



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών - Τομέας Αισθητικής και  
Κοσμητολογίας

Πτυχιακή Εργασία

«Αιθέρια Έλαια ως Αντιμικροβιακοί Παράγοντες»

«Τζεράκη Νίκη / ΑΜ: 63717069»

Επιβλέπουσα: Μέλλου Φωτεινή

Τίτλος: Ακαδημαϊκός Υπότροφος

Αθήνα, 2022



# UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES

Department of Biomedical Sciences - Division Aesthetics and  
Cosmetic Science

Dissertation

«Essential Oils as Antimicrobial Agents»

«Tzeraki Niki / Candidate Number: 63717069»

Supervisor: Mellou Foteini

Title: Academic

Academic Scholar

Athens, 2022

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Τζεράκη Νίκη του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 63717069 , φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Αισθητικής και Κοσμητολογίας του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα



Εξεταστική επιτροπή:

1. Μέλλου Φωτεινή
2. Παύλου Παναγούλα
3. Παπαγεωργίου Σπύρος

*«Ευχαριστίες»*

Πριν την παρουσίαση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που γνώρισα, συνεργάστηκα και διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της.

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα. Μέλλου Φωτεινή για την πολύτιμη καθοδήγηση της και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Παναγιώτη και Δήμητρα, που με στηρίζουν σε κάθε νέο μου ξεκίνημα όλα αυτά τα χρόνια.

## **Περίληψη**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των αιθέριων ελαίων ως αντιμικροβιακοί παράγοντες. Η ακαδημαϊκή εργασία βασίζεται κυρίως στη μελέτη επιστημονικών άρθρων και στην ανάλυση επιστημονικών ερευνών για τη δράση, τη χρήση και την αποτελεσματικότητα των αιθέριων ελαίων. Όσον αφορά τα ευρήματα, μέσω της ανάλυσης της εργασίας, θα είναι δυνατή η κατανόηση του βαθμού στον οποίο η εφαρμογή των αιθέριων ελαίων είναι τόσο σημαντική όσο και αποτελεσματική. Πιο συγκεκριμένα, τα αιθέρια έλαια εφαρμόζονται όλο και περισσότερο σε διάφορους κλάδους όπως για παράδειγμα σε βιομηχανίες φαρμάκων, τροφίμων και καλλυντικών. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως στις βιομηχανίες φαρμάκων τα αιθέρια έλαια εφαρμόζονται ως αντιβακτηριακοί, αντιφλεγμονώδεις, αντιυικοί και αντιμυκητιακοί παράγοντες. Ολοκληρώνοντας η μελέτη των αιθέριων ελαίων ως αντιμικροβιακοί παράγοντες βοηθά στην ανάγκη για την εφαρμογή τους σε αποτελεσματικότερα προϊόντα με βάση το αιθέριο έλαιο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με σωστές μεθόδους εκχύλισης προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα των αιθέριων ελαίων και μέσω της τεχνικής ενθυλάκωσης των αιθέριων ελαίων και των συστατικών τους, προκειμένου να ενισχυθούν παράγοντες όπως για παράδειγμα η διάρκεια ζωής και η βιολογική δραστηριότητα.

## **Λέξεις - Κλειδιά**

Essential oils, pharmaceutical, cosmetics, antimicrobial activity, methods of extraction, bioavailability, capsulation, nano-encapsulation, antioxidant, anti-inflammatory, synergy, alternativetherapy, chemical compositions, lavender oil, thyme oil, oregano oil, tea tree oil, eucalyptus oil, patchouli oil.

## **Abstract**

The purpose of this dissertation is to study essential oils as antimicrobial agents. The dissertation is based mainly on the study of scientific articles and the analysis of scientific research on the action, use and effectiveness of essential oils. Regarding the findings of the work, it will be possible to understand the extent to which the application of essential oils is both important and effective. More specifically, essential oils are increasingly being applied in various industries such as pharmaceutical, food and cosmetics industries. It is important to mention that essential oils in pharmaceutical industries are applied as antibacterial, anti-inflammatory, antiviral and antifungal agents. Concluding, the study of essential oils as antimicrobial agents helps to address the need for their application in more effective essential oil-based products. This is achievable by correct extraction methods to ensure the quality of essential oils and through the technical encapsulation of essential oils and their components to enhance factors such as shelf life and biological activity.

## **Keywords**

Essential oils, pharmaceutical, antimicrobial activity, bioavailability, capsulation, nano-encapsulation, antioxidant, anti-inflammatory, synergy, alternative therapy, chemical compositions, lavender oil, thyme oil, oregano oil, tea tree oil, eucalyptus oil, tea tree oil, patchouli oil.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	VI
Εισαγωγή.....	X
1. Αιθέρια έλαια – Ορισμός .....	1
2. Ιστορική αναδρομή .....	2
3. Χημική σύνθεση.....	3
3.1 Προέλευση κύριων συστατικών αιθέριων ελαίων.....	3
3.2 Κύρια συστατικά αιθέριων ελαίων.....	5
3.2.1 Υδρογονάνθρακες .....	5
3.2.2 Αλκοόλες.....	7
3.2.3 Αλδεΐδες .....	7
3.2.4 Οξέα .....	7
3.2.5 Εστέρες.....	7
3.2.6 Κετόνες.....	8
3.2.7 Λακτόνες.....	8
4. Φυσικά χαρακτηριστικά.....	8
5. Σταθερότητα αιθέριων ελαίων .....	9
6. Μέθοδοι εκχύλισης .....	10
6.1 Υδροαπόσταξη .....	11
6.2 Απόσταξη με ατμό.....	12
6.3 <i>Hydrodiffusion</i> (Υδροδιάχυση) .....	12
6.4 Εκχύλιση με χρήση διαλύτη .....	13
7. Βιοδιαθεσιμότητα .....	14
8. Ενθυλάκωση αιθέριων ελαίων .....	16
8.1 Φορείς με βάση πολυσακχαρίτες .....	19
8.2 Φορείς με βάση πρωτεΐνες.....	20
8.3 Φορείς με βάση λιπίδια .....	21
9. Ανεπιθύμητες ενέργειες .....	22
10. Αντιμικροβιακή δράση .....	23



10.1 Μηχανισμός δράσης .....	23
11. Συστατικά αιθέριων ελαίων με αντιμικροβιακή δράση.....	24
11.1 Τερπένια και τερπενοειδή.....	25
11.2 Φαινυλοπροπένια.....	26
12. Ανάλυση της συνεργατικής αντιμικροβιακής δράσης αιθέριων ελαίων .....	26
12.1 Συνέργεια μεταξύ των συστατικών των αιθέριων ελαίων .....	27
12.2 Συνέργεια μεταξύ διαφορετικών αιθέριων ελαίων.....	28
12.3 Συνέργεια μεταξύ των συστατικών των αιθέριων ελαίων και των αντιβιοτικών.....	28
12.4 Συνέργεια μεταξύ αιθέριων ελαίων και αντιβιοτικών.....	29
13. Επιλεγμένα αιθέρια έλαια ως αντιμικροβιακοί παράγοντες.....	30
Συμπέρασμα.....	37
Βιβλιογραφία .....	38

## Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονείται στα πλαίσια του γνωστικού αντικειμένου της αισθητικής και κοσμητολογίας, του τμήματος βιοϊατρικών επιστημών και στόχος της είναι η μελέτη των αιθέριων ελαίων ως αντιμικροβιακοί παράγοντες. Αρχικά δίνεται ο ορισμός των αιθέριων ελαίων σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης καθώς επίσης και σημαντικές πληροφορίες για τη δράση τους. Ακολουθεί η ιστορική αναδρομή της χρήσης των αιθέριων ελαίων με αφετηρία για την παραγωγή τους, την Ανατολή, μέσω της μεθόδου της απόσταξης. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως τα αιθέρια έλαια κατά τον 16<sup>ο</sup> αιώνα, συμμετείχαν ενεργά στο εμπόριο για βιομηχανικούς, θεραπευτικούς και καλλυντικούς σκοπούς, ενώ κατά τη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> και 20<sup>ου</sup> αιώνα η χρήση τους αποδομήθηκε σταδιακά στον κλάδο της ιατρικής, αλλά αυξήθηκε στη χρήση ανάδειξης γεύσεων και αρωμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η χημική σύνθεση των αιθέριων ελαίων. Πιο συγκεκριμένα, τα αιθέρια έλαια περιέχουν δύο ή τρία βασικά συστατικά τα οποία, προέρχονται από τρεις φυτικές βιοσυνθετικές οδούς που παράγουν ισοπρενοειδή, φαινυλοπροπανοειδή, πολυκετίδια και λιπίδια. Ακόμη, δίνονται τα φυσικά χαρακτηριστικά των αιθέριων ελαίων και η σταθερότητα τους. Παρακάτω ακολουθούν οι μέθοδοι εκχύλισης των αιθέριων ελαίων. Αρχικά, υπάρχουν αρκετά τμήματα διαφόρων αρωματικών φυτών που μπορούν να εξαχθούν και να δημιουργήσουν αιθέρια έλαια προκειμένου να εφαρμοστούν σε καλλυντικά, φαρμακευτικά προϊόντα και τομείς ασφάλειας τροφίμων. Πιο αναλυτικά, προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα των αιθέριων ελαίων σημαντικό παράγοντα αποτελεί η μέθοδος εκχύλισης που θα ακολουθηθεί για να μην υπάρξουν αρνητικές επιδράσεις, όπως για παράδειγμα η απώλεια φαρμακολογικών συστατικών, η επίδραση χρώσης, η απώλεια γεύσης - οσμής και η φυσική αλλαγή των αιθέριων ελαίων. Οι τεχνικές εκχύλισης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής: συμβατικές μέθοδοι εκχύλισης, υδροαπόσταξη, απόσταξη με ατμό, Hydrodiffusion (Υδροδιάχυση) και εκχύλιση με χρήση διαλύτη. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η βιοδιαθεσιμότητα των αιθέριων ελαίων και οι παράγοντες που την επηρεάζουν όπως, οι φυσικοχημικές, βιοχημικές και φυσιολογικές αλληλεπιδράσεις, οι διατροφικές συνήθειες, ο τρόπος ζωής και ο γενότυπος. Οι βασικότεροι τρόποι για την πρόσληψη των αιθέριων ελαίων είναι η εφαρμογή στο δέρμα, η εισπνοή και η πρόσληψη από το στόμα. Στην τελευταία περίπτωση το ποσοστό βιοδιαθεσιμότητας των αιθέριων ελαίων αγγίζει το 95,6%. Επιπρόσθετα, γίνεται λόγος για την πολύτιμη ανάγκη

ενθυλάκωσης των αιθέριων ελαίων και των συστατικών τους, προκειμένου να ενισχυθούν διάφοροι παράγοντες όπως για παράδειγμα, η ενίσχυση της οξειδωτικής σταθερότητας, της θερμοσταθερότητας, της φωτοσταθερότητας, της διάρκειας ζωής και της βιολογικής τους δραστηριότητας. Ακόμη δίνονται οι τεχνικές ενθυλάκωσης, όπως ξήρανση με ψεκασμό, εξώθηση, συγκατακρήμνιση και γαλακτωματοποίηση. Στην επόμενη ενότητα ακολουθεί εκτεταμένη ανάλυση της αντιμικροβιακής δράσης των αιθέριων ελαίων, του μηχανισμού δράσης και των συστατικών που εμπεριέχονται σε αυτά, καθώς επίσης και η ανάλυση της συνεργατικής τους αντιμικροβιακής δράσης. Τέλος, γίνεται αναφορά επιλεγμένων αιθέριων ελαίων ως αντιμικροβιακοί παράγοντες. Ολοκληρώνοντας, παρατίθενται τα συμπεράσματα της εργασίας όπως και η σχετική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την διεκπεραίωση της.

## 1. Αιθέρια έλαια – Ορισμός

Τα αιθέρια έλαια (Essential oils), σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Organization for Standardization - ISO), είναι προϊόντα με πολύπλοκη σύνθεση που λαμβάνονται από φυτικές πρώτες ύλες, όπως φλούδες, φλοιούς, φύλλα, λουλούδια, μπουμπούκια, σπόρους και άλλα, μέσω φυσικών μεθόδων απόσταξης ή συμπίεσης. <sup>(1,2)</sup>

Οι πτητικές ουσίες των φυτών είναι τυπικά προϊόντα αρωματικών φυτών που, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων EssOilDB, έχουν ήδη καταγραφεί σε 1.618 φυτικά είδη, υποείδη, ή ποικιλίες που αντιστοιχούν σε 92 οικογένειες φυτών. Τα αιθέρια έλαια είναι σύνθετα μείγματα που περιέχουν κυρίως πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) που συντίθενται και αποβάλλονται από τα ίδια τα φυτά προκειμένου να διευκολυνθεί η ανάπτυξη και η επιβίωσή τους. Εκτός από τις πτητικές οργανικές ενώσεις, τα αιθέρια έλαια περιέχουν επίσης διαφορετικά προϊόντα αποδόμησης, τα οποία δημιουργούνται κατά τις ενζυμικές, χημικές ή φυσικές διεργασίες. <sup>(1)</sup>

Τα αιθέρια έλαια είναι λιπόφιλα και διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες, τόσο λόγω της υδρόφοβης φύσης τους, όσο και λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας από το νερό. <sup>(2)</sup> Είναι μείγματα ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους (συνήθως κάτω από 300 Da), και μπορούν να συνιστώνται από περισσότερα από δώδεκα, ακόμη και έως 300, μόρια, τα οποία συνήθως ανήκουν σε 5 έως 10 ξεχωριστές χημικές κατηγορίες ή συγγενείς ομάδες. <sup>(1)</sup>

Οι διαφορές ανάμεσα στις χημικές ιδιότητες των αιθέριων ελαίων δεν στηρίζονται μόνο στον αριθμό και τον τύπο των μορίων τους, αλλά και στις στερεοχημικές δομές τους, οι οποίες μπορούν να ποικίλουν με επιλεγμένη μέθοδο διαδικασίας εκχύλισης. Η ποιότητα, η ποσότητα και η σύνθεση των παραγόμενων αιθέριων ελαίων μπορούν να τροποποιηθούν ανάλογα με το φυτικό όργανο, την ηλικία, τη σύνθεση του εδάφους, την κλιματική αλλαγή και τα στάδια κύκλου της φυτικής ζωής. <sup>(2)</sup>

Το ενδιαφέρον για τη μελέτη και την εφαρμογή των αιθέριων ελαίων σε διάφορους τομείς αυξάνεται συνεχώς, καθώς σε αρκετές φαρμακευτικές βιομηχανίες εφαρμόζονται ως αντιβακτηριακοί, αντιφλεγμονώδεις, αντισπασμωδικοί και αντιμυκητιακοί παράγοντες. Στόχος είναι, σε βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών, να διαμορφωθούν και να παραχθούν αποτελεσματικότερα προϊόντα με βάση το αιθέριο έλαιο. (2)

## 2. Ιστορική αναδρομή

Τα μπαχαρικά έχουν εκμεταλλευτεί από την αρχαιότητα για το άρωμα, τη γεύση και τις συντηρητικές τους ιδιότητες. Παρόλα αυτά, μόνο το λάδι τερεβινθίνης έχει αναφερθεί από Έλληνες και Ρωμαίους ιστορικούς. (3) Αρχαία γραπτά που αναφέρουν για τα φαρμακευτικά αποταγμένα νερά, δεν περιγράφουν ακριβώς τη διαδικασία που χρησιμοποιούταν. (4) Η απόσταξη, ως μέθοδος παραγωγής αιθέριων ελαίων, χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στην Ανατολή (Αίγυπτο, Ινδία, Περσία) περισσότερα από 2 χιλιάδες χρόνια πριν, και βελτιώθηκε τον 9<sup>ο</sup> αιώνα από τους Άραβες, οι οποίοι έφεραν τα αιθέρια έλαια στην Ευρώπη. (3,4) Ο πρώτος αυθεντικός γραπτός απολογισμός της απόσταξης αιθέριου ελαίου αποδίδεται, περίπου το 1235-1311, στον καταλανό ιατρό Villanova. (3) Κατά τον 16<sup>ο</sup> αιώνα ξεκίνησε να γίνεται γνωστή τόσο η έννοια των αιθέριων ελαίων και των λιπαρών ελαίων, όσο και οι μέθοδοι διαχωρισμού τους από τα αρωματικά νερά. Εκείνη την εποχή, τα αιθέρια έλαια εμπορευματοποιούνταν για βιομηχανικούς, θεραπευτικούς και καλλυντικούς στόχους. (4) Η πρώτη αναφορά σχετικά με τις χρήσεις των αιθέριων ελαίων για θεραπευτικούς σκοπούς βρέθηκε στον πάπυρο Ebers. Εκεί απαριθμούνται λεπτομερώς περισσότερες από 800 θεραπείες, ενώ έδειξε και ότι το μύρο ήταν ένα αγαπημένο συστατικό, συχνά αναμεμιγμένο με μέλι και άλλα βότανα, λόγω της ικανότητάς του να αναστέλλει την ανάπτυξη βακτηρίων. (5) Δύο γιατροί του Στρασβούργου, ο Brunschwig και ο Reiff, αναφέρουν μόνο ένα σχετικά μικρό αριθμό ελαίων, μεταξύ των, τερεβινθίνη, ξύλο αρκεύθου, δεντρολίβανο, ακίδα (λεβάντα), γαρίφαλο, ράβδος, μοσχοκάρυδο, γλυκάνισο και κανέλα. Στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα είχε τεκμηριωθεί η χρήση του ελαίου τσαγιού για ιατρικούς σκοπούς από τον αποικισμό της Αυστραλίας, αν και είναι πιθανό να έχει χρησιμοποιηθεί από τους γηγενείς Αυστραλούς πριν από αυτό. (3) Το πρώτο βακτηριοκτόνο πείραμα λέγεται ότι πραγματοποιήθηκε από τον De la Croix το 1881. (5) Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> και 20<sup>ου</sup> αιώνα η χρήση των αιθέριων ελαίων στην ιατρική σταδιακά μειώθηκε, ενώ η χρήση

τους για γεύση και άρωμα αυξήθηκε. <sup>(3)</sup>

### **3. Χημική σύνθεση**

#### ***3.1 Προέλευση κύριων συστατικών αιθέριων ελαίων***

Γενικά, όλα τα είδη αιθέριων ελαίων έχουν δύο ή τρία κύρια συστατικά με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις (20%-70%), σε σύγκριση με τα άλλα συστατικά που υπάρχουν σε ίχνη ποσότητας, τα οποία και καθορίζουν τις βιολογικές ιδιότητες αυτών των αρωματικών ελαίων. <sup>(2)</sup> Τα συστατικά αυτά προέρχονται από τρεις φυτικές βιοσυνθετικές οδούς που παράγουν ισοπρενοειδή, φαινυλοπροπανοειδή, πολυκετίδια και λιπίδια. <sup>(1)</sup> Στα καθαρά αιθέρια έλαια ανευρίσκονται περισσότερα από 200 συστατικά τα οποία είναι μείγματα των παραπάνω. <sup>(2)</sup>

Η γλυκόζη που σχηματίζεται από το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό, μετατρέπεται σε φωσφοενολο-πυροσταφυλικό, που συμμετέχει στη δημιουργία φαινυλοπροπανοειδών (shikimates) μέσω της L-φαινυλαλανίνης. Η ίδια δομή φωσφοενολο-πυροσταφυλικού, μετά την αποκαρβοξυλίωση, δίνει οξικό άλας, το οποίο εστεροποιείται με συνένζυμο-A και δίνει το ακέτυλο-CoA. Τα πολυκετίδια και τα λιπίδια είναι αποτέλεσμα της αυτοσυμπύκνωσης του ακέτυλο-CoA. Το ακέτυλο-CoA, που χρησιμοποιείται επίσης για το σχηματισμό μεβαλονικού οξέος, προκαλεί τα ισοπρενοειδή. Τα υπόλοιπα συστατικά των αιθέριων ελαίων είναι παράγωγα αμινοξέων, εκτός από την L-φαινυλαλανίνη. <sup>(1)</sup>

#### **Ισοπρενοειδή**

Τα ισοπρενοειδή (τερπένια) σχηματίζονται με συνένωση μονάδων ισοπρενίου (2-μεθυλοβουταδιένιο), σε ένα μοτίβο που καλείται ένωση κεφαλής-ουράς, και η δομή τους περιέχει πολλαπλάσια των πέντε ατόμων άνθρακα. Συνεπώς, η δομική ταξινόμηση των τερπενίων στηρίζεται στον αριθμό των μονάδων ισοπρενίου σε ένα μόριο. Ο λειτουργικός χαρακτηρισμός εξαρτάται από την κυκλική ή γραμμική δομή, τους βαθμούς μη κορεσμού, ή τον τύπο των υποκατάστατων (υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, αιθέρες, οξείδια, αλδεΐδες, κετόνες, εστέρες). Ο όρος τερπενοειδή περιορίζεται σε ισοπρενοειδή που φέρουν τμήμα οξυγόνου. Ορισμένα μόρια που παρουσιάζονται στα αιθέρια έλαια είναι προϊόντα

αποδόμησης μεγαλύτερων, συνήθως όχι πτητικών δομών. Τα νορισοπρενοειδή είναι προϊόντα αποδόμησης που είναι αποτέλεσμα της ενζυμικής ή μη ενζυμικής διάσπασης τριτερπενοειδών ή τετρατερπενοειδών. <sup>(1)</sup>

### **Φαινυλοπροπανοειδή**

Φαινυλοπροπανοειδή καλούνται οι φαινόλες ή οι αιθέρες φαινόλης που περιέχονται συχνά στα αιθέρια έλαια. <sup>(1)</sup>

### **Παράγωγα πολυκετιδίων και λιπιδίων**

Τα παράγωγα λιπαρών οξέων που περιέχονται στα αιθέρια έλαια προκύπτουν από αντιδράσεις συμπύκνωσης πολυκετιδίων, αποδόμησης λιπιδίων ή κυκλοποίησης αραχιδονικού οξέος. Η συμπύκνωση πολυκετιδίων οδηγεί στο σχηματισμό φαινολικών δακτυλίων, τα οποία οξειδώνονται σε εναλλακτικά άτομα άνθρακα, είτε ως οξέα, κετόνες, φαινόλες, είτε ως το ένα άκρο ενός διπλού δεσμού. Η σειρά των ενζυμικών αντιδράσεων στα λιπαρά οξέα, όπως η διάσπαση, η οξειδωση, η γαλακτοποίηση, η μείωση ή η αποβολή, προκαλεί λακτόνες μικρής αλυσίδας, αλκοόλες ή αλδεΐδες, ενώ η κυκλοποίηση ή το αραχιδονικό οξύ έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή προσταγλανδινών και γιασμονικού οξέος. <sup>(1)</sup>

### **Παράγωγα αμινοξέων εκτός της L-Φαινυλαλανίνης**

Τα αμινοξέα, όπως η αλανίνη, η βαλίνη, η λευκίνη, η ισολευκίνη και η μεθειονίνη, είναι πρόδρομοι των αλδεΐδων, των αλκοολών, των εστέρων, των οξέων και των συστατικών των αιθέρων ελαίων που περιέχουν άζωτο και θείο. Ενώσεις θείου (σουλφίδια, δισουλφίδια, τρισουλφίδια, σουλφοξείδια, και ισοθειοκυανικά) καθώς και ετεροκυκλικές ενώσεις που περιέχουν άζωτο (ινδόλη, πυριδίνες, και πυραζίνες) ή οξυγόνο (λακτόνες, κουμαρίνες, και φουρανοκουμαρίνες) σε ένα δακτύλιο, υπάρχουν σπάνια στα αιθέρια έλαια. Αυτά τα μόρια έχουν σχετικά απλές δομές και χαρακτηριστική ή έντονη οσμή. <sup>(1)</sup>

### **3.2 Κόρια συστατικά αιθέριων ελαίων**

Τα συστατικά των αιθέριων ελαίων μπορούν να καταταχθούν γενικά ως πτητικά και μη πτητικά κλάσματα. Η συνολική χημική σύνθεση του πτητικού κλάσματος αρωματικού ελαίου περιλαμβάνει μονοτερπένια και σесκιτερπένια συστατικά, και διάφορα οξυγονωμένα παράγωγα μαζί με αλκοόλες, αλειφατικές αλδεΐδες, και εστέρες. Από την άλλη, το 1-10% του απομονωμένου αιθέριου ελαίου αποτελείται από καροτενοειδή, λιπαρά οξέα, φλαβονοειδή και κεριά που ταξινομούνται ως μη πτητικά υπολείμματα. (2)

Για τον προσδιορισμό των συστατικών που υπάρχουν στα αιθέρια έλαια, χρησιμοποιείται η μέθοδος αέριας χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας (GC-MS). Η μέθοδος αυτή είναι απλή, επιτρέπει γρήγορες αποκρίσεις, είναι αποτελεσματική και είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη αναλυτική τεχνική για τον προσδιορισμό των συστατικών αιθέριων ελαίων. Μια έκθεση GC-MS είναι το αποτύπωμα οποιασδήποτε συγκεκριμένης παρτίδας αιθέριου ελαίου. Οι μοναδικές ιδιότητες των ελαίων μπορούν να συναχθούν από τη χημική του σύνθεση και η GC-MS είναι σε θέση να υποδείξει την καθαρότητα των αιθέριων ελαίων στις περισσότερες περιπτώσεις. Τα συστατικά των αιθέριων ελαίων οριοθετούνται παρακάτω. (2)

#### **3.2.1 Υδρογονάνθρακες**

Ο υδρογονάνθρακας είναι μία χημική ένωση που περιέχεται στα αιθέρια έλαια και έχει ως δομικά στοιχεία τον άνθρακα και το υδρογόνο. Ένα παράδειγμα βασικών υδρογονανθράκων που περιέχεται στα αιθέρια έλαια αποτελεί το ισοπρένιο. (2)

#### **Τερπένια**

Τα τερπένια μπορούν να ταξινομηθούν σε μονοτερπένια, σесκιτερπένια και διτερπένια. Δύο, τρεις και τέσσερις μονάδες ισοπρενίου συνδέονται από το κεφάλι στην ουρά και σχηματίζουν αντίστοιχα παραπάνω. (4)



## **Μονοτερπένια**

Ως κύριες ιδιότητες των μονοτερπένιων αναφέρονται οι αντιβακτηριακές, αναλγητικές, διεγερτικές και αποχρεμπτικές ιδιότητες. Τα μονοτερπένια είναι φυσικά συστατικά των φυτών των αιθέριων ελαίων, με την πλειονότητα αυτών να είναι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες. Οι αλκοόλες, οι κετόνες και τα καρβοξυλικά οξέα υπάρχουν ως υποκατάστατα στα οξυγονωμένα παράγωγα των μονοτερπένιων, τα οποία είναι από κοινού γνωστά ως μονοτερπενοειδή. (2)

## **Σεσκιτερπένια**

Τα σεσκιτερπένια απομονώνονται βιογενετικά από το πυροφωσφορικό φαρνεζύλιο, ένα ενδιάμεσο προϊόν τόσο στις μεβαλονικές όσο και στις μη μεβαλονικές οδούς, που χρησιμοποιούνται από τους οργανισμούς για τη βιοσύνθεση τερπενοειδών, στερολών και τερπενίων. Οι δομές των σεσκιτερπένιων μπορεί να είναι γραμμικές, μονοκυκλικές ή δικυκλικές και τρικυκλικές. Οι γραμμικές δομές των σεσκιτερπένιων, που αναφέρονται ως φαρνεσένια, είναι διακλαδισμένοι υδρογονάνθρακες με τέσσερις διπλούς δεσμούς.

Σε μονοκυκλικές ενώσεις σεσκιτερπένιων υπάρχουν ομάδες βισαμπολένιων με δομές δακτυλίου C<sub>6</sub>, και τα ισομερή τους, που εμφανίζονται σε διάφορα αιθέρια έλαια. Το Zingiberene είναι ένα μονοκυκλικό σεσκιτερπένιο που αποτελεί το κύριο συστατικό του αιθέριου ελαίου τζίντζερ (*Zingiber officinale*). Η τζιντζερόλη του προσδίδει αυτή τη χαρακτηριστική μυρωδιά και γεύση. (2) Τέλος, το Caryophyllene, ένα δικυκλικό σεσκιτερπένιο, συναντάται ευρέως ως συστατικό στα αιθέρια έλαια από κάνναβη, ρίγανη και δεντρολίβανο, ενώ βρίσκεται επίσης στα φυτικά μέρη πολλών φυτών, και ασκεί αντιφλεγμονώδη δράση. (2)

## **Διτερπένια**

Αυτά τα συστατικά αποτελούνται από το συνδυασμό τεσσάρων μονάδων ισοπρενίου. Θεωρούνται ως πολύ βαριά συστατικά που δεν εξατμίζονται εύκολα κατά τη διαδικασία εκχύλισης με απόσταξη ατμού. Ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατό να βρεθεί σε απομονωμένα αρωματικά έλαια. Τα διτερπένια βρίσκονται σε όλες τις οικογένειες φυτών με χημικές δομές C<sub>20</sub>. (2)

### **3.2.2 Αλκοόλες**

Οι αλκοόλες προσφέρουν στα αιθέρια έλαια μερικές εξαιρετικές ιδιότητες όπως αντισηπτικά, αντικά, αντιβακτηριακά και μικροβιοκτόνα. (2) Οι αλκοόλες εμφανίζονται σε ελεύθερη μορφή ως ένα μόνο συστατικό ή συνδυάζονται με τερπένια ή εστέρες. Η σύνδεση τερπενίων με ομάδες υδροξυλίων μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό αλκοολών. (4) Οι αλκοόλες θεωρούνται ασφαλείς για χρήση στο σώμα ή το δέρμα, καθώς οι ποσότητες τους είναι εξαιρετικά χαμηλές ή δεν παρουσιάζουν καθόλου τοξικές αντιδράσεις. (2) Ορισμένα παραδείγματα αλκοολών που συναντάμε στα αιθέρια έλαια αποτελούν η λιναλοόλη στη λεβάντα και το ylang-ylang, η νερόλη στο νερολί, και η γερανιόλη στο τριαντάφυλλο και το γεράνι. (4)

### **3.2.3 Αλδεΐδες**

Οι αλδεΐδες αποτελούν αντιφλεγμονώδεις, αντιμυκητιακούς, αντισηπτικούς, βακτηριοκτόνους, αντικούς, κατασταλτικούς και απολυμαντικούς παράγοντες. Μεγάλη φαρμακευτική σημασία αποτελεί η παρουσία αλδεϋδών στα αιθέρια έλαια καθώς είναι αποτελεσματικές στη θεραπεία της candida και σε πολλές άλλες μυκητιασικές λοιμώξεις. Ορισμένα παραδείγματα κοινών αλδεϋδών που ανευρίσκονται στα αιθέρια έλαια αποτελούν η κιτράλη στο λεμόνι και η κιτρονελλόλη στο βάλσαμο λεμονιού, τον ευκάλυπτο και το λεμονόχορτο. (4)

### **3.2.4 Οξέα**

Τα οξέα, που υπάρχουν στα αιθέρια έλαια, τους παρέχουν αντιφλεγμονώδη δράση. Τα οργανικά οξέα υπάρχουν σε πολύ μικρή ποσότητα σε ελεύθερη μορφή, ενώ τα φυτικά οξέα δρουν ως συστατικά ή ρυθμιστικά συστήματα για τον έλεγχο της οξύτητας. Για παράδειγμα, στη βενζόη, περιέχεται βενζοϊκό και κινναμωμικό οξύ. (4)

### **3.2.5 Εστέρες**

Οι εστέρες είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ αλκοολών και οξέων. Οι εστέρες στα αιθέρια έλαια παρέχουν καταπραϋντικές ιδιότητες, αλλά και αντιφλεγμονώδεις, λόγω

της ύπαρξης αλκοολικών ομάδων μέσα στους εστέρες. Ακόμη, στις ιατρικές επιστήμες, θεωρείται ότι παρέχουν και αντιμυκητιασικές και ηρεμιστικές ιδιότητες, με εξισορροπητική δράση στο νευρικό σύστημα. Οι πιο συνηθισμένοι εστέρες που συναντάμε στα αιθέρια έλαια είναι η λιναλοόλη και το μυρμηκικό γερανύλιο που υπάρχουν στο περγαμόντο, τη λεβάντα και το αιθέριο έλαιο γερανιού. <sup>(2)</sup>

### **3.2.6 Κετόνες**

Οι κετόνες έχουν κύτταρα που πολλαπλασιάζονται συνεχώς, ενώ παράλληλα προσδίδουν αντικαταρροϊκές και αποχρεμπτικές ιδιότητες. Τα αιθέρια έλαια που περιέχουν ομάδες κετόνης προωθούν την επούλωση τραυμάτων και τη βελτίωση ουλών. <sup>(2)</sup> Γενικά οι κετόνες θεωρούνται τοξικές. Η πιο τοξική κετόνη είναι η κετόνη Thujone, που βρίσκεται στα έλαια του φασκόμηλου, του λεβιθόχορτου, του τανάκητου, της Αρτεμισίας (Αψιθιάς) και της τούγιας. Άλλες τοξικές κετόνες που συναντάμε σε αιθέρια έλαια είναι το pulegone στο φλησκούνι και το pinocamphone στον ύσσωπο. <sup>(4)</sup> Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένες μη τοξικές κετόνες, όπως το fenchone στο αιθέριο έλαιο του μάραθου, το jasmone στο αιθέριο έλαιο του ίασμου, το menthone στο αιθέριο έλαιο της μέντας και το carvone στο αιθέριο έλαιο του δυόσμου. <sup>(2)</sup>

### **3.2.7 Λακτόνες**

Οι λακτόνες έχουν αντιφλογιστικές, αντιφλεγμονώδεις, αντιπυρετικές και αποχρεμπτικές ιδιότητες. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές, ενώ έχουν την ικανότητα να μειώνουν τη σύνθεση προσταγλανδίνης και να δρουν αποχρεμπτικά ισχυρότερα απότι οι κετόνες. <sup>(4)</sup>

## **4. Φυσικά χαρακτηριστικά**

Το κύριο χαρακτηριστικό των αιθέριων ελαίων είναι η οσμή τους. Τα συστατικά των αιθέριων ελαίων βρίσκονται εν μέρει σε κατάσταση ατμού λόγω της υψηλής τάσης ατμών σε ατμοσφαιρική πίεση και σε θερμοκρασία δωματίου. Η αύξηση του αριθμού των ατόμων άνθρακα στη δομή έχει ως αποτέλεσμα μείωση της μεταβλητότητας. Τα μονοτερπένια έχουν τα υψηλότερα σημεία βρασμού. Ως εκ τούτου, οι ενώσεις αυτής της κατηγορίας είναι

εξαιρετικά πτητικές και εξατμίζονται γρήγορα. Τα σесκιτερπένια εξακολουθούν να είναι αρκετά πτητικά ώστε να είναι παρόντα ως αιθέρια έλαια. Τα διτερπένια βρίσκονται λιγότερο συχνά σε πτητικά κλάσματα. Από την απόσταξη φυτικού υλικού συνήθως προκύπτει ένα διαφανές, άχρωμο ή ανοιχτό κίτρινο υγρό, μη αναμειξιμο με το νερό και με πυκνότητα χαμηλότερη από αυτή του νερού. Ωστόσο υπάρχουν και ορισμένες εξαιρέσεις. Τα στερεά ή ημιστερεά αιθέρια έλαια λαμβάνονται από ξύλο *orris* και γουαϊκό ή πλουμέρια, αντίστοιχα. Το χαμομήλι δίνει αιθέριο έλαιο χρώματος μπλε, η ευρωπαϊκή βαλεριάνα πράσινο, το βετιβέρ καφέ, ενώ η κανέλα κίτρινο προς καφέ. Τα αιθέρια έλαια της κανέλας, του σασσαφράς και του βετιβέρ έχουν πυκνότητα ίση ή κοντά σε αυτή του νερού. Παράλληλα, τα αιθέρια έλαια είναι διαλυτά σε λίπη, αλκοόλες και στους περισσότερους οργανικούς διαλύτες. Στα συστατικά τους περιέχονται ασύμμετροι άνθρακες, που οδηγούν σε οπτική δραστηριότητα (οπτική περιστροφή). Χαρακτηρίζονται επίσης από δείκτη διάθλασης. Οι παράμετροι της πυκνότητας, της οπτικής περιστροφής και του δείκτη διάθλασης χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ποιότητας των αιθέριων ελαίων. <sup>(1)</sup>

## **5. Σταθερότητα αιθέριων ελαίων**

Τα πτητικά στοιχεία κατά την απελευθέρωση τους από τις φυτικές δομές (πόρους ή αδένες) γίνονται ευαίσθητα στη θερμοκρασία, το φως, την οξείδωση, ή την υδρόλυση. Η τελική σύσταση των αιθέριων ελαίων εξαρτάται αρχικά από τη χημική σύνθεση του φυτικού υλικού, και στη συνέχεια από την επεξεργασία και αποθήκευση των φυτικών υλικών, τις διαδικασίες απόσταξης και την επακόλουθη μεταχείριση των αιθέριων ελαίων. Ο κύριος παράγοντας μεταβολής της σταθερότητας των αιθέριων ελαίων είναι ο χημικός χαρακτήρας των συστατικών τους. Οι ενώσεις που περιέχουν διπλούς δεσμούς είναι επιρρεπείς σε αυτοοξείδωση επειδή η αφαίρεση ατόμων υδρογόνου οδηγεί σε σταθεροποιημένες ρίζες. Οι πολυακόρεστοι τερπενικοί υδρογονάνθρακες μπορούν να σχηματίσουν σταθεροποιημένες ρίζες με συζευγμένους διπλούς δεσμούς. Ταυτόχρονα, μπορεί να πραγματοποιηθεί ισομερισμός σε τριτογενείς ρίζες, οδηγώντας σε οξειδωτική επιδείνωση. Η πρόσβαση σε οξυγόνο προκαλεί τις αυθόρμητες αλυσιδωτές αντιδράσεις ελεύθερων ριζών, με αποτέλεσμα την παραγωγή ασταθών υπεροξειδίων, τα οποία αποσυντίθενται παρουσία φωτός, θερμότητας, ή κατά την αύξηση της οξύτητας. Μονοσθενείς έως πολυσθενείς

αλκοόλες, αλδεΐδες, κετόνες, εποξειδία, υπεροξειδία, οξέα ή πολυμερή που φέρουν οξυγόνο είναι σταθερά δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης. Ορισμένα τερπενοειδή που φέρουν οξυγόνο μετατρέπονται, ωστόσο, απευθείας σε οξειδωμένα δευτερογενή προϊόντα χωρίς σχηματισμό υδροϋπεροξειδίων. Καθώς το οξυγόνο που υπάρχει στον ελεύθερο χώρο διαχέεται στο δείγμα κατά τη διάρκεια του χρόνου αποθήκευσης, τα αιθέρια έλαια είναι αναγκαίο να φυλάσσονται σε πλήρως γεμισμένα δοχεία, ή, εάν είναι δυνατόν, θα πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία με αδρανές αέριο για την απομάκρυνση του εναπομείναντος αέρα και την πρόληψη οξειδωτικών αντιδράσεων. Οι δύο άλλοι παράγοντες που σχετίζονται αυστηρά με την οξειδωτική επιδείνωση των αιθέρων ελαίων είναι το φως και η θερμοκρασία. Το φως επιταχύνει την αυτοοξείδωση και το σχηματισμό αλκυλικών ριζών, καταλύει ενδομοριακές αντιδράσεις ισομερισμού ή τις μετατροπές trans – cis σε μονοτερπένια, και αυξάνει την αποικοδόμηση των μονοτερπενίων. <sup>(1)</sup>

## 6. Μέθοδοι εκχύλισης

Αρκετά μέρη από διάφορα αρωματικά φυτά μπορούν να εξαχθούν και να δημιουργήσουν αιθέρια έλαια τα οποία αργότερα θα βρουν εφαρμογή σε καλλυντικά, φαρμακευτικά προϊόντα και τομείς ασφάλειας τροφίμων. Η μέθοδος παρασκευής και η τεχνική που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των αιθέρων ελαίων επιλέγονται βάση των χαρακτηριστικών και των συστατικών που απαιτούνται στο εκχύλισμα βοτάνων. Κύριο παράγοντα για τη διασφάλιση της ποιότητας των αιθέρων ελαίων αποτελεί η μέθοδος εκχύλισης που χρησιμοποιείται, καθώς οι ακατάλληλες διαδικασίες εκχύλισης ενδέχεται να οδηγήσουν σε καταστροφή και να μεταβάλουν τη δράση των φυτοχημικών που υπάρχουν στα αρωματικά έλαια. Οι τελικές επιδράσεις που προκύπτουν μπορεί να είναι, για παράδειγμα, η απώλεια φαρμακολογικών συστατικών, η επίδραση χρώσης, η απώλεια γεύσης/οσμής και η φυσική αλλαγή των αιθέρων ελαίων.

Οι τεχνικές εκχύλισης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής δύο κατηγορίες: στις κλασικές και τις καινοτόμες μεθόδους. Με την εφαρμογή καινοτόμων τεχνικών, όπως διεργασίες υπερήχων και μικροκυμάτων, έχει βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας εκχύλισης όσον αφορά το χρόνο που απαιτείται για την απομόνωση του

αιθέριου ελαίου και της διασποράς ενέργειας, καθώς και τη βελτίωση της απόδοσης παραγωγής, και την υψηλή ποιότητα των αιθέριων ελαίων. Οι συμβατικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή αιθέριων φυτικών ελαίων βασίζονται στην απόσταξη νερού με τη διαδικασία θέρμανσης και παρουσιάζονται παρακάτω. <sup>(2)</sup>

### **6.1. Υδροαπόσταξη**

Αποτελεί τη παλαιότερη και απλούστερη μέθοδο εκχύλισης ελαίων. Ανακαλύφθηκε από την Avicenna και ήταν η πρώτη που ανέπτυξε εκχύλιση μέσω του αποστακτηρίου. Το τριαντάφυλλο αποτέλεσε το πρώτο φυτικό εκχύλισμα που χρησιμοποιήθηκε και καθαρίστηκε με αυτή τη μέθοδο. Οι διαδικασίες ξεκινούν με τη βύθιση των φυτικών υλικών απευθείας στο νερό μέσα στο αποστακτήριο (δοχείο) και τη βράση ολόκληρου του μείγματος. Οι συσκευές περιλαμβάνουν μια πηγή θέρμανσης, ένα δοχείο (αποστακτήριο), έναν συμπυκνωτή για τη μετατροπή ατμών από το δοχείο σε υγρό και μια καράφα για τη συλλογή του συμπυκνώματος και το διαχωρισμό των αιθέριων ελαίων με νερό. <sup>(2)</sup>

Η συγκεκριμένη τεχνική εκχύλισης θεωρείται ως η μοναδική μέθοδος εξαγωγής φυτικών υλικών όπως το ξύλο ή το άνθος και εφαρμόζεται συχνά σε εξαγωγές που περιλαμβάνουν υδρόφοβο φυσικό φυτικό υλικό με υψηλό σημείο βρασμού. Καθώς τα έλαια περιβάλλονται από νερό, αυτή η μέθοδος είναι σε θέση να προστατεύει τα αιθέρια έλαια που πρέπει να εξαχθούν σε κάποιο βαθμό χωρίς να υπερθερμανθούν. Κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής αποτελεί η ικανότητα του να απομονώνει φυτικά υλικά κάτω των 100°C. <sup>(2)</sup>

Λίγες είναι οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την εξαγωγή αιθέριων φυτικών ελαίων με τη χρήση της υδροαπόσταξης. Ο Al Okoh σύγκρινε μεταξύ τους τις διαδικασίες εκχύλισης της Υδροαπόσταξης (HD) και της Εξαγωγής Μικροκυμάτων χωρίς διαλύτες (SFME) σχετικά με τις ιδιότητες και την απόδοση αιθέριου ελαίου από το δεντρολίβανο (*Rosmarinus officinalis* L.). Η συνολική απόδοση του πτητικού κλάσματος μέσω της υδροαπόσταξης ήταν 0.31%, ενώ με τη μέθοδο SFME 0.39%. <sup>(2)</sup>

Η γενική διαδικασία υδροαπόσταξης έχει τροποποιηθεί με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Οι Golmakani και Rezaei ανέπτυξαν μία προηγμένη τεχνική διαδικασίας εκχύλισης HD με την ονομασία Microwave-assisted HD (MAHD), η οποία έδειξε υπεροχή στην ενέργεια διασποράς και στη περίοδο απομόνωσης καθότι διαρκεί 75 λεπτά σε σύγκριση με 4 ώρες στην HD. Ο Gavahian με τους συνεργάτες του ανακάλυψαν μία ακόμη προηγμένη τεχνική εκχύλισης HD, την Ohmic-assisted HD (OAHD), μέσω της οποίας το αιθέριο έλαιο του θυμαριού μπορεί να εκχυλιστεί σε διάστημα μόλις 25 λεπτών σε σύγκριση με τη μέθοδο HD. Παράλληλα δεν παρατηρείται καμία μεταβολή στα χαρακτηριστικά των συστατικών του θυμαριού που λαμβάνονται από OAHD και HD. <sup>(2)</sup>

## **6.2 Απόσταξη με ατμό**

Η μέθοδος απόσταξης με ατμό αποτελεί την ευρύτερα εφαρμοζόμενη τεχνική εκχύλισης αιθέριου φυτικού ελαίου. Το ποσοστό των αιθέριων ελαίων που εξάγονται με αυτή την τεχνική είναι 93%, ενώ το υπόλοιπο 7% μπορεί να εξαχθεί περαιτέρω με άλλες μεθόδους. Η διαδικασία ξεκίνησε με θέρμανση φυτικού υλικού χρησιμοποιώντας ατμό, ο οποίος παρέχεται μέσω γεννήτριας ατμού. Η θερμότητα αποτελεί τον κύριο παράγοντα που καθορίζει το πόσο αποτελεσματικά οι δομές των φυτικών υλικών διασπώνται, εκρήγνυνται και απελευθερώνουν τα αρωματικά συστατικά ή τα αιθέρια έλαια. <sup>(2)</sup>

Η Masango ανέπτυξε μία καινοτόμο τεχνική απόσταξης με ατμό ώστε να αυξήσει τις απομονωμένες αποδόσεις αιθέριου ελαίου και να μειώσει την ποσότητα των λυμάτων που παράγονται κατά τη διαδικασία εκχύλισης. Το σύστημα χρησιμοποιεί μια συσκευασμένη κλίνη των δειγμάτων των φυτών τοποθετημένη πάνω από την πηγή ατμού. Μέσα από τα φυτά επιτρέπεται να διέρχεται μόνο ο ατμός, ενώ το βραστό νερό δεν αναμιγνύεται με τα βοτανικά υλικά. Ως εκ τούτου, η διαδικασία απαιτεί λιγότερο ατμό και η ποσότητα νερού στο απόσταγμα μπορεί να μειωθεί. <sup>(2)</sup>

### **6.3 Hydrodiffusion (Υδροδιάχυση)**

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, κατά τη διαδικασία εκχύλισης, ο ατμός παρέχεται σε ένα δοχείο όπου περιέχονται φυτικά υλικά. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται μόνο σε αποξηραμένα δείγματα φυτών, τα οποία μπορούν να καταστραφούν σε θερμοκρασία βρασμού. Κατά τη διαδικασία απόσταξης με ατμό, ο ατμός εφαρμόζεται από το κάτω μέρος της γεννήτριας ατμού, ενώ στη μέθοδο hydrodiffusion ο ατμός παρέχεται από την κορυφή της γεννήτριας. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε χαμηλή πίεση ή κενό και η θερμοκρασία του ατμού μπορεί να μειωθεί κάτω από τους 100°C. (2)

Αυτή η μέθοδος διάχυσης ατμού ενισχύθηκε περαιτέρω με την προσθήκη τεχνολογίας μικροκυμάτων. Η Bousbia με την ερευνητική της ομάδα διερεύνησαν τη διαφορά στην απόδοση μεταξύ των καινοτόμων μικροκυμάτων Hydrodiffusion and Gravity (MHG) και μίας παραδοσιακής μεθόδου όπως η υδροαπόσταξη. Σε άλλη έρευνα μελετήθηκε η απομόνωση αιθέριου ελαίου από φλούδα πορτοκαλιού χρησιμοποιώντας μία καινοτόμο τεχνική διάχυσης ατμού (SDf) που ονομάζεται διάχυση ατμού μικροκυμάτων (MSDf). Τα αποτελέσματα απόδοσης της εκχύλισης έδειξαν ότι η περίοδος απομόνωσης των αιθέριων ελαίων με την τεχνική MSDf είναι εντός 12 λεπτών, ενώ είχε και παρόμοια απόδοση και αρωματικό προφίλ με αυτά που λήφθηκαν από την SDf για 40 λεπτά. (2)

### **6.4 Εκχύλιση με χρήση διαλύτη**

Οι συνήθεις διαλύτες, όπως η ακετόνη, ο πετρελαϊκός αιθέρας, το εξάνιο, η μεθανόλη ή η αιθανόλη, έχουν χρησιμοποιηθεί με τη τεχνική αυτή με σκοπό την εξαγωγή εύθραυστων ή ευαίσθητων υλικών των λουλουδιών που δεν μπορούν να εξαχθούν με θερμότητα ή ατμό. Τα φυτικά δείγματα αναμιγνύονται με τους διαλύτες για εκχύλιση με ήπια θέρμανση του μίγματος, και ακολουθεί διήθηση και εξάτμιση των διαλυτών. Το διήθημα περιέχει μία ρητίνη (ρητινοειδές) ή το μείγμα κεριού, αρώματος και αιθέριου ελαίου. Η αλκοόλη και το μείγμα αναμιγνύονται προκειμένου να διαλυθεί το αιθέριο έλαιο σε αυτό και έπειτα αποστάζεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά τη διάρκεια της απόσταξης, η αλκοόλη απορροφά το άρωμα και εξατμίζεται, ενώ αρωματικό λάδι παραμένει στο υπόλειμμα της κατασρόλας. Συγκριτικά με άλλες μεθόδους, αυτή η μέθοδος είναι πιο περίπλοκη για την



εξαγωγή αιθέριων ελαίων, και κατ' επέκταση χρονοβόρα και ακριβότερη. (2)



Εικ.1 <https://helloglow.co/essential-oils-for-allergies/>



Εικ. 2 <https://www.sallywilliamsphotography.com/>

## 7. Βιοδιαθεσιμότητα

Ο όρος βιοδιαθεσιμότητα αντιπροσωπεύει τις φαρμακοδυναμικές και φαρμακοκινητικές παραμέτρους που καθορίζουν το όριο συγκέντρωσης που φθάνει στη γενική κυκλοφορία του αίματος. Η βιοδιαθεσιμότητα χωρίζεται σε δύο αλληλένδετα υποσύνολα, τη βιοπροσβασιμότητα και τη βιοδραστικότητα. Ως βιοπροσβασιμότητα ορίζεται η ποσότητα ή το κλάσμα που απελευθερώνεται από τη μήτρα στο γαστρεντερικό σωλήνα και είναι διαθέσιμο για απορρόφηση. Παράλληλα περιγράφει τη διαθεσιμότητα της ένωσης για αφομοίωση μετά τους πεπτικούς μετασχηματισμούς, την απορρόφηση και τον προσυστημικό εντερικό και ηπατικό μεταβολισμό. Η έννοια της βιοδραστικότητας περιλαμβάνει τις διαδικασίες εισόδου του φαρμάκου στη συστηματική κυκλοφορία, τη μεταφορά του στο σημείο - στόχο και τις αλληλεπιδράσεις με διάφορα βιομόρια, με αποτέλεσμα την έκφραση διαφόρων μεταβολικών και φυσιολογικών επιδράσεων.

Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητα των αιθέριων ελαίων, όπως οι φυσικοχημικές, βιοχημικές και φυσιολογικές αλληλεπιδράσεις, οι διατροφικές συνήθειες, ο τρόπος ζωής καθώς και ο γενότυπος.<sup>(1)</sup> Οι κύριες οδοί πρόσληψης των αιθέριων ελαίων είναι η εφαρμογή στο δέρμα, η εισπνοή και η πρόσληψη από το στόμα. Θεωρείται ότι η βιοδιαθεσιμότητα των αιθέριων ελαίων είναι μέγιστη (100%) με ενδοφλέβια χορήγηση και μειώνεται κατά τις άλλες οδούς χορήγησης. Ωστόσο, η βιοδιαθεσιμότητα των συστατικών των αιθέριων ελαίων που χορηγούνται από το στόμα μπορεί να είναι πολύ υψηλή, όπως αναφέρεται για την 1,8-σινεόλη με ποσοστό βιοδιαθεσιμότητας 95,6%. Επιπλέον, πρόσφατες αναφορές επιβεβαιώνουν ότι τα περισσότερα αιθέρια έλαια απορροφώνται ταχέως και κατά τη δερματική ή πνευμονική χορήγηση. Για να ορίσουμε τη βιοδιαθεσιμότητα και κυρίως τη βιοδραστικότητα των αιθέριων ελαίων, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε πως και σε ποια ποσότητα θα μπορούσαν να εισέλθουν στην κυκλοφορία του αίματος και πώς κατανέμονται μέσα στο σώμα, γεγονός που αντικατοπτρίζει τα ζητήματα ασφάλειας των αιθέριων ελαίων. <sup>(1)</sup>

### **Δερματική χορήγηση**

Τα συστατικά των αιθέριων ελαίων διεισδύουν από την επιφάνεια του δέρματος και μέσω της κεράτινης στιβάδας, προς το χόριο και τελικά στην κυκλοφορία του αίματος η οποία επικοινωνεί με όλα τα ζωτικά όργανα του ανθρώπινου σώματος. Τα αιθέρια έλαια είναι γνωστά για τις θετικές τους επιδράσεις στο δέρμα και την πρόληψη και επούλωση ορισμένων δερματολογικών διαταραχών. Υπάρχουν πρόσφατες εφαρμογές των αιθέριων ελαίων ενθυλακωμένων με λιποσώματα στα καλλυντικά. <sup>(1)</sup>

### **Εισπνοή**

Οι εισπνεόμενες ουσίες μεταφέρονται μέσω της τραχείας στους βρόγχους, στη συνέχεια στα βρογχίδια και τελικά προς τις πνευμονικές κυψελίδες, οι οποίες είναι πολύ αποτελεσματικές στη μεταφορά μικρών μορίων, όπως τα τερπένια, στην κυκλοφορία του αίματος. Αποτελεί τον πιο άμεσο τρόπο εισχώρησης των αιθέριων ελαίων στον οργανισμό. <sup>(1)</sup>

## **Από του στόματος χορήγηση**

Η από του στόματος χορήγηση των ελεύθερων αιθέριων ελαίων γίνεται γενικά με αραίωση σε γάλα, γάλα σόγιας, ελαιόλαδο ή άλλα φυτικά έλαια. Αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τρόπο χορήγησης ενθυλακωμένων αιθέριων ελαίων σε περιπτώσεις συμπληρωμάτων διατροφής και φαρμακοτροφίμων. Ο εγκλωβισμός των αιθέριων ελαίων ή/και των ήδη εκχυλισμένων επιμέρους βιοδραστικών ενώσεων τους επιτρέπει τη στοχευμένη και ελεγχόμενη απελευθέρωση των ελαίων, προφυλάσσει τα έλαια από την αποδόμηση και τις απώλειες και επιτρέπει τη συγκάλυψη της δυσάρεστης γεύσης και οσμής μέσω της πρόσληψης από το στόμα. <sup>(1)</sup>

## **8. Ενθυλάκωση αιθέριων ελαίων**

Γνωρίζοντας τις ισχυρές βιολογικές επιπτώσεις, τα οφέλη των αιθέριων ελαίων στην υγεία και τις ιδιαίτερες φυσικοχημικές τους ιδιότητες, παρουσιάζεται η ανάγκη ενθυλάκωσης αυτών και των συστατικών τους για την επίτευξη στόχων, όπως η ενίσχυση της οξειδωτικής σταθερότητας, της θερμοσταθερότητας, της φωτοσταθερότητας, της διάρκειας ζωής και της βιολογικής τους δραστηριότητας. Επιπλέον στοχεύει στην αντιμετώπιση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ (α) των κύριων συστατικών του φορέα, όπως οι πολυσακχαρίτες, οι πρωτεΐνες και τα ίδια τα λιπίδια (προκειμένου να σχηματιστεί χημικά και μηχανικά σταθερή δομή), (β) των κύριων συστατικών του φορέα με τη πεψίνη υπό γαστρικές συνθήκες (προκειμένου να σχηματιστεί ανθεκτικό υλικό υπό γαστρικές συνθήκες), και (γ) των κύριων συστατικών του φορέα με τα αιθέρια έλαια (προκειμένου να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα της ενθυλάκωσης), ως απαραίτητη προϋπόθεση για τη βελτιστοποίηση ολόκληρης της διαδικασίας. <sup>(1)</sup>

Αρκετές φορές έχει αναφερθεί η βελτίωση της βιοδραστηριότητας των αιθέριων ελαίων μέσω της ενθυλάκωσης. Για παράδειγμα, το ενθυλακωμένο έλαιο μέντας σε γαλακτώματα με βάση το άμυλο παρουσίασε αυξημένα χαρακτηριστικά βιοδιαθεσιμότητας και σταθερότητας, καθώς και ενισχυμένη δράση κατά του *Listeria monocytogenes* και του *Staphylococcus aureus* σε σύγκριση με το ελεύθερο αιθέριο έλαιο. Τελικά, αποδείχθηκε ότι η αντιβακτηριακή δράση των αιθέριων ελαίων μετά την νανοενθυλάκωσή τους συχνά

κατάφερε να ξεπεράσει την αποτελεσματικότητα των σημερινών αντιβιοτικών. <sup>(1)</sup>

Η σταθερότητα, η κινητική απελευθέρωση και η σχετική βιοδιαθεσιμότητα και βιοδραστικότητα του ενθυλακωμένου υλικού βασίζονται σε μεγάλο βαθμό από την τεχνολογία ενθυλάκωσης. Αρκετές τεχνικές ενθυλάκωσης, όπως ξήρανση με ψεκασμό, εξώθηση, συγκατακρήμνιση, γαλακτωματοποίηση, χρησιμοποιούνται σήμερα για την ενθυλάκωση αιθέριων ελαίων, ανάλογα με τα κύρια χαρακτηριστικά του βασικού υλικού και του φορέα, καθώς και την εφαρμογή ενθυλακωμένων υλικών. <sup>(1)</sup>

Όσο αφορά την ξήρανση με ψεκασμό, αποτελεί μία γρήγορη, συνεχή, σχετικά χαμηλού κόστους λειτουργία παραγωγής, με δυνατότητα εύκολης αύξησης της παραγωγής. Τα βιομόρια που εφαρμόζονται ως φορείς για τη συγκεκριμένη τεχνική είναι μαλτοδεξτρίνες, άμυλο, κόμμι αραβική και χιτοζάνη. Τα μειονεκτήματα της τεχνικής είναι το μη ομοιόμορφο μέγεθος και σχήμα των σωματιδίων, η τάση για συσσωμάτωση των σωματιδίων, η διαλυτότητα του υλικού φορέα στο νερό σε αποδεκτό επίπεδο, και η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες. <sup>(1)</sup>

Η συγκατακρήμνιση θα μπορούσε να θεωρηθεί η κατάλληλη τεχνική για τη κάλυψη σταγονιδίων αιθέριου ελαίου με μονό κέλυφος (απλή συγκατακρήμνιση) ή κέλυφος δύο στρωμάτων (σύνθετη συγκατακρήμνιση). Το υλικό του κελύφους πρέπει να εξασφαλίζει την ακαμψία του φορέα λαδιού, τη θερμική και χημική σταθερότητα υπό γαστρική κατάσταση και τη διαλυτότητα σε υγρό εντέρου. Το κέλυφος δύο στρωμάτων αποτελείται από το εσωτερικό στρώμα, που είναι κοντά στα σταγονίδια και μπορεί να κατασκευαστεί από αμφίφυλα υλικά, όπως πρωτεΐνες ή ορισμένες επιφανειοδραστικές ουσίες, και από το εξωτερικό στρώμα, που αποτελείται συνήθως από υδρογέλες πολυσακχαρίτη. Αυτές είναι ικανές να εξασφαλίσουν μηχανική σταθερότητα των φορέων ελαίου και να ικανοποιήσουν τις προτεινόμενες συνθήκες διεργασίας. <sup>(1)</sup>

Η εξώθηση είναι μία τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τη συγκατακρήμνιση. Η συγκεκριμένη τεχνική είναι κατάλληλη για τη παρασκευή μονοφασικών πολυσακχαριτών και πολυφασικών μητρών υδρογέλης, και μιγμάτων

υδρογέλης πολυσακχαρίτη- πρωτεΐνης με τη μορφή μικροσφαιριδίων. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η χημική σταθερότητα των σφαιριδίων σε συνθήκες αποθήκευσης και υπό γαστρικές συνθήκες, η μηχανική σταθερότητα των σφαιριδίων και η δυνατότητα ενθυλάκωσης υδρόφοβων ή υδρόφιλων δραστικών ουσιών. Αντίθετα, μειονεκτήματα αποτελούν ο χαμηλός ρυθμός παραγωγής και οι δυσκολίες κλιμάκωσης. <sup>(1)</sup>

Ακόμη μία συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι η γαλακτωματοποίηση. Τα γαλακτώματα, όπως τα φυτικά έλαια, με την προσθήκη πρωτεϊνών και γαλακτωματοποιητών αποτελούν καλή επιλογή ως φορείς για την ενθυλάκωση υδρόφοβων δραστικών ενώσεων. Η τεχνική της γαλακτωματοποίησης θεωρείται κατάλληλη για την παρασκευή σωματιδίων μικρού μεγέθους (10 μm-1 mm), σε σύγκριση με την τεχνική της εξώθησης. Ωστόσο, το κόστος επεξεργασίας φαίνεται να είναι υψηλότερο σε σύγκριση με την εξώθηση. <sup>(1)</sup>

Όσον αφορά την επιλογή του υλικού φορέα για χορήγηση από το στόμα, αυτή εξαρτάται από την επιφανειακή δραστηριότητα της δραστικής ένωσης, τις συνθήκες επεξεργασίας, τις συνθήκες αποθήκευσης και το κόστος και την κλίμακα παραγωγής. Στο πλαίσιο της στοχευμένης χορήγησης των φορέων στο κατώτερο έντερο, θα πρέπει να διατηρούν την ακεραιότητά τους υπό γαστρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του χρόνου καθυστέρησης. Για να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του φορέα, είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι αλληλεπιδράσεις της πεψίνης με τα κύρια συστατικά της μήτρας του φορέα σε μοριακό επίπεδο και η δομή του φορέα σε υπερμοριακό επίπεδο. <sup>(1)</sup>

Δύο ομάδες φορέων που χρησιμοποιούνται συχνά στη βιβλιογραφία είναι: (α) οι φορείς από φυσικά μακρομόρια και (β) οι φορείς με βάση τα λιπίδια. Οι φορείς που κατασκευάζονται από φυσικά μακρομόρια μπορούν να χωριστούν σε μικρότερες ομάδες όπως: (1) μονοφασικές υδρογέλες πολυσακχαριτών, (2) πολυφασικές υδρογέλες πολυσακχαριτών με τη μορφή μιγμάτων ή πολυστρωματικών μικροσφαιριδίων, (3) υδρογέλες πολυσακχαριτών-πρωτεϊνών με τη μορφή μιγμάτων, (4) φορείς με βάση τα λιπίδια, όπως ορισμένα φυτικά έλαια και λιποσώματα, και (5) φορείς λιπιδίων-πρωτεϊνών.

Διάφορες ιοντικές υδρογέλες πολυσακχαριτών έχουν χρησιμοποιηθεί ως μήτρα του φορέα κυρίως για τον εγκλωβισμό υδρόφιλων δραστικών ενώσεων, όπως ορισμένοι τύποι πολυφαινολών. Ορισμένα παραδείγματα είναι το αλγινικό ασβέστιο, το αλγινικό κόμμι κάσιους, το κόμμι κάσιους-ινουλίνη, το αλγινικό κόμμι ξανθάνης, το κόμμι ξανθάνης-πηκτίνη, η αλγινική πεκτίνη και η αλγινική χιτοζάνη. Οι υδρογέλες πολυσακχαριτών-πρωτεϊνών θεωρούνται κατάλληλες για τον εγκλωβισμό υδρόφοβων δραστικών ενώσεων, όπως τα αιθέρια έλαια και ορισμένοι τύποι πολυφαινολών, λόγω των αμφίφυλων ιδιοτήτων των πρωτεϊνών. Μερικές συχνά χρησιμοποιούμενες πρωτεΐνες που αναμειγνύονται με αλγινικό άλας, πηκτίνη και ξανθάνη είναι το λούπινο, η λεκιθίνη σόγιας, η γλιαδίνη, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος, η ζελατίνη, και πολλές άλλες. Τα λιποσώματα είναι κατάλληλα για την ενθυλάκωση υδρόφιλων και υδρόφοβων δραστικών ενώσεων. Τα φυτικά έλαια που φθάνουν σε τριγλυκερίδια μακράς αλυσίδας αποτελούν καλή επιλογή για την ενθυλάκωση των αιθέριων ελαίων χάρη στην ανθεκτικότητάς τους στη δράση της πεψίνης.<sup>(1)</sup>

### **8.1 Φορείς με βάση πολυσακχαρίτες**

Οι πολυσακχαρίτες, όπως το αλγινικό άλας, η χιτοζάνη και η μαλτοδεξτρίνη, χρησιμοποιούνται ευρέως με τη μορφή φυσικών ή χημικών υδρογελών για την ενθυλάκωση των αιθέριων ελαίων. Το αλγινικό άλας αποτελεί κοινή ονομασία για μια ολόκληρη οικογένεια φυσικών, υδατοδιαλυτών, γραμμικών μακρομορίων υψηλής μοριακής μάζας (μεταξύ 32.000 και 400.000 g/mol) που εξάγονται κυρίως από είδη καφέ φυκιών. Η κατανομή των μονάδων μαννουρονικού και γουλουρονικού οξέος στην αλγινική αλυσίδα, καθώς και η αναλογία τους, εξαρτάται από τη φυσική πηγή του αλγινικού οξέος (είδος άλγης, εποχή, τοποθεσία κ.λπ.) και καθορίζει κατά κύριο λόγο τις φυσικές και χημικές ιδιότητές τους. Ομοίως με το αλγινικό, οι αλυσίδες χιτοζάνης συμπεριφέρονται επίσης ως ημιεύκαμπτες αλυσίδες.<sup>(1)</sup>

Το αλγινικό ασβέστιο έχει προταθεί για τη βελτίωση της βιοδιαθεσιμότητας, της θερμικής σταθερότητας και της βιολογικής δραστηρότητας των δραστικών ενώσεων υπό προσομοιωμένες συνθήκες γαστρεντερικής λειτουργίας. Ωστόσο, η ανεπιθύμητη διαρροή

αιθέριων ελαίων θα μπορούσε να προκύψει από ασθενείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δραστικών ενώσεων και της μήτρας υδρογέλης. Προκειμένου να βελτιωθούν οι επιδόσεις των φορέων, τα σφαιρίδια αλγινικού ασβεστίου θα μπορούσαν να επικαλυφθούν με χιτοζάνη. <sup>(1)</sup>

Η μαλτοδεξτρίνη είναι ένα υδρολυμένο άμυλο που χρησιμοποιείται για τη μικροενθυλάκωση των αιθέριων ελαίων σε συνδυασμό με επιφανειοδραστικά βιοπολυμερή, όπως το αραβικό κόμμι, τροποποιημένα άμυλα και πρωτεΐνες, στοχεύοντας την εξασφάλιση μιας αποτελεσματικής ενθυλάκωσης με τη διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό. Επιπλέον είναι γνωστό ότι η μαλτοδεξτρίνη παρέχει καλή θερμική σταθερότητα και προστασία από την οξείδωση, αλλά ταυτόχρονα εξασφαλίζει χαμηλή γαλακτωματοποιητική ικανότητα. Ως εκ τούτου, είναι σημαντική η ανάμειξη μαλτοδεξτρίνης με επιφανειοδραστικά βιοπολυμερή ώστε να προωθηθεί η πτητική κατακράτηση των βιοδραστικών ενώσεων κατά τη διαδικασία ξήρανσης. Πρόσφατα, αποδείχθηκε ότι η μαλτοδεξτρίνη ως υλικό μεταφοράς έχει επίσης την ικανότητα να παρέχει προστασία των πολυφαινολικών ενώσεων από τις δράσεις των ενζύμων σε συνθήκες προσομοίωσης του γαστρεντερικού σωλήνα. <sup>(1)</sup>

## **8.2 Φορείς με βάση πρωτεΐνες**

Οι πρωτεΐνες, ως φυσικά πολυμερή, έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο μόνες τους, όσο και σε συνδυασμό με υδρογέλες πολυσακχαριτών ως υλικά μεταφοράς για μικροενθυλάκωση πολλών αιθέριων ελαίων, εξαιτίας των δεσμευτικών υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων και της έλξης δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων. Προϋπόθεση για το σχηματισμό της μήτρας των φορέων με βάση τις πρωτεΐνες αποτελεί η αυτοδιασταυρούμενη σύνδεση πρωτεϊνών μεταξύ των αλυσίδων και εντός της αλυσίδας. Η διασταύρωση θα μπορούσε να προκληθεί σε ορισμένες περιπτώσεις με θερμική επεξεργασία ή με αλλαγή του pH ενός διαλύματος. Ορισμένοι φορείς με βάση τις πρωτεΐνες, όπως η ζελατίνη, η καζεΐνη, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος και οι πρωτεΐνες σόγιας, έχουν χρησιμοποιηθεί για την ενθυλάκωση θερμοευαίσθητων, υδρόφοβων βιοδραστικών ενώσεων. <sup>(1)</sup>

Σε σύγκριση με τους φορείς με βάση τις πρωτεΐνες, ο συνδυασμός φορέων πρωτεΐνης-πολυσακχαρίτη μπορεί να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες και τις ιδιότητες

απελευθέρωσης των συστημάτων χορήγησης και να αποτρέψει την ενζυματική αποικοδόμηση των πρωτεϊνών σε γαστρική κατάσταση. Σύμφωνα με αρκετές μελέτες, οι σφαιρικές πρωτεΐνες, καθώς και οι υδρολύσεις πρωτεϊνών ορού γάλακτος, μπορούν να μειώσουν την ανεπιθύμητη οξείδωση των αιθέριων ελαίων και να παρέχουν καλύτερη οξειδωτική σταθερότητα των φορέων. Οι φορείς πρωτεϊνών-πολυσακχαριτών αποτελούν εξαιρετικά συστήματα για την ενθυλάκωση αιθέριων ελαίων προκειμένου να σταθεροποιηθούν αυτές οι δραστικές ενώσεις και να προστατευθούν από τη χημική αποικοδόμηση. Επιπλέον πλεονέκτημα αποτελεί η ποιότητα της διατροφής, η εύκολη διαδικασία παρασκευής και το χαμηλό κόστος. Τα μειονεκτήματα σχετίζονται με τη χαμηλή αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης, τη χωρητικότητα φόρτωσης και την αποτελεσματικότητα απελευθέρωσης στο λεπτό έντερο. Με τη προσθήκη πρωτεϊνικών συστάδων βελτιώνεται η θερμική και μηχανική τους σταθερότητα και η διατροφική τους ποιότητα. <sup>(1)</sup>

### **8.3 Φορείς με βάση λιπίδια**

Φορείς με βάση τα λιπίδια που παρασκευάζονται από φυτικά έλαια έχουν αξιοποιηθεί ευρέως για την ενθυλάκωση των αιθέριων ελαίων. Κύρια πλεονεκτήματα αυτών των φορέων αποτελούν η καλή απόδοση ενθυλάκωσης, η σταθερότητα των δραστικών ενώσεων σε συνθήκες αποθήκευσης και σε γαστρικές συνθήκες, και η θερμική σταθερότητα. <sup>(1)</sup>

Άλλοι τύποι σωματιδίων με βάση τα λιπίδια είναι τα λιποσώματα και οι στερεοί φορείς λιπιδίων. Αυτός ο τύπος φορέων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενθυλάκωση υδρόφοβων, υδρόφιλων και αμφίφυλων μορίων. Όσο αφορά τα μειονεκτήματα των λιποσωμάτων, αναφέρονται η πολύπλοκη και δαπανηρή διαδικασία παρασκευής, και η μειωμένη σταθερότητα σε συνθήκες αποθήκευσης. <sup>(1)</sup>

Οι λιπιδικοί φορείς μπορούν να συνδυαστούν με πρωτεΐνες προκειμένου να βελτιωθεί η χημική και μηχανική σταθερότητά τους, καθώς και η αποτελεσματικότητα της ενθυλάκωσης. Φορείς που παρασκευάζονται με ανάμειξη πρωτεϊνών και λιπιδικών συστατικών έχουν αξιοποιηθεί με επιτυχία για την ενθυλάκωση πολυφαινολών. <sup>(1)</sup>



## 9. Ανεπιθύμητες ενέργειες

Πέρα από τις ευεργετικές τους ιδιότητες, τα αιθέρια έλαια παρουσιάζουν συχνά και ανεπιθύμητες ενέργειες, καθώς είναι δραστικές ουσίες και ο χειρισμός τους οφείλεται να γίνεται με προσοχή. Κατά τη παραγωγή μιγμάτων είναι σημαντικό να τηρούνται οι προτεινόμενες δοσολογίες και οι κανόνες ασφαλούς χρήσης. Όσο τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται ακολουθώντας τις σωστές αναλογίες, θεωρούνται απολύτως ακίνδυνα. Σχετικά με τη δερματική χορήγηση, ορισμένα αιθέρια έλαια, λόγω της αυξημένης τοξικότητας που παρουσιάζουν, δεν μπορούν να έρχονται σε άμεση επαφή με το δέρμα. Επιπλέον, ορισμένα αιθέρια έλαια, συνήθως των εσπεριδοειδών, είναι φωτοευαίσθητα, επομένως πριν και μετά την εφαρμογή τους είναι απαραίτητη η αποφυγή της έκθεσης του ατόμου στον ήλιο. Για τη τοξικότητα των αιθέριων ελαίων μπορεί να ευθύνονται και οι διαδικασίες οξείδωσης, στη περίπτωση που αυτά αποθηκευτούν ακατάλληλα ή για μεγάλο χρονικό διάστημα. <sup>(6)</sup>



Εικ 3 <https://gr.pinterest.com/pin/503981014554136134/>



Εικ. 4 <https://gr.pinterest.com/pin/503981014557716248/>

## 10. Αντιμικροβιακή δράση

Η αντιμικροβιακή δράση των φυτικών εκχυλισμάτων έχει διερευνηθεί από την ανακάλυψη της πενικιλίνης. Εκείνη την εποχή ξεκίνησαν οι μελέτες σχετικά με τη βιοχημική οικολογία και ανέδειξαν τους μηχανισμούς άμυνας των φυτών, μεταξύ των οποίων και της αντιμικροβιακής άμυνας. <sup>(7)</sup> Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη νέων αντιμικροβιακών παραγόντων από τα αιθέρια έλαια λόγω της ανθεκτικότητας των τροφιμογενών βακτηριακών εντερικών παθογόνων στα φάρμακα. <sup>(8)</sup>

Τα αιθέρια έλαια αποτελούνται από πολύπλοκα μείγματα διαφορετικών χημικών ομάδων με πολλαπλούς στόχους και μηχανισμούς δράσης μέσα στο κύτταρο. Μεταξύ των μηχανισμών περιλαμβάνονται η μείωση των μεταβολιτών και των ιόντων από το κυτταρόπλασμα λόγω του διαχωρισμού των μεμβρανών και των λιπιδίων, η πήξη του κυτταροπλάσματος και η διάσπαση του κυτταρικού τοιχώματος. Ο μεγάλος αριθμός και η ποικιλομορφία των μορίων στα εκχυλίσματα των φυσικών προϊόντων συχνά προάγουν τη συνέργεια μεταξύ τους, ενώ ταυτόχρονα και τα δευτερεύοντα συστατικά μπορούν να διαδραματίσουν σημαντική συνεργατική δράση στις δραστικές ενώσεις. <sup>(7)</sup> Ως ελάχιστη ανασταλτική συγκέντρωση (MIC) καλείται η μικρότερη συγκέντρωση αντιμικροβιακού παράγοντα που αναστέλλει πλήρως την ανάπτυξη του εκάστοτε μικροοργανισμού. Θεωρείται ότι για τον προσδιορισμό της τιμής MIC οι ιδανικότερες αναλύσεις είναι οι μέθοδοι αραίωσης, καθώς παρέχουν τη δυνατότητα ακριβούς εκτίμησης της συγκέντρωσης του εξεταζόμενου αντιμικροβιακού παράγοντα. <sup>(8)</sup> Αρκετά πειράματα έχουν αποδείξει ότι τα αιθέρια έλαια έχουν υψηλότερη αντιμικροβιακή δράση συγκριτικά με τα αμιγή δραστικά τερπένια. <sup>(7)</sup> Τα βιολογικά ενεργά προϊόντα χρησιμοποιούνται ευρέως στις βιομηχανίες τροφίμων και καλλυντικών ως αντιμικροβιακά συντηρητικά. <sup>(8)</sup>

### 10.1 Μηχανισμός δράσης

Η δραστικότητα των αιθέριων ελαίων εξαρτάται από τη σύνθεση, τις λειτουργικές ομάδες που υπάρχουν στα δραστικά συστατικά, και τις συνεργατικές αλληλεπιδράσεις τους. Η αντιμικροβιακή δράση ποικίλλει με βάση τον τύπο του αιθέριου ελαίου ή το στέλεχος του μικροοργανισμού που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι τα θετικά κατά

Gram βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα στα αιθέρια έλαια σε σχέση με τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια διαθέτουν μία εξωτερική μεμβράνη η οποία είναι άκαμπτη, πλούσια σε λιποπολυσακχαρίτη (LPS) και πιο πολύπλοκη, περιορίζοντας τη διάχυση υδρόφοβων ενώσεων μέσω αυτής, σε σχέση με τα θετικά κατά Gram βακτήρια που περιβάλλονται από ένα παχύ τοίχωμα πεπτιδογλυκάνης, όχι αρκετά πυκνό ώστε να αντιστέκεται σε μικρά αντιμικροβιακά μόρια, διευκολύνοντας τη πρόσβαση στη κυτταρική μεμβράνη. Επιπλέον, στα θετικά κατά Gram βακτήρια μπορεί να είναι πιο εύκολη η διείσδυση υδρόφοβων ενώσεων των αιθέριων ελαίων λόγω των λιπόφιλων άκρων του λιποτειχοϊκού οξέος που υπάρχουν στη κυτταρική μεμβράνη. <sup>(8)</sup>

Σε αρκετές μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι τα βιοενεργά συστατικά που εμπεριέχονται στα αιθέρια έλαια μπορούν να προσκολληθούν στην επιφάνεια του κυττάρου και έπειτα να διεισδύσουν στη διπλοστοιβάδα φωσφολιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης. Η δομική ακεραιότητα της κυτταρικής μεμβράνης διαταράσσεται εξαιτίας της συσσώρευσής τους, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται δυσμενώς ο κυτταρικός μεταβολισμός και να επέρχεται κυτταρικός θάνατος. Επιπλέον, έχει αναφερθεί ότι η μεταβολή της διαπερατότητας της μεμβράνης, που προκαλείται από την δράση των αιθέριων ελαίων, οδηγεί σε απώλεια ζωτικών ενδοκυτταρικών περιεχομένων, όπως πρωτεϊνών, αναγωγικών σακχάρων, ATP και DNA, και αναστέλλει τη παραγωγή ενέργειας (ATP) και των σχετικών ενζύμων, με αποτέλεσμα τη καταστροφή του κυττάρου και τη διαρροή ηλεκτρολυτών. Κατά συνέπεια, η αντιμικροβιακή δράση των αιθέριων ελαίων οφείλεται σε ένα πλήθος από αντιδράσεις που αφορούν ολόκληρο το βακτηριακό κύτταρο. <sup>(8)</sup>

## **11. Συστατικά αιθέριων ελαίων με αντιμικροβιακή δράση**

Τα κύρια συστατικά των αιθέριων ελαίων μπορούν να συνιστούν έως και το 85%, ενώ άλλα συστατικά απαντώνται σε μικρότερες ποσότητες. Οι βιολογικές ιδιότητες των αιθέριων ελαίων εξαρτώνται άμεσα από τα κύρια συστατικά τους, μεταξύ των οποίων και δύο ομάδες διαφορετικής βιοσυνθετικής προέλευσης. Τις κύριες ομάδες αποτελούν τα τερπένια και τα τερπενοειδή, ενώ μία μικρότερη ομάδα αποτελούν τα αρωματικά και αλειφατικά συστατικά που χαρακτηρίζονται από χαμηλό μοριακό βάρος. <sup>(8)</sup>

### 11.1 Τερπένια και τερπενοειδή

Η βιοσύνθεση των τερπενίων, που πραγματοποιείται στο κυτταρόπλασμα των φυτικών κυττάρων, διεξάγεται μέσω της οδού του μεβαλονικού οξέος, με αφετηρία το ακέτυλο-CoA. Διαθέτοντας ένα κορμό από υδρογονάνθρακες, οι κυκλάσες είναι σε θέση να αναδιατάξουν τα τερπένια σε κυκλικές δομές, δημιουργώντας έτσι μονοκυκλικές ή δικυκλικές δομές. Τα κύρια τερπένια αποτελούν τα μονοτερπένια και τα σесκιτερπένια, ενώ υπάρχουν και μεγαλύτερες αλυσίδες, όπως τα διτερπένια και τα τριτερπένια. Το π-κυμένιο, το λιμονένιο, η μενθόλη, η θυμόλη, η ευγενόλη, η ανηθόλη, η εστραγόλη, η γερανιόλη, το γ-τερπινένιο και η κυνναμυλική αλκοόλη αποτελούν παραδείγματα ορισμένων συστατικών των αιθέριων ελαίων με αντιμικροβιακή δράση.

Λόγω των βιοχημικών τροποποιήσεων των τερπενίων μέσω ενζύμων, που προσθέτουν μόρια οξυγόνου και μετακινούν ή αφαιρούν μεθυλικές ομάδες, δημιουργούνται τα τερπενοειδή. Η θυμόλη, η καρβακρόλη, η λιναλοόλη, ο οξικός λιναλυλεστέρας, η κιτρονελλάλη, η πιπεριτόνη, η γερανιόλη και η μενθόλη είναι ορισμένα παραδείγματα τερπενοειδών. <sup>(8)</sup>

Η καρβακρόλη μπορεί και αναστέλλει τη παραγωγή διαρροϊκής τοξίνης από το *Bacillus cereus* και την ανάπτυξη των φυτικών βακτηρίων. Το π-κυμένιο δεν θεωρείται αποτελεσματική αντιμικροβιακή ένωση όταν χρησιμοποιείται μόνο του, αλλά μπορεί να ενισχύσει τη δραστηριότητα ενώσεων, όπως αυτής της καρβακρόλης. Το π-κυμένιο είναι από τη φύση του υδρόφοβο και προκαλεί διόγκωση της κυτταροπλασματικής μεμβράνης σε μεγαλύτερο βαθμό. Επιπλέον, το π-κυμένιο επιδρά στη σύνθεση πρωτεϊνών σε κύτταρα *E. Coli*. Εκτιμάται ότι η αντιμικροβιακή δράση φαινολικών ενώσεων, όπως η θυμόλη και η καρβακρόλη, οφείλεται σε δομικές και λειτουργικές βλάβες στη κυτταροπλασματική μεμβράνη. Δεν έχει διευκρινισθεί ο πρωταρχικός τρόπος της αντιβακτηριακής δράσης της θυμόλης, αλλά φαίνεται ότι περιλαμβάνει τη διάσπαση της εξωτερικής και εσωτερικής μεμβράνης και την αλληλεπίδραση με μεμβρανικές πρωτεΐνες και ενδοκυτταρικούς στόχους. Αυτή η ενδοκυτταρική δράση της θυμόλης υποδηλώνει ότι επιδρά σε σημαντικές διεργασίες παραγωγής ενέργειας, οι οποίες μειώνουν την ικανότητα ανάκαμψης του κυττάρου. <sup>(8)</sup>

Αξιοσημείωτη αντιμικροβιακή δράση διαθέτουν τα αιθέρια έλαια που είναι πλούσια σε καρβακρόλη. Παρόλο που επηρεάζεται η εξωτερική μεμβράνη, θεωρείται ότι ο τόπος δράσης της είναι η κυτταροπλασματική μεμβράνη, καθώς προκαλεί παθητική μεταφορά ιόντων διαμέσου της μεμβράνης. Τα κύτταρα που εκτίθενται στη καρβακρόλη διαφοροποιούν τη σύνθεση των λιπαρών οξέων της μεμβράνης, ενώ επιπλέον έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει την εξωτερική μεμβράνη των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων.<sup>(8)</sup>

### **11.2 Φαινολοπροπένια**

Η σύνθεση των φαινολοπροπενίων στα φυτά πραγματοποιείται από την πρόδρομη ουσία του αμινοξέος φαινυλαλανίνη. Σχετικά μικρό ποσοστό των αιθέριων ελαίων συνίσταται από φαινολοπροπένια, ενώ περισσότερο μελετημένα φαινολοπροπένια αποτελούν η σαφρόλη, η ευγενόλη, η ισοευγενόλη, η βανιλίνη και η κινναμαλδεΰδη. Η ευγενόλη, για παράδειγμα, έχει αναφερθεί ως το αντιμυκητιακό βιοδραστικό μόριο από το ινδικό φύλλο δάφνης *Cinnamomum tamala*, και έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί αλλοίωση του κυτταρικού τοιχώματος, λύση των κυττάρων και παρεμπόδιση της δράσης ενζύμων έναντι του βακτηρίου *Enterobacter aerogenes*. Η αντιμικροβιακή δράση των φαινολοπροπενίων εξαρτάται τόσο από τα επιλεγμένα μικροβιακά στελέχη, το είδος και τον αριθμό των υποκατάστατων στον αρωματικό δακτύλιο, όσο και από τις πειραματικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία και το μέσο που επιλέγεται για την ανάπτυξη. Τέλος, η κινναμαλδεΰδη παρουσιάζεται ως αναστολέας της ανάπτυξης των βακτηρίων *Escherichia coli* και *Salmonella typhimurium*, αλλά δεν αποσυνθέτει την εξωτερική μεμβράνη, ούτε καταναλώνει την ενδοκυτταρική δεξαμενή ATP.<sup>(8)</sup>

## **12. Ανάλυση της συνεργατικής αντιμικροβιακής δράσης αιθέριων ελαίων**

Η αύξηση των ανθεκτικών στα αντιβιοτικά βακτηρίων έχει οδηγήσει στην ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών λύσεων για την αντιμετώπιση λοιμώξεων που οφείλονται σε αυτά. Η ανακάλυψη ή η ανάπτυξη βοηθητικών ουσιών, ο συνδυασμός αντιβιοτικών με άλλα φάρμακα που δεν είναι αντιβιοτικά, και ο συνδυασμός αντιβιοτικών με πρόσθετα ή αντιμικροβιακά που επιλέγονται από δεξαμενή βιοδραστικών ενώσεων της φύσης, αποτελούν πιθανές επιλογές. Μελέτες έχουν αποδείξει τα θετικά αποτελέσματα μέσα από τη

συνέργεια φυτικών μεταβολιτών και αντιβιοτικών, όπου πολλά υποσχόμενα πρόσθετα των αντιβιοτικών εκπροσωπούνται από φυτοχημικά. Μέρος της ομάδας φυτοχημικών με τα εν λόγω αποτελέσματα αποτελούν τα αιθέρια έλαια και τα συστατικά τους. <sup>(8)</sup>

Κατά το συνδυασμό, η αλληλεπίδραση μεταξύ αντιμικροβιακών ουσιών μπορεί να επιφέρει συνεργατικά, προσθετικά, ή ανταγωνιστικά αποτελέσματα. Η συνέργεια επιτυγχάνεται όταν κατά τον συνδυασμό δύο αντιμικροβιακών ενώσεων παράγεται αντιβακτηριακή δράση μεγαλύτερη από το άθροισμα της δράσης των επιμέρους συστατικών. Προσθετική δράση προκύπτει μέσω του συνδυασμού αντιμικροβιακών ουσιών οι οποίες παράγουν αντιμικροβιακή δράση που ισούται με το άθροισμα των επιμέρους συστατικών. Στη περίπτωση όπου κατά το συνδυασμό δύο ενώσεων προκύψει μειωμένη αντιμικροβιακή δράση, σε σχέση με την ατομική τους αντιμικροβιακή δράση, το αποτέλεσμα καλείται ανταγωνιστικό. <sup>(8)</sup>

Συνεργατικές επιδράσεις είναι δυνατόν να προκύψουν εάν τα συστατικά ενός εκχυλίσματος επιδρούν σε διαφορετικούς στόχους ή αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, ώστε να βελτιώσουν τη διαλυτότητα και κατ' επέκταση να ενισχύσουν τη βιοδιαθεσιμότητα μίας και περισσότερων ουσιών του εκχυλίσματος. Επιπλέον, συνέργεια μπορεί να προκληθεί και κατά τον συνδυασμό αντιβιοτικών με ένα παράγοντα που ανταγωνίζεται τους μηχανισμούς ανθεκτικότητας των βακτηρίων. <sup>(8)</sup>

### ***12.1 Συνέργεια μεταξύ των συστατικών των αιθέριων ελαίων***

Για την αντιμικροβιακή δράση ενός αιθέριου ελαίου μπορούν να είναι υπεύθυνα μονάχα ένα ή δύο από τα κύρια συστατικά που συνθέτουν ολόκληρο το έλαιο. Για την εγγενή δράση των αιθέριων ελαίων είναι υπεύθυνη τόσο η αναλογία στην οποία ανευρίσκονται τα κύρια δραστικά συστατικά, όσο και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών και των δευτερευόντων συστατικών. Σύμφωνα με ερευνητές, η υψηλότερη συνέργεια παρουσιάστηκε κατά τον συνδυασμό της ευγενόλης με λιναλοόλη ή μενθόλη, υποδηλώνοντας την αποτελεσματικότητα του συνδυασμού μίας μονοτερπενοειδούς φαινόλης με μία μονοτερπενοειδή αλκοόλη. Επιπλέον, έχουν αναφερθεί συνεργατικές αντιμικροβιακές

δράσεις για συστατικά ή κλάσματα αιθέριων ελαίων σε δυαδικούς ή τριμερείς συνδυασμούς. Παράδειγμα συνεργατικού δυαδικού συνδυασμού αποτελούν η καρβακρόλη και η θυμόλη, ενώ η καρβακρόλη, η θυμόλη και η ευγενόλη συνθέτουν τον πιο δραστικό τριμερή συνδυασμό. (8)

### ***12.2 Συνέργεια μεταξύ διαφορετικών αιθέριων ελαίων***

Οκτώ αιθέρια έλαια φυτών, συγκεκριμένα ευκάλυπτου, τειϊόδεντρου, βασιλικού, ρίγανης, κανέλας, μανταρινιού, μέντας και θυμαριού, ερευνήθηκαν ως προς την ικανότητά τους να αναστέλλουν την ανάπτυξη ορισμένων μυκητών, του ασπέργιλλου (*Aspergillus niger*), του πενικιλίου χρυσογόνου (*Penicillium chrysogenum*), του *Aspergillus flavus* και του *Aspergillus parasiticus*, και παρατηρήθηκε ότι ένα συνδυασμένο σκεύασμα ρίγανης με αιθέριο έλαιο θυμαριού παρουσίασε συνεργατική δράση, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα κατά των *A. flavus*, *A. parasiticus* και *P. chrysogenum*. Παράλληλα, συνεργατική δράση παρουσιάστηκε και σε μείγματα αιθέριου ελαίου μέντας και τειϊόδεντρου έναντι του *A. niger*, και θυμαριού - κανέλας έναντι του *A. flavus*. Ακόμη, κατά το συνδυασμό αιθέριου ελαίου ρίγανης με αιθέρια έλαια κανέλας, τειϊόδεντρου, θυμαριού και μέντας, καθώς και σε μεμονωμένο μείγμα μέντας με θυμάρι, παρατηρήθηκε συνεργατική δράση κατά του *P. chrysogenum*. Επιπλέον, κατά τους συνδυασμούς αιθέριων ελαίων ρίγανης-θυμαριού, κανέλας-θυμαριού και ρίγανης-μέντας προκλήθηκε συνεργατική δράση ενάντια στον *A. flavus*, και μέσω του συνδυασμού μέντας με έλαιο τειϊόδεντρου ενάντια στον *A. niger*. Τέλος, σημαντική συνεργατική αντιβακτηριακή δράση έχει παρατηρηθεί, σε άλλη έρευνα, κατά τον συνδυασμό ελαίου κόλιανδρου με σπόρους κύμινου. Αποδείχθηκε ότι η συνέργεια κατά την ανάμειξη ορισμένων αιθέριων ελαίων οφείλεται στο συνδυασμό δράσεων δύο ή περισσότερων συστατικών των αιθέριων ελαίων. Καθώς τα παθογόνα δεν είναι ικανά να αποκτήσουν εύκολα ανθεκτικότητα σε πολλαπλά συστατικά δύο ή περισσότερων αιθέριων ελαίων, υπάρχει μεγαλύτερη προστασία πριν και μετά τη συγκομιδή. (8)

### ***12.3 Συνέργεια μεταξύ των συστατικών των αιθέριων ελαίων και των αντιβιοτικών***

Η θυμόλη και η καρβακρόλη, δύο συχνά κύρια συστατικά των αιθέριων ελαίων, έχει διαπιστωθεί ότι παρουσιάζουν συνέργεια με την πενικιλίνη κατά των βακτηρίων *E. coli* και

*S. typhimurium*. Επιπλέον, η ευγενόλη παρουσιάζει συνεργατική δράση με την αμπικιλίνη έναντι του *S. criceti* και του *Streptococcus gordonii*, και με τη γενταμυκίνη κατά του *Streptococcus sanguinis* και του *Porphyromonas gingivalis*. Τέλος, η καρβακρόλη έχει αποδειχθεί συνεργατική σε συνδυασμό τόσο με την αμπικιλίνη, όσο και με τη νιτροφουραντοΐνη, έναντι της *Klebsiella oxytoca* που απομονώθηκε από ζωοτροφές. <sup>(8)</sup>

#### **12.4 Συνέργεια μεταξύ αιθέριων ελαίων και αντιβιοτικών**

Αρκετές μελέτες έχουν διεξαχθεί για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας των αιθέριων ελαίων σε συνδυασμό με αντιβιοτικά. Πιο αναλυτικά, το έλαιο ρίγανης παρουσιάζει συνεργατική δράση με τη γενταμυκίνη έναντι των *B. cereus*, *B. subtilis* και ενός στελέχους του *S. aureus*. Το αιθέριο έλαιο *Zataria multiflora* (ρίγανη Shiraz) έχει βρεθεί να είναι συνεργατικό σε συνδυασμό με τη βανκομυκίνη κατά του ευαίσθητου στη μεθικιλίνη *Staphylococcus aureus*. Επιπλέον, το έλαιο αυστραλιανού τειόδεντρου (*Melaleuca alternifolia*) έχει διαπιστωθεί συνεργατικό με τη γενταμυκίνη έναντι των *E. coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Serratia marcescens* και ενός στελέχους του *S. aureus*, ενώ έχουν βρεθεί στα όρια προσθετικότητας και συνέργειας κατά των *Acinetobacter baumannii*, *B. subtilis* και ενός άλλου στελέχους του *S. aureus*. Ακόμη, το έλαιο τειόδεντρου σε συνδυασμό με τη τομπραμυκίνη έχουν συνεργατική δράση έναντι των *E. coli* και *S. aureus*. Όπως έχει διαπιστωθεί, ο μηχανισμός δράσης αποτελείται από την αναστολή της πρωτεϊνοσύνθεσης μέσω των αμινογλυκοσίδων και τη καταστροφή της βακτηριακής κυτταροπλασματικής μεμβράνης μέσω του ελαίου τειόδεντρου. Επιπροσθέτως, το έλαιο γαρύφαλλου είναι συνεργατικό τόσο με την αμπικιλίνη έναντι των *Streptococcus mutans*, *S. sobrinus* και *Streptococcus gordonii*, όσο και με τη γενταμυκίνη κατά των *Streptococcus sanguinis*, *S. criceti* και *Porphyromonas gingivalis*. Σε *in vitro* έρευνα διαπιστώθηκε και η συνεργατική αντιμικροβιακή δράση του αιθέριου ελαίου κόλιανδρου με τις γενταμυκίνη, γλωραμφαινικόλη, σιπροφλοξασίνη και τετρακυκλίνη, έναντι του *Acinetobacter baumannii*. Σημαντική συνεργατική αντιβακτηριακή δράση συναντάμε και κατά τον συνδυασμό αιθέριων ελαίων *Eucalyptus camaldulensis* με συμβατικά αντιβιοτικά, όπως είναι η γενταμυκίνη, η σιπροφλοξασίνη και η πολυμυξίνη Β. Τέλος, ο συνδυασμός του αιθέριου ελαίου *Zingiber cassumunar* με αντιβιοτικά όπως οι αμινογλυκοσίδες, οι τετρακυκλίνες, οι φθοριοκινολόνες και αναστολείς της οδού του φυλλικού οξέος, παρουσιάζουν σημαντική



αντιβακτηριακή δράση έναντι στελεχών *Acinetobacter baumannii*, με εκτεταμένη αντοχή στα φάρμακα, η οποία μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη μίας νέας θεραπείας κατά των ανθεκτικών στα φάρμακα βακτηρίων. <sup>(8)</sup>

### **13. Επιλεγμένα αιθέρια έλαια ως αντιμικροβιακοί παράγοντες**

Στην ενότητα που ακολουθεί αναλύεται η αντιμικροβιακή δράση επιλεγμένων αιθέριων ελαίων από διάφορα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά. <sup>(9)</sup>

#### **Λεβάντα - *Lavandula angustifolia* Miller**

Η λεβάντα (*Lavandula* sp.) αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολύτιμο φυτό αιθέριων ελαίων από την οικογένεια *Lamiaceae*. Υπάρχουν διαθέσιμα 39 είδη λεβάντας (*Lavandula* sp.), από τα οποία τα περισσότερα έχουν μεσογειακή προέλευση και τρία εξ' αυτών έχουν υψηλή εμπορική αξία. <sup>(10)</sup> Η κύρια χρήση τους είναι η παραλαβή του αιθέριου ελαίου που απομονώνεται από τα κεφάλια των ανθών. Η συγκομιδή πραγματοποιείται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, επεξεργάζονται νωπά και η απόδοση τους κυμαίνεται μεταξύ 0.6-1%. Το αιθέριο έλαιο που παραλαμβάνεται συντίθεται κυρίως από οξικό λιναλύλιο, λιναλόλη, λεβαντουλόλη, 1,8-σινεόλη, οξικό λαβαντουλυλεστέρα και καμφορά. Διαθέτει ποικίλες ιατρικές εφαρμογές χάρη στις ηρεμιστικές, καταπραϋντικές, αντικαταθλιπτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές του, ενώ χρησιμοποιείται και στη βιομηχανία τροφίμων ως φυσική αρωματική ύλη. Σε μελέτη που αναπτύχθηκε παρουσιάστηκε η σημαντική βακτηριοκτόνος δράση του ελαίου έναντι μικροοργανισμών όπως η σιγκέλλα *flexneri*, ο χρυσίζων σταφυλόκοκκος και η *Escherichia coli*, ακόμη και απουσία δραστικών ουσιών όπως η λιναλόλη και το οξικό λιναλύλιο που έχουν αναγνωριστεί με ισχυρή αντιμικροβιακή και αντιμυκητιακή δράση. Σε αυτή τη περίπτωση, τα συστατικά που βρέθηκαν στο αιθέριο έλαιο και είναι αναγνωρισμένα για τις αντιβακτηριακές τους ιδιότητες ήταν το καρυοφυλλένιο, το β-φελλανδρένιο, η τερπινέν-4-όλη, η βορνεόλη, το α-πινένιο, η τερπινεόλη και η ευκαλυπτόλη. Η ευκαλυπτόλη μάλιστα παρουσιάζει αντιμικροβιακή δράση έναντι βακτηρίων όπως ο χρυσίζων σταφυλόκοκκος, ο ανθεκτικός στη μεθικιλίνη χρυσίζων σταφυλόκοκκος, η *Escherichia coli* και ο *Candida albicans*. Το αιθέριο έλαιο απομονώθηκε με απόσταξη ατμού, αναλύθηκε με

αέρια χρωματογραφία σε συνδυασμό με φασματομετρία μάζας (GC-MS) και η αντιμικροβιακή δράση αξιολογήθηκε με τη μέθοδο Kirby- Bauer. Η παραπάνω μελέτη επιβεβαιώνει για ακόμη μία φορά ότι η αντιμικροβιακή δράση των αιθέριων ελαίων είναι αποτέλεσμα των αντιβακτηριακών ιδιοτήτων τόσο των κύριων όσο και των δευτερευόντων συστατικών τους. <sup>(11)</sup> Σε άλλη μελέτη διαπιστώθηκε ότι το αιθέριο έλαιο της *L. angustifolia* μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας είτε ενσωματωμένο στα καλλυντικά, χωρίς την ανάγκη χρήσης οποιουδήποτε άλλου συντηρητικού, κατά των πιο συχνά εμφανιζόμενων μικροοργανισμών στα καλλυντικά, όπως ο *Candida albicans*, η ψευδομονάδα η αερογόνος και ο *Aspergillus brasiliensis*. Στη συγκεκριμένη μελέτη τα συστατικά που βρέθηκαν σε μεγαλύτερες ποσότητες και εμφανίζουν αντιμικροβιακή δράση ήταν το καφεϊκό οξύ, το ροσμαρινικό οξύ, τα 4- υδροξυβενζοϊκά οξέα, η λιναλόλη και το οξικό λιναλύλιο. Η παραλαβή του ελαίου έγινε με τις μεθόδους εκχύλισης Clevenger και εκχύλισης με διαλύτη, ενώ το έλαιο αναλύθηκε μέσω ανάλυσης HPLC και GC-MS. <sup>(10)</sup>

### **Λεβαντίνη - *Lavandula x intermedia***

Η λεβαντίνη (*Lavandula x intermedia*) αποτελεί ένα στείρο μικροβίων υβρίδιο που προέρχεται από τη *L. angustifolia* Miller και τη *L. Latifolia*. Η απόδοση της σε αιθέριο έλαιο μπορεί να υπερβεί πέντε φορές εκείνη της *L. angustifolia*. Το αιθέριο έλαιο που λαμβάνεται περιέχει κυρίως λιναλόλη, οξικό λιναλύλιο, καμφορά, 1,8-σινεόλη και βορνεόλη. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε καμφορά χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στη παραγωγή αρωμάτων και σαπουνιού. Όπως και η *L. angustifolia*, έτσι και η λεβαντίνη, χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων ως φυσική αρωματική ύλη. Επιπλέον, ομοίως παρουσιάζει σημαντική βακτηριοκτόνο δράση έναντι μικροοργανισμών όπως η σιγκέλλα *flexneri*, ο χρυσίζων σταφυλόκοκκος, η *Escherichia coli* και ο *Candida albicans*. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε και επιβεβαιώθηκαν οι παραπάνω αντιμικροβιακές δράσεις, το μεγαλύτερο μέρος του ελαίου συνίστατο από καμφορά και ευκαλυπτόλη. Στη περίπτωση αυτή, το αιθέριο έλαιο απομονώθηκε με απόσταξη ατμού, αναλύθηκε με αέρια χρωματογραφία σε συνδυασμό με φασματομετρία μάζας (GC-MS) και η αντιμικροβιακή δράση αξιολογήθηκε με τη μέθοδο Kirby-Bauer. <sup>(11)</sup>



Εικ 5. <http://www.hintofvanillablog.com/home/2013/05/honey-lavender-macarons.html?rq=Macaron>

Εικ 6. <https://www.saboariaartesanallucrativa.com.br/creme-caseiro-para-o-rosto-2/>

### **Θυμάρι - *Thymus vulgaris***

Το γένος *Thymus* απαρτίζεται από περίπου 300 είδη πολυετών αρωματικών, ποωδών φυτών με πληθώρα υποειδών, ποικιλιών, υποποικιλιών και μορφών. Το *T. vulgaris* αποτελεί το πιο ευρέως διαδεδομένο είδος θυμαριού, ενώ πρόκειται για ένα πολυετή θάμνο με ευχάριστη μυρωδιά που συναντάται στη περιοχή της Μεσογείου με τουλάχιστον έξι διαφορετικούς χημειοτύπους. Έχει διαπιστωθεί ότι τα αιθέρια έλαια που προέρχονται από το *T. vulgaris* παρουσιάζουν διαφορετικές βιολογικές ιδιότητες. Τα έλαια αυτά είναι ικανά να αξιοποιηθούν σε πολλούς τομείς ως φυσικά συντηρητικά τροφίμων και ως διατροφοφάρμακα. Τις κύριες ενώσεις στο αιθέριο έλαιο του θυμαριού αποτελούν οι φαινολικές ενώσεις, των οποίων η περιεκτικότητα μπορεί να επηρεαστεί από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σημαντικό ρόλο στην αντιμικροβιακή δράση των ελαίων του *T. vulgaris* διαδραματίζουν τόσο η αξιοσημείωτη περιεκτικότητά τους σε ολικές φαινόλες, όσο

και οι συνεργατικές και προσθετικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κύριων και δευτερευόντων συστατικών τους. Σε έρευνα που μελετήθηκε η αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική δράση του *Thymus vulgaris* από πέντε διαφορετικές περιοχές της Νότιας Ιταλίας, διαπιστώθηκε διαφορετική ανασταλτική δράση έναντι θετικών κατά Gram παθογόνων μικροοργανισμών. Σε αρνητικά κατά Gram βακτήρια παρατηρήθηκε βακτηριοκτόνος δράση έναντι της *E. coli* από το έλαιο της πόλης Frigento. Το πιο ευαίσθητο βακτηριακό στέλεχος ήταν ο επιδερμικός σταφυλόκοκκος. Τα πέντε έλαια χαρακτηρίζονταν από υψηλό αριθμό φαινολών και ανήκαν στο χημειότυπο της θυμόλης. Η χημική τους σύνθεση μελετήθηκε με αέρια χρωματογραφία-ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (GC-FID) και αέρια χρωματογραφία-φασματοσκοπία μάζας (GC/MS), η αντιοξειδωτική τους δράση αξιολογήθηκε με τη δοκιμασία DPPH και η αντιβακτηριακή τους δράση εκτιμήθηκε με τον προσδιορισμό της ελάχιστης ανασταλτικής συγκέντρωσης (MIC) και της ελάχιστης βακτηριοκτόνου συγκέντρωσης (MBC).<sup>(12)</sup>

### **Ρίγανη – *Origanum vulgare***

Με την ονομασία ρίγανη είναι γνωστά τουλάχιστον 61 είδη και 17 γένη τα οποία ανήκουν σε έξι διαφορετικές βοτανικές οικογένειες. Οι πιο εμφανείς οικογένειες, χάρη της οικονομικής τους σημασίας, είναι οι Verbenaceae και Lamiaceae. Τα φυτά των γενών *Origanum* και *Hedeoma* ανήκουν στην οικογένεια Lamiaceae, ενώ στην οικογένεια Verbenaceae ανήκουν τα γένη *Lippia* και *Lantana*. Μερικά παραδείγματα ειδών ρίγανης που παράγουν αιθέρια έλαια αποτελούν τα *Hedeomapatens*, *Lippia graveolens*, *Lippia palmeri*, *Lippia alba*, *Origanum dictamnus*, *Origanum hirtum*, *Origanum onites*, και *Origanum vulgare*. Οι αντιμικροβιακές, αντικές, αντιμυκητιακές, και πολλές ακόμη, ιδιότητες των αιθέριων ελαίων ρίγανης, παρουσιάζουν δυνητικό ενδιαφέρον σε βιομηχανίες τροφίμων, καλλυντικών και φαρμάκων.<sup>(13)</sup> Κύρια συστατικά του αποτελούν οι ισομερείς φαινόλες καρβακρόλη και θυμόλη, ενώ σε μικρότερη αναλογία συναντάμε και τα πρόδρομα μονοτερπένια π-κυμένιο και γ-τερπινένιο. Χάρη στη παρουσία των παραπάνω φαινολικών συστατικών, το αιθέριο της ρίγανης έχει ισχυρή επίδραση κατά του βακτηριδίου *Listeria monocytogenes*. Ακόμη, αξιοσημείωτη αντιβακτηριακή δράση είναι αποδεδειγμένο ότι παρουσιάζει κατά της *Escherichia coli*, του *Bacillus cereus*, του *Campylobacter jejuni*, της

*Salmonella enteritidis*, και του *Staphylococcus aureus*. Σε άλλη έρευνα, αιθέρια έλαια τριών ειδών ρίγανης έδειξαν επαρκή ανασταλτική δράση έναντι της *Yersinia enterocolitica*. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί και η αντιμικροβιακή δράση έναντι βακτηρίων όπως η *Listeria innocua*, ο *Acinetobacter baumannii*, η *Klebsiella pneumoniae*, ο *Citrobacter freundii*, η *Salmonella typhimurium*, ο *Proteus vulgaris*, η *Pseudomonas aeruginosa*, η *Pseudomonas fluorescens*, ο *Bacillus subtilis*, η *Serratia liquefaciens*, ο *Lactobacillus carvatus*, και ο *Lactobacillus sakei*, μυκητών όπως ο *Aspergillus spp.* και η *Candida spp.*, καθώς και παρασίτων όπως ο *Blastocystis hominis*, η *Entamoeba hartmanni*, και το *Endolimax nana*. Το αντιμικροβιακό φάσμα, όπως αποδείχθηκε, είναι ευρύ, κι αυτό συμβαίνει χάρη στη καρβακρόλη και τη θυμόλη. <sup>(14)</sup> Παρόλα αυτά, για να εξασφαλιστεί η ασφαλής χρήση του αιθέριου ελαίου στον άνθρωπο, είναι απαραίτητο να διεξαχθούν προκλινικές μελέτες, καθώς και να μελετηθούν στρατηγικές χορήγησης για την ενίσχυση της επίδρασής τους. <sup>(13)</sup>

### **Ευκάλυπτος – *Eucalyptus globulus* Labill**

Οι ευκάλυπτοι είναι αειθαλή δέντρα ή θάμνοι με ύψος έως και 100 μέτρα. Το αιθέριο έλαιο του ευκαλύπτου λαμβάνεται από τα φύλλα του *Eucalyptus globulus* Labill, τα οποία έχουν γκριζοπράσινο χρώμα, μήκος έως 25 cm, πλάτος έως 5 cm, και είναι παχιά και δρεπανοειδή. Κύρια συστατικά του αιθέριου ελαίου είναι η 1,8-κινεόλη (ευκαλυπτόλη), το λιμονένιο, το α-πινένιο, το γ-τερπινένιο και η α-τερπινεόλη. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή και Βρετανική Φαρμακοποιία, το αιθέριο έλαιο του ευκαλύπτου είναι απαραίτητο να περιέχει 1,8-κινεόλη σε ποσότητα τουλάχιστον 70%. Όπως έχει αποδειχθεί, το αιθέριο έλαιο του *E. Globulus*, που περιέχει 1,8-κινεόλη σε ποσοστό 88%, είναι δραστικό έναντι του HSV-1 καθώς καταφέρνει και αδρανοποιεί άμεσα τα ελεύθερα σωματίδια του ιού, ενώ ταυτόχρονα παρεμβαίνει στις δομές του περιβλήματος του ιού που απαιτούνται για την είσοδο στα κύτταρα του ξενιστή. Ακόμη, παρουσιάζει ήπια δράση κατά του ιού της παρωτίτιδας, ενώ εμφανίζει 100% ανασταλτική δράση κατά του ιού της γρίπης H1N1 μετά από 10 λεπτά έκθεσης. Επιπλέον, αξιοσημείωτη είναι η τοξική του επίδραση έναντι του *S. aureus* και της *E. coli*, ενώ αναφέρεται ότι η δραστικότητα κατά των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων είναι μεγαλύτερη από αυτή των θετικών κατά Gram βακτηρίων, με το πιο ευαίσθητο βακτήριο να είναι το *Acinetobacter baumannii*. Τέλος, το αιθέριο έλαιο του

ευκαλύπτου είναι τοξικό για νηματοειδής μύκητες όπως οι *M. hiemalis* Wehmer, *Alternaria alternata* Keissl, *Penicillium glabrum*, και *Fusarium roseum*, καθώς και για ζυμομύκητες όπως οι *S. cerevisiae*, *Z. bailli*, *A. pullulans*, *C. diversa*, *P. fermentans*, *P. kluyveri*, *P. anomala*, και *H. polymorpha*. Παράλληλα *in vitro* και σε ζώα μελέτες έδειξαν τη χαμηλή τοξικότητα του και ταυτόχρονα μελέτες με τη συμμετοχή εθελοντών απέδειξαν τη χαμηλή αλλεργιογόνο δράση του. <sup>(9)</sup>

### **Tea Tree – *Melaleuca alternifolia***

Το αιθέριο έλαιο τειόδεντρου παραλαμβάνεται από τα φύλλα και τα κορυφαία κλαδιά της *Melaleuca alternifolia* Maiden και Betch καθώς και από άλλα είδη *Melaleuca*, όπως τα *Melaleuca linariifolia* Smith και *Melaleuca dissitiflora* F. Mueller, με τη μέθοδο της απόσταξης με υδρατμούς. Κύρια συστατικά του ελαίου αποτελούν με φθίνουσα σειρά περιεκτικότητας η τερπιν-4-όλη, τα τερπένια, το α-τερπένιο, το π-κυμένιο, το α-πινένιο, το τερπινολένιο και η 1,8-κινεόλη. Παρόλα αυτά σε επιμέρους είδη *Melaleuca* η περιεκτικότητα διαφέρει αρκετά, ενώ σε αναλύσεις περισσότερων από 800 δειγμάτων αιθέριου ελαίου τειόδεντρου έχουν ταυτοποιηθεί περισσότερα από 100 συστατικά του. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για καλή θεραπευτική δράση, το αιθέριο έλαιο, πρέπει να περιέχει τερπιν-4-όλη σε ποσοστό τουλάχιστον 30%, και 1,8-κινεόλη σε ποσοστό  $\leq 15\%$  έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα πολύ χαμηλός δερματικός ερεθισμός. Όπως έχει αποδειχθεί, το έλαιο τειόδεντρου είναι δραστικό κατά του ιού του απλού έρπητα τύπου 1 (HSV-1), ενώ σε αντιβακτηριακό επίπεδο αναστέλλει την ανάπτυξη του *S. aureus* και της *E. coli*, καθώς και τη προσκόλληση του *S. mutans*. Επιπλέον, έρευνες αποδεικνύουν την ανασταλτική του δράση κατά της *Candida albicans*, την οξειδωτική του βλάβη στη *Candida glabrata*, και τη μείωση της ανθεκτικότητας των ζυμομυκήτων στο φάρμακο φλουκοναζόλης χάρη στη συνεργατική τους δράση. Χάρη στις αντιμικροβιακές του ιδιότητες, το αιθέριο έλαιο τειόδεντρου χρησιμοποιείται σε πλήθος δερματολογικών προϊόντων και στοματικής υγιεινής. <sup>(9)</sup>

### **Πατσουλί – *Pogostemon heyneanus***

Το αιθέριο έλαιο πατσουλί αποτελεί ένα ελάχιστα διερευνημένο αιθέριο έλαιο ως προς τις ιδιότητες τους. Μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε για το αιθέριο έλαιο του ινδικού πατσουλί έφερε στο φως σπουδαία αποτελέσματα. Το έλαιο λαμβάνεται από τα φύλλα του *Pogostemon heyneanus*, και κύριο συστατικό του είναι η ακετοφαινόνη. Όπως αναφέρεται, το αιθέριο έλαιο αυτό παρέχει αντιβιοτικές και αντιακές επιδράσεις κατά του *Streptococcus pyogenes* και της *Pseudomonas aeruginosa*. Επιπλέον, προκαλεί σημαντική μείωση των βιοϋμενίων της *Candida albicans* (61%), της *Candida glabrata* (56%) και της *Candida tropicalis* (54%). Ενόψει της μεγάλης ανάγκης ανάπτυξης της ανθεκτικότητας των φαρμάκων ενάντια των στελεχών *Candida*, είναι σημαντικό να μελετηθεί ευρύτερα μία πιθανή συνεργατική δράση του αιθέριου ελαίου με τα ήδη χρησιμοποιούμενα αντιμυκητιασικά αντιβιοτικά, όπως η αμφοτερικίνη Β και η μιλτεφοσίνη. <sup>(15)</sup>

## **Συμπέρασμα**

Στη σημερινή εποχή λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας των φαρμάκων που υπάρχουν κατά των μικροοργανισμών, καθώς επίσης και η αντίσταση αυτών στα υπάρχοντα φάρμακα, δημιούργησε την ανάγκη για εύρεση νέων και καινοτόμων αντιμικροβιακών ουσιών. Αρωγός στην ανάπτυξη νέων μεθόδων διαδραματίζει η αντιμικροβιακή δράση των αιθέριων ελαίων τα οποία και χρησιμοποιούνται τόσο για θεραπευτικούς όσο και για καλλυντικούς λόγους. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως μέσω των αιθέριων ελαίων επιτυγχάνεται αντιμικροβιακή δράση με λιγότερες παρενέργειες. Ακόμη, η αντιμικροβιακή δραστηριότητα ενός αιθέριου ελαίου διαμορφώνεται ανάλογα με την προέλευση του ελαίου, την ποικιλομορφία και τις συγκεντρώσεις των αντιμικροβιακών συστατικών. Όσον αφορά τη σύσταση των αιθέριων ελαίων, εξαρτάται αρχικά από τη χημική σύνθεση του φυτικού υλικού και κατόπιν από την επεξεργασία και αποθήκευση των φυτικών υλικών, τις διαδικασίες απόσταξης και την επακόλουθη μεταχείριση των αιθέριων ελαίων. Πιο συγκεκριμένα, για να προφυλαχθεί η ποιότητα των αιθέριων ελαίων είναι σημαντικό να ακολουθηθεί σωστή μέθοδος εκχύλισης για να μην υπάρξουν αρνητικές επιδράσεις, όπως για παράδειγμα η απώλεια φαρμακολογικών συστατικών. Επιπρόσθετα, ακατάλληλες διαδικασίες εκχύλισης ενδέχεται να οδηγήσουν σε καταστροφή και να μεταβάλουν τη δράση των φυτοχημικών που υπάρχουν στα αρωματικά έλαια. Ολοκληρώνοντας, έπειτα από μελέτες έχει καταστεί δυνατή η συνέργεια φυτικών μεταβολιτών και αντιβιοτικών, με πολλά υποσχόμενα πρόσθετα των αντιβιοτικών, να εκπροσωπούνται από φυτοχημικά. Στα φυτοχημικά αυτά ανήκουν τα αιθέρια έλαια και τα συστατικά τους. Η συνέργεια επιτυγχάνεται όταν κατά τον συνδυασμό δύο αντιμικροβιακών ενώσεων παράγεται αντιβακτηριακή δράση μεγαλύτερη από το άθροισμα της δράσης των επιμέρους συστατικών.



## Βιβλιογραφία

1. Dajic Stevanovic Z, Sieniawska E, Glowniak K, Obradovic N, Pajic-Lijakovic I. Natural Macromolecules as Carriers for Essential Oils: From Extraction to Biomedical Application. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020 [cited 2020 June 25]; 8(563): 1-19. DOI: 10.3389/fbioe.2020.00563
2. Aziz ZAA, Ahmad A, Mohd-Setapar SH, Karakucuk A, Azim MM, Lokhat D, Rafatullah M, Ganash M, Kamal MA, Ashraf GM. Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential – A Review. *Current Drug Metabolism*. 2018 [cited 2018 May 29]; 19(13): 1-9. DOI: 10.2174/1389200219666180723144850
3. Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. Elsevier B.V.. 2004 [cited 2004 March 03]; 223-253. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022
4. Hanif MA, Nisar S, Khan GS, Mushtaq Z, Zubair M. Essential Oils. In: Malik S, editor. *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production*. Zürich: Springer Nature Switzerland AG; 2019. p.3-17. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8>
5. Bassolé IHN, Juliani HR. Essential Oils in Combination and Their Antimicrobial Properties. *Molecules*. 2012 [cited 2012 April 02]; 17: 3989-4006. DOI: 10.3390/molecules17043989
6. Piatkowska E, Rusiecka Ziółkowska J. Influence of Essential Oils on Infectious Agents. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. 2016 [cited 2016 September 01]; 25(5): 989-995. DOI: 10.17219/acem/31287
7. Falcão MA, Fianco ALB, Lucas AM, Pereira MAA, Torres FC, Vargas RMF, Cassel E. Determination of antibacterial activity of vacuum distillation fractions of lemongrass essential oil. *Phytochemistry Reviews*. 2012 [cited 2012 September 23]; 11: 405-412. DOI: 10.1007/s11101-012-9255-3
8. Chouhan S, Sharma K, Guleria S. Antimicrobial Activity of Some Essential Oils- Present Status and Future Perspectives. *Medicines*. 2017 [cited 2017 August 08]; 4(3): 1-21. DOI: 10.3390/medicines4030058

9. Winska K, Maczka W, Łyczko J, Grabarczyk M, Czubaszek A, Szumny A. Essential Oils as Antimicrobial Agents - Myth or Real Alternative?. *Molecules*. 2019 [cited 2019 June 05]; 24(11): 2130. DOI: 10.3390/molecules24112130
10. Cesur Turgut A, Emen F, Seçilmiş Canbay H, Demirdöğen R, Çam N, Kılıç D, Yeşilkaynak T. Chemical Characterization of *Lavandula angustifolia* Mill. as a Phytocosmetic Species and Investigation of its Antimicrobial Effect in Cosmetic Products. *JOTCSA*. 2017 [cited 2016 November 25]; 4(1): 283-298.
11. Jianu C, Pop G, Gruia AT, Horhat FG. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oils of Lavender (*Lavandula angustifolia*) and Lavandin (*Lavandula x intermedia*) Grown in Western Romania. *International Journal of Agriculture & Biology*. 2013; 15(4): 772–776.
12. Mancini E, Senatore F, Del Monte D, De Martino L, Grulova D, Scognamiglio M, Snoussi M, De Feo V. Studies on Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Five *Thymus vulgaris* L. Essential Oils. *Molecules*. 2015 [cited 2015 July 01]; 20:12016-12028. DOI: 10.3390/molecules200712016
13. Leyva-Lopez N, Gutierrez-Grijalva EP, Vazquez-Olivo G, Heredia JB. Essential Oils of Oregano: Biological Activity beyond Their Antimicrobial Properties. *Molecules*. 2017 [cited 2017 June 14]; 22(6): 989. DOI: 10.3390/molecules22060989
14. Sakkas H, Papadopoulou C. Antimicrobial Activity of Basil, Oregano, and Thyme Essential Oils. *J. Microbiol Biotechnol*. 2017 [cited 2016 December 20]; 27(3): 429-438. DOI: 10.4014/jmb.1608.08024
15. Banu SF, Rubini D, Shanmugavelan P, Murugan R, Gowrishankar S, Pandian SK, Nithyanand P. Effects of patchouli and cinnamon essential oils on biofilm and hyphae formation by *Candida* species. *J Mycol Med*. 2018; 28(2): 332-339. DOI: 10.1016/j.mycmed.2018.02.012



