμβατικές μέθοδοι αποτελούν μία πιο οικολογική λύση, φιλική προς το περιβάλλον, αφού απαιτούν μικρότερη ποσότητα διαλυτών, καθώς και άλλων χημικών ουσιών. Επιπλέον, ο χρόνος λειτουργίας είναι σημαντικά μικρότερος σε σύγκριση με τις κλασικές συμβατικές μεθόδους, ενώ παράλληλα μέσω αυτών των μεθόδων επιτυγχάνονται υψηλότερες αποδόσεις εκχύλισης

και βελτιωμένη ποιότητα των τελικών φυτικών εκχυλισμάτων (Manousi et al., 2019).

Στον πίνακα 10, παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα μελετών που συγκρίνουν τον χρόνο και την απόδοση διαφορετικών μεθόδων εκχυλίσεων με σκοπό την παραλαβή βιοδραστικών συστατικών από αρωματικά φυτά και τα υποπροϊόντα τους.

Πίνακας 10: Παραδείγματα εκχυλίσεων βιοδραστικών συστατικών με διαφορετικές τεχνικές εκχύλισης

Συστατικά	Υλικά	Μέθοδος εκχύλισης (διαλύτης , χρόνος)	Απόδοση	Αναφορά
Βιταμίνη Ε – τοκοφερόλες	Αλεύρι σπόρων Amaranthus caudatus	a. Με διαλύτη (μεθανόλη, 24h + UAE (εξάνιο, 30 min) b. UAE (μεθανόλη, 60 min) c. SFE (CO ₂ , 15 min)	a.76,32 mg/kg b.63,7 mg/kg c. 100,33 (200 atm) και 129,27 (400 atm)	Bruni et al., 2002
Σαπωνίνες	Ginseng	a. Με διαλύτη (80% υδατικό διάλυμα μεθανόλης, 12h) b.MAE (80% υδατικό διάλυμα μεθανόλης, 0,5 min)	a.5,24 g/100g b. 5,31 g/100g	Kwon et al., 2003
Καρβόνη και λιμονένιο	Σπόροι κύμινου	a. Soxhlet (εξάνιο, 5h) b.UAE (εξάνιο, 1h)	a. 16,28 mg καρβόνη / g και 15,15 mg λιμονένιο / g b. 17,16 mg καρβόνη / g και 16,16 mg λιμονένιο / g (20-38°C) c. 14,45 mg καρβόνη / g και 14,27 mg	Chemat et al. 2004

			λιμονένιο / g (69°C)	
Έλαιο	Ροδαλά ισχία τριανταφυλλιάς	-Soxhlet (εξάνιο,3h)	4,85 g/100g	Szentmihalyi et al., 2002
		-SFE (CO ₂ , 80 min)	5,72 g/100g	
		-Υποκρίσιμη εκχύλιση (CO ₂ :C ₃ H ₈ 35 min)	6,68 g/100g	
		-UAE (εξάνιο, 60min)	3,25 g/100g	
		-MAE (εξάνιο, 30 min)	5,26 g/100g	

SFE: εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά

UAE: εκχύλιση με τη βοήθεια υπερήχων

MAE: εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων

Οι τεχνικές εκχύλισης με τη βοήθεια υπερήχων και μικροκυμάτων, η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά και υποκρίσιμα υγρά και η εκχύλιση με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, αποτελούν ελπιδοφόρες τεχνικές για την παραλαβή βιοδραστικών συστατικών από φυτά. Ωστόσο, οι περισσότερες από τις μεθόδους αυτές, εφαρμόζονται κυρίως σε εργαστηριακή κλίμακα. Εξαιρέσεις αποτελούν η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά και η εκχύλιση με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, οι οποίες έχουν εφαρμογές στις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων, καλλυντικών.

Η εκχύλιση με υπέρηχους (UAE), είναι μία μη συμβατική μέθοδος εκχύλισης, η οποία πιστεύεται ότι επιταχύνει την απελευθέρωση οργανικών ενώσεων που βρίσκονται στο φυτικό υλικό κυρίως μέσω του φαινομένου της σπηλαιώσης. Η σπηλαιώση οδηγεί στη διάρρηξη του κυτταρικού τοιχώματος, την ευκολότερη πρόσβαση του διαλύτη στο περιεχόμενο των κυττάρων και την απελευθέρωση των οργανικών ενώσεων. Οι Chemat et al (2004) απομόνωσαν καρβόνη και λιμονένιο από σπόρους κύμινου. Κατά την πειραματική διαδικασία εφάρμοσαν τη μέθοδο Soxhlet και την εκχύλιση με υπέρηχους και σύγκριναν την απόδοση, τον χρόνο και την ποιότητα των εκχυλισμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος Soxhlet έδωσε εκχυλίσματα που εκτός από καρβόνη και λιμονένιο περιείχαν και ανεπιθύμητες λιπαρές ουσίες, ενώ τα εκχυλίσματα υπερήχων φαίνεται ότι ήταν υψηλής καθαρότητας, καλύτερης ποιότητας και πιο πλούσια σε καρβόνη από ό,τι σε λιμονένιο (Chemat et al, 2004).

Η εκχύλιση με τη βοήθεια των μικροκυμάτων (MAE) είναι μία τεχνική εκχύλισης η οποία είναι αποτελεσματική για πολικές και θερμικά σταθερές ενώσεις. Η εφαρμογή των μικροκυμάτων οδηγεί σε παραγωγή θερμότητας με

αποτελεσμα την ομοιόμορφη αύξηση της θερμοκρασίας του εκχυλιστικού μέσου και κατά συνέπεια τη ελαχιστοποίηση του χρόνου εκχύλισης. Για να εφαρμοστεί με ασφάλεια θα πρέπει να διερευνηθεί πρώτα η αλληλεπίδραση των μικροκυμάτων με το φυσικό υλικό και να έχει γίνει η επιλογή του κατάλληλου διαλύτη. Οι Kwon et al., (2003) σύγκριναν τη μέθοδο εκχύλισης με τη βοήθεια των μικροκυμάτων με συμβατικές μεθόδους και, συγκεκριμένα, με διαλύτη. Αξιολόγησαν τον χρόνο εκχύλισης, την απόδοση και την ποιότητα των εκχυλισμάτων σαπωνινών από ginseng με αυτές τις τεχνικές. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή των μικροκυμάτων οδήγησε στην παραλαβή εκχυλισμάτων συγκρίσιμης ποιότητας με τα εκχυλίσματα της συμβατικής τεχνικής, ενώ ταυτόχρονα μείωσε τον χρόνο επεξεργασίας από 12 ώρες σε 30 s (Kwon et al., 2003).

Η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (SFE), είναι μία σύγχρονη, μη συμβατική τεχνική εκχύλιση που έχει ήδη συνεισφέρει σημαντικά στην απομόνωση βιοδραστικών συστατικών από φυτά. Είναι μία μέθοδος πολλά υποσχόμενη που παρουσιάζει, όμως, περιορισμό ως προς το είδος των ενώσεων που εκχυλίζονται, οι οποίες είναι κυρίως οργανικές μη πολικές ενώσεις. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ο οποίος είναι ο πιο διαδεδομένος διαλύτης αυτής τη τεχνικής, είναι φιλικός προς το περιβάλλον, φθηνός και εύκολα προσβάσιμος, αλλά και άριστος διαλύτης των μη πολικών ενώσεων (Bruni et al., 2002).

Οι Bruni et al. (2002) ασχολήθηκαν με την εκχύλιση τοκοφερολών από σπόρους *Amaranthus caudatus*. Σύγκριναν διαφορετικές τεχνικές εκχύλισης (διαλύτης μεθανόλης και εξάνιο + UAE, UAE, SFE). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα φάνηκε ότι η εκχύλιση με εφαρμογή υπερήχων είναι γρήγορη, οικονομική και μπορεί να δώσει προϊόν με ποιοτικά αποδεκτά χαρακτηριστικά, ενώ η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά είναι ταχεία και έχει καλή απόδοση (Bruni et al., 2002).

Ο κύριος διαλύτης της εκχύλισης με υποκρίσιμα υγρά είναι το νερό, ή μίγματα νερού με οργανικές ενώσεις, όπως νερό-μεθανόλη. Στην τεχνική αυτή, συνήθως, το δείγμα εκτίθεται σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες από ότι στις άλλες μεθόδους. Σε μελέτη των Szentmihalyi et al. (2002), μελετήθηκε η εκχύλιση ελαίου από ροδαλά ισχία τριανταφυλλιάς, *Rosa canina* L., με διαφορετικές μεθόδους. Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Soxhlet,

η οποία είναι κλασικός τρόπος παραλαβής του συγκεκριμένου ελαίου, η εκχύλιση με υποκρίσιμο και υπερκρίσιμο ρευστό, η εκχύλιση με τη βοήθεια υπερήχων και η εκχύλιση με τη βοήθεια μικροκυμάτων. Από τις τεχνικές αυτές, η εκχύλιση με τη υποκρίσιμο υγρό είχε την μέγιστη απόδοση (6,68g / 100g ροδαλών ισχίων) και μικρό χρόνο εκχύλισης (35 min), ποιοτικά συγκρίσιμο με τις άλλες μεθόδους. Την πλουσιότερη περιεκτικότητα όμως σε ακόρεστα λιπαρά οξέα (>92%) με μεγάλη αναλογία πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (>77%) την παρουσίασε η εκχύλιση με υπερκρίσιμο ρευστό (Szentmihalyi et al., 2002).

Οπότε, συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι εκχύλισης είναι χρονοβόρες, απαιτούν την χρήση μεγάλων ποσοτήτων διαλυτών, οι οποίοι επιβαρύνουν το περιβάλλον και έχουν υψηλό λειτουργικό κόστος. Τις τελευταίες δεκαετίες, λοιπόν, αναπτύχθηκαν νέες καινοτόμες τεχνικές εκχύλισης, οι οποίες έχουν υιοθετηθεί σε μία προσπάθεια να καλυφθούν οι ανάγκες των βιομηχανιών, όπως και οι απαιτήσεις των καταναλωτών, για παραλαβή και απομόνωση βιοδραστικών ουσιών από αρωματικά φυτά, με τρόπο που είναι φιλικός προς το περιβάλλον, οικονομικός και αποδοτικός. Αυτές, οι μη συμβατικές τεχνικές σταθερά αποκτούν όλο και περισσότερες εφαρμογές στην βιομηχανία των τροφίμων. Η μέθοδος εκχύλισης που κάθε φορά επιλέγεται εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες που αφορούν το οικονομικό κόστος, τον διαθέσιμο εξοπλισμό, τη φύση του φυτικού υλικού, των διαλυτών και των βιοδραστικών ουσιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ

5.1 Μηχανική παραλαβή αιθερίων ελαίων με συμπίεση

Η μηχανική παραλαβή με συμπίεση είναι μία μέθοδος που εφαρμόζεται κυρίως σε ξηρούς καρπούς και στον φλοιό των εσπεριδοειδών. Η παραλαβή των αιθέριων ελαίων των ξηρών καρπών γίνεται με πιεστήρια, παρόμοια με τα πιεστήρια που χρησιμοποιούνται στα κοινά ελαιοτριβεία. Για την παραλαβή των αιθέριων ελαίων από τον φλοιό των εσπεριδοειδών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανήματα που επεξεργάζονται ολόκληρο τον καρπό ή μηχανήματα που επεξεργάζονται μόνο τους φλοιούς με ξύσιμο φλοιού -είτε προηγηθεί είτε όχι κόψιμο των καρπών σε δύο ή περισσότερα τεμάχια και αφαίρεση του χυμού- ή με διάτρηση φλοιού και απελευθέρωση αιθέριου ελαίου (Azmir et al., 2013).

Παλαιότερα συνηθιζόταν η διαδικασία αυτή να πραγματοποιείται χειροκίνητα. Η φλούδα του φυτού βυθιζόταν αρχικά σε νερό για αρκετές ώρες και στη συνέχεια ασκούσαν πίεση με το χέρι με τη βοήθεια ενός επιπέδου σφουγγαριού. Πολλές παραλλαγές αυτής της τεχνικής έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των αιώνων σε όλη την Ευρώπη. Ωστόσο, τώρα πια η διαδικασία έχει μηχανοποιηθεί πλήρως. Με αλλαγές στην πίεση, τα θερμοευκίνητα συστατικά φυτών μπορούν να διατηρηθούν. Έτσι, πρόκειται για μια χρήσιμη τεχνική που χρησιμοποιείται για την εκχύλιση αιθέριων ελαίων (Azmir et al., 2013).

5.2 Απόσταξη

Η απόσταξη είναι μία διαδικασία παραλαβής αιθερίων ελαίων για όλα σχεδόν τα φυτά, η οποία είναι ευρύτατα διαδεδομένη, καθώς είναι σχετικά απλή και οικονομική. Βασίζεται στη διαφορά των τάσεων των ατμών των συστατικών του διαλύματος (Κατσιώτης & Χατζοπούλου, 2019).

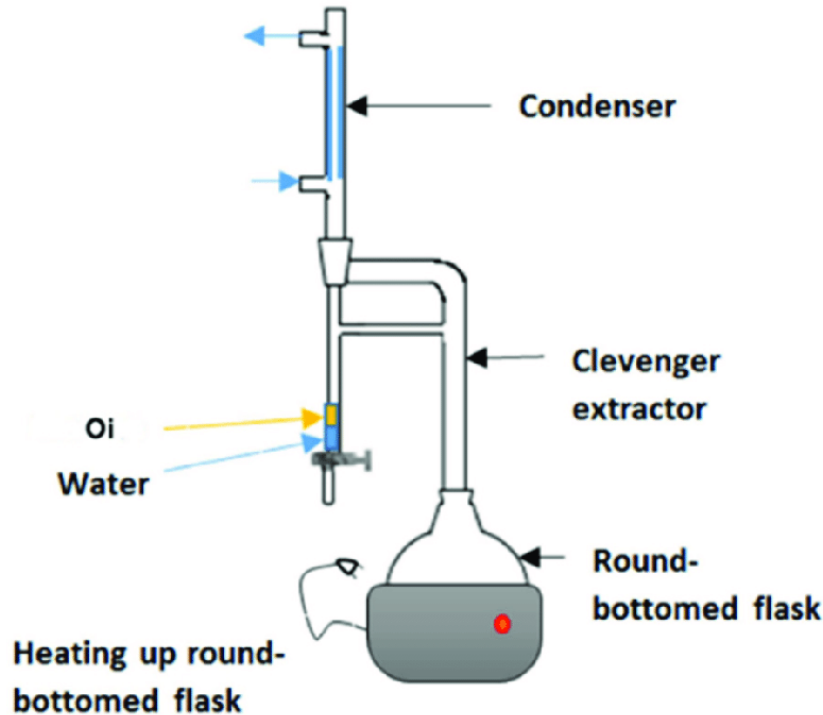
Διακρίνεται σε τρεις κύριες κατηγορίες (Σκρουμπής, 1985):

- Υδροαπόσταξη ή απόσταξη με νερό
- Υδρο-ατμο-απόσταξη ή απόσταξη με νερό και ατμό

- Απόσταξη με υδρατμούς

5.2.1 Υδροαπόσταξη ή απόσταξη με νερό

Στην υδροαπόσταξη χρησιμοποιείται η αποστακτική συσκευή Clevenger (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Αποστακτική συσκευή Clevenger

Πηγή: Dang & Quirino, 2021

Το φυτό ή φυτικό μέρος που θα χρησιμοποιηθεί στην απόσταξη εισέρχεται σε σφαιρική φιάλη μαζί με ποσότητα νερό. Η φιάλη αυτή προσαρμόζεται σε ψυκτήρα. Κατά τον βρασμό, οι ατμοί είναι ένα ομογενές μίγμα αιθερίων ελαίων και υδρατμού, διέρχονται από τον ψυκτήρα, υγροποιούνται και ρέουν σε διαβαθμισμένο σωλήνα που στο άκρο του φέρει βρυσάκι (Bicchi, 2000).

Στο σωλήνα το έλαιο και το νερό δημιουργούν δύο στοιβάδες, εκ των οποίων η κατώτερη είναι η υδατική, η οποία συχνά ανακυκλώνεται, δηλαδή επαναποστάζεται (Bicchi, 2000).

Στην υδροαπόσταξη υπάρχει ο κίνδυνος της υπερθέρμανσης του φυτικού υλικού. Η υπερθέρμανση μπορεί να οδηγήσει σε θερμική διάσπαση διαφόρων συστατικών του αιθέριου ελαίου και στην παραγωγή δυσάρεστων πτητικών

ουσιών (Bicchi, 2000). Είναι μία μέθοδος που βρίσκει απήχηση κατά την απόσταξη άνθεων, καρπών, πετάλων, ριζών κλπ.

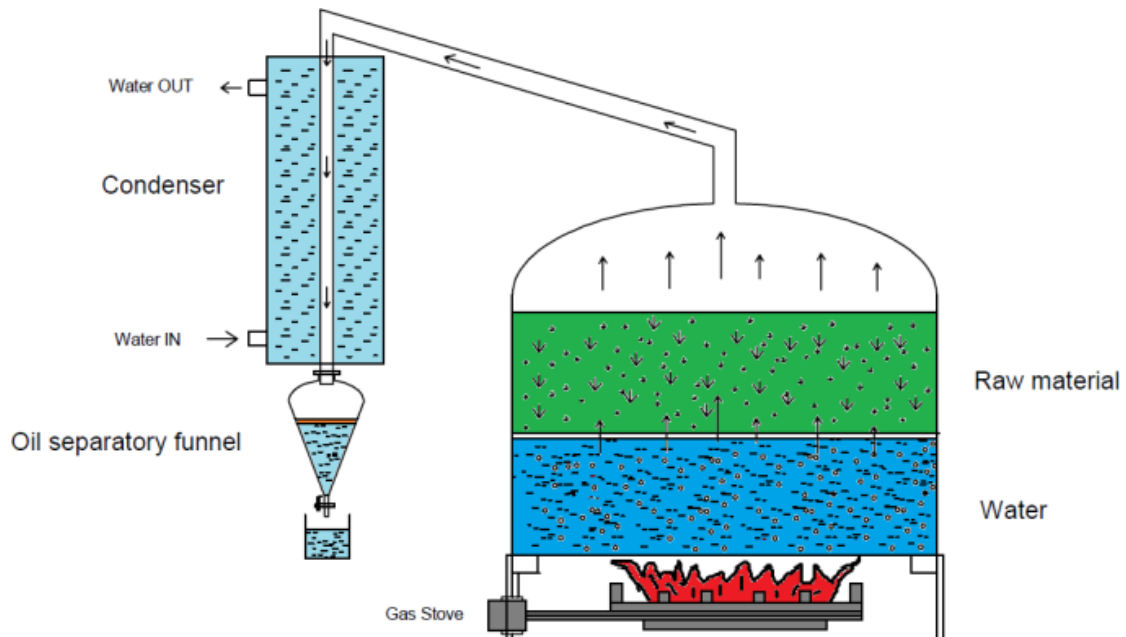
Η απόσταξη με νερό είναι μία απλή μέθοδος, με μικρό κόστος εγκατάστασης. Ωστόσο παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα: είναι πιο χρονοβόρα συγκριτικά με άλλες τεχνικές απόσταξης, παρουσιάζει πιο μικρή απόδοση αιθέριου ελαίου και παράγεται αιθέριο έλαιο κατώτερης ποιότητας καθώς το προς απόσταξη μείγμα έχει υποστεί άμεση θέρμανση (Bicchi, 2000).

Κατά την απόσταξη με νερό, το τμήμα του φυτού που περιέχει τα αιθέρια έλαια βρίσκεται σε επαφή με το νερό. Συνήθως η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται πια κυρίως σε εργαστηριακή κλίμακα (Bicchi, 2000).

5.2.2 Υδρο-ατμο-απόσταξη ή απόσταξη με νερό και ατμό

Είναι μία μέθοδος απόσταξης στην οποία το φυτικό υλικό που περιέχει το αιθέριο έλαιο δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το νερό, αλλά συνήθως διαχωρίζεται με ένα πλέγμα, το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω από την επιφάνεια του νερού. Η μέθοδος της υδρο-ατμο-απόσταξης εφαρμόζεται σε μικρή κλίμακα αποστάξεις. Πλεονεκτεί σε σχέση με την υδροαπόσταξη στο γεγονός ότι το παραγόμενο αιθέριο έλαιο είναι πιο καλής ποιότητας και καταναλώνονται μικρότερες ποσότητες καυσίμων (Κατσιώτης & Χατζοπούλου, 2019).

Στην Εικόνα 16 απεικονίζεται η διαδικασία απόσταξης με νερό και ατμό. Το νερό θερμαίνεται στο δοχείο απόσταξης και μετατρέπεται σε ατμό. Ο ατμός καθώς κινείται προς τα πάνω διέρχεται μέσα από το φυτικό υλικό και «παρασέρνει» τα αιθέρια έλαια, τα οποία είναι πτητικές ενώσεις. Διέρχεται μέσα από τον ψυκτήρα, όπου ψύχεται και υγροποιείται και τα σταγονίδια του αποστάγματος συλλέγονται σε μία διαχωριστική χοάνη. Εκεί, το κλάσμα του νερού και το κλάσμα των αιθερίων ελαίων διαχωρίζεται σε δύο φάσεις. Η οργανική φάση αποτελείται από τα αιθέρια έλαια ενώ η υδατική φάση καλείται υδρόλυμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή καλλυντικών (Nasardin et al., 2018).



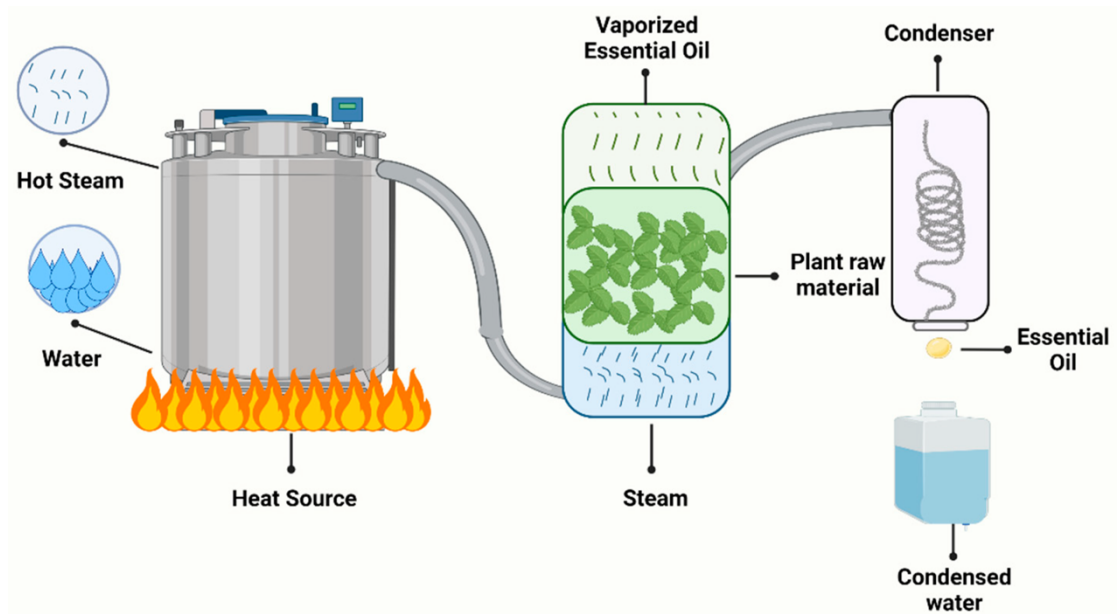
Εικόνα 16: Σχηματική αναπαράσταση της απόσταξης με νερό και ατμό

Πηγή: Nasardin et al., 2018

5.2.3 Απόσταξη με υδρατμούς

Η απόσταξη με υδρατμούς έχει πολλά κοινά στοιχεία με την απόσταξη με νερό και ατμό. Η βασική διαφορά που παρουσιάζουν οι δύο τεχνικές αποστάξεις είναι ότι κατά την απόσταξη με υδρατμούς ο ατμός δεν παράγεται στον άμβυκα απόσταξης, αλλά παράγεται σε διαφορετικό δοχείο από αυτό που βρίσκεται το φυτικό υλικό (Σκουμπρής, 1981).

Στην Εικόνα 17, διακρίνονται τα βασικά μέρη μίας συσκευής απόσταξης με υδρατμούς. Σε ένα ατμολέβητα ή σε μία ατμογεννήτρια γίνεται η παραγωγή ατμού. Ο ατμός εισέρχεται στο κάτω μέρος του άμβυκα απόσταξης και από εκεί θερμαίνει το φυτικό υλικό, ενώ ο ίδιος υγροποιείται και ρέει στον πυθμένα του άμβυκα. Τα αιθέρια έλαια εξατμίζονται και καθώς εισέρχονται στον ψυκτήρα υγροποιούνται και συλλέγονται σε καταλληλο δοχείο συλλογής ((Machado et al., 2022).



Εικόνα 17: Σχηματική αναπαράσταση απόσταξης με υδρατμούς

Πηγή: Machado et al., 2022

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η απόσταξη με υδρατμούς είναι:

- Χρησιμοποιεί ως διαλύτη το νερό που είναι μη τοξικό και δεν επιβαρύνει το περιβάλλον
- Το παραγόμενο αιθέριο έλαιο είναι βέλτιστης ποιότητας αφού δεν έχει υποστεί έντονη θερμική επεξεργασία.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της απόσταξης με υδρατμούς είναι η χαμηλή απόδοση και ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Ωστόσο είναι η τεχνική απόσταξης που εφαρμόζεται πιο συχνά, ακόμη και για μεγάλου όγκου αποστάξεις (Machado et al., 2022).

5.3 Κανονισμοί σχετικοί με τη χρήση φυσικών εκχυλισμάτων και αιθέριων ελαίων στη βιομηχανία τροφίμων

Αν και η χρήση των αιθέριων ελαίων δεν έχει ρυθμιστεί από ένα καθορισμένο νομικό πλαίσιο, έχουν γίνει προσπάθειες να ρυθμιστεί ο τρόπος και η ποσότητα των αιθέριων ελαίων που χρησιμοποιούνται σε τομείς όπως η υγεία, τα τρόφιμα και τα καλλυντικά. Ο φορέας εκείνος που έχει τον κύριο ρυθμιστικό ρόλο για τη χρήση των αιθέριων ελαίων είναι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization – WHO). Για να πετύχει τον

στόχο που έχει αναλάβει έχει δραστηριοποιηθεί σε τρεις τομείς (Naja et al., 2022) :

- i. Δημιουργία ψηφιακής πλατφόρμας που περιλαμβάνει περισσότερα από 5480 φάρμακα και προϊόντα υγείας.
- ii. Έκδοση κατευθυντήριων γραμμών για την Καλή Διαχείριση των προϊόντων
- iii. Έκδοση 4 τόμων, όπου παρέχει πληροφορίες για την ασφαλή και αποτελεσματική χρήση και ποιότητα των αιθέριων ελαίων

Στη βιομηχανία τροφίμων τα αιθέρια έλαια και τα εκχυλίσματα δύναται να χρησιμοποιηθούν είτε για άρωμα, όπως η μέντα, το λεμόνι και το πορτοκάλι, είτε για συντήρηση, όπως το θυμάρι και η μαντζουράνα. Σε ορισμένες χώρες, εκτός από τις συστάσεις του WHO λαμβάνονται και επιπρόσθετα μέτρα ρύθμισης.

Για παράδειγμα στις ΗΠΑ, τα αιθέρια έλαια και τα φυσικά εκχυλίσματα αναγνωρίζονται γενικά ως ασφαλή (GRAS – Generally Recognized as safe) για την προβλεπόμενη χρήση τους από τον FDA (Food and Drug Administration – Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ). Αναφέρονται ονομαστικά στην παράγραφο 182.20 τόσο με την κοινή όσο και με την βοτανική ονομασία της φυτικής πηγής π.χ. Anise (*Pimpinella anisum* L), Balm (*Melissa officinalis* L.) ή Spearmint (*Mentha spicata* L.) (FDA/ECFR, 2018). Έτσι δεν υπόκεινται σε ποσοτικούς περιορισμούς σχετικά με τη χρήση τους, αλλά η εφαρμογή τους πρέπει να συμμορφώνεται με τις ορθές πρακτικές παρασκευής. Επομένως, τεχνικά, τα αιθέρια έλαια και τα εκχυλίσματα δεν θεωρούνται πρόσθετα καθώς δεν απαιτείται κυβερνητική έγκριση πριν από τη χρήση τους. Ωστόσο, στον Καναδά για να πωληθούν τα αιθέρια έλαια πρέπει να αποκτήσουν άδεια προϊόντος. Στην Ιαπωνία, η παραγωγή αλλά και η διάθεση των αιθέριων ελαίων, που αναφέρονται ως φάρμακα ρυθμίζονται από αυστηρή εθνική νομοθεσία (Naja et al., 2022).

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία και τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1334/2008 του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 για αρωματικές ύλες και ορισμένα συστατικά τροφίμων με αρωματικές ουσίες που εισάγονται εντός των τροφίμων και για την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 1601/91 του Συμβουλίου, της αίτησης (ΕΚ) αριθ. 2232/96, του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 110/2008 και της 2000/13/ΕΚ, ο οποίος τροποποιήθηκε για τελευταία φορά στις

4/11/2021, τα αιθέρια έλαια δεν θεωρούνται πρόσθετα και η εφαρμογή τους στα τρόφιμα δεν επιτρέπεται, αν και μια μεγάλη ποικιλία συστατικών των αιθέριων ελαίων (π.χ. λιμονένιο) αναγνωρίζονται ως αρωματικές ύλες (Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 1334/2008 & Κανονισμός 1130/2011). Σχετικά με τα εκχυλίσματα, μόνο το εκχύλισμα δενδρολίβανου έχει εγκριθεί ως πρόσθετο τροφίμων, με κωδικό αριθμό E392, και χρησιμοποιείται σε ορισμένες κατηγορίες τροφίμων με βάση τα επιτρεπόμενα όρια (Κανονισμός 1333/2008 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής & Κανονισμός 1130/2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ/ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

6.1 Συμπεράσματα

Τα αρωματικά φυτά παράγουν σημαντικές ποσότητες παραπροϊόντων, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν πηγή αιθέριων ελαίων και βιοδραστικών ουσιών. Οι βιοδραστικές ενώσεις παραλαμβάνονται από τη φυτική μάζα με τη βοήθεια της εκχύλισης, ενώ η παραλαβή των αιθέριων ελαίων γίνεται με μηχανική πίεση, εκχύλιση ή απόσταξη. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές εκχύλισης, άλλες συμβατικές και άλλες μη συμβατικές. Οι νέες τεχνικές χαρακτηρίζονται από μικρότερους χρόνους επεξεργασίας, ενώ είναι συνήθως λιγότερο ενεργοβόρες. Η επιλογή της τεχνικής που θα εφαρμοστεί σε μία βιομηχανία είναι απόφαση που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού, η εκπαίδευση του προσωπικού, η επιθυμητή ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.

6.2 Περιορισμοί στη χρήση

Ενώ ένα συστατικό, ένας φυτικός δευτερογενής μεταβολίτης, μπορεί να λειτουργεί ως βιοδραστική ουσία με συγκεκριμένες ιδιότητες και επιδράσεις, η συνδυαστική δράση και τα αθροιστικά αποτελέσματα ενός μείγματος πολλών συστατικών συχνά είναι αβέβαια και αυτό έχει προκαλέσει αυξανόμενες ανησυχίες. Επίσης, ορισμένες από τις εκχυλιζόμενες ενώσεις, όπως για παράδειγμα τα αλκαλοειδή, μπορούν να χαρακτηριστούν ως τοξικά ή επικίνδυνα ακόμη και σε μικρές ποσότητες.

Οι Ferraz et al., (2022) πραγματοποίησαν ανασκόπηση σχετικά με την τοξικότητα των αιθέριων ελαίων και φυτικών εκχυλισμάτων. Ένα από τα βασικότερα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν ήταν ότι τα αιθέρια έλαια δείχνουν να παρουσιάζουν μεγαλύτερη τοξικότητα από τα αντίστοιχα φυτικά εκχυλίσματα. Ωστόσο, η κατάσταση αυτή αντιστρέφεται όταν τα φυτά που χρησιμοποιούνται περιέχουν τοξικούς μεταβολίτες, οι οποίοι μπορούν να μεταφερθούν στο εκχύλισμα. Προτείνεται η χρήση διεθνών τυποποιημένων πρωτοκόλλων, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου τα αιθέρια έλαια και τα

εκχυλίσματα που περιέχουν βιοδραστικές ουσίες χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων, φαρμάκων ή καλλυντικών.

6.3 Μελλοντικές προοπτικές

Στο μέλλον θα πρέπει να πραγματοποιηθούν μελέτες και κλινικές δοκιμές που θα επιβεβαιώσουν και θα καθορίσουν ότι τα παραπροϊόντα είναι μία ασφαλή πηγή λειτουργικών συστατικών. Θα πρέπει να μελετηθεί αν μπορούν οι ουσίες που παραλαμβάνονται να λειτουργήσουν ως συνοδευτικά σκευάσματα της φαρμακευτικής αγωγής.

Στην βιομηχανία τροφίμων, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ως συστατικά σε καινοτόμα και λειτουργικά τρόφιμα.

Ακόμα θα μπορούσαν να εμπλουτίσουν τις εδώδιμες μεμβράνες και συσκευασίες και προστατέψουν αποτελεσματικότερα το τρόφιμο από αλλοιώσεις. Οι αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες που παρουσιάζουν τα αιθέρια έλαια και οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν δυνητικά να αυξήσουν τη διατηρησιμότητα του τροφίμου. Ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών αιθέριων ελαίων και εκχυλισμάτων αρωματικών φυτών είναι:

- Εκχύλισμα ή/και αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου σε εδώδιμη μεμβράνη καρβοξυμεθυλο-κυτταρίνης για την προστασία χελιού (Choulitoudi et al., 2017)
- Τυρόπηγμα, όπου στην εδώδιμη μεμβράνη από πρωτεΐνη ορού γάλακτος προστέθηκε εκχύλισμα κανέλας (Mileriene et al., 2021)
- Σε βοδινό κρέας όπου σε εδώδιμη μεμβράνη αλγινικού προστέθηκε εκχύλισμα βασιλικού (Alexandre et al., 2021)
- Σε φέτες μορταδέλας τύπου bologna όπου σε εδώδιμη μεμβράνη πηκτίνης προστέθηκαν αιθέρια έλαια θυμαριού *Thymus vulgaris* και *Thymbra spicata* (Gedikoglu, 2022)

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Adje, E.Y., Balti, R., Kouach, M., Dhulster, P., Guillochon, D., Nedjar-Arroume, N.** (2011). Obtaining antimicrobial peptides by controlled peptic hydrolysis of bovine hemoglobin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49 (2): 143-153: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21510973/>
- **Alexandre, S, Vital, A.C.P., Mottin, C., Do Prado, R.M., Ornaghi, M.G., Ramos, T.R., Guerrero, A., Pilau, E.J., Do Prado, I.N.** (2020). Use of alginate edible coating and basil (*Ocimum spp*) extracts on beef characteristics during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3835-3843: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-020-04844-1>
- **Andras, C.D., Simandi, B., Orsi, F., Lambrou, C., Missopolinou-Tatala, D., Panayiotou, C.** (2005). Supercritical carbon dioxide extraction of okra (*Hibiscus esculentus L*) seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 1415–1419: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.2130>
- **Andreadis S.S., Panteli, N., Mastoraki, M., Rizou, E., Stefanou, V., Tzentilasvill, S, Sarrou, E., Chatzifotis, S., Krigas, N., Antonopoulou, E.** (2022). Towards Functional Insect Feeds: Agri-Food By-Products Enriched with Post-Distillation Residues of Medicinal Aromatic Plants in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) Breeding. *Antioxidants*, 11 (1): 68: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/1/68>
- **Athanasiadis, V., Lakka, A., Palaioyiannis, D., Pappas, V.M., Bozinou, E., Ntourtoglou, G., Makris, D., Dourtoglou, V., Lalas, S.I.** (2021). Pulsed Electric Field and *Salvia officinalis L.* Leaves: A Successful Combination for the Extraction of High Value Added Compounds. *Foods*, 2021: 10 (9): 2014: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/9/2014>
- **Azmir, J., Zaidul, I.S.M., Rahman, M.M., Sharif, K.M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M.H.A., Ghafoor, K., Norulaini, N.A.N., Omar, A.K. M.** (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117 (4): 426- 436:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413000277>

- **Banerjee, P. & Shanthi, C.** (2012). Isolation of novel bioactive regions from bovine Achilles tendon collagen having angiotensin I-converting enzyme-inhibitory properties. *Process Biochemistry*, 47 (12): 2335-2346: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511312003534>
- **Bento-Silva, A., Koistinen, V.M, Mena, P., Bronze, M.R., Hanhineva, K., Sahlstrom, S., Kitryte, V., Moco, S., Aura, A.-M.** (2019). Factors affecting intake, metabolism and health benefits of phenolic acids: do we understand individual variability? *European Journal of Nutrition*, 59: 1275-1293
- **Bicchi C.** (2000). Essential Oils. Gas Chromatography. *Encyclopedia of Separation Science, III/Essential Oils//Distillation*, 2744-2755, Academic Press:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122267702024716>
- **Bribi, N.** (2018). Pharmacological activity of Alkaloids: A Review. *Asian Journal of Botany*, 1 () : 1-6 : https://www.researchgate.net/profile/Noureddine_Bribi/publication/324476579_Pharmacological_activity_of_Alkaloids_A_Review/links/5acf2dfcac2723a3344e20a/Pharmacological-activity-of-Alkaloids-A-Review.pdf
- **Bruni, R., Guerrini, A., Scalia, S., Romagnoli, C., Sacchetti G.** (2002). Rapid Techniques for the Extraction of Vitamin E Isomers from *Amaranthus caudatus* Seeds: Ultrasonic and Supercritical Fluid Extraction, *Phytochemical Analysis*, 13 (5): 257-261: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12918869/>
- **Bundy R., Walker, A.F., Middleton, R.W., Wallis, C, Simpson, H.C.R.** (2008). Artichoke leaf extract (*Cynara scolymus*) reduces plasma cholesterol in otherwise healthy hypercholesterolemic adults: a randomized, double blind placebo controlled trial. *Phytomedicine*, 15 (9): 668-675: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18424099/>
- **Burlec, A.F., Macovei, I., Sacarescu, A., Corcionva, A., Mircea, C., Iancu, C.E., Cionca, O., Hancianu, M.** (2020). Essential oils in wellness

centers: overview on European Union Legislation, Potential Therapeutic Effects and Toxicity. *Farmacia*, 68 (6): 992 – 998: https://www.researchgate.net/publication/348211025_Essential_oils_in_wellness_centers_Overview_on_european_union_legislation_potential_therapeutic_effects_and_toxicity

- **Chatzopoulou A, Karioti A., Gousiadou C., Vivancos, V.L., Kyriazopoulos, P., Golegou, S., Skaltsa, H.** (2010). Depsides and other polar constituents from *Origanum dictamnus* L. and their in vitro activity in clinical strains, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 58 (10): 6064-6068: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20423097/>
- **Chemat, S., Lagha, A., AitAmar, H., Bartels, P.V., Chemat, F.** (2004), Comparison of conventional and ultrasound-assisted extraction of carvone and limonene from caraway seeds, *Flavour and Fragrance Journal*, 19: 188–195: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ffj.1339>
- **Choulitoudi, E., Ganiari, S., Tsironi, T., Ntzimani, A., Tsimogiannis, D., Taoukis, P., Oreopoulou, V.** (2017). Edible coating enriched with rosemary extracts to enhance oxidative and microbial stability of smoked eel fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 107-113: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289416301995>
- **Cunico, L. P. & Turner, C.** (2017). Chapter 7 – Supercritical Fluids and Gas-Expanded Liquids. In the: *The Application of Green Solvents in Separation Processes*: 155-214: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128052976000073>
- **Dabbs, D.M., Mulders, N., Aksay, I.A.** (2006). Solvothermal removal of the organic template from L3 (“sponge”) templated silica monoliths. *Journal of Nanoparticle Research*, 8: 603-614: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11051-005-9063-4>
- **Dang, H.N.P. & Quirino, J.P.** (2021). Analytical Separation of Carcinogenic and Genotoxic Alkenylbenzenes in Food and Related Products (2010-2020). *Toxins*, 13(6): 387: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8228529/>

- **Da Silva, D.F., Matumoto-Pintro, P.T., Bazinet, L., Couillard, C., Britten, M.** (2015). Effect of commercial grape extracts on the cheese-making properties of milk. *Journal of Dairy Science*, 98 (30); 1552 -1562: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030215000247>
- **Debnath, B., Singh, W.S., Das, M., Goswami, S., Singh, M.K., Maiti, D., Manna, K.** (2018). Role of plant alkaloids on human health: A review of biological activities. *Materials Today Chemistry*, 9: 56-72 : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468519418300685>
- **Desmawati, D. & Sulastri, D.** (2019). Phytoestrogens and Their Health Effect. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 7 (3): 495-499: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6390141/>
- **Di Nunzio, M, Picone, G., Pasini, F., Caboni, M.F., Gianotti, A., Bordoni, A., Capozzi, F.** (2018). Olive oil industry by-products. Effects of a polyphenol-rich extract on the metabolome and response to inflammation in cultured intestinal cell. *Food Research International*, 113: 392-400: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996918305635>
- **FDA/ECFR (U.S. Food and Drug Administration/ Code of Federal Regulation).** (2018). Code of Federal Regulation - Title 21. – Food and Drugs. Available online [5/11/2022]: <https://www.fda.gov/medical-devices/medical-device-databases/code-federal-regulations-title-21-food-and-drugs>
- **Elshafie, H.S. & Camele, I.** (2017). An Overview of the Biological Effects of Some Mediterranean Essential Oils on Human Health. *Bioactive Natural Products*, 2017: 9268468: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2017/9268468/>
- **Ersoz, E., Kinik, O, Yerlikaya, O., Acu, M.** (2011). Effect of phenolic compounds on characteristics of strained yoghurts produced from sheep milk. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (23): 5351-5359: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/65FA8D137972>

- **Faustino, M., Veiga, m., Sousa, P., Costa, E.M., Silva, S., Pintado, M.** (2019). Agro-Food Byproducts as a New Source of Natural Food Additives. *Molecules*, 24 (6): 1056. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6471601/>
- **Ferraz, C.A., Pastorinho, M.R., Palmeira-de-Oliveira, A., Sousa, A.C.A.** (2022). Ecotoxicity of plant extracts and essential oils: A review. *Environmental Pollution*, 292 (B): 118319: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121019011>
- **Fraga-Corral, M., Otero, P., Echave, J., Garcia-Olliveira, P., Carpena, M., Jarboui, A., Nunez-Estevez, B., Simal-Gandara, Prieto, M.A.** (2021). By-Products of Agri-Food Industry as Tannin-Rich Sources: A Review of Tannins' Biological Activities and Their Potential for Valorization. *Foods*, 10 (1): 137: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/1/137>
- **Gbogouri, G.A., Linder, M., Fanni, J., Parmentier, M.** (2006). Influence of Hydrolysis Degree on the Functional Properties of Salmon Byproducts Hydrosylates. *Journal of Food Science*, 69 (8): C615-C622: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09909.x>
- **Gedikoglu, A.** (2022). The effect of *Thymus vulgaris* and *Thymbra spicata* essential oils and/or extracts in pectin edible coating on the preservation of sliced bolognas. *Meat Science*, 184: 198697: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174021002734>
- **Ghafoor, K., Park, J., Choi, Y.H.** (2010). Optimization of supercritical fluid extraction of bioactive compounds from grape (*Vitis labrusca* B.) peel by using response surface methodology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11 (3): 485-490: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856410000159>
- **Giannuzzo, A.N., Boggetti, H.J., Nazareno, M.A., Mishima, H.T.** (2003). Supercritical fluid extraction of naringin from the peel of citrus paradise,

https://www.researchgate.net/publication/10635383_Supercritical_fluid_extraction_of_naringin_from_the_peel_of_Citrus_paradisi

- **Guilhou, J.J., Dereure, O., Marzin, L., Ouvry, P., Zuccarelli, F, Debure, C., Van Landuyt, H., Gillet-Terver, M.N., Guillot, B., Levesque, H., Mignot, J., Pillion, G, Fevrier, B., Dubeaux, D.** (1997). Efficacy of Daflon 500 mg in venous leg ulcer healing: a double-blind, randomized, controlled versus placebo trial in 107 patients. *Angiology*, 48 (1): 77-85: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8995348/>
- **Gutierrez-Grijalva, E.P., Lopez-Martinez, L.X., Contreras- Angulo, L.A., Elizalde – Romero, C.A., Heredia, J.B.** (2020). 5. Plant Alkaloids: Structures and Bioactive Properties. In Book: *Plant-derived Bioactives*: 85 -117: https://www.researchgate.net/publication/342496437_Plant_Alkaloids_Structures_and_Bioactive_Properties
- **Handa, S.S., Khanuja, S.P.S., Longo, G., Rakesh, D.D.** (2008). Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants. *United Nations Industrial Development Organization and the International Centre for Science and High Technology*. Italy, Trieste: 1-2606
- **Hostetler, G.L., Ralston, R.A., Schwartz, S.J.** (2017). Flavones: Food Sources, Bioavailability, Metabolism, and Bioactivity. *Advances in Nutrition*, 8 (3): 423-435: <https://academic.oup.com/advances/article/8/3/423/4558050>
- **Ingle, K.P., Deshmukh, A.G., Padole, D.A. Dudhare, M.S., Moharil, M.P., Khelurkar, V.C.** (2017). Phytochemicals: Extraction methods, identification and detection of bioactive compounds from plants extracts. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6 (1): 32-36: <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue1/PartA/6-1-23-924.pdf>
- **Irshad, M., Subhani, M.A., Ali, S., Hussain, A.** (2018). Biological Importance of Essential Oils. In: El-Shemy, H. (editor). *Essential Oils*: 1-14: <https://www.intechopen.com/chapters/68027>

- **Jakovljevic, M., Moslavac, T., Bilic, M., Aladic, K., Bakula, F., Jokic, S.** (2018). Supercritical CO₂ extraction of oil from rose hips (*Rosa canina L.*) and cornelian cherry (*Cornus mas L.*) seeds. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 10 (2): 197-205: https://www.researchgate.net/publication/329435545_Supercritical_CO2_extraction_of_oil_from_rose_hips_Rosa_canina_L_and_cornelian_cherry_Cornus_mas_L_seeds
- **Jovanonic, A.A., Djordjevic, V.B., Petrovic, P.M., Plijevljakusic, D.S., Zdunic, G.M., Savikin, K.P., Bugarski, B.M.** (2021). The influence of different extraction conditions on polyphenol content, antioxidant and antimicrobial activities of wild thyme. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 25: 100328: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214786121000371>
- **Karimi, A., Kazemi, M., Samani, S.A., Simal-Gandara, J.** (2021). Bioactive compounds from by-products of eggplant: Functional properties, potential applications and advances in valorization methods. *Trends in Food Science & Technology*, 112: 518-531: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421002879>
- **Kwon, J.H., Belanger, J.M. R., Pare J. R., Yaylayan, V.A.** (2003). Application of microwave-assisted process (MAP TM) to the fast extraction of Ginseng saponins, *Food Research International*, 36: 491–498: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996902001977>
- **Liu, R., Wang, M., Duan, J.A.** (2010). Antipyretic and Antioxidant activities of the aqueous extract of Cornu bubali (water buffalo horn). *The American Journal of Chinese Medicine*, 38 (2): 293-306: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20387226/>
- **Lončar, M., Jakovljevic, M., Subaric, D., Pavlic, M., Sluzek, V.B., Cindric, I., Molnar, M.** (2020). Coumarins in Food and Methods of their Determination. *Foods*, 9(5): 645 : <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/5/645>

- **Ma, C.-J., Li, G-S., Zhang, D.-L., Liu, K., Fan, X.** (2005). One step isolation and purification of liquiritigenin and isoliquiritigenin from *Glycyrrhiza uralensis* Risch. using high-speed counter-current chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1078 (1-2): 188-192: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16007997/>
- **Machado, C.A., Oliveira, F.O., De Andrade, M.A., Hodel, K.V.S., Lepikson, H, Machado, B.A.S.** (2022). Steam Distillation for Essential Oil Extraction: An Evaluation of Technological Advances Based on an Analysis of Patent Documents. *Sustainability*, 14 (12): 7119: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/12/7119/htm>
- **Maghami, M, Afazel, M.R., Azizi-Fini. I., Maghami, M.** (2020). The effect of aromatherapy with peppermint essential oil on nausea and vomiting after cardiac surgery: A randomized clinical trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 40: 101199: 1-7: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32891278/>
- **Mahajan, M., Kuiry, R., Pal, P.K.** (2020). Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants. *Aromatic plants*, 18: 100255: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214786120300164>
- **Majekodunmi, S.O.** (2015). Review of extraction of medicinal plants for pharmaceutical research. *Merit Research Journals*, 3 (11): 521-527: <https://meritresearchjournals.org/mms/content/2015/November/Majekodunmi.pdf>
- **Manousi, N., Sarakatsianos, I., Samanidou, V.** (2019). 10-Extraction Techniques of Phenolic Compounds and Other Bioactive Compounds from Medicinal and Aromatic Plants. *Engineering Tools in the Beverage Industry*: 281-314: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012815258400010X>
- **Martinez, J.M., Delso, C., Alvarez, I., Raso, J.** (2020). Pulsed electric field assisted extraction of valuable compounds from microorganisms.

Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19 (2): 530-552: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12512>

- **McMurry, J.** (2010). Οργανική Χημεία (Δεύτερος Τόμος). Κουμπιάς, Ν. (editor), Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. Ηράκλειο
- **Mileriene, J., Serniene, L., Henriques, M., Gomes, D., Pereira, C., Kondrotiene, K., Kasetiene, N., Lauciene, L., Sekmokiene, D., Malakauskas M.** (2021). Effect of liquid whey protein concentrate-based edible coating enriched with cinnamon carbon dioxide extract on the quality and shelf life of Eastern European curd cheese. *Journal of Dairy Science*, 104 (2): 1504 -1517: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030220310080>
- **Misra, M.C & Parshad, R.** (2000). Randomized clinical trial of micronized flavonoids in the early control of bleeding from acute internal haemorrhoids. *British Journal of Surgery*, 87 (7): 868-872: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10931020/>
- **Mirzadeh, M., Arianejad, M.R., Khedmat, L.** (2020). Antioxidant, antiradical, and antimicrobial activities of polysaccharides obtained by microwave-assisted extraction method: A review. *Carbohydrate Polymers*, 229: 115421: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861719310884>
- **Montenegro, J., Dos Santos, L.S., De Souza, R.G.G., Lima, L.G.B., Mattos, D.S., Viana, B.P.P.B., Bastos, A.C.S.F., Muzzi, L., Conte-Junior, C, Gimba, E.R.P., Freitas, S., O., Teodoro, A.J.** (2021). Bioactive compounds, antioxidant activity and antiproliferative in prostate cancer cells of green and roasted coffee extracts obtained by microwave-assisted extraction (MAE). *Food Research International*, 140: 110014: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920310395>
- **Moreira, M.D., Melo, M.M., Coimbra, J.M., Dos Reis, K.C., Schwan, R.F., Silva, C.F.** (2018). Solid coffee waste as alternative to produce carotenoids with antioxidant and antimicrobial activities. *Waste Disposal & Recycling*, 82: 93-99: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30509600/>

- **Mukherjee, P.K.** 2019. Chapter 6- Extraction and Other Downstream Procedures for Evaluation of Herbal Drugs. *Drugs – Quality Control and Evaluation of Herbal Drugs*: 195-236: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128133743000065>
- **Munoz-Tebar, N., Gonzalez-Navarro, E., Lopez-Diaz, T.M., Santos, J.A., De Elgua-Culebras, G.O., Garcia-Martinez, M.M., Molina, A., Carmona, M, Beruga, M.I.** (2021). Biological Activity of Extracts from Aromatic Plants as Control Agents against Spoilage Molds Isolated from Sheep Cheese. *Foods*, 10 (7): 1576: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/7/1576>
- **Nasardin, N.R.M., Hanafiah, M.A.M., Zainon, M., Ibrahim, M., Zulkefle, A.A., Rahman, A.I.A.** (2018). Comparative Study on Steam Distillation and Hydro-Distillation Methods for Agarwood Oil Extraction. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13 (8) : 6253 – 6256: https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n8_89.pdf
- **Naja, F. Hamaden, R., Alameddine, M.** (2022). Regulatory frameworks for a safe and effective use of essential oils: A critical appraisal. *Advances in Biomedical and Health Sciences*, 19 (1): 7-12: <https://www.abhsjournal.net/article.asp?issn=2773-1545;year=2022;volume=1;issue=1;spage=7;epage=12;aulast=Naja>
- **Otero, P., Garcia-Oliveira, P., Carpena, M., Barral-Martinez, M., Chamorro, F., Echave, J., Garcia-Perez, P., Cao, H., Xiao, J., Simal-Gandara, J., Prieto, M.A.** (2021). Applications of by-products from the olive oil processing: Revalorization strategies based on target molecules and green extraction technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 116: 1084-1104: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421005318>
- **Panche, A.N., Diwan, A.D., Chandra, S.R.** (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, 5: e47: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5465813/>
- **Patel, V. & Patel, R.** (2016). The active constituents of herbs and their plant chemistry, extraction and identification methods. *Journal of*

Chemical and Pharmaceutical Research, 8(4): 1423-1443:
<https://www.researchgate.net/publication/315516091> The active constituents of herbs and their plant chemistry extraction and identification methods

- **Pazmino-Duran, E.A., Giusti, M.M., Wrolstad, R.E., Gloria, M.B.A.** (2001). Anthocyanins from banana bracts (*Musa X paradisiaca*) as potential food colorants. *Food Chemistry*, 73 (3): 327-332: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814600003058>
- **Ren, G., Xue, P., Sun, X., Zhao, G.** (2018). Determination of the volatile and polyphenol constituents and the antimicrobial, antioxidant, and tyrosinase inhibitory activities of the bioactive compounds from the by-product of *Rosa rugosa* Thunb.var. plena Regal tea. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18: 307: <https://bmccomplementmedtherapies.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12906-018-2374-7>
- **Roby M.H.H., Sarhan M.A., Selim K.A.H. and Khalel K.I.** (2013). Evaluation of antioxidant activity, total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts. *Industrial Corps and Products*, 43: 827-831: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669012004992>
- **Rodrigues, S. & Pinto, G.A.S.** (2007). Ultrasound extraction of phenolic compounds from coconut (*Cocos nucifera*) shell power. *Journal of Food Engineering*, 80 (3): 869 – 872: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S02608774060053>
- **Rozzi, N.L., Singh, R.K., Vierling, R.A., Watkins B.** (2002). Supercritical Fluid Extraction of Lycopene from Tomato Processing Byproducts, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 2638-2643: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf011001t>
- **Sah, B.N.P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., Donkor, O.N.** (2016). Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt

fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT – Food Science and Technology*, 65: 978-986: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643815301985>

- **Saha, A. & Basak, B.B.** (2020). Scope of value addition and utilization of residual biomass from medicinal and aromatic plants. *Industrial Crops and Products*, 145: 111979: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019309896>
- **Santos, J.D.C., Coelho, E., Silva R., Passos, C., Teixeira, P., Henriques, I., Coimbra, M.A.** (2019). Chemical composition and antimicrobial activity of *Satureja montana* byproducts essential oils. *Industrial Crops and Products*, 137: 541-548: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092666901930408X>
- **Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Cappellini, F., Reiner, Z., Zorzan, D., Imran, M., Sener, B., Kilic, M., El-Shazly, M., Fahmy, N.M., Al-Sayed, E., Martorell, M., Tonelli, C., Petroni, K., Docea, A.O., Calina, D., Maroyi, A.** (2020). The Therapeutic Potential of Anthocyanins: Current Approaches Based on Their Molecular Mechanism of Action. *Frontiers in Pharmacology*, 11: 1300: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2020.01300/full>
- **Sasanejad, P., Saeedi, M., Shoeibi, A., Gorji, A., Abbasi, M., Foroughipour, M.** (2012). Lavender essential oil in the treatment of migraine headache: a placebo-controlled clinical trial. *European Neurology*, 67(5): 288-291: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22517298/>
- **Schneider, K., Hovel, K., Witzel, K., Stubtle, H.-P.** (2003). The substrate specific-determining amino acid code of 4-coumarate: CoA ligase. *PNAS*, 100 (14): 8601-8606: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1430550100>
- **Shan, B, Cai, Y-Z., Brooks, J.D., Corke, H.** (2011). Potential application of spice and herb extracts as natural preservatives in cheese. *Journal of*

Medicinal Food, 14 (3): 284-290:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21142945/>

- **Shinichi, S., Yoshiki, Y., Okubo, K.** (2002). Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*). *Food Chemistry*, 79 (3): 351-354:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814602001863>
- **Soares, T.F. & Oliveira, M.B.P.P.** (2022). Cocoa By products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. *Molecules*, 27 (5): 1625: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/5/1625>
- **Solomou, A.D., Martinos, K., Skoufogianni, E., Danalatos, N.G.** (2015). Medicinal and Aromatic Plants Diversity in Greece and Their Future Prospects: A Review. *Agricultural Science*, 4 (1): 9-21:
https://www.researchgate.net/publication/281292382_Medicinal_and_aromatic_plants_in_Greece_and_their_future_prospects_a_review
- **Szentmihalyi, K., Vinkler, P., Lakatos, B., Illes, V., Then, M.** (2002). Rose hip (*Rosa canina* L.) oil obtained from waste hip seeds by different extraction methods, *Bioresource Technology*, 82 (2): 195– 201:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12003323/>
- **Teixeira, A., Elras-Dias, J., Castellarin, S. D., Geros, H.** (2013). Berry Phenolics of Grapevine under Challenging Environments. *International Journal of Molecular Sciences*, 14 (9): 18711-18739:
<https://www.mdpi.com/1422-0067/14/9/18711>
- **Tzima, K., Brunton, N.P., Lyng, J.G., Frontuto, D., Rai, S.K.** (2021). The effect of Pulsed Electric Field as a pre-treatment step in Ultrasound Assisted Extraction of phenolic compounds from rosemary and thyme by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 69:102644:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146685642100045X>
- **Ueno-lio, T., Shibakura, M., Yokota, K., Aoe, M., Hyoda, T., Shinohata, R., Kanehiro, A., Tanimoto, M., Kataoka, M.** (2014). Lavender essential oil inhalation suppresses allergic airway inflammation and mucous cell hyperplasia in a murine model of asthma. *Life Sciences*, 108 (2): 109-115:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24909715/>

- **Voronin, D.V., Abalymov, A.A., Svenskaya, Y.I., Lomova, M.V.** (2021). Key Points in Remote-Controlled Drug Delivery: From the Carrier Design to Clinical Trials. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (17): 9149: <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/17/9149/htm>
- **Vuolo, M.M., Lima, V.S., Junior, M.R.M.** (2019). Chapter 2 - Phenolic compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. *Health Benefits and Potential Application*: 33-50: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128147740000025>
- **Watanabe, E., Kuchta, K., Kimura, M., Rauwald, H.W., Kamei, T., Imanishi, J.** (2015). Effects of bergamot (*Citrus bergamia* (Risso) Wright & Arn.) essential oil aromatherapy on mood states, parasympathetic nervous system activity, and salivary cortisol levels in 41 healthy females. *Forschende Komplementarmedizin*, 22(1): 43-49: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25824404/>
- **Yang, L., Yang, C., Li, C., Zhao, Q., Liu, L., Fang, X., Chen, X.-Y.** (2016). Recent advances in biosynthesis of bioactive compounds in traditional Chinese medicinal plants. *Science Bulletin.*, 61 (1): 3-17: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095927316302225>
- **Zekovic, Z, Pintac, D., Majkic, T., Vidovic, S., Mimica-Dukic, Teslic, N., Versari, A., Pavlic, B.** (2017). Utilization of sage by-products as raw material for antioxidants recovery – Ultrasound versus microwave-assisted extraction. *Industrial Crops and Products*, 99: 49-59: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669017300298>
- **Zhang, J., Wen, C., Zhang, H., Duan, Y., Ma, H.** (2020). Recent advances in the extraction of bioactive compounds with subcritical water: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 95: 183-195: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224419303668>

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 1130/2011** της Επιτροπής, της 11ης Νοεμβρίου 2011, για τροποποίηση του παραρτήματος III του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1333/2008 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου που αφορά τα πρόσθετα τροφίμων, με την κατάρτιση ενωσιακού καταλόγου για τα πρόσθετα τροφίμων που εγκρίνονται για χρήση σε πρόσθετα τροφίμων, ένζυμα τροφίμων, αρωματικές ύλες τροφίμων και θρεπτικές ουσίες. L 295/178 της 12.11.2011. Διατίθεται στο διαδίκτυο [06/9/2022]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32011R1130>
- **Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1333/2008** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 που αφορά τα πρόσθετα τροφίμων. ΕΕ L 354 της 31.12.2008. Διατίθεται στο διαδίκτυο [06/9/2022]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1333-20220720&from=EN>
- **Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1334/2008** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 για αρωματικές ύλες και ορισμένα συστατικά τροφίμων με αρωματικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται εντός και επί των τροφίμων και για την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 1601/91 του Συμβουλίου, του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 2232/96, του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 110/2008 και της οδηγίας 2000/13/ΕΚ. ΕΕ L 254 της 31.12.2008. Τελευταία τροποποίηση 24/22/2021. Διατίθεται στο διαδίκτυο [06/9/2022]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1334-20211124&from=EN>
- **Κασιώτης, Θ.Σ. & Χατζοπούλου, Σ.Π.** (2019). Αρωματικά φαρμακευτικά φυτά και αιθέρια έλαια. Εκδόσεις Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- **Μαλούπα, Ε., Γρηγοριάδου, Κ., Λάζαρη, Δ., Κρίγκας, Ν.** (2013). Καλλιέργεια, μεταποίηση και διασφάλιση ποιότητας των ελληνικών αρωματικών-φαρμακευτικών φυτών. Βασικές αρχές κατετοποιημένης παραγωγής. Καβάλα, 2013.
- **Μάρας Γ.Α.** (2019). Bar – Ποτά - Οινολογία. Φαιδίμος (εκδόσεις). Αθήνα

- **Πιερρακέας, Α.** (1971). Πολύτιμα βιομηχανικά αρωματικά φυτά. Εκδοτικός οίκος Σπύρος Σπύρου, Αθήνα.
- **Σκρουμπής, Β.** (1985). Αρωματικά φυτά και αιθέρια έλαια. Εκδοτικός οίκος Offset Γιαχούλη-Γιαπούλη Ο.Ε., Θεσσαλονίκη.
- **Στεφάνου, Π., Μπαλούτας, Δ., Κατσινίκας, Δ., Αβραάμ, Ε.Μ., Κυριαζόπουλος, Α.Π., Παρίση, Ζ.Μ., Αραμπατζής, Γ.** (2015). Η καλλιέργεια των αρωματικών φυτών στην Ελλάδα: παρούσα κατάσταση, δυνατότητες και προοπτικές. *Conference Paper*: https://www.researchgate.net/profile/Eleni-Abraham/publication/279911445_Cultivation_and_production_of_aromatic_plants_in_Greece_present_situation_possibilities_and_prospects/links/5694cb2e08ae425c68970c71/Cultivation-and-production-of-aromatic-plants-in-Greece-present-situation-possibilities-and-prospects.pdf