

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΑΙΘΕΡΙΟΥ ΕΛΑΙΟΥ ΑΠΟ ΔΕΝΔΡΟΛΙΒΑΝΟ (*Rosmarinus
officinalis*) ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ – ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ**



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΑΔΡΑΜΑΝΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΦΟΥΓΓΑΡΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ, 2021

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΑΙΘΕΡΙΟΥ ΕΛΑΙΟΥ ΑΠΟ ΔΕΝΔΡΟΛΙΒΑΝΟ (*Rosmarinus officinalis*)
ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ – ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ
ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ

MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION OF ESSENTIAL OIL FROM
ROSEMARY (*Rosmarinus officinalis*) – OPTIMIZATION OF EXTRACTION
PROTOCOL

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. Αθ. Σφουγγάρης, Καθηγητής (Επιβλέπων)
2. Όλγα Γκορτζή, Καθηγήτρια
3. Γιαννούλης Κυριάκος, Επίκουρος Καθηγητής

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα αυτή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη βοήθεια του υπεύθυνου Καθηγητή κ. Σφουγγάρη Αθανάσιου, καθώς και την υποστήριξη της κυρίας Τομαρά Νίκης, ΕΤΕΠ του Εργαστηρίου Διαχείρισης Οικοσυστημάτων και Βιοποικιλότητας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, την κα Γκορτζή Όλγα, Καθηγήτρια και τον κ. Γιαννούλη Κυριάκο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματός μας που αφιέρωσαν χρόνο για την αξιολόγηση αυτής της προσπάθειας.

Σας ευχαριστώ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα, τόσο της αυτοφυούς χλωρίδας όσο και της συστηματικής καλλιέργειας. Οι χρήσεις των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών και των ελαίων τους δεν περιορίζονται μόνο στην παραγωγή φυτικών φαρμάκων, αλλά διευρύνονται και στην παραγωγή καινοτόμων τροφίμων, φυσικών συντηρητικών τροφίμων, καλλυντικών και αρωμάτων. Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο τον προσδιορισμό των ιδανικών συνθηκών για τη μέγιστη παραλαβή αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου με τη μέθοδο εκχύλισης σε φούρνο χώνευσης με μικροκύματα, χωρίς την προσθήκη διαλυτών. Διαχωρίστηκαν άνθη, φύλλα και ετήσιοι βλαστοί από το φυτό δενδρολίβανο και αφού διαβρέχτηκαν για λίγη ώρα, τοποθετήθηκαν στη συσκευή εκχύλισης για την παραλαβή αιθέριου ελαίου. Στην προχοΐδα της συσκευής δημιουργήθηκαν δύο φάσεις υγρών από τις οποίες η ανώτερη ανήκε στο αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου και η κατώτερη στο νερό. Με το τέλος της διαδικασίας το νερό απομακρύνθηκε και το αιθέριο έλαιο μπήκε σε σκούρο μπουκαλάκι και τοποθετήθηκε στο ψυγείο για την βέλτιστη συντήρησή του. Μετά από μία σειρά δοκιμών με ποικίλες συνθήκες εκχύλισης (πρωτόκολλα) φάνηκε ότι βασικό ρόλο για την καλύτερη ποσοτική απόδοση είχε η ισχύς της συσκευής εκχύλισης και η ποσότητα νερού διαβροχής. Ένα ακόμα συμπέρασμα της εργασίας ήταν ότι ο χρόνος πραγματοποίησης της εκχύλισης μπορούσε να επηρεάσει το αποτέλεσμά της. Το αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου μπορεί να αξιοποιηθεί στη γεωργία ως αντιμυκητιακό- φυτοπροστατευτικό και ως εντομοκτόνο. Οι χρήσεις του αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου προεκτείνονται στο χώρο των τροφίμων, καθώς αποτελεί συντηρητικό ωμών προϊόντων ζωικής προέλευσης, όπως το κρέας και τα ψάρια. Τέλος το αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου, μέσα από φαρμακευτικά προϊόντα συμβάλλει στην εύρυθμη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, καθώς περιέχει αντιβακτηριακές, αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες.

SUMMARY

The aromatic and medicinal plants are an important part for both the natural flora and the systematic cultivation. The uses of aromatic and medicinal plants and their oils are not only limited to the production of herbal medicines but also expanded to the production of cosmetics and perfumes. The aim of this exercise was to find the ideal conditions from the maximum uptake of rosemary essential oil by the microwave extraction method, without addition of solvents. Flowers, leaves and annual stems of rosemary were separated and soaked for a short time. They were placed into the extraction device for the collection of essential oil. Two phases of liquids were created in the tube of the device. The upper phases belonged to the rosemary essential oil and the lower belonged to water. In the end of the extraction water was removed and the essential oil was put into a little black bottle. The bottle was placed in the refrigerator for its best conservation. Many tests, with a variety of extraction conditions, were shown that the basic role for the best quantitative result was the power of extraction device and the quantity of water. The extraction time could also affect the result of the extraction products. The essential oil of rosemary can be used at agriculture as antifungal and insecticide. The uses of rosemary essential oil can be expanded in the sector of food industry as a food conservative for raw products of animal origin such as meat and fish. Finally, the medicinal products with essential oil of rosemary can contribute to the right function of human body due to its antibacterial, anti-inflammatory and antioxidant properties.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Βάρη δειγμάτων πριν την ξήρανση στον κλίβανο.....	36
Πίνακας 2: Βάρη δειγμάτων μετά την ξήρανση στον κλίβανο.....	37
Πίνακας 3: Λεπτομερή στοιχεία των δειγμάτων δενδρολίβανου και των παραμέτρων των εκχυλίσεων που πραγματοποιήθηκαν.....	43

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ/ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Εικόνα 4.1: Διαχωρισμός φρέσκων φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών από πολυετείς βλαστούς.....	23
Εικόνα 4.2: Ξήρανση φυτού στο εργαστήριο.....	24
Εικόνα 4.3: Το εσωτερικό του κλίβανου ξήρανσης με τις σακούλες που περιέχουν τους πολυετείς βλαστούς του φρέσκου δενδρολίβανου.....	25
Εικόνα 4.4: Φυτικό δείγμα για διαβροχή με απεσταγμένο νερό.....	26
Εικόνα 4.5: Φωτογραφία ψυκτικής μηχανής (chiller).....	26
Εικόνα 4.6: Γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System με δείγμα φυτικού υλικού και απεσταγμένο νερό.....	27
Εικόνα 4.7: Είσοδος και σταθεροποίηση του γυάλινου δοχείου στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.....	27
Εικόνα 4.8: Σύστημα εκχύλισης σε φούρνο χώνευσης με μικροκύματα χωρίς διαλύτες. Απεικόνιση της ψυκτικής μηχανής στο κάτω μέρος και της συσκευής εκχύλισης Milestone Start D Microwave Digestion System στο πάνω μέρος.....	28
Εικόνα 4.9: Η προχοΐδα του συστήματος Milestone Start D Microwave Digestion System με τις 2 φάσεις υγρών. Η ανώτερη φάση περιέχει το αιθέριο έλαιο και η κατώτερη το νερό.....	29
Εικόνα 4.10: Τα δείγματα του αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου της 1 ^{ης} , 2 ^{ης} , 3 ^{ης} , 10 ^{ης} , 11 ^{ης} , 12 ^{ης} και 13 ^{ης} εκχύλισης τοποθετημένα σε σκουρόχρωμα μπουκαλάκια.....	30

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΑ ΦΥΤΑ- (ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ)..1	
1.1 Ορισμός αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών.....1	1
1.2 Ταξινόμηση αρωματικών –φαρμακευτικών φυτών.....1	1
1.3 Χρήσεις αρωματικών – φαρμακευτικών φυτών.....2	2
1.4 Αιθέρια έλαια.....2	2
1.4.1 Ορισμός.....2	2
1.4.2 Χημική δομή τερπενίων.....2	2
1.4.3 Ρόλος των αιθέριων ελαίων στα φυτά.....3	3
1.4.4 Εντομοκτόνος δράση των αιθέριων ελαίων.....3	3
1.4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των αιθέριων ελαίων ως εντομοκτόνων.....4	4
1.4.6 Αντιμυκητιακές ιδιότητες των αιθέριων ελαίων.....4	4
1.4.7 Αιθέρια έλαια και υγεία.....5	5
2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ- (ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ).....6	6
2.1 Μέθοδοι προετοιμασίας των επιλεγμένων φυτών για παραγωγή αιθέριου ελαίου.....6	6
2.2 Βασικές τεχνικές για την παραλαβή αιθέριων ελαίων.....7	7
2.2.1 Απόσταξη.....7	7
2.2.2 Εκχύλιση.....9	9
2.2.3 Εκχύλιση σε φούρνο χώνευσης με μικροκύματα, χωρίς διαλύτες.....9	9
2.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εκχύλισης μικροκυμάτων χωρίς διαλύτες.....10	10
2.2.5 Σύγκριση υδροαπόσταξης και εκχύλισης με φούρνο χώνευσης με μικροκύματα, χωρίς διαλύτες.....10	10
2.3 Βασικοί κανόνες υγιεινής και τρόπου λειτουργίας του εξοπλισμού για την παραλαβή αιθέριων ελαίων.....11	11
3. ΔΕΝΔΡΟΛΙΒΑΝΟ (<i>Rosmarinus officinalis</i>)-(ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ).....12	12
3.1 Ιστορική αναδρομή.....12	12
3.2 Περιγραφή – Στοιχεία Καλλιέργειας.....12	12
3.2.1 Συστηματική ταξινόμηση.....12	12
3.2.2 Μορφολογία.....12	12
3.2.3 Απαιτούμενες εδαφοκλιματικές συνθήκες.....13	13
3.2.4 Προετοιμασία εδάφους για καλλιέργεια.....13	13

3.2.5 Συγκομιδή- Ξήρανση- Αποδόσεις.....	13
3.2.6 Αντιμικροβιακές ιδιότητες.....	14
3.3 Χρήσεις αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου.....	14
3.3.1 Εντομοκτόνος δράση του δενδρολίβανου.....	14
3.3.2 Αντιμυκητιακή προστασία- φυτοπροστασία με αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου.....	15
3.3.3 Ο ρόλος του δενδρολίβανου στη συντήρηση τροφίμων.....	16
3.3.4 Επιδράσεις του δενδρολίβανου στην υγεία.....	17
3.4 Εργαστηριακές τεχνικές για την παραλαβή αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου.....	19
3.4.1 Σημασία της ξήρανσης της πρώτης ύλης στην ποιότητα του αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου.....	19
3.4.2 Μέθοδοι εκχύλισης και επιρροή τους στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του δενδρολίβανου.....	20
3.4.3 Αναγνώριση βιοδραστικών ουσιών των αιθέριων ελαίων με τις μεθόδους της χρωματογραφίας.....	21
3.4.4 Σκοπός της έρευνας.....	22
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	23
4.1 Συλλογή φυτικού υλικού.....	23
4.2 Διαχείριση φυτικού υλικού στο εργαστήριο.....	23
4.3 Διαδικασία εκχύλισης δενδρολίβανου σε συσκευή φούρνου χώνευσης με μικροκύματα.....	25
4.3.1 Διαβροχή φυτικού υλικού.....	25
4.3.2 Λειτουργία ψυκτικής μηχανής (Chiller).....	26
4.3.3 Λειτουργία συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System.....	27
4.3.4 Παραλαβή αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου.....	29
4.4 Στοιχεία εκχυλίσεων δενδρολίβανου που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο.....	30
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	36
5.1 Υπολογισμός ξηρού βάρους του φρέσκου δενδρολίβανου.....	36
5.2 Υπολογισμός ποσοστού παραχθέντος αιθέριου ελαίου και ξηρού βάρους φυτικού δείγματος ανά εκχύλιση.....	37
6. ΣΥΖΥΤΗΣΗ.....	44
6.1 Πρωτόκολλα και παράμετροι εκχύλισης σε φούρνο μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη διαλυτών.....	44
6.2 Ρύθμιση παραμέτρων εκχύλισης και απόδοση σε αιθέριο έλαιο.....	45

6.2.1 Αναλογία ποσότητας φυτικού υλικού και νερού κατά την εκχύλιση.....	45
6.2.2 Κατάσταση του φυτικού υλικού των εκχυλίσεων.....	46
6.2.3 Ρύθμιση παραμέτρων της εκχύλισης.....	46
6.2.4 Ποσότητα νερού διαβροχής και χρόνος διαβροχής.....	47
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51

1. ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΑ ΦΥΤΑ- (ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ)

1.1 Ορισμός αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών

Αρωματικά φυτά χαρακτηρίζονται τα φυτά εκείνα που έχουν ξεχωριστό και ελκυστικό άρωμα, από τα οποία παραλαμβάνονται με πολλές τεχνικές οι αρωματικές ουσίες και τα αιθέρια έλαια για την παρασκευή αρωμάτων αλλά και άλλων εύοσμων προϊόντων. Συνήθως αυτά σχετίζονται και με τον όρο φαρμακευτικά, δηλαδή παράγουν και δραστικές ουσίες με θεραπευτικές ιδιότητες για τον άνθρωπο. Πολλά αρωματικά φυτά προέρχονται από τις οικογένειες *Lauraceae*, *Umbelliferae*, *Myrtaceae*, *Lamiaceae* και αρκετές άλλες (Pandey et al. 2020).

1.2 Ταξινόμηση αρωματικών –φαρμακευτικών φυτών

Εκτός από την ταξινόμησή τους ανάλογα με τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, τα φυτά μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με (Pandey et al. 2020):

- Τη χρήση τους (αρωματική, φαρμακευτική, μαγειρική, διακοσμητική)
- Τις δραστικές ουσίες που περιέχουν (έλαια, τανίνες κα.)
- Τη διάρκεια ζωής τους (ετήσια, διετή, πολυετή)
- Τη μορφή (βότανο, θάμνος, δέντρο κ.α.)
- Τον τρόπο που τρέφονται (αυτότροφα, ετερότροφα, συμβιωτικά)
- Το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται

Συγκεκριμένα, τα αρωματικά φυτά κερδίζουν όλο και περισσότερο τις εντυπώσεις στο χώρο της μαγειρικής και της αρωματοποιίας, ενώ άλλα ξεχωρίζουν για τις δραστικές ουσίες που περιέχουν, καθώς αποτελούν υλικά για την παραγωγή φαρμάκων. Επίσης, η ταξινόμησή τους μπορεί να γίνει με βάση τη διάρκεια ζωής τους όπου παρατηρούνται ετήσια, διετή ή πολυετή φυτά. Τα βοτανικά γνωρίσματα είναι ένα αρκετά σημαντικό κριτήριο ταξινόμησης όλων των φυτικών οργανισμών. Συμπερασματικά, μπορούν να υπάρξουν ποικίλοι τρόποι ταξινόμησης, είτε με τις ιδιότητες και χρήσεις των φυτών είτε με τα βοτανικά τους χαρακτηριστικά.

1.3 Χρήσεις αρωματικών – φαρμακευτικών φυτών

Τα αρωματικά φυτά χρησιμοποιούνται με σκοπό την παραγωγή φαρμακευτικών προϊόντων, όπως είναι τα συμπληρώματα διατροφής, τα ομοιοπαθητικά, φυτικά και βοτανικά φάρμακα. Επίσης, βρίσκουν χρήση σε τρόφιμα, τσάγια και ροφήματα. Τον φυτικό αυτό πλούτο εκμεταλλεύεται ο κλάδος της αρωματοποιίας παράγοντας αιθέρια έλαια για θεραπευτικούς σκοπούς. Τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται από την αρχαιότητα τόσο για τη δημιουργία καλλυντικών όσο και για θεραπεία. Στις μέρες μας τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται αυτούσια ή με τη μορφή μίγματος (φυσικά έλαια μεταξύ τους ή με διαλύτες ή με συνθετικά έλαια) (Μαλούπα κ.ά. 2013).

1.4 Αιθέρια έλαια

1.4.1 Ορισμός

Τα φυτά παράγουν ενώσεις μικρής μοριακής μάζας που ονομάζονται τερπένια ή γνωστά ως αιθέρια έλαια. Οι ενώσεις αυτές είναι πτητικά υγρά με χαμηλό σημείο βρασμού και με βάση τη χημική τους δομή ανήκουν στην ομάδα των λιπιδίων με κύρια συστατικά τους τα τερπένια. Αποτελούν χρήσιμα στοιχεία στην αρωματοποιία και στη δημιουργία καρυκευμάτων και φαρμάκων, λόγω του έντονου αρωματικού τους χαρακτήρα (Βάρβογλης 2005). Συγκεκριμένα, τα αιθέρια έλαια είναι μία ομάδα δευτερογενών μεταβολιτών των φυτών οι οποίοι παραλαμβάνονται μέσω της διαδικασίας απόσταξης με υδρατμούς (ατμοαπόσταξη) από διάφορα μέρη των φυτών. Ο τρόπος της απόσταξης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του αιθέριου ελαίου που θα προκύψει (Buchbauer and Wallner 2016).

1.4.2 Χημική δομή τερπενίων

Τα τερπένια ως προς τη χημική τους δομή είναι κυρίως ακόρεστοι υδρογονάνθρακες, αλκοόλες και καρβονυλικές ενώσεις. Ο ανθρακικός σκελετός τους είναι διαφόρων τύπων, όπως ανοικτής αλυσίδας, κυκλικός, δικυκλικός κ.α. Σημαντική είναι η παρουσία κάποιων τερπενίων απλής δομής τα οποία περιέχουν 10 άτομα C, όπως τα:

- Νερόλη και γερανιόλη, τα οποία απαντούν στο ροδέλαιο και αποτελούν το ζεύγος E, Z- ισομερών.
- α- πινένιο, το οποίο βρίσκεται κυρίως στο τερεβινθέλαιο των πεύκων.

- Καμφορά, η οποία απαντά ως προϊόν τροπικών δέντρων.
- Λεμονένιο, που βρίσκεται σε πολλά αιθέρια έλαια.

Μια άλλη ομάδα τερπενίων, που έχουν αριθμό ατόμων C πολλαπλάσιο του 5 έως και 40 είναι τα:

- Αμπισικό οξύ (με 15 άτομα C), το οποίο δρα ως φυτορμόνη και ευθύνεται για την πτώση των φύλλων και την αναστολή της βλάστησης των σπόρων.
- Ρετινόλη ή Βιταμίνη A (με 20 άτομα C), η οποία συμμετέχει ως εστέρας στη δομή της χλωροφύλλης.
- Πορτοκαλί β-καροτένιο και ερυθρό λυκοπένιο (με 40 άτομαC), τα οποία αποτελούν έγχρωμες ενώσεις του καρότου και της τομάτας αντίστοιχα.
- Ζεαξανθίνη, η οποία αποτελεί οξυγονούχο παράγωγο καροτενοειδών.

Τα διάφορα είδη καροτενοειδών βρίσκονται στα τρόφιμα και στα φυτά και παρέχουν αντιοξειδωτική προστασία (Βάρβογλης 2005).

1.4.3 Ρόλος των αιθέριων ελαίων στα φυτά

Η συμβολή των αιθέριων ελαίων στις λειτουργίες των φυτών είναι αξιοσημείωτη. Πολλές φορές αποτελούν μηχανισμούς άμυνας των φυτικών κυττάρων. Σημαντική είναι και η ύπαρξη τερπενίων στα φυτικά μέρη, διότι δεν περιορίζονται μόνο στις αντιδράσεις φωτοσύνθεσης και τον αντιοξειδωτικό τους χαρακτήρα, αλλά δρουν ως αμυντικές ή ως προσελκυστικές ουσίες εντόμων που βοηθούν στη γονιμοποίηση των φυτών. Επίσης, μερικά από αυτά λειτουργούν και ως ορμόνες σχετικά με τα έντομα (Βάρβογλης 2005).

1.4.4 Εντομοκτόνος δράση των αιθέριων ελαίων

Ως μία λύση για την αντιμετώπιση των εχθρών των καλλιεργειών προτείνονται τα αιθέρια έλαια, τα οποία παρουσιάζουν φυτοπροστατευτικές ιδιότητες, όπως είναι η εντομοκτόνος δράση τους. Τα έλαια των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών φαίνεται να δρουν ταχύτατα στο νευρικό σύστημα των εντόμων, καθώς έρχονται σε επαφή με αυτά. Επίσης, εμφανίζουν καλά αποτελέσματα με εντομοκτόνο-εντομοαπωθητική δράση ως υποκαπνιστικά σε κλειστούς χώρους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία των αποθηκευμένων σιτηρών, αλλά και στον αγρό ως εντομοκτόνα επαφής τα οποία ψεκάζονται στα φυτά. Ακόμα ένα θετικό

χαρακτηριστικό τους είναι ότι αφήνουν ελάχιστα υπολείμματα στα φυτά. Μερικά φυτά που χρησιμοποιούνται ως δραστικά συστατικά στην παραγωγή σκευασμάτων με εντομοκτόνο δράση είναι το δεντρολίβανο, η μέντα, η κανέλα, το γαρίφαλο, ο ευκάλυπτος και το θυμάρι, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό (Isman 2020).

1.4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των αιθέριων ελαίων ως εντομοκτόνων

Η εφαρμογή των αιθέριων ελαίων ως εντομοκτόνων για την προστασία των καλλιεργειών ή και των αποθηκευμένων προϊόντων, όπως τα σιτηρά, παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Αρχικά, έχουν πολύ χαμηλή τοξικότητα σε χαμηλές συγκεντρώσεις και δεν προκαλούνται επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Επίσης, μπορούν να προταθούν για χρήση σε βιολογικές καλλιέργειες, καθώς έχουν χαμηλή υπολειμματικότητα στα φυτά και δεν είναι τοξικά για πουλιά, ψάρια και άλλα ζώα. Ωστόσο, υπάρχουν και μειονεκτήματα, καθώς σε μεγάλες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται τοξικές επιπτώσεις στα φυτά. Για την αποφυγή του κινδύνου φυτοτοξικότητας πρέπει να γίνονται πειραματικές εφαρμογές στον αγρό, ώστε να δοκιμάζονται ως προς τις αρνητικές επιδράσεις τους. Επιπλέον, οι χρήσεις των αιθέριων ελαίων επεκτείνονται στη βιομηχανία, κάτι το οποίο τα καθιστά δυσεύρετα (Isman 2020).

Συμπερασματικά, τα αιθέρια έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιοεντομοκτόνα και να αποτελέσουν μία εναλλακτική λύση που όταν χρησιμοποιείται σε χαμηλές συγκεντρώσεις δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ούτε και την ανθρώπινη υγεία.

1.4.6 Αντιμυκητιακές ιδιότητες των αιθέριων ελαίων

Τα αιθέρια έλαια ήταν γνωστά από τον Μεσαίωνα ακόμα για τις αντιβακτηριακές, αντιμυκητιακές και εντομοκτόνες ιδιότητές τους. Επίσης, χρησιμοποιούνταν ως φάρμακα για διάφορες ασθένειες και ως καλλυντικά. Σήμερα, οι εφαρμογές τους έχουν εξελιχθεί αρκετά στο χώρο της βιομηχανίας όπου παράγονται προϊόντα για φαρμακευτικές και γεωργικές χρήσεις. Η αποτελεσματικότητά τους αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα εκχυλίσματα που προκύπτουν είναι πλούσια σε τερπενικές ενώσεις, δηλαδή φαινόλες και άλλα αλειφατικά συστατικά. Οι αντιμυκητιακές ιδιότητες φαίνεται να προκύπτουν, είτε από τη συνεργιστική δράση των κύριων ενώσεων των εκχυλισμάτων με δευτερεύουσες ενώσεις, είτε από τη δράση μόνο των

κύριων συστατικών που περιέχονται στα αιθέρια έλαια. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα ουσιών που παρουσιάζουν μυκητοκτόνο δράση είναι η ευγενόλη και το καρβόνιο. Έλαια τα οποία περιείχαν ποσότητες ευγενόλης και καρβονίου απομονώθηκαν από γαρίφαλο, βασιλικό, κύμινο και μαντζουράνα, ώστε να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα της μυκητοκτόνου δράσης τους. Σε τρυβλία δημιουργήθηκαν καλλιέργειες *Candida albicans* και *Aspergillus niger*, ώστε να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα των εκχυλισμάτων κατά των συγκεκριμένων μυκήτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πιο ισχυρά εκχυλίσματα ήταν αυτά του γαρίφαλου και του κύμινου. Στη συνέχεια εξετάστηκαν μόνο τα εκχυλίσματα του γαρίφαλου και του κύμινου. Προέκυψε ότι όταν συνδυάστηκαν τα αιθέρια έλαια των επιμέρους εκχυλισμάτων υπήρξε συνεργιστική επίδραση με αυξημένη ανασταλτική δράση έναντι των μυκήτων. Βέβαια πάντα υπάρχουν ορισμένες προϋποθέσεις που μπορούν να ασκήσουν επιρροή στα αποτελέσματα όπως η τεχνική που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των αιθέριων ελαίων από τους φυτικούς ιστούς, η σύνθεση του εκχυλίσματος που προκύπτει, τα στελέχη των μυκήτων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία, το μέσο καλλιέργειας καθώς και το pH του, ο όγκος του εμβολίου, η φάση ανάπτυξης των μικροοργανισμών και η θερμοκρασία επώασης (Hassan et al. 2020).

Έτσι, τα αποτελέσματα μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με την πειραματική διαδικασία. Παρόλα αυτά, τα αιθέρια έλαια φαίνεται να έχουν θετικές επιδράσεις στον τομέα της γεωργίας, όσο αφορά την προστασία από φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς. Έχει αποδειχθεί ότι αυτά μπορούν να αποτελέσουν ανασταλτικό παράγοντα στην εμφάνιση μυκήτων.

1.4.7 Αιθέρια έλαια και υγεία

Η επίδραση που έχουν τα αιθέρια έλαια στην υγεία είναι σημαντική καθώς εμφανίζουν αντιβακτηριδιακές, αντιμυκητιασικές και αντικές ιδιότητες. Ακόμα, εφαρμόζονται σε αντικαρκινικές θεραπείες, αλλά και θεραπείες καρδιαγγειακών και νευρικών διαταραχών. Επίσης, έχουν αξιοσημείωτη συμβολή στη μείωση της χοληστερόλης στο αίμα, αλλά και στη ρύθμιση του επιπέδου γλυκόζης. Τέλος, τα αιθέρια έλαια βρίσκουν χρήση στη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών (Buchbauer and Wallner 2016).

2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ - (ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ)

Η παραλαβή αιθέριων ελαίων ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα και τεχνικές ως προς την προετοιμασία του εργαστηρίου για την παραγωγή τους. Επίσης, κατά την διαδικασία παραγωγής τους, καθώς και στη μετέπειτα ανάλυσή τους. Πρέπει πάντα να τηρούνται οι κανόνες του εργαστηρίου, ώστε να διεξάγονται με ασφάλεια όλες οι απαραίτητες μέθοδοι για την ολοκλήρωση του πειράματος. Οι απαραίτητες τεχνικές που λαμβάνουν χώρα αναλύονται παρακάτω.

2.1 Μέθοδοι προετοιμασίας των επιλεγμένων φυτών για παραγωγή αιθέριου ελαίου:

- **Ξήρανση:** Τα φυτά που προορίζονται για την παραγωγή αιθέριων ελαίων τις περισσότερες φορές αποξηραίνονται. Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνεται η υγρασία που διαθέτουν στους ιστούς τους, καθώς και αυτή που έχουν απορροφήσει από την ατμόσφαιρα. Η διεργασία απομάκρυνσης της υγρασίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Άλλοι είναι απλοί και άλλοι περισσότερο σύνθετοι, διότι ο τρόπος ξήρανσης μιας ουσίας εξαρτάται από τη φύση της αλλά και από την ταχύτητα την οποία χρειάζεται να γίνει η ξήρανση. Ο απλούστερος τρόπος, αν η ουσία είναι ευπαθής και υπάρχει αρκετός χρόνος, είναι να αφήνεται να ξηραθεί στην ατμόσφαιρα ή να χρησιμοποιείται ξηραντήρας. Σε περίπτωση που απαιτηθεί συντομότερος χρόνος ξήρανσης εφαρμόζεται υποπίεση, θέρμανση ή συνδυασμός τους. (Λάλια-Καντούρη και Παπαστεφάνου 2014). Η αποξήρανση των φυτών που έχουν προορισμό την παραγωγή αιθέριων ελαίων έχει σκοπό την υψηλή ποιότητα προϊόντος, αλλά και τη συντήρηση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα των δραστικών συστατικών, του αρώματος, των οργανοληπτικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών τους μετά τη συγκομιδή. Η διαδικασία της ξήρανσης πραγματοποιείται με τη χρήση φούρνων στους οποίους κυκλοφορεί θερμό ρεύμα αέρα. Απαραίτητη είναι η χρήση δίσκων που φέρουν μικρές οπές. Τα φυτά τοποθετούνται εντός του φούρνου πάνω στους δίσκους, όπου διαμέσου των οπών πραγματοποιείται ροή θερμού αέρα και επιτυγχάνεται η ξήρανση της δρόγης (Μαλούπα κ.ά. 2013).

- **Ζύγιση:** Τα προϊόντα της ξήρανσης (αποξηραμένα φυτά) ή ακόμα και νωπά που προορίζονται για την παραγωγή ελαίων ζυγίζονται σε ζυγούς για τον προσδιορισμό του βάρους τους. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος είναι η χρήση ηλεκτρικών ζυγών ανοικτού ή κλειστού τύπου. Σε όλους τους τύπους απαντούν δύο κοινά στοιχεία, που είναι η ακρίβεια και η ευαισθησία τους. Ως **ακρίβεια** ορίζεται το ελάχιστο κλάσμα γραμμαρίου που μετράει ο ζυγός, όπως για παράδειγμα 0,01g ή 0,001g σε ανοικτού τύπου ζυγούς. Ως ευαισθησία ορίζεται η δυνατότητα να αποκλίνει από την κατάσταση ισορροπίας του με την προσθήκη ελάχιστου βάρους (Λάλια-Καντούρη και Παπαστεφάνου 2014). Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων κάθε εργαστηριακού πειράματος είναι στενά συνδεδεμένη με τη σωστή ζύγιση των υλικών που λαμβάνουν μέρος σε αυτό.

2.2 Βασικές τεχνικές για την παραλαβή αιθέριων ελαίων

Στο εργαστήριο βρίσκει εφαρμογή μία ποικιλία μεθόδων με σκοπό την εξαγωγή αιθέριων ελαίων από τα φυτά. Οι τρόποι που προτείνονται για αυτή τη διαδικασία εμφανίζονται από απλοί έως και πιο σύνθετοι, που όμως επικεντρώνονται σε δύο κύριες τεχνικές: την απόσταξη και εκχύλιση.

2.2.1 Απόσταξη

Ο όρος **απόσταξη** προσδιορίζει μία εργαστηριακή διαδικασία κατά την οποία επιτυγχάνεται καθαρισμός ενός υγρού ή διαχωρισμός των συστατικών ενός μίγματος υγρών ουσιών. Όταν τα συστατικά συνυπάρχουν στο μίγμα σε αξιοσημείωτο ποσοστό το καθένα και το σημείο ζέσεώς τους είναι σημαντικά διαφορετικό, τότε η απόσταξη χαρακτηρίζεται ως κλασματική. Το μίγμα των ουσιών θερμαίνεται μέχρι βρασμού και οι ατμοί που παράγονται συμπυκνώνονται με ψύξη. Το υγρό που συλλέγεται ονομάζεται απόσταγμα. Η κοινή συσκευή απόσταξης αποτελείται από τη φιάλη που περιέχει την προς απόσταξη ουσία, το επίθεμα της φιάλης όπου στερεοποιείται το θερμόμετρο για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, τον ψυκτήρα για τη συμπύκνωση των υδρατμών, τους σωλήνες εισόδου-εξόδου νερού και τέλος το δοχείο όπου συλλέγεται το απόσταγμα. Εκτός από την απλή συσκευή είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και περιστροφικός αποστακτήρας (Rotary Evaporator) (Λάλια-Καντούρη και Παπαστεφάνου 2014).

Τέσσερις είναι οι κύριες αποτελεσματικές πρακτικές απόσταξης:

- *Υδροαπόσταξη*: Η τεχνική είναι εύκολη και με μικρό κόστος. Το προϊόν που προκύπτει δεν είναι υψηλής ποιότητας, καθώς τα φυτά μαζί με νερό θερμαίνονται στο ίδιο δοχείο με αποτέλεσμα η σύσταση πολλών ενώσεων να διαφοροποιείται και να προκύπτει διάλυση οξυγονούχων ενώσεων στο νερό, υδρόλυση εστέρων, πολυμερισμός μονοτερπενίων κ.α. Χαρακτηρίζεται ως μία χρονοβόρα διαδικασία, διότι απαιτεί αρκετές ώρες απόσταξης και το προϊόν είναι χαμηλής ποιοτικής αξίας (Μαλούπα κ.ά. 2013).
- *Υδροατμοαπόσταξη*: Η τεχνική βασίζεται στην παραλαβή του αιθέριου ελαίου με τη χρήση ατμών. Το φυτό βρίσκεται πάνω σε σχάρα η οποία δεν έρχεται σε επαφή με το νερό. Το νερό που βρίσκεται κάτω από τη σχάρα θερμαίνεται και οι παραγόμενοι ατμοί παρασύρουν τα αιθέρια έλαια του φυτού που βρίσκεται από πάνω. Χαρακτηρίζεται ως καλύτερη μέθοδος για την παραλαβή υψηλής ποιότητας προϊόντος, αλλά η απόδοση σε αιθέριο έλαιο είναι μικρότερη (Μαλούπα κ.ά. 2013).
- *Απόσταξη με υδρατμούς (ατμοαπόσταξη)*: Η τεχνική αξιοποιείται κυρίως από τον βιομηχανικό χώρο για την παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων αιθέριων ελαίων. Χρησιμοποιεί μία εξωτερική γεννήτρια ατμού, ώστε να γίνεται έλεγχος της ποσότητας ατμού που εισέρχεται στο σύστημα. Τα φυτά τοποθετούνται σε άμβυκα και δέχονται με πίεση τον ατμό που παράγεται σε διαφορετικό θάλαμο. Τα αιθέρια έλαια παρασύρονται από το θερμό ατμό και οδηγούνται στον θάλαμο συμπύκνωσης. Στο θάλαμο συμπύκνωσης πραγματοποιείται ψύξη του ατμού και συμπύκνωσή του σε νερό. Το νερό που προκύπτει είναι λίγο αρωματισμένο. Η συλλογή του αιθέριου ελαίου λαμβάνει χώρα στο διαχωριστή, όπου τα αιθέρια έλαια βρίσκονται στο πάνω μέρος του, ενώ το αρωματισμένο νερό στο κάτω μέρος του. Συγκριτικά με άλλες μεθόδους απαιτεί λιγότερο χρόνο απόσταξης και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, όμως ο εξοπλισμός του είναι αρκετά δαπανηρός (Μαλούπα κ.ά. 2013).
- *Απόσταξη υπό κενό*: Η τεχνική χρησιμοποιεί χαμηλά σημεία βρασμού κατά την απόσταξη. Αυτό συμβαίνει, επειδή η παραλαβή των αιθέριων ελαίων γίνεται από τη δρόγη η οποία βρίσκεται υπό κενό. Η απόσταξη μπορεί να προσαρμοστεί με το σημείο βρασμού των ουσιών. Με τη μέθοδο αυτή δεν

δημιουργείται αλλοίωση των συστατικών του ελαίου, συνεπώς και της ποιότητάς του. Η απόσταξη υπό κενό χρησιμοποιείται κυρίως στο ραφινάρισμα των ελαίων (Μαλούπα κ.ά. 2013).

2.2.2 Εκχύλιση

Ο όρος **εκχύλιση** προσδιορίζει την παραλαβή μιας ουσίας από ένα μίγμα διαφόρων στερεών ουσιών με τη χρήση ενός διαλυτικού μέσου. Συγκριτικά με την απλή διάλυση η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι στο διαλύτη μόνο η ουσία ενδιαφέροντος είναι διαλυτή και οι υπόλοιπες δεν διαλύονται. Επίσης, με τον όρο εκχύλιση εννοείται η παραλαβή μιας ουσίας από διάλυμά της σε κάποιο διαλύτη με τη βοήθεια ενός δεύτερου διαλύτη. Η βέλτιστη εκχύλιση πραγματοποιείται με την προϋπόθεση ότι η διαλυτότητα της ουσίας είναι αυξημένη στον δεύτερο διαλύτη σε σχέση με τον πρώτο. Ακόμη, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η διαλυτότητα του ενός διαλύτη στον άλλον θα πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή, ώστε να μην προκληθεί αντίδραση μεταξύ τους και να είναι εύκολος ο διαχωρισμός τους σε δύο διακριτές στιβάδες. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με τη χρήση διαχωριστικού χωνιού με στρόφιγγα, η οποία ανοίγει για την παραλαβή του προϊόντος. Ένας άλλος τρόπος εκχύλισης είναι και η συσκευή Soxhlet (Λάλια-Καντούρη και Παπαστεφάνου 2014).

2.2.3 Εκχύλιση σε φούρνο χώνευσης με μικροκύματα, χωρίς διαλύτες

Μία μέθοδος εκχύλισης είναι αυτή σε φούρνο χώνευσης με μικροκύματα που πραγματοποιείται απουσία διαλυτών και διαφοροποιείται από τη μέθοδο τροποποιημένης εκχύλισης με μικροκύματα που χρησιμοποιεί οργανικούς διαλύτες αλλά και από την μέθοδο υδροαπόσταξης που χρειάζεται νερό. Στην εκχύλιση σε φούρνο χώνευσης με μικροκύματα χωρίς κάποιον διαλύτη λαμβάνει χώρα απόσταξη κατά την οποία οι ιστοί του φυτικού υλικού διογκώνονται αφού προηγουμένως έχουν διαβραχεί με νερό με αποτέλεσμα οι αδένες και τα ελαιώδη αγγεία να σπάνε και να απελευθερώνεται το αιθέριο έλαιο. Προκαλείται εξάτμιση του αιθέριου ελαίου μαζί με το νερό διαβροχής του φυτού με αζεοτροπική απόσταξη. Παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η ισχύς της συσκευής μικροκυμάτων τόσο μειώνεται και ο χρόνος που απαιτείται για την εκχύλιση του ελαίου. Το νερό που περιέχεται στα φυτικά κύτταρα θερμαίνεται και το αιθέριο έλαιο διαχέεται προς το εξωτερικό μέσο (Filly et al. 2014).

2.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εκχύλισης μικροκυμάτων χωρίς διαλύτες

Η χρήση της παραπάνω μεθόδου προσφέρει κάποια οφέλη έναντι άλλων μέσων εκχύλισης. Αρχικά, θεωρείται ως μία πράσινη μέθοδος παραλαβής αιθέριων ελαίων αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών, καθώς παράγει αιθέρια έλαια με διαδικασία που σέβεται το περιβάλλον. Επιπλέον, δεν χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες νερού ή οργανικούς διαλύτες, αλλά εκμεταλλεύεται το νερό που υπάρχει στους ιστούς του ίδιου του φυτού μετά τη διαβροχή του. Είναι μία ταχύτερη μέθοδος εξαγωγής των ελαίων με μικρότερο κόστος παραγωγής, ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, καθώς και μειωμένες εκπομπές CO₂. Σημαντικό είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων να υπάρχει έλεγχος από το λογισμικό της συσκευής για τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτή, όπως ο χρόνος, η θερμοκρασία, η ισχύς και η πίεση που απαιτούνται για την εκχύλιση. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της ισχύος και του επιθυμητού χρόνου εκχύλισης. Ως προς την ποιότητα του αιθέριου ελαίου αυτή παρουσιάζει αύξηση στα ποσοστά οξυγονωμένων ενώσεων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι πιο αρωματικό. Τέλος, ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι χρησιμοποιούνται σε εμπορική κλίμακα και έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης. Ως ένα από τα μειονεκτήματα της μεθόδου θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η απώλεια οξυγονωμένων ενώσεων και ο μειωμένος αρωματικός χαρακτήρας που μπορούν να προκύψουν από ρυθμίσεις χαμηλής ισχύος της τάξης των 250-500W. Επίσης, σε ρυθμίσεις χαμηλής ισχύος απαιτείται περισσότερος χρόνος για τη διαδικασία της εκχύλισης (Filly et al. 2014).

2.2.5 Σύγκριση υδροαπόσταξης και εκχύλισης με φούρνο χώνευσης με μικροκύματα, χωρίς διαλύτες

Η εξαγωγή αιθέριων ελαίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες τεχνικές. Η πιο κοινή τεχνική παραλαβής των αιθέριων ελαίων που χρησιμοποιείται ευρύτατα τόσο σε ερευνητικά εργαστήρια όσο και σε βιομηχανική κλίμακα είναι η υδροαπόσταξη. Κατά την υδροαπόσταξη απαιτούνται αρκετές ποσότητες νερού, ενώ στην εκχύλιση με μικροκύματα δεν χρειάζεται κάποιος διαλύτης ή μεγάλες ποσότητες νερού για να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή του ελαίου. Τα μικροκύματα εκμεταλλεύονται το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την διαβροχή του φυτικού ιστού. Επίσης, κατά την υδροαπόσταξη υπάρχει κίνδυνος θερμικής υποβάθμισης του προϊόντος. Η μέθοδος

των μικροκυμάτων είναι ταχύτερη από τη μέθοδο της υδροαπόσταξης και για αυτό το λόγο έχει μικρότερο κόστος επεξεργασίας και καταναλώνει λιγότερη ενέργεια. Όσο αφορά την ποιότητα των αιθέριων ελαίων με τις δύο αυτές μεθόδους βρέθηκε ότι στην υδροαπόσταξη παράγεται μεγαλύτερος αριθμός υδρογονανθράκων μονοτερπενίου, ενώ στην εκχύλιση με μικροκύματα παράγονται περισσότερες οξυγονωμένες ενώσεις, οι οποίες προσδίδουν στο αιθέριο έλαιο έναν πιο ισχυρό αρωματικό χαρακτήρα (Filly et al. 2014).

2.3 Βασικοί κανόνες υγιεινής και τρόπου λειτουργίας του εξοπλισμού για την παραλαβή αιθέριων ελαίων

Η αναζήτηση τρόπων για την παραγωγή υψηλής ποιότητας αιθέριων ελαίων δεν σταματά μόνο στις τεχνικές που χρησιμοποιούνται, αλλά σχετίζεται άμεσα και με την ολοκληρωμένη φροντίδα και διαχείριση του εξοπλισμού. Συγκεκριμένα, απαραίτητο είναι να τηρούνται κριτήρια καθαριότητας των σκευών που έρχονται σε επαφή με τα προϊόντα. Τα σκεύη όπου πραγματοποιείται η απόσταξη θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα, ώστε να είναι ανθεκτικά σε μεγάλες θερμοκρασίες και να μην υπάρχει κίνδυνος οξείδωσης. Κύριο μέσο καθαρισμού της συσκευής απόσταξης αποτελεί ο ατμός με σκοπό την απομάκρυνση και της μικρότερης ποσότητας αιθέριου ελαίου. Ακόμα, αν είναι αναγκαία η επέμβαση χημικών σκευασμάτων θα πρέπει η αναλογία των ποσοτήτων να αναγράφεται στο πρόγραμμα καθαρισμού. Βασική προϋπόθεση για τον σωστό τρόπο λειτουργίας της συσκευής απόσταξης είναι η χρήση θερμόμετρου για τον έλεγχο της θερμοκρασίας της συσκευής, καθώς με τον τρόπο αυτό υπάρχει πρόληψη για υπερθέρμανση (Μαλούπα κ.ά. 2013).

3. ΔΕΝΔΡΟΛΙΒΑΝΟ (*Rosmarinus officinalis*) - (ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ)

3.1 Ιστορική αναδρομή

Από τα αρχαία χρόνια μέχρι και σήμερα τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά κερδίζουν όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον της γαστρονομίας, της παραδοσιακής ιατρικής, αλλά και των θρησκευτικών τελετών. Ένα φυτό πολύ γνωστό από την αρχαιότητα είναι το δενδρολίβανο (*Rosmarinus officinalis*), που δεν χρησιμοποιήθηκε μόνο για το άρωμά του, αλλά και για ιατρικούς σκοπούς. Οι αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν το συγκεκριμένο βότανο σε θρησκευτικές τελετές και εορτές. Ακόμα θεωρούσαν ότι είναι ευεργετικό για την ενίσχυση της μνήμης, για το συκώτι, την καρδιά και την όραση. Το όνομα *Rosmarinus* σημαίνει δροσιά της θάλασσας και προέρχεται από την λατινική λέξη *ros* (δροσιά) και την *marinus* (θαλάσσιος). Η ονομασία αυτή δόθηκε επειδή πιστευόταν ότι το φυτό μπορεί να αναπτυχθεί μόνο με την υγρασία της θάλασσας, χωρίς πρόσθετη άρδευση (Kumar et al. 2016).

3.2 Περιγραφή – Στοιχεία Καλλιέργειας

3.2.1 Συστηματική ταξινόμηση

Μία αξιοσημείωτη πηγή αιθέριων ελαίων αποτελεί η οικογένεια των Χειλανθών, με τη λατινική ονομασία *Lamiaceae*. Τα φυτά της οικογένειας *Lamiaceae* βρίσκονται στη φύση με τη μορφή πόας ή θάμνου και τα περισσότερα περιέχουν αρωματικά αιθέρια έλαια. Το *Rosmarinus officinalis* διαθέτει τουλάχιστον 20 διαφορετικές ποικιλίες ανάλογα με τα μορφολογικά του χαρακτηριστικά. Το γένος *Rosmarinus* περιλαμβάνει εκτός του είδους *R.officinalis* και τα είδη *Rosmarinus eriocalyx*, *Rosmarinus tomentosus*, *Rosmarinus lavandulaceus* και *Rosmarinus laxiflorus*. Το είδος *R.officinalis* αναφέρεται και ως δενδρολίβανο το φαρμακευτικό και χρησιμοποιείται για την παραγωγή αιθέριου ελαίου (Ribeiro- Santos et al. 2015).

3.2.2 Μορφολογία

Το δενδρολίβανο είναι αειθαλής θάμνος, πολυετής που το ύψος του φτάνει το 1,5m. Τα φύλλα είναι δερματώδη, γραμμοειδή, άμισχα και αντίθετα, με λαμπερό πράσινο χρώμα. Το μήκος τους φτάνει τα 3,5cm και το πλάτος τους είναι 2-4mm. Η πάνω

επιφάνεια είναι σκούρη πράσινη με τρίχωμα. Τα άνθη είναι συχνά ανοιχτά κυανά έως ιώδη, δεν έχουν ποδίσκο και φύονται στις μασχάλες των φύλλων. Τα κλαδιά του θάμνου μετά το δεύτερο χρόνο ξυλοποιούνται. Η πρώτη και κύρια ανθοφορία του παρατηρείται Απρίλιο-Μάιο, ενώ ανθοφορεί για δεύτερη φορά τον Οκτώβριο-Νοέμβριο, με λιγότερες αποδόσεις από την πρώτη (Μαλούπα κ.ά. 2013).

3.2.3 Απαιτούμενες εδαφοκλιματικές συνθήκες

Το είδος αναπτύσσεται ως αυτοφυής βλάστηση σε πετρώδεις περιοχές της Μεσογείου, αλλά και της Κυρηναϊκής λεκάνης. Στην Ελλάδα παρατηρείται στα Κύθηρα και την περιοχή Ριτσώνας-Χαλκίδας. Μπορεί να αναπτυχθεί είτε σε όξινα είτε σε αλκαλικά εδάφη, όμως υψηλής ποιότητας προϊόντα έχουν παρατηρηθεί σε ελαφρώς όξινο έδαφος. επίσης, προτιμάει τα εδάφη με καλή στράγγιση, ενώ τα βαριά εδάφη θεωρούνται ακατάλληλα για την καλλιέργειά του. Προτιμάει περιοχές με ηλιοφάνεια, ενώ μπορεί να καλλιεργηθεί σε θερμά και σε ψυχρά κλίματα, καθώς ανέχεται υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού και χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα (Μαλούπα κ.ά. 2013).

3.2.4 Προετοιμασία εδάφους για καλλιέργεια

Τους θερινούς μήνες πρέπει να λαμβάνει χώρα βαθύ όργωμα και να χορηγούνται 50kg λιπάσματος σύστασης 11-15-15 σε N-P-K/στρέμμα. Αυξημένες αποδόσεις δίνονται με ετήσια λίπανση 10 μονάδες N-P-K. Σε βιολογικές καλλιέργειες συνιστάται η προσθήκη χωνεμένης κοπριάς ή άλλων βιολογικών σκευασμάτων (Μαλούπα κ.ά. 2013).

3.2.5 Συγκομιδή- Ξήρανση- Αποδόσεις

Η συγκομιδή του δενδρολίβανου πραγματοποιείται κατά το δεύτερο έτος της καλλιέργειας. Στην Ελλάδα αναμένονται δύο με τρεις συγκομιδές ανά έτος ανάλογα με το πότισμα (Μαλούπα κ.ά. 2013).

Η συγκομιδή γίνεται με δρεπάνι ή με θεριστική μηχανή και το φυτό κόβεται 30-50cm από την κορυφή μαζί με τα φύλλα και τα άνθη. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην κοπούν τα ξυλώδη τμήματα του φυτού. Η πρώτη συγκομιδή είναι δυνατή 6 μήνες μετά τη φύτευση και οι υπόλοιπες κάθε 4 μήνες. Τα

συγκομισμένα φυτά ξηραίνονται στην σκιά (Wilson 2016). Με βάση ελληνικά δεδομένα το Μάιο γίνεται η πρώτη συγκομιδή, τον Ιούλιο η δεύτερη και τον Οκτώβριο η τρίτη. Οι αποδόσεις των νωπών φυτών του δενδρολίβανου μπορεί να φτάσουν και τα 900kg/στρέμμα, ενώ της ξηρής δρόγης τα 250-350kg/στέμμα (Μαλούπα κ.ά. 2013).

3.2.6 Αντιμικροβιακές ιδιότητες

Το δενδρολίβανο παρουσιάζει αντιμικροβιακές ιδιότητες και μπορεί να είναι αποτελεσματικό εναντίον των *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumonia*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermis*, *Bacillus subtilis* και *Candida albicans*. Επίσης, εμφανίζει αντιοξειδωτικές ιδιότητες όταν χρησιμοποιείται σε επεξεργασμένα κρέατα (Wilson 2016).

3.3 Χρήσεις αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου

3.3.1 Εντομοκτόνος δράση του δενδρολίβανου

Οι εντομολογικές προσβολές είναι ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα των καλλιεργειών. Η κύρια αντιμετώπισή τους γίνεται με χημικά σκευάσματα τα οποία έχουν πολλές φορές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Μία μέθοδος η οποία σέβεται το περιβάλλον είναι αυτή που χρησιμοποιεί τα αιθέρια έλαια του δενδρολίβανου ως εντομοκτόνο ουσία. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα αιθέρια έλαια θα μπορούσαν να επιδράσουν θετικά στον έλεγχο των εντομολογικών εχθρών (Isman 2020). Συγκεκριμένα, τα αιθέρια έλαια του δενδρολίβανου περιέχουν μονοτερπενικές ενώσεις οι οποίες έχουν άμεση επίδραση στο βιολογικό κύκλο των εντόμων. Σε πρόσφατο πείραμα στην Τυνησία παράχθηκαν και εξετάστηκαν ως προς τη σύνθεση και την αποτελεσματικότητά τους αιθέρια έλαια δενδρολίβανου από 8 διαφορετικά φυσικά περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το δενδρολίβανο μπορεί να δράσει κατά των αυγών, προνυμφών και ενηλίκων του *Ectomyelois ceratoniae*, το οποίο είναι ένα είδος σκόρου (Abada et al.2020).

Σε άλλο πείραμα διερευνήθηκε η εντομοκτόνος δράση του δενδρολίβανου με τη μορφή αποξηραμένων με ψεκάσμο μικροενθλακωμένων αιθέριων ελαίων κατά του *Tribolium confusum*. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι τα

μικροενθυλακωμένα έλαια είναι περισσότερο δραστικά από τα μη τυποποιημένα έλαια, στα οποία η εντομοκτόνος δράση περιορίζεται στις 15 μέρες από την περίοδο της αποθήκευσης. Οι μικροκάψουλες αιθέριων ελαίων έχουν τη δυνατότητα ελεγχόμενης απελευθέρωσης και είναι χρήσιμο εργαλείο για την προστασία αποθηκευμένων προϊόντων (Ahsaei et al. 2020). Συνεπώς, τα αιθέρια έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εντομοκτόνο δράση τους και να προσφέρουν θετικές επιδράσεις στο χώρο της γεωργίας με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Είναι γεγονός ότι αποτελεί ακόμα αντικείμενο πειραμάτων και μεγάλου ενδιαφέροντος για τη βελτίωση της γεωργίας.

3.3.2 Αντιμυκητιακή προστασία- φυτοπροστασία με αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου

Η χρήση των αιθέριων ελαίων λαμβάνει χώρα στη γεωργία, κυρίως σε βιολογικές καλλιέργειες, σε αντικατάσταση της εφαρμογής μυκητοκτόνων φαρμάκων. Λόγω της σύνθεσής τους τα αιθέρια έλαια έχουν αντιμυκητιακές ιδιότητες και μπορούν να προβάλλουν αντίσταση στην εμφάνιση μυκήτων που προσβάλλουν τις καλλιέργειες και δημιουργούν προβλήματα στην παραγωγή.

Το αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου είναι ένα από τα παραδείγματα αιθέριων ελαίων που δοκιμάστηκαν κατά φυτοπαθολογικών μυκήτων των γενών *Aspergillus* και *Fusarium*. Χρησιμοποιήθηκαν έλαια που απομονώθηκαν με υδροαπόσταξη από συσκευή τύπου Clevenger. Αποδείχθηκε ότι τα εκχυλίσματα δενδρολίβανου ήταν αποτελεσματικά στα παθογόνα *Aspergillus niger* και *Fusarium oxysporum* (Ferdes et al. 2017).

Άλλη μία θετική επίδραση της χρήσης αιθέριων ελαίων δενδρολίβανου φάνηκε σε προσβολή καλλιέργειας φράουλας από *Botrytis cinerea*. Χρησιμοποιήθηκαν εκχυλίσματα δενδρολίβανου, δάφνης και γαρίφαλου και αιθέρια έλαια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ξεχωριστά ή συνδυαστικά μέσα σε ποικίλες συγκεντρώσεις σε θρεπτικό υλικό όπου βρισκόταν καλλιέργεια του μύκητα. Το αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου είχε χαμηλό ποσοστό αναστολής (31,91%), αλλά σε συνδυασμό με αιθέριο έλαιο γαρίφαλου έδειξε καλύτερα αποτελέσματα (Sernaite et al. 2020).

Είναι γεγονός ότι τα εκχυλίσματα δεντρολίβανου μπορούν να δράσουν ανασταλτικά στην ανάπτυξη φυτοπαθολογικών μυκήτων. Ταυτόχρονα σέβονται το περιβάλλον και μπορούν σε κάποιο βαθμό να αντικαταστήσουν τα μυκητοκτόνα φάρμακα που

χρησιμοποιούνται στις περισσότερες καλλιέργειες. Έτσι, είναι μία καλή πρόταση όσο αφορά στη βιολογική γεωργία για τον έλεγχο αρκετών ασθενειών των φυτών.

3.3.3 Ο ρόλος του δενδρολίβανου στη συντήρηση τροφίμων

Η συντήρηση των τροφίμων είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος για τη βιομηχανία τροφίμων, αλλά και ως ερευνητικό ζήτημα για όλη την επιστημονική κοινότητα. Οι καταναλωτές θέλουν να προμηθεύονται τα προϊόντα τους και αυτά να έχουν ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κατανάλωσης. Πρέπει όλα τα προϊόντα να έχουν την ικανότητα να αντέχουν στο χρόνο και να μην γίνονται αιτία να κινδυνεύει η υγεία των καταναλωτών. Συνήθως χρησιμοποιούνται διάφορες συσκευασίες τροφίμων που είναι ειδικά κατασκευασμένες για να διατηρούν τα προϊόντα όσο γίνεται πιο κοντά στην αρχική τους κατάσταση με την πάροδο του χρόνου και να έχουν μακροπρόθεσμη συντήρηση. Βέβαια, μία ακόμη λύση για την διατήρηση των τροφίμων μπορούν να υποσχεθούν και οι εφαρμογές των αιθέριων ελαίων.

Συγκεκριμένα, τα αιθέρια έλαια έχουν την ιδιότητα να αναστέλλουν τις βακτηριακές προσβολές που δημιουργούνται στα τρόφιμα όταν αυτές είναι σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Πρέπει πάντα όμως οι συγκεντρώσεις των αιθέριων ελαίων που χρησιμοποιούνται να μην επιδρούν στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων και γι' αυτό το λόγο οι συγκεντρώσεις τους συνηθίζεται να είναι χαμηλές. Το δεντρολίβανο διαθέτει αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες που το καθιστούν ικανό να λειτουργήσει ως συντηρητικό τροφίμων. Σε μελέτη που έγινε για τη συντήρηση του κρέατος χρησιμοποιήθηκαν εκχυλίσματα δεντρολίβανου που είχαν προκύψει από εκχύλιση με υπερήχους, εκχύλιση με διαλύτη και εκχύλιση υπερκρίσιμων υγρών. Η μέθοδος με τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα ήταν αυτή της εκχύλισης με υπερήχους, καθώς αυτή απέδωσε υψηλότερη συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων, οι οποίες περιέχουν ισχυρή αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική δράση. Επίσης, βρέθηκε ότι οι φαινολικές ενώσεις που περιέχονται στο εκχύλισμα του δεντρολίβανου αυξάνουν το ερυθρό χρώμα του κρέατος όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή τους. Τελικά, οι επεμβάσεις με αιθέριο έλαιο *Rosmarinus officinalis* αύξησαν την χρόνο ζωής του κρέατος σε 21 μέρες (Rashidaie Abandansarie et al. 2019).

Σε άλλη μελέτη ερευνήθηκε η δυνατότητα συντήρησης μπιφτεκιών από ψάρια με εκχυλίσματα διαφόρων φυτών. Χρησιμοποιήθηκαν εκχυλίσματα ελιάς,

δεντρολίβανου και ροδιού, καθώς και τα τρία έχουν ισχυρό αντιοξειδωτικό χαρακτήρα. Το εκχύλισμα δεντρολίβανου λήφθηκε με εκχύλιση σε υδατικό μέσο και απλή διήθηση του φυτικού υλικού, συμπύκνωση και ξήρανση. Τα εκχυλίσματα δεντρολίβανου που δεν εμφάνιζαν διαλυτότητα στο νερό ελήφθησαν με εκχύλιση με ακετόνη-νερό, διήθηση του φυτικού υλικού, συμπύκνωση και ξήρανση. Το πείραμα έδειξε ότι τα προϊόντα της εκχύλισης είχαν αποτελέσματα κατά των βακτηρίων *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* και η διάρκεια ζωής των μπιφτεκίων παρατάθηκε για επιπλέον 11 μέρες (Martinez et al. 2019).

Τα αιθέρια έλαια αποτελούν μία λύση στη συντήρηση τροφίμων για την αντικατάσταση των χημικών συντηρητικών που χρησιμοποιούνται ευρύτατα σήμερα. Η ικανότητά τους να λειτουργούν ως συντηρητικά των τροφών οφείλεται στο γεγονός ότι περιέχουν πολλές αντιοξειδωτικές και αντιβακτηριακές ουσίες λόγω των υψηλών ποσοστών τους σε φαινολικές ενώσεις. Επίσης, οι φαινολικές ενώσεις ασκούν επίδραση στο χρώμα των τροφών και ένα τυπικό παράδειγμα είναι η αύξηση της ερυθρότητας του κρέατος που αναφέρθηκε παραπάνω. Παρόλα αυτά χρειάζονται περισσότερες έρευνες και κατάλληλο γνωστικό υπόβαθρο, ώστε τα αιθέρια έλαια να χρησιμοποιούνται με ασφάλεια στη βιομηχανία τροφίμων.

3.3.4 Επιδράσεις του δεντρολίβανου στην υγεία

Το δεντρολίβανο είναι ένα από τα φυτά των οποίων τα εκχυλίσματα έχουν ευρύ φάσμα χρήσης στον τομέα της υγείας. Το πλήθος των ερευνών που έχουν διεξαχθεί για την ευεργετική δράση του δεντρολίβανου στον ανθρώπινο οργανισμό είναι μεγάλο. Αρκετές μελέτες δείχνουν ότι τα εκχυλίσματα του συγκεκριμένου φυτού είναι πολλά υποσχόμενα για τις αντικαρκινικές, αντιβακτηριδιακές, αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητές τους. Παρόλα αυτά, όλες οι έρευνες βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο.

Το εκχύλισμα του δεντρολίβανου περιέχει καρνοσικό οξύ και καρνοσόλη, τα οποία δρουν ως αναστολείς του βακτηρίου *Staphylococcus aureus*. Σε ασθενείς με ατοπική δερματίτιδα η πιθανότητα μόλυνσης από *Staphylococcus aureus* ανέρχεται σε ποσοστό 90%. Διαπιστώθηκε ότι τα εκχυλίσματα μπορούν να αναστείλουν τη δράση του σταφυλόκοκκου, καθώς το καρνοσικό οξύ και η καρνοσόλη αποτελούν εμπόδιο στην έκφραση του γονιδίου *S.aureus* RNAIII και *psma* που ενισχύουν την ανάπτυξη

του βακτηρίου. Μελλοντικά απομένει να δοκιμαστεί προληπτικά ή ως θεραπεία σε ασθενείς με ατοπική δερματίτιδα (Nakagawa et al. 2020).

Άλλη μια ελπιδοφόρα εφαρμογή του εκχυλίσματος δενδρολίβανου δείχνει να είναι αυτή της ανασταλτικής δράσης των καρκινικών κυττάρων. Φαίνεται ότι τα πολυφαινολικά συστατικά του εκχυλίσματος δενδρολίβανου δρουν ανασταλτικά κατά των καρκινικών κυττάρων. Συγκεκριμένα, σε κύτταρα τα οποία καλλιεργήθηκαν σε τρυβλία τοποθετήθηκε παρασκεύασμα με εκχύλισμα δενδρολίβανου και τα αποτελέσματα της εφαρμογής έδειξαν ότι ελαττώθηκε ο χρόνος επιβίωσης και η αναπαραγωγή των καρκινικών κυττάρων που ευθύνονται για τον καρκίνο του προστάτη, ενώ μειώθηκε και ο μεταστατικός τους χαρακτήρας. Ακόμα, το πείραμα έδειξε ότι τα φυσιολογικά επιθηλιακά κύτταρα δεν επηρεάστηκαν από την εν λόγω θεραπεία. Οι δοκιμές έγιναν *in vitro* και χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να γνωστοποιηθεί αν θα μπορούσε να αποτελέσει πραγματική λύση στο μέλλον (Jaglanian et al. 2020).

Το δενδρολίβανο έχει αρκετές φαρμακευτικές ιδιότητες οι οποίες βελτιώνουν τη μνήμη και το κυκλοφορικό σύστημα, ενώ εμφανίζει και παυσίπονη δράση. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη πέψη, αλλά και να ενισχύσει το ανοσοποιητικό σύστημα. Οι σημαντικές ποσότητες 1,8 κινεόλης και α-πινενίου αποδίδονται στην αντιφλεγμονώδη δράση του αιθέριου ελαίου του φυτού (Ahmed and Babakir-Mina 2020).

Άλλες περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να φανεί χρήσιμο το εκχύλισμα δενδρολίβανου είναι η αντιμετώπιση του βήχα, του κοινού κρυολογήματος, ενώ επίσης μπορεί να έχει θετικές επιδράσεις όσο αφορά στο διαβήτη και τα καρδιαγγειακά προβλήματα. Επιπλέον, η συμβολή του φαίνεται να είναι μεγάλη και στην ανακούφιση του νεφρικού κολικού. Τέλος, θεωρείται τονωτικό των μαλλιών (Mohammed et al. 2020).

Συμπερασματικά, τα φαρμακευτικά φυτά μπορούν να προσφέρουν θετικά αποτελέσματα στον τομέα της υγείας. Με τη συνεχή έρευνα θα ανακαλύπτονται όλο και περισσότερες ιδιότητές τους, οι οποίες θα είναι χρήσιμες για την παραγωγή νέων φαρμάκων και πρωτότυπων μεθόδων θεραπείας για πολλές ασθένειες, με τελικό σκοπό να βελτιώνουν την ψυχική και σωματική υγεία.

3.4 Εργαστηριακές τεχνικές για την παραλαβή αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου

3.4.1 Σημασία της ξήρανσης της πρώτης ύλης στην ποιότητα του αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου

Μία συνήθης τεχνική που χρησιμοποιείται πριν την παραλαβή αιθέριων ελαίων από τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά είναι η ξήρανσή τους. Η ξήρανση των φυτών μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, όπως χρήση ξηραντήρα, υποπίεση, θέρμανση ή συνδυασμός τους. Επίσης, μπορεί το προϊόν να αφήνεται να ξηραθεί με φυσικό τρόπο στην ατμόσφαιρα, κάτι το οποίο απαιτεί αρκετό χρόνο.

Η διαδικασία της ξήρανσης πραγματοποιείται για να σταθεροποιηθούν αλλά και να διατηρηθούν όλα τα χρήσιμα συστατικά των φυτών. Οι διάφοροι τρόποι που προτείνονται για την ξήρανση μπορούν να επιφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα στην ποιότητα του αιθέριου ελαίου. Συγκεκριμένα, για 4 μεθόδους ξήρανσης φρέσκου φυτού, όπως σε φούρνο μικροκυμάτων, φούρνο κενού, ξήρανση με ζεστό αέρα ή με κατάψυξη θα προκύψουν 4 διαφορετικά αποτελέσματα ως προς την ποιότητα, την περιεκτικότητα σε συγκεκριμένα συστατικά αλλά και στην απόδοση του ελαίου. Ακόμα, ανάλογα με το χρονικό διάστημα που αφήνονται τα φρέσκα φυτά να ξεραθούν, τα αποτελέσματα ως προς την απόδοση, την ποιότητα αλλά και τα ποσοστά των συστατικών τους διαφέρουν αισθητά. Έχει αποδειχθεί ότι μετά από στέγνωμα δεντρολίβανου με φυσικό τρόπο υπό σκιά για μία εβδομάδα υπήρξαν θετικές επιδράσεις στα ποσοστά των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του φυτού, καθώς δεν διέφερε σε σημαντικό βαθμό από τα ποσοστά των συστατικών του φρέσκου φυτού. Ειδικότερα, το έλαιο που προέκυψε μετά από μία εβδομάδα φυσικής ξήρανσης περιείχε 50,9% 1,8-κινεόλη, καμφορά και καμφένιο στη συνολική σύνθεση ελαίου, ενώ το έλαιο από φρέσκο φυτό δεντρολίβανου περιείχε τις παραπάνω ουσίες σε ποσοστό 55,9%. Για φυτά που παρέμειναν σε ξηραντήρια για δύο εβδομάδες βρέθηκαν στο έλαιό τους τα παραπάνω συστατικά σε ποσοστό 41,4% και με τρεις εβδομάδες ξήρανσης το έλαιο που προέκυψε να περιέχει τα παραπάνω συστατικά σε ποσοστό 44,8%. Βέβαια, στη συγκεκριμένη μελέτη βρέθηκε ότι το έλαιο που προήλθε από ξήρανση δύο-τριών εβδομάδων είχε καλύτερες αντιοξειδωτικές ιδιότητες και για το λόγο αυτό προτείνεται για τη συντήρηση του κρέατος (Mohammed et al. 2020).

Τελικά, από την παραπάνω μελέτη φαίνεται ότι η διάρκεια της ξήρανσης του φρέσκου φυτού, αλλά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ξήρασή του μπορούν να δώσουν διαφορετικές τιμές ως προς τη σύσταση του αιθέριου ελαίου. Έτσι, υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην ποιότητα, την απόδοση και το ποσοστό των οργανοληπτικών συστατικών του ελαίου που προκύπτει.

3.4.2 Μέθοδοι εκχύλισης και επιρροή τους στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του δενδρολίβανου

Η εξαγωγή των αιθέριων ελαίων του δενδρολίβανου μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους εκχύλισης. Κάθε ένας από αυτούς τους τρόπους διαφέρει ως προς τη διαδικασία, αλλά και ως προς το τελικό αποτέλεσμα του προϊόντος ελαίου που προκύπτει. Ανάλογα με τον τρόπο εξαγωγής του ελαίου τα ποσοστά των βιοδραστικών ουσιών του ποικίλουν.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι εκχύλισης οι οποίες προτείνονται για την παραλαβή του αιθέριου ελαίου και μερικές από αυτές είναι η υδατική εκχύλιση, η εκχύλιση Soxhlet, η εκχύλιση με υπερήχους με χρήση μεθανόλης, το αφέψημα από ξηρή σκόνη φύλλων κ.α. Οι κύριες βιοδραστικές ενώσεις που περιέχονται στα εκχυλίσματα του δενδρολίβανου είναι τα φαινολικά οξέα, τα φλαβονοειδή και τα τερπενοειδή. Σε πρόσφατη μελέτη περισσότερα θετικά αποτελέσματα σε επίπεδο βιοδραστικών ουσιών έδωσε η εκχύλιση Soxhlet (Sharma et al. 2020). Παρατηρήθηκαν υψηλά επίπεδα πολυφαινολών. Όσο αφορά στο αφέψημα ξηρών φύλλων αυτό έδωσε αξιοσημείωτα ποσοστά σε καφεϊκό οξύ, ροσμαρινικό οξύ, καρνοσόλη, καρνοσικό οξύ και φλαβονοειδή. Η συγκεκριμένη μέθοδος προτείνεται ως η καταλληλότερη για παραγωγή σε εμπορική κλίμακα. Η εκχύλιση με υπερήχους και μεθανόλη βρέθηκε να δίνει ικανοποιητικές ποσότητες ροσμαρινικού οξέος και ουρσολικού οξέος (Sharma et al. 2020).

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα των αποδόσεων σε έλαιο μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τη μέθοδο παραλαβής που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Βέβαια είναι σημαντικό να καθορίζεται εξαρχής που θα χρησιμοποιηθεί το προϊόν, ώστε να επιλέγεται και η καταλληλότερη μέθοδος εκχύλισης.

3.4.3 Αναγνώριση βιοδραστικών ουσιών των αιθέριων ελαίων με τις μεθόδους της χρωματογραφίας

Οι φυτικοί ιστοί περιέχουν διάφορες βιοδραστικές ουσίες, κυρίως καροτενοειδή και χλωροφύλλες. Τα καροτενοειδή και οι χλωροφύλλες είναι ουσίες που προσδίδουν χρώμα στους φυτικούς ιστούς και θεωρούνται φυσικές χρωστικές. Συγκεκριμένα, τα καροτενοειδή είναι ενώσεις που αποτελούνται από τα καροτένια και τις ξανθοφύλλες. Το χρώμα τους μπορεί να είναι από κίτρινο-πορτοκαλί έως κόκκινο-ιώδες. Όσο αφορά τις χλωροφύλλες είναι χρωστικές των πράσινων μερών των φυτών. Οι βιοδραστικές ενώσεις των φυτικών ιστών μπορούν να προσδιοριστούν με την μέθοδο της χρωματογραφίας. Η χρωματογραφία είναι μία μέθοδος διαχωρισμού και καθαρισμού μιγμάτων χημικών ουσιών, οι οποίες έχουν παρόμοια χημική σύσταση και δομή και συνεπώς όμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες, όμως εμφανίζουν διαφορετικές διαλυτότητες σε ορισμένο διαλύτη. Η μέθοδος της χρωματογραφίας για τον προσδιορισμό ουσιών στηρίζεται στην εκλεκτική προσρόφηση των ουσιών αυτών κατά τη διέλευσή τους μέσω ενός κατάλληλου στερεού υλικού που ονομάζεται προσροφητικό υλικό. Το μέσο προσρόφησης μπορεί να είναι διηθητικό χαρτί, ένυδρο διοξείδιο του πυριτίου, οξείδιο του αργιλίου ή άμυλο. Η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται στη διέλευση του διαλύματος του μίγματος με τη βοήθεια ενός διαλύτη ανάπτυξης μέσα από το προσροφητικό υλικό. Στο προσροφητικό υλικό σχηματίζονται διαχωρισμένες ζώνες ή κηλίδες που αποτελούν το χρωματογράφημα και δίνουν πληροφορίες για τις ουσίες που περιέχονται στο μίγμα. Υπάρχουν πολλές τεχνικές χρωματογραφίας όπως η χρωματογραφία λεπτής στιβάδας, η χρωματογραφία σε χαρτί, η χρωματογραφία στήλης, η αέριος χρωματογραφία και η υγρή χρωματογραφία υψηλής πίεσης (Λάλια-Καντούρη και Παπαστεφάνου 2014).

Η πιο συνηθισμένη τεχνική χρωματογραφίας για την ταυτοποίηση των ουσιών των αιθέριων ελαίων είναι η αέριος χρωματογραφία. Έτσι, μπορούν να αναλυθούν τα συστατικά των ελαίων που προέρχονται από αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά, ώστε να προσδιοριστεί η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος. Αποτελεί μία μέθοδο ταυτοποίησης των διάφορων εκχυλισμάτων. Έχει βρεθεί ότι για το δεντρολίβανο μετά από ανάλυση με χρωματογραφία αερίου ταυτοποιήθηκαν οι εξής ενώσεις: λιμονένιο, α-πινένιο ακολουθούμενο από καμφορά, καμφένιο, οξικό βορνύλιο, β-πινένιο, βορνεόλη, ευκαλυπτόλη, α-τερπινεόλη, β-καρυοφυλίνη και τερπιν-4-όλη,

ωστόσο, οι αναλογίες τους εξαρτώνται από την τεχνική απομόνωσης που ακολουθήθηκε (Filly et al. 2014).

Το γεγονός της ανάλυσης των βιοδραστικών ουσιών των αιθέριων ελαίων αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα προσδιορισμού της ποιότητας των ελαίων που προκύπτουν από τα φυτά. Επίσης, πρέπει να γνωστοποιούνται τα ποσοστά των ουσιών που παράγονται, ώστε να αξιολογούνται ως προς την δραστηκότητά τους και την μετέπειτα χρήση τους.

3.4.4 Σκοπός της έρευνας

Το δενδρολίβανο, ένα ευρέως διαδεδομένο φυτό ανήκει στην κατηγορία των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών. Το αιθέριο έλαιό του μπορεί να αξιοποιηθεί από τους τομείς της φαρμακολογίας, αρωματοποιίας και συντήρησης τροφίμων. Η παραγωγή αιθέριου ελαίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες διαδικασίες όπως οι μέθοδοι της απόσταξης και της εκχύλισης. Διακρίνονται τέσσερις κύριες πρακτικές απόσταξης (όπως αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.2.1) οι οποίες είναι: η υδροαπόσταξη, η υδροατμοαπόσταξη, η απόσταξη με υδρατμούς (ατμοαπόσταξη) και η απόσταξη υπό κενό. Στην εκχύλιση μπορούν να υλοποιηθούν δύο κύριες τεχνικές, οι οποίες είναι η εκχύλιση με τη βοήθεια διαλυτών και η εκχύλιση σε φούρνο μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη διαλυτών. Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην εκχύλιση αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η μέθοδος εκχύλισης σε φούρνο μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη διαλυτών. Η πρακτική αυτή σέβεται το περιβάλλον, αξιοποιεί το νερό που υπάρχει ήδη στους φυτικούς ιστούς χωρίς την προσθήκη οργανικών διαλυτών, έχει ελάχιστες εκπομπές CO₂ και μικρό κόστος κατανάλωσης ενέργειας. Παράλληλα, η παραγωγή του ελαίου γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και υπάρχει έλεγχος των παραμέτρων από το λογισμικό της συσκευής μικροκυμάτων για κάθε πειραματική διαδικασία (όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2.4). Στόχος της εργασίας ήταν να προσδιοριστούν οι κατάλληλες συνθήκες για την καλύτερη ποσοτική απόδοση σε αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου. Πραγματοποιήθηκαν εκχυλίσεις με φρέσκο και αποξηραμένο δενδρολίβανο για την βελτιστοποίηση του πρωτοκόλλου εκχύλισης.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Συλλογή φυτικού υλικού

Η συλλογή του φρέσκου δενδρολίβανου πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που βρίσκεται στο Βελεστίνο του νομού Μαγνησίας.

Η συλλογή του δενδρολίβανου έγινε αρχές Απριλίου και συγκεκριμένα η πρώτη συλλογή στις 7/4/2021 (σε πλήρη ανθοφορία) και η δεύτερη στα μέσα Απριλίου, δηλαδή 15/4/2021 (σε πλήρη ανθοφορία).

4.2 Διαχείριση φυτικού υλικού στο εργαστήριο

Οι εκχυλίσσεις πραγματοποιήθηκαν με φρέσκο και με αποξηραμένο δενδρολίβανο. Τα στελέχη του φυτού για να διατηρηθούν φρέσκα τοποθετήθηκαν σε δοχεία με νερό έτσι ώστε να μην χαθεί η υγρασία τους και σε θερμοκρασία δωματίου. Με αυτόν τον τρόπο οι βλαστοί συντηρήθηκαν φρέσκοι για περισσότερες μέρες για να πραγματοποιηθούν οι εκχυλίσσεις. Κατά την εκχύλιση φρέσκων βλαστών δενδρολίβανου διαχωρίστηκαν τα φύλλα, τα άνθη και οι ετήσιοι βλαστοί του φυτού και απομακρύνθηκαν οι πολυετείς ξυλώδεις βλαστοί.



Εικόνα 4.1: Διαχωρισμός φρέσκων φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών από πολυετείς βλαστούς.

Επίσης, έλαβαν χώρα και εκχυλίσσεις αποξηραμένων φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών δενδρολίβανου. Αρχικά, η πρώτη αποξήρανση έγινε στο εργαστήριο όπου τα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί παρέμειναν στον πάγκο σε θερμοκρασία 20°C στο χώρο του εργαστηρίου για 4 μέρες.



Εικόνα 4.2: Ξήρανση φυτού στο εργαστήριο.

Η δεύτερη αποξήρανση αφορούσε ολόκληρα τα στελέχη του φυτού πριν τον διαχωρισμό και την απομάκρυνση των πολυετών βλαστών. Πραγματοποιήθηκε σε κλίβανο ξήρανσης στους 65°C για 24 ώρες. Οι πολυετείς βλαστοί του δενδρολίβανου τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και έπειτα στον κλίβανο για ξήρανση. Πριν από την ξήρανση είχαν ζυγιστεί 5 δείγματα (σακούλες) που δεν περιείχαν ολόκληρα στελέχη αλλά μόνο χλωρά φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς. Την επόμενη μέρα οι σακούλες με το δενδρολίβανο απομακρύνθηκαν από τον κλίβανο ξήρανσης και ζυγίστηκε το βάρος των 5 δειγμάτων που περιείχαν μόνο φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς του φυτού, ώστε να υπολογιστεί το ποσοστό υγρασίας που χάθηκε με την παραπάνω διαδικασία. Στη συνέχεια, τα αποξηραμένα φυτά οδηγήθηκαν στο εργαστήριο και ακολούθησε ο διαχωρισμός των φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών απομακρύνοντας τους πολυετείς ξυλώδεις βλαστούς.



Εικόνα 4.3: Το εσωτερικό του κλίβανου ξήρανσης με τις σακούλες που περιέχουν τους πολυετείς βλαστούς του φρέσκου δενδρολίβανου.

4.3 Διαδικασία εκχύλισης δενδρολίβανου σε συσκευή φούρνου χώνευσης με μικροκύματα

Οι εκχυλίσεις και των φρέσκων δειγμάτων δενδρολίβανου αλλά και των αποξηραμένων πραγματοποιήθηκαν σε φούρνο χώνευσης με μικροκύματα (μοντέλο Milestone Start D Microwave Digestion System) χωρίς την προσθήκη κάποιου διαλύτη.

4.3.1 Διαβροχή φυτικού υλικού

Η πρώτη διαδικασία πριν την εκχύλιση ήταν η διαβροχή του δείγματος με απεσταγμένο νερό και η παραμονή του σε αυτό για μία ώρα με σκοπό να έχει διαβραχεί όλο το φυτικό υλικό είτε αυτό ήταν φρέσκο είτε αποξηραμένο. Οι αναλογίες gr δείγματος φυτικού υλικού και ml απεσταγμένου νερού διέφεραν κατά τις πειραματικές δοκιμές, ώστε να βρεθούν οι κατάλληλες που θα έδιναν την καλύτερη απόδοση σε αιθέριο έλαιο. Το φυτικό υλικό ζυγίστηκε σε ζυγαριά και τοποθετήθηκε σε λεκάνη. Η ποσότητα του απεσταγμένου νερού ογκομετρήθηκε σε δοσομετρητή υγρών και προστέθηκε στο φυτικό υλικό. Ακολούθησε ανάμιξη για να υγρανθεί όλο το φυτικό δείγμα και το υλικό παρέμεινε έτσι για μία ώρα. Στη συνέχεια όλο το περιεχόμενο της λεκάνης (δείγμα φυτού και απεσταγμένο νερό) τοποθετήθηκε στο γυάλινο δοχείο της συσκευής εκχύλισης (Milestone Start D Microwave Digestion System). Επίσης, προστέθηκε λίγο απεσταγμένο νερό ακόμα μέσα στο γυάλινο δοχείο της συσκευής.



Εικόνα 4.4: Φυτικό δείγμα για διαβροχή με απεσταγμένο νερό.

4.3.2 Λειτουργία ψυκτικής μηχανής (Chiller)

Η ψυκτική μηχανή (chiller) ενεργοποιήθηκε πρώτη, ώστε να αρχίσει να κυκλοφορεί το νερό στη συσκευή εκχύλισης. Στην οθόνη της ψυκτικής μηχανής αναγράφονταν τα εξής στοιχεία: θερμοκρασία 20°C, πίεση 3.6Bar, ημερομηνία και ώρα λειτουργίας καθώς επίσης και ο χρόνος λειτουργίας της. Σκοπός της λειτουργίας του ήταν να υγροποιεί τους υδρατμούς που παράγονταν από το γυάλινο δοχείο που περιέχει το φυτικό υλικό και το απεσταγμένο νερό, τα οποία θερμαίνονταν από τα μικροκύματα. Στην ψυκτική μηχανή υπήρχαν οι ενδείξεις max και min, οι οποίες έδειχναν την ποσότητα νερού που περιείχε και όταν έφτανε στην ένδειξη min έπρεπε να προστεθεί απεσταγμένο νερό, για να φτάσει στα επιθυμητά max επίπεδα.



Εικόνα 4.5: Φωτογραφία ψυκτικής μηχανής (chiller).

4.3.3 Λειτουργία συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System

Το φυτικό υλικό που είχε διαβραχεί μαζί με το απεσταγμένο νερό της λεκάνης και λίγο επιπλέον απεσταγμένο νερό εισάγεται στο γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System. Στο κάθετο γυάλινο σωλήνα του φούρνου έγινε επάλειψη ειδικού gel και στερεώθηκε το γυάλινο καπάκι του δοχείου. Ακολούθησε επάλειψη ειδικού gel και στο δοχείο που περιείχε το φυτικό υλικό, ώστε να κλείσει και να σταθεροποιηθεί σωστά με το καπάκι κατά την εισαγωγή του στο φούρνο.



Εικόνα 4.6: Γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System με δείγμα φυτικού υλικού και απεσταγμένο νερό.



Εικόνα 4.7: Είσοδος και σταθεροποίηση του γυάλινου δοχείου στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

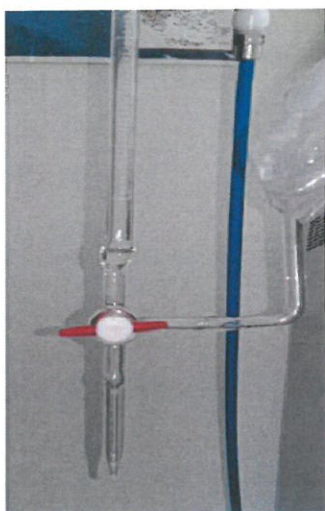
Η συσκευή εκχύλισης Milestone Start D Microwave Digestion System πραγματοποίησε εκχύλιση αιθέριων ελαίων με τη βοήθεια των μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη κάποιου οργανικού διαλύτη. Με την στερέωση του γυάλινου δοχείου που περιείχε το δείγμα δενδρολίβανου και το απεσταγμένο νερό, η πόρτα του φούρνου έκλεισε, η στρόφιγγα ρυθμίστηκε να είναι κλειστή και έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις της ισχύος της συσκευής σε Watt καθώς και ο χρόνος της εκχύλισης. Χρησιμοποιήθηκαν ποικίλες τιμές ισχύος σε Watt και χρόνοι εκχύλισης μέχρι να βρεθεί το πρωτόκολλο που είχε τη μεγαλύτερη απόδοση σε αιθέριο έλαιο. Τα μικροκύματα θέρμαναν το υλικό μέσα στο γυάλινο δοχείο, παράχθηκαν υδρατμοί, οι οποίοι ανέβηκαν προς τα πάνω στη σπειροειδή διάταξη του σωλήνα και πραγματοποιήθηκε υγροποίησή τους λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του νερού έξω από τη σπειροειδή διάταξη, όπου υπάρχει το νερό της ψυκτικής μηχανής (chiller) με θερμοκρασία 20°C.



Εικόνα 4.8: Σύστημα εκχύλισης σε φούρνο χώνευσης με μικροκύματα χωρίς διαλύτες. Απεικόνιση της ψυκτικής μηχανής στο κάτω μέρος και της συσκευής εκχύλισης Milestone Start D Microwave Digestion System στο πάνω μέρος.

4.3.4 Παραλαβή αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου

Η υγροποίηση των υδρατμών είχε ως συνέπεια το αιθέριο έλαιο μαζί με νερό να συσσωρευτεί στην προχοΐδα της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System. Στην προχοΐδα δημιουργήθηκαν 2 φάσεις υγρών, καθώς το αιθέριο έλαιο που ήταν ελαφρύτερο από το νερό καταλάμβανε την ανώτερη φάση και το νερό που ήταν βαρύτερο καταλάμβανε την κατώτερη φάση. Το αιθέριο έλαιο του δενδρολίβανου ήταν διάφανο, παρόλα αυτά οι 2 φάσεις των υγρών ήταν διακριτές στην προχοΐδα. Κατά τη διάρκεια της εκχύλισης το νερό απομακρυνόταν από την προχοΐδα περιοδικά με την βοήθεια της στρόφιγγας, ώστε να μην ανέβει πολύ η στάθμη των υγρών και δημιουργηθεί υπερχειλίση. Με το τέλος της διαδικασίας η συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System σταμάτησε μόνη της και μετά από 10 λεπτά απενεργοποιήθηκε από τον διακόπτη της. Ταυτόχρονα απενεργοποιήθηκε και το ψυκτικό μηχάνημα (chiller) από τον διακόπτη του. Το αιθέριο έλαιο με το άνοιγμα τα στρόφιγγας τοποθετήθηκε σε διάφανο μπουκαλάκι και το νερό απομακρύνθηκε με τη βοήθεια σύριγγας. Το αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου ογκομετρήθηκε με σιφόνιο του 1ml, μπήκε σε μπουκαλάκι με σκούρο χρώμα και πωματίστηκε. Το σκουρόχρωμο μπουκαλάκι επιλέχθηκε για την προστασία του αιθέριου ελαίου από το φως και συνεπώς για την διατήρηση της ποιότητάς του. Το μπουκαλάκι με το αιθέριο έλαιο τοποθετήθηκε στο ψυγείο για την καλύτερη συντήρησή του.



Εικόνα 4.9: Η προχοΐδα του συστήματος Milestone Start D Microwave Digestion System με τις 2 φάσεις υγρών. Η ανώτερη φάση περιέχει το αιθέριο έλαιο και η κατώτερη το νερό.



Εικόνα 4.10: Τα δείγματα του αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου της 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης}, 10^{ης}, 11^{ης}, 12^{ης} και 13^{ης} εκχύλισης τοποθετημένα σε σκουρόχρωμα μπουκαλάκια.

4.4 Στοιχεία εκχυλίσεων δενδρολίβανου που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο

Όλες οι εκχυλίσεις στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν με την διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 4.3. Οι εκχυλίσεις διέφεραν μεταξύ τους ως προς την κατάσταση του φυτικού υλικού (φρέσκο ή αποξηραμένο), την ποσότητα του φυτικού υλικού σε gr, τα ml απεσταγμένου νερού διαβροχής που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα ml απεσταγμένου νερού που τοποθετήθηκαν τελικά για την διαδικασία εκχύλισης, το χρόνο διαβροχής του φυτικού υλικού και το χρόνο εκχύλισης, και τέλος την ισχύ της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System (Watt). Τα στοιχεία της κάθε εκχύλισης ακολουθούν αναλυτικά παρακάτω.

1^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 7/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 8/4/2021 με 250gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 700ml απεσταγμένο νερό. Μετά από μία ώρα τοποθετήθηκε όλο το υλικό μέσα στο γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System και προστέθηκαν άλλα 500ml απεσταγμένο νερό, ώστε να καλύπτεται όλο το φυτικό υλικό με νερό. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος για την εκχύλιση υπήρχαν 250gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου και 1200ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System προγραμματίστηκε στα 10 λεπτά για προθέρμανση στους 70°C στα 701W και μετά ακολούθησαν άλλα 50 λεπτά στους 70°C στα 500W.

2^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 7/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 9/4/2021 με 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 600ml απεσταγμένο νερό. Μετά από μία ώρα το φυτικό υλικό απορρόφησε 200ml νερό και τα υπόλοιπα 400ml αφαιρέθηκαν. Τοποθετήθηκε όλο το υλικό μέσα στο γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System και επιπλέον προστέθηκαν 50ml απεσταγμένου νερού. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος υπήρχαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 60 λεπτά στα 450W.

3^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 7/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 12/4/2021 με 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου. Η αποξήρανση έγινε στον εργαστηριακό χώρο σε θερμοκρασία 20°C και παραμονή των φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών δενδρολίβανου για 4 μέρες μετά την συλλογή τους επάνω στον εργαστηριακό πάγκο. Στα 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου προστέθηκαν 400ml απεσταγμένο νερό για 1 ώρα διαβροχής. Το ξηρό φυτικό υλικό απορρόφησε τα 200ml απεσταγμένου νερού και τα υπόλοιπα 200ml αφαιρέθηκαν από αυτό. Για την εκχύλιση προστέθηκαν ακόμα 50ml απεσταγμένο νερό. Έτσι, συνολικά στο γυάλινο δοχείο εκχύλισης τοποθετήθηκαν 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή ρυθμίστηκε στα 450W για 60 λεπτά στους 70°C. Η εκχύλιση τερματίστηκε στα 30 λεπτά λειτουργίας λόγω υπερθέρμανσης.

4^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 7/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 13/4/2021 με 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου. Η αποξήρανση έγινε στον εργαστηριακό χώρο σε θερμοκρασία 20°C και παραμονή των φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών δενδρολίβανου για 4 μέρες μετά την συλλογή τους επάνω στον εργαστηριακό πάγκο. Στα 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου προστέθηκαν 100ml απεσταγμένο νερό για 30 λεπτά διαβροχής. Το ξηρό φυτικό υλικό απορρόφησε τα 100ml απεσταγμένου νερού και προστέθηκαν ακόμα 50ml για

την εκχύλιση. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος της συσκευής εκχύλισης τοποθετήθηκαν 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου και 150ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης ρυθμίστηκε στα 350W για 40 λεπτά στους 70°C. Με το τέλος της διαδικασίας η συσκευή προγραμματίστηκε για ακόμα 30 λεπτά στα 400W.

5^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 7/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 14/4/2021 με 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου. Η αποξήρανση έγινε στον εργαστηριακό χώρο σε θερμοκρασία 20°C και παραμονή των φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών δενδρολίβανου για 4 μέρες μετά την συλλογή τους επάνω στον εργαστηριακό πάγκο. Στα 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου προστέθηκαν 200ml απεσταγμένο νερό για 1 ώρα διαβροχής. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος της συσκευής εκχύλισης τοποθετήθηκαν 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού δενδρολίβανου και 200ml απεσταγμένο νερό. Ακολούθησε προγραμματισμός της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System στα 400W για 45 λεπτά στους 70°C. Με το τέλος της διαδικασίας η συσκευή προγραμματίστηκε ξανά για 45 λεπτά στα 400W. Η εκχύλιση τερματίστηκε στα 20 λεπτά μετά την επαναλειτουργία της, διότι το φυτικό υλικό άρχισε να καίγεται και έπρεπε να αφαιρεθεί από το εσωτερικό της συσκευής.

6^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 16/4/2021 με 100gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 100ml απεσταγμένο νερό. Με το πέρας της 1 ώρας προστέθηκαν 50ml νερού μέσα στο φυτικό υλικό, ώστε να εξασφαλιστεί καλύτερη διαβροχή του φυτού. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος της εκχύλισης τοποθετήθηκαν 100gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 150ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 40 λεπτά στα 400W.

7^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 16/4/2021 με 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 400ml απεσταγμένο νερό. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος της

εκχύλισης τοποθετήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 400ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 60 λεπτά στα 450W.

8^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 16/4/2021 με 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 400ml απεσταγμένο νερό. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος της εκχύλισης τοποθετήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου και 400ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 60 λεπτά στα 550W. Η εκχύλιση τερματίστηκε στα 15 λεπτά λειτουργίας.

9^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 19/4/2021 με 50gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 30 λεπτά με 100ml απεσταγμένο νερό. Με το πέρασμα των 30 λεπτών διαβροχής το υλικό τοποθετήθηκε στο γυάλινο δοχείο και προστέθηκαν άλλα 50ml απεσταγμένο νερό έτσι ώστε η στάθμη του νερού να καλύπτει το 1/3 του όγκου του φυτικού δείγματος που βρισκόταν μέσα στο δοχείο εκχύλισης. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος της εκχύλισης τοποθετήθηκαν 50gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 150ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 60 λεπτά στα 450W. Στα πρώτα 20 λεπτά λειτουργίας η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε εκ νέου στα 400W για 40 λεπτά. Τελικά και στην δεύτερη δοκιμή η εκχύλιση τερματίστηκε στα 20 λεπτά.

10^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 20/4/2021 με 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 600ml απεσταγμένο νερό. Μετά από μία ώρα στο φυτικό υλικό παρέμειναν τα 150ml νερό και τα υπόλοιπα 450ml αφαιρέθηκαν. Τοποθετήθηκε όλο το υλικό μέσα στο γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System και επιπλέον προστέθηκαν 100ml απεσταγμένου νερού. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος υπήρχαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι

βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 60 λεπτά στα 450W.

11^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 20/4/2021 με 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 600ml απεσταγμένο νερό. Μετά από μία ώρα στο φυτικό υλικό παρέμειναν τα 125ml νερό και τα υπόλοιπα 475ml αφαιρέθηκαν. Τοποθετήθηκε όλο το υλικό μέσα στο γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System και επιπλέον προστέθηκαν 200ml απεσταγμένου νερού, με σκοπό η στάθμη του νερού μέσα στο δοχείο της συσκευής να καταλαμβάνει το 1/3 του όγκου του φυτικού υλικού. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος υπήρχαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 325ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 60 λεπτά στα 450W. Η συσκευή απενεργοποιήθηκε στα 55 λεπτά εκχύλισης.

12^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 21/4/2021 με 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 600ml απεσταγμένο νερό. Μετά από μία ώρα στο φυτικό υλικό παρέμειναν τα 100ml νερό και τα υπόλοιπα 500ml αφαιρέθηκαν. Τοποθετήθηκε όλο το υλικό μέσα στο γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System και επιπλέον προστέθηκαν 150ml απεσταγμένου νερού. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος υπήρχαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 45 λεπτά στα 450W.

13^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 21/4/2021 με 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 600ml απεσταγμένο νερό. Μετά από μία ώρα στο φυτικό υλικό παρέμειναν τα 100ml νερό και τα υπόλοιπα 500ml αφαιρέθηκαν. Τοποθετήθηκε όλο το υλικό μέσα στο γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System και επιπλέον προστέθηκαν 150ml απεσταγμένου νερού.

Συνολικά στο γυάλινο σκεύος υπήρχαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 60 λεπτά στα 400W.

14^η Εκχύλιση:

Το δείγμα συλλέχθηκε 15/4/2021. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε στις 21/4/2021 με 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιους βλαστούς δενδρολίβανου, οι οποίοι είχαν διαβραχεί για 1 ώρα με 600ml απεσταγμένο νερό. Μετά από μία ώρα στο φυτικό υλικό παρέμειναν τα 100ml νερό και τα υπόλοιπα 500ml αφαιρέθηκαν. Τοποθετήθηκε όλο το υλικό μέσα στο γυάλινο δοχείο της συσκευής Milestone Start D Microwave Digestion System και επιπλέον προστέθηκαν 150ml απεσταγμένου νερού. Συνολικά στο γυάλινο σκεύος υπήρχαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό. Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε στους 70°C για 70 λεπτά στα 350W. Με το πέρασμα των 30 λεπτών η συσκευή απενεργοποιήθηκε μόνη της.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο προσδιορισμός του κατάλληλου πρωτοκόλλου για την μέγιστη απόδοση αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου απαιτούσε μία σειρά πειραματικών δοκιμών. Οι εκχύλισεις που πραγματοποιήθηκαν διέφεραν ως προς την ποσότητα δενδρολίβανου (gr) που χρησιμοποιήθηκε αλλά και την κατάσταση του φυτικού υλικού (φρέσκο ή αποξηραμένο), τον όγκο του απεσταγμένου νερού που χρησιμοποιήθηκε κατά την διαβροχή του υλικού και την εκχύλιση, τον χρόνο διαβροχής, τον χρόνο εκχύλισης και την ισχύ της συσκευής εκχύλισης (Watt) που χρησιμοποιήθηκαν για την κάθε πειραματική δοκιμή.

5.1 Υπολογισμός ξηρού βάρους του φρέσκου δενδρολίβανου

Ο υπολογισμός του ξηρού βάρους του φρέσκου δενδρολίβανου πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του κλίβανου ξήρανσης. Φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου απομονώθηκαν από φρέσκους βλαστούς και τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες. Δημιουργήθηκαν 5 δείγματα (σακούλες) οι οποίες ζυγίστηκαν πριν την είσοδό τους στον κλίβανο ξήρανσης και κατά την έξοδό τους από αυτόν. Μετρήθηκε το βάρος της σακούλας, το οποίο και αφαιρέθηκε από το αρχικό βάρος για να βρεθεί το καθαρό βάρος των φυτικών δειγμάτων (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Βάρη δειγμάτων πριν την ξήρανση στον κλίβανο.

Δείγμα	Αρχικό βάρος (gr)	Βάρος σακούλας (gr)	Καθαρό βάρος (gr)
Δ1	93,8	20,1	73,7
Δ2	90,0	20,1	69,9
Δ3	72,0	20,1	51,9
Δ4	90,5	20,1	70,4
Δ5	93,7	20,1	73,6

Τα βάρη των δειγμάτων μετά την ξήρανση στον κλίβανο ήταν τα εξής (Πίνακας 2):

Πίνακας 2: Βάρη δειγμάτων μετά την ξήρανση στον κλίβανο.

Δείγμα	Αρχικό βάρος (gr)	Βάρος σακούλας (gr)	Καθαρό βάρος (gr)
Δ1	60,7	20,1	40,6
Δ2	61,2	20,1	41,1
Δ3	52,6	20,1	32,5
Δ4	40,2	20,1	20,1
Δ5	55,0	20,1	34,9

Το συνολικό καθαρό βάρος των φυτικών δειγμάτων πριν την ξήρανση στον κλίβανο ήταν: $73,7+69,9+51,9+70,4+73,6= 339,5\text{gr}$.

Το συνολικό καθαρό βάρος των φυτικών δειγμάτων μετά την ξήρανση στον κλίβανο ήταν: $40,6+41,1+32,5+20,1+34,9= 169,2\text{gr}$.

Άρα το νερό που χάθηκε κατά την ξήρανση ήταν: $339,5-169,2= 170,3\text{gr}$ νερό.

Συνεπώς, προκύπτει ότι: στα 339,5gr συνολικό καθαρό βάρος δειγμάτων πριν την ξήρανση περιέχονταν 170,3gr νερό ή ποσοστό υγρασίας **50,2%w/w**.

5.2 Υπολογισμός ποσοστού παραχθέντος αιθέριου ελαίου και ξηρού βάρους φυτικού δείγματος ανά εκχύλιση

1^η Εκχύλιση:

Κατά την 1^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 250gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 1200ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή.

Τα 250gr φρέσκου φυτικού υλικού έδωσαν με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης 0,4ml αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου. Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2% που υπολογίστηκε (βλ. παραπάνω), δηλαδή ξηρό βάρος 49,8% προκύπτει ότι τα 250gr φρέσκου δείγματος είχαν 124,5gr ξηρό βάρος. Το ποσοστό του αιθέριου ελαίου που απέδωσε το συγκεκριμένο δείγμα, αναγόμενο στο ξηρό βάρος δείγματος ήταν 0,32% v/w (και συγκεκριμένα dry w).

2^η Εκχύλιση:

Κατά την 2^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 200gr φρέσκου φυτικού υλικού έδωσαν με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης 1,5ml αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου. Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2% που υπολογίστηκε (βλ. παραπάνω), δηλαδή ξηρό βάρος 49,8% προκύπτει ότι τα 200gr φρέσκου δείγματος είχαν 99,6gr ξηρό βάρος. Το ποσοστό του αιθέριου ελαίου που απέδωσε το συγκεκριμένο δείγμα, αναγόμενο στο ξηρό βάρος δείγματος ήταν 1,5% v/w (και συγκεκριμένα dry w).

3^η Εκχύλιση:

Κατά την 3^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 100gr αποξηραμένων φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού έδωσαν με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης 0,68ml αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου 0,68% v/w (και συγκεκριμένα dry w).

Η εκχύλιση είχε προγραμματιστεί για 1 ώρα αλλά διακόπηκε στα 30 λεπτά λόγω υπερθέρμανσης της συσκευής.

4^η Εκχύλιση:

Κατά την 4^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 100gr αποξηραμένων φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών δενδρολίβανου και 150ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού έδωσαν με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης μία πολύ μικρή ποσότητα αιθέριου ελαίου, η οποία ήταν μη μετρήσιμη.

5^η Εκχύλιση:

Κατά την 5^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 100gr αποξηραμένων φύλλων, ανθέων και ετήσιων βλαστών δενδρολίβανου και 200ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 100gr αποξηραμένου φυτικού υλικού με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης δεν έδωσαν καθόλου αιθέριο έλαιο και με το πέρασμα των 45 λεπτών στα 400W έγινε επαναπρογραμματισμός για ακόμα 45 λεπτά στα 400W και στα πρώτα 20 λεπτά λειτουργίας το φυτικό υλικό άρχισε να καίγεται μέσα στην συσκευή εκχύλισης Milestone Start D Microwave Digestion System και η διαδικασία διακόπηκε.

6^η Εκχύλιση:

Κατά την 6^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 100gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 150ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 100gr φρέσκου φυτικού υλικού με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης δεν έδωσαν καθόλου αιθέριο έλαιο.

Το ξηρό βάρος των 100gr φρέσκου φυτικού υλικού με βάση τα δεδομένα της ξήρανσης στον κλίβανο (μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2%) προκύπτει 49,8gr.

7^η Εκχύλιση:

Κατά την 7^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 400ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 200gr φρέσκου φυτικού υλικού με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης έδωσαν μία πολύ μικρή ποσότητα αιθέριου ελαίου, η οποία ήταν αδύνατον να μετρηθεί.

Το ξηρό βάρος των 200gr φρέσκου φυτικού υλικού με βάση τα δεδομένα της ξήρανσης στον κλίβανο (μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2%) προκύπτει 99,6gr.

8^η Εκχύλιση:

Κατά την 8^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 400ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Η συσκευή εκχύλισης ρυθμίστηκε για 60 λεπτά στα 550W και δημιουργήθηκε εσωτερική πίεση υδρατμών στο εσωτερικό της συσκευής με αποτέλεσμα να διακοπεί η λειτουργία της στα 15 πρώτα λεπτά και να μην παραχθεί καθόλου αιθέριο έλαιο.

Το ξηρό βάρος των 200gr φρέσκου φυτικού υλικού με βάση τα δεδομένα της ξήρανσης στον κλίβανο (μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2%) προκύπτει 99,6gr.

9^η Εκχύλιση:

Κατά την 9^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 50gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 150ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε για 60 λεπτά στα 450W. Παρατηρήθηκε υπερθέρμανση της συσκευής στα 20 λεπτά λειτουργίας και έγινε επαναπρογραμματισμός στα 400W για 40 λεπτά, αλλά επίσης στα 20 λεπτά λειτουργίας το μηχάνημα θερμάνθηκε και έτσι η διαδικασία κρίθηκε απαραίτητο να σταματήσει. Σε αυτό το διάστημα παράχθηκε μία πολύ μικρή ποσότητα αιθέριο έλαιο, η οποία ήταν αδύνατον να ογκομετρηθεί.

Το ξηρό βάρος των 50gr φρέσκου φυτικού υλικού με βάση τα δεδομένα της ξήρανσης στον κλίβανο (μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2%) προκύπτει 24,9gr.

10^η Εκχύλιση:

Κατά την 10^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 200gr φρέσκου φυτικού υλικού έδωσαν με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης 0,5ml αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου. Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2% που υπολογίστηκε (βλ. παραπάνω), δηλαδή ξηρό βάρος 49,8% προκύπτει ότι τα 200gr φρέσκου δείγματος είχαν 99,6gr ξηρό βάρος. Το ποσοστό του αιθέριου ελαίου που απέδωσε το συγκεκριμένο δείγμα, αναγόμενο στο ξηρό βάρος δείγματος ήταν 0,5% v/w (και συγκεκριμένα dry w).

11^η Εκχύλιση:

Κατά την 11^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 325ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 200gr φρέσκου φυτικού υλικού έδωσαν με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης 0,5ml αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου. Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2% που υπολογίστηκε (βλ. παραπάνω), δηλαδή ξηρό βάρος 49,8% προκύπτει ότι τα 200gr φρέσκου δείγματος είχαν 99,6gr ξηρό βάρος. Το ποσοστό του αιθέριου ελαίου που απέδωσε το συγκεκριμένο δείγμα, αναγόμενο στο ξηρό βάρος δείγματος ήταν 0,5% v/w (και συγκεκριμένα dry w).

12^η Εκχύλιση:

Κατά την 12^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 200gr φρέσκου φυτικού υλικού έδωσαν με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης 0,3ml αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου. Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2% που υπολογίστηκε (βλ. παραπάνω), δηλαδή ξηρό βάρος 49,8% προκύπτει ότι τα 200gr φρέσκου δείγματος είχαν 99,6gr ξηρό βάρος. Το ποσοστό του αιθέριου ελαίου που απέδωσε το συγκεκριμένο δείγμα, αναγόμενο στο ξηρό βάρος δείγματος ήταν 0,3% v/w (και συγκεκριμένα dry w).

13^η Εκχύλιση:

Κατά την 13^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Τα 200gr φρέσκου φυτικού υλικού έδωσαν με το τέλος της διαδικασίας εκχύλισης 0,9ml αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου. Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2% που υπολογίστηκε, δηλαδή ξηρό βάρος 49,8% προκύπτει ότι τα 200gr φρέσκου δείγματος είχαν 99,6gr ξηρό βάρος. Το ποσοστό του αιθέριου ελαίου που απέδωσε το συγκεκριμένο δείγμα, αναγόμενο στο ξηρό βάρος δείγματος ήταν 0,9% v/w (και συγκεκριμένα dry w).

14^η Εκχύλιση:

Κατά την 14^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκα φύλλα, άνθη και ετήσιοι βλαστοί δενδρολίβανου και 250ml απεσταγμένο νερό κατά την διαδικασία της εκχύλισης στη συσκευή Milestone Start D Microwave Digestion System.

Η συσκευή εκχύλισης προγραμματίστηκε για 70 λεπτά στα 350W. Με το πέρασμα των 30 λεπτών η συσκευή απενεργοποιήθηκε μόνη της και δεν παράχθηκαν υδρατμοί στο σωλήνα. Συνεπώς, δεν παράχθηκε καμία ποσότητα ελαίου ή νερού κατά την διάρκεια της εκχύλισης.

Το ξηρό βάρος των 200gr φρέσκου φυτικού υλικού με βάση τα δεδομένα της ξήρανσης στον κλίβανο (μέσο ποσοστό υγρασίας 50,2%) προκύπτει 99,6gr.

Πίνακας 3: Λεπτομερή στοιχεία των δειγμάτων δενδρολίβανου και των παραμέτρων των εκχυλίσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Ημερ. συλλογής	Κατάσταση δείγματος	Ημερομηνία εκχύλισης	Βάρος χλωρού υλικού (gr)	Βάρος ξηρού υλικού (gr)	Νερό διαβροχής (ml)	Διάρκεια διαβροχής (min)	Τελική ποσότητα νερού στο φούρνο (ml)	Χρόνος εκχύλισης (min) και ισχύς συσκευής (Watt)	Αιθέριο έλαιο σε (ml) ή Αιθέριο έλαιο %v/w
7/4/21	1 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	8/4/21	250gr	124,5gr	700ml	60min	1200ml	10min 701 W 50min 500W	0,4ml 0,32%v/w
7/4/21	2 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	9/4/21	200gr	99,6gr	600ml	60min	250ml	60min 450W	1,5ml 1,5%v/w
7/4/21	3 ^η Εκχύλιση Αποξηραμένο	12/4/21	-	100gr	400ml	60min	250ml	30min 450 W (διακοπή λόγω υπερθέρμανσης)	0,68ml 0,68%v/w
7/4/21	4 ^η Εκχύλιση Αποξηραμένο	13/4/21	-	100gr	100ml	30min	150ml	40min 350W 30min 400W	Μη μετρήσιμη ποσότητα
7/4/21	5 ^η Εκχύλιση Αποξηραμένο	14/4/21	-	100gr	200ml	60min	200ml	45min 400W 20min 400W	Καθόλου
15/4/21	6 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	16/4/21	100gr	49,8gr	100ml	60min	150ml	40min 400W	Καθόλου
15/4/21	7 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	16/4/21	200gr	99,6gr	400ml	60min	400ml	60min 450W	Μη μετρήσιμη ποσότητα
15/4/21	8 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	16/4/21	200gr	99,6gr	400ml	60min	400ml	15min 550W (διακοπή λόγω πίεσης υδρατμών)	Καθόλου
15/4/21	9 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	19/4/21	50gr	24,9gr	100ml	30min	150ml	20min 450W 20min 400W	Μη μετρήσιμη ποσότητα
15/4/21	10 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	20/4/21	200gr	99,6gr	600ml	60min	250ml	60min 450W	0,5ml 0,5%v/w
15/4/21	11 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	20/4/21	200gr	99,6gr	600ml	60min	325ml	55min 450W	0,5ml 0,5%v/w
15/4/21	12 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	21/4/21	200gr	99,6gr	600ml	60min	250ml	45min 450W	0,3ml 0,3%v/w
15/4/21	13 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	21/4/21	200gr	99,6gr	600ml	60min	250ml	60min 400W	0,9ml 0,9%v/w
15/4/21	14 ^η Εκχύλιση Φρέσκο	21/4/21	200gr	99,6gr	600ml	60min	250ml	30min 350W (η συσκευή απενεργοποιήθη κε μόνη της)	Καθόλου

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Πρωτόκολλα και παράμετροι εκχύλισης σε φούρνο μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη διαλυτών

Το φυτικό υλικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την εκχύλιση σε φούρνο μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη οργανικού διαλύτη, είναι αυτό που θα καθορίσει και τον προγραμματισμό της συσκευής εκχύλισης. Κάθε φυτό χρειάζεται διαφορετική μεταχείριση κατά την εκχύλιση του. Με τη μέθοδο εκχύλισης σε φούρνο μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη διαλυτών μπορούν να παραχθούν αιθέρια έλαια από αποξηραμένα φυτικά υλικά, όπως κύμινο και γλυκάνισο, φρέσκα φυτά με ιδιαίτερο άρωμα όπως είναι η μέντα, το θυμάρι, ο βασιλικός και τα εσπεριδοειδή (Filly et al. 2014). Σε μελέτη του 2016 (Filly et al. 2016) πραγματοποιήθηκε εκχύλιση ανθέων λεβάντας σε φούρνο μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη διαλυτών. Τοποθετήθηκαν 125gr ανθέων λεβάντας σε 500ml απεσταγμένου νερού για 10 λεπτά διαβροχής και μετά έγινε η διαδικασία της εκχύλισης με μικροκύματα. Η συσκευή εκχύλισης ρυθμίστηκε στα 500W για 45 λεπτά και με το τέλος της διαδικασίας έγινε η παραλαβή αιθέριου ελαίου (Filly et al. 2016). Ένα ενδιαφέρον πρωτόκολλο που μελετήθηκε σε διαφορετική έρευνα ήταν με την εκχύλιση φρέσκου δενδρολίβανου με τη μέθοδο των μικροκυμάτων χωρίς την προσθήκη διαλυτών. Συγκεκριμένα, 150gr φρέσκο φυτικό υλικό δενδρολίβανου τοποθετήθηκε χωρίς προσθήκη διαλύτη ή νερού σε φούρνο μικροκυμάτων, ο οποίος ρυθμίστηκε στα 150W για 30 λεπτά λειτουργίας. Σε αυτή τη μελέτη εξετάστηκαν οι ρυθμίσεις της συσκευής εκχύλισης ως προς την ισχύ (Watt) και τον απαιτούμενο χρόνο για την παραγωγή αιθέριου ελαίου. Διαπιστώθηκε ότι οι μεγαλύτερες τιμές ισχύος (250, 500, 750W) οδηγούν σε λιγότερο χρόνο εκχύλισης αλλά ταυτόχρονα σε λιγότερο ποιοτικό έλαιο. Επίσης, η καλύτερη ποιοτική απόδοση σε αιθέριο έλαιο αποκτήθηκε όταν η ισχύς της συσκευής προγραμματίστηκε στα 1W/gr, δηλαδή 150gr φρέσκου δενδρολίβανου στα 150W ισχύος της συσκευής εκχύλισης (Filly et al. 2014). Φυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την εξαγωγή του αιθέριου ελαίου τους είναι ο βασιλικός, η μέντα και το θυμάρι. Η εκχύλιση με μικροκύματα πραγματοποιήθηκε για το κάθε φυτό ξεχωριστά με 250gr φρέσκο φυτικό υλικό, ισχύ 500W για 30 λεπτά εκχύλισης. Δεν προστέθηκε επιπλέον νερό ή κάποιος οργανικός διαλύτης. Ο βασιλικός είχε υγρασία 90%, η μέντα 95% και το θυμάρι 80%. Μεγαλύτερη απόδοση σε αιθέριο έλαιο είχε το θυμάρι (Lucchesi et al. 2004).

Οι παραπάνω έρευνες επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι κάθε φυτό απαιτεί διαφορετικές τιμές παραμέτρων εκχύλισης για καλύτερη απόδοση αιθέριου ελαίου. Η φύση του υλικού είναι αυτή που καθορίζει τις επιμέρους μεταχειρίσεις που θα οδηγήσουν σε μία ποιοτική απόδοση αιθέριου ελαίου.

6.2 Ρύθμιση παραμέτρων εκχύλισης και απόδοση σε αιθέριο έλαιο

Η φύση του υλικού καθώς και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στο τελικό αποτέλεσμα. Στην παρούσα εργασία όλες οι πειραματικές δοκιμές στο φούρνο μικροκυμάτων έγιναν με δενδρολίβανο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε είτε ως φρέσκο είτε ως αποξηραμένο. Πραγματοποιήθηκε σειρά εκχυλίσεων στη συγκεκριμένη συσκευή με διαφορετικές αποδόσεις σε αιθέριο έλαιο, ανάλογα με τις ρυθμίσεις των παραμέτρων της εκχύλισης.

6.2.1 Αναλογία ποσότητας φυτικού υλικού και νερού κατά την εκχύλιση

Κατά την 1^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκε η μεγαλύτερη ποσότητα φρέσκου φυτικού δείγματος δενδρολίβανου (250gr), η μεγαλύτερη ποσότητα απεσταγμένου νερού κατά τη διαβροχή, αλλά και μέσα στο δοχείο του εκχυλιστήρα (αντιδραστήρα) κατά τη διαδικασία της εκχύλισης (1200ml), χρόνος 10 λεπτών για προθέρμανση στα 700W και συνέχεια λειτουργίας για 50 λεπτά στα 500W. Το αποτέλεσμα ήταν να παραχθεί μία από τις μικρότερες ποσότητες αιθέριου ελαίου, της τάξης των 0,4ml γεγονός που αποδίδεται στο μεγάλο όγκο νερού στο δοχείο του εκχυλιστήρα κατά τη διάρκεια της εκχύλισης. Αυτό πιθανόν συνέβη επειδή τα μικροκύματα δεν μπόρεσαν να διαρρήξουν τους ιστούς του δενδρολίβανου λόγω της πλήρωσης του γυάλινου δοχείου της συσκευής με νερό.

Κατά τη 2^η εκχύλιση χρησιμοποιήθηκαν 200gr φρέσκου φυτικού υλικού και 200ml απεσταγμένο νερό για διαβροχή, όμως εξαιτίας της φύσης του υλικού χρειάστηκε περισσότερο νερό για τη διαβροχή του και μετά αφαιρέθηκε μία ποσότητα. Συγκεκριμένα, αφαιρέθηκαν 350ml από τα συνολικά 600ml νερού διαβροχής και στη συσκευή μπήκαν 200gr φρέσκου φυτικού υλικού και 250ml νερό. Το συγκεκριμένο δείγμα απέδωσε την μεγαλύτερη ποσότητα αιθέριου ελαίου και συγκεκριμένα 1,5ml αιθέριου ελαίου. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην καλύτερη διαβροχή του φυτικού υλικού.

6.2.2 Κατάσταση του φυτικού υλικού των εκχυλίσεων

Η κατάσταση του υλικού (φρέσκο ή αποξηραμένο) είναι ένας από τους παράγοντες που επηρέασαν σχεδόν όλα τα βήματα των εκχυλίσεων. Παρατηρήθηκε ότι το φρέσκο φυτικό υλικό απορρόφησε λιγότερο νερό κατά τη διαβροχή του σε σχέση με το αποξηραμένο, καθώς είχε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία. Κατά την 3^η εκχύλιση παρατηρήθηκε ότι το αποξηραμένο δενδρολίβανο (ξήρανση στο εργαστήριο για 4 μέρες) απορρόφησε περισσότερο νερό, δηλαδή 100gr ξηρού φυτού χρειάστηκαν 200ml νερό κατά τη διαβροχή τους. Αντίθετα, το φρέσκο υλικό κατά τη 2^η εκχύλιση απορρόφησε λιγότερο νερό κατά την διαβροχή του και συγκεκριμένα τα 200gr νερού δενδρολίβανου χρειάστηκαν 200ml νερό και πριν την εκχύλιση προστέθηκαν επιπλέον 50ml απεσταγμένο νερό.

Επίσης, τα δείγματα που αποξηράνθηκαν στο εργαστήριο για 4 μέρες παρουσίασαν κάποιες ακόμα αδυναμίες κατά τη διάρκεια των εκχυλίσεων. Συγκεκριμένα, κατά την 5^η εκχύλιση, στην οποία χρησιμοποιήθηκε αποξηραμένο υλικό, στα 65 λεπτά λειτουργίας της το υλικό στο εσωτερικό της άρχισε να υπερθερμαίνεται και χρειάστηκε η απενεργοποίησή της. Τελικά στη συγκεκριμένη δοκιμή δεν παράχθηκε αιθέριο έλαιο.

6.2.3 Ρύθμιση παραμέτρων της εκχύλισης

Οι ρυθμίσεις των παραμέτρων της εκχύλισης είναι επίσης ένας από του βασικούς παράγοντες για την απόδοση σε αιθέριο έλαιο. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.1, το κάθε φυτό έχει την καλύτερη ποσοτική και ποιοτική απόδοση σε αιθέριο έλαιο σε διαφορετικές τιμές των παραμέτρων της εκχύλισης. Στην παρούσα εργασία αναζητήθηκε το καλύτερο σε απόδοση αιθέριου ελαίου πρωτόκολλο για το δενδρολίβανο, με δοκιμή διαφόρων συνδυασμών των παραμέτρων της εκχύλισης. Έτσι, προέκυψαν σημαντικές διαπιστώσεις που αξιοποιήθηκαν στον προγραμματισμό της συσκευής εκχύλισης στη πορεία των εκχυλίσεων. Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια των αρχικών εκχυλίσεων ήταν η υπερθέρμανση του γυάλινου σωλήνα κυκλοφορίας του μίγματος υδρατμών και αιθέριου ελαίου. Συνέπεια αυτού ήταν να τερματιστούν οι εκχυλίσεις που βρίσκονταν σε εξέλιξη. Οι πειραματικές δοκιμές που τερματίστηκαν νωρίτερα από το προγραμματισμένο χρονικό διάστημα ήταν η 9^η και η 11^η, οι οποίες αφορούσαν φρέσκο δείγμα δενδρολίβανου και η 3^η που αφορούσε αποξηραμένο δείγμα για 4 μέρες στο

εργαστήριο. Κατά την 9^η εκχύλιση η υπερθέρμανση της συσκευής πιθανόν να οφειλόταν στη μικρή ποσότητα νερού και δείγματος που τοποθετήθηκε στο δοχείο της εκχύλισης. Χρησιμοποιήθηκε ισχύς 450W και στις τρεις εκχυλίσεις, ενώ οι άλλες παράμετροι (ποσότητα απεσταγμένου νερού, και κατάσταση και ποσότητα του φυτικού υλικού) διαφοροποιήθηκαν, γεγονός που προφανώς διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στη λειτουργία της συσκευής και την απόδοση της εκχύλισης.

Κατά την 8^η εκχύλιση ο λόγος που οδήγησε στον πρόωρο τερματισμό της ήταν ότι στα 15 λεπτά της διαδικασίας εκχύλισης συσσωρεύθηκε μεγάλος όγκος υδρατμών και δημιουργήθηκε πίεση στο εσωτερικό της συσκευής, η οποία εκτονώθηκε προκαλώντας ροή νερού στο εξωτερικό περιβάλλον. Πιθανόν αυτό οφείλεται στον αυξημένο όγκο νερού μέσα στο δοχείο εκχύλισης, αλλά και στην ισχύ της συσκευής (550W) με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί υψηλή πίεση υδρατμών στο σύστημα.

Εκτός από την υπερθέρμανση της συσκευής ή την υπερβολική πίεση υδρατμών στο εσωτερικό της παρατηρήθηκε και ολοκληρωτική αδρανοποίησή της σε μερικές πειραματικές δοκιμές. Ο γυάλινος σωλήνας παρέμεινε κρύος, δεν παράχθηκαν υδρατμοί, ούτε και αιθέριο έλαιο. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε σε εκχυλίσεις όπου είχαν προγραμματιστεί χαμηλά επίπεδα ισχύος, της τάξης 350-400W. Οι εκχυλίσεις αυτές ήταν η 4^η και 5^η με αποξηραμένο δείγμα δενδρολίβανου και η 6^η και η 14^η με φρέσκο δείγμα. Κατά την 14^η πειραματική δοκιμή στα 350W η συσκευή εκχύλισης στα 30 λεπτά απενεργοποιήθηκε μόνη της.

6.2.4 Ποσότητα νερού διαβροχής και χρόνος διαβροχής

Η ποσότητα του νερού διαβροχής και ο χρόνος διαβροχής του φυτικού υλικού παίζουν βασικό ρόλο στη διαδικασία παραγωγή αιθέριου ελαίου. Η διαβροχή 200gr φρέσκου φυτικού υλικού με 600ml απεσταγμένου νερού για 1 ώρα και στη συνέχεια ο διαχωρισμός και η προσθήκη μόνο 250ml απεσταγμένου νερού με την είσοδο του υλικού στο φούρνο έδωσε καλά αποτελέσματα ως προς την ποσότητα του αιθέριου ελαίου που παράχθηκε. Οι εκχυλίσεις που επιβεβαιώνουν αυτό το συμπέρασμα είναι οι 2^η, 10^η, 11^η, 12^η και 13^η. Κατά την 14^η εκχύλιση ακολουθήθηκε ο ίδιος τρόπος διαβροχής, αλλά τα χαμηλά επίπεδα ισχύος (350W) που χρησιμοποιήθηκαν δεν ήταν ικανά να παράξουν υδρατμούς για την παραλαβή ποσότητας αιθέριου ελαίου.

Συμπερασματικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση σε αιθέριο έλαιο είναι τόσο φυσικοί όσο και τεχνικοί. Η παραγωγή ελαίου επηρεάστηκε από τη φύση του υλικού. Παρατηρήθηκε ότι οι αναλογίες σε απεσταγμένο νερό διαβροχής, τόσο στο ξηρό δενδρολίβανο όσο και στο φρέσκο φυτικό υλικό διέφεραν αρκετά. Αντίστοιχα, οι ρυθμίσεις της συγκεκριμένης συσκευής εκχύλισης διαφοροποίησαν αρκετά τα αποτελέσματα αναφορικά με την απόδοση αιθέριου ελαίου από το δενδρολίβανο. Συνεπώς, η φύση και η κατάσταση του φυτικού υλικού (φρέσκο ή αποξηραμένο), η ποσότητα του νερού διαβροχής και ο χρόνος διαβροχής του υλικού, ο χρόνος της εκχύλισης μέσα στη συσκευή, καθώς και τα επίπεδα ισχύος (Watt) που χρησιμοποιούνται είναι παράγοντες που μπορούν να καθορίσουν την ποσότητα του αιθέριου ελαίου που παράγεται σε κάθε εκχύλιση.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Χειρισμός του προς εκχύλιση φυτικού υλικού και απόδοση σε αιθέριο έλαιο

Με δεδομένο ότι τα διαφορετικά φυτικά είδη απαιτούν διαφορετικό χειρισμό κατά τη διαδικασία της εκχύλισης, στην παρούσα εργασία η οποία αφορούσε το δενδρολίβανο, τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας διέφεραν ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρισκόταν το φυτικό υλικό.

Συγκεκριμένα, επειδή το φρέσκο δενδρολίβανο περιείχε υψηλό ποσοστό υγρασίας απορροφούσε λιγότερο απεσταγμένο νερό κατά τη διαβροχή του, ενώ τα δείγματα που είχαν υποστεί ξήρανση στον εργαστηριακό πάγκο για 4 μέρες απορροφούσαν περισσότερο νερό.

Στην εκχύλιση του δενδρολίβανου, οι μεγαλύτερες ποσότητες αιθέριου ελαίου προέκυψαν με διαβροχή 200gr φρέσκου φυτικού υλικού με 600ml απεσταγμένο νερό για 60min και τελικά είσοδο στον εκχυλιστήρα 200gr φυτικού υλικού με 250ml απεσταγμένο νερό. Συνεπώς, για το δενδρολίβανο χρειάζεται αρκετά καλή διαβροχή για να παραχθεί περισσότερο αιθέριο έλαιο.

Επίσης, από τις συγκεκριμένες πειραματικές δοκιμές προέκυψε ότι για την παραλαβή μίας μετρήσιμης ποσότητας αιθέριου ελαίου απαιτείται η τήρηση της αναλογίας 1gr φρέσκου δείγματος δενδρολίβανου προς 3ml απεσταγμένο νερό για διαβροχή του υλικού. Στη συνέχεια η αναλογία που ακολουθείται κατά την είσοδο στη συσκευή εκχύλισης είναι 1gr φρέσκου δείγματος δενδρολίβανου προς 1,25ml απεσταγμένο νερό.

Γενικότερα, οι αναλογίες νερού και φυτικού υλικού μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το είδος και την κατάσταση του φυτού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παραλαβή αιθέριου ελαίου.

Παράμετροι της εκχύλισης

Η συσκευή εκχύλισης Milestone Start D Microwave Digestion System κατά την διάρκεια των πειραμάτων προγραμματίστηκε σε διαφορετικές τιμές ισχύος (Watt) αλλά και σε διαφορετικούς χρόνους εκχύλισης. Σκοπός ήταν ο προσδιορισμός της κατάλληλης τιμής ισχύος και του χρόνου εκχύλισης. Παρατηρήθηκε υπερθέρμανση της συσκευής σε ισχύ μεγαλύτερη ή ίση των 450W και παραγωγή μη μετρήσιμης

ποσότητας αιθέριου ελαίου σε συνθήκες ισχύος μικρότερες από 400W. Τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την ποσότητα του αιθέριου ελαίου που παράχθηκε ήταν σε ισχύ συσκευής 400W και 450W για χρόνο εκχύλισης 60min.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση:

Βάρβογλης Α., 2005. Επίτομη Οργανική Χημεία. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

Λάλια-Καντούρη Μ. και Παπαστεφάνου Σ., 2014. Γενική και Ανόργανη Χημεία. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

Μαλούπα Ε., Γρηγοριάδου Κ., Λάζαρη Δ., Κρίγκας Ν., 2013. Καλλιέργεια, μεταποίηση και διασφάλιση ποιότητας των ελληνικών αρωματικών-φαρμακευτικών φυτών: Βασικές αρχές καθετοποιημένης παραγωγής. Εκδόσεις ΛΟΥΠΕΛΗΣ, Καβάλα.

Ξενόγλωσση:

Abada M. B., Haouel Hamdi S, Maseoud C, Jroud H, Boussih E, Mendiouni Ben Jemaa J, 2020. Variations in chemotypes patterns of Tunisian *Rosmarinus officinalis* essential oils and applications for controlling the date moth *Ectomyelois ceratoniae* (Pyralidae). South African Journal of Botany. Volume 128, pages 18-27.

Ahmed H.M., Babakir-Mina M., 2020. Investigation of rosemary herbal extracts (*Rosmarinus officinalis*) and their potential effects on immunity. Phytotherapy Research. Volume 34, pages 1829-1837.

Ashsaei Seyed Mohammad, Rodriguez-Rojo Soraya, Salgado Marta, Cocero Maria Jose, Talebi-Jahromi Khalil, Amoabediny Ghassem, 2020. Insecticidal activity of spray dried microencapsulated essential oils of *Rosmarinus officinalis* and *Zataria multiflora* against *Tribolium confusum*. Crop protection. Volume 128, article number 104996.

Buchbauer G., Wallner I.M., 2016. Essential Oils: Properties, Composition and Health Effects. Encyclopedia of Food and Health, pages 558-562.

Ferdes M., Juhaimi F. Al., Ozcan M.M., Ghafoor K., 2017. Inhibitory effect of some plant essential oils on growth of *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Mucorpusillus* and *Fusarium oxysporum*. South African Journal of Botany. Volume 117, pages 457-460.

Filly A., Fabiano-Tixier A. S., Louis C., Fernandez X., Chemat F., 2016. Water as a green solvent combined with different techniques for extraction of essential oil from lavender flowers. Comptes Rendus Chimie. Volume 19, pages 707-717.

Filly A., Fernandez X., Minuti M., Visinoni F., Cravotto G., Chemat F., 2014. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: From laboratory to pilot and industrial scale. Food Chemistry. Volume 150, pages 193-198.

Hassan H.A., Genaidy M.M., Kamel M.S., Abdelwahab S.F., 2020. Synergistic antifungal activity of mixtures of clove, cumin and caraway essential oils and their major active components. Journal of Herbal Medicine. Volume 24, article number 100399.

Isman M.B., 2020. Bioinsecticides based on plant essential oils: A short overview. Journal of Biosciences. Volume 75, pages 179-182.

Jaglanian A., Termini D., Tsiani E., 2020. Rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*) extract inhibits prostate cancer cell proliferation and survival by targeting Akt and mTOR. Biomedicine & Pharmacotherapy. Volume 131, Article number 110717.

Kumar V., Markovic T., Emerald E., Dey A., 2016. Herbs: Composition and Dietary Importance. Encyclopedia of Food and Health, pages 332-337.

Lucchesi M. E., Chemat F., Smadja J., 2004. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. Journal of Chromatography A. Volume 1043, pages 323-327.

Martinez L., Castillo J., Ros G., Nieto G., 2019. Antioxidant and Antimicrobial Activity of Rosemary, Pomegranate and Olive Extracts in Fish Patties. Antioxidans. Volume 8, page 86.

- Mohammed H.A, Al-Omar M.S., Mohammed S.A.A., Aly M.S.A., Alsuqub A.N.A., Khan R.A., 2020. Drying Induced Impact on Composition and Oil Quality of Rosemary Herb, *Rosmarinus officinalis* Linn. Volume 25, Article number 2830.
- Nakagawa S., Hillebrand G.G., Nunez G., 2020. *Rosmarinus officinalis* L.(rosemary) extracts containing carnosic acid and carnosol are potent quorum sensing inhibitors of *Staphylococcus aureus* virulence. Volume 9, Article number 149.
- Pandey A.K., Kumar P., Saxena M.J., Maurya P., 2020. Chapter 6: Distribution of aromatic plants in the world and their properties. Feed Additives: Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health, ACADEMIC PRESS, Delhi, India, pages 89-114.
- Rashidaie Abandansarie S.S., Ariaii P., Charmchian Langerodi M., 2019. Effects of encapsulated rosemary extract on oxidative and microbiological stability of beef meat during refrigerated storage. Food Science and Nutrition. Volume 7, pages 3969-3978.
- Ribeiro-Santos R., Carvalho-Costa D., Cavaleiro C., Costa H.S, Albuquerque T. G., Castilho M. C., Ramos F., Melo N. R., Sanches-Silva A., 2015. A novel insight on an ancient aromatic plant: The rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Trends in Food Science & Technology. Volume 45, pages 355-368.
- Sharma Y., Velamuri R., Fagan J., Schaefer J., 2020. Full-spectrum analysis of bioactive compounds in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) as influenced by different extraction methods. Volume 25, Article number 4599.
- Sernaite L., Rasiukeviciute N., Dambrauskiene E., Viskelis P., Valiuskaite A., 2020. Biocontrol of strawberry pathogen *Botrytis cinerea* using plant extracts and essential oils. Zemdirbyste-Agriculture. Volume 107, pages 147–152.
- Wilson L., 2016. Spices and flavoring crops: Leaf and floral structures. Encyclopedia of Food and Health, pages 84-92.

