



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
**«Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΘΡΕΨΗΣ ΤΗΣ
Lavandula angustifolia»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΝΟΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ
ΠΕΡΙΣΤΕΡΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΔΡ ΕΛΕΝΗ ΚΑΜΒΟΥΚΟΥ ΒΟΓΙΑΤΖΗ

ΛΑΡΙΣΑ 2021

Στη Σαλώμη

Υπεύθυνη δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ ΦΥΤΩΝ» Τμήμα Γεωπονίας-Αγροτεχνολογίας Λάρισα, ΑΠΡΙΛΙΟΣ, 2021.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διατριβή αυτή ολοκληρώθηκε χάρη στη συνεργασία και τη συνεισφορά πολλών ανθρώπων. Θα ήθελα να εκφράσω τις ολόψυχες ευχαριστίες μου προς:

Την Δρ. Πασχαλίνα Χατζοπούλου, Τακτική Ερευνήτρια, Διευθύντρια Ερευνών στο Τμήμα Αρωματικών Φαρμακευτικών φυτών, στο Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, για την έμπειρη καθοδήγησή της, τις καίριες συμβουλές της, τη συνεργασία της, την επιστημονική και ηθική της στήριξη, καθώς και για την εξασφάλιση της πρόσβασής μου στις εγκαταστάσεις του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης & Φυτογενετικών πόρων του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ.

Την Δρ. Ελένη Καμβούκου-Βογιατζή, Καθηγήτρια ΑΦΦ Γεν. Τμήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Διευθύντρια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αρωματικών και Φαρμακευτικών Φυτών, για την επιστημονική καθοδήγηση, και τη συνεργασία της, σε κάθε στάδιο της εκπόνησης της διατριβής.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Ειρήνη Σάρρου, Εντεταλμένη Ερευνήτρια στο Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης & Φυτογενετικών πόρων του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, για την υπόδειξη του θέματος, την καθοδήγηση και την πολύπλευρη συμπαράστασή της κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

Τον κ. Κώστα Βελιάνη, μέλος του τεχνικού προσωπικού του Τμήματος Αρωματικών και Φαρμακευτικών Φυτών του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την εκτέλεση των πειραματισμών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 1 |
| ABSTRACT | 3 |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 5 |
| 1.1 ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΒΑΝΤΑΣ | 7 |
| 1.1.1 Βοτανική ταξινόμηση..... | 7 |
| 1.1.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά του γένους <i>Lavandula</i> | 8 |
| 1.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΛΕΒΑΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΡΕΨΗΣ | 10 |
| 1.2.1 Καλλιέργεια της λεβάντας | 10 |
| 1.2.2 Λίπανση και θρέψης της λεβάντας..... | 11 |
| 1.2.3 Άζωτο (NO ₃ ⁻ - N) | 12 |
| 1.2.4 Βόριο | 13 |
| 1.3. ΒΙΟΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΣΤΗΝ ΛΕΒΑΝΤΑ | 15 |
| 1.3.1 Εκκριτικό σύστημα του αιθέριου ελαίου της λεβάντα..... | 15 |
| 1.3.2 Χημική σύνθεση των αιθέριων ελαίων της λεβάντας | 19 |
| 1.3.3 Βιοσύνθεση των τερπενίων στη λεβάντα | 19 |
| 1.3.4 Μονοτερπένια..... | 22 |
| 1.3.5 Μονοτερπενικοί υδρογονάνθρακες | 24 |
| 1.3.6 Φαινολικά τερπενοειδή | 25 |
| 1.3.7 Σεσκιτερπένια..... | 25 |
| 1.3.8 Κουμαρίνες | 25 |
| 1.3.9 Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του αιθέριου ελαίου | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 1.3.10 Μέθοδοι παραλαβής του αιθέριου ελαίου..... | 28 |
| 1.3.11 Ιδιότητες και δράσεις των αιθέριων ελαίων της λεβάντας..... | 29 |
| 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ | 31 |
| 2.1 Φυτικό υλικό | 31 |
| 2.2 Πειραματικός σχεδιασμός..... | 32 |
| 2.3 Ποσοτικός προσδιορισμός χλωροφύλλης και καροτενοειδών στα φύλλα..... | 34 |
| 2.4 Αιθέρια έλαια | 34 |
| 2.4.1.Ποσοτικός προσδιορισμός του περιεχόμενου των ανθοφόρων στελεχών σε αιθέρια έλαια | 34 |
| 2.4.2Ανάλυση αιθέριων ελαίων με Αέρια Χρωματογραφία - Φασματοσκοπία Μάζας (GC-MS)..... | 35 |
| 2.4.3 Ταυτοποίηση των συστατικών των αιθέριων ελαίων | 36 |
| 2.5 Στατιστική Ανάλυση των αποτελεσμάτων..... | 36 |
| 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 37 |
| 3.1 Αποτελέσματα του ξηρού βάρους του ανθικού στελέχους ανά φυτό και του μέσου μήκους του ανθικού στελέχους υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο ... | 37 |
| 3.2 Αποτελέσματα της χλωροφύλλης και των καροτενοειδών στα φύλλα υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο..... | 38 |
| 3.3 Αποτελέσματα της απόδοσης του αιθέριου ελαίου υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο..... | 39 |
| 3.4 Αποτελέσματα ποσοτικού προσδιορισμού και ανάλυσης των αιθέριων ελαίων με GC-MS | 40 |
| 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 45 |
| 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 53 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 55 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 65 |

«Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΘΡΕΨΗΣ ΤΗΣ ΛΕΒΑΝΤΑΣ»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εισαγωγή: Η *Lavandula angustifolia* (Mill.) συνιστά ένα φαρμακευτικό και αρωματικό φυτό μείζονος επιστημονικής και οικονομικής σημασίας. Οι επιδράσεις των μακροστοιχείων και μικροστοιχείων στην απόδοση και την ποιότητα των αιθέριων ελαίων των αρωματικών φυτών αποτελούν αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών.

Σκοπός: Αυτό το πείραμα διενεργήθηκε με σκοπό να προσδιοριστούν οι επιδράσεις των επιπέδων του αζώτου (N: 1-4-8 mM) και του βορίου (2xB) στα μορφολογικά και βιοχημικά χαρακτηριστικά της *Lavandula angustifolia*.

Μεθοδολογία: Έξι ομοιογενείς ομάδες των 12 φυτών μεταφυτεύθηκαν σε πλαστικά φυτοδοχεία χωρητικότητας 6 L, που περιείχαν ως εδαφικό υπόστρωμα άμμο και περλίτη σε αναλογία 1:1. Οι επεμβάσεις που εφαρμόστηκαν ήταν 1. Μάρτυρας (νερό), 2. 1 mM άζωτο (N), 3. 4 mM N, 4. 8 mM N, 5. 0 mM βόριο (B) και 6. 2xB Hoagland. Το πείραμα διήρκησε 110 ημέρες και τερματίστηκε κατά την ανθοφορία των σχηματισμένων ταξιανθιών. Μετρήθηκαν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών (ξηρό βάρος και μήκος του ανθικού στελέχους) και τα βιοχημικά χαρακτηριστικά (επίπεδα χλωροφύλλης και καροτενοειδών, απόδοση και συστατικά σύνθεσης του αιθέριου ελαίου).

Αποτελέσματα: Οι επεμβάσεις με άζωτο επηρέασαν θετικά στην αύξηση του ξηρού βάρους και το μήκος του ανθικού στελέχους, τα επίπεδα της χλωροφύλλης και των καροτενοειδών. Το βόριο συνέβαλε μόνο στην αύξηση του μήκους του ανθικού στελέχους και όλες οι υπόλοιπες παράμετροι δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές. Η παραγωγή του αιθέριου ελαίου ενισχύθηκε στις επεμβάσεις των 1mM N κατά 5,22% και 2xB Hoagland κατά 4,49%. Όσον αφορά τη σύνθεση του αιθέριου ελαίου καταγράφηκαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές μεταξύ των χειρισμών στις ενώσεις των cis-β-οκιμένιο, λιναλόλη, τερπινέν-4-όλη, οξικό λαβανδουλύλιο και το οξικό γερανύλιο.

Συμπεράσματα: Η ανόργανη θρέψη με άζωτο επιδρά στα μορφολογικά και τα βιοχημικά χαρακτηριστικά της *Lavandula angustifolia*, ενώ το βόριο συνέβαλε μόνο

στην αύξηση του μήκους του ανθικού στελέχους και στα βιοχημικά χαρακτηριστικά του αιθέριου ελαίου.

Λέξεις - κλειδιά: Λεβάντα, άζωτο, βόριο, θρέψη, αιθέρια έλαια

“STUDY OF MINERAL NUTRITION OF *Lavandula angustifolia*”

ABSTRACT

Introduction: *Lavandula angustifolia* (Mill.) is a medicinal and aromatic plant of major scientific and economic importance. The effects of macronutrients and micronutrients on the yield and quality of essential oils of aromatic plants have been studied in many studies.

Scope: This experiment was conducted in order to determine the effects of nitrogen (N: 1-4-8 mM) and boron (2xB) levels on the morphological and biochemical characteristics of *Lavandula angustifolia*.

Methodology: Six homogeneous groups of 12 plants were transplanted into 6 L plastic planters, which contained sand and perlite in a 1: 1 ratio as soil substrate. The treatments applied were: 1) Control (water), 2) 1 mM nitrogen (N), 3) 4 mM N, 4) 8 mM N, 5) 0 mM boron (B) and 6) 2xB Hoagland. The experiment lasted 110 days and has been terminated during the flowering of the formed inflorescences. Morphological characteristics of the plants (dry matter and length of the flower stem) and biochemical characteristics (levels of chlorophyll and carotenoids, essential oil yield and constituents) were measured.

Results: Nitrogen treatments had a positive effect on the increase in dry matter and length of the flower stem, the levels of chlorophyll and carotenoids. Boron only contributed to the increase in flower stem length and all other parameters did not show significant changes. The production of the essential oil was enhanced in the groups of 1mM N by 5.22% and 2xB Hoagland by 4.49%. Regarding the composition of the essential oil, significant changes were recorded between the treatments in the compounds of cis- β -ocimene, linalool, terpinen-4-ol, lavandulyl acetate and geranyl acetate.

Conclusions: Mineral nutrition with nitrogen affects the morphological and biochemical characteristics of *Lavandula angustifolia*, while boron only contributed to the increase in the length of the flower stem and the biochemical characteristics of the essential oil.

Keywords: Lavender, nitrogen, boron, nutrition, essential oils

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γένος *Lavandula* περιλαμβάνει 39 είδη, πολλά υβρίδια και περίπου 400 καταχωρημένες ποικιλίες (Benabdelkader et al., 2011). Είναι ετήσια και πολυετή ποώδη φυτά ή μικροί θάμνοι με αρωματικό φύλλωμα, ανθοφόρους βλαστούς και ταξιανθίες που διαφέρουν στη μορφολογία, το ενδιαίτημα ανάπτυξης και τη χημική και ποσοτική σύνθεση των αιθέριων ελαίων τους (Lesage-Meessen et al., 2015). Η λεβάντα είναι γηγενές φυτό των παραμεσόγειων περιοχών, αλλά καλλιεργείται και απαντάται στην Ευρώπη, στα Κανάρια Νησιά, στην Ινδία, στη Βόρεια Αφρική, την Αραβική Χερσόνησο, την Ινδία, τη Βόρεια και τη Νότια Αμερική και σε άλλες ασιατικές χώρες (Benabdelkader et al. 2011).

Λόγω της περιεκτικότητάς τους σε αιθέρια έλαια, τα είδη του γένους *Lavandula* είναι από τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά, που έχουν μεγάλη οικονομική αξία για τις βιομηχανίες φαρμακευτικών προϊόντων, τροφίμων και αρωμάτων, καθώς και για την κοσμετολογία, αρωματοποιία και αρωματοθεραπεία. Το ευχάριστο άρωμα αυτών των φυτών οφείλεται κυρίως στην παρουσία των μονοτερπενοειδών ενώσεων που παράγονται και συσσωρεύονται στα εναέρια μέρη του φυτού, κυρίως στις ταξιανθίες (Zuzarte et al., 2009).

Το αιθέριο έλαιο της λεβάντας συντίθεται στα αδενικά τριχώματα της επιφάνειας των φύλλων και των ταξιανθιών. Τα χημικά συστατικά αυτού το ελαίου έχουν συγκεντρώσει μεγάλη προσοχή λόγω της μεγάλης ποικιλίας των χημικών ενώσεων που διαθέτει και των οικονομικών τους προοπτικών. Τα κύρια συστατικά του αιθέριου ελαίου της λεβάντας είναι τα μονοτερπενοειδή (π.χ. λιναλοόλη, οξικό λιναλύλιο, 1,8-κινεόλη, β-οκίμνιο, τερπινεν-4-όλη, η καμφορά κ.α.), τα σесκιεροπενοειδή (π.χ. β-καρνοφυλλίνη και νερολιδόλη) και άλλες τερπενοειδείς ενώσεις (π.χ. περιλλυλική αλκοόλη) (Woronuk et al., 2011; Goncalves et al., 2013). Στην αρωματοβιομηχανία και την κοσμετολογία πιο επιθυμητό είναι το έλαιο της λεβάντας που περιέχει υψηλές περιεκτικότητες σε λιναλοόλη και οξικό λιναλύλιο και χαμηλές περιεκτικότητες σε καμφορά. Ενώ εκείνο που είναι πλουσιότερο σε καμφορά χρησιμοποιείται κυρίως στην αρωματοθεραπεία και τη φυτοπροστασία (Herraiz-Penalver et al., 2013).

Σύμφωνα με τους Lesage-Meessen και συν., (2015) τα τρία εμπορικά πιο διαδεδομένα είδη λεβάντας που καλλιεργούνται για την παραγωγή των αιθέριων ελαίων τους είναι:

1. *Lavandula angustifolia* Mill. syn. *L. officinalis* Chaix ex Vill syn. *L. vera* DC syn. *L. spica* L. (Αγγλική λεβάντα).
2. *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel syn. *L. hybrida* L. (Λεβαντίνη).
3. *Lavandula latifolia* Medicus (Πλατύφυλλης Λεβάντας).

Υπάρχουν γνωστές πάνω από 50 ποικιλίες του είδους *L. angustifolia* και μερικές από τις πιο δημοφιλείς εμπορικές ποικιλίες είναι οι Lady, Munstead, Hidcote, Royal Purple και Royal Velvet. Κλινικές μελέτες δείχνουν μια σημαντική θετική επίδραση του αιθέριου ελαίου της λεβάντας στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως στο κεντρικό νευρικό σύστημα (π.χ. αγχολυτική, καταπραϊντική, αντισπασμωδική, αναλγητική κ.α.) και έρευνες έχουν αποδείξει τις αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, αντιφλεγμονώδεις, σπασμολυτικές και ιδιοσυγκρατητικές ιδιότητές του (Hassiotis et al., 2010; Salehi et al., 2018).

1.1 ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΒΑΝΤΑΣ

1.1.1 Βοτανική ταξινόμηση

Η λεβάντα ($2n = 42$ ή 48) ανήκει στη συνομοταξία των Αγγειόσπερμων (Magnoliophyta), ομοταξία Δικοτυλήδονα (Magnoliopsida), Τάξη Λαμιώδη (Lamiales), Οικογένεια Χειλανθή (Lamiaceae) και Γένος Λεβάντα (*Lavandula*) (Σχήμα 1) (ITIS, 2019).

| | |
|-------------------------|---|
| Kingdom | Plantae – plantes, Planta, Vegetal, plants |
| Subkingdom | Viridiplantae – green plants |
| Infrakingdom | Streptophyta – land plants |
| Superdivision | Embryophyta |
| Division | Tracheophyta – vascular plants, tracheophytes |
| Subdivision | Spermatophytina – spermatophytes, seed plants, phanérogames |
| Class | Magnoliopsida |
| Superorder | Asteranae |
| Order | Lamiales |
| Family | Lamiaceae – mints, menthes |
| Genus | Lavandula L. – lavender |
| Direct Children: | |
| Species | Lavandula angustifolia Mill. – English lavender |
| Species | Lavandula X intermedia Emeric ex Loisel. – lavandin |
| Species | Lavandula latifolia Medik. – broadleaved lavender |
| Species | Lavandula stoechas L. – French lavender |

Σχήμα 1: Βοτανική ταξινόμηση του γένους *Lavandula* sp. (ITIS, 2019).

Εκτός της *Lavandula angustifolia* (Λεβάντα η στενόφυλλος) μερικά από τα πιο γνωστά είδη λεβάντας είναι η *Lavandula latifolia* (λεβάντα η πλατύφυλλος), η *Lavandula lanata* (λεβάντα η εριώδης), η *Lavandula dentata* (λεβάντα η οδοντωτή), η *Lavandula multifida* (λεβάντα η πολυσχιδής), η *Lavandula stoechas* (λεβάντα η στοιχάς), η *Lavandula rotundifolia* (λεβάντα η στρογγυλόφυλλος), η *Lavandula viridis* (λεβάντα η θαλερή), η *Lavandula pinnata* (λεβάντα η πτερωτή) και η *Lavandula canariensis* (λεβάντα η κανάριος) (Gupta, 2010; ITIS, 2019).

1.1.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά του γένους *Lavandula*

Το είδος *L. angustifolia* είναι ένα έντονα αρωματικό πολυετές, αειθαλές, θαμνώδες φυτό με ξυλώδεις ανερχόμενους βλαστούς ύψους 40-80 cm (έως και >1m). Τα φύλλα του είναι λογχοειδή και έχουν μήκος 2-6 cm και πλάτος 4-6 mm. Σε όλο το γένος *Lavandula* το σχήμα του φύλλου είναι ποικίλο. Σε ορισμένα κοινώς καλλιεργούμενα είδη το σχήμα είναι μορφολογικά απλό, σε άλλα είδη τα φύλλα είναι αρθρωτά, οδοντωτά ή πτεροσχιδή, μερικές φορές πολλαπλά πτεροσχιδή ή/και διαχωρισμένα (Urson & Andrews, 2004; Μαλούπα και συν., 2013).



Εικόνα 1: Σχέδιο των φυτικών μερών της *Lavandula Angustifolia* (Pabst, 1990).

Τα άνθη αναπτύσσονται στην κορυφή των βλαστών σε σπονδυλωτές ταξιανθίες μήκους 2-8 cm. Οι ανθοφόροι σε ορισμένα είδη μπορεί να διακλαδίζονται. Επίσης,

υπάρχουν είδη λεβάντας τα οποία συνθέτουν χρωματιστά βράκτια φύλλα στην κορυφή. Τα άνθη μπορεί να είναι μπλε, ιώδη ή ανοιχτό μοβ στα άγρια είδη, περιστασιακά σκούρο μοβ ή κιτρινωπό. Ο κάλυκας είναι σωληνοειδής. Η στεφάνη είναι επίσης σωληνοειδής, συνήθως με πέντε λοβούς (Upson & Andrews, 2004). Η περίοδος άνθησης της λεβάντας είναι το Μάιο και τον Ιούνιο και ξανανθίζει το φθινόπωρο (Μαλούπα και συν., 2013). Πολλαπλασιάζεται με σπόρους, με μοσχεύματα και με παραφυάδες (Upson & Andrews, 2004).

Είναι αυτόχθον φυτό της Ισπανίας, της Γαλλίας και της Ιταλίας, και έχει εγκλιματιστεί σε πολλές παραμεσόγειες χώρες και σε διαφορετικό βαθμό. Συνήθως αυτοφύεται σε ξηρές και πετρώδεις περιοχές σε υψόμετρα έως 1700m. Η καλλιεργούμενη λεβάντα δεν είναι αυτοφύες είδος στην Ελλάδα, ωστόσο λόγω της ευρείας εξάπλωσης, της χρήσης των προϊόντων της και της προσαρμογής της στο ελληνικό περιβάλλον αναλύεται διεξοδικά σε επιστημονικές έρευνες και συνιστάται για καλλιέργεια. Στην Ελλάδα αυτοφύεται η *Lavandula stoechas* στην οποία διακρίνονται δύο υποείδη, το *subsp. stoechas* και το *subsp. cariensis*. Ωστόσο, τα άνθη αυτών των αυτοφυών φυτών της Ελλάδας περιέχουν αιθέριο έλαιο με υψηλή περιεκτικότητα σε καμφορά γι' αυτό και γενικά δεν καλλιεργούνται πολύ (Μαλούπα και συν., 2013).

1.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΛΕΒΑΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΡΕΨΗΣ

1.2.1 Καλλιέργεια της λεβάντας

Για την προετοιμασία του εδάφους απαιτείται 2 έως 3 φορές βαθύ όργωμα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών για να απομακρυνθούν τα ζιζάνια και για να βελτιωθούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Η χρήση καλά χωνεμένης κοπριάς για τη βιολογική καλλιέργεια ή η προσθήκη λίπανσης (50 kg/στρ, N-P-K/11-15-15) για τη συμβατική καλλιέργεια στο στάδιο της προετοιμασίας του αγρού είναι απαραίτητη για τον εμπλουτισμό και τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους (Μαλούπα και συν., 2013; Salehi et al., 2018).

Η λεβάντα πολλαπλασιάζεται με σπόρους, μοσχεύματα, παραφυάδες και με αγενή πολλαπλασιασμό. Έχει αναφερθεί ότι ο πολλαπλασιασμός με μοσχεύματα στελέχους έχει κακή ικανότητα ριζοβολίας, οι σπόροι έχουν χαμηλό ποσοστό βλάστησης ενώ για να εξασφαλιστεί η γενετική ομοιομορφία ο πολλαπλασιασμός με σπόρους σπάνια χρησιμοποιείται. Τα έκφυτα από υγιή και υψηλής ποιότητας φυτά χρησιμοποιούνται στον αγενή πολλαπλασιασμό για την παραγωγή φυτών απαλλαγμένων από ασθένειες, γενετικά ταυτόσημων και με υψηλές αποδόσεις επί του τελικού προϊόντος. Ωστόσο η ιστοκαλλιέργεια της λεβάντας είναι εμπορικά ο πιο ακριβής τρόπος πολλαπλασιασμού και δεν χρησιμοποιείται ευρέως (TienVinh et al., 2017).

Ενδείκνυται ο πολλαπλασιασμός με μοσχεύματα από δυνατά και υγιή φυτά, μήκους 3-5 cm, σε υπόστρωμα ριζοβολίας μίγματος τύρφης και περλίτη (αναλογία 1:3). Η χρήση ορμόνης ριζοβολίας IBA (συγκέντρωσης 2000 ppm) επιταχύνει τη διαδικασία και προκαλεί ομοιομορφία στο παραγόμενο φυτικό υλικό. Το στάδιο της ριζοβολίας διαρκεί περίπου 15 ημέρες στην υδρονέφωση και χρειάζεται άλλος 1,5 μήνας για τη διατήρηση και την ανάπτυξη των φυτών στο φυτώριο πριν τη φύτευσή τους στον αγρό (Μαλούπα και συν., 2013; TienVinh et al., 2017).

Η φύτευση στον αγρό πραγματοποιείται είτε στα μέσα φθινοπώρου μετά τις πρώτες βροχές ή την άνοιξη μετά την παρέλευση του κινδύνου των παγετών. Για την καλλιέργεια της λεβάντας η ενδεδειγμένη πυκνότητα φύτευσης κυμαίνεται σε 850 με 1.100 φυτά το στρέμμα και με αποστάσεις φύτευσης 1,20-1,50m μεταξύ των γραμμών και 0,80-1,00m επί των γραμμών. Η αποστάσεις μιας καλλιέργειας υπολογίζονται

σύμφωνα με τη διαθέσιμη υγρασία, το μέγεθος της εκάστοτε ποικιλίας, καθώς και την μηχανική κατεργασία της καλλιέργειας και τη μέθοδο συγκομιδής (Μαλούπα και συν., 2013; Salehi et al., 2018).

Η λεβάντα μπορεί να προσαρμοστεί σε ελαφριά, αμμώδη, αμμοαργιλώδη ή βραχώδη εδάφη με χαμηλή γονιμότητα. Τα φυτά τις λεβάντας θα πρέπει να καλλιεργηθούν σε περιοχές με πλήρη ηλιοφάνεια, σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη, με επιθυμητό pH από 6 έως 8. Το μεγάλο πλεονέκτημα της λεβάντας είναι ότι μπορεί να καλλιεργηθεί ακόμη και σε φτωχά και διαβρωμένα εδάφη. Ωστόσο, το υπερβολικά υγρό και κακώς στραγγιζόμενο έδαφος προκαλεί μείωση της ανάπτυξης φυτών, ασθένειες, αβιοτικές καταπονήσεις ή ακόμα και την καταστροφή της καλλιέργειας. Η νότια έκθεση των αγροτεμαχίων είναι επιθυμητή (Salehi et al., 2018).

Όσον αφορά την άρδευση της καλλιέργειας είναι απαραίτητη για τα πρώτα δύο χρόνια έως ότου η λεβάντα φτάσει στο επιθυμητό εμπορικό στάδιο και κατά τους ξηρούς μήνες. Την Άνοιξη είναι απαραίτητη για τα νεαρά φυτά και συστήνεται η στάγδην άρδευση, καθώς συμβάλλει στη μείωση της υγρασίας του φυλλώματος και στον έλεγχο της ανάπτυξης ζιζανίων. Η σωστή άρδευση πρέπει να διατηρηθεί κατά την έναρξη της άνθησης και μπορεί να αυξήσει την παραγωγή του ελαίου σε όψιμες φυτεύσεις. Επίσης είναι κρίσιμη μετά τη συγκομιδή (Ιούλιος – Αύγουστος), καθώς θα καθορίσει την ανάπτυξη του φυτού για το επόμενο έτος. Σε περίπτωση ελαφρύτερων εδαφών και περιοχών με χαμηλό ύψος βροχόπτωσης, η άρδευση θα πρέπει να γίνει σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης των φυτών (Ernst, 2017; Salehi et al., 2018).

1.2.2 Λίπανση και θρέψης της λεβάντας

Η λεβάντα δεν χρειάζεται λίπανση για να αναπτυχθεί και μπορεί να ευδοκιμήσει σε έδαφος με ανεπαρκή θρεπτικά συστατικά. Αν και η εφαρμογή λιπασμάτων ενδείκνυται κατά την πρώιμη φάση της ανάπτυξης, η χορήγηση υψηλής ποσότητας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην καλλιέργεια και να καταστρέψει τα νεαρά φυτά (Geisel et al., 2004). Η συνιστώμενη δόση των μακροστοιχείων N, P, K είναι 4-5 μονάδες N, 6-8 μονάδες P και 7-8 μονάδες K, κατά το 1^ο έτος και 10 μονάδες N-P-K τα επόμενα έτη. Συνήθως εφαρμόζεται 3 έως 4 φορές καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Μαλούπα και συν., 2013; Salehi et al., 2018). Η λίπανση γίνεται σταδιακά ξεκινώντας από τον Φεβρουάριο, και αυξάνει την ανθοφορία και

συνεπώς την παραγωγή. Σε περίπτωση βιολογικής καλλιέργειας χρησιμοποιούνται κατάλληλα εγκεκριμένα σκευάσματα. Οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε φώσφορο και κάλιο είναι χαμηλές και ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και σε ποιά θρεπτική κατάσταση βρίσκεται. Η περιοδική χρήση του ανθρακικού ασβεστίου είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί το pH στο 6 ή σε υψηλότερο βαθμό (Salehi et al., 2018).

1.2.3 Άζωτο ($NO_3^- - N$)

Το άζωτο θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για τα φυτά της λεβάντας, διότι συμβάλλει στη σύνθεση πολλών οργανικών ενώσεων, όπως τα αμινοξέα, οι πρωτεΐνες, τα ένζυμα και τα νουκλεϊκά οξέα. Σύμφωνα με την έρευνα των Χρυσσαργύρη και συν., (2016), η υψηλή συγκέντρωση του N αυξάνει τον αριθμό και το μέγεθος των κυττάρων των φύλλων, με συνολική αύξηση στον παραγόμενο αριθμό των φύλλων, καθώς και στην παραγωγή βιομάζας. Πράγματι, τα αμινοξέα και τα ένζυμα παίζουν βασικό ρόλο στη βιοσύνθεση πολυάριθμων ενώσεων που αποτελούν συστατικά του αιθέριου ελαίου της λεβάντας (Koeduka et al., 2006).

Η αζωτούχος λίπανση επιδρά στην περιεκτικότητα των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών σε αιθέρια έλαια διαφορετικά, ανάλογα με το είδος. Στην οριζοντιόκλαδη άρκευθο (*Juniperus horizontalis*), η αζωτούχος λίπανση μειώνει την περιεκτικότητα σε αιθέρια έλαια, σε αντίθεση με το θυμάρι (*Thymus vulgaris* L.) και το κύμινο (*Cuminum cyminum*), όπου την αυξάνει (Chrysargyris et al., 2016).

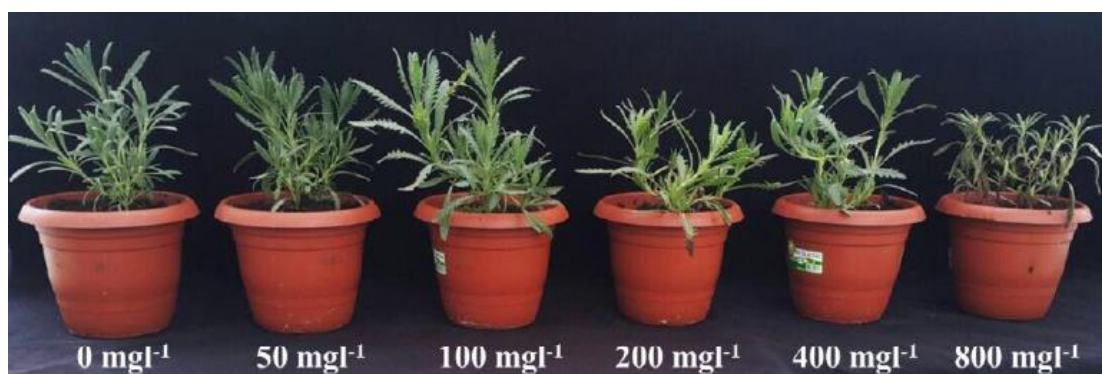
Το άζωτο αποτελεί ένα απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη και την παραγωγή της λεβάντας. Ο Χρυσσαργύρης και οι συνεργάτες του (2016) μελέτησαν σε συστήματα υδροπονίας την επίδραση των διαφόρων επιπέδων αζωτούχου λίπανσης ($NO_3^- - N$) στην ανάπτυξη των φυτών λεβάντας, στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων, στις μεταβολές στη συγκέντρωση του αιθέριου ελαίου και στην αντιοξειδωτική τους δράση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα χαμηλά επίπεδα N (150 mg/L) μείωσαν την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη, ενώ τα επίπεδα N μεγαλύτερα από 200 mg/L βελτίωσαν το αντιοξειδωτικό προφίλ στη λεβάντα (Chrysargyris et al., 2016).

Λαμβάνοντας υπόψιν τη μεγαλύτερη συσσώρευση των Ca, Mg και Na, τη χαμηλότερη συσσώρευση του Al και τη χαμηλότερη συγκέντρωση της καμφοράς μετά την επέμβαση με 200 mg/L N, και διατηρώντας μια ισορροπία στα επίπεδα N:K, το

συνιστώμενο επίπεδο N για την καλλιέργεια της λεβάντας είναι τα 200 mg/L (Chrysargyris et al., 2016; Chrysargyris et al., 2017).

Σε πειράματα αργού οι Biesiada και Kucharska, (2008) διαπίστωσαν ότι η φυτική ανάπτυξη του καλλιεργημένου *L. angustifolia* αυξήθηκε με την αύξηση των επιπέδων παρέμβασης από 50 σε 200 kg N/ha, ενώ η χαμηλότερη συγκέντρωση 100 kg N/ha παράγαγε υψηλότερο αριθμό λουλουδιών ανά φυτό.

Τέλος, σε μελέτη της καλλιέργειας της *L. Angustifolia* σε φυτοδοχεία, οι Yasemin και συν., (2017) απέδειξαν ότι η λίπανση των φυτών λεβάντας με συγκεντρώσεις μέχρι 200 mg/L N προκαλεί σημαντική αύξηση των παραμέτρων ανάπτυξής τους, σε σχέση με τους μάρτυρες, ενώ αντίθετα οι συγκεντρώσεις 400 και 800 mg/L N επιφέρουν αρνητική επίδραση στις ίδιες φυσιολογικές παραμέτρους.



Εικόνα 2: Γενική εικόνα των φυτών λεβάντας που καλλιεργούνται σε γλάστρες με διαφορετικά επίπεδα λίπανσης N (Yasemin et al., 2017).

1.2.4 Βόριο

Οι λειτουργίες του βορίου, τόσο στη λεβάντα όσο και στα υπόλοιπα αρωματικά φυτά, σχετίζονται με την μεριστωματική αύξηση και εμπλέκονται άμεσα στην διαφοροποίηση των κυττάρων, την ωρίμανση, την διαίρεση και την επιμήκυνση. Όταν μειώνεται το επίπεδο του βορίου, ο ρυθμός της κυτταρικής διαίρεσης μειώνεται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός των αδιαφοροποίητων κυττάρων. Επιπλέον, το βόριο επηρεάζει την αύξηση του υπέρου, πιθανώς με αύξηση της απορρόφησης, με αύξηση του μεταβολισμού των σακχάρων και αύξηση της αναπνοής. Επομένως, το βόριο ασκεί ένα έμμεσο έλεγχο στη βλάστηση (Brown et al., 2002; Marschner, 2011).

Η μέση περιεκτικότητα των περισσότερων φυτών σε βόριο είναι 20 mg/kg (ppm)

σε ξηρή βάση. Το βόριο κατανέμεται ακανόνιστα μέσα στο φυτό. Τα υψηλότερα επίπεδα βορίου βρίσκονται στα αναπαραγωγικά φυτικά μέρη, όπως τους ανθήρες, το στίγμα και τις ωοθήκες (μερικές φορές σε επίπεδα διπλάσια από εκείνα των βλαστών). Οι απαιτήσεις σε βόριο ποικίλλουν μεταξύ των διαφόρων φυτών. Στα μονοκότυλα είδη, η περιεκτικότητα των φύλλων κυμαίνεται μεταξύ 1 και 6 ppm, ενώ στα περισσότερα δικότυλα μεταξύ 20 και 70 ppm. Το περισσότερο από το βόριο των φύλλων συσσωρεύεται στην περιφέρεια και στα άκρα, σε επίπεδα 5 έως 10 φορές υψηλότερα από εκείνα του ελάσματος (Brown et al., 2002; Marschner, 2011).

1.3 ΒΙΟΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΣΤΗΝ ΛΕΒΑΝΤΑ

Τα είδη του γένους *Lavandula* είναι από τα πιο χρήσιμα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά με μεγάλη οικονομική αξία για τη βιομηχανία των φαρμάκων, τροφίμων, αρωμάτων και καλλυντικών. Τόσο το ευχάριστο άρωμα και οι φυσιολογικές τους επιδράσεις όσο και η εμπορική αξία τους οφείλονται στα αιθέρια έλαια τους, με μια πολυποίκιλη σύνθεση συστατικών που εξαρτάται από γενετικούς, περιβαλλοντικούς και μεταποιητικούς παράγοντες.

1.3.1 Εκκριτικό σύστημα του αιθέριου ελαίου της λεβάντα

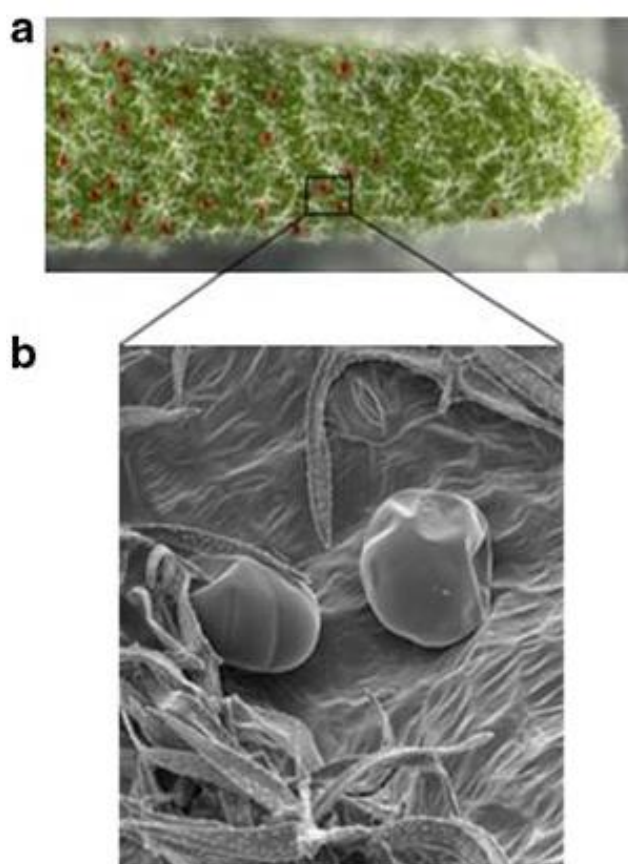
Η λεβάντα, όπως και άλλα είδη της οικογένειας Lamiaceae, διαθέτει δομές κυττάρων οι οποίες εκκρίνουν ένα πολύ αρωματικό αιθέριο έλαιο. Έρευνες που διεξήχθησαν σε διάφορα στάδια ανάπτυξης του φυτού χρησιμοποιώντας την Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM) έχουν αυξήσει σημαντικά τις γνώσεις τους σχετικά με το εκκριτικό σύστημα της λεβάντας. Στους κάλυκες στα άνθη της λεβάντας παρατηρούνται διαμήκεις σωληνοειδείς και ραβδωτές αυλακώσεις όπου εντοπίζονται οι κυτταρικές δομές παραγωγής του αιθέριου ελαίου της λεβάντας, οι εκκριτικοί αδένες (Εικ. 3) (Svoboda et al., 2000).



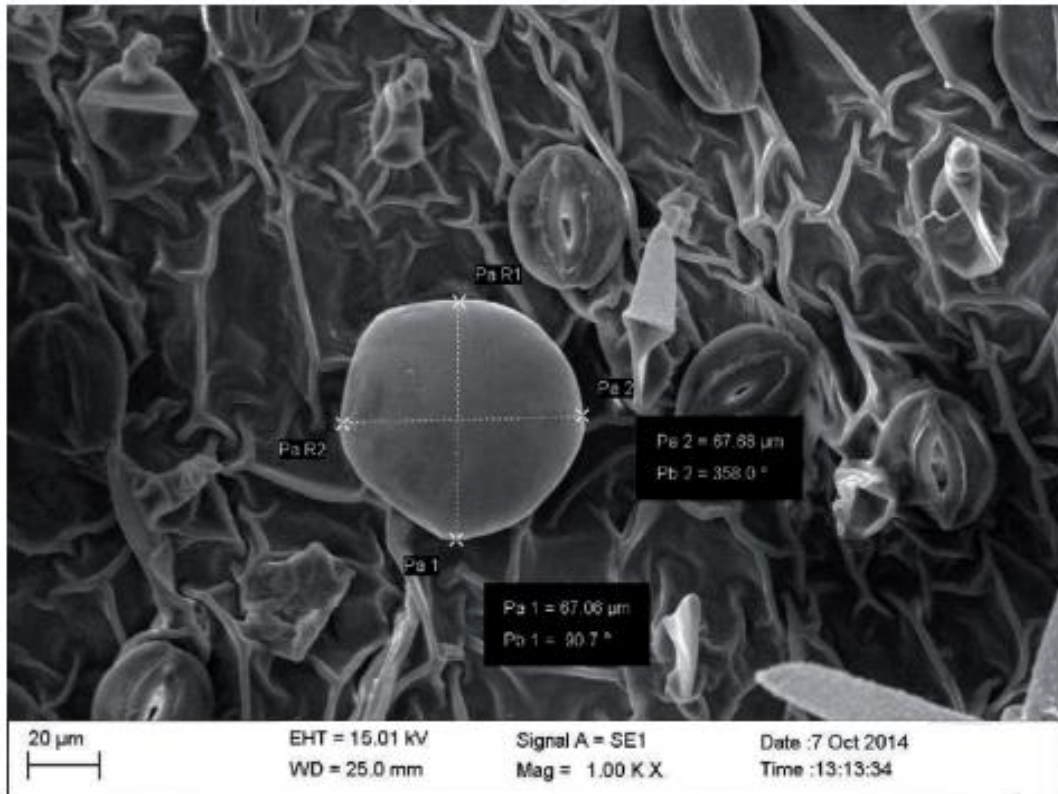
Εικόνα 3: Σπερμοβλάστη από άνθος λεβάντας και οι σωληνοειδείς περιοχές όπου εντοπίζονται οι εκκριτικοί αδένες του ελαίου της λεβάντας (Svoboda et al., 2000).

Οι αδένες έκκρισης του αιθέριου ελαίου κατανέμονται σε ολόκληρο το φυτό. Αυτοί οι σφαιρικοί ή ασπιδοειδείς επιδερμικοί αδένες έχουν διάμετρο μικρότερη από το ένα δέκατο του χιλιοστού. Η δραστηριότητά τους εξασφαλίζει τη σύνθεση όλων των

συστατικών του αιθέριου ελαίου της λεβάντας και τη μακροχρόνια αποθήκευσή τους. Παρουσιάζονται σπάνια στις άνω όψεις των φύλλων και των στελεχών και είναι περισσότεροι σε αριθμό στις κάτω πλευρές των φύλλων, αλλά είναι ιδιαίτερα πολυπληθείς στους κάλυκες του άνθους που βρίσκονται κάτω από τα πέταλα. Τα εκκριτικά κύτταρα ομαδοποιούνται στις σωληνοειδείς περιοχές και στις αυλακώσεις, σχηματίζοντας ένα παχύ στρώμα τριχομόρφων δομών, το τρίχωμα, που καλύπτει αυτές τις θέσεις (Εικ. 4, 5) (Lane et al., 2010).



Εικόνα 4: Φυτικός ιστός παραγωγής αιθέριου ελαίου στη *L. angustifolia*. **a:** Φωτογραφία φυτικού ιστού και αδενικών τριχωμάτων με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου (scale bar ~0,25 cm). **b:** Φωτογραφία ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης των αδενικών τριχωμάτων της λεβάντας (scale bar ~50 μm) (Lane et al., 2010).



Εικόνα 5: Φωτογραφία ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης του τριχώματος της λεβάντας (*L. angustifolia* Munstead) (Andrys et al., 2018).

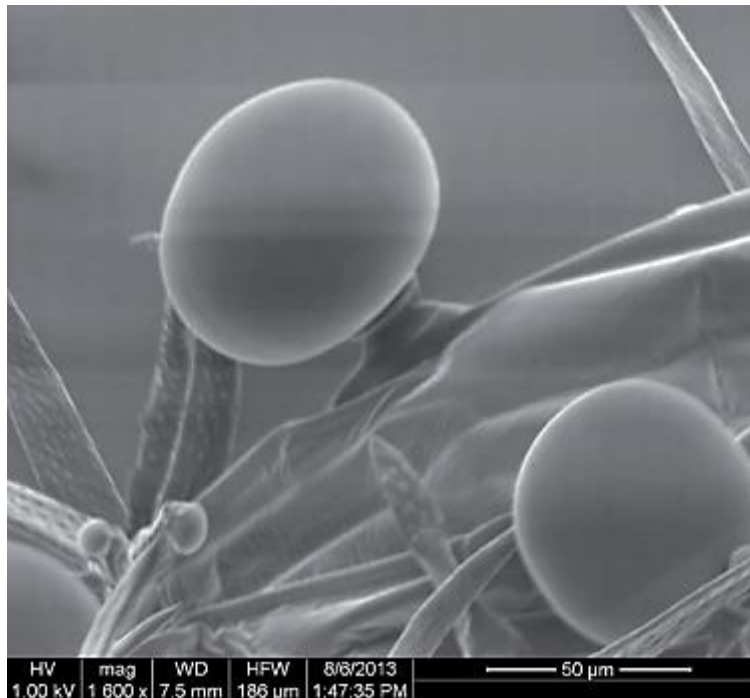
Οι Naidu και Shah (1981) ήταν μεταξύ των πρώτων που μελέτησαν και παρατήρησαν τα τριχώματα στο *L. angustifolia*. Στην ταξινόμησή τους, η οποία περιλαμβάνει και άλλα γένη της οικογένειας Lamiaceae, διαίρεσαν τα είδη των τριχωμάτων σε πέντε τύπους. Στο *L. angustifolia*, ωστόσο, παρατηρήθηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο τέσσερις τύποι (Andrys et al., 2018).

Στον Τύπο I ανήκουν τα τριχώματα στα οποία η βάση του αδένα αποτελείται από ένα κύτταρο ή πολύ σπάνια από δύο, και είναι πολυγωνικά, τραπεζοειδή ή τετράγωνα. Το σώμα είναι μη ισορροπημένο, ίσιο ή ελαφρώς καμπυλόμορφο, αποτελείται από 1-3 επιμήκη βλαστικά κύτταρα, 1-2 κύτταρα λαιμού και με μια σφαιρική, επιμήκη ή ωοειδή κεφαλή. Στα τριχώματα Τύπου I, τα κύτταρα του στελέχους είναι ορθογώνια, τραπεζοειδή ή τετραγωνικά, με περιεχόμενο ή χωρίς και τυπικά μακρύτερα σε μέγεθος. Η κεφαλή είναι μονοκυτταρική ή δικυτταρική, και τα κύτταρα του λαιμού είναι συνήθως ορθογώνια. Τα εκκριτικά κύτταρα του στελέχους που παράγουν το αιθέριο έλαιο αρχικά το συσσωρεύουν κάτω από την επιδερμίδα και το εναποθέτουν στην κεφαλή σε μικρές ποσότητες (Andrys et al., 2018).

Τα τριχώματα Τύπου II έχουν απλούστερη δομή, αποτελούμενη από μια μονοκύτταρη βάση δίχως περιεχόμενο. Το σώμα ενός τριχώματος δομείται από ένα μικρό στέλεχος που αποτελείται από ένα ορθογώνιο, τραπεζοειδές ή πολυγωνικό κύτταρο και μια σφαιρική κεφαλή που συγκροτείται από πολλά κύτταρα. Τα κύτταρα του στελέχους και της κεφαλής είναι ομαλά, με λεπτά τοιχώματα, επιδερμιδωμένα και το καθένα περιέχει ένα πυκνό κυτταρόπλασμα και πυρήνα.

Τα τριχώματα Τύπου III είναι κωνικού σχήματος, με οξεία ή περίπου οξεία άκρα, η οποία είναι ευθεία ή καμπύλη (Andrys et al., 2018).

Αντιθέτως, τα τριχώματα Τύπου IV φέρουν καμπυλόγραμμη και σφαιρική άκρη, με κυλινδρικά και διακλαδισμένα τριχίδια και παρατηρήθηκαν από τους Naidu και Shah (1981) μόνο στο γένος *Lavandula*. Το σώμα στα Τύπου IV τριχώματα είναι κυλινδρικό, στρογγυλεμένο ή ανοιχτό στα άκρα. Μετά την ταξινόμηση από τους Naidu και Shah (1981), τα τριχώματα Τύπου IV ταυτοποιήθηκαν και στη μελέτη της Andrys και των συνεργατών της (2018), τα οποία ήταν πλήρως ανεπτυγμένα τριχώματα με μια διογκωμένη κεφαλή (Εικ. 6) (Andrys et al., 2018)



Εικόνα 6: Πλήρως ανεπτυγμένο ασπιδοειδές τρίχωμα Τύπου IV με μια διογκωμένη κεφαλή (Andrys et al., 2018).

1.3.2 Χημική σύνθεση των αιθέριων ελαίων της λεβάντας

Μεταξύ των 39 ειδών *Lavandula* έχουν ερευνηθεί μόνο 17 είδη όσον αφορά τη χημική σύνθεση των αιθέριων ελαίων τους (*L. angustifolia*, *L. 9 intermedia*, *L. latifolia*, *L. stoechas*, *L. bipinnata*, *L. canariensis*, *L. coronopifolia*, *L. dentata*, *L. heterophylla*, *L. gibsonii*, *L. lanata*, *L. luisieri*, *L. multifida*, *L. pedunculata*, *L. pinnata*, *L. pubescens*, *L. viridis*). Το είδος *L. angustifolia* είναι το πιο μελετημένο είδος. Περισσότερα από 300 τερπένια (μονο- και σεσκιτερπένια) έχουν καταγραφεί συνολικά στο γένος *Lavandula spp.*. Η δομική ποικιλομορφία αυτών των ενώσεων είναι πολύ μεταβλητή ανάλογα με το είδος (Lis-Balchin, 2012).

Για παράδειγμα, αν το *L. angustifolia* ή το *L. stoechas* βιοσυνθέτουν περίπου 60-100 διαφορετικά τερπένια και το *L. latifolia* παράγει περισσότερα 300 τερπένια, το *L. canariensis* συνθέτει μικρότερο αριθμό τερπενίων. Ταυτόχρονα, οι μελέτες κατέδειξαν μια μεγάλη ενδοειδική μεταβλητότητα των συστατικών του αιθέριου ελαίου, κυρίως ποσοτική. Τα συστατικά του αιθέριου ελαίου της λεβάντας συζητούνται ανάλογα με τις χημικές τάξεις και τα είδη, λαμβάνοντας ιδιαίτερα υπόψιν τις μελέτες τα τελευταία 15 χρόνια σε δείγματα απ' όλο τον κόσμο (Lis-Balchin, 2012, Benabdelkader 2012).

1.3.3 Βιοσύνθεση των τερπενίων στη λεβάντα

Τα τερπενοειδή του αιθέριου ελαίου της λεβάντας προέρχονται από το διφωσφορικό ισοπεντενύλιο (Isopentenyl Diphosphate, IPP) και το αλλυλικό ισομερές του, το διφωσφορικό διμεθυλαλλύλιο (Dimethylallyl Diphosphate, DMAPP) τα οποία προέρχονται από την οδό του μεβαλονικού οξέος (Mevalonic Acid, MVA) ή κυτοσολική οδό και από την 4-φωσφορική 2-C μεθυλ-D-ερυθριτόλη (2-C methyl -D-erythritol 4-phosphate, MEP) ή πλαστιδιακή οδό του μεταβολισμού του τερπενοειδών. Το IPP και το DMAPP είναι οι ενεργοποιημένες δομικές μονάδες (5C) της βιοσύνθεσης των τερπενίων που ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μεγαλύτερα μόρια (Wang, 2014, Wells et al., 2018).

Και οι δύο οδοί αρχικά δημιουργούν γραμμικούς ισοπρενοειδείς προδρόμους. Συγκεκριμένα, το IPP και το DMAPP αντιδρούν για να σχηματίσουν το διφωσφορικό γερανύλιο (Geranyl Diphosphate, GPP)(10C), την πρόδρομη ένωση σχεδόν όλων των μονοτερπενίων. Το GPP μπορεί να ενωθεί στη συνέχεια με ένα άλλο μόριο IPP και να

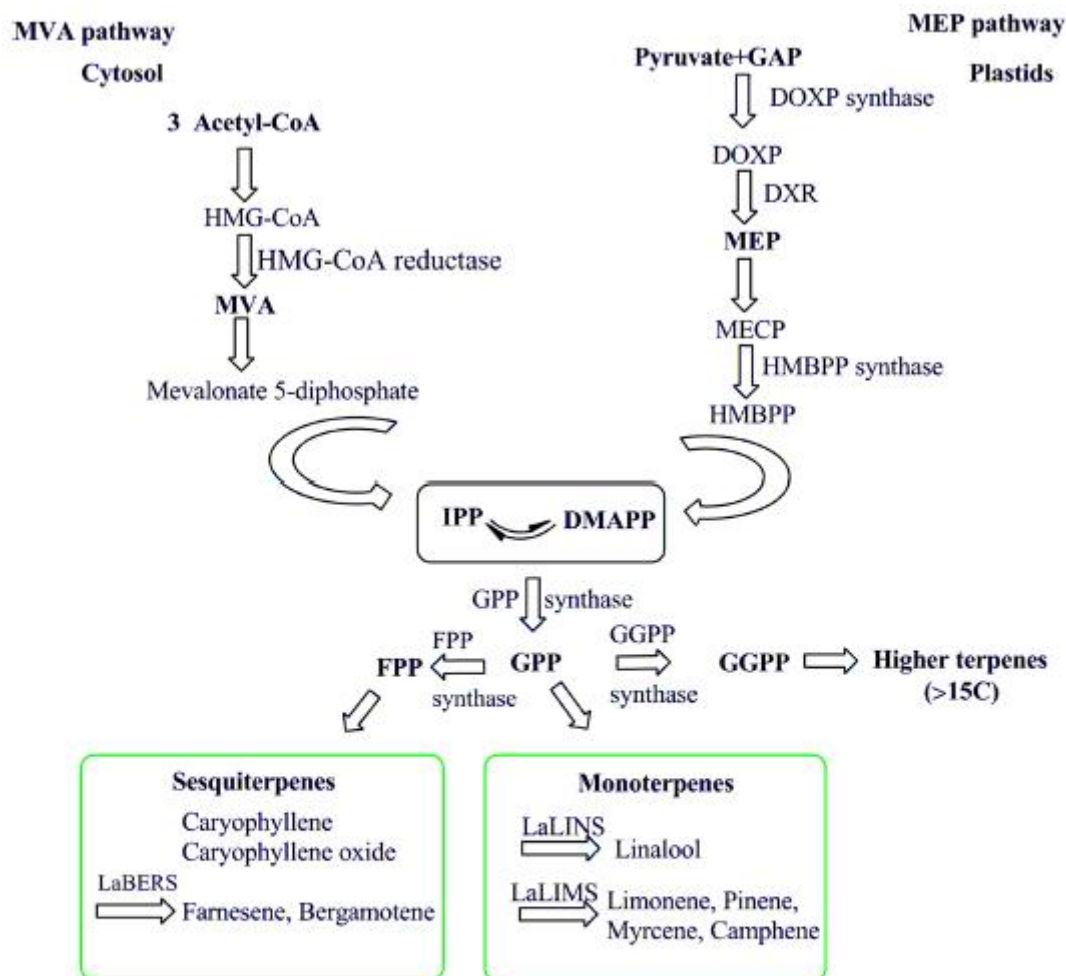
σχηματίζει μια ένωση με 15 άτομα άνθρακα, το διφωσφορικό φαρνεζύλιο (Farnesyl Diphosphate, FPP), που αποτελεί την πρόδρομη ένωση όλων των σεσκιτερπενίων. Η προσθήκη ενός ακόμη μορίου IPP οδηγεί στο σχηματισμό μιας ένωσης με 20 άτομα άνθρακα, το διφωσφορικό γερανυλογερανύλιο (Geranylgeranyl Diphosphate, GGPP), που αποτελεί την πρόδρομη ένωση όλων των διτερπενίων (Liao et al., 2016; Wells et al., 2018).

Η οδός MVA εντοπίζεται κυρίως στα ζώα και τους μύκητες, καθώς και στο κυτταρόπλασμα των φωτοτροπικών οργανισμών. Η οδός MVA παράγει τις πρόδρομες ενώσεις για τον σχηματισμό του FPP για τη σύνθεση των σεσκιτερπενίων και των τριτερπενίων. Ενώ, η οδός MEP, που υπάρχει στα περισσότερα βακτήρια, καθώς και στους χλωροπλάστες των φυτών, παρέχει πρόδρομες ενώσεις για τη βιοσύνθεση των GPP και GGPP που τελικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μονοτερπενίων και των διτερπενίων, αντίστοιχα (Εικ. 7) (Liao et al., 2016; Wells et al., 2018).

Ορισμένα μονοτερπένια, όπως η καμφορά και η οξική λιναλοόλη, τροποποιούνται περαιτέρω μέσω αντιδράσεων ακετυλίωσης, οξειδωσης ή μείωσης. Η καμφορά παράγεται από τη βορνεόλη με τη δράση μιας αλκοολικής δεϋδρογενάσης βραχείας αλυσίδας και η οξική λιναλοόλη παράγεται από την λιναλοόλη, μέσω του ενζύμου της ακετυλοτρανσφεράσης της λιναλοόλης (Sarker et al., 2012; Wells et al., 2018).

Ενώ, οι συνθετάσες των μονοτερπενίων εκκινούν την αντίδραση σχηματίζοντας κατιονικά ενδιάμεσα, όπως το κατιόν του γερανυλίου, το διφωσφορικό λιναλοϋλίου, το κατιόν του λιναλοϋλίου και τελικά το κατιόν του α-τερπινεϋλίου. Αυτά τα ενδιάμεσα προϊόντα διέρχονται από έναν αριθμό μεταβολών κυκλοποίησης, μεταφορά υδριδίων ή άλλων αναδιατάξεων μέχρις ότου σχηματίσουν ένα σταθερό συστατικό. Για παράδειγμα, το α-τερπινύλ-κατιόν, είναι ένα σημαντικό ενδιάμεσο μόριο, καθώς σχηματίζει στη *L. angustifolia* όλα τα κυκλικά μονοτερπένια, όπως λιμονένιο, α-τερπινεόλη, πινένιο, φελλανδρένιο, σαβινένιο, τερπινένιο, βορνεόλη, καμφορά, κινεόλη κ.α. (Wells et al., 2018).

Η γερανιόλη, η λιναλοόλη, το μυρκένιο και το β-οκιμένιο προέρχονται από κατιόντα του γερανυλίου και λιναλοϋλίου. Δύο ενδιάμεσες κατιονικές μορφές, όπως το κατιόν του φαρνεσυλίου και το ισομερές του κατιόντος του νερολιδυλίου, παράγονται με συνθετάσες του σεσκιτερπενίου, πριν συμβεί οποιαδήποτε αναδιάταξη για να σχηματιστούν σταθερές ενώσεις, όπως συμβαίνει και με τη βιοσύνθεση των μονοτερπενίων (Wells et al., 2018).



Acetyl-CoA, Acetyl coenzyme A; DMAPP, Dimethylallyl diphosphate; DOXP, 1-Deoxy-D-xylulose 5-phosphate; DXR, 1-Deoxy-D-xylulose 5-phosphate (DX) reductoisomerase; FPP, Farnesyl diphosphate; GAP, Glyceraldehyde 3-phosphate; GGPP, Geranyl geranyl diphosphate; GPP, Geranyl diphosphate; HMBPP, 1-Hydroxy-2-methyl-2-(E)-butenyl-4-diphosphate; HMG-CoA, 3-Hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A; IPP, Isopentenyl diphosphate; MECP, 2-C-methylerythritol-2,4-cyclodiphosphate; MVA, mevalonic acid; MEP, 2-C-methyl-D-erythritol-4-phosphate; LaBERS, Bergamotene synthase; LaLINS, Linalool synthase; LaLIMS, Limonene synthase.

Εικόνα 7: Βιοσύνθεση των τερπενίων στο *L. angustifolia* (Aprotosoia et al., 2017).

1.3.4 Μονοτερπένια

Τα οξυγονωμένα μονοτερπένια αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των αιθέριων ελαίων που απομονώνονται από τα άνθη των ειδών *Lavandula*. Μπορούν να υπερβούν το 90% για τα *L. angustifolia* (36,33-92,90%), *L. x intermedia* (68,3-93,10%), *L. stoechas* (46,19-92,93%) και *L. latifolia* (85,2-94,10%). Υψηλές τιμές (πάνω από 70%) είναι επίσης χαρακτηριστικές για τα *L. pedunculata* (58,20-89%), *L. luisieri* (16,7-85,21%), *L. viridis* (65,29-75,70%) και *L. dentata* (56.50-71.80%) (Aprotosoiaie et al., 2017).

Οι υψηλές συγκεντρώσεις των μονοτερπενοειδών υποστηρίζουν την έντονη δραστηριότητα των πλαστιδιακών υδροξυλασών και των αφυδρογονασών, που εμπλέκονται στη μετατροπή των τερπενικών υδρογονανθράκων. Τα οξυγονωμένα τερπένια έχουν σημαντικές φαρμακολογικές και αισθητικές ιδιότητες και ευθύνονται για το πολύτιμο άρωμα της λεβάντας (Hassanpouraghdam et al., 2011).

Γενικά, το αιθέριο έλαιο του είδους *L. angustifolia* έχει μια γλυκιά μυρωδάτη, ποώδη, αναζωογονητική οσμή με ευχάριστη, μπαλσάμικο-ξύλινη απόχρωση και φρουτώδη γλυκιά νότα, ενώ το αιθέριο έλαιο του είδους *L. latifolia* παρουσιάζει μια φρέσκια, άνθινη, γλυκιά, ποώδη και ελαφρώς πικάντικη μυρωδιά. Το αιθέριο έλαιο του *L. stoechas* έχει μια ζεστή, γλυκιά άνθινη, ελαφρώς φρουτώδη και καμφορική οσμή και του *L. x heterophylla* Goodwin Creek παρουσιάζει ένα άτυπο άρωμα, πιο άνθινο με ζεστή ρόδινη νότα και λιγότερο ποώδη από τα άλλα είδη. Το αιθέριο έλαιο του *L. multifida* (αιγυπτιακή λεβάντα) εμφανίζει ζεστό και βαλσαμικό άρωμα (Lis-Balchin, 2012).

Τα πιο κοινά μονοτερπενοειδή των αιθέριων ελαίων της λεβάντας είναι οι αλκοόλες (λιναλοόλη, τερπινέν-4-όλη, α-τερπινεόλη, βορνεόλη, λαβανδουλόλη), εστέρες (οξικός λιλυλεστέρας, οξικός λαβανδουλυλεστέρας, οξικός γερανυλεστέρας, προπανικός γερανυλεστέρας), κετόνες (καμφορά, φενχόνη, θουιόνη) και οξείδια (1,8-κινεόλη)(Aprotosoiaie et al., 2017). Πιο ειδικά:

- **Λιναλοόλη και οξικός λιναλυλεστέρας:** Είναι οι κύριες ενώσεις στα αιθέρια έλαια του *L. angustifolia* (1,1-53,5 και 4,2-56,70%, αντίστοιχα) και του *L. x intermedia* (1,7-47,51 και 1,5-48,2%, αντίστοιχα). Επίσης, η λιναλοόλη υπερισχύει στο είδος *L. latifolia* (3.7-61.08%) και στο *L. coronopifolia* από την Ιορδανία (20.77-41.16%) (Aburjai et al., 2005). Συνήθως, στο είδος *L. stoechas* οι συγκεντρώσεις της

λιναλοόλης και του οξικού λιναλλυλεστέρα είναι πολύ χαμηλές ή απουσιάζουν (Giray et al., 2008). Η παρουσία μεγαλύτερων ποσοτήτων λιναλοόλης και οξικού λιναλλυλεστέρα οδηγούν στο σχηματισμό ελαίων ανώτερης φαρμακευτικής και αισθητικής ποιότητας. Το αυθεντικό αιθέριο έλαιο της λεβάντας περιέχει μια περίσσεια εναντιομερών (R) - (-) - λιναλοόλης (95,1-98,2%) και (R) - (-) - οξικός λιναλλυλεστέρας (μέχρι 99%). Θεωρούνται τα πιο επιθυμητά χημικά συστατικά της λεβάντας (Aprotosoaie et al., 2014; Duskoiva et al., 2016).

- **1,8-κινεόλη και καμφορά:** Είναι βασικά συστατικά του αιθέριου ελαίου του *L. angustifolia* (0,31-44,4 και 1,9-28%, αντίστοιχα) και συνήθως εντοπίζονται στα εκχυλίσματα ελαίου από τα φύλλα και τους μίσχους των φυτών. Τα υψηλά επίπεδα της 1,8-κινεόλης και καμφοράς μειώνουν την ποιότητα του πραγματικού αιθέριου ελαίου της λεβάντας παρέχοντας σκληρότερες νότες (Duskoiva et al., 2016). Η 1,8-κινεόλη έχει μια αρωματική οσμή, ενώ η καμφορά προσδίδει σκληρές, διεισδυτικές και ελαφρώς λεπτές νότες. Για το *L. stoechas*, ο ελληνικός, κορεάτικος και τουρκικός πληθυσμός είναι εξαιρετικά πλούσιος σε καμφορά (πάνω από 50%) ενώ η 1,8-κινεόλη υπάρχει σταθερά σε ελληνικούς και τουρκικούς πληθυσμούς (24,5-34,4 και 20,29%, αντίστοιχα) (Hassiotis 2010; Aprotosoaie et al., 2017).
- **Τερπινέν-4-όλη και α-τερπινεόλη:** Αυτές οι μονοτερπενόλες είναι άφθονες στα αιθέρια έλαια των *L. angustifolia* (2-14,01 και 2-9,17%, αντίστοιχα), *L. x intermedia* (1,61-15,6 και 2,8-10,2% αντίστοιχα) και *L. latifolia* (0,33-7,11 και 2,6-10,5%, αντίστοιχα). Η τερπινέν-4-όλη και α-τερπινεόλη είναι συνιστούν δευτερεύοντα συστατικά στο *L. stoechas* (τιμές κάτω του 1%) (Hassiotis 2010).
- **Λαβανδουλόλη:** Το είδος *L. lanata* έχει μεταβλητές ποσότητες λαβανδουλόλης (3-27%) (Lis-Balchin 2012). Ορισμένες ισπανικές ποικιλίες του *L. lanata* είναι εξαιρετικά πλούσιες σε λαβανδουλόλη (πάνω από 35%) και είναι πολύτιμες για την αρωματοποιία (Barrero et al., 2008). Το τυνησιανό *L. latifolia* περιέχει, επίσης, υψηλές συγκεντρώσεις λαβανδουλόλης (8,7%) (Alatrache et al., 2007). Ενώ εντοπίζεται σε ενδιάμεσα επίπεδα στα *L. angustifolia* και *L. x intermedia* (2,1-4,3 και 4,80-5,48%, αντίστοιχα) (Aprotosoaie et al., 2017).
- **Οξικός λαβανδουλυλεστέρας:** Η σημαντική παρουσία του οξικού λαβανδουλυλεστέρα έχει αναφερθεί στα είδη *L. angustifolia* (1,2-15,9%), *L. x intermedia* (1,75-4,8%) και *L. stoechas* (3,5% στους ισπανικούς πληθυσμούς). Το επίπεδο του οξικού λαβανδουλυλεστέρα αυξάνεται με το άνοιγμα των πρώτων ανθέων της λεβάντας (Guitton et al., 2010).

- **Φενχόνη:** Αυτή η μονοτερπενική κετόνη ανιχνεύθηκε ως κύρια ένωση στο έλαιο του *Lavandula stoechas* (3,06-75,50%). Ο χημειοτύπος φενχόνης/καμφοράς είναι ο συχνότερα αναφερόμενος για τα φυτά του είδους *L. stoechas*. Έχει ταυτοποιηθεί για τα φυτά λεβάντας από την Αλγερία, την Κύπρο, τη Γαλλία (Κορσική), την Ελλάδα (Κρήτη), την Ιταλία, το Μαρόκο, την Τουρκία και την Τυνησία. Η αναλογία της φενχόνης και της καμφοράς μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό και μπορεί να αντιστραφεί ακόμη και στους μεσογειακούς πληθυσμούς (Benabdelkader et al., 2011).
- **Βορνεόλη:** Έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα κύρια συστατικά του αιθέριου ελαίου του *L. angustifolia* (1,4-24%) και του *L. latifolia* (0,9-19%) και υπάρχει σε μεγαλύτερες ποσότητες στα φύλλα και στα υπόλοιπα εναέρια μέρη απ' ό,τι στα άνθη (Carrasco et al., 2016).

1.3.5 Μονοτερπενικοί υδρογονάνθρακες

Γενικά θεωρούνται δευτερεύοντα συστατικά του αιθέριου ελαίου της λεβάντας. Τόσο τα ανώριμα άνθη όσο και τα φύλλα της λεβάντας συσσωρεύουν κυρίως μονοτερπενικούς υδρογονάνθρακες (Guitton et al., 2010). Τα υψηλότερα επίπεδα μονοτερπενικών υδρογονανθράκων βρίσκονται στα *L. dentata* (4,7-20% και σε μερικά δείγματα $\geq 40\%$), *L. angustifolia* (1,5-32,7%), *L. pedunculata* (4,5-24,8%) και στο *L. x intermedia* (1,1-17,17%). Οι μονοτερπενικοί υδρογονάνθρακες της λεβάντας αντιπροσωπεύονται κυρίως από ακυκλικά (β-μυρκένιο, cis- και trans-οκιμένιο), μονοκυκλικά (D-λιμονένιο) και από δικυκλικές δομές (α-, β-πινένιο και καμφένιο).

Μερικά από αυτά, όπως τα α-πινένιο, β-πινένιο, λιμονένιο και το 3-καρένιο, κυριαρχούν ως δεξιόστροφα εναντιομερή, ενώ το καμφένιο βρίσκεται κυρίως ως αριστερόστροφο εναντιομερές (Carrasco et al., 2015, 2016). Τα αιθέρια έλαια από μερικούς ελληνικούς πληθυσμούς των *L. angustifolia* και *L. angustifolia* var. *Etherio* χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε μονοτερπενικούς υδρογονάνθρακες (32,70 και 21%, αντίστοιχα) (Hassiotis et al., 2010).

Οι μονοτερπενικοί υδρογονάνθρακες δεν συμβάλλουν πολύ στο άρωμα των αιθέριων ελαίων και ως γευστικοί παράγοντες στη βιομηχανία τροφίμων, και στην αρωματοποιία συνήθως απομακρύνονται, όπως το λιμονένιο (Giray et al., 2008; Da Porto et al., 2009).

1.3.6 Φαινολικά τερπενοειδή

Το αιθέριο έλαιο του *L. rubescens* από την Υεμένη και τη Σαουδική Αραβία περιέχει υψηλά επίπεδα καρβακρόλης (20,6-77,5 και 85,3%, αντίστοιχα). Ο μεθυλικός αιθέρας της καρβακρόλης (3,45-11,39%) είναι μια άλλη κύρια ένωση του αιθέριου ελαίου σε φυτά λεβάντας από την Υεμένη (Al-Badani et al. 2017). Επίσης, τα κύρια συστατικά του *L. multifida* είναι οι μονοτερπενικές φαινόλες της καρβακρόλη (21,14-66,2%) και η θυμόλη (32%), ενώσεις που δεν συναντώνται συχνά στα αιθέρια έλαια των πληθυσμών της λεβάντας και το παρακυμένιο (15,7%). Επίσης, μια άλλη φαινόλη, η ντουρενόλη (2,3,5,6-τετραμεθυλοφαινόλη) είναι η πλέον άφθονη ένωση στο μαροκινό *L. multifida* (89,97%) (N'Dedianhoua et al., 2014).

1.3.7 Σεσκιτερπένια

Όπως και στην περίπτωση των μονοτερπενίων, τα σεσκιτερπένια (οι υδρογονάνθρακες και τα οξυγονούχα παράγωγα τους) αντιπροσωπεύουν δευτερεύουσες ενώσεις στο αιθέριο έλαιο της λεβάντας, πιθανώς συνδυασμένες με μια ασθενή δραστηριότητα της οδού MVA, την κύρια οδό της βιοσύνθεσης τους (Lane et al., 2010). Τα πλουσιότερα είδη είναι τα *L. canariensis* (περίπου 40%), *L. angustifolia* (1,2-38,40%), *L. stoechas* (2,6-28,08%) και *L. luisieri* (3,34-23,05%). Τα κύρια σεσκιτερπένια που έχουν αναφερθεί στο αιθέριο έλαιο της λεβάντας είναι τα β-καρνοφυλλένιο, β-φαρνεσένιο, βισαβολένιο, γερμακρένιο D, α-μουρολόλη, α-βισαβολόλη, ακαδινόλη, οξείδιο του καρνοφυλλένιου και η βιριδιφλορόλη (Lane et al., 2010; Aprotosoaie et al., 2017).

1.3.8 Κουμαρίνες

Οι κουμαρίνες είναι τυπικά συστατικά των ιστών του φυλλώματος της λεβάντας. Σε ορισμένους ιταλικούς πληθυσμούς λεβάντας έχουν εντοπιστεί κουμαρίνες (κουμαρίνη, 7-μεθοξικουμαρίνη), σε συγκεντρώσεις άνω του 20% (Binello et al., 2014; Aprotosoaie et al., 2017).

1.3.9 Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του αιθέριου ελαίου

Μια επισκόπηση των ερευνών που δημοσιεύτηκαν τα τελευταία 15 χρόνια αποκαλύπτει μεγάλη μεταβλητότητα όσον αφορά την απόδοση και τη σύνθεση των παραγόμενων αιθέριων ελαίων. Οι διακυμάνσεις στο τελικό προϊόν της καλλιέργειας λεβάντας επηρεάζονται κυρίως από την ποικιλία, τη γεωγραφική θέση, το υψόμετρο, τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες, τη μέθοδο πολλαπλασιασμού, τις μεθόδους επεξεργασίας του φυτικού υλικού (φρέσκο ή αποξηραμένο) και τις μεθόδους εκχύλισης (Aprotosoaie et al., 2017).

Χαρακτηριστικά, για το *L. Angustifolia*, το περιεχόμενο σε αιθέριο έλαιο κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 6,25% για τις χλωρές ταξιανθίες και μεταξύ 0,5 και 9,62% για τις αποξηραμένες. Ενώ, για το *L. x intermedia*, η αναφερόμενη περιεκτικότητα ήταν μικρότερη από 3% για το φρέσκο προϊόν και μεταξύ 3 και 9,9% για το ξηρό προϊόν (Aprotosoaie et al., 2017).

Μια σημαντική παράμετρος για την υψηλή παραγωγή αιθέριου ελαίου είναι η καλλιεργούμενη ποικιλία. Για παράδειγμα στο είδος *L. angustifolia* οι υψηλότερες τιμές ελαίου καταγράφηκαν στην ποικιλία Silver, που καλλιεργήθηκε στην Τουρκία (9,62%). Επίσης, μια νέα ποικιλία του *L. angustifolia*, που ονομάστηκε Etherio και αποκτήθηκε με τεχνικές επικονιάσεις μεταξύ των ελληνικών εγχώριων φυτών (πλούσιων σε αιθέριο έλαιο), έδειξε 78,8% υψηλότερη περιεκτικότητα σε έλαιο από τους υπόλοιπους πληθυσμούς και είχε περισσότερα άνθη και κλάδους (Hassiotis et al., 2010).

Επιπλέον, η μέθοδος πολλαπλασιασμού διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή του ελαίου, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την τσέχικη ποικιλία Beta που δημιουργήθηκε με αγενή πολλαπλασιασμό και είχε υψηλότερη περιεκτικότητα σε αιθέριο έλαιο (3,80-8,95%), σε σύγκριση με την καλλιεργούμενη ποικιλία Krajona που αναπαράγεται με σπόρο (1,15-4,05%) (Duskova et al., 2016).

Επίσης, μια άλλη σημαντική παράμετρος για την υψηλή παραγωγή ελαίου είναι το περιβάλλον ανάπτυξης, καθώς τα φυτά λεβάντας που καλλιεργούνται σε υψηλότερα υψόμετρα είναι πλουσιότερα σε αιθέριο έλαιο. Οι Da Porto et al., (2009) ανέφεραν διπλάσια περιεκτικότητα σε αιθέριο έλαιο για την ιταλική λεβάντα που αναπτύχθηκε στα 500 μέτρα, σε σύγκριση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν στα 20 μέτρα (1% έναντι 0,5%, αντίστοιχα). Γενικά, θεωρείται ότι η υψηλή παραγωγή πραγματικού αιθέριου

ελαίου λεβάντας απαιτεί ένα ζεστό και ξηρό κλίμα και μεσαία υψόμετρα (700-1200μ.) (Carrasco et al., 2016).

Στην Ελλάδα, η έρευνα του Χασιώτη και των συνεργατών του (2010) έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε αιθέρια έλαια ορισμένων πληθυσμών του *L. angustifolia* που καλλιεργήθηκαν σε υψόμετρο μεταξύ 330 και 710 μέτρων κυμαίνεται μεταξύ 0,44% και 1,89%. Ο νότιος προσανατολισμός της καλλιέργειας, με υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερες βροχοπτώσεις προάγει τη σύνθεση μεγαλύτερων ποσοτήτων αιθέριου ελαίου (1,21-1,89%), σε σύγκριση με τον βόρειο προσανατολισμό (0,44-0,81%) (Hassiotis et al., 2010). Παράλληλα, ο Stanev (2010) τονίζει ότι μεγαλύτερες ποσότητες αιθέριου ελαίου παράχθηκαν από καλλιέργειες που είχαν ήσυχο και ηλιόλουστο καιρό, φτάνοντας μέχρι και το 75% κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας των φυτών (Stanev, 2010).

Επίσης, το φυτικό στάδιο συλλογής των φυτών επηρεάζει τη συσσώρευση και την περιεκτικότητα του αιθέριου ελαίου στα είδη λεβάντας. Για τις ταξιανθίες του *L. angustifolia*, η περιεκτικότητα σε αιθέρια έλαια είναι υψηλότερη κατά το στάδιο του μπουμπουκιού και στην προάνθηση/άνθηση, ενώ για το *L. dentata* (την γαλλική κροσσωτή λεβάντα) στο στάδιο του μπουμπουκιού (Masetto et al., 2011). Ενώ, στις ταξιανθίες του *L. x intermedia* η περιεκτικότητα σε αιθέρια έλαια στην άνθηση και τη γήρανση ήταν 18 και 16%, αντίστοιχα, και υψηλότερη από την περιεκτικότητα στο στάδιο της προάνθησης. Ακόμη, τα φύλλα των *L. angustifolia*, *L. latifolia* και *L. x intermedia* έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε αιθέρια έλαια σε σύγκριση με τις ταξιανθίες και η απόδοση είναι 4-5 φορές υψηλότερη. Εκτός αυτού, οι ταξιανθίες, σύμφωνα με τους ειδικούς, φέρουν και το καλύτερο άρωμα (Gonzalez-Rivera et al., 2016).

Η έρευνα των Benabdelkader et al., (2011) έδειξε η περιεκτικότητα σε αιθέρια έλαια ποικίλλει, όχι μόνο μεταξύ των ειδών αλλά και στο ίδιο είδος, ενώ παρατηρείται μεγάλη μεταβλητότητα τόσο στους διαφορετικούς πληθυσμούς όσο και στον ίδιο πληθυσμό. Οι ερευνητές κατέγραψαν μεγάλες διακυμάνσεις της περιεκτικότητας σε αιθέρια έλαια στους άγριους πληθυσμούς των Αλγερινών *L. stoechas* (0,34-1,63%) και σε πληθυσμούς που συλλέχθηκαν από την Ισπανία, την Κρήτη και την Κορσική, γεγονός που μπορεί να προκύπτει εξαιτίας κάποιων εγγενών γενετικών διαφορών ή ορισμένων ανεξέλεγκτων βιοτικών και αβιοτικών επιδράσεων (Benabdelkader et al., 2011).

Συνεπώς, η αλληλεπίδραση μεταξύ του γενότυπου και των κλιματικών συνθηκών της καλλιέργειας επηρεάζει, τόσο τα επίπεδα των αιθέριων ελαίων όσο και τα επίπεδα των συστατικών τους. Ο Stanev (2010) αναφέρει ότι ορισμένες ποικιλίες *L. angustifolia* από τη Βουλγαρία (π.χ. Druzhiba, Yubileina, Hebar, Sevtopolis) έδειξαν αυξημένη προσαρμοστικότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε αιθέριο έλαιο μόνο στις βέλτιστες εδαφοκλιματικές συνθήκες, ενώ άλλες ποικιλίες (π.χ. Helmus, Raya) χαρακτηρίζονται από σταθερές αποδόσεις ανεξάρτητα από τις δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες.

Τέλος, η φύση του φυτικού υλικού (νωπού ή ξηρού), η μέθοδος ξήρανσης και η διάρκεια της ξήρανσης, καθώς και η μέθοδος εκχύλισης προκαλούν, επίσης, μεταβολή της περιεκτικότητας και της σύνθεσης του αιθέριου ελαίου. Η εξαγωγή με τη χρήση του υπερκρίσιμου CO₂ (Supercritical CO₂ Extractor, SCE) της ιταλικής *L. angustifolia* μπορεί να αυξήσει την απόδοση του αιθέριου ελαίου κατά 3-6 φορές σε σύγκριση με την υδροαπόσταξη (3,2-3,7 έναντι 0,5-1%) (Da Porto et al., 2009).

Επίσης, η εκχύλιση με την μέθοδο SCE των αυστραλιανών ταξιανθιών του *L. angustifolia* οδήγησε σε απόδοση αιθέριου ελαίου περίπου 1,5 φορά υψηλότερη σε σύγκριση με την υδροαπόσταξη (6,68 έναντι 4,57%) (Danh et al., 2013). Οι Zheljzkon et al., (2013) έδειξαν ότι στην περίπτωση της απόσταξης του ελαίου του *L. angustifolia* της Βόρειας Αμερικής η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται 60 λεπτά μετά τη συγκομιδή (πάνω από 6%). Η παρατεταμένη αποθήκευση των αποξηραμένων ταξιανθιών της λεβάντας πριν από την υδροαποστάξη προκαλεί μείωση της περιεκτικότητας σε αιθέριο έλαιο περίπου 0,007% / ημέρα, ή περίπου 2,56% / έτος (Duskova et al., 2016).

1.3.10 Μέθοδοι παραλαβής του αιθέριου ελαίου

Το αιθέριο έλαιο λεβάντας παράγεται κυρίως με τις συμβατικές μεθόδους της υδροαπόσταξης και της απόσταξης με ατμό, και σε μικρότερο βαθμό με εκχύλιση με διαλύτη, οι οποίες έχουν πολλά μειονεκτήματα. Η υδροαπόσταξη και η απόσταξη με ατμό είναι χρονοβόρες διεργασίες που εκτελούνται σε υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην αποικοδόμηση των θερμικά ασταθών ενώσεων στα αρχικά φυτικά υλικά και ως αποτέλεσμα σε μια ατελή ή υποβαθμισμένη εκχύλιση του αιθέριου ελαίου (Danh et al., 2013).

Οι ανεπιθύμητες ενώσεις (π.χ. κηρώδεις ενώσεις, χρωστικές ουσίες και λευκωματώδη υλικά) και τα υπολείμματα των διαλυτών στο τελικό εκχύλισμα είναι

μείζονα ζητήματα για την εκχύλιση με διαλύτη, καθώς είναι σχεδόν αδύνατο να ληφθεί ένα προϊόν χωρίς τα ίχνη των διαλυτών (Danh et al., 2013).

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία εκχύλισης ρευστών, [μέθοδος SCE και εκχύλιση με τη χρήση υπερήχων (Ultrasound-Assisted Extraction, UAE)], μπορούν να αποτελέσουν πολλά υποσχόμενες εναλλακτικές μεθόδους εξαγωγής των πτητικών ενώσεων του *L. angustifolia* (Salehi et al., 2018).

Έχει αποδειχθεί ότι η SCE και η UAE εξάγουν εκχυλίσματα με φυσικό άρωμα απαλλαγμένα από τις χημικές αλλοιώσεις που προκαλούνται από τη θερμότητα και το νερό και χωρίς κατάλοιπα διαλυτών και ανεπιθύμητων ενώσεων, όπως οργανικά και ανόργανα άλατα, σάκχαρα, αμινοξέα και τανίνες (Razazadeh et al., 2008; Da Porto et al., 2009). Τα πτητικά συστατικά της λεβάντας που εξάγονται με το υπερκρίσιμο CO₂ περιέχουν υψηλά ποσοστά πολύτιμων ενώσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία τροφίμων και στη βιομηχανία φαρμακευτικών προϊόντων (Salehi et al., 2018).

Οι μέθοδοι εκχύλισης μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση, τη χημική σύνθεση και τις βιολογικές δραστηριότητες των αιθέριων ελαίων, ιδιαίτερα των αντιοξειδωτικών και αντιμικροβιακών δραστικών ουσιών (Danh et al., 2013).

1.3.11 Ιδιότητες και δράσεις των αιθέριων ελαίων της λεβάντας

Τα αιθέρια έλαια και τα διαφορετικά εκχυλίσματα του γένους *Lavandula spp.* έχουν χρησιμοποιηθεί στην παραδοσιακή ιατρική. Σήμερα, υπάρχουν αρκετές μελέτες και έρευνες σχετικά με τις βιοδραστικές ενώσεις που εκχυλίζονται από τη λεβάντα και που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη νέων φαρμακευτικών προϊόντων ή να χρησιμοποιηθούν σε πρωτόκολλα και σχήματα θεραπείας (Salehi et al., 2018).

Οι αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις, αντιβακτηριακές, αντιμυκητιακές, αντισηπτικές, αντιλεϊσμаниκές, αντιχολινεστερασικές, αντιεπιληπτικές, αντισπασμωδικές, νευροπροστατευτικές, αγχολυτικές, κατασταλτικές και αναλγητικές είναι οι πιο γνωστές βιολογικές δραστηριότητες και εφαρμογές του αιθέριου ελαίου της λεβάντας. Αυτές οι δραστηριότητες εξετάστηκαν με αρκετές μελέτες, συμπεριλαμβανομένων, τόσο των *in vitro* και *in vivo* μελετών όσο και των κλινικών δοκιμών, για τη διαχείριση και θεραπεία συμπτωμάτων και ασθενειών (Salehi et al., 2018).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων (ΙΓΒ&ΦΠ) του ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ στη Θεσσαλονίκη και σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

2.1 Φυτικό υλικό

Για την εγκατάσταση του πειράματος αναπτύχθηκαν κλωνικά φυτά λεβάντας του βοτανικού είδους *Lavandula angustifolia* ποικιλίας Hemus. Η ποικιλία επιλέχθηκε βάση της εξάπλωσης καλλιέργειάς της στην ευρύτερη περιοχή της Βορειοδυτικής Μακεδονίας και του ποιοτικά αποδεκτού αιθέριου ελαίου της από την βιομηχανία απόσταξης και εμπορίας αιθέριων ελαίων. Συνοπτικά, για την ανάπτυξη των κλωνικών φυτών, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- i. Μοσχεύματα βλαστικών κορυφών (ημι-ξυλοποιημένα) περίπου 10 εκατοστών αποκόπηκαν από μητρικά φυτά λεβάντας που διατηρούνται σε άριστη φυτοϋγειονομική κατάσταση από την εταιρεία “Gresense Essential Oils” το Φθινόπωρο του 2018.
- ii. Τα μοσχεύματα αφού μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο άμεσα, περιορίστηκε η φυλλική τους επιφάνεια (για να περιοριστεί η καταπόνηση λόγω διαπνοής και απώλειας υγρασίας από τον ιστό τους) και διαμορφώθηκαν σε τελικό μήκος περίπου 6 cm κόβοντας τη βάση εγκάρσια.
- iii. Αφού η βάση των μοσχευμάτων τραυματίστηκε με κάθετες τομές εκατέρωθεν του φλοιού, εμβαπτίστηκε σε ορμόνη ριζοβολίας 3-ινδολυλοβουτυρικό οξύ (IBA) συγκέντρωσης 1000 ppm και έπειτα τα μοσχεύματα βυθίστηκαν σε υπόστρωμα ριζοβολίας με τύρφη (Terrahum) σε δίσκους πολλαπλών θέσεων.
- iv. Οι δίσκοι τοποθετήθηκαν κάτω από πάγκο υδρονέφωσης σε θερμοκήπιο με μέση θερμοκρασία 20⁰C και αυξημένες συνθήκες υγρασίας του εδαφικού υποστρώματος και της ατμόσφαιρας.
- v. Όταν τα μοσχεύματα σχημάτισαν τις απαραίτητες ρίζες εξήχθησαν από τους δίσκους ανάπτυξης και εμβαπτίστηκε η βάση τους σε νερό, ώστε να απομακρυνθεί το εδαφικό υπόστρωμα. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίστηκε ότι οι ρίζες θα παραλάβουν μετέπειτα από αδρανές υπόστρωμα μόνο τα θρεπτικά συστατικά που

χορηγήθηκαν στην παρούσα εργασία και όχι επιπροσθέτως τα θρεπτικά συστατικά που περιέχει η τύρφη ριζοβολίας.

2.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Τα ριζοβολημένα μοσχεύματα λεβάντας χωρίστηκαν σε ομοιογενείς ομάδες των 12 φυτών και μεταφυτεύθηκαν σε πλαστικά φυτοδοχεία χωρητικότητας 6 L, που περιείχαν ως εδαφικό υπόστρωμα άμμο και περλίτη σε αναλογία 1:1. Για 15 ημέρες τα φυτά ποτίζονταν με νερό (βρύσης), ώστε να ξεπλυθεί το ριζικό σύστημα από τα θρεπτικά συστατικά της τύρφης (στην οποία αναπτύσσονταν κατά τη ριζοβολία τους). Στο πείραμα μελετήθηκαν συνολικά έξι χειρισμοί ανόργανης θρέψης στα φυτά της λεβάντας. Οι έξι ομάδες που εγκαταστάθηκαν σε περιβαλλοντικές συνθήκες αγρού δέχονταν τις εξής μεταχειρίσεις:

- 1) Μάρτυρας (σκέτο νερό).
- 2) 1 mM άζωτο (N).
- 3) 4 mM N.
- 4) 8 mM N.
- 5) 0 mM βόριο (B).
- 6) Συγκέντρωση B 2 x του Hoagland.

Κάθε χειρισμός περιελάμβανε 12 επαναλήψεις (12 ατομικά φυτά). Το άζωτο χορηγήθηκε αποκλειστικά σε νιτρική μορφή NO₃.

Στα φυτά χορηγούνταν 250 ml τροποποιημένου θρεπτικού διαλύματος Hoagland (Hoagland & Arnon, 1938) κάθε 2-3 ημέρες, ενώ κάθε δύο ποτίσματα με θρεπτικό διάλυμα διαδέχονταν ένα πότισμα με άφθονο νερό βρύσης (ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση αλάτων στο εδαφικό υπόστρωμα). Το πείραμα διήρκησε 110 ημέρες και τερματίστηκε κατά την ανθοφορία των σχηματισμένων ταξιανθιών. Κατά τη λήξη του πειράματος, συγκομίστηκαν τα ανθοφόρα στελέχη (βλαστός και ταξιανθία) των φυτών που βρίσκονταν στο στάδιο της πλήρους άνθησης, τα οποία ζυγίστηκαν και καταγράφηκε το ξηρό βάρος και το μήκος τους, ενώ μετά την αποξήρανσή τους προσδιορίστηκε το % περιεχόμενο σε αιθέριο έλαιο και η σύσταση αυτού. Επιπλέον ελήφθησαν δείγματα φύλλων για τον προσδιορισμό φυσιολογικών παραμέτρων (περιεχόμενο χλωροφύλλης και ολικών καροτενοειδών).



Εικόνα 8: Φυτοδοχεία 6 L με λεβάντα (*Lavandula angustifolia* var. *Hemus*) στο στάδιο πριν την πλήρη άνθηση στο Αγρόκτημα του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων (ΙΓΒ&ΦΠ) του ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ.



Εικόνα 9: *Lavandula angustifolia* var. *Hemus* στο στάδιο της άνθησης στο Αγρόκτημα του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων (ΙΓΒ&ΦΠ) του ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ

2.3 Ποσοτικός προσδιορισμός χλωροφύλλης και καροτενοειδών στα φύλλα

Για την εκχύλιση της χλωροφύλλης, 0.1g νωπού ιστού ανεπτυγμένων φύλλων, τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες των 15ml με 96% (v/v) αιθανόλη και επωάστηκαν σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 78°C, μέχρι τον πλήρη αποχρωματισμό των ιστών. Στη συνέχεια, οι δοκιμαστικοί σωλήνες ψύχθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου και ο όγκος του διαλύματος συμπληρώθηκε με αιθανόλη μέχρι τα 15 ml. Το εκχύλισμα διηθήθηκε σε Whatman No. 1 διηθητικό χαρτί και η απορρόφηση του διαλύματος μετρήθηκε σε τρία μήκη κύματος: 440, 649 και 665 nm σε σπεκτροφωτόμετρο (HITACHI, U-1900). Για κάθε χειρισμό πραγματοποιήθηκαν 6 εκχυλίσεις και μετρήσεις (n=6 επαναλήψεις).

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των φύλλων σε χλωροφύλλη (a+b) έγινε σύμφωνα με τους Wintermans και de Mots (1965) με τη χρήση της εξίσωσης:

$$Chl (a + b) (mg/g N.B) = (6.10 \times A_{665} + 20.04 \times A_{649}) \times 15 / 1000 / \text{νωπό βάρος}$$

Ενώ, το περιεχόμενο των καροτενοειδών στα φύλλα υπολογίστηκε με τη βοήθεια της εξίσωσης:

$$\text{Καροτενοειδή} (mg/g N.B) = (4.69 \times A_{440} - 1.96 \times A_{665} - 4.74 \times A_{649}) \times 15 / 1000 / \text{νωπό βάρος.}$$

2.4 Αιθέρια έλαια

2.4.1. Ποσοτικός προσδιορισμός του περιεχόμενου των ανθοφόρων στελεχών σε αιθέρια έλαια

Τα ανθοφόρα στελέχη των 12 φυτών κάθε ομάδας ενοποιήθηκαν τυχαία ανά 4 φυτά σε χάρτινη συσκευασία ώστε να προκύψει ομοιογενές δείγμα για τον απαιτούμενο αριθμό των επαναλήψεων (3 αποστάξεις ανά χειρισμό). Το περιεχόμενο των

ανθοφόρων στελεχών σε αιθέρια έλαια (ml/100 g ξηρού ιστού) προσδιορίστηκε με υδροαπόσταξη σε συσκευή τύπου Clevenger, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Φαρμακοποιίας. Ο ιστός υποβλήθηκε σε υδροαπόσταξη για 2 ώρες. Το περιεχόμενο αιθέριο έλαιο παραλαμβάνονταν σε γυάλινα φιαλίδια (1,5 ml), στα οποία προστίθεντο ελάχιστοι κόκκοι θεικού νατρίου (Na_2SO_4), για την απορρόφηση πιθανής υγρασίας από το έλαιο. Τα αιθέρια έλαια αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία 4-6 °C μέχρι την επιμέρους ανάλυσή τους. Για κάθε χειρισμό πραγματοποιήθηκαν 3 αποστάξεις (n=3 επαναλήψεις).

2.4.2 Ανάλυση αιθέρων ελαίων με Αέρια Χρωματογραφία - Φασματοσκοπία Μάζας (GC-MS).

Τα αιθέρια έλαια αναλύθηκαν σε Αέριο Χρωματογράφο, με ανιχνευτή Φασματογράφο Μάζας (GC 17A Ver.3 σε σύζευξη με Mass Spectrometer QP-5050A της εταιρείας Shimadzu, υποστηριζόμενο από το Class 5000 software). Οι αναλύσεις έγιναν σε στήλη fused silica DB-5, υπό τις εξής συνθήκες:

- Θερμοκρασία στο σημείο έγχυσης: 260 °C.
- Θερμοκρασία πηγής ιονισμού 200 °C.
- Θερμοκρασία σύνδεσης GC-MS: 300 °C.
- Τύπος ιονισμού EI (Electron Ionization): 70eV.
- Εύρος σάρωσης: 41 – 450 amu.
- Χρόνος σάρωσης 0,50 sec.

Εφαρμόστηκαν τα παρακάτω θερμοκρασιακά προγράμματα:

1. 55 – 120°C (3°C/min), 120 – 200°C (4°C/min), 200 – 220°C (6°C/min) και 220°C για 5 min.
2. 60 – 240°C με ρυθμό 3°C/min. Φέρον Αέριο He, 54,8 kPa, αναλογία εισαγομένου δείγματος 1:30.

Η επί τοις % περιεκτικότητα των συστατικών των αιθέριων ελαίων, προσδιορίστηκε μετά από 2 αναλύσεις εκάστου δείγματος αιθέριου ελαίου (2 τεχνικές επαναλήψεις), χωρίς τη χρήση παραγόντων διόρθωσης.

2.4.3 Ταυτοποίηση των συστατικών των αιθέριων ελαίων

Η ταυτοποίηση των συστατικών των ελαίων βασίστηκε στην σύγκριση των δεικτών Kovats τους σε σχέση με αυτούς γνωστών αλκανίων (standard n-alkanes) με αντίστοιχα δεδομένα της βιβλιογραφίας, καθώς επίσης και συγκρίνοντας τα φάσματα τους με αντίστοιχα των φασμάτων μάζας της MS (Adams, NIST 98, Willey, 1995) ή (Βιβλιοθήκες βάσεων δεδομένων Adams 2001, NIST 98 και Wiley 275).

2.5 Στατιστική Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA), με τη χρήση του στατιστικού πακέτου IBM SPSS 22. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η μέση τιμή που προέκυψε από τον αντίστοιχο αριθμό επαναλήψεων κάθε μέτρησης (n=12 για τις παραμέτρους ανάπτυξης, n=6 για την χλωροφύλλη και τα καροτενοειδή και n=3 για την απόδοση σε αιθέριο έλαιο και την ανάλυση αυτού). Για την σύγκριση των μέσων όρων και των προσδιορισμό στατιστικά σημαντικών διαφορών χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αποτελέσματα του ξηρού βάρους του ανθικού στελέχους ανά φυτό και του μέσου μήκους του ανθικού στελέχους υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο

Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος και την πλήρη άνθηση συλλέχθηκαν τα ανθοφόρα στελέχη των φυτών *Lavandula angustifolia* var. *Hemus* (βλαστός και ταξιανθία) τα οποία ζυγίστηκαν και καταγράφηκε το ξηρό βάρος και το μήκος τους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, μεταξύ των συγκεντρώσεων αζώτου (NO₃) που χορηγήθηκαν, τόσο στο ξηρό βάρος του ανθικού στελέχους ανά φυτό όσο και στο μήκος του ανθικού στελέχους, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$. Ειδικότερα, στους χειρισμούς των 1 mM, 4 mM και 8 mM N παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του μέσου ξηρού βάρους του ανθικού στελέχους/φυτό με τιμές 1,73, 3,14 και 3,30 gr, αντίστοιχα, και σημαντική αύξηση του μέσου μήκους του ανθικού στελέχους, με τιμές 8,38, 9,67 και 11,19 cm, αντίστοιχα, σε σύγκριση με το μάρτυρα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Η επίδραση της ανόργανης θρέψης με άζωτο (0, 1, 4 και 8 mM) και βόριο (0 και 2 x της συγκέντρωσης του Hoagland) στο ξηρό βάρος του παραγόμενου ανθικού στελέχους ανά φυτό λεβάντας και το μέσο μήκος του.

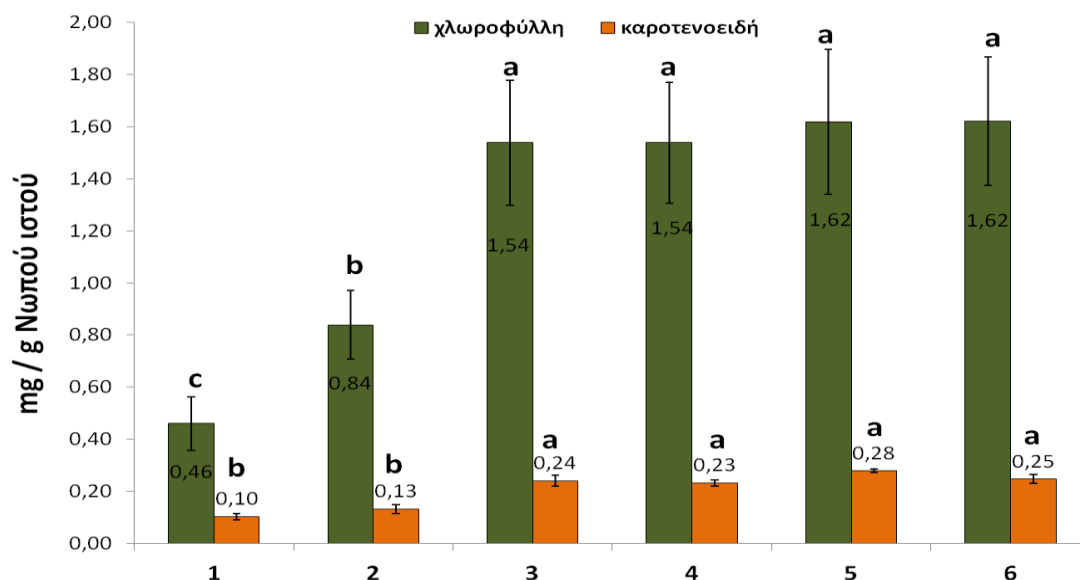
| Χειρισμός | Ξηρό βάρος ανθικού στελέχους / φυτό | | | Μέσο μήκος ανθικού στελέχους | | |
|---------------|-------------------------------------|---------------|---------|------------------------------|---------------|---------|
| | g* | τυπικό σφάλμα | Tukey** | cm* | τυπικό σφάλμα | Tukey** |
| Μάρτυρας | 1,19 | 0,17 | c | 8,05 | 0,52 | C |
| 1 mM N | 1,73 | 0,19 | bc | 8,38 | 8,38 | Bc |
| 4 mM N | 3,14 | 0,41 | ab | 9,67 | 9,67 | Abc |
| 8 mM N | 3,30 | 0,41 | a | 11,19 | 11,19 | A |
| 0 B | 3,37 | 0,48 | a | 10,54 | 10,54 | Abc |
| 2x B Hoagland | 4,15 | 0,44 | a | 10,83 | 10,83 | Ab |

*Στο πίνακα οι τιμές αποτελούν τον μέσο όρο 12 μετρήσεων \pm το τυπικό σφάλμα. **Διαφορετικά γράμματα μέσα στα κελιά υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$.

Σε αντίθεση με το άζωτο, οι χειρισμοί που αφορούσαν το βόριο δεν προκάλεσαν καμία σημαντική μεταβολή στο ξηρό βάρος του ανθικού στελέχους ανά φυτό, επηρέασαν ωστόσο σημαντικά το μέσο μήκος του ανθικού στελέχους, σε σχέση με τους μάρτυρες.

3.2 Αποτελέσματα της χλωροφύλλης και των καροτενοειδών στα φύλλα υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο

Τα αποτελέσματα της χλωροφύλλης και των ολικών καροτενοειδών που ελήφθησαν από τα δείγματα των φύλλων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$ (Γράφημα 1).



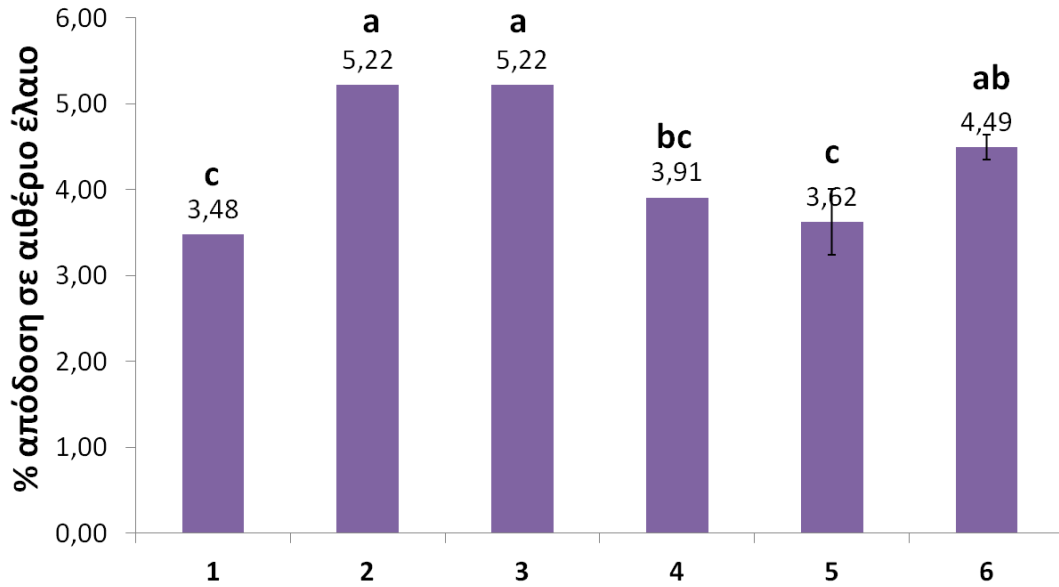
Γράφημα 1: Το περιεχόμενο (σε mg/g) της χλωροφύλλης και των καροτενοειδών του νωπού ιστού φύλλων των φυτών λεβάντας, υπό την επίδραση των χειρισμών : 1. νερό, 2. 1 mM N, 3. 4 mM N, 4. 8 mM N, 5. 0 mM B και 6. συγκέντρωση B 2 x του Hoagland. Οι τιμές που εμφανίζονται στις μπάρες αποτελούν τον μέσο όρο έξι μετρήσεων για κάθε χειρισμό \pm το τυπικό σφάλμα. Διαφορετικά γράμματα επάνω από τις μπάρες υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$.

Για τη χλωροφύλλη παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο για τις συγκεντρώσεις χορήγησης 1 mM και 4 mM N με αύξηση της συγκέντρωσής της κατά 0,84 και 1,54 mg/g νωπού ιστού, ενώ οι χειρισμοί που αφορούσαν το βόριο δεν επέφεραν καμία στατιστικά σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης.

Όσον αφορά τα ολικά καροτενοειδή καταγράφηκε σημαντική διαφορά στην ομάδα των 4 mM N, σε σχέση με τους μάρτυρες, με απόδοση 0,24 mg καροτενοειδών ανά γραμμάριο χλωρού ιστού, ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική μεταβολή στον αμέσως επόμενο χειρισμό των 8 mM N. Τέλος, στους χειρισμούς που αφορούσαν τις επεμβάσεις του βορίου δεν παρουσιάστηκε καμία σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση των ολικών καροτενοειδών.

3.3 Αποτελέσματα της απόδοσης του αιθέριου ελαίου υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο

Η απόδοση (%) του αιθέριου ελαίου των ανθοφόρων στελεχών των φυτών λεβάντας, που μελετήθηκαν υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο συγκέντρωσης 1 mM, παρουσίασε σημαντική αύξηση 5,22% και σημαντική μείωση στην υψηλότερη συγκέντρωση που δοκιμάστηκε στα 8 mM N, με 3,91% απόδοση. Η επέμβαση με 4 mM N δεν προκάλεσε κάποια σημαντική διαφορά. Σχετικά με την επίδραση της ανόργανης θρέψης με βόριο, η συγκέντρωση των 2xB Hoagland επέφερε σημαντική αύξηση της απόδοσης του αιθέριου ελαίου, που έφτασε στο 4,49% σε σύγκριση με το μάρτυρα (0 mM B), που η απόδοση του εκτιμήθηκε στο 3,62% (Γράφημα 2).



Γράφημα 2: Απόδοση (%) του αιθέριου ελαίου των ανθοφόρων στελεχών των φυτών λεβάντας, υπό την επίδραση των χειρισμών : 1) νερό, 2) 1 mM N, 3) 4 mM N, 4) 8 mM N, 5) 0 mM B και 6) συγκέντρωση B 2 x του Hoagland. Οι τιμές που εμφανίζονται στις μπάρες αποτελούν τον μέσο όρο τριών αποστάξεων για κάθε χειρισμό \pm το τυπικό σφάλμα. Διαφορετικά γράμματα επάνω από τις μπάρες υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$.

3.4 Αποτελέσματα ποσοτικού προσδιορισμού και ανάλυσης των αιθέριων ελαίων με GC-MS

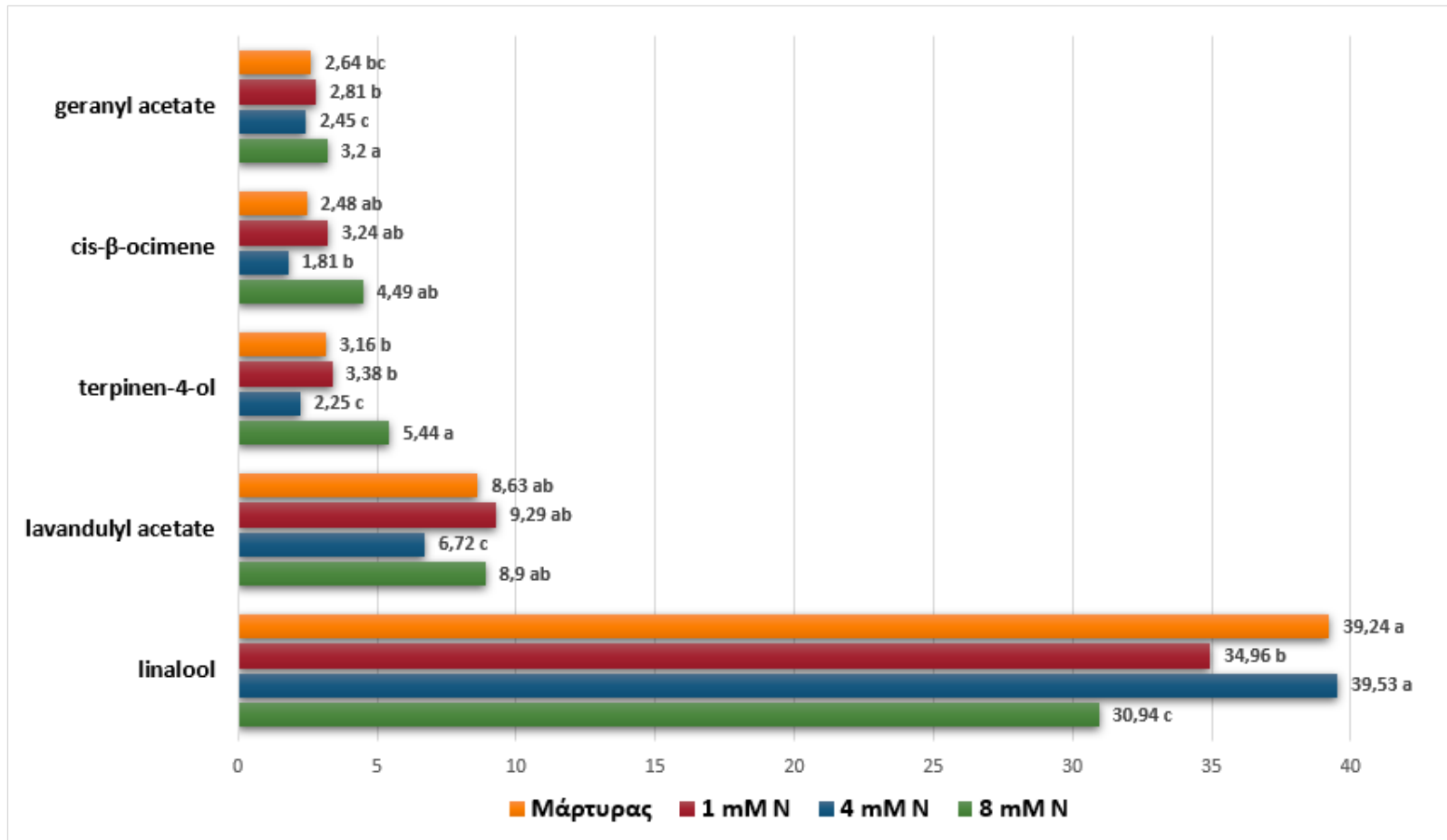
Τα αποτελέσματα από τον αέριο χρωματογράφο, με ανιχνευτή φασματογράφο μάζας (GC-MS), έδειξαν ένα σύνολο ταυτοποιημένων συστατικών που περιλαμβάνουν τις ενώσεις 3-οκτανόνη, β -μυρσένιο, οξικό n-εξύλιο, 1,8-κινεόλη, cis- β -οκιμένιο, trans- β -οκιμένιο, λιναλόλη, οξικός 1-οκτεν-3-υλ, κάμφορα, λαβανδουλόλη, βορνεόλη, τερπινέν-4-όλη, α -τερπινεόλη, οξικό λιναλύλιο (οξικός λιναλυλεστέρας), γερανιόλη, οξικό λαβανδουλύλιο (οξικός λαβαντουλυλεστέρας), οξικό νερύλιο, οξικό γερανύλιο, β -καρνοφυλλένιο, trans- β -φαρνεζίνη και το οξείδιο καρνοφυλλενίου (Πίνακας 2).

Στατιστικά σημαντικές μεταβολές μεταξύ των χειρισμών παρουσίασαν τα συστατικά cis- β -οκιμένιο, λιναλόλη, τερπινέν-4-όλη, οξικό λιναλύλιο, οξικό λαβανδουλύλιο και το οξικό γερανύλιο (Γραφήματα 3, 4).

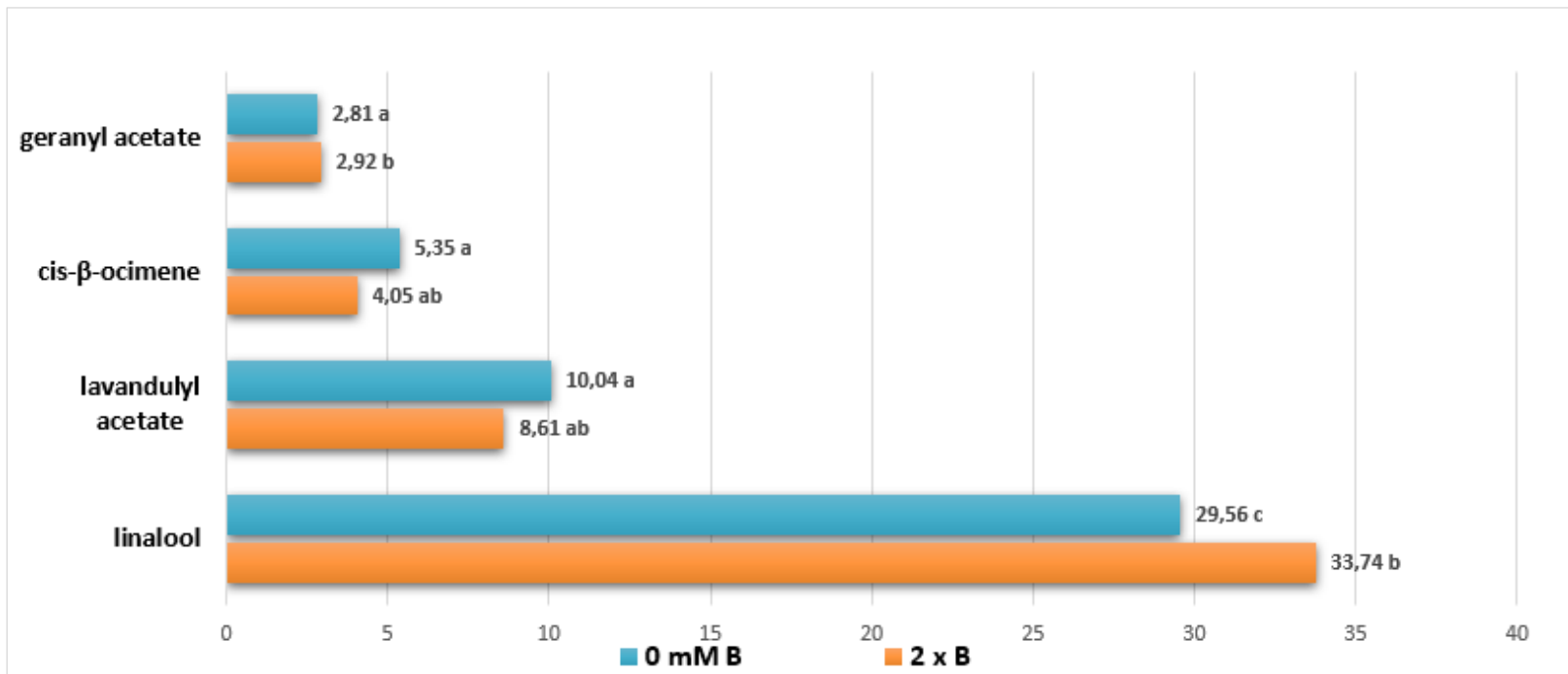
Πίνακας 2: Σύσταση του αιθέριου ελαίου φυτών λεβάντας υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο.

| Συστατικά | Μάρτυρας | | 1 mM N | | 4 mM N | | 8 mM N | | 0 mM B | | 2 x B | | | |
|---|----------|------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|------|
| | KI | KIL | % | Τυπικό σφάλμα | % | Τυπικό σφάλμα | % | Τυπικό σφάλμα | % | Τυπικό σφάλμα | % | Τυπικό σφάλμα | | |
| 1 3-octanone | 987 | 986 | δ.α | | δ.α | | 1,19 | 0,03 | 0,37 | 0,01 | 0,31 | 0,02 | 0,44 | 0,01 |
| 2 β-myrcene | 989 | 991 | 1,47 | 0,01 | 1,7 | 0,05 | 1,53 | 0,02 | 1,62 | 0,06 | 1,56 | 0,19 | 1,61 | 0,02 |
| 3 n-hexyl acetate | 1015 | 1008 | 0,73 | 0,01 | 0,84 | 0,02 | 1,46 | 0,03 | 0,73 | 0,01 | 0,57 | 0,01 | 0,65 | 0,01 |
| 4 1,8-cineol | 1034 | 1033 | 0,9 | 0,05 | 0,86 | 0,03 | 1,66 | 0,09 | 0,68 | 0,02 | 1,09 | 0,06 | 0,78 | 0,02 |
| 5 cis-β-ocimene | 1039 | 1040 | 2,48 ab | 0,11 | 3,24 ab | 0,2 | 1,81 b | 0,07 | 4,49 ab | 0,14 | 5,35 a | 1,53 | 4,05 ab | 0,04 |
| 6 trans-β-ocimene | 1049 | 1050 | 2,51 a | 0,04 | 2,55 a | 0,06 | 2,2 a | 0,03 | 1,94 a | 0,06 | 2,1 a | 0,5 | 1,77 a | 0,04 |
| 7 linalool | 1106 | 1098 | 39,24 a | 0,58 | 34,96 b | 0,31 | 39,53 a | 0,43 | 30,94 c | 0,24 | 29,56 c | 0,3 | 33,74 b | 0,8 |
| 8 1-octen-3-yl acetate | 1113 | 1110 | 0,76 | 0,01 | 0,84 | 0,03 | 0,7 | 0,02 | 1,5 | 0,01 | 1,44 | 0,09 | 1,59 | 0,02 |
| 9 camphor | 1151 | 1143 | 0,43 | 0,01 | 0,17 | 0 | 0,2 | 0,02 | 0,2 | 0 | 0,28 | 0,02 | 0,19 | 0 |
| 10 lavandulol | 1169 | 1166 | 1,09 | 0,02 | 1,01 | 0,03 | 0,91 | 0,02 | 0,33 | 0,02 | 0,37 | 0,01 | 0,4 | 0,01 |
| 11 borneol | 1175 | 1165 | 1,69 | 0,03 | 0,69 | 0,04 | 0,63 | 0,06 | 0,5 | 0,01 | 0,78 | 0,08 | 0,53 | 0,01 |
| 12 terpinen-4-ol | 1183 | 1177 | 3,16 b | 0,09 | 3,38 b | 0,17 | 2,25 c | 0,1 | 5,44 a | 0,04 | 5,42 a | 0,36 | 5,83 a | 0,1 |
| 13 α-terpineol | 1198 | 1189 | 4,16 a | 0,06 | 4,37 a | 0,06 | 4,55 a | 0,05 | 4,58 a | 0,06 | 4,12 a | 0,18 | 4,59 a | 0,14 |
| 14 linalyl acetate | 1257 | 1257 | 17,64 a | 0,16 | 18,99 a | 0,23 | 18,88 a | 0,09 | 21,04 a | 0,22 | 20,38 a | 1,59 | 19,29 a | 0,73 |
| 15 geraniol | 1259 | 1255 | 1,83 | 0,03 | 1,91 | 0,03 | 1,74 | 0,05 | 2,19 | 0,04 | 1,96 | 0,08 | 2,05 | 0,08 |
| 16 lavandulyl acetate | 1290 | 1289 | 8,63 ab | 0,08 | 9,29 ab | 0,12 | 6,72 c | 0,03 | 8,9 ab | 0,06 | 10,04 a | 0,35 | 8,61 ab | 0,17 |
| 17 neryl acetate | 1370 | 1365 | 1,28 | 0,03 | 1,41 | 0,02 | 1,23 | 0,02 | 1,57 | 0,03 | 1,39 | 0,07 | 1,43 | 0,02 |
| 18 geranyl acetate | 1388 | 1383 | 2,64 bc | 0,06 | 2,81 b | 0,04 | 2,45 c | 0,03 | 3,2 a | 0,07 | 2,81 b | 0,14 | 2,92 ab | 0,04 |
| 19 β-caryophyllene | 1417 | 1418 | 1,61 | 0,02 | 1,79 | 0,01 | 1,48 | 0,03 | 1,32 | 0,05 | 1,42 | 0,15 | 1,18 | 0,01 |
| 20 trans-β-farnesene | 1460 | 1458 | 1,49 | 0,05 | 1,9 | 0,11 | 2,29 | 0,11 | 0,96 | 0,16 | 1,04 | 0,11 | 0,67 | 0,02 |
| 21 caryophyllene oxide | 1586 | 1581 | 0,6 | 0,01 | 0,93 | 0,04 | 0,53 | 0,06 | 2,09 | 0,09 | 2,06 | 0,57 | 1,95 | 0,05 |
| Σύνολο ταυτοποιημένων συστατικών | | | 94,31 | | 93,62 | | 93,92 | | 94,58 | | 94,05 | | 94,24 | |

*Στον πίνακα οι τιμές αποτελούν τον μέσο όρο 3 μετρήσεων ± το τυπικό σφάλμα. **Διαφορετικά γράμματα μέσα στα κελιά υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$. Οι σημαντικές διαφορές αναλύθηκαν στατιστικά για συστατικά με % συγκέντρωση > 2%.



Γράφημα 3: Στατιστικά σημαντικές διαφορές των συστατικών του αιθέριου ελαίου των φυτών λεβάντας υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο. Στατιστικά σημαντικές διαφορές των συστατικών με % συγκέντρωση > 2%. Στο γράφημα οι τιμές αποτελούν τον μέσο όρο 3 μετρήσεων ± το τυπικό σφάλμα και τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$.



Γράφημα 4: Στατιστικά σημαντικές διαφορές των συστατικών του αιθέριου ελαίου των φυτών λεβάντας υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με βόριο. Στατιστικά σημαντικές διαφορές των συστατικών με % συγκέντρωση > 2%. Στο γράφημα οι τιμές αποτελούν τον μέσο όρο 3 μετρήσεων ± το τυπικό σφάλμα και τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 2 και το Γράφημα 3, η επίδραση της ανόργανης θρέψης με άζωτο στα συστατικά του αιθέριου ελαίου αφορά τις ενώσεις οξικό γερανύλιο, cis-β-οκιμένιο, τερπινέν-4-όλη και οξικό λαβανδουλύλιο, οι οποίες παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο χειρισμό των 4 mM N, σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Αναλυτικά, παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης τους στο χειρισμό των 4 mM N, με τιμές 2,45, 1,81, 2,25 και 6,72%, αντίστοιχα, και σημαντική αύξησή τους στο χειρισμό των 8 mM N, με τιμές 3,2, 4,49, 5,44 και 8,9%, αντίστοιχα.

Η λιναλόλη, που αποτελεί και το κύριο συστατικό του αιθέριου ελαίου, παρουσίασε σημαντική μείωση στη συγκέντρωσή της στο χειρισμό του 1 mM N με τιμή 34,96% (σε σύγκριση με το μάρτυρα που εκτιμήθηκε στο 39,24%), σημαντική αύξηση στο 39,53%, σε σύγκριση με το μάρτυρα, για τον χειρισμό των 4 mM N, ενώ παρουσίασε σημαντική μείωση στο χειρισμό των 8 mM N, στο 30,94%, σε σύγκριση με το μάρτυρα. Τα συστατικά trans-β-οκιμένιο, α-τερπινεόλη και οξικό λιναλύλιο ανιχνευτήκαν σε συγκεντρώσεις άνω του 2%, αλλά μεταξύ των χειρισμών ανόργανης θρέψης με άζωτο, δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Εξάλλου, σύμφωνα με τον Πίνακα 2 και το Γράφημα 4, η επίδραση της ανόργανης θρέψης με βόριο στα συστατικά του αιθέριου ελαίου εμφανίστηκε στις ενώσεις cis-β-οκιμένιο και οξικό λαβανδουλύλιο, οι οποίες παρουσίασαν σημαντική μείωση της συγκέντρωσής τους στο χειρισμό 2xB, σε σύγκριση με τον μάρτυρα και με τιμές 4,05 και 8,61, αντίστοιχα,. Αντιθέτως, τα συστατικά οξικό γερανύλιο και λιναλόλη παρουσίασαν σημαντική αύξηση της συγκέντρωσής τους στον χειρισμό 2xB, με τιμές 2,92 και 33,74%, αντίστοιχα. Ενώ τα συστατικά trans-β-οκιμένιο, τερπινέν-4-όλη, α-τερπινεόλη και οξικό λιναλύλιο δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές στον χειρισμό ανόργανης θρέψης με βόριο.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Παρόλο που η σύνθεση των αιθέριων ελαίων καθορίζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες (όπως η θερμοκρασία, η διάρκεια της ημέρας κ.α.) και τις καλλιεργητικές πρακτικές που έχουν εφαρμοστεί (για παράδειγμα την άρδευση, τη λίπανση κ.α.), συμμετέχει και ο γονότυπος του εκάστοτε είδους λεβάντας επηρεάζοντας τη σύνθεση των ελαίων που παράγεται από το φυτό (Kokkini et al., 1997, Boira & Blanquer 1998).

Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 υποστηρίζουν την υπόθεση ότι η ανάπτυξη των φυτών επηρεάζεται από τα διαφορετικά επίπεδα αζώτου. Αναλυτικά, στους χειρισμούς των 1, 4 και 8 mM N παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του μέσου ξηρού βάρους του ανθικού στελέχους/φυτό και σημαντική αύξηση του μέσου μήκους του ανθικού στελέχους, σε σύγκριση με το μάρτυρα. Τόσο η μελέτη των Biesiada et al. (2008) όσο και των Yasemin et al. (2017) συμφωνούν με τα αποτελέσματα της έρευνάς μας στην επίδραση της ανόργανης θρέψης με άζωτο στις φυσιολογικές παραμέτρους των φυτών.

Στην έρευνα της Yasemin και των συνεργατών της (2017) προσδιορίστηκε ότι το υψηλότερο πάχος του στελέχους και της ρίζας που μετρήθηκε, καθώς επίσης και η συνολική χλωρή βιομάζα των φυτών καταγράφηκε στους χειρισμούς των 100 mg/L έως και 200 mg/L N. Από την άλλη πλευρά, παρατηρήθηκαν δυσμενείς επιπτώσεις στο μήκος της ρίζας, στο πάχος του στελέχους και της ρίζας, στη χλωρή βιομάζα του βλαστού και στο συνολικό φυτό στις υψηλές επεμβάσεις με 400 και 800 mg/l N. Ωστόσο, σε αντίθεση με τη δική μας έρευνα, οι ερευνητές Yasemin et al. (2017) τονίζουν ότι οι συγκεντρώσεις αζώτου που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνά τους δεν επέδρασαν στο ύψος του στελέχους και στις τιμές ξηρής βιομάζας των φυτών.

Ομοίως, η έρευνα του Χρυσσαργύρη και των συνεργατών του (2016) έδειξε ότι το άζωτο δεν είχε έντονη επίδραση στις παραμέτρους που σχετίζονται με την ανάπτυξη των φυτών λεβάντας (*Lavandula angustifolia*). Συγκεκριμένα, τα διαφορετικά επίπεδα αζώτου που χορηγήθηκαν (από 150 έως 250 mg/l N) δεν είχαν έντονη επίδραση στις μορφολογικές παραμέτρους που σχετίζονται με την ανάπτυξη του φυτού, όπως το ύψος του φυτού, το μήκος των φύλλων, το πάχος του στελέχους, το μήκος ρίζας, το χλωρό και ξηρό βάρος των φυτών (Chrysargyris et al., 2016). Στην έρευνα των Biesiada et al. (2008), τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η βλαστική ανάπτυξη της *Lavandula angustifolia* σε πειράματα αγρού ενισχύεται από επεμβάσεις αζώτου από 50 έως 200

kg N/ha, ενώ διαφαίνεται ότι την πιο κατάλληλη εφαρμογή αζώτου αποτελούν οι μέσες συγκεντρώσεις που εξετάστηκαν, στο επίπεδο των 100 kg N/ha.

Παρόμοια αποτελέσματα με την έρευνά μας έδειξαν και έρευνες σε άλλα αρωματικά φυτά, όπως η μελέτη των Barreyro και Ringuelet (2005), στην οποία η εφαρμογή αζώτου αύξησε την απόδοση ρίγανης (*Origanum x applii*), αλλά δεν είχε καμία επίδραση στην τελική ποιότητα του προϊόντος. Παράλληλα, στην έρευνα των Ozguven et al. (2006), η υψηλότερη απόδοση της ρίγανης επιτυγχάνεται στη συγκέντρωση των 40 kg N/ha, ενώ η υψηλότερη περιεκτικότητα σε αιθέριο έλαιο μπορεί να επιτευχθεί στα 60 kg N/ha.

Επιπλέον, οι Jacimovic et al. (2010) δεν βρήκαν καμία επίδραση της αύξησης της συγκέντρωσης του αζώτου στο βλαστό και στην ξηρή μάζα των φύλλων του βασιλικού (*Ocimum basilicum L*), ενώ αντιθέτως, οι El Gendy et al. (2015) αναφέρουν ότι παρατηρήθηκε υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων του αζώτου και της φυτικής βιομάζας του ανθρίσκου (*Anthriscus cerefolium*).

Είναι ευρέως γνωστό ότι η πρόσληψη και η κατανομή του αζώτου στα φυτά επηρεάζουν πολλές πτυχές της ανάπτυξης, των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της φυσιολογίας του φυτού. Η εφαρμογή αζώτου έχει μεγάλη επίδραση στη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών, όπως στην ανάπτυξη των φύλλων, τη βιοσύνθεση των φωτοσυνθετικών πρωτεϊνών και την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (Bojovic & Markovic, 2009). Στην παρούσα μελέτη, στα φυτά λεβάντας παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο για τις συγκεντρώσεις χορήγησης αζώτου 1 mM και 4 mM, με αύξηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης κατά 0,84 και 1,54 mg/g νωπού ιστού. Όσον αφορά τα ολικά καροτενοειδή καταγράφηκε σημαντική διαφορά στην ομάδα των φυτών που τους χορηγήθηκε η συγκέντρωση των 4 mM N, με απόδοση 0,24 mg καροτενοειδών ανά γραμμάριο χλωρού ιστού και καμία σημαντική μεταβολή στην αμέσως επόμενη ομάδα επέμβασης των 8 mM N.

Τα αποτελέσματα της έρευνάς μας συμφωνούν με την μελέτη της Biesiada και των συνεργατών της (2008), στην οποία η συγκέντρωση του αζώτου που χορηγήθηκε είχε σημαντική επίδραση στη φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων και των ταξιανθιών της λεβάντας. Το επίπεδο χλωροφύλλης (a+b) στα φύλλα αυξήθηκε από 4,36 σε 5,48 mg/g για τις συγκεντρώσεις αζώτου 50 και 200 kg N/ha, αντίστοιχα, αλλά στις ταξιανθίες δεν παρατηρήθηκε η θετική επίδραση των αυξημένων συγκεντρώσεων του αζώτου. Τα αποτελέσματα της μελέτης των Biesiada et al. (2008) έδειξαν, επίσης ότι η βαριά λίπανση με άζωτο μείωσε τη συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων στα

άνθη της λεβάντας και την αυξημένη περιεκτικότητα σε ολικά καροτενοειδή και φαινολικά στα φύλλα.

Εξάλλου, στην έρευνα του Χρυσαργύρη και των συνεργατών του (2016), η χαμηλή συγκέντρωση N (150 mg/l N) μείωσε την περιεκτικότητα των φυτών λεβάντας σε χλωροφύλλη (Chl a, Chl b και ολική Chl), ενώ η υψηλότερη συγκέντρωση αζώτου δεν επηρέασε την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη. Έτσι, η χορήγηση αζώτου σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 175 mg/L δεν επέδρασε στην περιεκτικότητα των φυτών λεβάντας σε χλωροφύλλη. (Chrysargyris et al., 2016).

Το βόριο θεωρείται απαραίτητο μικροθρεπτικό συστατικό για την φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών (Emebiri et al., 2009), κατανέμεται άνισα εντός των φυτών, και βρίσκεται σε υψηλότερη συγκέντρωση στους ιστούς των αναπαραγωγικών οργάνων (Saleem et al., 2011). Ωστόσο, το εύρος της συγκέντρωσης του βορίου που απαιτείται για τη βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών είναι πολύ στενό (Bingham et al., 1987, Moore, 2004). Τόσο η τροφοπενία όσο και η τοξικότητα του βορίου μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές διαταραχές στα φυτά μειώνοντας την απόδοση και την ποιότητα των συγκομιδών (Princi et al., 2016).

Στην έρευνά μας, σε αντίθεση με το άζωτο, ο χειρισμός που περιλάμβανε το βόριο δεν προκάλεσε καμία σημαντική μεταβολή όσον αφορά το ξηρό βάρος του ανθικού στελέχους ανά φυτό, αλλά επέφερε σημαντική διαφορά στο μέσο μήκος του ανθικού στελέχους, από 10,54 cm σε 10,83 cm, με τον χειρισμό 2xB Hoagland. Επίσης, στο χειρισμό του βορίου δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης και των ολικών καροτενοειδών.

Οι διατροφικές απαιτήσεις σε βόριο ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ διαφορετικών καλλιεργειών. Στην πρόσφατη έρευνα της Choudhary και των συνεργατών της (2020) μελετήθηκαν τα αποτελέσματα των υψηλών συγκεντρώσεων βορίου (2,5, 5, 10, 20 και 30 mg/kg) σε δύο είδη που φέρουν αιθέρια έλαια, την *Mentha arvensis* και το *Cymbopogon flexuosus* (λεμονόχορτο), φυτά με γνωστές αρωματικές και φαρμακευτικές ιδιότητες. Οι μετρήσεις στη μορφολογία των φυτών έδειξαν ότι, όταν τα είδη *Mentha arvensis* και *Cymbopogon flexuosus* αναπτύσσονται υπό υψηλές συγκεντρώσεις βορίου παρουσιάζουν αξιοσημείωτη μείωση των παραμέτρων ανάπτυξης. Τα μήκη του βλαστού και της ρίζας και των δύο ειδών μειώνονται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του εφαρμοζόμενου βορίου, ενώ η υψηλότερη συγκέντρωση, δηλαδή των 30 mg/kg B, βρέθηκε ότι είναι η πιο επιζήμια και επιφέρει τη μέγιστη μείωση στο ρυθμό ανάπτυξης των φυτών (Choudhary et al., 2020).

Ωστόσο, η αναστολή της ανάπτυξης των βλαστών, των ριζών και των διαφόρων μορφολογικών παραμέτρων κάτω από υψηλές συγκεντρώσεις βορίου έχει επισημανθεί σε πολλές αρωματικές και μη αρωματικές καλλιέργειες, όπως στην έρευνα του Cervilla et al. (2007) στην τομάτα, του Aftab et al. (2012) στην αρτεμισία, του Ucar et al. (2018) στη στέβια και στην έρευνα του Gunes et al. (2006) στο αμπέλι. Στον αντίποδα, οι Mukhopadhyay και συν. (2013), ασχολήθηκαν με τη μελέτη της τροφοπενίας του βορίου σε μικρά φυτά τσαγιού (*Camellia sinensis*) και απέδειξαν ότι τα φυτά με χειρισμούς 2,5 και 5 μM B αναπτύσσουν νέους βλαστούς και οφθαλμούς, ενώ δεν παρατηρήθηκε κάποια μορφή δυσπλασίας ή ατροφίας. Ωστόσο, στους χειρισμούς με απουσία βορίου (0 μM B) καθυστερεί η συνολική ανάπτυξη και μεταβάλλεται η φυσιολογία των νεαρών φυτών. Οι οφθαλμοί καθίστανται ατροφικοί, παραμορφωμένοι, ζαρωμένοι και αργότερα χρωματίζονται μαύροι. Τα νεαρά φύλλα εμφανίζονται ελαφρώς χλωρωτικά, με την ανάπτυξη λίγων μαύρων στρογγυλών νεκρωτικών κηλίδων στην επιφάνειά τους (Mukhopadhyay et al., 2013).

Επιπλέον, η συνολική περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μειώνεται σημαντικά, κατά 36,9% στο *M. arvensis* και 33,4% στο *C. fexuosus* και η συνολική περιεκτικότητα σε καροτενοειδή αναστέλλεται κατά 22,4% στο *M. arvensis* και 23,9% στο *C. Fexuosus*, στα φύλλα των φυτών, σε σύγκριση με το μάρτυρα στον χειρισμό των 30 mg/kg B (Choudhary et al. (2020).

Οι καταπονήσεις που οφείλονται στο βόριο έχουν αντιμιτωτική και μιτοανασταλτική επίδραση στις παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών (Princi et al., 2016, Choudhary et al., 2020). Στην έρευνα μας δεν παρατηρήθηκαν ενδείξεις ούτε τοξικότητας ούτε τροφοπενίας βορίου. Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές στα επίπεδα της χλωροφύλλης και των καροτενοειδών στα φυτά λεβάντας, αποδεικνύοντας ότι η 2 x B Hoagland επέμβαση δεν προκάλεσε επιζήμιες βιοχημικές μεταβολές στα φυτά, επέφερε όμως στατιστικά σημαντική αύξηση του μέσου μήκους του ανθικού στελέχους.

Η παραγωγή αιθέριου ελαίου στα αρωματικά φυτά μπορεί να επηρεαστεί θετικά ή αρνητικά από τον τύπο και την ποσότητα των λιπασμάτων που έχουν χορηγηθεί (Fonseca et al., 2006; Ramezani et al., 2009). Στην παρούσα μελέτη, η απόδοση αιθέριου ελαίου των ανθοφόρων στελεχών των φυτών λεβάντας παρουσίασε σημαντική αύξηση 5,22% στην επέμβαση με 1 mM N και σημαντική μείωση 3,91% στην επέμβαση με 8 mM N. Σχετικά με την επίδραση του βορίου, ο χειρισμός 2x B Hoagland προκάλεσε σημαντική αύξηση της απόδοσης του αιθέριου ελαίου στο 4,49%,

σε σύγκριση με το μάρτυρα (0 mM B), που η απόδοση του εκτιμήθηκε στο 3,62% (Γράφημα 2).

Σε αντίθεση με τα παραπάνω αποτελέσματα, η έρευνα των Χρυσσαργύρη και συν. (2016) έδειξε ότι η αύξηση των επιπέδων του άζωτου δεν επηρέασε την παραγωγή των αιθέριων ελαίων, ενώ οι Arabaci & Bayram (2004) αναφέρουν ότι η υψηλότερη αναλογία αιθέριου ελαίου λαμβάνεται υπό συνθήκες απουσίας αζωτούχου λίπανσης, με πυκνότητα φυτών 20x20 cm στην καλλιέργεια του βασιλικού (*Ocimum basilicum* L.). Επίσης, οι Οικονομάκης και συν. (1999), στην έρευνά τους στην αυτοφυή και υδροπονική ρίγανη (*Origanum dictamnus*), έδειξαν ότι η επέμβαση με άζωτο δεν είχε καμία επίδραση στην περιεκτικότητα σε αιθέριο έλαιο. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές μελέτες που συμφωνούν με τα αποτελέσματα της έρευνάς μας, στις οποίες η εφαρμογή της αζωτούχου λίπανσης συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση της απόδοσης αιθέριου ελαίου στο γλυκό βασιλικό (Kandil et al. 2009, Nurzyeska-Wierdak & Borowski 2011), στη ρίγανη (Azizi et al. 2009) και στο χαμομήλι (Tamizkar & Khoshouei 2011).

Στην έρευνα των Sifola και Barbieri (2006), το άζωτο που εφαρμόστηκε σε υψηλές συγκεντρώσεις (100 και 300 kg/ha), αύξησε την απόδοση του αιθέριου ελαίου στο γλυκό βασιλικό, γεγονός που οφείλεται τόσο στην αύξηση της βιομάζας των φύλλων όσο και στην αύξηση της συγκέντρωσης του αιθέριου ελαίου στη βλάστηση. Ομοίως, οι Rao et al. (2007) έδειξαν ότι η χορήγηση αζώτου στον βασιλικό προκαλεί αύξηση της απόδοσης του αιθέριου ελαίου του. Επίσης, οι Zheljzakov et al. (2008) αναφέρουν ότι η μέγιστη απόδοση του αιθέριου ελαίου του βασιλικού επιτυγχάνεται όταν εφαρμόζονται 50-60 kg/ha N.

Συνεπώς, η εφαρμογή αζώτου παρουσιάζει αντικρουόμενα αποτελέσματα όσον αφορά την απόδοση της καλλιέργειας σε αιθέριο έλαιο, καθώς και τα συστατικά του. Σύμφωνα με αρκετές έρευνες οι αυξημένες τιμές της αζωτούχου λίπανσης που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών μπορούν να τροποποιήσουν τη χημική σύνθεση των αιθέριων ελαίων (Rao et al. 2007, Nurzynska-Wierdak & Borowski 2011, Sharma & Kumar 2012).

Στην έρευνά μας η επίδραση του αζώτου στα συστατικά του αιθέριου ελαίου παρατηρήθηκε στις ενώσεις οξικό γερανύλιο, cis-β-οκιμένιο, τερπινέν-4-όλη και οξικό λαβανδουλύλιο. Στο χειρισμό των 4 mM N όλες οι συγκεντρώσεις των παραπάνω ουσιών εμφάνισαν σημαντική μείωση, σε σύγκριση με την ομάδα των μαρτύρων (2,45, 1,81, 2,25 και 6,72%, αντίστοιχα) , ενώ αντίθετα, στο χειρισμό των 8 mM N παρουσίασαν σημαντική αύξηση (3,2, 4,49, 5,44 και 8,9%, αντίστοιχα). Η λιναλόλη,

που αποτελεί και το κύριο συστατικό του αιθέριου ελαίου, παρουσίασε τη μέγιστη τιμή (39,53%) στον χειρισμό των 4 mM N και μείωση της συγκέντρωσής της στο 30,94% στο χειρισμό των 8 mM N. Παράλληλα, η επίδραση της ανόργανης θρέψης με βόριο παρατηρήθηκε στις ενώσεις cis-β-οκιμένιο και οξικό λαβανδουλύλιο, οι οποίες παρουσίασαν σημαντική μείωση της συγκέντρωσής τους (4,05 και 8,61%) στο χειρισμό 2xB, σε σύγκριση με τον μάρτυρα, ενώ τα συστατικά οξικό γερανύλιο και λιναλόλη παρουσίασαν σημαντική αύξηση της συγκέντρωσής τους (2,92 και 33,74%, αντίστοιχα) στον χειρισμό 2xB.

Παράλληλα, στην έρευνα των Χρυσαργύρη και συν. (2016), στην οποία εξετάστηκαν οι επιδράσεις του αζώτου στο αιθέριο έλαιο της λεβάντας, η 1,8-κινεόλη έφτασε στο μέγιστο ποσοστό της (58,55%), ως αποτέλεσμα της εφαρμογής των 200 mg/L N, η καμφορά και η βορνεόλη, έφτασαν στις μεγαλύτερες τιμές (11,26% και 11,55%), στη συγκέντρωση των 150 mg/L N και τις χαμηλότερες τιμές (8,02% και 9,10%) στα 200 mg/L N, αντίστοιχα. Το υψηλότερο ποσοστό μυρτενίου παρατηρήθηκε στα 150 mg/L N, ενώ η χαμηλότερη τιμή παραλήφθηκε στα 250 mg/L N. Άλλα συστατικά, στα οποία παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές, ήταν η trans-πινοκαρβεόλη (1,15-1,51%), α-τερπινεόλη (2,16-3,32%) και α-βισαβολόλη (1,08-1,79%) (Chrysargyris et al., 2016). Σε αντίθεση με τη δική μας έρευνα, τα συστατικά λιναλόλη και τερπινέν-4-όλη δεν παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές, ενώ τα cis-β-οκιμένιο, οξικό λαβανδουλύλιο και οξικό γερανύλιο δεν ανιχνεύθηκαν (Chrysargyris et al., 2016).

Σε άλλες αρωματικές καλλιέργειες το άζωτο επηρέασε τόσο την αναλογία των συστατικών των αιθέριων ελαίων όσο και την ποσότητά τους. Για παράδειγμα, στον βασιλικό, οι Zheljzkon et al. (2008) αναφέρουν ότι το άζωτο τροποποιεί σημαντικά τα ποσοστά των συστατικών του αιθέριου ελαίου και ειδικότερα της λιναλοόλης, της ευγενόλης, του οξικού βορνυλίου και της ευκαλυπτόλης. Επιπλέον, οι Nurzynska-Wierdak και Borowski (2011), σε παρόμοια έρευνα στο βασιλικό, επισημαίνουν ότι η συγκέντρωση της λιναλοόλης και της ευγενόλης είναι υψηλότερη όταν εφαρμόζονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις αζώτου (0,2 g N/L), ενώ τα ποσοστά της ευκαλυπτόλης και του οξικού βορνυλίου είναι υψηλότερα στην εφαρμογή υψηλότερων συγκεντρώσεων αζώτου (0,6 g N/L).

Επίσης, στη σάλβια την ερυθρανθή (*Salvia sclarea*) ή φασκόμηλο, η εφαρμογή αζώτου τροποποιεί τη χημική σύνθεση του αιθέριου ελαίου και η μέση χορήγηση αζώτου (3gr N/φυτό) προκαλεί την υψηλότερη συγκέντρωση της λιναλοόλης, της

trans-γερανιόλης και του οξικού λιναινυλίου (Sharma & Kumar 2012). Ωστόσο, στην έρευνα των Kumar et al. (2009), η περιεκτικότητα της λιναλοόλης στο αιθέριο έλαιο της αρτεμισίας (*Artemisia pallens*) δεν διαφοροποιείται σημαντικά από την εφαρμογή αυξημένων συγκεντρώσεων άζωτου. Επιπλέον, οι Χατζοπούλου και συν., 2006 στην έρευνά τους στο μάραθο (*Foeniculum vulgare*), επισημαίνουν ότι όταν τα επίπεδα του άζωτου στο έδαφος είναι επαρκή, δεν απαιτείται επιπλέον άζωτο στην καλλιέργεια για την παραγωγή αιθέριων ελαίων.

Όσον αφορά την επίδραση του βορίου στην απόδοση και τη σύσταση των αιθέριων ελαίων των αρωματικών φυτών, δεν υπάρχουν αρκετές μελέτες που να επιβεβαιώνουν την θετική ή την αρνητική του επίδραση. Ωστόσο, ενδεικτική είναι η έρευνα του Karayel (2020), ο οποίος μελέτησε την επίδραση τριών επεμβάσεων [μάρτυρας, καθαρή δόση βορίου (0.2 g/ml καθαρό βόριο σε 8 λίτρα ανά 1000 m²) και 1/8 αραιωμένο βόριο] στην απόδοση και στην ποιότητα του αιθέριου ελαίου της *Salvia sclarea*. Το ποσοστό του αιθέριου ελαίου ανέρχεται στο 0,11% στα φυτά του μάρτυρα και στο 0,44% στον χειρισμό με την καθαρή δόση βορίου. Ωστόσο, στον αραιωμένο χειρισμό αναλογίας 1/8 βορίου το ποσοστό του αιθέριου ελαίου μειώνεται στο 0,23% (Karayel, 2020). Στα κύρια συστατικά του ελαίου παρατηρούνται διαφοροποιήσεις μεταξύ των τριών χειρισμών, όπου σε σύγκριση με το μάρτυρα, ο χειρισμός με την καθαρή δόση βορίου προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των συστατικών σπαθουλενόλη, οξειδίο του καρνοφυλλενίου και σκλαροοξειδίο. Αντίθετα, στον αραιωμένο χειρισμό αναλογίας 1/8 βορίου η συγκέντρωση τους μειώνεται. Ο Karayel (2020) επισημαίνει ότι η καθαρή δόση βορίου έχει θετική επίδραση στην απόδοση του αιθέριου ελαίου και στα συστατικά του *Salvia sclarea*.

Συνεπώς, οι διαφοροποιήσεις στην παραγωγή των αιθέριων ελαίων και στη σύνθεση τους, υπό την επίδραση της ανόργανης θρέψης με άζωτο ή βόριο, μπορούν να προκύψουν, τόσο από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες και τις καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόζονται όσο και από το γενετικό υπόβαθρο του κάθε είδους και τις δυνατότητες βιοσύνθεσης των δευτερογενών μεταβολιτών. Η περαιτέρω έρευνα θα μπορέσει να αποσαφηνίσει ποιες είναι οι καλύτερες αναλογίες και συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών που θα βελτιώσουν την σύνθεση και την απόδοση των αιθέριων ελαίων της λεβάντας και των υπολοίπων αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από αυτή τη μελέτη αποδείχθηκε ότι η ανόργανη θρέψη με άζωτο και βόριο έχει σημαντικές επιδράσεις στις αποδόσεις του ξηρού βάρους του ανθικού στελέχους ανά φυτό και του μέσου μήκους του ανθικού στελέχους.

Η ανόργανη θρέψη με άζωτο επέφερε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης και των καροτενοειδών στα φύλλα της λεβάντας. Οι εφαρμογές των 1 mM και 4 mM N επέφεραν σημαντική αύξηση στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης, ενώ τα ολικά καροτενοειδή παρουσίασαν σημαντική αύξηση μόνο στην εφαρμογή των 4 mM N. Τέλος, οι επεμβάσεις του βορίου δεν προκάλεσαν καμία σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης και των ολικών καροτενοειδών.

Οι αποδόσεις του αιθέριου ελαίου της λεβάντας αυξήθηκαν σημαντικά στον χειρισμό του 1 mM N, σε σύγκριση με τους μάρτυρες (5,22%), ενώ αντίθετα μειώθηκαν σημαντικά στον χειρισμό των 8 mM (3,91%). Σχετικά με την επίδραση της ανόργανης θρέψης με B η συγκέντρωση των 2xB Hoagland επέφερε σημαντική αύξηση της απόδοσης του αιθέριου ελαίου που έφτασε στο 4,49%, σε σύγκριση με το μάρτυρα, (3,62%).

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της GC-MS ανέδειξαν ένα σύνολο ταυτοποιημένων συστατικών, από τα οποία στατιστικά σημαντικές μεταβολές μεταξύ των χειρισμών παρουσίασαν τα συστατικά cis-β-οκιμένιο, λιναλόλη, τερπινέν-4-όλη, οξικό λαβανδουλύλιο και το οξικό γερανύλιο. Η επίδραση του αζώτου στα συστατικά του αιθέριου ελαίου παρατηρήθηκε στις ενώσεις οξικό γερανύλιο, cis-β-οκιμένιο, τερπινέν-4-όλη και οξικό λαβανδουλύλιο, οι οποίες παρουσίασαν μέγιστες τιμές στο χειρισμό των 8 mM N και χαμηλότερες τιμές στο χειρισμό των 4 mM N. Η λιναλόλη, που αποτελεί και το κύριο συστατικό του αιθέριου ελαίου, παρουσίασε τη μέγιστη τιμή (39,53%) στο χειρισμό των 4 mM N και μείωση στο 30,94% στο χειρισμό των 8 mM N. Αντίθετα, η επίδραση της ανόργανης θρέψης με βόριο παρατηρήθηκε στις ενώσεις cis-β-οκιμένιο και οξικό λαβανδουλύλιο, οι οποίες παρουσίασαν μείωση της συγκέντρωσής τους, ενώ τα συστατικά οξικό γερανύλιο και λιναλόλη εμφάνισαν αύξηση της συγκέντρωσής τους στο χειρισμό 2xB σε σύγκριση με τον μάρτυρα.

Αυτή είναι η πρώτη μελέτη που αποδεικνύει μια ισχυρή απόκριση της απόδοσης του αιθέριου ελαίου της λεβάντας στο βόριο και εκφράζει τον ποσοτικό προσδιορισμό των κύριων συστατικών αιθέριου ελαίου της λεβάντας (cis-β-οκιμένιο, οξικό

λαβανδουλύλιο, οξικό γερανύλιο και λιναλόλη) ως συνάρτηση της ανόργανης θρέψης με βόριο.

Τέλος, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση για να εξηγηθεί η ισχυρή επίδραση της ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο στην παραγωγικότητα των διαφόρων ειδών της λεβάντας, ενώ παράλληλα, θα πρέπει να μελετηθούν εκτενέστερα οι επιδράσεις υψηλότερων συγκεντρώσεων βορίου, καθώς και των περισσότερων ενδιάμεσων συγκεντρώσεων αζώτου στην καλλιέργεια της λεβάντας, για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του αιθέριου ελαίου και της σύνθεσής του.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aburjai**, T., Hudiab, M. and Cavrini, V., 2005. Chemical composition of the essential oil from different aerial parts of lavender (*Lavandula coronopofolia Poiert*) (Lamiaceae) grown in Jordan. *Journal of Essential Oil Research*, 17(1), pp.49-51.
- Aftab**, T., Khan, M.M.A., Naeem, M., Idrees, M., da Silva, J.A.T. and Ram, M., 2012. Exogenous nitric oxide donor protects *Artemisia annua* from oxidative stress generated by boron and aluminium toxicity. *Ecotoxicology and environmental safety*, 80, pp.60-68.
- Alatrache**, A., Jamoussi, B., Tarhouni, R. and Abdrabba, M., 2007. Analysis of the essential oil of *Lavandula latifolia* from Tunisia. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 10(6), pp.446-452.
- Al-Badani**, R.N., Da Silva, J.K.R., Setzer, W.N., Awadh Ali, N.A., Muharam, B.A. and Al-Fahad, A.J., 2017. Variations in essential oil compositions of *Lavandula pubescens* (Lamiaceae) aerial parts growing wild in Yemen. *Chemistry & biodiversity*, 14(3), p.e1600286.
- Andrys**, D., Kulpa, D., Grzeszczuk, M. and Bialecka, B., 2018. Influence of jasmonic acid on the growth and antimicrobial and antioxidant activities of *Lavandula angustifolia* Mill. propagated in vitro. *Folia Horticulturae*, 30(1), pp.3-13.
- Aprotosoai**, A.C., Gille, E., Trifan, A., Luca, V.S. and Miron, A., 2017. Essential oils of Lavandula genus: a systematic review of their chemistry. *Phytochemistry Reviews*, 16(4), pp.761-799.
- Aprotosoai**, A.C., Hancianu, M., Costache, I.I. and Miron, A., 2014. Linalool: a review on a key odorant molecule with valuable biological properties. *Flavour and fragrance journal*, 29(4), pp.193-219.
- Arabaci**, O. and Bayram, E., 2004. The effect of nitrogen fertilization and different plant densities on some agronomic and technologic characteristic of *Ocimum basilicum* L.(Basil). *Journal of Agronomy*, 3, pp. 255–262.
- Azizi**, A., Yan, F. and Honermeier, B., 2009. Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare* L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. *Industrial crops and products*, 29(2-3), pp.554-561.

- Barrero**, A.F., Herrador, M.M., Arteaga, P., Arteaga, J.F. and Burillo, J., 2008. Cultivars of *Lavandula lanata* Boiss., a good source of lavandulol. *Natural Product Communications*, 3(3), p.1934578X0800300314.
- Barreyro**, R. and Ringuélet, J., 2005. Nitrogen fertilization and yield in oregano (*Origanum xapplii*). *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 32(1), pp.34-38.
- Benabdelkader**, T., Zitouni, A., Guitton, Y., Jullien, F., Maitre, D., Casabianca, H., Legendre, L. and Kameli, A., 2011. Essential oils from wild populations of Algerian *Lavandula stoechas* L.: composition, chemical variability, and in vitro biological properties. *Chemistry & biodiversity*, 8(5), pp.937-953.
- Benabdelkader**, T., Zitouni, A., Guitton, Y., Jullien, F., Maitre, D., Casabianca, H., Legendre, L. and Kameli, A., 2011. Essential oils from wild populations of Algerian *Lavandula stoechas* L.: composition, chemical variability, and in vitro biological properties. *Chemistry & biodiversity*, 8(5), pp.937-953.
- Biesiada**, A. and Kucharska, A., 2008. The effect of nitrogen fertilization on yielding and antioxidant activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, (7) pp. 33–40.
- Biesiada**, A., Sokol-Letowska, A. and Kucharska, A., 2008. The effect of nitrogen fertilization on yielding and antioxidant activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus* 7, pp. 33–40.
- Binello**, A., Orio, L., Pignata, G., Nicola, S., Chemat, F. and Cravotto, G., 2014. Effect of microwaves on the in situ hydrodistillation of four different Lamiaceae. *Comptes Rendus Chimie*, 17(3), pp.181-186.
- Bingham**, F.T., Strong, J.E., Rhoades, J.D. and Keren, R., 1987. Effects of salinity and varying boron concentrations on boron uptake and growth of wheat. *Plant and Soil*, 97(3), pp.345-351.
- Boira**, H. and Blanquer, A., 1998. Environmental factors affecting chemical variability of essential oils in *Thymus piperella* L. *Biochemical systematics and Ecology*, 26(8), pp.811-822.
- Bojovic**, B. and Markovic, A., 2009. Correlation between nitrogen and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Kragujevac Journal of Science*, 31(5827), pp.69-74.

- Brown**, P.H., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F. and Römheld, V., 2002. Boron in plant biology. *Plant biology*, 4(02), pp.205-223.
- Carrasco**, A., Ortiz-Ruiz, V., Martinez-Gutierrez, R., Tomas, V. and Tudela, J., 2015. *Lavandula stoechas* essential oil from Spain: Aromatic profile determined by gas chromatography–mass spectrometry, antioxidant and lipoxygenase inhibitory bioactivities. *Industrial crops and products*, 73, pp.16-27.
- Carrasco**, A., Tomas, V., Tudela, J. and Miguel, M.G., 2016. Comparative study of GC-MS characterization, antioxidant activity and hyaluronidase inhibition of different species of *Lavandula* and *Thymus* essential oils. *Flavour and fragrance journal*, 31(1), pp.57-69.
- Cervilla**, L.M., Blasco, B., Ríos, J.J., Romero, L. and Ruiz, J.M., 2007. Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. *Annals of Botany*, 100(4), pp.747-756.
- Chatzopoulou**, P.S., Koutsos, T.V. and Katsiotis, S.T., 2006. Study of nitrogen fertilization rate on fennel cultivars for essential oil yield and composition. *Journal of vegetable science*, 12(2), pp.85-93.
- Choudhary**, S., Zehra, A., Naeem, M., Khan, M.M.A. and Aftab, T., 2020. Effects of boron toxicity on growth, oxidative damage, antioxidant enzymes and essential oil fingerprinting in *Mentha arvensis* and *Cymbopogon flexuosus*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(1), pp.1-11.
- Chrysargyris**, A., Drouza, C. and Tzortzakis, N., 2017. Optimization of potassium fertilization/nutrition for growth, physiological development, essential oil composition and antioxidant activity of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(2), pp.291-306.
- Chrysargyris**, A., Panayiotou, C. and Tzortzakis, N., 2016. Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83, pp.577-586.
- Da Porto**, C., Decorti, D. and Kikic, I., 2009. Flavour compounds of *Lavandula angustifolia* L. to use in food manufacturing: Comparison of three different extraction methods. *Food Chemistry*, 112(4), pp.1072-1078.
- Danh**, L.T., Triet, N.D.A., Zhao, J., Mammucari, R. and Foster, N., 2013. Comparison of chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of lavender

- (*Lavandula angustifolia* L.) essential oils extracted by supercritical CO₂, hexane and hydrodistillation. *Food and bioprocess technology*, 6(12), pp.3481-3489.
- Duskova**, E., Dusek, K., Indrak, P. and Smekalova, K., 2016. Postharvest changes in essential oil content and quality of lavender flowers. *Industrial Crops and Products*, 79, pp.225-231.
- Economakis**, C., Demetzos, C., Anastassaki, T., Papazoglou, V., Gazouli, M., Loukis, A., Thanos, C.A. and Harvala, C., 1999. Volatile constituents of bracts and leaves of wild and cultivated *Origanum dictamnus*. *Planta medica*, 65(02), pp.189-191.
- El Gendy**, A.G., El Gohary, A.E., Omer, E.A., Hendawy, S.F., Hussein, M.S., Petrova, V. and Stancheva, I., 2015. Effect of nitrogen and potassium fertilizer on herbage and oil yield of chervil plant (*Anthriscus cerefolium* L.). *Industrial Crops and Products*, 69, pp.167-174.
- Emebiri**, L.C., Michael, P. and Moody, D.B., 2009. Enhanced tolerance to boron toxicity in two-rowed barley by marker-assisted introgression of favourable alleles derived from Sahara 3771. *Plant and Soil*, 314(1-2), p.77.
- Ernst**, M., 2017. Lavender. *Lavender, Center for Crop Diversification, University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment, Lexington, KY. Google Scholar*.
- Geisel**, P.M., Unruh, C.L. and Lawson, P.M., 2004. *Lavenders for California gardens*. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California Publication.
- Giray**, E.S., Kırıcı, S., Kaya, D.A., Türk, M., Sonmez, O. and Inan, M., 2008. Comparing the effect of sub-critical water extraction with conventional extraction methods on the chemical composition of *Lavandula stoechas*. *Talanta*, 74(4), pp.930-935.
- Goncalves**, S. and Romano, A., 2013. In vitro culture of lavenders (*Lavandula* spp.) and the production of secondary metabolites. *Biotechnology advances*, 31(2), pp.166-174.
- Gonzalez-Rivera**, J., Duce, C., Falconieri, D., Ferrari, C., Ghezzi, L., Piras, A. and Tine, M.R., 2016. Coaxial microwave assisted hydrodistillation of essential oils from five different herbs (lavender, rosemary, sage, fennel seeds and clove buds): chemical composition and thermal analysis. *Innovative food science & emerging technologies*, 33, pp.308-318.

- Guillon**, Y., Nicolè, F., Moja, S., Valot, N., Legrand, S., Jullien, F. and Legendre, L., 2010. Differential accumulation of volatile terpene and terpene synthase mRNAs during lavender (*Lavandula angustifolia* and *L. x intermedia*) inflorescence development. *Physiologia plantarum*, 138(2), pp.150-163.
- Gunes**, A., Soylemezoglu, G., Inal, A., Bagci, E.G., Coban, S. and Sahin, O., 2006. Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 110(3), pp.279-284.
- Gupta**, R.K., 2010. Medicinal and Aromatic plants. *CBS publishers and distributors*, 234, p.499.
- Hassanpouraghdam**, M.B., Hassani, A., Vojodi, L., Asl, B.H. and Rostami, A., 2011. Essential oil constituents of *Lavandula officinalis* Chaix. from Northwest Iran. *chemija*, 22(3), pp.167-171.
- Hassiotis**, C.N., 2010. Chemical compounds and essential oil release through decomposition process from *Lavandula stoechas* in Mediterranean region. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38(4), pp.493-501.
- Hassiotis**, C.N., Tarantilis, P.A., Daferera, D. and Polissiou, M.G., 2010. Etherio, a new variety of *Lavandula angustifolia* with improved essential oil production and composition from natural selected genotypes growing in Greece. *Industrial Crops and Products*, 32(2), pp.77-82.
- Hassiotis**, C.N., Tarantilis, P.A., Daferera, D. and Polissiou, M.G., 2010. Etherio, a new variety of *Lavandula angustifolia* with improved essential oil production and composition from natural selected genotypes growing in Greece. *Industrial Crops and Products*, 32(2), pp.77-82.
- Herraiz-Penalver**, D., Cases, M.A., Varela, F., Navarrete, P., Sanchez-Vioque, R. and Usano-Aleman, J., 2013. Chemical characterization of *Lavandula latifolia* Medik. essential oil from Spanish wild populations. *Biochemical systematics and ecology*, 46, pp.59-68.
- Hoagland**, D.R. and Arnon, D.I., 1938. *Growing plants without soil by the water-culture method*. Berkeley, Calif.: University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS)**, 2019. *Lavandula* L. *Taxonomic SerialNo.:500370*.<https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_to pic=TSN&search_value=500370#null>. [Ανακτήθηκε 23 Δεκεμβρίου 2019].

- Jacimovic**, G., Crnobarac, J., Marinkovic, B., Ninic-Todorovic, J. and Stetic, J., 2010. The yield and morphological properties of calendula and basil in relation to nitrogen fertilization. *Letopis naucnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 34(1), pp.69-79.
- Jullien**, F., Moja, S., Bony, A., Legrand, S., Petit, C., Benabdelkader, T., Poirot, K., Fiorucci, S., Guitton, Y., Nicole, F. and Baudino, S., 2014. Isolation and functional characterization of a τ -cadinol synthase, a new sesquiterpene synthase from *Lavandula angustifolia*. *Plant molecular biology*, 84(1-2), pp.227-241.
- Kandil**, M.A.M., Khatab, M.E., Ahmed, S.S. and Schnug, E., 2009. Herbal and essential oil yield of Genovese basil (*Ocimum basilicum L.*) grown with mineral and organic fertilizer sources in Egypt. *Journal für Kulturpflanzen*, 61(12), pp.443-449.
- Karayel**, H.B., 2020. Effect of natural boron mineral use on the essential oil ratio and components of Musk Sage (*Salvia sclarea L.*). *Open Chemistry*, 18(1), pp.732-739.
- Kokkini**, S., Karousou, R., Dardioti, A., Krigas, N. and Lanaras, T., 1997. Autumn essential oils of Greek oregano. *Phytochemistry*, 44(5), pp.883-886.
- Kumar**, T.S., Swaminathan, V. and Kumar, S., 2009. Influence of nitrogen, phosphorus and biofertilizers on growth, yield and essential oil constituents in ratoon crop of davana (*Artemisia pallens Wall.*). *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 8(2), pp.86-95.
- Lane**, A., Boecklemann, A., Woronuk, G.N., Sarker, L. and Mahmoud, S.S., 2010. A genomics resource for investigating regulation of essential oil production in *Lavandula angustifolia*. *Planta*, 231(4), pp.835-845.
- Lesage-Meessen**, L., Bou, M., Sigoillot, J.C., Faulds, C.B. and Lomascolo, A., 2015. Essential oils and distilled straws of lavender and lavandin: a review of current use and potential application in white biotechnology. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(8), pp.3375-3385.
- Liao**, P., Hemmerlin, A., Bach, T.J. and Chye, M.L., 2016. The potential of the mevalonate pathway for enhanced isoprenoid production. *Biotechnology advances*, 34(5), pp.697-713.
- Lis-Balchin**, M., 2012. *Lavender*. In: Peter KV (ed) *Handbook of herbs and spices*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp 329–347.
- Marschner**, H., 2011. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.

- Masetto**, M.A.M., Deschamps, C., Mógor, A.F. and Bizzo, H.R., 2011. Yield and composition of essential oil from inflorescences and leaves of lavender (*Lavandula dentata* L.) in different flower development stages and harvest times. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 13(4), pp.413-421.
- Moore**, G., 2004. *Soil Guide: A Handbook for Understanding and Managing Agricultural Soils*. Department of Agriculture, Western Australia.
- Mukhopadhyay**, M., Ghosh, P.D. and Mondal, T.K., 2013. Effect of boron deficiency on photosynthesis and antioxidant responses of young tea plantlets. *Russian journal of plant physiology*, 60(5), pp.633-639.
- N'Dedianhoua**, K., Majdouli, K., Moutaouakil, K., Elhilali, F., Khabbal, Y., Bentayeb, A. And Zair, T., 2014. Chemical composition and Antibacterial power of *Lavandula multifida* L. essential oil against multiresistant strains of *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Klebsiella pneumoniae* isolated in hospital. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 9 No. 2 2014, 464-472.
- Naidu**, A.C. and Shah, G.L., 1981. Observation on the cotyledonary stomata and trichomes and their ontogeny in some genera of Lamiaceae. *Phyton*, 21(1), pp.137-152.
- Nurzynska-Wierdak**, R. and Borowski, B., 2011. Changes in the content and chemical composition of sweet basil essential oil under the influence of fertilization of plants with nitrogen and potassium. *Annales UMCS, Sec. DDD, Pharmacia*, 24(3), p.15.
- Ozguven**, M., Ayanoglu, F. and Ozel, A., 2004. Effects of Nitrogen Rates and Cutting Times on the Essential Oil Yield and Components of *Origanum syriacum* L. var. *p*. *Journal of Agronomy*, 5(1), pp.101-105.
- Pabst**, G., 1990. Köhler's Medicinal Plants (Köhler's Medizinal-Pflanzen). Th. Schäfer.
- Princi**, M.P., Lupini, A., Araniti, F., Longo, C., Mauceri, A., Sunseri, F. and Abenavoli, M.R., 2016. Boron toxicity and tolerance in plants: Recent advances and future perspectives. In *Plant metal interaction* (pp. 115-147). Elsevier.
- Rao**, E.P., Puttanna, K., Rao, R.G. and Ramesh, S., 2007. Nitrogen and potassium nutrition of French basil (*Ocimum basilicum* Linn.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 16(2), pp.99-105.

- Rezazadeh, S.**, Baha-Aldini, B.Z.B.F., Vatanara, A., Behbahani, B., Rouholamini Najafabadi, A., Maleky-Doozadeh, M., Yarigar-Ravesh, M. and Pirali Hamedani, M., 2008. Comparison of Super Critical Fluid Extraction and Hydrodistillation Methods on Lavander's Essential Oil Composition and Yield. *Journal of Medicinal Plants*, 1(25), pp.63-68.
- Saleem, M.**, Khanif, Y.M., Fauziah, I., Samsuri, A.W. and Hafeez, B., 2011. Importance of boron for agriculture productivity: a review. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 1(8), pp. 293-300.
- Salehi, B.**, Mnayer, D., Ozcelik, B., Altin, G., Kasapoglu, K.N., Daskaya-Dikmen, C., Sharifi-Rad, M., Selamoglu, Z., Acharya, K., Sen, S. and Matthews, K.R., 2018. Plants of the genus *Lavandula*: From farm to pharmacy. *Natural Product Communications*, 13(10), p.1934578X1801301037.
- Sarker, L.S.**, Galata, M., Demissie, Z.A. and Mahmoud, S.S., 2012. Molecular cloning and functional characterization of borneol dehydrogenase from the glandular trichomes of *Lavandula x intermedia*. *Archives of biochemistry and biophysics*, 528(2), pp.163-170.
- Sharma, S.** and Kumar, R., 2012. Effect of nitrogen on growth, biomass and oil composition of clary sage (*Salvia sclarea* Linn.) under mid hills of north western Himalayas.
- Sifola, M.I.** and Barbieri, G., 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. *Scientia Horticulturae*, 108(4), pp.408-413.
- Stanev, S.**, 2010. Evaluation of the stability and adaptability of the Bulgarian lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) sorts yield. *Agricultural science and Technology*, 2(3), pp.121-123.
- Svoboda, K.P.**, Svoboda, T.G., Syred, P.M. and Syred, P., 2000. *Secretory structures of aromatic and medicinal plants: a review and atlas of micrographs*. Microscopix.
- Tamizkar, A.** and Khoshouei, Z., 2011, March. Fertilizer management in chamomile for achieve to the sustainable agriculture at Iran. In *International Conference on Technology and Business Management, March* (pp. 28-30).
- TienVinh, D.**, Hoa, M.T., Khai, P.C. and Van Minh, T., 2017. Micropropagation of lavender (*Lavandula angustifolia*). *Seeds*, 4, pp.7-11.

- Ucar**, E., Ozyigit, Y., Eruygur, N., Güven, D., Yur, S., Turgut, K., Özek, T. and Kütük, N., 2018. The Effect of the Plant Age and Growth Period on the Nutritional Substance, Chlorophyll and Steviol Glycoside Rates in Stevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*) Leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(3), pp.291-302.
- Upson**, T. and Andrews, S., 2004. *The genus Lavandula*. Royal Botanic Gardens Kew.
- Wang**, G., 2014. Recent progress in secondary metabolism of plant glandular trichomes. *Plant Biotechnology*, 31(5), pp.353-361.
- Wells**, R., Truong, F., Adal, A.M., Sarker, L.S. and Mahmoud, S.S., 2018. Lavandula Essential Oils: A Current Review of Applications in Medicinal, Food, and Cosmetic Industries of Lavender. *Natural Product Communications*, 13(10), p.1934578X1801301038.
- Wintermans**, J.F.G.M. and De Mots, A.S., 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their phenophytins in ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biophysics including Photosynthesis*, 109(2), pp.448-453.
- Woronuk**, G., Demissie, Z., Rheault, M. and Mahmoud, S., 2011. Biosynthesis and therapeutic properties of *Lavandula* essential oil constituents. *Planta medica*, 77(01), pp.7-15.
- Yasemin**, S., Ozkaya, A., Koksall, N. and Gok, B., 2017. *The Effects Of Nitrogen On Growth And Physiological Features Of Lavender*. Full Text Proceedings Book. International Congress on Medicinal and Aromatic Plant. May, 10–12.
- Zheljzakov**, V.D., Cantrell, C.L., Astatkie, T. and Jeliaskova, E., 2013. Distillation time effect on lavender essential oil yield and composition. *Journal of oleo science*, 62(4), pp.195-199.
- Zheljzakov**, V.D., Cantrell, C.L., Ebelhar, M.W., Rowe, D.E. and Coker, C., 2008. Productivity, oil content, and oil composition of sweet basil as a function of nitrogen and sulfur fertilization. *HortScience*, 43(5), pp.1415-1422.
- Zuzarte**, M., Goncalves, M.J., Cavaleiro, C., Dinis, A.M., Canhoto, J.M. and Salgueiro, L.R., 2009. Chemical composition and antifungal activity of the essential oils of *Lavandula pedunculata* (MILLER) CAV. *Chemistry & Biodiversity*, 6(8), pp.1283-1292.
- Μαλούπα**, Ε., Γρηγοριάδου, Κ., Λάζαρη, Δ., & Κρίγκας, Ν., 2013. Καλλιέργεια, Μεταποίηση & Διασφάλιση Ποιότητας Των. Ελληνικών Αρωματικών –

Φαρμακευτικών Φυτών: Βασικές Αρχές Καθετοποιημένης Παραγωγής (The Programme is co-funded by the European Union (ERDF) and National Funds of Greece and Bulgaria). Καβαλα: Εκδόσεις Λουπέλης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

| | | |
|--------------|---|--|
| DMAPP | : Dimethylallyl Diphosphate | Διφωσφορικό Διμεθυλαλλύλιο |
| FPP | : Farnesyl Diphosphate | Διφωσφορικό Φαρνεζύλιο |
| GC-MS | : Gas chromatography–mass spectrometry | Αέρια Χρωματογραφία - Φασματοσκοπία Μάζας |
| GGPP | : Geranylgeranyl Diphosphate, | Διφωσφορικό Γερανυλογερανύλιο |
| GPP | : Geranyl Diphosphate | Διφωσφορικό Γερανύλιο |
| IBA | : Indole-3-butyric acid | 3-ινδολλυλοβουτυρικό οξύ |
| IPP | : Isopentenyl Diphosphate | Διφωσφορικό Ισοπεντενύλιο |
| MEP | : 2-C methyl -D- erythritol 4-phosphate | 4-φωσφορική 2-C μεθυλ-D- ερυθριτόλη |
| MVA | : Mevalonic Acid | Μεβαλονικού Οξέος |
| SCE | : Supercritical CO ₂ Extractor | Εξαγωγή με τη χρήση του Υπερκρίσιμου CO ₂ |
| SEM | : Scanning Electron Microscopy | Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σχέδιο των φυτικών μερών της *Lavandula Angustifolia* (Pabst, 1990).8

Εικόνα 2: Γενική εικόνα των φυτών λεβάντας που καλλιεργούνται σε γλάστρες με διαφορετικά επίπεδα λίπανσης N (Yasemin et al., 2017). 13

Εικόνα 3: Σπερμοβλάστη από άνθος λεβάντας και οι σωληνοειδείς περιοχές όπου εντοπίζονται οι εκκριτικοί αδένες του ελαίου της λεβάντας (Snoboda et al., 2000)... 15

Εικόνα 4: Φυτικός ιστός παραγωγής αιθέριου ελαίου στη *L. angustifolia*. a: Φωτογραφία φυτικού ιστού και αδενικών τριχωμάτων με τη χρήση οπτικού

μικροσκοπίου (scale bar ~0,25 cm). b: Φωτογραφία ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης των αδενικών τριχωμάτων της λεβάντας (scale bar ~50 cm) (Lane et al., 2010). 16

Εικόνα 5: Φωτογραφία ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης του τριχώματος της λεβάντας (*L. angustifolia* Munstead) (Andrys et al., 2018). 17

Εικόνα 6: Πλήρως ανεπτυγμένο ασπιδοειδές τρίχωμα Τύπου IV με μια διογκωμένη κεφαλή (Andrys et al., 2018). 18

Εικόνα 7: Βιοσύνθεση των τερπενίων στο *L. angustifolia* (Aprotosoaie et al., 2017). 21

Εικόνα 8: Φυτοδοχεία 6 L με λεβάντα (*Lavandula angustifolia* var. *Hemus*) στο στάδιο πριν την πλήρη άνθηση στο Αγρόκτημα του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων (ΙΓΒ&ΦΠ) του ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ. 33

Εικόνα 9: *Lavandula angustifolia* var. *Hemus* στο στάδιο της άνθησης. 33

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Η επίδραση της ανόργανης θρέψης με άζωτο (0, 1, 4 και 8 mM) και βόριο (0 και 2 x της συγκέντρωσης του Hoagland) στο ξηρό βάρος του παραγόμενου ανθικού στελέχους ανά φυτό λεβάντας και το μέσο μήκος του. 37

Πίνακας 2: Σύσταση του αιθέριου ελαίου φυτών λεβάντας υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο και βόριο. 41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Το περιεχόμενο (σε mg/g) της χλωροφύλλης και των καροτενοειδών του νωπού ιστού φύλλων των φυτών λεβάντας, υπό την επίδραση των χειρισμών : 1. νερό, 2. 1 mM N, 3. 4 mM N, 4. 8 mM N, 5. 0 mM B και 6. συγκέντρωση B 2 x του Hoagland. Οι τιμές που εμφανίζονται στις μπάρες αποτελούν τον μέσο όρο έξι μετρήσεων για κάθε χειρισμό ± το τυπικό σφάλμα. Διαφορετικά γράμματα επάνω από τις μπάρες

υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$38

Γράφημα 2: Απόδοση (%) του αιθέριου ελαίου των ανθοφόρων στελεχών των φυτών λεβάντας, υπό την επίδραση των χειρισμών : 1. νερό, 2. 1 mM N, 3. 4 mM N, 4. 8 mM N, 5. 0 mM B και 6. συγκέντρωση B 2 x του Hoagland. Οι τιμές που εμφανίζονται στις μπάρες αποτελούν τον μέσο όρο τριών αποστάξεων για κάθε χειρισμό \pm το τυπικό σφάλμα. Διαφορετικά γράμματα επάνω από τις μπάρες υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$40

Γράφημα 3: Στατιστικά σημαντικές διαφορές των συστατικών του αιθέριου ελαίου των φυτών λεβάντας υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με άζωτο για στατιστικά σημαντικές διαφορές των συστατικών με % συγκέντρωση > 2 %. Στο γράφημα οι τιμές αποτελούν τον μέσο όρο 3 μετρήσεων \pm το τυπικό σφάλμα και τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$42

Γράφημα 4: Στατιστικά σημαντικές διαφορές των συστατικών του αιθέριου ελαίου των φυτών λεβάντας υπό την επίδραση ανόργανης θρέψης με βόριο για στατιστικά σημαντικές διαφορές των συστατικών με % συγκέντρωση > 2 %. Στο γράφημα οι τιμές αποτελούν τον μέσο όρο 3 μετρήσεων \pm το τυπικό σφάλμα και τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών, σύμφωνα με το Κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$43