



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΝΑΝΟΓΑΛΑΤΩΜΑΤΩΝ ΩΣ «ΠΡΑΣΙΝΗ» ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΝ
ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΠΟΥΛΕΡΙΚΩΝ



ΧΡΗΣΤΟΣ ΡΟΥΤΣΗΣ

Επιβλέπουσα : Επίκουρη Καθηγήτρια Σωτηρία Βουράκη

Άρτα, Απρίλιος 2024

**THE ROLE OF ESSENTIAL OILS AND THE NANOEMULSIONS AS <<GREEN>>
ALTERNATIVE IN ADMINISTRATION OF ANTIBIOTICS IN POULTRY NUTRITION**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Τόπος, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπουσα καθηγήτρια
Σωτηρία Βουράκη
2. Μέλος επιτροπής
Ελευθέριος Μπόνος
3. Μέλος επιτροπής
Χρυσούλα Βόιδαρου

© Χρήστος Ρούτσης 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Χρήστος Ρούτσης

Υπογραφή

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής Επίκουρη Καθηγήτρια κα. Βουράκη Σωτηρία, Καθηγητή κ. Μπόνο Ελευθέριο και Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα. Χρυσούλα Βόιδαρου καθώς και τον εκλιπόντα Καθηγητή κ. Αναστάσιο Τσίνα για την πολύτιμη καθοδήγησή τους στην εκπόνηση της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους βοήθησαν ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία και στάθηκαν αρωγοί και συμπαραστάτες μου.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή παρουσιάζει μια εις βάθος ανασκόπηση της δυνατότητας των αιθέριων ελαίων (EOs) και των νανογαλακτωμάτων τους (NEs) ως βιώσιμων εναλλακτικών αντιβιοτικών στη διατροφή των πουλερικών. Η μελέτη εμβαθύνει στους πολύπλευρους ρόλους των EOs, δίνοντας έμφαση στις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες, τον αντίκτυπο στην υγεία του εντέρου και τη συνολική επίδραση στην αποδοτικότητα της παραγωγής πουλερικών. Τα EOs, που χαρακτηρίζονται από τις φυσικές πτητικές ενώσεις και την έντονη γεύση τους, έχουν δείξει σημαντική υπόσχεση για την ενίσχυση της ενζυμικής δραστηριότητας του γαστρεντερικού σωλήνα (GIT), μειώνοντας τα παθογόνα βακτήρια και ως εκ τούτου βελτιώνουν την υγεία του εντέρου. Αυτά τα οφέλη αποδίδονται στις λιπόφιλες και αρωματικές βιοδραστικές ενώσεις που επικρατούν στα EOs. Ωστόσο, οι προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαλυτότητα και τη σταθερότητα των EOs αναγνωρίζονται, υπογραμμίζοντας το ρόλο των NE ως αποτελεσματικού συστήματος παροχής για την παράκαμψη αυτών των περιορισμών. Η διατριβή υπογραμμίζει τη σημασία των EO και των NE στην προώθηση βιώσιμων και ευαισθητοποιημένων για την υγεία πρακτικών πτηνοτροφίας. Αντιμετωπίζει τις αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με την αντοχή στα αντιβιοτικά και τις επιπτώσεις στη δημόσια υγεία των υπολειμμάτων αντιβιοτικών στα τρόφιμα. Τα ευρήματα υποστηρίζουν την ενσωμάτωση των EOs και των NEs στη δίαιτα των πουλερικών, υποδεικνύοντας μια στροφή παραδείγματος προς φυσικές και φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους καλλιέργειας, διατηρώντας παράλληλα την υγεία και την παραγωγικότητα των πουλερικών.

Λέξεις-κλειδιά: Αιθέρια Έλαια, Νανογαλακτώματα, Διατροφή πουλερικών, Εναλλακτικά αντιβιοτικά, Βιώσιμες Αγροτικές Πρακτικές

Abstract

This thesis presents an in-depth review of the potential of essential oils (EOs) and their nanoemulsions (NEs) as viable alternative of antibiotics in poultry nutrition. The study delves into the multifaceted roles of EOs, emphasizing their antimicrobial properties, impact on gut health and overall impact on poultry production efficiency. Specifically EOs characterized by their natural volatile compounds and strong flavor, have shown significant promise in enhancing gastrointestinal tract (GIT) enzyme activity, reducing pathogenic bacteria and thereby improving gut health. These benefits are attributed to the lipophilic and aromatic bioactive compounds prevalent in EOs.

However, challenges related to the solubility and stability of EOs are recognized, highlighting the role of NEs as an effective delivery system to overcome these limitations. The thesis highlights the importance of EOs and NEs in promoting sustainable and health conscious poultry farming practices.

It addresses growing concerns about antibiotic resistance and the public health impact of antibiotic residues in products. The findings support the incorporation of EOs and NEs into poultry diets, indicating a paradigm shift towards natural and environmentally friendly farming methods while maintaining poultry health and productivity.

Keywords: Essential Oils, Nanoemulsions, Poultry Nutrition, Alternative Antibiotics, Sustainable Agricultural Practices

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
Περίληψη	6
Abstract	7
Κατάλογος Πινάκων	10
Κατάλογος Σχημάτων	11
1. Εισαγωγή	12
1.1 Σημαντικότητα του θέματος	12
1.2 Τα νανογαλακτώματα ως εναλλακτική λύση	14
1.3. Σκοπός και πεδίο εφαρμογής	16
1.4. Δομή της Πτυχιακής.....	16
2. Χρήση Αντιβιοτικών στην Πτηνοτροφία	17
2.1 Εισαγωγή στα Αντιβιοτικά στην Πτηνοτροφία.....	17
2.2 Ιστορική αναδρομή και σύγχρονη χρήση	18
2.3 Μηχανισμοί και Επιπτώσεις των Αντιβιοτικών	19
2.4 Τύποι αντιβιοτικών και εφαρμογές τους στην κτηνοτροφία.....	21
2.5 Επιπτώσεις για το περιβάλλον και την υγεία	22
2.6 Προκλήσεις και ανάγκη για εναλλακτικές λύσεις	24
3. Εισαγωγή στα Νανογαλακτώματα.....	26
3.1 Ορισμός και Βασικές Αρχές.....	26
3.2 Σύνθεση και είδη.....	27
3.3 Μέθοδοι Παρασκευής.....	29
3.4 Σταθερότητα και διάρκεια ζωής.....	31
4. Επίδραση των αιθέριων ελαίων στην ανάπτυξη των πτηνών	32
4.1 Εισαγωγή	32

4.2 Μηχανισμοί Δράσης Αιθέριων Ελαίων.....	34
4.3 Επιπτώσεις στην ανάπτυξη των πουλερικών και την ποιότητα του σφάγιου.....	35
4.4 Αντιοξειδωτική Δραστηριότητα Αιθέριων Ελαίων	41
5. Αντιμικροβιακή Δραστηριότητα ΕΟ.....	43
5.1 Κύρια βακτηριακά τροφιμογενή παθογόνα στα πτηνά.....	43
5.2 Οι Αντιμικροβιακές Ιδιότητες των ΕΟ κατά των Παθογόνων	44
5.3 Αιθέρια έλαια και υγεία του εντέρου	48
5.3.1 Επίδραση στη Μορφολογία του Εντέρου	48
5.3.2 Επίδραση στον μεταβολισμό των λιπιδίων.....	50
5.3.3 Οικονομικές επιπτώσεις για τους αγρότες.....	51
Συμπέρασμα.....	54
Βιβλιογραφία	55

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Βιολογικές επιδράσεις των αιθέριων ελαίων (EOs) στην παραγωγή πουλερικών37

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Μερικά από τα αιθέρια έλαια με θετική επίδραση στην ποιότητα του κρέατος, και στην παραγωγή αυγών. Πηγή: (Mohamed et al., 2022).....25

Σχήμα 2. Επιδράσεις των αιθέριων ελαίων στην απόδοση ανάπτυξης και την παραγωγικότητα των πουλερικών λόγω των αντιοξειδωτικών, αντιμικροβιακών και ανοσοτροποποιητικών τους υπάρχουντα. Πηγή: (Mohamed et al., 2022).....36

1. Εισαγωγή

1.1 Σημαντικότητα του θέματος

Η πτηνοτροφία, ακρογωνιαίος λίθος του παγκόσμιου γεωργικού τομέα και της κτηνοτροφίας ειδικότερα, διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην επισιτιστική ασφάλεια παρέχοντας μια σημαντική πηγή πρωτεΐνης μέσω του κρέατος πουλερικών και των αυγών. Ο κλάδος έχει δει εκθετική ανάπτυξη όλα αυτά τα χρόνια, λόγω του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού και της αυξανόμενης ζήτησης για προσιτές πηγές πρωτεΐνης. Αυτή η ανάπτυξη οδήγησε στην εντατικοποίηση των πρακτικών εκτροφής πουλερικών, η οποία, ενώ αυξάνει την παραγωγικότητα, έχει επίσης δημιουργήσει πολλές προκλήσεις, ιδίως όσον αφορά τη διατήρηση της υγείας και της ανάπτυξης των πουλερικών σε συνθήκες εκτροφής υψηλής πυκνότητας (Abd El-Hack et al., 2022).

Μία από τις πρωταρχικές στρατηγικές που χρησιμοποιήθηκαν για τη διατήρηση της υγείας και την προώθηση της ανάπτυξης των πουλερικών ήταν η χρήση αντιβιοτικών. Αυτά τα αντιβιοτικά εξυπηρετούν έναν διπλό σκοπό: χρησιμοποιούνται όχι μόνο ως θεραπευτικοί παράγοντες για τη θεραπεία και την πρόληψη ασθενειών, αλλά και ως αυξητικοί παράγοντες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των ζωοτροφών και την προώθηση της ταχύτερης ανάπτυξης. Αυτή η πρακτική είναι ευρέως διαδεδομένη, με τα αντιβιοτικά να προστίθενται συστηματικά στις ζωοτροφές των πουλερικών ως προληπτικό μέτρο κατά των ασθενειών και για τη διασφάλιση της βέλτιστης ανάπτυξης των πτηνών (Ashour et al., 2020).

Ωστόσο, η εκτεταμένη χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία έχει οδηγήσει σε σημαντικές ανησυχίες. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η ανάπτυξη και εξάπλωση βακτηρίων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά. Η κατάχρηση και η κακή χρήση αντιβιοτικών στην κτηνοτροφία συμβάλλουν στην επιτάχυνση της αντοχής στα αντιβιοτικά, ένα φαινόμενο όπου τα βακτήρια εξελίσσονται για να αποκτήσουν ανοσία στις επιδράσεις αυτών των φαρμάκων. Αυτή η αντοχή αποτελεί σοβαρή απειλή για τη δημόσια υγεία, καθώς οδηγεί σε μειωμένη αποτελεσματικότητα των αντιβιοτικών στη θεραπεία λοιμώξεων στον άνθρωπο. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει αναγνωρίσει την αντίσταση στα αντιβιοτικά ως μία από τις μεγαλύτερες απειλές για την παγκόσμια υγεία, την ασφάλεια των τροφίμων και την ανάπτυξη σήμερα (Namdeo et al., 2020).

Επιπλέον, η παρουσία υπολειμμάτων αντιβιοτικών σε προϊόντα πουλερικών αποτελεί αυξανόμενη ανησυχία για την υγεία των καταναλωτών. Αυτά τα υπολείμματα μπορούν να οδηγήσουν σε αλλεργικές αντιδράσεις, τοξικές επιδράσεις και να συμβάλουν στην ανάπτυξη ανθεκτικών στα αντιβιοτικά βακτηρίων στον άνθρωπο. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει αυξανόμενη ευαισθητοποίηση και ανησυχία του κοινού σχετικά με την ασφάλεια της κατανάλωσης προϊόντων πουλερικών που έχουν εκτεθεί σε αντιβιοτικά (El-Tarabily et al., 2021).

Ως απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις, υπήρξε μια παγκόσμια ώθηση προς την εξεύρεση βιώσιμων και ασφαλών εναλλακτικών λύσεων για τα αντιβιοτικά στη διατροφή των πουλερικών. Αυτή η αλλαγή οφείλεται όχι μόνο στη ζήτηση των καταναλωτών για ασφαλέστερα και πιο φυσικά προϊόντα, αλλά και από ρυθμιστικές πιέσεις για περιορισμό και σταδιακή κατάργηση της χρήσης αντιβιοτικών ως αυξητικών παραγόντων στην κτηνοτροφία. Σε αυτό το πλαίσιο, οι «πράσινες» εναλλακτικές λύσεις όπως τα αιθέρια έλαια και τα νανογαλακτώματα έχουν κερδίσει την προσοχή. Αυτές οι φυσικές εναλλακτικές λύσεις προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη οδό για τη βελτίωση της υγείας και της παραγωγικότητας των πουλερικών χωρίς τις δυσμενείς επιπτώσεις που σχετίζονται με τα αντιβιοτικά.

Τα αιθέρια έλαια, που προέρχονται από φυτά, είναι γνωστά για τις αντιμικροβιακές, αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες. Έχουν χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά στην ανθρώπινη ιατρική και τώρα διερευνώνται για τις δυνατότητές τους στη διατροφή των ζώων. Η χρήση αιθέριων ελαίων στις ζωοτροφές πουλερικών έχει δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα στη βελτίωση της υγείας του εντέρου, στην ενίσχυση της ανοσολογικής απόκρισης και στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της τροφής. Ωστόσο, η αποτελεσματική εφαρμογή τους στη διατροφή των πουλερικών αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η αστάθεια και η περιορισμένη βιοδιαθεσιμότητα (Atkinson, 2018).

Τα νανογαλακτώματα, που χαρακτηρίζονται από τα εξαιρετικά λεπτά σταγονίδια γαλακτώματος τους, παρουσιάζουν μια καινοτόμο λύση σε αυτές τις προκλήσεις. Με την ενθυλάκωση των αιθέριων ελαίων σε νανογαλακτώματα, η σταθερότητα και η βιοδιαθεσιμότητα τους μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά. Αυτό επιτρέπει την πιο αποτελεσματική και στοχευμένη παροχή των ενεργών συστατικών των αιθέριων ελαίων, μεγιστοποιώντας τα ευεργετικά τους αποτελέσματα, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την ανάγκη για συμβατικά αντιβιοτικά (Gopi et al., 2014).

Η διερεύνηση αιθέριων ελαίων και νανογαλακτωμάτων ως εναλλακτικών αντιβιοτικών στη διατροφή των πουλερικών δεν είναι μόνο απάντηση στις αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με την αντοχή στα αντιβιοτικά και την υγεία των καταναλωτών, αλλά και ένα βήμα προς πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον γεωργικές πρακτικές (McClements, 2012). Μειώνοντας την εξάρτηση από τα αντιβιοτικά, η βιομηχανία πουλερικών μπορεί να συμβάλει στην παγκόσμια προσπάθεια για την καταπολέμηση της αντοχής στα αντιβιοτικά, διασφαλίζοντας τη μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα αυτών των ζωτικών φαρμάκων τόσο για την υγεία των ζώων όσο και για τον άνθρωπο.

1.2 Τα νανογαλακτώματα ως εναλλακτική λύση

Η αναζήτηση βιώσιμων και αποτελεσματικών εναλλακτικών αντιβιοτικών στη διατροφή των πουλερικών οδήγησε στην εξερεύνηση νανογαλακτωμάτων, ιδιαίτερα εκείνων που ενθυλακώνουν αιθέρια έλαια. Τα νανογαλακτώματα, με τις μοναδικές φυσικοχημικές τους ιδιότητες, προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη πλατφόρμα για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας των φυσικών ενώσεων στη διαχείριση της υγείας των ζώων (Jayasena and Jo, 2013).

Τα νανογαλακτώματα είναι κολλοειδείς διασπορές που αποτελούνται από σταγονίδια μεγέθους νανομέτρων, που συνήθως κυμαίνονται από 20 έως 200 νανόμετρα. Το μικρό μέγεθος των σταγονιδίων έχει ως αποτέλεσμα μια μεγάλη επιφάνεια, η οποία ενισχύει τη διαλυτότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των ενθυλακωμένων ενώσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο για τα αιθέρια έλαια, τα οποία είναι φυσικά υδρόφοβα και έχουν περιορισμένη διαλυτότητα σε υδατικά περιβάλλοντα, όπως η γαστρεντερική οδός των πουλερικών. Με την ενθυλάκωση αυτών των ελαίων σε νανογαλακτώματα, βελτιώνεται η διασπορά τους στο έντερο, οδηγώντας σε πιο αποτελεσματική απορρόφηση και χρήση (Chaves et al., 2008).

Η ενισχυμένη βιοδιαθεσιμότητα των αιθέριων ελαίων σε νανογαλακτώματα είναι ζωτικής σημασίας για την αντιμικροβιακή τους αποτελεσματικότητα. Τα αιθέρια έλαια αποτελούνται από διάφορες βιοδραστικές ενώσεις, όπως τερπένια, φαινολικά και αλδεΐδες, οι οποίες έχουν τεκμηριωθεί για τις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να αναστείλουν την ανάπτυξη ενός ευρέος φάσματος παθογόνων βακτηρίων, μειώνοντας έτσι πιθανώς τη

συχνότητα βακτηριακών λοιμώξεων στα πουλερικά. Η χρήση νανογαλακτωμάτων επιτρέπει την ελεγχόμενη απελευθέρωση αυτών των βιοδραστικών ενώσεων, διασφαλίζοντας μια παρατεταμένη αντιμικροβιακή δράση στο έντερο των πουλερικών (McClements, 2012).

Επιπλέον, η εφαρμογή νανογαλακτωμάτων στη διατροφή των πουλερικών ευθυγραμμίζεται με την παγκόσμια τάση προς «πράσινες» και φυσικές εναλλακτικές λύσεις. Οι καταναλωτές συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο τον αντίκτυπο των διατροφικών τους επιλογών στην υγεία και το περιβάλλον. Η στροφή προς τις φυσικές πρόσθετες ύλες στις ζωοτροφές θεωρείται ως μια κίνηση προς πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον γεωργικές πρακτικές. Τα νανογαλακτώματα, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα φυσικών ενώσεων όπως τα αιθέρια έλαια, προσφέρουν έναν τρόπο να ικανοποιηθούν αυτές οι απαιτήσεις των καταναλωτών χωρίς συμβιβασμούς στην υγεία και την παραγωγικότητα των ζώων (Peng et al., 2016).

Εκτός από τα αντιμικροβιακά τους οφέλη, τα νανογαλακτώματα μπορούν επίσης να συμβάλουν στη συνολική υγεία και ανάπτυξη των πουλερικών. Η βελτιωμένη υγεία του εντέρου, που προκύπτει από την αντιμικροβιακή δράση των αιθέριων ελαίων, μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη απορρόφηση θρεπτικών συστατικών και να βελτιώσει το δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής. Αυτό, με τη σειρά του, συμβάλλει σε υγιέστερα και πιο γερά πουλερικά, τα οποία αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την οικονομική βιωσιμότητα της πτηνοτροφίας (Bento et al., 2013).

Ωστόσο, η εφαρμογή νανογαλακτωμάτων στη διατροφή των πουλερικών δεν είναι μια εφαρμογή χωρίς προκλήσεις (Chaves et al., 2008). Η σταθερότητα των νανογαλακτωμάτων, η αλληλεπίδρασή τους με τα συστατικά των ζωοτροφών και η πιθανή επίδραση στις οργανοληπτικές ιδιότητες των προϊόντων είναι τομείς που απαιτούν προσεκτική διερεύνηση. Επιπλέον, το ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει τη χρήση νανογαλακτωμάτων στις ζωοτροφές εξακολουθεί να εξελίσσεται, με συνεχείς έρευνες και δοκιμές που απαιτούνται για την πλήρη κατανόηση των επιπτώσεών τους στην υγεία των ζώων, την ασφάλεια των προϊόντων και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Jayasena and Jo, 2013).

Συμπερασματικά, τα νανογαλακτώματα αντιπροσωπεύουν μια νέα και πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τη χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία. Αξιοποιώντας τις αντιμικροβιακές και βελτιωτικές ιδιότητες των αιθέριων ελαίων σε μια πιο βιοδιαθέσιμη και σταθερή μορφή, τα νανογαλακτώματα προσφέρουν μια

πιθανή οδό προς πιο βιώσιμες, αποτελεσματικές και φιλικές προς τον καταναλωτή πρακτικές διατροφής πουλερικών.

1.3. Σκοπός και πεδίο εφαρμογής

Ο κύριος σκοπός αυτής της πτυχιακής είναι να αξιολογήσει τη σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητα των αιθέριων ελαίων και νανογαλακτωμάτων ως εναλλακτικών στα αντιβιοτικά στη διατροφή των πουλερικών. Το πεδίο εφαρμογής αυτής της ανασκόπησης περιλαμβάνει την ανάλυση διαφόρων αιθέριων ελαίων, τις ιδιότητές τους και τον τρόπο με τον οποίο η ενθυλάκωσή τους σε νανογαλακτώματα μπορεί να αξιοποιηθεί για τη βελτίωση της υγείας και της παραγωγικότητας των πουλερικών. Επιπλέον, η ανασκόπηση στοχεύει να συζητήσει τις πιθανές επιπτώσεις αυτής της αλλαγής για τη βιομηχανία πουλερικών, την υγεία των καταναλωτών και το περιβάλλον.

1.4. Δομή της Πτυχιακής

Η πτυχιακή είναι δομημένη ώστε να παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης χρήσης αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία, ακολουθούμενη από μια εισαγωγή στα νανογαλακτώματα και τα αιθέρια έλαια. Οι επόμενες ενότητες θα εμβαθύνουν στις επιδράσεις των αιθέριων ελαίων στην ανάπτυξη των πουλερικών και την αντιμικροβιακή τους δράση, καταλήγοντας σε ένα συμπέρασμα που συνθέτει τα ευρήματα και συζητά τις μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις σε αυτόν τον τομέα.

2. Χρήση Αντιβιοτικών στην Πτηνοτροφία

2.1 Εισαγωγή στα Αντιβιοτικά στην Πτηνοτροφία

Τα αντιβιοτικά, που περιλαμβάνουν φυσικές, ημισυνθετικές και συνθετικές ενώσεις, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση της υγείας τόσο των ανθρώπων όσο και των ζώων. Στην πτηνοτροφία, η εφαρμογή τους λαμβάνει διάφορες μορφές, συμπεριλαμβανομένων των στοματικών, γονικών και τοπικών θεραπειών, με στόχο τόσο την πρόληψη όσο και τη θεραπεία ασθενειών (Phillips et al., 2004; DiazSanchez et al., 2015). Από την ευρεία εισαγωγή τους στη δεκαετία του 1950, τα αντιβιοτικά έχουν φέρει επανάσταση στον τομέα της κτηνιατρικής και της κτηνοτροφικής παραγωγής, επηρεάζοντας σημαντικά την υγεία και την παραγωγικότητα των πουλερικών (Mathew et al., 2007; Davies and Davies, 2010).

Στη διατροφή των πουλερικών, τα αντιβιοτικά έχουν πολλαπλές λειτουργίες. Δεν χρησιμοποιούνται μόνο ως θεραπευτικοί παράγοντες για τη θεραπεία ασθενειών, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης ως αυξητικοί παράγοντες και προφυλακτικά μέτρα (Chattopadhyay, 2014). Συγκεκριμένα, οι αντιβιοτικοί προαγωγείς ανάπτυξης (AGPs) αναφέρονται στις χαμηλές, υποθεραπευτικές δόσεις των αντιβιοτικών που χορηγούνται στα πουλερικά. Αυτές οι δόσεις έχουν σχεδιαστεί για τον έλεγχο και τη μείωση του βακτηριακού πληθυσμού στο ζωικό κεφάλαιο, ενισχύοντας έτσι τη συνολική υγεία και παραγωγικότητα (Ronquillo and Hernandez, 2017).

Τα πρακτικά οφέλη των αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία είναι σημαντικά. Έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στον έλεγχο ασθενειών που προκαλούνται από παθογόνα όπως το *Clostridium*, η *Salmonella* και το *Mycoplasma*, τα οποία είναι υπεύθυνα για καταστάσεις όπως η σαλμονέλωση και η μυκοπλάσμωση. Αυτές οι ασθένειες, εάν δεν ελεγχθούν, μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές οικονομικές απώλειες. Η αποτελεσματικότητα των αντιβιοτικών στον μετριασμό τέτοιων απωλειών έχει ευρέως τεκμηριωθεί (Singer and Hofacre, 2006; Mathew et al., 2007; Abd ElHack et al., 2021a).

Επιπλέον, η χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία είναι σημαντική σε σύγκριση με άλλους τομείς της κτηνοτροφίας. Τα πουλερικά κατατάσσονται στη δεύτερη θέση στην χρήση αντιμικροβιακών, μετά τους χοίρους και τα βοοειδή, τονίζοντας τον σημαντικό ρόλο τους στις σύγχρονες γεωργικές πρακτικές (Van Boeckel et al., 2015). Αυτό το υψηλό ποσοστό χρήσης

υπογραμμίζει την εξάρτηση της πτηνοτροφίας στα αντιβιοτικά για τη διατήρηση της υγείας των ζώων, την πρόληψη ασθενειών και την προώθηση της ανάπτυξης και της αποδοτικότητας, τα οποία είναι απαραίτητα για την κάλυψη των αυξανόμενων απαιτήσεων για παραγωγή τροφίμων.

Η συμπερίληψη αντιβιοτικών στις ζωοτροφές πουλερικών έχει αποδειχθεί ότι όχι μόνο ενισχύει την ανάπτυξη και την υγεία των πτηνών αλλά και ότι μειώνει τα μικρόβια του εντέρου (Neish, 2002; Kumar et al., 2018). Αυτός ο διπλός ρόλος των αντιβιοτικών ως ενισχυτών ανάπτυξης και πρόληψης ασθενειών αναδεικνύει την αναπόσπαστη θέση τους στις σύγχρονες πρακτικές πτηνοτροφίας.

2.2 Ιστορική αναδρομή και σύγχρονη χρήση

Η εμφάνιση των αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950. Αυτή η εποχή σηματοδότησε την έναρξη της ευρείας χρήσης τους στην κτηνοτροφία, αλλάζοντας θεμελιωδώς το τοπίο της κτηνοτροφικής παραγωγής (Mathew et al., 2007). Η ανακάλυψη και η επακόλουθη χρήση αντιβιοτικών επέφερε μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης των ασθενειών των πτηνών, προσφέροντας ένα ισχυρό εργαλείο ενάντια σε μια σειρά βακτηριακών λοιμώξεων (Davies and Davies, 2010).

Ιστορικά, η πρωταρχική χρήση των αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία ήταν ως θεραπευτικοί παράγοντες, με στόχο τη θεραπεία συγκεκριμένων ασθενειών. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, ο ρόλος τους επεκτάθηκε για να συμπεριλάβει την προώθηση της ανάπτυξης και την προφύλαξη. Αυτή η αλλαγή προήλθε από την παρατήρηση ότι τα αντιβιοτικά, όταν χορηγούνται σε χαμηλές, υποθεραπευτικές δόσεις, θα μπορούσαν να βελτιώσουν τους ρυθμούς ανάπτυξης και το δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής, ενισχύοντας έτσι τη συνολική παραγωγική απόδοση (Chattopadhyay, 2014; Ronquillo and Hernandez, 2017).

Στη σύγχρονη πτηνοτροφία, τα αντιβιοτικά χρησιμοποιούνται όχι μόνο για τις θεραπευτικές τους ιδιότητες αλλά και ως αυξητικοί παράγοντες. Αυτός ο διττός ρόλος είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των ταχέως αυξανόμενων απαιτήσεων της παγκόσμιας αγοράς τροφίμων. Τα πουλερικά, που είναι μια σημαντική πηγή πρωτεΐνης, έχουν δει μια αύξηση στη χρήση αντιβιοτικών, με τα επίπεδα κατανάλωσης να ξεπερνούν αυτά σε άλλα ζώα. Αυτή η τάση αντανακλά τον κρίσιμο ρόλο των αντιβιοτικών στη διευκόλυνση των πρακτικών εντατικής

εκτροφής πουλερικών, όπου η υψηλή πυκνότητα και ο γρήγορος κύκλος εργασιών είναι κοινές (Van Boeckel et al., 2015).

Η εισαγωγή των αντιβιοτικών αυξητικών προαγωγών (AGPs) σηματοδότησε μια σημαντική πρόοδο στη διατροφή των πουλερικών. Αυτά τα AGP, καθώς είναι χαμηλές δόσεις αντιβιοτικών, βρέθηκε ότι μειώνουν αποτελεσματικά το μικροβιακό φορτίο στα ζώα, βελτιώνοντας έτσι την υγεία του εντέρου και τη συνολική φυσιολογική απόδοση. Οι θετικές επιπτώσεις των AGP στην ανάπτυξη, το δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής και την ανοσολογική απόκριση έχουν αναγνωριστεί ευρέως (Neish, 2002; Kumar et al., 2018).

Ο ρόλος των αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία έχει εξελιχθεί από τον απλό έλεγχο των ασθενειών στην ενίσχυση της ανάπτυξης και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των ζωοτροφών. Αυτή η εξέλιξη οδηγήθηκε από έναν συνδυασμό επιστημονικών ανακαλύψεων και πρακτικών αναγκών, προσαρμοσμένων στις προκλήσεις της σύγχρονης γεωργίας και κτηνοτροφίας. Ως εκ τούτου, τα αντιβιοτικά έχουν γίνει ο ακρογωνιαίος λίθος της σύγχρονης πτηνοτροφίας, αναπόσπαστο στοιχείο της ικανότητας της βιομηχανίας να ανταποκρίνεται στις αυξανόμενες απαιτήσεις για προϊόντα πουλερικών.

2.3 Μηχανισμοί και Επιπτώσεις των Αντιβιοτικών

Ο ρόλος των αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία εκτείνεται πέρα από την απλή πρόληψη και θεραπεία ασθενειών. Αυτές οι ενώσεις αλληλεπιδρούν με τη φυσιολογία των πουλερικών με πολύπλοκους τρόπους, συμβάλλοντας στην προαγωγή της ανάπτυξης και τη βελτίωση της υγείας.

Μηχανισμοί Προώθησης της Ανάπτυξης: Τα αντιβιοτικά ασκούν τα αναπτυξιακά τους αποτελέσματα κυρίως μεταβάλλοντας τη μικροχλωρίδα του εντέρου των πουλερικών. Αυτή η αλλαγή οδηγεί σε μείωση των επιβλαβών βακτηρίων και σε αύξηση των ωφέλιμων βακτηρίων, βελτιστοποιώντας το περιβάλλον του εντέρου για την απορρόφηση και την πέψη των θρεπτικών συστατικών (Singh et al., 2013). Επιπλέον, τα αντιβιοτικά μειώνουν τη δραστηριότητα της υδρολάσης του χολικού άλατος, ενός ενζύμου που παράγεται από ορισμένα βακτήρια του εντέρου. Αυτή η μείωση βελτιώνει την πέψη του λίπους και τη χρήση των θρεπτικών συστατικών, ενισχύοντας έτσι την απόδοση ανάπτυξης (Lin, 2014).

Η επίδραση των αντιβιοτικών που προάγουν την ανάπτυξη πηγάζει επίσης από την ικανότητά τους να ρυθμίζουν το ανοσοποιητικό σύστημα των πουλερικών. Μειώνοντας το βακτηριακό φορτίο, τα αντιβιοτικά μειώνουν την ενέργεια και τους πόρους που διαφορετικά θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για την καταπολέμηση των λοιμώξεων. Αυτή η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να ανακατευθυνθεί προς την ανάπτυξη (Lee et al., 2012). Επιπλέον, τα αντιβιοτικά αυξάνουν την ικανότητα απορρόφησης θρεπτικών συστατικών (Butaye et al., 2003· Phillips et al., 2004).

Επίδραση στην υγεία του εντέρου: Η χρήση αντιβιοτικών στα πουλερικά έχει επίσης ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της εντερικής μικροχλωρίδας. Μια τέτοια τροποποίηση είναι καθοριστική για την ενίσχυση της συνολικής υγείας και ανάπτυξης του πτηνού. Μια ισορροπημένη μικροχλωρίδα του εντέρου, που διατηρείται μέσω της χρήσης αντιβιοτικών, είναι ζωτικής σημασίας για τις βέλτιστες πεπτικές και ανοσοποιητικές λειτουργίες (Lin, 2014).

Τύποι αντιβιοτικών και οι ειδικοί τους ρόλοι: Τα αντιβιοτικά που χρησιμοποιούνται στην πτηνοτροφία κατηγοριοποιούνται σε βακτηριοστατικούς και βακτηριοκτόνους τύπους. Τα βακτηριοστατικά αντιβιοτικά αναστέλλουν την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή βακτηρίων, ενώ τα βακτηριοκτόνα αντιβιοτικά σκοτώνουν τα βακτήρια. Και οι δύο τύποι είναι ευρέως διαθέσιμοι στην αγορά και επιλέγονται με βάση τις ειδικές ανάγκες και τη φύση των ασθενειών ή συνθηκών που στοχεύονται (Kohanski et al., 2010· Butaye et al., 2003).

Περιβαλλοντικές ανησυχίες και ανησυχίες για την υγεία: Παρά τον ευεργετικό τους ρόλο, η εκτεταμένη χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία εγείρει σημαντικές περιβαλλοντικές και υγειονομικές ανησυχίες. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των αντιβιοτικών, έως και 90%, απεκκρίνεται στο περιβάλλον είτε στην αρχική τους μορφή είτε ως μεταβολίτες (Carvalho & Santos, 2016). Αυτή η απέκκριση συμβάλλει στη ρύπανση του περιβάλλοντος και μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη βακτηρίων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά, μια αυξανόμενη ανησυχία τόσο στην κτηνιατρική όσο και στην ανθρώπινη ιατρική.

Εμφάνιση ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά: Η κατάχρηση και η κακή χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία έχουν συμβάλει σημαντικά στην εμφάνιση ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά. Αυτή η αντίσταση μπορεί να συμβεί φυσικά μέσω μεταλλάξεων ή να αποκτηθεί από άλλα βακτήρια

μέσω οριζόντιας μεταφοράς γονιδίων. Καθώς τα βακτήρια αναπτύσσουν ανθεκτικότητα, η αποτελεσματικότητα των αντιβιοτικών στη θεραπεία ασθενειών μειώνεται, θέτοντας μια σημαντική πρόκληση για την υγεία των ζώων και του ανθρώπου (Khameneh et al., 2016; Marquardt and Li, 2018; Wegener, 2003).

Συνοπτικά, ενώ τα αντιβιοτικά διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην πτηνοτροφία προάγοντας την ανάπτυξη και την πρόληψη ασθενειών, η ευρεία χρήση τους έχει πολύπλοκες επιπτώσεις στην υγεία των πουλερικών, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη δημόσια υγεία λόγω της εμφάνισης ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά. Αυτή η διχοτόμηση υπογραμμίζει τη σημασία της υπεύθυνης χρήσης αντιβιοτικών και την ανάγκη να διερευνηθούν εναλλακτικές λύσεις στη διατροφή των πουλερικών.

2.4 Τύποι αντιβιοτικών και εφαρμογές τους στην κτηνοτροφία

Η χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία είναι τόσο σημαντική όσο και στρατηγική, με ιδιαίτερη έμφαση στη βελτίωση της παραγωγικότητας και στη διατήρηση της υγείας των ζώων. Η πτηνοτροφία κατέχει τη δεύτερη θέση όσον αφορά την χρήση αντιμικροβιακών, με αναφερόμενη μονάδα διόρθωσης 148 mg/πληθυσμό. Αυτός ο αριθμός είναι υψηλότερος από εκείνον για τα βοοειδή, που είναι 45 mg/μονάδα διόρθωσης πληθυσμού και ξεπερνιέται μόνο από τους χοίρους στα 172 mg/μονάδα διόρθωσης πληθυσμού (Van Boeckel et al., 2015). Αυτή η στατιστική υπογραμμίζει τον κεντρικό ρόλο των αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία, υπογραμμίζοντας τη σημασία τους για την κάλυψη των κλιμακούμενων απαιτήσεων ενός αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού.

Στρατηγική αξιοποίηση στην πτηνοτροφία: Η στρατηγική χρήση των αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία στοχεύει πρωτίστως στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της παραγωγής. Ενισχύοντας τις ζωοτροφές με αντιβιοτικά, οι πτηνοτρόφοι μπόρεσαν να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση ανάπτυξης και την ανοσολογική απόκριση των εκτρεφόμενων ζώων. Αυτή η βελτίωση συνοδεύεται από μείωση των επιβλαβών μικροβίων του εντέρου, ενισχύοντας έτσι τη συνολική υγεία και την παραγωγικότητα (Neish, 2002; Kumar et al., 2018). Το αποτέλεσμα είναι ένας πιο εύρωστος και παραγωγικός πληθυσμός πουλερικών, ικανός να καλύψει τις αυξανόμενες απαιτήσεις για προϊόντα.

Σημασία για τις κτηνοτροφικές επιχειρήσεις: Η αυξανόμενη χρήση αντιβιοτικών αυξητικών προαγωγών (AGPs) στην πτηνοτροφία αντανακλά την αυξανόμενη σημασία τους για τις κτηνοτροφικές επιχειρήσεις. Τόσο στις εκτεταμένες όσο και στις εντατικές γεωργικές δραστηριότητες, τα AGP έχουν γίνει θεμελιώδης πτυχή της κτηνοτροφίας. Η ικανότητά τους να προλαμβάνουν τις ασθένειες, να τονώνουν την ανάπτυξη και να βελτιώνουν την αποδοτικότητα των ζωοτροφών τα καθιστά πρωταρχικό εργαλείο για τις πτηνοτροφικές μονάδες που προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή (Phillips et al., 2004; Van Boeckel et al., 2015).

Ποικιλία χρησιμοποιούμενων αντιβιοτικών: Το φάσμα των αντιβιοτικών που διατίθενται για χρήση στην πτηνοτροφία είναι ποικίλο, καθένα με τα ειδικά χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές του. Αυτά τα αντιβιοτικά επιλέγονται προσεκτικά με βάση τις ανάγκες των πουλερικών και τη φύση του συστήματος παραγωγής. Ορισμένα αντιβιοτικά χρησιμοποιούνται για τις βακτηριοστατικές τους ιδιότητες, οι οποίες αναστέλλουν την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή βακτηρίων, ενώ άλλα είναι βακτηριοκτόνα, που σημαίνει ότι σκοτώνουν άμεσα τα βακτήρια. Η επιλογή μεταξύ αυτών των τύπων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου μόλυνσης, του σταδίου ανάπτυξης και ειδικών ανησυχιών για την υγεία.

Εξισορρόπηση της αποτελεσματικότητας και της βιωσιμότητας: Ενώ η χρήση αντιβιοτικών έχει αναμφισβήτητα αυξήσει την αποδοτικότητα της παραγωγής πουλερικών, εγείρει επίσης ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα. Η πρόκληση έγκειται στην εξισορρόπηση των άμεσων οφελών από τη χρήση αντιβιοτικών με τις πιθανές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, όπως η περιβαλλοντική επιβάρυνση και η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά. Αυτή η ισορροπία είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση ότι η πτηνοτροφία παραμένει παραγωγική και βιώσιμη ενόψει των εξελισσόμενων προκλήσεων.

2.5 Επιπτώσεις για το περιβάλλον και την υγεία

Η εκτεταμένη χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία, ενώ είναι ευεργετική για την παραγωγή, έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία. Αυτές οι ανησυχίες είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της ευρύτερης επίδρασης της χρήσης αντιβιοτικών στην κτηνοτροφία και των επιπτώσεών της στη δημόσια υγεία και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Περιβαλλοντικές ανησυχίες: Μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία είναι η απελευθέρωση αυτών των ενώσεων στο περιβάλλον. Μελέτες δείχνουν ότι έως και το 90% των αντιβιοτικών που χορηγούνται στα πουλερικά δεν μεταβολίζονται και απεκκρίνονται στην αρχική τους μορφή ή ως μεταβολίτες (Carvalho & Santos, 2016). Αυτή η απέκκριση συμβάλλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος, επηρεάζοντας τα οικοσυστήματα του εδάφους και του νερού. Η παρουσία αντιβιοτικών στο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ανθεκτικών στα αντιβιοτικά βακτηρίων στην άγρια ζωή, θέτοντας σε κίνδυνο την οικολογική ισορροπία και τη βιοποικιλότητα.

Ανάπτυξη ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά: Η εμφάνιση ανθεκτικών στα αντιβιοτικά βακτηρίων αποτελεί σημαντική ανησυχία που σχετίζεται με τη χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία. Ο μηχανισμός ανάπτυξης αντοχής περιλαμβάνει τόσο φυσικές διεργασίες, όπως τυχαίες μεταλλάξεις χρωμοσωμάτων, όσο και οριζόντια μεταφορά γονιδίων, όπου τα γονίδια αντίστασης ανταλλάσσονται μεταξύ των βακτηρίων (Diarra and Malouin, 2014; Toutain et al., 2016). Η κατάχρηση και η κακή χρήση αντιβιοτικών στην κτηνοτροφία έχουν επιταχύνει αυτή τη διαδικασία, οδηγώντας στην εμφάνιση βακτηριακών στελεχών που είναι ανθεκτικά σε πολλαπλά αντιβιοτικά, γνωστά ως πολυανθεκτικά βακτήρια (MDR). Αυτό το φαινόμενο μειώνει την αποτελεσματικότητα των αντιβιοτικών, θέτοντας μια πρόκληση τόσο για την υγεία των ζώων όσο και του ανθρώπου (Khameneh et al., 2016; Marquardt and Li, 2018).

Επιπτώσεις στη Δημόσια Υγεία: Οι επιπτώσεις στην υγεία της αντοχής στα αντιβιοτικά εκτείνονται πέρα από το πεδίο της υγείας των ζώων στην ανθρώπινη υγεία. Τα ανθεκτικά στα αντιβιοτικά βακτήρια που προέρχονται από πτηνοτροφεία μπορούν να εισέλθουν στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα μέσω των παραγόμενων προϊόντων ή μόλυνσης του περιβάλλοντος. Αυτή η μετάδοση ενέχει σημαντικό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, καθώς περιορίζει την αποτελεσματικότητα των αντιβιοτικών στη θεραπεία ανθρώπινων ασθενειών. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας και άλλοι φορείς υγείας έχουν αναγνωρίσει την ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά ως κρίσιμη παγκόσμια πρόκληση για την υγεία, που απαιτεί επείγουσα και συντονισμένη δράση σε όλους τους τομείς της γεωργίας και της υγειονομικής περίθαλψης.

Ανάγκη για υπεύθυνη χρήση και εναλλακτικές λύσεις: Αναγνωρίζοντας αυτές τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία, υπάρχει μια αυξανόμενη έκκληση για υπεύθυνη χρήση αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία. Αυτό περιλαμβάνει την τήρηση αυστηρών κανονισμών σχετικά με τη χρήση

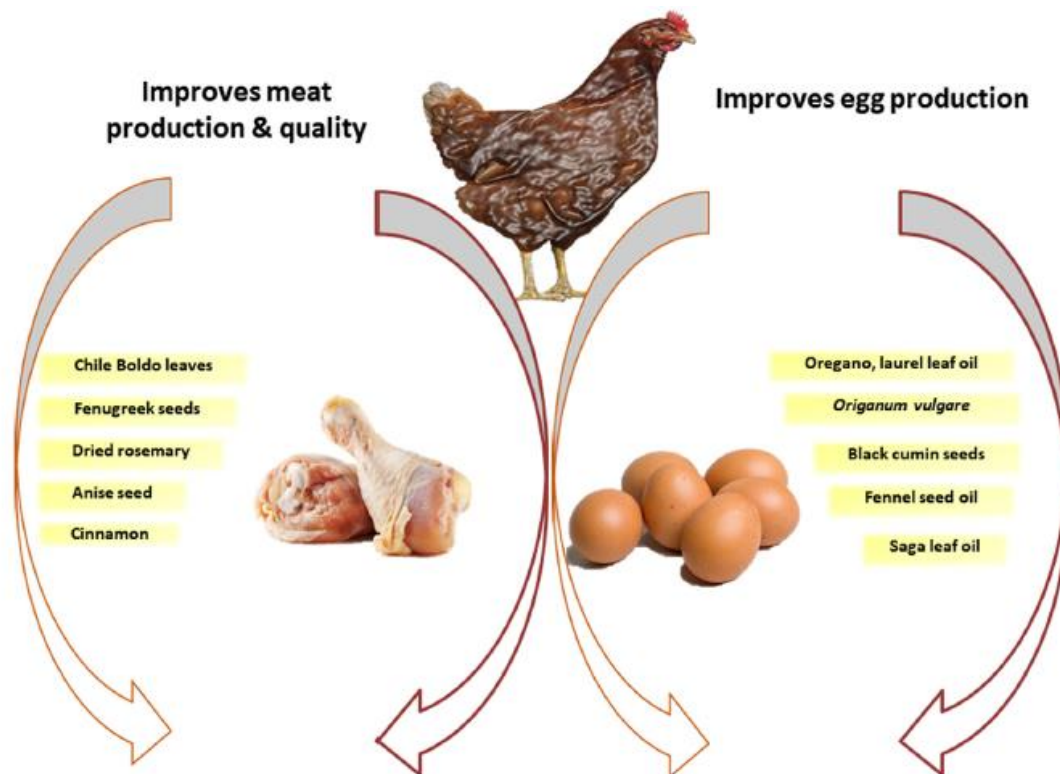
αντιβιοτικών, την εφαρμογή καλύτερων πρακτικών διαχείρισης για τη μείωση της εξάρτησης από τα αντιβιοτικά και την εξερεύνηση εναλλακτικών λύσεων για τη διατήρηση της υγείας και της παραγωγικότητας των πουλερικών χωρίς να συμβάλλει στην αντοχή στα αντιβιοτικά. Η επιδίωξη τέτοιων εναλλακτικών λύσεων δεν είναι μόνο θέμα κτηνοτροφικής πρακτικής αλλά και ένα κρίσιμο βήμα προς τη διασφάλιση της παγκόσμιας ασφάλειας της υγείας και της διατήρησης του περιβάλλοντος.

2.6 Προκλήσεις και ανάγκη για εναλλακτικές λύσεις

Παρά το γεγονός ότι τα αντιβιοτικά έχουν παίξει κεντρικό ρόλο στην ανάπτυξη της πτηνοτροφίας, η εκτεταμένη χρήση τους έχει οδηγήσει σε αναδυόμενες προκλήσεις που απαιτούν την εξερεύνηση εναλλακτικών λύσεων. Αυτές οι προκλήσεις υπογραμμίζουν την ανάγκη για μια ισορροπημένη προσέγγιση για τη διαχείριση της υγείας των πουλερικών, μια προσέγγιση που διασφαλίζει την παραγωγικότητα χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την περιβαλλοντική ακεραιότητα και τη δημόσια υγεία.

Οικονομικές επιπτώσεις και επιπτώσεις στην παραγωγή: Η εξάλειψη των αντιβιοτικών από τη διατροφή των πουλερικών έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει αρνητικά την απόδοση της παραγωγής και την υγεία των ζώων. Η απουσία αντιβιοτικών μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα ασθενειών, επηρεάζοντας τελικά την οικονομική βιωσιμότητα των πτηνοτροφικών επιχειρήσεων (Huyghebaert et al., 2011). Ως εκ τούτου, η πρόκληση έγκειται στην εύρεση εναλλακτικών λύσεων που μπορούν να διατηρήσουν ή να ενισχύσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής χωρίς να βασίζονται σε αντιβιοτικά.

Διερεύνηση εναλλακτικών μη αντιβιοτικών: Ως απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις, υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για εναλλακτικές λύσεις που δεν περιέχουν αντιβιοτικά που μπορούν να προάγουν την υγεία και την παραγωγικότητα των πουλερικών. Αυτές οι εναλλακτικές λύσεις κυμαίνονται από προβιοτικά και πρεβιοτικά έως πρόσθετα φυτικής προέλευσης όπως αιθέρια έλαια. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα καθοδηγείται από την ανάγκη εξεύρεσης βιώσιμων λύσεων που δεν συμβάλλουν στην ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά ενώ παράλληλα υποστηρίζουν την ανάπτυξη και την υγεία των πουλερικών (Suresh et al., 2018).



Σχήμα 1 Μερικά από τα αιθέρια έλαια με θετική επίδραση στην ποιότητα του κρέατος, και στην παραγωγή αυγών.

Πηγή: (Mohamed et al., 2022)

Διεπιστημονική έρευνα και παγκόσμια εγχειρήματα: Η αντιμετώπιση του ζητήματος της αντοχής στα αντιβιοτικά και η εύρεση βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων απαιτεί μια πολύπλευρη και διεπιστημονική προσέγγιση. Η συνεργασία μεταξύ κτηνιάτρων, μικροβιολόγων, επιστημόνων και υπευθύνων χάραξης πολιτικής είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη στρατηγικών που εξισορροπούν τις ανάγκες της πτηνοτροφίας με τις ανησυχίες για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Επιπλέον, η διεθνής συνεργασία είναι απαραίτητη για την τυποποίηση των πρακτικών και την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών που μπορούν να υιοθετηθούν παγκοσμίως για τη διαχείριση της χρήσης αντιβιοτικών στη κτηνοτροφία (Allen et al., 2013; Goossens et al., 2005).

3. Εισαγωγή στα Νανογαλακτώματα

3.1 Ορισμός και Βασικές Αρχές

Τα νανογαλακτώματα είναι μια εξελιγμένη κατηγορία κolloειδών διασπορών, που αναδεικνύεται ως σημαντικός τομέας έρευνας και εφαρμογής σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των φαρμακευτικών προϊόντων, των καλλυντικών και της τεχνολογίας τροφίμων. Είναι κινητικά σταθερές διασπορές υγρού σε υγρό με μεγέθη σταγονιδίων συνήθως της τάξης των 100 νανόμετρων (nm). Αυτή η εξαιρετικά λεπτή δομή είναι ένας βασικός παράγοντας για τις μοναδικές ιδιότητές τους, όπως η υψηλή επιφάνεια ανά μονάδα όγκου, η στιβαρή σταθερότητα, η οπτικά διαφανής εμφάνιση και η ρυθμιζόμενη ρεολογία, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπου η ελεγχόμενη απελευθέρωση και η στοχευμένη παροχή είναι απαραίτητες (Gupta et al., 2016).

Βασικά, τα νανογαλακτώματα αποτελούνται από δύο μη αναμίξιμα υγρά, συχνά λάδι και νερό, με τη μία φάση να διασπείρεται μέσα στην άλλη με τη μορφή μικρών σταγονιδίων. Το μέγεθος αυτών των σταγονιδίων κυμαίνεται συνήθως από 10 έως 1.000 nm. Το εύρος μεγέθους τους τα ταξινομεί ως κolloειδή σωματιδιακά συστήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στο να δρουν ως φορείς μορίων φαρμάκου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην παροχή βιοδραστικών ουσιών και φαρμάκων, όπου το μικρό μέγεθος των σταγονιδίων παίζει κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της βιοδιαθεσιμότητας των υδρόφοβων φαρμάκων και εκείνων με υψηλό μεταβολισμό πρώτης διόδου (Jaiswal et al., 2015).

Η θερμοδυναμική και η υψηλή κινητική σταθερότητα των νανογαλακτωμάτων, εκτός από το μικρό μέγεθος σταγονιδίων τους, έχουν ωθήσει την ταχεία ανάπτυξη στη χρήση τους ως συστήματα παροχής. Στον τομέα των καλλυντικών και του δερματολογικού τομέα, τα νανογαλακτώματα προσφέρουν ένα νέο μέσο παροχής βιοδραστικών ουσιών και φαρμάκων, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα του προϊόντος και την εμπειρία του χρήστη (Nur et al., 2019).

Τα νανογαλακτώματα διαφέρουν από τα μικρογαλακτώματα από πολλές απόψεις, κυρίως ως προς τη μέθοδο παρασκευής και τη σταθερότητά τους. Ενώ τα μικρογαλακτώματα είναι θερμοδυναμικά σταθερά και σχηματίζονται αυθόρμητα, τα νανογαλακτώματα είναι κινητικά σταθερά και απαιτούν εξωτερική ενέργεια για σχηματισμό. Αυτή η ενέργεια μπορεί να

παρασχεθεί μέσω μηχανικών μεθόδων υψηλής ενέργειας όπως η υπερήχων ή η ομογενοποίηση υψηλής πίεσης. Αυτές οι μέθοδοι διασπούν μεγαλύτερα σταγονίδια στο εύρος νανοκλίμακας, σχηματίζοντας έτσι το νανογαλακτώμα.

Η σταθερότητα των νανογαλακτωμάτων είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό, που τα διακρίνει από τα συμβατικά γαλακτώματα. Αυτή η σταθερότητα αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στο μικρό μέγεθος των διασκορπισμένων σταγονιδίων, το οποίο μειώνει σημαντικά τις βαρυτικές δυνάμεις που ασκούν πάνω τους, αποτρέποντας έτσι τον γρήγορο διαχωρισμό. Επιπλέον, η υψηλή αναλογία επιφάνειας προς όγκο ενισχύει τη σταθερότητα και την αποτελεσματικότητα των δραστικών συστατικών που ενθυλακώνονται μέσα στα σταγονίδια. Αυτές οι ιδιότητες είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπου η μεγάλη διάρκεια ζωής και η σταθερή απόδοση είναι απαραίτητες.

Συμπερασματικά, τα νανογαλακτώματα παρουσιάζουν μια καινοτόμο προσέγγιση σε διάφορες επιστημονικές και βιομηχανικές εφαρμογές λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων τους. Το μικρό τους μέγεθος σταγονιδίων, σε συνδυασμό με την υψηλή κινητική σταθερότητα, τα καθιστά αποτελεσματικό όχημα για την παροχή δραστικών συστατικών με ελεγχόμενο και στοχευμένο τρόπο.

3.2 Σύνθεση και είδη

Τα νανογαλακτώματα, ως κατηγορία κολλοειδών συστημάτων, χαρακτηρίζονται από τη μοναδική σύσταση και τα δομικά τους χαρακτηριστικά. Στον πυρήνα τους, αποτελούνται από δύο μη αναμίξιμα υγρά, συνήθως μια ελαιώδη φάση και μια υδατική φάση, τα οποία είναι ομοιογενώς διασκορπισμένα το ένα στο άλλο. Οι φάσεις του ελαίου και του νερού αποτελούν τη βάση της σύνθεσής τους, με ένα από τα υγρά συνήθως διασκορπισμένα ως μικρά σφαιρίδια μέσα στο άλλο. Η φύση αυτών των δύο πρωταρχικών συστατικών - λάδι και νερό - και η αναλογία τους, επηρεάζουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές του νανογαλακτώματος (Mushtaq et al., 2023).

Κεντρικό στοιχείο για τη σταθερότητα και το σχηματισμό των νανογαλακτωμάτων είναι οι επιφανειοδραστικοί παράγοντες, κοινώς γνωστοί ως επιφανειοδραστικά. Αυτοί οι παράγοντες είναι απαραίτητοι για τη σταθεροποίηση της διεπαφής μεταξύ των φάσεων ελαίου και νερού. Με

την προσρόφηση στη διεπιφάνεια λαδιού-νερού, τα επιφανειοδραστικά μειώνουν αποτελεσματικά την επιφανειακή τάση, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για το σχηματισμό και τη σταθεροποίηση των σταγονιδίων νανο-μεγέθους. Η επιλογή του επιφανειοδραστικού, καθώς και η συγκέντρωσή του, παίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του νανογαλακτώματος. Τα επιφανειοδραστικά μπορούν να επιλεγούν από ένα ευρύ φάσμα φυσικών ή συνθετικών ενώσεων, καθεμία από τις οποίες προσδίδει διαφορετικά χαρακτηριστικά στο νανογαλάκτωμα (Tayeb et al., 2021).

Εκτός από τα επιφανειοδραστικά, τα νανογαλακτώματα μπορεί επίσης να περιέχουν συν-τασιενεργά ή συν-γαλακτωματοποιητές, τα οποία βοηθούν περαιτέρω στη σταθεροποίηση του γαλακτώματος βελτιώνοντας την ευκαμψία και τη ρευστότητα της μεμβράνης διεπιφανείας. Αυτό το πρόσθετο στρώμα σταθερότητας είναι ιδιαίτερα σημαντικό για εφαρμογές όπου απαιτείται μακροπρόθεσμη σταθερότητα, όπως σε φαρμακευτικά προϊόντα και προϊόντα διατροφής (McClements et al., 2018).

Η δομή των νανογαλακτωμάτων καθορίζεται κυρίως από τον τύπο της διεσπαρμένης φάσης. Με βάση αυτό, τα νανογαλακτώματα ταξινομούνται είτε ως γαλακτώματα λάδι σε νερό (O/W) είτε ως γαλακτώματα νερό σε λάδι (W/O). Στα γαλακτώματα O/W, τα σταγονίδια λαδιού διασπείρονται σε μια συνεχή υδατική φάση, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν υδατοδιαλυτό περιβάλλον. Αντίθετα, τα γαλακτώματα W/O αποτελούνται από σταγονίδια νερού διασκορπισμένα σε μια ελαιώδη φάση, ιδανικά για ελαιοδιαλυτές εφαρμογές. Η επιλογή μεταξύ των νανογαλακτωμάτων O/W και W/O διέπεται από την προβλεπόμενη εφαρμογή και τη φύση των ουσιών που πρόκειται να εγκλωβιστούν.

Η σύνθεση και το είδος των νανογαλακτωμάτων δεν περιορίζονται μόνο σε αυτά τα βασικά συστατικά. Η πρόοδος στην τεχνολογία νανογαλακτωμάτων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο πολύπλοκων συστημάτων, που ενσωματώνουν πρόσθετα συστατικά όπως συνδιαλύτες, ηλεκτρολύτες ή ακόμα και πολυμερή υλικά. Αυτές οι προσθήκες μπορούν να ενισχύσουν τις λειτουργικές ιδιότητες των νανογαλακτωμάτων, όπως τη βελτίωση της διαλυτότητας του φαρμάκου, τη ρύθμιση των προφίλ απελευθέρωσης και την αύξηση της σταθερότητας. Η σύνθεση γίνεται έτσι ένας κρίσιμος παράγοντας για την προσαρμογή των νανογαλακτωμάτων για συγκεκριμένες εφαρμογές, που κυμαίνονται από τη στοχευμένη χορήγηση φαρμάκων έως τα ενισχυμένα καλλυντικά σκευάσματα.

Συνοπτικά, η σύνθεση και τα είδη των νανογαλακτωμάτων είναι περίπλοκα και ποικίλα. Η προσεκτική επιλογή και ο συνδυασμός λαδιού, νερού, επιφανειοδραστικών ουσιών και πιθανώς άλλων πρόσθετων, δημιουργούν μια ευέλικτη πλατφόρμα για πολλές εφαρμογές, καθεμία με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και προκλήσεις της. Αυτή η πολυπλοκότητα όχι μόνο καταδεικνύει την ευελιξία των νανογαλακτωμάτων αλλά υπογραμμίζει επίσης τη σημασία της κατανόησης της σύνθεσής τους για αποτελεσματική εφαρμογή σε διάφορους τομείς.

3.3 Μέθοδοι Παρασκευής

Η κατασκευή νανογαλακτωμάτων είναι μια κρίσιμη διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει μεθόδους που διασφαλίζουν το σχηματισμό σταθερών και αποτελεσματικών σταγονιδίων νανο-μεγέθους. Αυτές οι μέθοδοι κατηγοριοποιούνται ευρέως σε τεχνικές υψηλής ενέργειας και χαμηλής ενέργειας, καθεμία με τους διαφορετικούς μηχανισμούς και τα πλεονεκτήματά της.

Μέθοδοι υψηλής ενέργειας (Tayeb et al., 2021):

Οι μέθοδοι υψηλής ενέργειας χαρακτηρίζονται από τη χρήση μηχανικών συσκευών που προσδίδουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας για τη διάσπαση των μεγαλύτερων σταγονιδίων στο εύρος νανοκλίμακας. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τεχνικές όπως (McClements et al., 2018):

Ομογενοποίηση υψηλής πίεσης: Περιλαμβάνει την πίεση του γαλακτώματος μέσα από ένα στενό διάκενο σε πολύ υψηλές πιέσεις, συνήθως στην περιοχή 100–500 MPa. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα έντονες δυνάμεις διάτμησης και κρούσης, που οδηγούν στο σχηματισμό σταγονιδίων νανο-μεγέθους. Η ομογενοποίηση υψηλής πίεσης χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της αποτελεσματικότητάς της στην παραγωγή μικρών και ομοιόμορφων σταγονιδίων, απαραίτητα για σταθερά νανογαλακτώματα.

Υπερήχων: Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί υπερηχητικά κύματα για να δημιουργήσει έντονες δυνάμεις διάτμησης που διαταράσσουν τα μεγέθη των σταγονιδίων. Το φαινόμενο της σπηλαίωσης, όπου σχηματίζονται μικρές φυσαλίδες κενού και καταρρέουν βίαια, είναι κυρίως υπεύθυνο για αυτή τη διαταραχή. Η υπερήχηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για παρασκευάσματα μικρής κλίμακας και εργαστηριακά πειράματα, όπου ο έλεγχος του μεγέθους των σταγονιδίων είναι ζωτικής σημασίας.

Μέθοδοι χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (McClements et al., 2018):

Αντίθετα, οι μέθοδοι χαμηλής ενέργειας βασίζονται στις εγγενείς ιδιότητες του συστήματος, όπως η συμπεριφορά φάσης του μείγματος λαδιού, νερού και επιφανειοδραστικών ουσιών. Αυτές οι μέθοδοι είναι λιγότερο εντατικές και συχνά πιο οικονομικές, όπως:

Θερμοκρασία Αναστροφής Φάσης (PIT): Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία διαλυτότητα των επιφανειοδραστικών ουσιών. Μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία, το σύστημα διέρχεται από μια αναστροφή φάσης, μεταβαίνοντας από γαλάκτωμα λάδι σε νερό σε νερό σε λάδι ή αντίστροφα, οδηγώντας στο σχηματισμό νανογαλακτωμάτων.

Αυθόρμητη Γαλακτωματοποίηση: Αυτή η διαδικασία συμβαίνει όταν ένα μείγμα ελαίου, νερού και επιφανειοδραστικής ουσίας αναδεύεται απαλά, επιτρέποντας τον αυθόρμητο σχηματισμό σταγονιδίων μεγέθους νανο. Είναι μια απλή και ενεργειακά αποδοτική μέθοδος, που χρησιμοποιείται συχνά για συστήματα όπου τα εξαρτήματα έχουν κατάλληλες ιδιότητες διαλυτότητας και διεπαφής.

Η επιλογή μεταξύ μεθόδων υψηλής ενέργειας και χαμηλής ενέργειας εξαρτάται από παράγοντες όπως το απαιτούμενο μέγεθος σταγονιδίων, τη φύση των υλικών που γαλακτωματοποιούνται, την κλίμακα παραγωγής και τις εκτιμήσεις κόστους. Οι μέθοδοι υψηλής ενέργειας γενικά προτιμώνται για την ικανότητά τους να παράγουν μικρότερα και πιο ομοιόμορφα σταγονίδια, κάτι που είναι κρίσιμο για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή σταθερότητα και βιοδιαθεσιμότητα, όπως στην παροχή φαρμάκου. Οι μέθοδοι χαμηλής ενέργειας, από την άλλη πλευρά, επιλέγονται συχνά για την απλότητα και την οικονομική τους αποδοτικότητα, ιδιαίτερα κατάλληλες για μεγάλης κλίμακας βιομηχανική παραγωγή όπου οι ακραίες συνθήκες μεθόδων υψηλής ενέργειας μπορεί να μην είναι εφικτές.

Συμπερασματικά, η κατασκευή νανογαλακτωμάτων περιλαμβάνει μια διαφοροποιημένη επιλογή μεθόδων, παράγοντες εξισορρόπησης όπως η εισροή ενέργειας, οι ιδιότητες του υλικού και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Αυτή η επιλογή είναι καθοριστικής σημασίας για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας, της σταθερότητας και της δυνατότητας εφαρμογής των νανογαλακτωμάτων σε διάφορους τομείς.

3.4 Σταθερότητα και διάρκεια ζωής

Η σταθερότητα και η διάρκεια ζωής των νανογαλακτωμάτων είναι υψίστης σημασίας για τον καθορισμό της αποτελεσματικότητας και της εφαρμογής τους σε διάφορους τομείς, από τα φαρμακευτικά προϊόντα μέχρι τα προϊόντα διατροφής. Η κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν αυτά τα χαρακτηριστικά είναι απαραίτητη για την επιτυχή σύνθεση και εφαρμογή των νανογαλακτωμάτων.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη σταθερότητα (Montes et al., 2017):

Μέγεθος και κατανομή σταγονιδίων: Το μέγεθος των σταγονιδίων στα νανογαλακτώματα παίζει καθοριστικό ρόλο στη σταθερότητά τους. Τα μικρότερα σταγονίδια οδηγούν σε μια πιο ομοιογενή δομή και μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά τη σταθερότητα του συστήματος. Η ομοιομορφία στην κατανομή του μεγέθους των σταγονιδίων συμβάλλει επίσης σε αυτή τη σταθερότητα, καθώς εμποδίζει τη συνένωση των σταγονιδίων, η οποία μπορεί να οδηγήσει στη διάσπαση του γαλακτώματος.

Σύνθεση: Τα συγκεκριμένα συστατικά του νανογαλακτώματος, συμπεριλαμβανομένου του τύπου του λαδιού, του νερού, της επιφανειοδραστικής ουσίας και τυχόν συναυτομοιογενών ή πρόσθετων, επηρεάζουν άμεσα τη σταθερότητά του. Κάθε συστατικό πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά και να εξισορροπηθεί για να διασφαλιστεί ο σχηματισμός ενός σταθερού νανογαλακτώματος.

Ιδιότητες διεπαφής: Οι ιδιότητες της διεπαφής μεταξύ των φάσεων ελαίου και νερού, που σταθεροποιούνται από τασιενεργά, είναι κρίσιμες για τη διατήρηση της ακεραιότητας του νανογαλακτώματος. Η αντοχή και η ευκαμψία αυτής της μεμβράνης διεπιφανείας καθορίζουν την ικανότητα του νανογαλακτώματος να ανθίσταται στις εξωτερικές πιέσεις και να αποτρέπει τη συνένωση σταγονιδίων.

Βελτίωση της διάρκειας ζωής (Mushtaq et al., 2023):

Βελτιστοποίηση της σύνθεσης: Η σταθερότητα και η διάρκεια ζωής των νανογαλακτωμάτων μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με τη βελτιστοποίηση της σύνθεσης. Αυτό περιλαμβάνει

προσαρμογή των συγκεντρώσεων λαδιού, νερού και επιφανειοδραστικών ουσιών και πιθανή ενσωμάτωση πρόσθετων σταθεροποιητικών παραγόντων ή συντηρητικών.

Ελεγχόμενη διαδικασία παραγωγής: Η χρήση ακριβών και ελεγχόμενων διαδικασιών παραγωγής μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή νανογαλακτωμάτων με σταθερές και επιθυμητές ιδιότητες. Είτε χρησιμοποιούνται μέθοδοι υψηλής είτε χαμηλής ενέργειας, η διατήρηση του ελέγχου των παραμέτρων της διαδικασίας είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη μακροπρόθεσμης σταθερότητας.

Φυσικοχημικός Χαρακτηρισμός (Zhang et al., 2018): Η κατανόηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των νανογαλακτωμάτων, όπως οι οπτικές, ρεολογικές και σταθερότητας ιδιότητες τους, είναι το κλειδί για την πρόβλεψη και τη βελτίωση της διάρκειας ζωής τους. Αυτό περιλαμβάνει τη μελέτη της σύνθεσης, του μεγέθους, της κατάστασης συσσωμάτωσης και των διεπιφανειακών ιδιοτήτων των σταγονιδίων μέσα στο νανογαλάκτωμα.

Η σταθερότητα και η διάρκεια ζωής των νανογαλακτωμάτων επηρεάζονται από μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση παραγόντων, που κυμαίνονται από τις εγγενείς ιδιότητες των συστατικών υλικών έως τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά και να βελτιστοποιηθούν για την παραγωγή νανογαλακτωμάτων που όχι μόνο είναι αποτελεσματικά στην προβλεπόμενη εφαρμογή τους αλλά και παραμένουν σταθερά και αποτελεσματικά με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η πτυχή της επιστήμης των νανογαλακτωμάτων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της πρακτικής βιωσιμότητας και της εμπορικής επιτυχίας των προϊόντων που παρασκευάζονται χρησιμοποιώντας αυτά τα προηγμένα κολλοειδή συστήματα.

4. Επίδραση των αιθέριων ελαίων στην ανάπτυξη των πτηνών

4.1 Εισαγωγή

Τα αιθέρια έλαια (EO) έχουν συγκεντρώσει σημαντικό ενδιαφέρον για τη διατροφή των πτηνών λόγω των διαφορετικών μηχανισμών δράσης τους, ιδιαίτερα στη βελτίωση του πεπτικού συστήματος. Αυτά τα έλαια, τα οποία είναι πολύπλοκα μείγματα πτητικών ενώσεων που εξάγονται από φυτά, έχουν επιδείξει πολύπλευρα οφέλη στην πτηνοτροφία.

Ένας από τους κύριους μηχανισμούς είναι η θετική επίδραση στο πεπτικό σύστημα των πτηνών. Οι Mantzouris et al. (2011) τόνισαν ότι τα EOs μπορούν να ανακτήσουν την ισορροπία της μικροχλωρίδας στο έντερο και να βελτιώσουν την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Αυτή η επίδραση αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στην παρουσία τερπενοειδών ουσιών στα EOs. Αυτές οι ενώσεις όχι μόνο ενισχύουν το δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR), αλλά επίσης ενισχύουν την παραγωγή πεπτικών ενζύμων, διευκολύνοντας έτσι την καλύτερη πέψη και την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών.

Επιπλέον, έχει βρεθεί ότι τα EOs επηρεάζουν τη γεύση και τη μυρωδιά των ζωοτροφών, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει άμεσα την πρόσληψη τροφής. Οι Gopi et al. (2014) σημείωσαν ότι τα EOs ενισχύουν την πέψη των πρωτεϊνών αυξάνοντας τις γαστρικές εκκρίσεις και τις συγκεντρώσεις υδροχλωρικού οξέος (HCl). Αυτή η επίδραση είναι ιδιαίτερα ευεργετική για τη βελτιστοποίηση της πεπτικής διαδικασίας και τη διασφάλιση ότι τα θρεπτικά συστατικά της τροφής διασπώνται και απορροφώνται αποτελεσματικά.

Τα EOs παίζουν επίσης ρόλο στην τόνωση της δραστηριότητας των πεπτικών ενζύμων. Η αυξημένη παραγωγή και δραστηριότητα ενζύμων όπως η αμυλάση, η λιπάση και η θρυψίνη, καθοριστικής σημασίας για τη διάσπαση των υδατανθράκων, των λιπών και των πρωτεϊνών, αντίστοιχα, συμβάλλουν στη βελτίωση της πεπτικότητας των θρεπτικών συστατικών. Αυτή η ενισχυμένη ενζυματική δραστηριότητα υπογραμμίζει περαιτέρω την αποτελεσματικότητα των EOs.

Ωστόσο, η χρήση των EOs στη διατροφή των πτηνών δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Ορισμένες EOs, ανάλογα με τη σύσταση και τη συγκέντρωσή τους, μπορεί να ερεθίσουν τον βλεννογόνο του εντέρου, οδηγώντας σε φλεγμονή. Όπως οι Gopi et al. (2014) προειδοποίησαν, είναι απαραίτητο να επιλέγονται προσεκτικά και να ρυθμίζονται τα συμπληρώματα EOs για να αποφευχθούν δυσμενείς επιπτώσεις στην εντερική υγεία των πτηνών.

Συμπερασματικά, οι μηχανισμοί δράσης των EOs στο πεπτικό σύστημα των πτηνών είναι πολύπλευροι, και περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ισορροπίας της μικροχλωρίδας του εντέρου, την ενίσχυση της παραγωγής πεπτικών ενζύμων και τη διέγερση των γαστρικών εκκρίσεων, τα οποία συμβάλλουν στην καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και τη συνολική

υγεία του πεπτικού συστήματος. Η προσεκτική επιλογή και χρήση αυτών των ΕΟ είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων τους, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των πουλερικών.

4.2 Μηχανισμοί Δράσης Αιθέριων Ελαίων

Τα αιθέρια έλαια (EOs) αναγνωρίζονται ολοένα και περισσότερο για τον ευεργετικό τους ρόλο στη διατροφή των πουλερικών, κυρίως λόγω των διαφορετικών μηχανισμών δράσης τους που ενισχύουν τη συνολική υγεία και παραγωγικότητα. Αυτά τα έλαια, που εξάγονται από μια ποικιλία φυτών, περιέχουν ενώσεις που παρουσιάζουν διάφορες βιολογικά ενεργές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένων αντιμικροβιακών, αντιοξειδωτικών και διεγερτικών δράσεων του πεπτικού συστήματος, οι οποίες συμβάλλουν συλλογικά στην αποτελεσματικότητά τους (Elgammal et al., 2021; Amerah & Ouwehand, 2016).

Ένας από τους πρωταρχικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων οι ΕΟ ασκούν τα ευεργετικά τους αποτελέσματα είναι μέσω της διέγερσης της πρόσληψης τροφής. Τα ΕΟ είναι γνωστό ότι δρουν ως διεγερτικά πρόσληψης ζωοτροφών, ενθαρρύνοντας μεγαλύτερη κατανάλωση, η οποία είναι μια ζωτική πτυχή της ανάπτυξης των πουλερικών (Amerah & Ouwehand, 2016). Αυτή η αυξημένη πρόσληψη τροφής συνοδεύεται από βελτίωση της έκκρισης πεπτικών ενζύμων, διευκολύνοντας την καλύτερη απορρόφηση και αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών. Η παρουσία ΕOs στη διατροφή των πουλερικών οδηγεί σε ενισχυμένες δραστηριότητες βασικών πεπτικών ενζύμων όπως η θρυψίνη, η λιπάση και η αμυλάση, τα οποία παίζουν κρίσιμους ρόλους στην πέψη και την αφομοίωση των συστατικών της τροφής (Elbaz et al., 2022).

Μια άλλη σημαντική δράση των ΕΟ είναι ο ρόλος τους στη βελτίωση της ανοσολογικής απόκρισης στις ασθένειες. Ενισχύοντας το ανοσοποιητικό σύστημα, τα ΕΟ συμβάλλουν στη συνολική υγεία και ανθεκτικότητα των πουλερικών έναντι διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον μετριασμό των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η πτηνοτροφία, όπως οι επιδημίες και οι περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες. Οι ανοσοτροποποιητικές επιδράσεις των ΕOs αποδεικνύονται από αυξημένους τίτλους αντισωμάτων και ενισχυμένα σχετικά βάρη των οργάνων του ανοσοποιητικού

συστήματος, υποδεικνύοντας μια πιο ισχυρή ανοσοαπόκριση σε πουλερικά που διατρέφονται με EOs (Elbaz et al., 2022).

Τα ΕΟ εμφανίζουν επίσης σημαντικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Ενισχύουν τα επίπεδα αντιοξειδωτικών ενζύμων όπως η υπεροξειδική δισμουτάση και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης, βελτιώνοντας έτσι την οξειδωτική κατάσταση των πτηνών. Αυτό είναι ιδιαίτερα ευεργετικό σε συνθήκες περιβαλλοντικού στρες, όπως η ζέστη, όπου το οξειδωτικό στρες μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στην υγεία και την απόδοση. Η αντιοξειδωτική δράση των EOs βοηθά στον μετριασμό αυτών των στρεσογόνων παραγόντων, διασφαλίζοντας καλύτερη υγεία και παραγωγικότητα.

Η αντιμικροβιακή δράση των ΕΟ διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στην αποτελεσματικότητά τους ως πρόσθετες ύλες ζωοτροφών. Έχει αποδειχθεί ότι μεταβάλλουν θετικά το εντερικό μικροβιακό περιεχόμενο, αυξάνοντας τα ωφέλιμα βακτήρια όπως ο *Lactobacillus* ενώ μειώνουν τα επιβλαβή μικρόβια όπως το *E. coli*. Αυτό οδηγεί σε ένα πιο υγιές περιβάλλον στο έντερο, το οποίο είναι απαραίτητο για τη βέλτιστη απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και τη συνολική υγεία των πουλερικών (Elbaz et al., 2022).

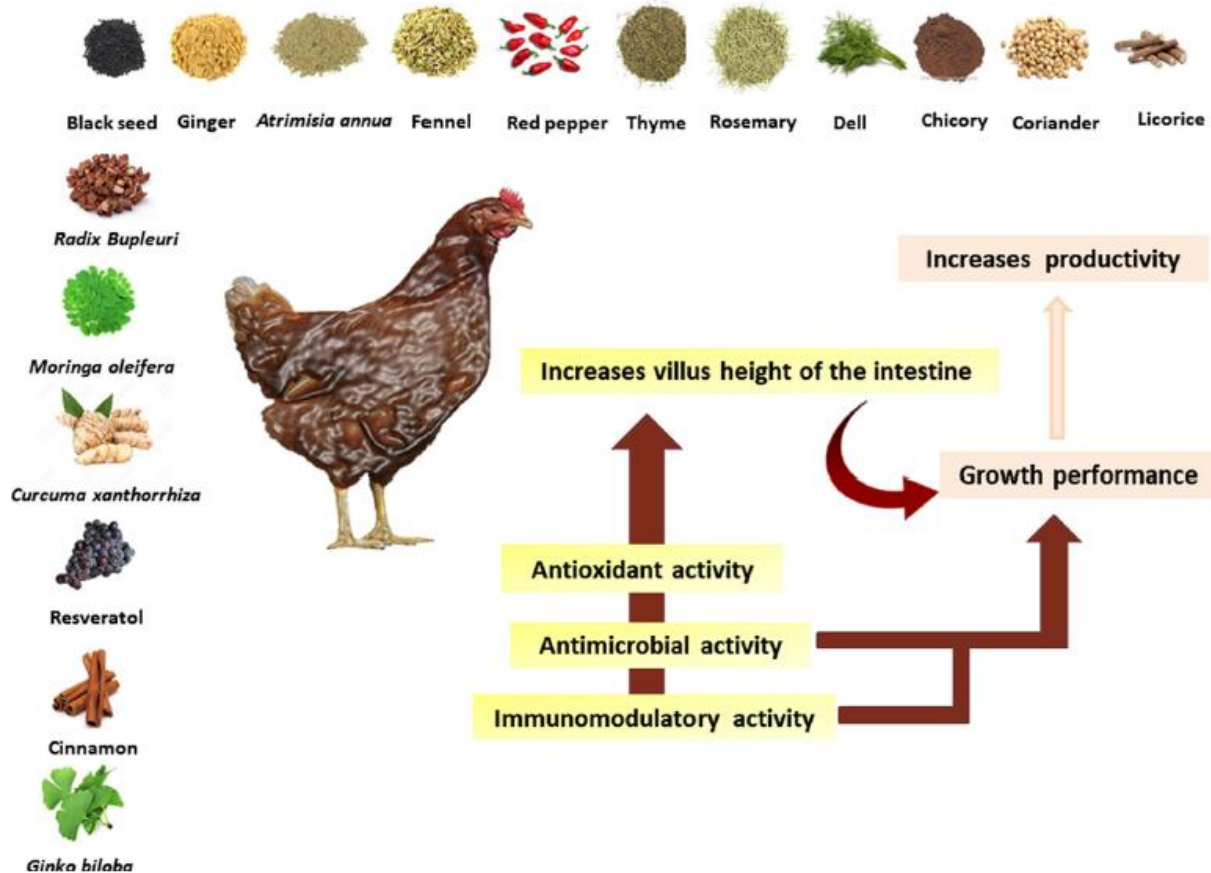
Συνοπτικά, οι ΕΟ προσφέρουν μια πολυλειτουργική προσέγγιση για τη βελτίωση της διατροφής και της υγείας των πουλερικών. Η ικανότητά τους να διεγείρουν την πρόσληψη τροφής και τη δραστηριότητα των πεπτικών ενζύμων, σε συνδυασμό με τις ανοσοτροποποιητικές, αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές τους ιδιότητες, τα καθιστά πολύτιμο συστατικό στη διατροφή των πουλερικών, προσφέροντας μια φυσική και αποτελεσματική εναλλακτική λύση στα συμβατικά πρόσθετα ζωοτροφών.

4.3 Επιπτώσεις στην ανάπτυξη των πουλερικών και την ποιότητα του σφάγιου

Ο αντίκτυπος των αιθέριων ελαίων (EOs) στην ανάπτυξη των πουλερικών είναι πολύπλευρος, και περιλαμβάνει διάφορες πτυχές όπως η μέση ημερήσια αύξηση, η μετατρεψιμότητα της τροφής και η ποιότητα του σφαγίου (Elbaz et al., 2022).

Ειδικότερα, έρευνες έχουν δείξει ότι τα κρεοπαραγωγά ορνίθια των οποίων η διατροφή περιλαμβάνει EOs, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό, παρουσιάζουν αυξημένο μέσο σωματικό βάρος και μέση ημερήσια αύξηση. Η χρήση των EOs ως φυσικού διεγερτικού

ανάπτυξης είναι ιδιαίτερα ελκυστική στο πλαίσιο της μείωσης της εξάρτησης από τις συμβατικές (Elbaz et al., 2022).



Σχήμα 2 Επιδράσεις των αιθέριων ελαίων στην απόδοση ανάπτυξης και την παραγωγικότητα των πουλερικών λόγω των αντιοξειδωτικών, αντιμικροβιακών και ανοσοτροποποιητικών τους υπάρχουντα.

Πηγή: (Mohamed et al., 2022)

Ο δείκτης μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) αντιπροσωπεύει την αποτελεσματικότητα με την οποία τα πτηνά μετατρέπουν τις ζωοτροφές σε σωματική μάζα. Μελέτες έχουν δείξει ότι η συμπερίληψη των EOs στη διαίτα των πουλερικών οδηγεί σε σημαντική βελτίωση του FCR. Αυτό σημαίνει ότι τα ορνίθια μπορούν να αναπτυχθούν πιο αποτελεσματικά, χρησιμοποιώντας τα θρεπτικά συστατικά της τροφής τους πιο αποτελεσματικά όταν υπάρχουν EOs. Αυτή η

ενισχυμένη απόδοση των ζωοτροφών δεν είναι μόνο ευεργετική για την ανάπτυξη, αλλά συμβάλλει επίσης στην οικονομική αποδοτικότητα της πτηνοτροφίας (Elbaz et al., 2022).

Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτη η επίδραση των ΕΟ στην ποιότητα του σφαγίου. Η συμπλήρωση με ΕOs έχει συσχετιστεί με βελτιωμένη επίδεση σφαγίου (carcass dressing), υποδηλώνοντας υψηλότερη απόδοση σε αναλώσιμο κρέας από τα πτηνά. Αυτό συμπληρώνεται από τη μείωση της περιεκτικότητας σε κοιλιακό λίπος, το οποίο συχνά θεωρείται ανεπιθύμητο στα προϊόντα πουλερικών. Η ικανότητα των ΕΟ να βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά του σφαγίου με ταυτόχρονη μείωση της εναπόθεσης λίπους προσθέτει σημαντική αξία, τόσο όσον αφορά την ποιότητα του παραγόμενου κρέατος όσο και τις οικονομικές πτυχές της πτηνοτροφίας. Αυτές οι βελτιώσεις στα χαρακτηριστικά του σφαγίου πιστεύεται ότι συνδέονται με τη δραστηριότητα των πεπτικών ενζύμων και τις αντιμικροβιακές δράσεις των ΕOs, οι οποίες συμβάλλουν στην καλύτερη συνολική χρήση των θρεπτικών συστατικών και στην υγεία του εντέρου.

Πίνακας 1 Βιολογικές επιδράσεις των αιθέριων ελαίων (EOs) στην παραγωγή πουλερικών.

Αιθέρια Έλαια	Επίδραση	Αναφορές
Εκχύλισμα θυμαριού	Αυξάνει την έκκριση των πεπτικών ενζύμων, δηλαδή της αμυλάσης και της χυμοθρυψίνης. Αυξάνει τους ρυθμούς απορρόφησης στο έντερο. Βελτιώνει τη χρήση των ζωοτροφών.	(Wade et al., 2018)
Τα ΕΟ αναμειγνύονται στα 300 και 600 g/kg ζωοτροφής	Ενισχύει την απόδοση ανάπτυξης.	(Peng et al., 2016)
Έλαιο φλοιού κανέλας σε διαίτα 300 mg/kg	Ενισχύει την αντιοξειδωτική κατάσταση στα κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής καθώς η δραστηριότητα SOD αυξήθηκε σημαντικά σε πτηνά με συμπληρωματικό έλαιο φλοιού κανέλας σε σύγκριση με τη θεραπεία με αντιβιοτικά.	(Chowdhury et al., 2018)

Αιθέρια Έλαια	Επίδραση	Αναφορές
ΕΟ λεμονόχορτου (Cymbopogon citratus).	Αναστέλλει παθογόνα βακτήρια, όπως <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Salmonella enterica</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> και <i>Candida albicans</i> .	(Singh and Ebibeni, 2016; Juniatik et al., 2017)
Αιθερολική ρίγανη ΕΟ	Βελτιώνει το ανοσοποιητικό σύστημα των κρεοπαραγωγών ορνιθίων έναντι των λοιμώξεων από <i>Escherichia coli</i> . Ενισχύει τις κυτταρικές και χυμικές ανοσοαποκρίσεις.	(Abd El-Ghany and Ismail, 2014)
Συμπερίληψη αιθέριου ελαίου ρίγανης 300 και 600 mg/kg (<i>Origanum spp.</i>)	Βελτιώνει το μέσο ημερήσιο κέρδος των πτηνών.	(Peng et al., 2016)
Τρανς-κινναμαλδεΐδη	Μειώνει τη μετάδοση της <i>Salmonella enteritidis</i> από τα αυγά στα εμπορικά στρώματα.	(Abd El-Hack et al., 2021c)
Καρβακρόλη και θυμόλη	Μειώνει τον αποικισμό του <i>Campylobacter</i> , αν και η συνέπεια στην αντιμικροβιακή δράση σε όλα τα πειράματα ήταν πρόβλημα.	(Abd El-Hack et al., 2021d)
Έλαιο Ajwain (AJO), έλαιο γαρύφαλλου (CLO) και λάδι κανέλας (CNO) (400, 600, 300 mg/kg) διατροφής, αντίστοιχα	Μειώνει τον αριθμό των ειδών <i>Escherichia coli</i> και <i>Clostridium</i> στο προ-τυφλικό περιεχόμενο.	(Chowdhury et al., 2018)
Φύλλα <i>Mentha piperita</i>	Ενισχύει την ιστομορφολογική δομή του βλεννογόνου	(Hamedi et al., 2017)

Αιθέρια Έλαια	Επίδραση	Αναφορές
	του λεπτού εντέρου των ορνίθων.	
Κανέλαιο σε 0,3 mg/g δίαιτας	Βελτιώνει το ύψος των λαχνών στο δωδεκαδάκτυλο, τη νήστιδα και τον ειλεό.	(Chowdhury et al., 2018)
Αιθέριο έλαιο κανέλας στα 300 mg/kg	Μειώνει το επίπεδο χοληστερόλης και το ένζυμο 3- υδροξυ-3-μεθυλ-γλουταρυλ-συνένζυμο Α αναγωγάσης μετα-μεταγραφικά χωρίς να αλλάζει τα επίπεδα mRNA του ενζύμου.	(Chowdhury et al., 2018)
ΕΟ ευκαλύπτου και μέντας	Εμφανίζει υψηλότερους τίτλους αντισωμάτων αναστολής της αιμοσυγκολλητίνης κατά των εμβολίων γρίπης των πτηνών (AI) και Newcastle σε σύγκριση με τον έλεγχο. Δείχνει ειδική αντίδραση αντισωμάτων έναντι του ιού του εμβολίου γρίπης.	(Talazadeh and Mayahi, 2017)
Θυμόλη ΕΟ	Εμφανίζει υψηλότερο ($p<0,05$) δείκτη σπλήνας από τα πουλιά της ομάδας ελέγχου. Αυξάνει το επίπεδο της εκκριτικής ανοσοσφαιρίνης Α ($p<0,05$) στο βλεννογόνο του δωδεκαδακτύλου και του ειλεού της ομάδας τελικής επεξεργασίας.	(Yang et al., 2018)
Συμπλήρωμα ΕOs ρίθανης στα 600 mg/kg	Εμφανίζει υψηλό ποσοστό μυών του μαστού, ποσοστό εκσπλαχνισμού και ποσοστό μυών ποδιών.	(Peng et al., 2016)

Εκτός από τις προηγουμένως συζητηθείσες επιπτώσεις των αιθέριων ελαίων (EOs) στην ανάπτυξη των πουλερικών, περαιτέρω στοιχεία από διάφορες μελέτες υπογραμμίζουν τον σημαντικό ρόλο τους στην ενίσχυση της υγείας και της ανάπτυξης των κοτόπουλων. Αυτές οι μελέτες υπογραμμίζουν τα διαφορετικά οφέλη συγκεκριμένων ΕOs, από τη βελτίωση της υγείας

του εντέρου έως την ενίσχυση των ανοσολογικών αποκρίσεων και τη μεταβολική αποτελεσματικότητα.

Η *Mentha piperita*, κοινώς γνωστή ως μέντα, έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει θετικά την ιστομορφολογία του βλεννογόνου του λεπτού εντέρου στα κρεοπαραγωγής ορνίθια. Αυτή η ενίσχυση της εντερικής δομής είναι ζωτικής σημασίας για την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και τη συνολική υγεία του εντέρου, συμβάλλοντας στην καλύτερη ανάπτυξη και υγεία (Hamedi et al., 2017).

Το έλαιο κανέλας, όταν περιλαμβάνεται σε συγκέντρωση 0,3 mg/g διατροφής, έχει αναφερθεί ότι βελτιώνει το ύψος της λάχνης σε διάφορα τμήματα του εντέρου (δωδεκαδάκτυλο, νήστιδα και ειλεό). Αυτή η βελτίωση στη δομή των λαχνών είναι σημαντική καθώς αυξάνει την επιφάνεια για την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, ενισχύοντας έτσι την πεπτική αποτελεσματικότητα των κοτόπουλων κρεοπαραγωγής (Chowdhury et al., 2018). Επιπλέον, το αιθέριο έλαιο κανέλας σε δόση 300 mg/kg βρέθηκε ότι μειώνει τα επίπεδα χοληστερόλης και επηρεάζει το ένζυμο 3-υδροξυ-3-μεθυλ-γλουταρυλ-συνένζυμο Α αναγωγή μετα-μεταγραφικά. Αυτό υποδεικνύει έναν πιθανό ρόλο του ελαίου κανέλας στη ρύθμιση του μεταβολισμού των λιπιδίων, συμβάλλοντας στην υγιέστερη ανάπτυξη (Chowdhury et al., 2018).

Η θυμόλη, ένα άλλο αιθέριο έλαιο, έχει αποδείξει την ικανότητα να αυξάνει το επίπεδο της εκκριτικής ανοσοσφαιρίνης Α στον εντερικό βλεννογόνο. Αυτό υποδηλώνει ενισχυμένη ανοσοαπόκριση, η οποία είναι απαραίτητη για τη συνολική υγεία και αντοχή των πουλερικών στις ασθένειες (Yang et al., 2018).

Μια ευρύτερη προοπτική για τις επιπτώσεις των ΕΟ στην ανάπτυξη και την υγεία των πουλερικών μπορεί να εξαχθεί από μελέτες που περιλαμβάνουν διάφορα μείγματα και συνδυασμούς ΕΟ. Για παράδειγμα, οι Tiitonen et al. (2010) διαπίστωσαν ότι ένας συνδυασμός κινναμαλδεΐδης και θυμόλης στη διατροφή κρεοπαραγωγών ορνιθίων βελτίωσε τη μικροχλωρίδα του εντέρου, οδηγώντας σε καλύτερη απόδοση ανάπτυξης. Οι Khattak et al. (2014) ανέφεραν ενισχυμένη ανάπτυξη κρεοπαραγωγών ορνιθίων με ένα μείγμα από κύμινο, βασιλικό, λεμόνι, δάφνη, φασκόμηλο, ρίγανη, θυμάρι και εκχυλίσματα τσαγιού. Ομοίως, οι Peng et al. (2016) παρατήρησαν σημαντικές βελτιώσεις στο μέσο ημερήσιο κέρδος και το σωματικό βάρος σε κρεοπαραγωγά ορνίθια που λάμβαναν μείγματα ΕΟs. Αυτές οι μελέτες υποδηλώνουν ότι η προσθήκη ΕΟs στη διατροφή των πτηνών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη μετατρεψιμότητα

της τροφής και τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, επηρεάζοντας θετικά την ανάπτυξη των πουλερικών.

Η χρήση ΕΟ έχει επίσης συνδεθεί με βελτιωμένη υγεία σε συνθήκες κατώτερης υγιεινής. Τα ΕΟ ήταν αποτελεσματικά στην πρόληψη και τη θεραπεία καταστάσεων όπως η νεκρωτική εντερίτιδα (Jerzsele et al., 2012). Επιπρόσθετα, συγκεκριμένα ΕOs όπως η κανέλα, το πιπέρι και η ρίγανη έχει αποδειχθεί ότι ενισχύουν την πεπτικότητα και τη μετατρεψιμότητα της τροφής (Hernandez et al., 2003; Windisch et al., 2008). Η θετική επίδραση των ΕOs όπως η καρβακρόλη, η κινναμαλδεΰδη και η ελαιορητήνη πιπεριάς στην παραγωγικότητα και τη χρήση θρεπτικών συστατικών, ειδικά σε περιβάλλοντα με κακή υγιεινή, υπογραμμίζει περαιτέρω τις δυνατότητές τους ως ευέλικτο και αποτελεσματικό συστατικό στη διατροφή των πουλερικών (Bravo et al., 2014; Karadas et al., 2014).

Συνοπτικά, οι ποικίλες και σημαντικές θετικές επιδράσεις των ΕΟ, όπως αποδεικνύεται από αυτές τις μελέτες, ενισχύουν τις δυνατότητές τους ως φυσικό, αποτελεσματικό και ευέλικτο συστατικό στη διατροφή των πουλερικών. Οι βελτιώσεις στην υγεία του εντέρου, την ανοσοαπόκριση, τη μεταβολική αποτελεσματικότητα και τη συνολική απόδοση ανάπτυξης καθιστούν τα ΕΟ μια ελκυστική εναλλακτική.

4.4 Αντιοξειδωτική Δραστηριότητα Αιθέριων Ελαίων

Η αντιοξειδωτική δράση των αιθέριων ελαίων (EOs) παίζει κρίσιμο ρόλο στην υγεία των πτηνών, εξουδετερώνοντας το οξειδωτικό στρες, μια φυσική διαδικασία που μπορεί να οδηγήσει σε κυτταρική βλάβη. Το οξειδωτικό στρες προκαλείται από την οξείδωση των λιπιδίων και το σχηματισμό ελεύθερων ριζών, οι οποίες μπορούν να διαταράξουν την ακεραιότητα της κυτταρικής μεμβράνης και να βλάψουν διάφορες κυτταρικές λειτουργίες. Η ευαισθησία των κυτταρικών μεμβρανών, ειδικά εκείνων που είναι πλούσιες σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, σε οξειδωτική βλάβη αποτελεί σημαντική ανησυχία για τη διατήρηση της υγείας των πτηνών (Pisoschi and Pop, 2015).

Ενώ τα συμβατικά αντιοξειδωτικά όπως η βουτυλιωμένη υδροξυλ ανισόλη και το βουτυλιωμένο υδροξυλοτολουόλιο έχουν χρησιμοποιηθεί για τον μετριασμό της υπεροξειδωσης των λιπιδίων, οι ανησυχίες σχετικά με τις πιθανές καρκινογόνες επιδράσεις τους έχουν στρέψει το ενδιαφέρον

προς τα φυσικά αντιοξειδωτικά (Hashemipour et al., 2013). Τα EO, με την πλούσια περιεκτικότητά τους σε φαινολικά και τις υψηλές οξειδοαναγωγικές ιδιότητες, προσφέρουν μια φυσική εναλλακτική λύση. Μπορούν να εξουδετερώσουν τις ελεύθερες ρίζες, να σβήσουν το μονό και τριπλό οξυγόνο και να χηλικοποιήσουν τα μεταβατικά μέταλλα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα και η ασφάλεια των EOs μπορεί να εξαρτηθεί από τη δοσολογία και τον τύπο τους, καθώς μπορούν να δράσουν ως προοξειδωτικά σε ορισμένα επίπεδα, οδηγώντας σε κυτταροτοξικές επιδράσεις (Bakkali et al., 2008).

Τα EOs είναι γνωστό ότι ενισχύουν την έκφραση αντιοξειδωτικών ενζύμων όπως η υπεροξειδική δισμουτάση (SOD), η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης και η καταλάση. Αυτά τα ένζυμα παίζουν κρίσιμο ρόλο στην πρόληψη του σχηματισμού αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS) και της οξείδωσης των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, που μπορεί να οδηγήσουν σε δυσάρεστες γεύσεις στα προϊόντα πουλερικών (Marcinčák et al., 2008; Miguel, 2010). Τα συμπληρώματα διατροφής EOs έχουν συνδεθεί με σημαντικές βελτιώσεις σε αυτές τις αντιοξειδωτικές δραστηριότητες, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ποιότητα ζωής των πτηνών (Decker and Park, 2010).

Συγκεκριμένες μελέτες έχουν επισημάνει τα αντιοξειδωτικά οφέλη των EO για τα πτηνά. Για παράδειγμα, ένα μείγμα καρβακρόλης και θυμόλης σε διάφορες δόσεις (60, 100 και 200 mg/kg) σε κρεοπαραγωγής ορνίθια αποδείχθηκε ότι αυξάνει τη δραστηριότητα SOD με τρόπο εξαρτώμενο από τη δόση, υπογραμμίζοντας τη δυνατότητα αυτών των ενώσεων στην ενίσχυση της αντιοξειδωτικής άμυνας (Hashemipour et al., 2013). Τα EOs τζίντζερ, όταν χρησιμοποιήθηκαν σε 150 mg/kg, όχι μόνο αύξησαν τη συνολική δραστηριότητα SOD αλλά και μείωσαν τα επίπεδα μηλονδιαλδεΐδης στο ήπαρ, υποδεικνύοντας μειωμένη υπεροξειδωση των λιπιδίων. Η παρουσία ενώσεων όπως το shogaol, η gingerol και η zingerone στη ρίζα του τζίντζερ πιστεύεται ότι συμβάλλει σε αυτά τα αντιοξειδωτικά αποτελέσματα (Habibi et al., 2014).

Το έλαιο φλοιού κανέλας, ένα άλλο ισχυρό EO, έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την αντιοξειδωτική κατάσταση στα κρεοπαραγωγά ορνίθια όταν χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο των αντιβιοτικών. Σημαντική αύξηση στη δραστηριότητα του SOD παρατηρήθηκε σε πτηνά που έλαβαν συμπληρωματικό λάδι κανέλας σε σύγκριση με εκείνα που έλαβαν αντιβιοτική αγωγή (Chowdhury et al., 2018). Αυτά τα ευρήματα απεικονίζουν τις ποικίλες και ισχυρές

αντιοξειδωτικές ιδιότητες των διαφορετικών EOs, οι οποίες συμβάλλουν στη βελτίωση της απόδοσης ανάπτυξης και της παραγωγικότητας των πτηνών μέσω των αντιοξειδωτικών, αντιμικροβιακών και ανοσοτροποποιητικών τους επιδράσεων.

5. Αντιμικροβιακή Δραστηριότητα EO

5.1 Κύρια βακτηριακά τροφιμογενή παθογόνα στα πτηνά

Η αντιμικροβιακή δράση των αιθέριων ελαίων (EOs) έχει σημαντικές δυνατότητες στην αντιμετώπιση των κύριων βακτηριακών τροφιμογενών παθογόνων στα πτηνά, ιδίως της *Salmonella* και του *Campylobacter*. Αυτά τα παθογόνα, που μεταδίδονται συνήθως μέσω των παραγόμενων προϊόντων, ενέχουν σημαντικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Στα πτηνά, συμπεριλαμβανομένων των κρεοπαραγωγών ορνιθιών, αυτά τα βακτήρια συχνά αποικίζονται στο τυφλό, οδηγώντας σε μόλυνση των σφαγίων και των κελυφών των αυγών. Για παράδειγμα, η σαλμονέλα μπορεί να μολύνει τα κελύφη των αυγών μέσω της επαφής με τα κόπρανα πριν ή μετά την ωοτοκία. Ομοίως, το *Campylobacter* αποικίζει κυρίως τη βλέννα του τυφλού και τα επιθηλιακά κύτταρα, με ταχεία διάδοση μέσω αποβολής κοπράνων και στοματική μετάδοση μέσω νερού και τροφής.

Σε βιολογικές εκτροφές, ο κίνδυνος έκθεσης σε αυτά τα παθογόνα είναι αυξημένος λόγω της υπαίθριας πρόσβασης των πτηνών. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα βιολογικά προϊόντα μπορεί να φιλοξενούν παρόμοια ή και υψηλότερα επίπεδα αυτών των παθογόνων σε σύγκριση με τα συμβατικά. Για παράδειγμα, έρευνα των Cui et al. (2005) βρήκε σημαντική μόλυνση των οργανικών δειγμάτων πτηνών με *Campylobacter* και *Salmonella*. Αυτός ο επιπολασμός ήταν συγκρίσιμος ή υψηλότερος από αυτόν στα πτηνά από συμβατικές εκτροφές. Πρόσθετες μελέτες, όπως αυτές που πραγματοποιήθηκαν από τους Noormohamed and Fakhr (2014) και Lestari et al. (2009), έχουν αναφέρει παρόμοια ευρήματα.

Παρά την κοινή υπόθεση ότι τα βιολογικά εκτρεφόμενα πτηνά είναι λιγότερο επιρρεπή σε τροφιμογενή παθογόνα λόγω παραγόντων όπως η χαμηλότερη πυκνότητα, η πρόσβαση σε εξωτερικούς χώρους και η περιορισμένη χρήση αντιβιοτικών, η πραγματικότητα παρουσιάζει ένα διαφορετικό σενάριο. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο επιπολασμός παθογόνων παραγόντων όπως η *Salmonella* και το *Campylobacter* στα βιολογικά εκτρεφόμενα πτηνά είναι συγκρίσιμος, αν όχι

υψηλότερος, με εκείνο των συμβατικών. Οι Vaarst et al. (2019) τόνισαν ότι οι καταναλωτές ενδέχεται να υποτιμήσουν τον κίνδυνο μόλυνσης στα βιολογικά προϊόντα, οδηγώντας σε πιθανή κακή διαχείριση των ακατέργαστων προϊόντων.

Δεδομένου αυτού του σεναρίου, υπάρχει επιτακτική ανάγκη για αποτελεσματικές στρατηγικές στην εκτροφή των πτηνών και μεταποίηση των προϊόντων. Τα αιθέρια έλαια, με το ευρύ φάσμα των αντιμικροβιακών ιδιοτήτων τους, προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη λύση. Όπως φαίνεται σε μελέτες, η συμπλήρωση EOs στη διατροφή των πτηνών οδήγησε σε βελτιωμένα μικροβιακά προφίλ του εντέρου, με αυξήσεις σε ωφέλιμα βακτήρια όπως ο *Lactobacillus* και μειώσεις σε επιβλαβή βακτήρια όπως η *E. coli*. Επιπλέον, τα EO έχουν δείξει σημαντικά αποτελέσματα στην ενίσχυση της ανοσολογικής απόκρισης και της αντίστασης σε ασθένειες, τα οποία θα μπορούσαν να είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση του επιπολασμού παθογόνων παραγόντων όπως η *Salmonella* και το *Campylobacter* σε βιολογικά εκτρεφόμενα πτηνά. Ως εκ τούτου, η αντιμικροβιακή δράση των EOs όχι μόνο συμβάλλει στην υγεία και την ανάπτυξη των πτηνών, αλλά παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση της ασφάλειας και της ποιότητας του κρέατος και των αυγών, ιδιαίτερα σε συστήματα βιολογικής παραγωγής.

5.2 Οι Αντιμικροβιακές Ιδιότητες των EO κατά των Παθογόνων

Τα αιθέρια έλαια (EOs) περιλαμβάνουν δευτερογενείς μεταβολίτες όπως ισοπρενοειδή ενώσεις (που επισημάνθηκαν από την Brewer το 2011) και χρησιμεύουν ως αντιμικροβιακά (όπως σημειώθηκε από τον Burt το 2004). Η ενσωμάτωσή τους στη διατροφή των πτηνών ενισχύει την παραγωγή χολής και πεπτικών ενζύμων, καθώς και την έκκριση βλέννας, διευκολύνοντας έτσι την καλύτερη εντερική λειτουργία (σύμφωνα με τους Platel και Srinivasan, 2004). Αυτή η επίδραση στη μικροχλωρίδα του εντέρου βοηθά στη διαδικασία της πέψης, επηρεάζοντας τον μεταβολισμό των αμύλων, των πρωτεϊνών και των λιπών.

Οι επιστημονικές έρευνες έχουν επισημάνει τον σημαντικό ρόλο των φυτοαιθέριων ελαίων (phyto-EOs) στη μείωση του επιπολασμού των παθογόνων στα πτηνά. Η έρευνα δείχνει ότι ορισμένα φυτο-EO, όπως η κινναμαλδεΐδη και η ευγενόλη, μειώνουν αποτελεσματικά την παρουσία της *Salmonella enteritidis*. Αυτό υποστηρίχθηκε από μελέτες των Micciche et al. (2019) και οι Kollanoor-Johny et al. (2012^a). Περαιτέρω, ένα μείγμα κουρκουμίνης,

καρβακρόλης, πιπερίνης, θυμόλης και ευγενόλης ήταν αποτελεσματικό έναντι του *C. perfringens* στη γαστρεντερική οδό (GIT), όπως σημειώνεται από τους Abd El-Hack et al. το 2021α.

Η αποτελεσματικότητα των αιθέριων ελαίων (EOs) έναντι κοινών παθογόνων του εντέρου των πτηνών όπως *C. Perfringens*, *E. coli* και *Campylobacter spp.* έχει υπογραμμιστεί σε μελέτες των Kelly et al. (2017) και νωρίτερα από τον Windisch, (2008). Επιπλέον, έρευνα των Abd El-Ghany et al. (2013) και οι Κοσδονά et al. (2006) απέδειξε την αποτελεσματικότητα των EOs, συμπεριλαμβανομένων των Ciprofloxacin και *Oreganum aetheroleum*, στη μείωση της *E. coli* στη δίαιτα των ζώων ενισχύοντας την ανοσοαπόκριση.

Η επίδραση των EOs όπως η ρίγανη και το θυμάρι στη μείωση της *Salmonella spp.* στον εντερικό σωλήνα των πτηνών έχει επίσης σημειωθεί. Η χρήση EOs όπως το δεντρολίβανο, το γαρύφαλλο, το θυμάρι, η ρίγανη και η κανέλα συνδέεται με αυξημένη εντερική ακεραιότητα και μειωμένο πολλαπλασιασμό των κοκκιδίων, ενισχύοντας έτσι την ανάπτυξη, όπως προσδιορίστηκε από τους Hashemi & Davoodi (2011).

Περαιτέρω έρευνα από τους Cross et al. (2007), Ertas et al. (2005), Çabuk et al. (2006) και Peng et al. (2016) έχει επισημάνει τις πτυχές που προωθούν την ανάπτυξη των EO. Αυτές οι μελέτες παρατήρησαν ότι τα EO, ακόμη και σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σύγκριση με ολόκληρα φύλλα, βελτίωσαν σημαντικά την αύξηση του σωματικού βάρους στα κρεοπαραγωγής ορνίθια, τοποθετώντας τα EOs ως βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις έναντι των αντιβιοτικών αυξητικών προαγωγών. Αυτό αποδίδεται στην ικανότητά τους να μειώνουν τα παθογόνα βακτήρια, να ενισχύουν την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, να μετριάζουν τον ανταγωνισμό θρεπτικών συστατικών και να προλαμβάνουν ασθένειες στο GIT, όπως συζητήθηκε από τον Yitbarek , (2015).

Η αποτελεσματικότητα των EOs στη διατροφή των πτηνών πηγάζει από την υδρόφοβη φύση τους, η οποία τους επιτρέπει να διεισδύουν στις πλούσιες σε λιπίδια βακτηριακές κυτταρικές μεμβράνες, σε συνδυασμό με τις ισχυρές αντιμικροβιακές τους ιδιότητες, όπως σημειώνεται από τους Smith-Palmer et al. (2004) και Carson et al. (2002). Η αλληλεπίδραση αυτών των υδρόφοβων πτηνικών ενώσεων με τα λιπίδια της βακτηριακής κυτταρικής μεμβράνης οδηγεί σε διάσπαση των κυττάρων, διαρροή και τελικά βακτηριακή εκρίζωση. Επιπλέον, οι διαφορετικές χημικές ομάδες σε ενεργές ενώσεις EO, συμπεριλαμβανομένων των μονοτερπενίων και των

σεσκιτερπενίων, συμβάλλουν στην αντιμικροβιακή τους αποτελεσματικότητα, όπως τονίζεται σε μελέτες των Bilia et al. (2014), Calo (2015) και Smith-Palmer et al. (2004).

Τα εγγενή χαρακτηριστικά των αιθέριων ελαίων (EOs), όπως η υψηλή πτητότητα, η θερμοθερμοθερμικότητα, η φωτοσταθερότητα και η αστάθεια, παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις στην εφαρμογή τους στην πτηνοτροφία ως εναλλακτικές λύσεις στα αντιβιοτικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά, ιδίως η ευαισθησία τους σε περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμότητα, το φως, ο αέρας και η υγρασία, εντοπίστηκαν από τον Yitbarek το 2015. Οι αλυσίδες ακόρεστου άνθρακα στα EO τα καθιστούν επιρρεπή σε οξείδωση, ιδιαίτερα κάτω από έκθεση στο φως και στη θερμότητα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενώσεις όπως τα τερπένια, τα σεσκιτερπένια και τα τερπενοειδή με δακτυλίους λακωνών, όπως συζητήθηκαν από τους Vigan, (2010) και Bilia et al., (2014). Αυτές οι ενώσεις, όντας λιποδιαλυτές και ασταθείς, παρουσιάζουν περιορισμένη βιοδιαθεσιμότητα. Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί, έχουν αναπτυχθεί καινοτόμες μεθοδολογίες για την ενίσχυση της υδατοδιαλυτότητας και της βιολογικής απορρόφησης υγρών των EOs, όπως υποδεικνύεται από τους Natrajan et al. (2015).

Τα EOs έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς όπως η ιατρική, η συντήρηση τροφίμων, τα καλλυντικά και η αρωματοποιία, επιδεικνύοντας την ευελιξία τους, όπως σημειώνεται από τους Venkitanarayanan et al., (2013). Τα εκχυλίσματά τους, που προέρχονται από φυτά και είναι πλούσια σε πτητικές ενώσεις και ενεργά συστατικά, παρέχουν φυσικές, λιγότερο τοξικές, φιλικές προς το περιβάλλον και εγκεκριμένες από τον FDA επιλογές ως πρόσθετα ζωοτροφών. Οι διαφορετικές δραστικές χημικές ομάδες στα EOs και τα βιολογικά τους συστατικά οδηγούν δυναμικά σε διάφορους αντιμικροβιακούς μηχανισμούς, όπως προτάθηκε από τον Burt το 2004. Αυτό μειώνει την πιθανότητα ανάπτυξης βακτηρίων ανθεκτικών στην EO, προτρέποντας περαιτέρω έρευνα για ενώσεις EO για την καταπολέμηση των τροφιμογενών παθογόνων σε βιολογικά εκτρεφόμενα πτηνά. όπως τονίζεται από τους Kollanoor-Johny et al., (2010).

Μελέτες *in vitro* έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα σχετικά με τα EO και τις ενώσεις τους. Οι Kollanoor-Johny et al., (2010) επικεντρώθηκε σε ενώσεις όπως η τρανς-κινναμαλδεΐδη, που βρίσκεται στο εκχύλισμα φλοιού κανέλας και η ευγενόλη από EOs γαρύφαλλου. Διερεύνησαν επίσης τη θυμόλη και το δομικό της ισομερές καρβακρόλη, που παράγεται από φυτά όπως ο Θύμος, το *Origanum* και το *Carum*. Η έρευνά τους έδειξε την *in vitro* αποτελεσματικότητα αυτών των ενώσεων έναντι της *Salmonella* και του *Campylobacter*

στα πτηνά, με την trans-cinnamaldehyde και την ευγενόλη να δείχνουν ιδιαίτερη αποτελεσματικότητα στην εκρίζωση αυτών των παθογόνων από το περιεχόμενο του τυφλού.

Αντίστοιχα, in vivo πειράματα έχουν επιβεβαιώσει σημαντική αντιβακτηριακή δράση. Οι Kollanoor-Johny et al., (2010) παρατήρησε ότι η τρανς-κινναμαλδεΐδη και η ευγενόλη μείωσαν σημαντικά τον αποικισμό του *S. enteritidis* στο τυφλό έντερο πτηνών. Βρήκαν επίσης αυτές τις ΕΟ αποτελεσματικές στη μείωση της μετάδοσης του *S. enteritidis* σε αυγά, όπως αναφέρθηκε στη μελέτη τους του 2012b. Σε σχετική έρευνα, οι Uradhyaya et al., (2013) σημείωσε την ταχεία αδρανοποίηση *S. enteritidis* στο κέλυφος των αυγών από ενώσεις ΕΟ. Επιπλέον, οι Arsi et al. το 2014 απέδειξαν ότι οι ενώσεις καρβακρόλης και θυμόλης ΕΟ μείωσαν το *Campylobacter spp.* σε κρεοπαραγωγής ορνίθια.

Η υδρόφοβη φύση των αιθέριων ελαίων (ΕΟ) συμβάλλει σημαντικά στην αντιβακτηριδιακή τους αποτελεσματικότητα. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει στα ΕΟ να θέτουν σε κίνδυνο τις βακτηριακές κυτταρικές μεμβράνες, με αποτέλεσμα τη διαρροή ιόντων και την απελευθέρωση κυτταρικών συστατικών. Ένα παράδειγμα αυτού είναι η trans-cinnamaldehyde, η οποία αναστέλλει την απορρόφηση της γλυκόζης και τη σύνθεση του ATP, επηρεάζοντας έτσι κρίσιμα βακτηριακά ένζυμα. Αυτό αποδείχθηκε σε έρευνα των Arsi et al., (2014). Τέτοιες παρεμβολές επηρεάζουν την κινητικότητα και τις επεμβατικές ικανότητες του *S. enteritidis* σε μακροφάγα επιθηλιακών κυττάρων της κοιλιάς και των ωοθηκών με τη μείωση της ρύθμισης των βασικών μολυσματικών γονιδίων, όπως παρατηρήθηκε από τους Kollanoor-Johny et al., (2012^a). Η ανάλυση μικροσυστοιχίας DNA αποκαλύπτει περαιτέρω ότι αυτοί οι αντιμικροβιακοί παράγοντες καταστέλλουν τα γονίδια παθογένειας στη *Salmonella enteritidis*, ένα εύρημα που αναφέρθηκε από τον Kollanoor-Johny το 2011.

Οι ΕΟ χρησιμοποιούν διάφορες στρατηγικές για την καταπολέμηση της μικροβιακής ανάπτυξης. Εμπλέκονται σε χηλοποίηση μετάλλων μέσω φλαβονοειδών και φαινολών, διαταράσσουν τις μεμβράνες μέσω φαινολικών και τερπενοειδών και βλάπτουν το γενετικό υλικό μέσω αλκαλοειδών και κουμαρίνης, όπως περιγράφηκε από τον Cowan, (1999). Η λιποδιαλυτότητά τους τους επιτρέπει να ενσωματωθούν στα βακτηριακά κυτταρικά τοιχώματα και να συσσωρεύονται στο στρώμα των λιπιδίων, αποσταθεροποιώντας την κυτταρική μεμβράνη και οδηγώντας σε βακτηριακή κυτταρική λύση, όπως εξήγησε ο Burt το 2004.

Εκτός από τις αντιμικροβιακές τους επιδράσεις, τα ΕΟ επηρεάζουν θετικά και την εντερική μικροχλωρίδα στα κρεοπαραγωγά ορνίθια. Οι Kirkpınar et al., (2011) διαπίστωσαν ότι η διατροφή κρεοπαραγωγών ορνιθίων με σκόρδο και ρίγανη μείωσε σημαντικά τα *Clostridium spp.* στον ειλέο σε σύγκριση με τη συμβατική διατροφή. Οι ΕOs όπως η κινναμαλδεΐδη και η θυμόλη, γνωστές για τις εκλεκτικές αντιβακτηριακές τους ιδιότητες, αναστέλλουν επίσης την ανάπτυξη ζυμομυκήτων και μούχλας, συμβάλλοντας στον έλεγχο των παθογόνων και στη σταθερότητα της εντερικής μικροχλωρίδας, όπως αναφέρεται από τους Bento et al. το 2013. Οι Zheng & Wang, (2001) παρατήρησαν ότι τα φυτικά συμπληρώματα, συμπεριλαμβανομένου του σκόρδου και του θυμαριού, μείωσαν σημαντικά τον πληθυσμό του *E. coli* στο ειλέο-τυφλό των κρεοπαραγωγών ορνιθίων, με την ομάδα του θυμαριού να παρουσιάζει αύξηση στον αριθμό των βακτηρίων γαλακτικού οξέος.

Το συμπλήρωμα ελαίου κανέλας έχει βρεθεί ότι βλάπτει τα κυτταρικά τοιχώματα του *E. coli*, όπως σημειώθηκε από τον Rahimi, (2011). Επιπλέον, έρευνα των Chowdhury et al., (2018) έδειξε ότι τα ΕΟ από την κανέλα, το ajwain και το γαρίφαλο μείωσαν τους πληθυσμούς του προκολικού *E. coli* και του *Clostridium* στα κρεοπαραγωγά ορνίθια. Αυτές οι μελέτες υπογραμμίζουν συλλογικά τη δυνατότητα των ΕΟ ως αποτελεσματικών φυσικών εναλλακτικών αντιβιοτικών στην πτηνοτροφία, προσφέροντας οφέλη στην αντιμικροβιακή δράση, στην υγεία του γαστρεντερικού συστήματος και στη παραγωγικότητα.

5.3 Αιθέρια έλαια και υγεία του εντέρου

5.3.1 Επίδραση στη Μορφολογία του Εντέρου

Ο γαστρεντερικός σωλήνας (GIT) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για τη συνολική υγεία και παραγωγικότητα των πτηνών και η μορφολογία του παίζει καθοριστικό ρόλο στην απορρόφηση και την πέψη των θρεπτικών συστατικών. Τα αιθέρια έλαια (EOs) έχουν αποδειχθεί ότι ασκούν σημαντική επίδραση στη μορφολογία του εντέρου των πτηνών, ιδιαίτερα όσον αφορά το ύψος της λάχνης και το βάθος της κρύπτης.

Ο εντερικός βλεννογόνος είναι ο πρώτος ιστός που έρχεται σε επαφή με διατροφικά συστατικά. Οι λάχνες είναι υπεύθυνες για την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και το ύψος τους σχετίζεται άμεσα με την απορροφητική ικανότητα του εντέρου. Η έρευνα έχει δείξει ότι η

συμπερίληψη των EOs στη διατροφή των πτηνών μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του ύψους των λαχνών, ενισχύοντας έτσι την πεπτική αποτελεσματικότητα (Garcia et al., 2007· Samanta et al., 2010).

Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει τις επιδράσεις διαφορετικών EOs στη μορφολογία του εντέρου. Για παράδειγμα, οι Garcia et al. (2007) και Samanta et al. (2010) διαπίστωσε ότι η συμπλήρωση EOs οδήγησε σε αύξηση του ύψους των εντερικών λαχνών. Αυτή η αύξηση στο ύψος της λάχνης σχετίζεται με βελτιωμένη απορρόφηση θρεπτικών συστατικών και τη συνολική υγεία του εντέρου. Ομοίως, οι El-Baroty et al. (2010) ανέφερε ότι οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες των EOs, όπως η κινναμαλδεΐδη, συμβάλλουν στην προστασία των λαχνών, διατηρώντας έτσι την ακεραιότητα και τη λειτουργικότητά τους.

Επιπλέον, οι Alcicek et al. (2003) και Awaad et al. (2014) παρατήρησε ότι η λήψη συμπληρωμάτων θυμόλης είχε ως αποτέλεσμα αύξηση του εντερικού μήκους, πλάτους και βάθους των λαχνών. Αυτό υποδηλώνει ότι τα EOs μπορούν να δημιουργήσουν ένα πιο ευνοϊκό περιβάλλον για την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών ενισχύοντας την επιφάνεια που είναι διαθέσιμη για πέψη. Περαιτέρω έρευνα από τους Hamed et al. (2017) απέδειξε ότι η σίτιση πουλερικών με φύλλα *Mentha piperita* βελτίωσε την ιστομορφολογική δομή του βλεννογόνου του λεπτού εντέρου, υποδηλώνοντας ευεργετική επίδραση στη συνολική υγεία του εντέρου.

Οι Chowdhury et al. (2018) διεξήγαγε μια μελέτη που αποκάλυψε ότι τα EO της κανέλας, όταν προστέθηκαν σε ποσότητα 0,3 mg/g, αύξησαν το ύψος των λαχνών στο δωδεκαδάκτυλο, τη νήστιδα και τον ειλέο σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Αυτό το εύρημα είναι σημαντικό καθώς δείχνει τη δυνατότητα των EO της κανέλας στην ενίσχυση της απορροφητικής ικανότητας του εντέρου.

Επιπλέον, η επίδραση των EOs στον γαστρεντερικό βλεννογόνο εκτείνεται πέρα από τις φυσικές πτυχές των λαχνών. Τα EOs έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζουν την έκκριση πεπτικών ενζύμων και βλέννας στο έντερο, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την πέψη και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Αυτά τα έλαια μπορούν να διεγείρουν την πεπτική διαδικασία ενισχύοντας τη δραστηριότητα των ενζύμων και διευκολύνοντας την αποτελεσματική διάσπαση των συστατικών της τροφής.

5.3.2 Επίδραση στον μεταβολισμό των λιπιδίων

Τα αιθέρια έλαια (EOs) έχουν βαθιά επίδραση στον μεταβολισμό των λιπιδίων, με επιπτώσεις στη συνολική υγεία και παραγωγικότητα των πτηνών. Η επίδραση των EOs στον μεταβολισμό των λιπιδίων περιστρέφεται κυρίως γύρω από την ικανότητά τους να ρυθμίζουν τα επίπεδα χοληστερόλης και να επηρεάζουν βασικά ένζυμα που εμπλέκονται στη σύνθεση και διάσπαση των λιπιδίων.

Το ήπαρ παίζει κεντρικό ρόλο στο μεταβολισμό των λιπιδίων και ένα από τα βασικά ένζυμα στη σύνθεση της χοληστερόλης είναι η αναγωγή του ηπατικού 3-υδροξυ-3-μεθυλγλουταρυλικού συνένζυμου A (HMG-CoA αναγωγή). Τα EO περιέχουν βιοδραστικές ενώσεις όπως η κινεόλη, η βορνεόλη, η κιτράλη, η μενθόνη και η μενθόλη που έχει αποδειχθεί ότι αναστέλλουν τη δραστηριότητα αυτού του ενζύμου. Αυτή η αναστολή οδηγεί σε μείωση της σύνθεσης χοληστερόλης, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση των επιπέδων λιπιδίων στα πτηνά (Case et al., 1995).

Μελέτες έχουν δείξει συσχέτιση μεταξύ της αναστολής της δραστηριότητας της αναγωγής HMG-CoA και της μείωσης των επιπέδων χοληστερόλης στον ορό. Για παράδειγμα, σε ένα πείραμα που αφορούσε κρεοπαραγωγή ορνίθια 24 ημερών χωρισμένα σε διαφορετικές ομάδες, αυτά που έλαβαν EOs παρουσίασαν σημαντική μείωση στις συγκεντρώσεις της χοληστερόλης στον ορό. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν ιδιαίτερα έντονο σε κρεοπαραγωγή ορνίθια που έλαβαν EO από γλυκάνισο, ρίγανη και φλούδα εσπεριδοειδών (Hong et al., 2012).

Έχει επίσης αποδειχθεί ότι τα EO ρυθμίζουν προς τα κάτω την αναγωγή HMG-CoA μετα-μεταγραφικά, επηρεάζοντας τη δραστηριότητα του ενζύμου χωρίς να αλλάζουν τα επίπεδα mRNA. Αυτό υποδηλώνει ότι τα EO μπορούν να ελέγξουν τη σύνθεση χοληστερόλης σε ενζυματικό επίπεδο, προσφέροντας έναν φυσικό και αποτελεσματικό τρόπο διαχείρισης των επιπέδων λιπιδίων στα πουλερικά (Qureshi et al., 1996). Επιπλέον, η επίδραση των EOs στη σύνθεση της χοληστερόλης είναι ανεξάρτητα από τον κύκλο του ενζύμου και τις ορμόνες όπως τα γλυκοκορτικοειδή, η ινσουλίνη, η γλυκαγόνη και η τριωδοθυρονίνη (Middleton and Hui, 1982).

Η επίδραση των EOs στον μεταβολισμό των λιπιδίων εκτείνεται πέρα από τη σύνθεση χοληστερόλης. Επηρεάζουν επίσης τα επίπεδα διαφόρων λιποπρωτεϊνών, όπως οι λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας (LDL) και οι λιποπρωτεΐνες υψηλής πυκνότητας (HDL). Η μείωση των επιπέδων LDL με ταυτόχρονη διατήρηση ή αύξηση των επιπέδων HDL είναι ευεργετική για τη συνολική καρδιαγγειακή υγεία των πτηνών.

Επιπλέον, η έρευνα έχει δείξει ότι τα EOs μπορούν να επηρεάσουν θετικά το συνολικό προφίλ λιπιδίων του ορνιθίου κρέατος. Η συμπλήρωση της διατροφής των πτηνών με ορισμένα EOs οδήγησε σε κρέας με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ολικά και κορεσμένα λιπαρά, καθιστώντας το πιο υγιεινό για κατανάλωση. Αυτή η πτυχή είναι ιδιαίτερα σημαντική δεδομένης της αυξανόμενης ζήτησης των καταναλωτών για πιο υγιεινά προϊόντα κρέατος.

5.3.3 Οικονομικές επιπτώσεις για τους αγρότες

Η χρήση των αιθέριων ελαίων (EOs) στη διατροφή των πτηνών παρουσιάζει αρκετές οικονομικές επιπτώσεις για τους κτηνοτρόφους, κυρίως θετικές, επηρεάζοντας πτυχές όπως η απόδοση ανάπτυξης, η αποδοτικότητα των ζωοτροφών και το συνολικό κόστος παραγωγής.

Βελτίωση της απόδοσης ανάπτυξης και της αποτελεσματικότητας των ζωοτροφών

Η έρευνα δείχνει ότι τα EO μπορούν να αυξήσουν τη μέση ημερήσια αύξηση (ADG) των πτηνών. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση EO ρίγανης στη διατροφή κρεοπαραγωγών ορνιθίων σε 300 έως 600 mg/kg ενισχύει σημαντικά την ADG, όπως αποδεικνύεται από τον Peng και τους συνεργάτες του το 2016. Αυτή η ώθηση του ρυθμού ανάπτυξης είναι κρίσιμη για τους πτηνοτρόφους, συνδέοντας άμεσα την αυξημένη παραγωγή κρέατος και δυνητικά ταχύτερο κύκλο εργασιών.

Επιπλέον, οι EO έχουν υιοθετηθεί ως εναλλακτικές λύσεις έναντι των αντιβιοτικών αυξητικών προαγωγών. Έρευνες από τους Khatk et al. (2014) και Pirgozliev et al. (2015) καταδεικνύουν ότι οι EO μπορούν να υποκαταστήσουν αποτελεσματικά τα αντιβιοτικά στη διατροφή των πτηνών, αποδίδοντας συγκρίσιμες ή ανώτερες επιδόσεις ανάπτυξης. Η συμπερίληψη των EOs στη διατροφή μπορεί να μειώσει τους παθογόνους βακτηριακούς πληθυσμούς, να αυξήσει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών, να μειώσει τον ανταγωνισμό σε θρεπτικά συστατικά και να αποτρέψει διάφορες ασθένειες του γαστρεντερικού σωλήνα (GIT) (Yitbarek, 2015). Αυτές οι

βελτιώσεις στην πρόληψη ασθενειών και στην αποτελεσματικότητα απορρόφησης θρεπτικών ουσιών οδηγούν σε βελτίωση του δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR), μια κεντρική οικονομική πτυχή στην πτηνοτροφία.

Η αποτελεσματικότητα των Eos προκύπτει από την υδρόφοβη φύση τους και την ικανότητά τους να διεισδύουν στις βακτηριακές κυτταρικές μεμβράνες, κυρίως με βάση τα λιπίδια. Σε συνδυασμό με τις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες, τα EOs ελέγχουν αποτελεσματικά τα παθογόνα βακτήρια στο GIT, ενισχύοντας έτσι τη συνολική υγεία και την παραγωγικότητα του εκτρεφόμενων ζώων (Smith-Palmer et al., 2004).

Κόστος-Αποτελεσματικότητα και Βιωσιμότητα

Από πλευράς κόστους-αποτελεσματικότητας, η χρήση EOs ως πρόσθετων ζωοτροφών μπορεί να είναι οικονομικά συμφέρουσα για τους πτηνοτρόφους. Ενώ το αρχικό κόστος ορισμένων EO μπορεί να είναι υψηλότερο από τα παραδοσιακά αντιβιοτικά, τα μακροπρόθεσμα οφέλη τους όσον αφορά τη βελτίωση της υγείας των πουλερικών, το μειωμένο κόστος φαρμάκων και τη δυνατότητα για τιμολόγηση υψηλής ποιότητας των τελικών προϊόντων μπορεί να υπερβαίνουν την αρχική επένδυση. Επιπλέον, καθώς η ζήτηση των καταναλωτών μετατοπίζεται προς πιο φυσικά και χωρίς αντιβιοτικά προϊόντα, τα EO παρέχουν μια βιώσιμη οδό για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων της αγοράς.

Η πτυχή της βιωσιμότητας της χρήσης των EO διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στις οικονομικές τους επιπτώσεις. Καθώς οι παγκόσμιες τάσεις κινούνται προς πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον γεωργικές πρακτικές, η χρήση φυσικών πρόσθετων όπως τα EOs ευθυγραμμίζεται καλά με αυτές τις τάσεις. Τα προϊόντα πουλερικών που παράγονται με φυσικά πρόσθετα όπως τα EOs μπορούν να προσελκύσουν ένα αυξανόμενο τμήμα καταναλωτών που ευαισθητοποιούνται για την υγεία, ανοίγοντας δυνητικά νέες αγορές και ευκαιρίες για υψηλότερα έσοδα.

Ζήτηση αγοράς και προτιμήσεις καταναλωτών

Η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία των υπολειμμάτων αντιβιοτικών στο κρέας και η ζήτηση για φυσικά προϊόντα έχουν δημιουργήσει μια εξειδικευμένη αγορά για προϊόντα πτηνών που προέρχονται από φυσικά πρόσθετα όπως τα EO. Οι πτηνοτρόφοι μπορούν να επωφεληθούν από αυτήν την αγορά, προσφέροντας προϊόντα

που απευθύνονται σε καταναλωτές που έχουν επίγνωση της υγείας τους και είναι πρόθυμοι να πληρώσουν ένα ασφάλιστρο για τέτοια προϊόντα. Αυτή η αλλαγή στις προτιμήσεις των καταναλωτών προσφέρει μια ευκαιρία στους κτηνοτρόφους να διαφοροποιήσουν τα προϊόντα τους, να επιτύχουν υψηλότερες τιμές και να βελτιώσουν τη συνολική τους κερδοφορία.

Συνοπτικά, οι οικονομικές επιπτώσεις της χρήσης ΕΟ στη διατροφή των πουλερικών είναι πολύπλευρες, επηρεάζοντας διάφορες πτυχές της πτηνοτροφίας από την αποδοτικότητα της παραγωγής έως τη δυναμική της αγοράς. Βελτιώνοντας την απόδοση ανάπτυξης και την μετατρεψιμότητα της τροφής, μειώνοντας τη συχνότητα εμφάνισης ασθενειών και ευθυγραμμίζοντας με τις βιώσιμες πρακτικές καλλιέργειας, οι ΕΟ προσφέρουν στους πτηνοτρόφους μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά αντιβιοτικά. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο ωφελεί τους κτηνοτρόφους οικονομικά, αλλά και ευθυγραμμίζεται με τις εξελισσόμενες προτιμήσεις των καταναλωτών και τις απαιτήσεις της αγοράς, τοποθετώντας τα προϊόντα πουλερικών που εκτρέφονται με ΕΟs ως επιλογή υψηλής ποιότητας και ευαισθητοποιημένη για την υγεία.

Συζήτηση

Η διερεύνηση των αιθέριων ελαίων (ΕΟs) και των νανογαλακτωμάτων τους (ΝΕs) ως εναλλακτικών αντιβιοτικών στη διατροφή των πτηνών αποτελεί μια επιτακτική αιτία για μια στροφή προς πιο βιώσιμες και υγιεινές γεωργικές πρακτικές. Η ανασκόπηση υπογράμμισε τους πολύπλευρους ρόλους των ΕΟ στη βελτίωση της υγείας των πτηνών, ιδιαίτερα όσον αφορά τις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες, τις επιπτώσεις στην υγεία του εντέρου και τη συνολική επίπτωση στην αποδοτικότητα της παραγωγής.

Ένα από τα βασικά ευρήματα είναι η αποτελεσματικότητα των ΕΟs στην καταπολέμηση κοινών παθογόνων, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από τα αντιβιοτικά και μετριάζοντας τους κινδύνους που σχετίζονται με την αντοχή στα αντιβιοτικά. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στο πλαίσιο των αυξανόμενων ανησυχιών για τη δημόσια υγεία σχετικά με τα υπολείμματα αντιβιοτικών στα τρόφιμα και την εμφάνιση ανθεκτικών στα αντιβιοτικά βακτηριακών στελεχών.

Επιπλέον, η επίδραση των EOs στη μορφολογία του εντέρου και στον μεταβολισμό των λιπιδίων υπογραμμίζει τις δυνατότητές τους στη βελτίωση της απορρόφησης θρεπτικών συστατικών και της συνολικής υγείας του εντέρου, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για τη βέλτιστη ανάπτυξη και παραγωγικότητα των πτηνών. Ωστόσο, έχουν σημειωθεί προκλήσεις όπως η χαμηλή διαλυτότητα και σταθερότητα των EOs, υποδεικνύοντας την ανάγκη για καινοτόμες λύσεις όπως τα NE για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητάς τους.

Συμπερασματικά, η υιοθέτηση EOs και NEs στη διατροφή των πουλερικών όχι μόνο ευθυγραμμίζεται με τις παγκόσμιες τάσεις προς τις φυσικές και βιώσιμες γεωργικές πρακτικές, αλλά προσφέρει επίσης πρακτικά οφέλη όσον αφορά την υγεία των πουλερικών και την αποδοτικότητα της παραγωγής. Η μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα θα μπορούσε να ενισχύσει περαιτέρω τη βιωσιμότητα και την αποτελεσματικότητα των εναλλακτικών αυτών λύσεων, ανοίγοντας το δρόμο για την ευρύτερη εφαρμογή τους στην πτηνοτροφία και όχι μόνο.

Συμπέρασμα

Η παρούσα πτυχιακή έχει διερευνήσει τη δυνατότητα των αιθέριων ελαίων (EOs) και των νανογαλακτωμάτων τους (NEs) ως πράσινες εναλλακτικές λύσεις στα αντιβιοτικά στη διατροφή των πουλερικών. Τα EOs, ως φυσικές πτητικές ενώσεις με έντονη γεύση, έχουν επιδείξει σημαντικά οφέλη. Η αντιβακτηριδιακή τους δράση είναι αποφασιστικής σημασίας για τη βελτίωση της ενζυμικής δραστηριότητας της γαστρεντερικής οδού (GIT), μειώνοντας τα παθογόνα βακτήρια και, συνεπώς, τη διατήρηση της υγείας του εντέρου. Αυτή η θετική επίδραση στο εντερικό περιβάλλον και τη λειτουργία μπορεί να αποδοθεί στις κυρίως λιπόφιλες και αρωματικές βιοδραστικές ενώσεις των EOs. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στη χρήση των EOs, όπως η χαμηλή διαλυτότητα και σταθερότητά τους, οι οποίοι μπορούν να μετριαστούν με τη χρήση NE. Τα NE διασφαλίζουν την αποτελεσματική αξιοποίησή τους στην πτηνοτροφία. Συνολικά, τα ευρήματα αυτής της μελέτης υπογραμμίζουν τη δυνατότητα των EO και των NE ως βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων που προάγουν την υγεία έναντι των συμβατικών αντιβιοτικών, προσφέροντας μια νέα προσέγγιση για τη βελτίωση της υγείας και της παραγωγικότητας των πτηνών.

Βιβλιογραφία

Abd El-Ghany, Wafaa & Ismail, M.. (2014). Tackling experimental colisepticaemia in broiler chickens using phytobiotic essential oils and antibiotic alone or in combination. *Iranian Journal of Veterinary Research*. 15. 110-115.

Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Salem, H. M., Ashry, N. M., Abo Ghanima, M. M., Shukry, M., Swelum, A. A., Taha, A. E., El-Tahan, A. M., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2022). Essential oils and their nanoemulsions as green alternatives to antibiotics in poultry nutrition: a comprehensive review. *Poultry science*, *101*(2), 101584. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101584>

Abd El-Hack, M.E., El-Saadony, M.T., Shehata, A.M. et al. Approaches to prevent and control *Campylobacter* spp. colonization in broiler chickens: a review. *Environ Sci Pollut Res* 28, 4989–5004 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11747-3>

AbdEl-Hack,M. E.,M. T. El-Saadony,A.A. Swelum, M. Arif, M. M. Abo Ghanima, M.Shukry, A.Noreldin, A.E.Taha, and K.A.El-Tarabily.2021a.Curcumin, the active substance of turmeric: its effects on health and ways to improve its bioavailability. *J.Sci.FoodAgric*.101:5747–5762.

Allen, H. K., Levine, U. Y., Looft, T., Bandrick, M., & Casey, T. A. (2013). Treatment, promotion, commotion: antibiotic alternatives in food-producing animals. *Trends in Microbiology*, *21*(3), 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2012.11.001>

Ashour, E. A., El-Hack, M. E. A., Shafi, M. E., Alghamdi, W. Y., Taha, A. E., Swelum, A. A., Tufarelli, V., et al. (2020). Impacts of Green Coffee Powder Supplementation on Growth Performance, Carcass Characteristics, Blood Indices, Meat Quality and Gut Microbial Load in Broilers. *Agriculture*, *10*(10), 457. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture10100457>

Atkinson, R. G. (2016). Phenylpropenes: Occurrence, Distribution, and Biosynthesis in Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66*(10), 2259–2272. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04696>

Bento, M.H.L., Ouwehand, A.C., Tiihonen, K., Lahtinen, S., Nurminen, P., Saarinen, M.T., ... Fischer, J. (2013). Essential oils and their use in animal feeds for monogastric animals - Effects

on feed quality, gut microbiota, growth performance and food safety: a review. *Veterinárni medicína*, 58(9), 449-458. doi: 10.17221/7029-VETMED

Butaye, P., Devriese, L. A., & Haesebrouck, F. (2003). Antimicrobial Growth Promoters Used in Animal Feed: Effects of Less Well Known Antibiotics on Gram-Positive Bacteria. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(2), 175–188. <https://doi.org/10.1128/cmr.16.2.175-188.2003>

Carvalho, I. T., & Santos, L. (2016). Antibiotics in the aquatic environments: A review of the European scenario. *Environment International*, 94, 736–757. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.025>

Chattopadhyay, M. K. (2014). Use of antibiotics as feed additives: a burning question. *Frontiers in Microbiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00334>

Chattopadhyay, M. K. (2014). Use of antibiotics as feed additives: a burning question. *Frontiers in Microbiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00334>

Chaves, A. V., He, M. L., Yang, W. Z., Hristov, A. N., McAllister, T. A., & Benchaar, C. (2008). Effects of essential oils on proteolytic, deaminative and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. *Canadian Journal of Animal Science*, 88(1), 117–122. <https://doi.org/10.4141/cjas07061>

Cui, S., Ge, B., Zheng, J., & Meng, J. (2005, July). Prevalence and Antimicrobial Resistance of *Campylobacter* spp. and *Salmonella* Serovars in Organic Chickens from Maryland Retail Stores. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(7), 4108–4111. <https://doi.org/10.1128/aem.71.7.4108-4111.2005>

D. Bravo, V. Pirgozliev, S. P. Rose, A mixture of carvacrol, cinnamaldehyde, and capsicum oleoresin improves energy utilization and growth performance of broiler chickens fed maize-based diet, *Journal of Animal Science*, Volume 92, Issue 4, April 2014, Pages 1531–1536, <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6244>

Davies, J., & Davies, D. (2010). Origins and Evolution of Antibiotic Resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 74(3), 417–433. <https://doi.org/10.1128/membr.00016-10>

Decker, E. A., & Park, Y. (2010). Healthier meat products as functional foods. *Meat Science*, 86(1), 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.021>

- Diarra, M. S., & Malouin, F. (2014). Antibiotics in Canadian poultry productions and anticipated alternatives. *Frontiers in Microbiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00282>
- El-Tarabily, K. A., El-Saadony, M. T., Alagawany, M., Arif, M., Batiha, G. E., Khafaga, A. F., Elwan, H. A. M., Elnesr, S. S., & E Abd El-Hack, M. (2021). Using essential oils to overcome bacterial biofilm formation and their antimicrobial resistance. *Saudi journal of biological sciences*, 28(9), 5145–5156. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.033>
- F. Karadas, V. Pirgozliev, S.P. Rose, D. Dimitrov, O. Oduguwa & D. Bravo (2014) Dietary essential oils improve the hepatic antioxidative status of broiler chickens, *British Poultry Science*, 55:3, 329-334, DOI: 10.1080/00071668.2014.891098
- Gayatri Suresh, Ratul Kumar Das, Satinder Kaur Brar, Tarek Rouissi, Antonio Avalos Ramirez, Younes Chorfi & Stephane Godbout (2018) Alternatives to antibiotics in poultry feed: molecular perspectives, *Critical Reviews in Microbiology*, 44:3, 318-335, DOI: 10.1080/1040841X.2017.1373062
- Gonzalez Ronquillo, M., & Angeles Hernandez, J. C. (2017). Antibiotic and synthetic growth promoters in animal diets: Review of impact and analytical methods. *Food Control*, 72, 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.001>
- Goossens, H., Ferech, M., Vander Stichele, R., & Elseviers, M. (2005). Outpatient antibiotic use in Europe and association with resistance: a cross-national database study. *The Lancet*, 365(9459), 579–587. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)17907-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(05)17907-0)
- Gopi, M. (2014). Essential Oils as a Feed Additive in Poultry Nutrition. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 2(1). <https://doi.org/10.14737/journal.aavs/2014.2.1.1.7>
- Gupta, Ankur & Eral, Burak & Hatton, T. & Doyle, Patrick. (2016). Nanoemulsions: Formation, Properties and Applications. *Soft Matter*. 12. 10.1039/C5SM02958A.
- Hamedi, S., Shomali, T. & Ghaderi, H. Effect of dietary inclusion of *Mentha piperita* L. on histological and histomorphometrical parameters of the small intestine in broiler chickens. *Org. Agr.* 7, 105–110 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13165-016-0153-7>
- Hernández, T., Canales, M., Avila, J., Duran, A., Caballero, J., Vivar, A. D., & Lira, R. (2003). Ethnobotany and antibacterial activity of some plants used in traditional medicine of Zapotitlán

de las Salinas, Puebla (México). *Journal of Ethnopharmacology*, 88(2–3), 181–188. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(03\)00213-7](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(03)00213-7)

Huyghebaert, G., Ducatelle, R., & Immerseel, F. V. (2011). An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. *The Veterinary Journal*, 187(2), 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.03.003>

Jaiswal, M., Dudhe, R., & Sharma, P. K. (2015). Nanoemulsion: an advanced mode of drug delivery system. *3 Biotech*, 5(2), 123–127. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0214-0>

Jayasena, D. D., & Jo, C. (2013). Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 34(2), 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.09.002>

Jerzsele, A., Szeker, K., Csizinszky, R., Gere, E., Jakab, C., Mallo, J., & Galfi, P. (2012). Efficacy of protected sodium butyrate, a protected blend of essential oils, their combination, and *Bacillus amyloliquefaciens* spore suspension against artificially induced necrotic enteritis in broilers. *Poultry Science*, 91(4), 837–843. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01853>

Juniatik, Meta, et al. "Formulation of Nanoemulsion Mouthwash Combination of Lemongrass Oil (*Cymbopogon Citratus*) and Kaffir Lime Oil (*Citrus Hystrix*) for Anticandidiasis Against *Candida Albicans* Atcc 10231." *Traditional Medicine Journal*, vol. 22, no. 1, 2017, pp. 7-15.

K. Tiihonen , H. Kettunen , M.H.L. Bento , M. Saarinen , S. Lahtinen , A.C. Ouwehand , H. Schulze & N. Rautonen (2010) The effect of feeding essential oils on broiler performance and gut microbiota, *British Poultry Science*, 51:3, 381-392, DOI: 10.1080/00071668.2010.496446

Khameneh, B., Diab, R., Ghazvini, K., & Fazly Bazzaz, B. S. (2016). Breakthroughs in bacterial resistance mechanisms and the potential ways to combat them. *Microbial Pathogenesis*, 95, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2016.02.009>

Khattak, F., Ronchi, A., Castelli, P., & Sparks, N. (2014). Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, cecal morphology, and carcass quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 93(1), 132–137. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03387>

Khattak, F., Ronchi, A., Castelli, P., & Sparks, N. (2014). Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, cecal morphology, and carcass quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 93(1), 132–137. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03387>

Khattak, F., Ronchi, A., Castelli, P., & Sparks, N. (2014). Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, cecal morphology, and carcass quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 93(1), 132–137. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03387>

Kohanski, M. A., Dwyer, D. J., & Collins, J. J. (2010, May 4). How antibiotics kill bacteria: from targets to networks. *Nature Reviews Microbiology*, 8(6), 423–435. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2333>

Kumar, S., Chen, C., Indugu, N., Werlang, G. O., Singh, M., Kim, W. K., & Thippareddi, H. (2018). Effect of antibiotic withdrawal in feed on chicken gut microbial dynamics, immunity, growth performance and prevalence of foodborne pathogens. *PLOS ONE*, 13(2), e0192450. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192450>

Lee, K. W., Ho Hong, Y., Lee, S. H., Jang, S. I., Park, M. S., Bautista, D. A., Donald Ritter, G., Jeong, W., Jeoung, H. Y., An, D. J., Lillehoj, E. P., & Lillehoj, H. S. (2012). Effects of anticoccidial and antibiotic growth promoter programs on broiler performance and immune status. *Research in Veterinary Science*, 93(2), 721–728. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2012.01.001>

Lestari, S. I., Han, F., Wang, F., & Ge, B. (2009). Prevalence and Antimicrobial Resistance of Salmonella Serovars in Conventional and Organic Chickens from Louisiana Retail Stores. *Journal of Food Protection*, 72(6), 1165–1172. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-72.6.1165>

Lin, J. (2014). Antibiotic growth promoters enhance animal production by targeting intestinal bile salt hydrolase and its producers. *Frontiers in Microbiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00033>

Lin, J. (2014). Antibiotic growth promoters enhance animal production by targeting intestinal bile salt hydrolase and its producers. *Frontiers in Microbiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00033>

- Marcincak, Slavomir & Cabadaj, Rudolf & Popelka, Peter & Šoltýsová, Lýdia. (2008). Antioxidative effect of oregano supplemented to broilers on oxidative stability of poultry meat. *Slovenian veterinary research*. 45.
- Marquardt, R. R., & Li, S. (2018). Antimicrobial resistance in livestock: advances and alternatives to antibiotics. *Animal Frontiers*, 8(2), 30–37. <https://doi.org/10.1093/af/vfy001>
- Mathew, A. G., Cissell, R., & Liamthong, S. (2007). Antibiotic Resistance in Bacteria Associated with Food Animals: A United States Perspective of Livestock Production. *Foodborne Pathogens and Disease*, 4(2), 115–133. <https://doi.org/10.1089/fpd.2006.0066>
- McClements, D. J. (2012). Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. *Soft Matter*, 8(6), 1719–1729. <https://doi.org/10.1039/c2sm06903b>
- McClements, David & Jafari, Seid. (2018). General Aspects of Nanoemulsions and Their Formulation. 10.1016/B978-0-12-811838-2.00001-1.
- Miguel, M. G. (2010). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Essential Oils: A Short Review. *Molecules*, 15(12), 9252–9287. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/molecules15129252>
- Mohamed E. Abd El-Hack, Mohamed T. El-Saadony, Manal E. Shafi, Omniah A. Alshahrani, Sultan A. M. Saghir, Abdullah S. Al-wajeeh, Omar Y.A. Al-shargi, Ayman E. Taha, Nora M. Mesalam & Abdel-Moneim E. Abdel-Moneim (2022) Prebiotics can restrict Salmonella populations in poultry: a review, *Animal Biotechnology*, 33:7, 1668-1677, DOI: 10.1080/10495398.2021.1883637
- Montes de Oca Avalos, Juan Manuel & Candal, Roberto & Herrera, Maria. (2017). Nanoemulsions: stability and physical properties. *Current Opinion in Food Science*. 16. 10.1016/j.cofs.2017.06.003.
- Mountzouris, K., Paraskevas, V., Tsirtsikos, P., Palamidi, I., Steiner, T., Schatzmayr, G., & Fegeros, K. (2011). Assessment of a phytogetic feed additive effect on broiler growth performance, nutrient digestibility and caecal microflora composition. *Animal Feed Science and Technology*, 168(3–4), 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.03.020>

- Mushtaq, A., Mohd Wani, S., Malik, A. R., Gull, A., Ramniwas, S., Ahmad Nayik, G., Ercisli, S., Alina Marc, R., Ullah, R., & Bari, A. (2023). Recent insights into Nanoemulsions: Their preparation, properties and applications. *Food chemistry: X*, 18, 100684. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100684>
- Neish, A. S. (2002). The gut microflora and intestinal epithelial cells: a continuing dialogue. *Microbes and Infection*, 4(3), 309–317. [https://doi.org/10.1016/s1286-4579\(02\)01543-5](https://doi.org/10.1016/s1286-4579(02)01543-5)
- Noormohamed, A., & Fakhr, M. K. (2014). Prevalence and Antimicrobial Susceptibility of *Campylobacter* spp. in Oklahoma Conventional and Organic Retail Poultry. *The Open Microbiology Journal*, 8(1), 130–137. <https://doi.org/10.2174/1874285801408010130>
- Nur Haziqah Che Marzuki, Roswanira Abdul Wahab & Mariani Abdul Hamid (2019) An overview of nanoemulsion: concepts of development and cosmeceutical applications, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 33:1, 779-797, DOI: 10.1080/13102818.2019.1620124
- Peng, Q., Li, J., Li, Z., Duan, Z., & Wu, Y. (2016). Effects of dietary supplementation with oregano essential oil on growth performance, carcass traits and jejunal morphology in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 214, 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.010>
- Phillips, I. (2003). Does the use of antibiotics in food animals pose a risk to human health? A critical review of published data. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 53(1), 28–52. <https://doi.org/10.1093/jac/dkg483>
- Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>
- R. Habibi, GH. Sadeghi & A. Karimi (2014) Effect of different concentrations of ginger root powder and its essential oil on growth performance, serum metabolites and antioxidant status in broiler chicks under heat stress, *British Poultry Science*, 55:2, 228-237, DOI: 10.1080/00071668.2014.887830

- Singer, R. S., & Hofacre, C. L. (2006). Potential Impacts of Antibiotic Use in Poultry Production. *Avian Diseases*, 50(2), 161–172. <https://doi.org/10.1637/7569-033106r.1>
- Singh, P., Karimi, A., Devendra, K., Waldroup, P. W., Cho, K. K., & Kwon, Y. M. (2013). Influence of penicillin on microbial diversity of the cecal microbiota in broiler chickens. *Poultry Science*, 92(1), 272–276. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02603>
- Talazade, Forough & Mayahi, Mansour. (2017). Immune response of broiler chickens supplemented with pediatric cough syrup including thyme extract in drinking water against influenza vaccine. *Journal of HerbMed Pharmacology*. 6. 33-36.
- Tayeb, H. H., Felimban, R., Almaghrabi, S., & Hasaballah, N. (2021). Nanoemulsions: Formulation, characterization, biological fate, and potential role against COVID-19 and other viral outbreaks. *Colloid and interface science communications*, 45, 100533. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2021.100533>
- Toutain, P. L., Ferran, A. A., Bousquet-Melou, A., Pelligand, L., & Lees, P. (2016, August 3). Veterinary Medicine Needs New Green Antimicrobial Drugs. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01196>
- Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., Teillant, A., & Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5649–5654. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>
- Wade, A. (2018, May). Let there be Light. *The Engineer*, 298(7898), 25–26. [https://doi.org/10.12968/s0013-7758\(23\)90224-2](https://doi.org/10.12968/s0013-7758(23)90224-2)
- Wegener, H. C. (2003). Antibiotics in animal feed and their role in resistance development. *Current Opinion in Microbiology*, 6(5), 439–445. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2003.09.009>
- Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C., & Kroismayr, A. (2008). Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry1. *Journal of Animal Science*, 86(suppl_14), E140–E148. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>

Yang, X., Xin, H., Yang, C., & Yang, X. (2018). Impact of essential oils and organic acids on the growth performance, digestive functions and immunity of broiler chickens. *Animal Nutrition*, 4(4), 388–393. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.005>

Zhang, Zipei & McClements, David. (2018). Overview of Nanoemulsion Properties: Stability, Rheology, and Appearance. 10.1016/B978-0-12-811838-2.00002-3.