

**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΟΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**Χημικές και Βιομοριακές Μέθοδοι Στην Έρευνα για την
Ποιότητα των Ζωοτροφών**



Αγγελάκη Δήμητρα

A.M. 526960

Επιβλέπων Καθηγητής

Χριστόπουλος Θεόδωρος

Ακαδημαϊκό Έτος 2024-2025



HELLENIC OPEN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CHEMICAL AND BIOMOLECULAR
ANALYSIS

TITLE OF THESIS

Chemical and Biomolecular Methods in Feed Quality Research



Dimitra Angelaki
Student ID 526960

Supervisor
Theodoros Christopoulos
Academic Year 2024-2025

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση της ποιότητας των ζωοτροφών και της επίδρασής τους στην απόδοση και υγεία των ζώων μέσω χημικών και βιομοριακών μεθόδων ανάλυσης. Στόχος της είναι η ανάλυση των βασικών θρεπτικών συστατικών στις ζωοτροφές, όπως οι πρωτεΐνες, τα λίπη, οι υδατάνθρακες και οι βιταμίνες, καθώς και ο ρόλος τους στη διατροφή των ζώων. Εξετάζεται επίσης η παρουσία τοξικών ουσιών στις ζωοτροφές, όπως μυκοτοξίνες και βαρέα μέταλλα, και οι επιπτώσεις τους στην υγεία των ζώων. Μέσω της μελέτης αυτών των παραγόντων, η εργασία προσδιορίζει τις χημικές και βιομοριακές μεθόδους ανάλυσης, που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και την ποσοτικοποίηση τοξινών και θρεπτικών συστατικών στις ζωοτροφές. Αναλύονται οι σύγχρονες προσεγγίσεις για τη διαχείριση των τοξικών ουσιών και η χρήση πρόσθετων για τη βελτίωση της παραγωγικότητας των ζώων, ενώ διερευνώνται οι επιπτώσεις αυτών των μεθόδων στα ζωικά προϊόντα, όπως το κρέας και το γάλα. Συνολικά, η εργασία αυτή αποσκοπεί στη διατύπωση προτάσεων για τη βελτίωση της ποιότητας των ζωοτροφών, τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία των ζώων και του περιβάλλοντος, καθώς και στην ενίσχυση της παραγωγικότητας.

ABSTRACT

This thesis focuses on the investigation of the quality of animal feed and its impact on the performance and health of animals through chemical and biomolecular analysis methods. The aim is to analyze the main nutrients in animal feed, such as proteins, fats, carbohydrates, and vitamins, as well as their role in animal nutrition. The presence of toxic substances in animal feed, such as mycotoxins and heavy metals, and their effects on animal health are also examined. Through the study of these factors, the thesis identifies the chemical and biomolecular analysis methods used to detect and quantify toxins and nutrients in animal feed. Modern approaches to managing toxic substances and the use of additives to improve animal productivity are analyzed, while the effects of these methods on animal products, such as meat and milk, are also explored. Overall, this thesis aims to provide recommendations for improving the quality of animal feed, reducing negative impacts on animal health and the environment, and enhancing productivity.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1.1. Εισαγωγή στη σημασία των ζωοτροφών	7
1.1.3. Η επίδραση των ζωοτροφών στον άνθρωπο και το περιβάλλον.....	9
1.1.4. Στόχοι της πτυχιακής εργασίας.....	10
Κεφάλαιο 1 ^ο Θρεπτικά Συστατικά στις Ζωοτροφές	11
1.1. Βασικές κατηγορίες ζωοτροφών και θρεπτικών συστατικών.....	11
1.2. Ρόλος των πρωτεϊνών, λιπιδίων, υδατανθράκων και βιταμινών	26
1.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τη θρεπτική αξία.....	30
1.4. Μέθοδοι χημικής ανάλυσης θρεπτικών συστατικών.....	31
Κεφάλαιο 2ο Ανίχνευση και Ποσοτικοποίηση Τοξινών	37
2.1. Είδη τοξινών που βρίσκονται στις ζωοτροφές και οι επιπτώσεις τους στην υγεία των ζώων	37
2.2. Ανάλυση τοξινών: Χημικές και βιομοριακές μέθοδοι.....	41
2.3. Πρόληψη και απομάκρυνση τοξινών στις ζωοτροφές.....	44
2.4. Νομοθεσία τοξινών.....	46
Κεφάλαιο 3ο Χημική Ανάλυση Πρόσθετων στις Ζωοτροφές	48
3.1. Είδη πρόσθετων και ο ρόλος τους.....	48
3.2. Χημική σύσταση και ανάλυση πρόσθετων	50
3.3. Επιπτώσεις πρόσθετων στην υγεία των ζώων.....	54
3.4. Νομοθεσία και κανονισμοί για τα πρόσθετα	55
Κεφάλαιο 4 ^ο Επίδραση της Διατροφής στην Αποδοτικότητα των Ζώων	57
4.1. Διατροφή και παραγωγικότητα: Παράγοντες που εμπλέκονται	57
4.2. Σχέση μεταξύ ποιότητας ζωοτροφών και ποιότητας προϊόντων	58
4.3. Συνέπειες για την υγεία του ανθρώπου από τοξικές ουσίες στις τροφές.....	60
Συμπεράσματα και Προτάσεις	64
5.1. Βασικά ευρήματα της μελέτης	64
5.2. Προκλήσεις για τη βιομηχανία ζωοτροφών	64
5.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	64
5.4. Συμπεράσματα	64

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1. Εισαγωγή στη σημασία των ζωοτροφών

Η εξέλιξη της κτηνοτροφικής παραγωγής και η αύξηση της ζήτησης για προϊόντα υψηλής ποιότητας, θέτουν συνεχώς νέες προκλήσεις στον τομέα της διατροφής των ζώων. Η διατροφή των ζώων δεν περιορίζεται μόνο στην κάλυψη των βασικών αναγκών για επιβίωση, αλλά επηρεάζει κρίσιμους παράγοντες όπως η γαλακτοπαραγωγή, η παραγωγή κρέατος, η αναπαραγωγική ικανότητα και η γενική ευημερία των ζώων. Στο πλαίσιο αυτό, η επιλογή και η σύνθεση των ζωοτροφών είναι καίρια για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων και τη διασφάλιση της υγείας των ζώων. Η παραγωγή τροφίμων ζωικής προέλευσης, όπως το γάλα, το κρέας και τα αυγά, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και τη θρεπτική αξία των ζωοτροφών. Παράλληλα, η ακατάλληλη διατροφή μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα όπως η υποθρεψία ή η δηλητηρίαση των ζώων, με άμεσες επιπτώσεις στη βιομηχανία τροφίμων και στην υγεία του καταναλωτή. Όταν εξετάζεται η ποιότητα των ζωοτροφών, δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην θρεπτική σύνθεση αλλά αφορά την παρουσία τοξικών ουσιών και τη χρήση πρόσθετων που συντελούν στη δημιουργία μίας ισορροπημένης διατροφής. Οι θρεπτικές ουσίες, όπως οι πρωτεΐνες, τα λιπαρά οξέα, οι υδατάνθρακες και τα ιχνοστοιχεία, παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της υγείας των ζώων και της σταθερής απόδοσης της παραγωγικότητάς τους. Από την άλλη πλευρά, η παρουσία τοξικών ουσιών, όπως μυκοτοξίνες και βαρέα μέταλλα, μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητα της τροφής και να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην υγεία των ζώων καθιστώντας ταυτόχρονα ακατάλληλα πολλές φορές τα εμπορεύσιμα παράγωγα τους, συχνό φαινόμενο στην περίπτωση του γάλακτος με υψηλά ποσοστά αφλατοξίνης. Σε αυτό το πλαίσιο, η χημική ανάλυση και η βιομοριακή έρευνα αποτελούν κρίσιμα εργαλεία για την εξασφάλιση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των ζωοτροφών. Τέλος, οι σύγχρονες απαιτήσεις για βιώσιμη παραγωγή και η πίεση για μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ενισχύουν τη σημασία της ορθής διαχείρισης των ζωοτροφών. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κτηνοτροφίας σχετίζονται με την υπερβολική ή μη αποτελεσματική χρήση αυτών των πόρων οδηγώντας στην αποψίλωση δασών για την καλλιέργεια πρώτων υλών, την υπερεκμετάλλευση υδάτινων πόρων καθώς και την αυξημένη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, που επιβαρύνουν το έδαφος και τα οικοσυστήματα.

1.1.2. Ο ρόλος της διατροφής στην απόδοση και υγεία των ζώων

Η διατροφή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την απόδοση και την υγεία των ζώων, διαδραματίζοντας κεντρικό ρόλο στη ζωική παραγωγή. Η σωστή διατροφή δεν περιορίζεται μόνο στην κάλυψη των βασικών διατροφικών αναγκών για την επιβίωση των ζώων, αλλά επηρεάζει άμεσα τη συνολική τους ανάπτυξη, την ικανότητά τους να αντεπεξέλθουν σε περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες, καθώς και τη δυνατότητά τους να παραμείνουν υγιή και παραγωγικά. Η σχέση της διατροφής με την υγεία και την απόδοση είναι αλληλένδετη, καθώς κάθε στοιχείο που περιλαμβάνεται στις ζωοτροφές έχει τη δική του ιδιαίτερη επίδραση στο οργανικό και ανοσοποιητικό σύστημα των ζώων. Αρχικά, η ποιότητα των ζωοτροφών είναι σημαντική για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των ζώων απέναντι σε ασθένειες και μολύνσεις. Η έλλειψη βασικών θρεπτικών ουσιών μπορεί να οδηγήσει σε αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος, καθιστώντας τα ζώα πιο ευάλωτα σε λοιμώξεις. Θρεπτικά συστατικά όπως οι πρωτεΐνες, τα λιπαρά οξέα, οι βιταμίνες και τα ιχνοστοιχεία έχουν καθοριστικό ρόλο όχι μόνο στην υποστήριξη της ανάπτυξης, αλλά και στη διατήρηση της καθολικής υγείας. Για παράδειγμα, η παρουσία βιοδραστικών συστατικών, όπως τα οργανικά οξέα και τα αντιοξειδωτικά, βοηθά στη μείωση του οξειδωτικού στρες, το οποίο είναι συχνά υπεύθυνο για τη φθορά των ιστών και τη μείωση της παραγωγικότητας [1]. Το οξειδωτικό στρες προκαλείται από την ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής δραστικών μορφών οξυγόνου (Reactive Oxygen Species,

ROS) και της ικανότητας του οργανισμού να τις εξουδετερώνει μέσω των ενδογενών αντιοξειδωτικών μηχανισμών. Οι ROS παράγονται φυσιολογικά κατά τη διάρκεια των μεταβολικών διεργασιών, ωστόσο, διάφοροι εσωτερικοί και εξωτερικοί παράγοντες μπορούν να αυξήσουν δραματικά την παραγωγή τους, προκαλώντας κυτταρικές βλάβες. Κάποιες από τις σημαντικότερες αιτίες είναι η υπερβολική μεταβολική δραστηριότητα, όπως αυτή που συμβαίνει σε περιόδους υψηλής παραγωγικότητας, η κακή ποιότητα ζωοτροφών ή η ανεπαρκής διατροφή και οι περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες, όπως η έντονη ζέση ή το κρύο, που αυξάνουν την πίεση στον οργανισμό. Επιπλέον, λοιμώξεις, φλεγμονώδεις καταστάσεις και η παρουσία τοξικών ουσιών στις ζωοτροφές, όπως μυκοτοξίνες, βαρέα μέταλλα ή φυτοφάρμακα, εντείνουν το φαινόμενο. Τα συμπτώματα του οξειδωτικού στρες συχνά περιλαμβάνουν μειωμένη παραγωγικότητα, όπως χαμηλότερη αύξηση βάρους, μειωμένη γαλακτοπαραγωγή ή υποβάθμιση της ποιότητας του κρέατος και των αυγών. Επιπροσθέτως, μπορεί να οδηγήσει σε επιφανειακά ή μακροπρόθεσμα προβλήματα υγείας ή ακόμη και σε κυτταρικό θάνατο [2]. Η έγκαιρη διάγνωση και η βελτιστοποίηση της διατροφής με την προσθήκη αντιοξειδωτικών, όπως η βιταμίνη E, το σελήνιο και τα καροτενοειδή, είναι κρίσιμη για την πρόληψη και τη διαχείριση αυτής της κατάστασης. Τα καροτενοειδή, για παράδειγμα, ενισχύουν την παραγωγή αντισωμάτων και βελτιώνουν την κυτταρική ανοσία, ενώ το σελήνιο δρα ως συμπαραγοντας ενζύμων που εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τις εμπλουτισμένες με αντιοξειδωτικά ζωοτροφές ένα κρίσιμο εργαλείο στη διατήρηση της υγείας και της παραγωγικότητας των ζώων [3].

Παράλληλα, η υγιεινή των ζωοτροφών αποτελεί βασική προϋπόθεση για την πρόληψη προβλημάτων υγείας. Τροφές μολυσμένες με παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως το *E. coli* ή το *Campylobacter*, και τοξικές ουσίες, όπως οι μυκοτοξίνες, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές εντερικές διαταραχές και να μειώσουν δραστικά την αποδοτικότητα των ζώων. Η χρήση οργανικών οξέων στις ζωοτροφές έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη μείωση των παθογόνων και στη βελτίωση της υγείας του πεπτικού συστήματος. Επιπλέον, η αντικατάσταση ζωικών πρωτεϊνών με φυτικές, στις τροφές έχει φανεί ότι περιορίζει τη συγκέντρωση παθογόνων στον πεπτικό σωλήνα, προάγοντας την εντερική υγεία.

Η καλή κατάσταση του πεπτικού συστήματος είναι θεμελιώδης για την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και τη συνολική υγεία των ζώων. Θρεπτικές ενώσεις όπως η γλουταμίνη, η αργινίνη και το βουτυρικό οξύ ενισχύουν τη δομική ακεραιότητα του εντερικού τοιχώματος και υποστηρίζουν την αναγέννηση των κυττάρων του εντέρου. Για παράδειγμα, η γλουταμίνη παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της εντερικής βλέννας, η οποία αποτελεί το πρώτο επίπεδο άμυνας ενάντια σε παθογόνους μικροοργανισμούς. Συγχρόνως, το βουτυρικό οξύ προσφέρει ενέργεια στα εντεροκύτταρα, υποστηρίζοντας τη συνολική υγεία του εντερικού συστήματος και μειώνοντας τις φλεγμονώδεις αποκρίσεις [1].

Ένας ακόμη τομέας που αναδεικνύει τη σημασία της διατροφής είναι η χρήση φυτικών εμβολίων μέσω των ζωοτροφών, μια καινοτόμος προσέγγιση που προσφέρει χαμηλό κόστος και ευκολία στη χορήγηση ανοσοενισχυτικών. Αυτά τα εμβόλια μπορούν να ενσωματωθούν στις ζωοτροφές και να αυξήσουν την ανοσολογική απόκριση, μειώνοντας την εξάπλωση παθογόνων, όπως εκείνων που προκαλούν διάρροια στους χοίρους.

Σημαντική η συμβολή της και στη μείωση της επίδρασης τοξινών, όπως οι μυκοτοξίνες, που συχνά εντοπίζονται στις τροφές. Η χρήση ανόργανων ουσιών που λειτουργούν ως προσροφητικά, όπως ο ζεόλιθος και ο μπεντονίτης, μειώνει την απορρόφηση τοξικών ενώσεων στο έντερο, ενώ η ενσωμάτωση αντιοξειδωτικών ενισχύει την ικανότητα του οργανισμού να εξουδετερώνει τις βλαβερές επιδράσεις των τοξινών. Τέτοιες διατροφικές παρεμβάσεις έχουν φανεί ιδιαίτερα αποτελεσματικές στη διατήρηση της υγείας των ζώων ακόμη και σε συνθήκες υψηλής περιβαλλοντικής επιβάρυνσης επιβεβαιώνοντας πως αποτελεί έναν ισχυρό μηχανισμό διασφάλισης της υγείας και της αποδοτικότητάς τους. Μέσω της σωστής επιλογής και

διαχείρισης των ζωοτροφών, μπορούν να επιτευχθούν υψηλότερες αποδόσεις, καλύτερη υγεία και βιωσιμότητα στη ζωική παραγωγή, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον.

1.1.3. Η επίδραση των ζωοτροφών στον άνθρωπο και το περιβάλλον

Η παραγωγή και χρήση ζωοτροφών έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, οι οποίες αναγνωρίζονται ως κεντρικά ζητήματα στο πλαίσιο της παγκόσμιας κτηνοτροφίας. Οι επιπτώσεις αυτές επηρεάζουν όχι μόνο τη βιωσιμότητα των παραγωγικών συστημάτων, αλλά και την ποιότητα των τροφίμων που καταναλώνονται, το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων. Ο αυξανόμενος πληθυσμός, η εκρηκτική αύξηση της ζήτησης για ζωικά προϊόντα και η εντατικοποίηση της παραγωγής έχουν οδηγήσει σε νέες προκλήσεις, οι οποίες απαιτούν ενδελεχή ανάλυση και προσεκτική προσέγγιση προκειμένου να περιοριστούν οι αρνητικές συνέπειες. Η βιομηχανία παραγωγής ζωοτροφών παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία, καθώς η χρήση αυτών των τροφών επηρεάζει άμεσα το οικοσύστημα και τη δημόσια υγεία. Η παραγωγή ζωοτροφών έχει άμεσες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία μέσω της τοξικότητας που ενδέχεται να περιέχουν τα ζωικά προϊόντα, κυρίως όταν οι ζωοτροφές περιλαμβάνουν χημικά πρόσθετα ή επιμολύνονται με επικίνδυνες ουσίες. Οι ζωοτροφές χρησιμοποιούνται συχνά για την ενίσχυση της ανάπτυξης των ζώων και την πρόληψη ασθενειών. Ωστόσο, η προσθήκη αντιβιοτικών και άλλων χημικών πρόσθετων για την ενίσχυση της ανάπτυξης των ζώων έχει προκαλέσει αυξανόμενη ανησυχία λόγω της δημιουργίας ανθεκτικών βακτηρίων. Τα βακτήρια που αποκτούν ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά των ζωοτροφών μπορεί να μεταδοθούν μέσω της τροφικής αλυσίδας στους ανθρώπους και να προκαλέσουν λοιμώξεις οι οποίες είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν με τα υπάρχοντα φάρμακα. Ειδικά, οι λοιμώξεις που προκαλούνται από ανθεκτικά μικρόβια προκαλούν αυξημένη θνησιμότητα και μεγαλύτερο κόστος υγειονομικής περίθαλψης, επιβαρύνοντας τις κοινωνίες και τα συστήματα περίθαλψης [6]. Επιπλέον, η χρήση ζωοτροφών μπορεί να έχει σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες. Οι κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις και οι καλλιέργειες για την παραγωγή ζωοτροφών απαιτούν τεράστιες εκτάσεις γης και μεγάλες ποσότητες νερού. Στην πραγματικότητα, οι εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αυτών των τροφών καταλαμβάνουν μεγάλα τμήματα φυσικών οικοσυστημάτων, προκαλώντας την αποδάσωση και την απώλεια βιοποικιλότητας. Η αποδάσωση επιδεινώνει τις κλιματικές αλλαγές, καθώς τα τροπικά δάση, που συχνά κόβονται για να καλλιεργηθούν ζωοτροφές, αποτελούν βασικούς απορροφητές του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών CO_2 στην ατμόσφαιρα. Η απομάκρυνση αυτών των δασών απελευθερώνει CO_2 στην ατμόσφαιρα, ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οδηγώντας σε κλιματικές αλλαγές με αυξημένα φαινόμενα ακραίων καιρικών συνθηκών. Η ανάγκη για τη βελτίωση των πρακτικών παραγωγής ζωοτροφών γίνεται ακόμα πιο επιτακτική όταν εξετάσουμε τις επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων και των εδαφών. Η υπερβολική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων για την καλλιέργεια των φυτών που χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφές έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση των υδάτων και του εδάφους. Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την προστασία των καλλιεργειών από παράσιτα και ασθένειες μπορεί να καταλήξουν στις υδάτινες πηγές μέσω της έκπλυσης και να οδηγήσουν σε φαινόμενα ευτροφισμού. Ο ευτροφισμός, που προκύπτει από την υπερβολική συσσώρευση αζώτου και φωσφόρου στο νερό, μπορεί να μειώσει τα επίπεδα οξυγόνου στα υδάτινα συστήματα, προκαλώντας την καταστροφή των οικοσυστημάτων και την απώλεια της βιοποικιλότητας. Η παραγωγή ζωοτροφών ενδέχεται επίσης να έχει αρνητικές συνέπειες για τη γεωργική γη και την ποιότητα του εδάφους. Η υπερβολική καλλιέργεια για την παραγωγή ζωοτροφών μπορεί να οδηγήσει σε εξάντληση των θρεπτικών ουσιών του εδάφους, μειώνοντας τη γονιμότητά του και καθιστώντας δύσκολη την παραγωγή τροφής για τον άνθρωπο και άλλες ανάγκες. Οι υπερβολικές εκτάσεις που καταλαμβάνονται από τις καλλιέργειες ζωοτροφών αφήνουν λιγότερο χώρο για την παραγωγή καλλιεργειών που προορίζονται για άμεση ανθρώπινη

κατανάλωση, επιδεινώνοντας το πρόβλημα της παγκόσμιας επισιτιστικής ανασφάλειας. Εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η κτηνοτροφία και η παραγωγή ζωοτροφών συμβάλλουν επίσης σε προβλήματα κοινωνικής δικαιοσύνης και παγκόσμιας οικονομίας. Η διατροφή και η εκτροφή των ζώων για τη παραγωγή κρέατος, γαλακτοκομικών και άλλων ζωικών προϊόντων απαιτούν τεράστιους φυσικούς πόρους, οι οποίοι συχνά εκμεταλλεύονται χωρίς να ληφθούν υπόψη οι ανάγκες των κοινοτήτων που εξαρτώνται από τη γη και τα νερά για τη διατροφή τους. Η τάση της παγκοσμιοποίησης της παραγωγής ζωοτροφών έχει οδηγήσει σε συγκέντρωση της παραγωγής στις μεγαλύτερες βιομηχανικές μονάδες, που συχνά εκμεταλλεύονται τους τοπικούς πόρους με ελάχιστο όφελος για τους τοπικούς πληθυσμούς [4]. Ωστόσο, υπάρχουν και λύσεις που μπορούν να μειώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις από την παραγωγή και χρήση ζωοτροφών. Η προώθηση βιώσιμων γεωργικών πρακτικών και η έρευνα για τη δημιουργία εναλλακτικών και πιο βιώσιμων ζωοτροφών που να περιορίζουν τη χρήση χημικών, αντιβιοτικών και άλλων τοξικών ουσιών μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των κινδύνων για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Επιπλέον, η ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών για την ενίσχυση της αποδοτικότητας της κτηνοτροφίας και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να συμβάλει στην επίτευξη πιο βιώσιμων παραγωγικών συστημάτων. Για να μειωθούν οι επιπτώσεις των ζωοτροφών στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, είναι απαραίτητη η εφαρμογή ενός συνολικού στρατηγικού σχεδίου που να περιλαμβάνει τη βελτίωση της ποιότητας των ζωοτροφών, την εκπαίδευση των γεωργών, τη χρήση φυσικών προσθέτων και την ενθάρρυνση της χρήσης εναλλακτικών και πιο φιλικών προς το περιβάλλον τροφών. Η ευαισθητοποίηση και η συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, όπως οι κυβερνήσεις, οι παραγωγοί τροφίμων και οι καταναλωτές, είναι επίσης απαραίτητες για την επίτευξη αυτών των στόχων [5].

1.1.4. Στόχοι της πτυχιακής εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση της ποιότητας των ζωοτροφών και της επίδρασής τους στην απόδοση και υγεία των ζώων, χρησιμοποιώντας χημικές και βιομοριακές μεθόδους ανάλυσης. Σκοπός είναι η ανάλυση των βασικών κατηγοριών ζωοτροφών και των θρεπτικών συστατικών τους, όπως πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες και βιταμίνες, και ο ρόλος αυτών στη διατροφή των ζώων. Παράλληλα, θα εξεταστούν οι τοξίνες που ενδέχεται να περιέχονται στις ζωοτροφές, οι επιπτώσεις τους στην υγεία των ζώων, καθώς και οι σύγχρονες μέθοδοι ανίχνευσης και απομάκρυνσης αυτών των τοξινών, όπως η χημική και η βιομοριακή ανάλυση. Η εργασία θα αναλύσει επίσης τη χρήση πρόσθετων ουσιών (αρωματικά, βότανα, προσθετικά γεύσης κ.λ.π.) στις ζωοτροφές και την επίδρασή τους στην ανάπτυξη των ζώων, τη σύνθεση και τις επιπτώσεις τους στην υγεία τους. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ της ποιότητας των ζωοτροφών και της παραγωγικότητας των ζώων, εξετάζοντας την επίδραση της διατροφής στην παραγωγή ζωικών προϊόντων, όπως το κρέας και το γάλα, καθώς και την επίδραση των τοξινών και πρόσθετων στην ποιότητα αυτών των προϊόντων. Στόχος είναι η συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων χημικής και βιομοριακής ανάλυσης, όπως η PCR και η ELISA, προκειμένου να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητά τους στην ανίχνευση θρεπτικών συστατικών και τοξινών στις ζωοτροφές. Στο πλαίσιο της εργασίας, θα διατυπωθούν προτάσεις για τη βελτίωση της ποιότητας των ζωοτροφών, την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων για τα ζώα και το περιβάλλον και για την ανάπτυξη νέων κατευθύνσεων στην έρευνα που αφορούν τη διατροφή των ζώων και τη δημόσια υγεία.

Κεφάλαιο 1^ο Θρεπτικά Συστατικά στις Ζωοτροφές

1.1. Βασικές κατηγορίες ζωοτροφών και θρεπτικών συστατικών

Οι ζωοτροφές αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο της ζωικής παραγωγής, καθώς διαμορφώνουν τη θρεπτική βάση για την ανάπτυξη, την απόδοση και την υγεία των ζώων. Η επιλογή και η διαχείριση των ζωοτροφών απαιτούν ισορροπία μεταξύ κόστους, θρεπτικής αξίας και ασφάλειας, ώστε να εξασφαλίζεται η παραγωγικότητα των ζώων και η προστασία της υγείας τους. Χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, με κάθε μία να συμβάλλει με διαφορετικό τρόπο στις ανάγκες των ζώων. Οι φυτικής προέλευσης ζωοτροφές, όπως οι χονδροειδείς (σανός, τριφύλλι άλφαφα, ενσιρώματα και άχυρα), είναι πλούσιες σε φυτικές ίνες και κρίσιμες για τη σωστή πέψη στα μηρυκαστικά, ενώ τα σιτηρά, όπως το κριθάρι, το καλαμπόκι, το ρύζι και το σόργο, παρέχουν υδατάνθρακες υψηλής ενέργειας. Μία άλλη κατηγορία είναι οι συμπυκνωμένες ζωοτροφές (δημητριακοί καρποί, υποπροϊόντα δημητριακών, υποπροϊόντα ελαιουργίας, φυράματα, συμπυκνώματα κ.α.) που είναι πλούσιες σε ενέργεια και θρεπτικά συστατικά, βασικό πλεονέκτημα κυρίως στην περίοδο της γαλακτοπαραγωγής, αλλά φτωχά σε κυτταρίνη. Οι ζωοτροφές αυτές έχουν μικρό όγκο στο σύνολό τους αλλά η υψηλή πεπτικότητα. Επιπλέον, υποπροϊόντα της επεξεργασίας δημητριακών, όπως τα πίτυρα και τα υπολείμματα ζυθοποιίας, ενισχύουν τη διατροφική αξία των ζωοτροφών, ενώ η χρήση τους βοηθά στη μείωση του κόστους παραγωγής [6]. Σημαντική θέση σε αυτή την κατηγορία έχουν και οι πρωτεϊνικές φυτικές πηγές, όπως το γεύμα σόγιας και τα κέικ βαμβακόσπορου, που υποστηρίζουν την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των ζώων. Πιο συγκεκριμένα στις συμπυκνωμένες ζωοτροφές περιλαμβάνονται οι:

Δημητριακοί καρποί: αραβόσιτος, κριθάρι, σιτάρι, βρώμη. Η κυριότερη πηγή ενέργειας, συμμετοχή περίπου στο 50% του μίγματος συμπυκνωμένων ζωοτροφών.

Υποπροϊόντα δημητριακών: πίτυρα, γλουτένες, άλευρα. Γενικώς, πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, συμμετοχή ανάλογα με το είδος και τα όρια ανοχής του.

Υποπροϊόντα ελαιουργίας: σογιάλευρο, ηλιάλευρο. Η κυριότερη πηγή πρωτεΐνης, συμμετοχή περίπου στο 25-30% του μίγματος συμπυκνωμένων ζωοτροφών.

Διάφορα υποπροϊόντα: βαμβακόπιτα, ζαχαρόπιτα, μελάσα.

Μίγματα ζωοτροφών: σύνθετες ζωοτροφές, εξισσοροπημένες σε θρεπτικά συστατικά, με κατάλληλη υφή και επεξεργασία, εμπλουτισμένες με ανόργανα στοιχεία, βιταμίνες και ιχνοστοιχεία

Συμπυκνώματα ζωοτροφών: σύνθετες ζωοτροφές, πλούσιες σε πρωτεΐνες, χορηγούνται σε συνδυασμό με δημητριακούς καρπούς

Ισορροπιστές: ανόργανες ζωοτροφές, μικρής συμμετοχής, παρέχουν βιταμίνες και ιχνοστοιχεία

ΧΟΝΔΡΟΕΙΔΕΙΣ:

Η προσθήκη σανών υψηλής ποιότητας στις σιτηρέσιες μπορεί να αυξήσει την πρόσληψη ξηρής ύλης και να υποστηρίξει τη γαλακτοπαραγωγή, την ανάπτυξη των ζώων και την αποδοτικότητα της τροφής. Παρόλα αυτά, η χρήση τους πρέπει να είναι ισορροπημένη ώστε να αποφευχθεί η σπατάλη πρωτεΐνης, ειδικά σε ζώα με χαμηλές απαιτήσεις, όπως οι αγελάδες αναπαραγωγής. Επιπλέον, η επεξεργασία με θερμότητα μπορεί να αυξήσει την πεπτικότητα της πρωτεΐνης, καθιστώντας την περισσότερο διαθέσιμη στο έντερο και μειώνοντας τις απώλειες λόγω αποδόμησης στο μηρυκαστικό στομάχι. Ωστόσο, υπερβολική θερμική επεξεργασία μπορεί να μειώσει την πεπτικότητα λόγω καταστροφής της πρωτεΐνης. Η χρήση σανών πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να βελτιστοποιεί την απορρόφηση θρεπτικών ουσιών, να διατηρεί τη θρεπτική ισορροπία και να προλαμβάνει τη μεταβολική οξέωση, συχνή στα ζώα που τρέφονται με έντονα συγκεντρωμένες τροφές. Επομένως, ο σανός δεν είναι μόνο μια αξιόπιστη πηγή τροφής αλλά και μια στρατηγική για την προώθηση της υγείας και της παραγωγικότητας των ζώων [7]. Ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα σανό είναι η μηδική.

Η μηδική (*Medicago sativa*), με την προσαρμοστικότητα και την πολυλειτουργικότητά της, αποτελεί τη βάση για μια πιο βιώσιμη, παραγωγική και κερδοφόρα γεωργία, αναδεικνύοντας τον πρωταγωνιστικό της ρόλο στη σύγχρονη ζωοτροφική παραγωγή και τη βιολογική γεωργία. Ανήκει στην κατηγορία των χονδροειδών ζωοτροφών όπως ο σανός και τα άχυρα. Η επιστημονική κοινότητα επενδύει στην καλλιέργειά της, βελτιώνοντας τις ποικιλίες και τις μεθόδους εκμετάλλευσης, ενισχύοντας την εικόνα της ως βασικού πυλώνα της παγκόσμιας αγροτικής ανάπτυξης. Είναι πρώτη επιλογή στην παραγωγή ζωοτροφών καθώς δίνει αποδόσεις που αγγίζουν τους 80 τόνους πράσινης ύλης και τους 20 τόνους ξηράς ύλης ανά εκτάριο, η μηδική δεν προσφέρει μόνο ποσότητα αλλά και ποιότητα, εξασφαλίζοντας πρωτεΐνη εξαιρετικής βιολογικής αξίας σε κόστος σημαντικά χαμηλότερο από άλλες ζωοτροφές. Η περιεκτικότητά της σε πρωτεΐνη κυμαίνεται από 200 έως 240 γραμμάρια ανά κιλό ξηρής ύλης, ενώ η συνολική απόδοση πρωτεΐνης μπορεί να ξεπεράσει τους 3,5 τόνους ανά εκτάριο, καθιστώντας τη μία από τις αποδοτικότερες καλλιέργειες για την υποστήριξη της διατροφής των ζώων [8]. Η θρεπτική της αξία δεν περιορίζεται στην πρωτεΐνη. Η μηδική είναι πλούσια σε βιταμίνες, όπως οι A, E και K, καθώς και σε ζωτικά μακροθρεπτικά (N, P, K, Ca, Mg) και μικροθρεπτικά στοιχεία (Fe, Zn, Mn, Cu), τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη και τη φυσιολογική λειτουργία του ζωικού οργανισμού. Οι θρεπτικές της ιδιότητες διατηρούνται σε μεγάλο βαθμό ανεξαρτήτως της μορφής χρήσης, είτε ως σανός, ενσίρωμα ή μπρικέτες (Βλέπε εικόνα 1) , είτε μέσω άμεσης βόσκησης, ενώ οι σύγχρονες μέθοδοι συντήρησης μειώνουν στο ελάχιστο τις απώλειες θρεπτικών συστατιών [9].



Εικόνα 1 Πέλλετ μηδικής (*Medicago sativa*)

Πηγή: <https://zwomelissotexniki.gr/product/%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%86%CF%85%CE%BB%CE%BB%CE%B9-%CF%80%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CF%84-40kg/>

Η χρήση αχύρων στις ζωοτροφές αποτελεί μια σημαντική πρακτική, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου οι διαθέσιμες πηγές τροφής είναι περιορισμένες, καθιστώντας τα μια οικονομική λύση για τη διατροφή των μηρυκαστικών. Ωστόσο, η διατροφική αξία των αχύρων είναι εγγενώς χαμηλή, με βασικούς περιορισμούς όπως η χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (2-7%) και η χαμηλή πεπτικότητα της ινώδους κλασματικής δομής τους, η οποία περιορίζει τη χρήση τους ως κύρια πηγή ενέργειας. Παρόλα αυτά, με τις κατάλληλες παρεμβάσεις, όπως η εμπλουτισμένη συμπλήρωση με πρωτεΐνες, ενέργεια ή μικροθρεπτικά συστατικά, τα άχυρα μπορούν να ενισχυθούν ως μέρος ενός ισορροπημένου σιτηρεσίου. Ειδικότερα, η προσθήκη συμπυκνωμένων τροφών, όπως σιτηρά ή σόγια, μπορεί να βελτιώσει τη συνολική ενεργειακή πρόσληψη και την αποτελεσματικότητα μετατροπής των θρεπτικών ουσιών σε βάρος. Τα επεξεργασμένα άχυρα, όπως τα αλεσμένα ή τα πελετοποιημένα, παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα μακρά ή τεμαχισμένα, καθώς αυξάνουν την πρόσληψη ξηρής ύλης και βελτιώνουν την πεπτικότητα, παρόλο που το υψηλό κόστος επεξεργασίας περιορίζει τη μαζική εφαρμογή τους. Επιπλέον, βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας, όπως η ζύμωση με ειδικούς μύκητες, δείχνουν υποσχόμενα αποτελέσματα για την αποδόμηση της λιγνίνης, καθιστώντας τη χρήση των αχύρων πιο αποδοτική. Ωστόσο, ο αντικτυπος στα ζώα εξαρτάται από τη συνολική διατροφική στρατηγική: υψηλά ποσοστά αχύρων στη διατροφή (π.χ. άνω του 50%) μπορεί να μειώσουν την απόδοση σε ζών βάρος, την αποτελεσματικότητα της τροφής και την ποιότητα του σφαγίου. Αντίθετα, η ενσωμάτωση μέτριων ποσοστών (π.χ. 20%) σε μικτές δίαιτες μπορεί να διατηρήσει ή και να ενισχύσει την απόδοση χωρίς σημαντική επίπτωση στην υγεία ή την ανάπτυξη των ζώων. Συνολικά, η επιτυχία χρήσης των αχύρων εξαρτάται από τη σωστή προσαρμογή της αναλογίας τους στη διατροφή, τη διασφάλιση της θρεπτικής ισορροπίας και την οικονομική βιωσιμότητα της επεξεργασίας και εφαρμογής τους [10].

Τέλος, τα ενσιρώματα παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στη διατροφή των ζώων, παρέχοντας υψηλής ποιότητας θρεπτικά συστατικά με σημαντικά πλεονεκτήματα στη διατήρηση και αποθήκευση. Τα ενσιρώματα αλφάλφα (βλέπε Εικόνα 2), συγκεκριμένα, διακρίνονται για την ικανότητά τους να διατηρούν θρεπτικά στοιχεία και να εξασφαλίζουν υψηλή πεπτικότητα. Ταξινομούνται βάσει του επιπέδου υγρασίας τους: υψηλής υγρασίας (άνω του 70%), μετρίως αφυδατωμένα (60-70%) και χαμηλής υγρασίας (40-60%). Αυτά τα επίπεδα επηρεάζουν την έκταση της πρωτεόλυσης και κατά συνέπεια την ποιότητα της θρέψης. Η μέθοδος του ενσιρώματος έχει τέσσερα βασικά πλεονεκτήματα: μειώνει τις απώλειες στο πεδίο κατά τη συγκομιδή, ελαχιστοποιεί τις καθυστερήσεις λόγω κακών καιρικών συνθηκών, ενισχύει την προσαρμογή σε μηχανοποιημένα και αυτοματοποιημένα συστήματα διατροφής, και παρατείνει τη δυνατότητα χρήσης των τροφών για μήνες ή χρόνια με ελάχιστες απώλειες θρεπτικών συστατικών. Παράλληλα, η χρήση ενσιρωμάτων προσφέρει ευελιξία στη διατροφή, καθώς μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες των ζώων. Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζει την αποδοτικότητα, με τα ενσιρώματα υψηλής υγρασίας να έχουν χαμηλότερη πρόσληψη ξηρής ύλης σε σύγκριση με τα πιο αφυδατωμένα ενσιρώματα. Επιπλέον, η διατήρηση της πρωτεΐνης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης είναι κρίσιμη, καθώς η αποικοδόμηση μπορεί να μειώσει την αξία της τροφής. Μέθοδοι όπως η χρήση μυρμηκικού οξέος για τη σταθεροποίηση της πρωτεΐνης έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές, διασφαλίζοντας την καλύτερη αξιοποίηση από τον οργανισμό των ζώων. Εν κατακλείδι, τα ενσιρώματα αποτελούν αναντικατάστατο μέρος της ζωοτροφικής στρατηγικής, βελτιώνοντας την απόδοση και την υγεία των ζώων, ενώ συμβάλλουν στη βιωσιμότητα της γεωργικής παραγωγής [7].



Εικόνα 2 Ενσίρωμα τριφυλλού

Πηγή: <http://www.alfacommerce.com/wp-content/uploads/2019/01/1-2-300x200.jpg>

ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΕΣ:

Α) Υποπροϊόντα ελαιουργίας

Μία ακόμη πηγή υψηλής ποιότητας πρωτεϊνών είναι η σόγια, η οποία είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη και τη διατήρηση της υγείας των ζώων. Το βασικό προϊόν που προέρχεται από τη σόγια είναι το σογιάλευρο (βλέπε Εικόνα 3), το οποίο περιέχει έως και 48% ακατέργαστη πρωτεΐνη και ένα ισορροπημένο προφίλ αμινοξέων, εκτός από τη μεθειονίνη [11]. Η θρεπτική του αξία το καθιστά ιδανικό για την κάλυψη των αναγκών των μηρυκαστικών, των μονογαστρικών και της υδατοκαλλιέργειας. Η επεξεργασία της σόγιας είναι κρίσιμη για τη μείωση των αντιθρεπτικών παραγόντων, όπως οι αναστολείς της θρυψίνης και οι λεκτίνες, που μειώνουν τη διατροφική αξία και επηρεάζουν την ανάπτυξη των ζώων [12]. Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας, όπως το ψήσιμο και η εξώθηση, βελτιώνουν σημαντικά την πεπτικότητα και αυξάνουν την αποδοτικότητα στις ζωοτροφές. Το σογιάλευρο, λόγω της υψηλής του θρεπτικής αξίας, χρησιμοποιείται ευρέως στις διατροφικές συνταγές για τα πουλερικά και τους χοίρους. Η πέψη των πρωτεϊνών του φτάνει το 85% στα πουλερικά, εξασφαλίζοντας υψηλά επίπεδα ανάπτυξης. Επίσης, οι υδατάνθρακες του σογιάλευρου, ενώ διασπώνται δύσκολα από τα μονογαστρικά ζώα, ενισχύουν την ενέργεια της διατροφής μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Εκτός από πρωτεΐνη, η σόγια προσφέρει και σογιέλαιο που χρησιμοποιείται στις ζωοτροφές υψηλής ενέργειας, κυρίως για τα πουλερικά. Το υψηλό ποσοστό πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στο σογιέλαιο συμβάλλει στη βελτίωση της αναπαραγωγής και της απόδοσης του ζωικού πληθυσμού [13].



Εικόνα 3 Σογιαλευρο

Πηγή: <https://agrohellas.com/wp-content/uploads/2024/10/SOY-NGMO.jpg>

Η τεχνολογία της προστατευμένης πρωτεΐνης (bypass protein) (Βλέπε Εικόνα 4) είναι μια καινοτόμος προσέγγιση που αξιοποιεί την υψηλή πρωτεϊνική αξία της σόγιας, παρακάμπτοντας τη διάσπαση της πρωτεΐνης στο στομάχι των μηρυκαστικών. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την αποτελεσματικότερη απορρόφηση των βασικών αμινοξέων στο λεπτό έντερο, οδηγώντας σε βελτίωση τόσο της παραγωγής γάλακτος όσο και της σύνθεσής του, καταδεικνύουν ότι η προσθήκη bypass protein αυξάνει την πρόσληψη ξηρής ουσίας και την παραγωγή γάλακτος στις πρώτες φάσεις της γαλακτικής περιόδου, όταν οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι ιδιαίτερα υψηλές [14]. Με βάση αυτές τις επιστημονικές διαπιστώσεις, η σόγια, όταν χρησιμοποιείται κατάλληλα, προσφέρει ανυπέρβλητα πλεονεκτήματα στη ζωοτροφική παραγωγή, εξασφαλίζοντας τόσο τη θρεπτική επάρκεια των ζώων όσο και τη βιωσιμότητα της γεωργοκτηνοτροφικής οικονομίας.



Εικόνα 4 Σόγια Bypass Covaminosoy

Πηγή: <https://agrohellas.com/wp-content/uploads/2024/10/COVASOY.jpg>

Στην κατηγορία αυτή ανήκει και το ηλιάλευρο (Βλέπε Εικόνα 5). Το ηλιάλευρο, κύριο υποπροϊόν της εξαγωγής του ηλιελαίου, αποτελεί μία σημαντική πηγή πρωτεΐνης και ενέργειας στις ζωοτροφές, με ευρεία χρήση τόσο στα μηρυκαστικά όσο και στα μονογαστρικά ζώα. Η χημική του σύνθεση διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία του ηλιόσπορου, τον βαθμό απομάκρυνσης του φλοιού και τη μέθοδο επεξεργασίας, με την περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη να κυμαίνεται από 24% έως 44% και σε ακατέργαστες ίνες από 12% έως 32%. Στα μηρυκαστικά, το ηλιάλευρο μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως το σογιάλευρο, προσφέροντας επαρκή ποσότητα απαραίτητων αμινοξέων, ενώ για τα μονογαστρικά, όπως χοίρους και πουλερικά, χρησιμοποιείται μερικώς λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε ίνες που ενδέχεται να μειώνουν την πεπτικότητα. Εντούτοις, η προσθήκη ενζύμων ή η χρήση βελτιωμένων ποικιλιών μπορεί να βελτιώσει τη χρήση του και στα μονογαστρικά. Επιπλέον, το ηλιάλευρο περιέχει σημαντική ποσότητα μη αμυλούχων πολυσακχαριτών και βιταμινών, που ενισχύουν τη συνολική θρεπτική του αξία. Η χρήση του ηλιάλευρου στις ζωοτροφές επηρεάζει θετικά τη γαλακτοπαραγωγή και την ποιότητα του κρέατος. Μελέτες δείχνουν ότι η ενσωμάτωσή του στις δίαιτες των ζώων συμβάλλει στη βελτίωση της λιπαρής σύστασης των προϊόντων τους, καθιστώντας τα πιο επιθυμητά για τον ανθρώπινο καταναλωτή, καθώς αυξάνονται οι συγκεντρώσεις ακόρεστων ωμέγα-3 και ωμέγα-6 λιπαρών οξέων. Ωστόσο, η εφαρμογή του πρέπει να είναι οικονομικά βιώσιμη και να λαμβάνει υπόψη την τιμή του σε σχέση με εναλλακτικά προϊόντα, όπως το σογιάλευρο [15].



Εικόνα 5 ΗΛΙΑΛΕΥΡΟ

Πηγή: <https://nutriseed.gr/wpcontent/uploads/2019/01/%CE%97%CE%9B%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%A5%CE%A1%CE%9F-PELLET-2.jpg>

Β) Υποπροϊόντα δημητριακών

Μία αρκετά διαδεδομένη Ά ύλη που χρησιμοποιείται στις ζωοτροφές, είναι το πίτυρο (Βλέπε Εικόνα 6) , υποπροϊόν της άλεσης του σιταριού, αποτελεί μια πλούσια και οικονομική πηγή θρεπτικών συστατικών που ενσωματώνεται ευρέως στις ζωοτροφές λόγω της υψηλής θρεπτικής του αξίας. Περιλαμβάνει 35-55% φυτικές ίνες κατά βάρος, με κύρια συστατικά την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη και τη λιγνίνη, οι οποίες υποστηρίζουν τη λειτουργία του εντερικού συστήματος μέσω της αύξησης του όγκου των κοπράνων και της μείωσης του χρόνου διέλευσης στο έντερο [16]. Επιπλέον, περιέχει περίπου 13-18% πρωτεΐνη, με σημαντικά επίπεδα απαραίτητων αμινοξέων όπως η λυσίνη και η μεθειονίνη, τα οποία είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη των ζώων. Αξιοσημείωτο να αναφερθεί πως είναι πλούσιο σε μικροθρεπτικά συστατικά, όπως μαγνήσιο, σίδηρο, ψευδάργυρο και ασβέστιο, καθώς και σε βιοδραστικές ενώσεις, όπως το φερουλικό οξύ και τα φλαβονοειδή. Αυτά τα συστατικά προσφέρουν αντιοξειδωτική προστασία και συμβάλλουν στη μείωση της φλεγμονής και της οξειδωτικής βλάβης. Παρόλα αυτά, η παρουσία φυτικών ενώσεων που δεσμεύουν μέταλλα περιορίζει τη βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων στοιχείων. Τεχνικές επεξεργασίας όπως η χρήση ενζύμων και η μικροάλεση έχουν εφαρμοστεί για τη βελτίωση της πρόσβασης στα θρεπτικά συστατικά του



Εικόνα 6 Πίτυρα Σιτού

Πηγή: <https://apostolakis-eshop.gr/img/p/1/5/0/150.jpg>

πίτουρου, αυξάνοντας τη θρεπτική του αξία [17]. Η προσθήκη πίτουρου στις ζωοτροφές υποστηρίζει τη βιωσιμότητα της γεωργίας, μειώνοντας τα απόβλητα της αγροβιομηχανίας, με το χαμηλό κόστος και τη διαθεσιμότητά του το καθιστούν μια πιθανή εναλλακτική για την αντικατάσταση ακριβότερων πηγών ζωοτροφών, όπως το σογιάλευρο. Παράλληλα, ενισχύει τη συνολική υγεία και παραγωγικότητα των ζώων, αυξάνοντας την απόδοση σε γάλα και κρέας. Ωστόσο, η βελτιστοποίηση της ενσωμάτωσης του πίτουρου στη διατροφή των ζώων συνεχίζει να αποτελεί πρόκληση λόγω της ανάγκης αντιμετώπισης ζητημάτων βιοδιαθεσιμότητας και υφής [18].

Η γλουτένη, πρωτεΐνη του σιταριού, διακρίνεται για την υψηλή της περιεκτικότητα σε γλουταμίνη, η οποία είναι απαραίτητη για τη μυϊκή ανάπτυξη. Επιπλέον, παρέχει εξαιρετικές δεσμευτικές και φιμιογενείς ιδιότητες, καθιστώντας την κατάλληλη για παραγωγή πελετών και κόκκων ζωοτροφών με βελτιωμένη συνοχή και αντοχή στο νερό, στοιχεία που είναι ζωτικής σημασίας για την υδατοκαλλιέργεια και την ενίσχυση της ποιότητας της τροφής για ζώα συντροφιάς. Οι τροφές που περιέχουν γλουτένη συνεισφέρουν στην κάλυψη των διατροφικών αναγκών με χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις ζωικές ή σόγιες πρωτεΐνες, παρέχοντας παράλληλα ευελιξία στη σύνθεση και την υφή της τροφής. Στα μηρυκαστικά, η προσθήκη αλεύρων ενισχυμένων με γλουτένη βελτιώνει την πρόσληψη ενέργειας και την απόδοση σε γάλα και κρέας. Στα μονογαστρικά, όπως τα πουλερικά και οι χοίροι, η γλουτένη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ισορροπημένες ποσότητες για την κάλυψη των απαραίτητων αμινοξέων, αν και απαιτείται προσοχή λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε μη διαλυτές ίνες. Εκτός από τις θρεπτικές της χρήσεις, η γλουτένη χρησιμοποιείται και για τη δέσμευση υγρασίας και λίπους σε τροφές, βελτιώνοντας την υφή και την ποιότητα των επεξεργασμένων προϊόντων, ενώ η δυνατότητα δημιουργίας δομών τύπου κρέατος την καθιστά ιδανική για υποκατάστατα κρέατος στις δίαιτες των ζώων. Επομένως, η ενσωμάτωσή της στις ζωοτροφές προάγει την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα της διατροφής, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το κόστος [19].

Τελευταία ζωοτροφή που έγκειται στα υποπροϊόντα δημητριακών είναι τα άλευρα. Τα άλευρα αποτελούν βασικά συστατικά στις ζωοτροφές, προσφέροντας σημαντικές πηγές ενέργειας και

θρεπτικών συστατικών για τα ζώα. Η χρήση τους στις ζωοτροφές συμβάλλει στην παροχή υδατανθράκων, πρωτεϊνών και ινών, απαραίτητων για την ανάπτυξη και την υγεία των ζώων. Επιπλέον, τα άλευρα βελτιώνουν την υφή και τη συνοχή των ζωοτροφών, διευκολύνοντας την κατανάλωσή τους. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου αλεύρου και η σωστή επεξεργασία του είναι κρίσιμη για την αποφυγή ανεπιθύμητων ουσιών και τη διασφάλιση της ποιότητας των ζωοτροφών. Σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 68/2013 της Επιτροπής, η χρήση αλεύρων στις ζωοτροφές πρέπει να πληροί συγκεκριμένα πρότυπα ασφαλείας και ποιότητας, διασφαλίζοντας την υγεία των ζώων και, κατ' επέκταση, την ασφάλεια της διατροφικής αλυσίδας [20].

Γ) Δημητριακοί καρποί

Το καλαμπόκι (*Zea mays L.*) αποτελεί έναν από τα σημαντικότερα ενεργειακά συμπυκνώματα για τη διατροφή των ζώων, κατατασσόμενο στις κατηγορίες των δημητριακών και φυτικών προϊόντων που είναι πλούσια σε ενέργεια όμως χαμηλό σε ίνες. Χρησιμοποιείται ευρέως τόσο ως κύρια τροφή όσο και μέσω των υποπροϊόντων επεξεργασίας του, όπως το πίτουρο, η γλουτένη και τα υποπροϊόντα βιοκαυσίμων, προσφέροντας πλούσια πηγή ενέργειας στη διατροφή των ζώων. Οι διάφορες μορφές επεξεργασίας του, όπως ολόκληροι κόκκοι (Βλέπε Εικόνα 7), ατμοσυμπιεσμένοι ή λεπτοαλεσμένοι, βελτιώνουν την πεπτικότητα και την απόδοση στη διατροφή, ενώ η χρήση ειδικών ποικιλιών, όπως το "dent corn", εξασφαλίζει καλύτερη προσαρμογή σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και ανάγκες. Ωστόσο, η εντατική καλλιέργεια καλαμποκιού σχετίζεται με σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η εξάντληση του εδάφους, η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και η μόλυνση υπόγειων υδάτων. Ειδικά οι γενετικά τροποποιημένες ποικιλίες, αν και μειώνουν τη χρήση ζιζανιοκτόνων και βελτιώνουν τις αποδόσεις, έχουν εγείρει ανησυχίες για τη βιοποικιλότητα, τον πιθανό αντίκτυπο στη μικροχλωρίδα του εδάφους και τη μεταφορά DNA σε μη τροποποιημένα φυτά [21]. Επομένως, η καλλιέργεια και η χρήση του καλαμποκιού απαιτούν ισορροπία μεταξύ υψηλής παραγωγικότητας και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, ώστε να διατηρηθεί η οικολογική ισορροπία και η αποδοτικότητα στη ζωική παραγωγή.



Εικόνα 7 Αραβόσιτος

Πηγή: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.euroseeds.gr%2Fagrotiko-proion%2Faravositos&psig=AOvVaw1jly0TX_W1jZQGR8mkQVeb&ust=1736700798394000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=2ahUKEwjg9DikO6KAxV-wwIHHSRMJtGQjRx6BAgAEBk

Το κριθάρι (Βλέπε Εικόνα 8) αποτελεί ένα από τα κυριότερα δημητριακά που χρησιμοποιούνται στις ζωοτροφές, κυρίως λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε άμυλο, το οποίο λειτουργεί

ως πηγή ενέργειας για την ανάπτυξη και την παραγωγή γάλακτος στα ζώα. Η ενέργεια που παρέχει το κριθάρι ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την καλλιέργεια, την επεξεργασία του σπόρου και το είδος του ζώου. Για τα μηρυκαστικά, η πέψη του αμύλου από μικροβιακά ένζυμα στη μηρυκαστική κοιλία μπορεί να προκαλέσει ταχεία ζύμωση, αυξημένη παραγωγή οξέων και ενδεχομένως γαλακτική οξέωση, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά τη γενική πέψη και την υγεία των ζώων. Ωστόσο, όταν η πέψη κατευθύνεται στη μικρή εντερική οδό, η ενέργεια αξιοποιείται καλύτερα, αυξάνοντας την παραγωγικότητα. Στα μονογαστρικά, όπως οι χοίροι και τα πουλερικά, η δομή του ενδοσπερμίου του κριθαριού και η σύνθεση των τοιχωμάτων των κυττάρων του επηρεάζουν την πεπτικότητα. Οι χοίροι, που μασούν ανεπαρκώς, απαιτούν μηχανική ή θερμική επεξεργασία του κριθαριού για την αύξηση της προσβασιμότητας του αμύλου και τη μείωση των απωλειών ενέργειας από μικροβιακή ζύμωση στο παχύ έντερο. Τα πουλερικά, με τη σειρά τους, επωφελούνται από τη χρήση ενζύμων, όπως ξυλάσες και γλυκανάσες, για τη διάσπαση των μη αμυλούχων πολυσακχαριτών που περιορίζουν τη διείσδυση των πεπτικών ενζύμων. Παρότι το κριθάρι παρουσιάζει χαμηλότερη μέση ενεργειακή απόδοση για ορισμένα είδη, όπως τα πουλερικά, παραμένει δημοφιλής επιλογή λόγω της μεγαλύτερης πρόσληψης που παρατηρείται σε δίαιτες που βασίζονται σε αυτό. Ειδικά στα μηρυκαστικά, οι καλλιέργειες κριθαριού με χαμηλή περιεκτικότητα σε φλοιούς και εύθραυστα κυτταρικά τοιχώματα μπορούν να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση. Επιπλέον, οι σύγχρονες τεχνικές, όπως οι βαθμονομημένοι δείκτες NIR, διευκολύνουν την επιλογή καταλλήλων ποικιλιών για συγκεκριμένα είδη ζώων, προσαρμόζοντας την παραγωγή του κριθαριού στις ανάγκες των ζωοτροφών [22].



Εικόνα 8 Κριθάρι

Πηγή: <https://agrohellas.com/wp-content/uploads/2024/09/KRITHARI.jpg>

Το σιτάρι (Βλέπε Εικόνα9) αποτελεί μια κρίσιμη πρώτη ύλη στις ζωοτροφές, παρέχοντας ενέργεια και θρεπτικά συστατικά που ενισχύουν την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των ζώων. Ωστόσο, η αποτελεσματική χρήση του σιταριού, ειδικά του άχυρου, περιορίζεται λόγω της περιεκτικότητάς του σε λιγνοκυτταρινούχες ενώσεις, όπως η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη

και η λιγνίνη. Η λιγνίνη σχηματίζει ένα προστατευτικό περίβλημα γύρω από την κυτταρίνη, καθιστώντας δύσκολη τη μικροβιακή αποδόμηση και περιορίζοντας τη θρεπτική διαθεσιμότητα. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, έχουν αναπτυχθεί διαδικασίες στερεοστρωματικής ζύμωσης (SLF), στις οποίες καλλιέργειες μυκήτων, όπως το *Chaetomium* και το *Phanerochaete chrysosporium*, διασπούν αποτελεσματικά τη λιγνίνη και μετατρέπουν την κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη σε πρωτεΐνη υψηλής θρεπτικής αξίας. Η μέθοδος SLF παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς είναι οικονομική, απλή και κατάλληλη για αγροτικές περιοχές, συμβάλλοντας στη μετατροπή αποβλήτων από καλλιέργειες σιταριού σε υψηλής ποιότητας ζωοτροφές. Τα προϊόντα της ζύμωσης βελτιώνουν την περιεκτικότητα των τροφών σε αμινοξέα και άλλα βασικά θρεπτικά συστατικά, αυξάνοντας την αξία τους ως πηγές πρωτεΐνης για μηρυκαστικά και μονογαστρικά ζώα. Ωστόσο, η εφαρμογή της τεχνολογίας σε μεγάλη κλίμακα παρουσιάζει τεχνικές προκλήσεις, όπως η ανάγκη για έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της οξυγόνωσης κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Παράλληλα, το σιτάρι μπορεί να ενσωματωθεί σε σιτηρέσια μη επεξεργασμένο ή ως αλεύρι, βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση και την πεπτικότητα της τροφής. Οι καινοτόμες προσεγγίσεις στη διαχείριση του σιταριού ως ζωοτροφή έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν τη βιωσιμότητα της κτηνοτροφικής παραγωγής, μειώνοντας το κόστος και προάγοντας την καλύτερη αξιοποίηση γεωργικών αποβλήτων [23].



Εικόνα 9 Σιτάρι

Πηγή: <https://karpos.gr/wp-content/uploads/2021/03/karpos-nees-photo-18-600x600.jpg>

Η βρώμη (Βλέπε Εικόνα10) αποτελεί μια σημαντική επιλογή στις ζωοτροφές, ιδιαίτερα λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε ίνες, εύπεπτους υδατάνθρακες και λιπαρά οξέα, καθιστώντας την κατάλληλη για την υποστήριξη της ενέργειας και της υγείας των ζώων. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, αν και η παραγωγή της έχει μειωθεί κατά 11% την τελευταία δεκαετία, η χρήση της στη διατροφή των ζώων παραμένει κρίσιμη, με περίπου το 50% της νέας προσφοράς να διατίθεται για ζωοτροφές, κυρίως στις ίδιες τις φάρμες. Αυτό το ποσοστό περιλαμβάνει το 77% της συνολικής χρήσης, γεγονός που υποδηλώνει την προτίμηση των παραγωγών για τη βρώμη ως τοπική πηγή ενέργειας. Η θρεπτική αξία της βρώμης είναι υψηλή, ενώ η χρήση της έχει διαφοροποιηθεί μεταξύ των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στις περισσότερες χώρες, περισσότερο από το 80% της οικιακής παραγωγής βρώμης χρησιμοποιείται για

ζωοτροφές. Η Ισπανία, η Γαλλία και η Γερμανία καταγράφουν υψηλότερα επίπεδα παραγωγής και χρήσης σε σύγκριση με το Ηνωμένο Βασίλειο. Παράλληλα, τα στοιχεία δείχνουν μια αύξηση της ζήτησης για τη βρώμη στις ζωοτροφές λόγω της αύξησης του πληθυσμού των ζώων, όπως τα πρόβατα και οι ίπποι, που είναι γνωστοί καταναλωτές βρώμης. Οι ίπποι, συγκεκριμένα, επωφελούνται από την υψηλή περιεκτικότητα της βρώμης σε εύπεπτους υδατάνθρακες, οι οποίοι ενισχύουν την ενέργεια και την απόδοση. Η προσθήκη βρώμης στα σιτηρέσια ζώων μπορεί να προσαρμοστεί για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες διαφόρων ειδών, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την ανάγκη για εισαγόμενες πηγές τροφής, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα της κτηνοτροφικής παραγωγής. Επιπλέον, η αυξημένη χρήση της από μύλους τα τελευταία χρόνια υποδεικνύει την ευελιξία της βρώμης τόσο στη ζωοτροφή όσο και στη βιομηχανική παραγωγή [24].



Εικόνα 10 Βρώμη

Πηγή:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fagrohellas.com%2Fktinotrofia%2Fvromi%2F&psig=AOvVaw2bBnSkvIkBBzF3OU675Oaj&ust=1736701324507000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCPCZsOCS7ooDFQAAAAAdAAAAABAE>

Δ) Διάφορα υποπροϊόντα

Η μελάσα αποτελεί παραπροϊόν της ζάχαρης και θεωρείται μια ενεργειακά πλούσια ζωοτροφή με σημαντικές εφαρμογές στη διατροφή των ζώων, βελτιώνοντας την ποιότητα και γευστικότητα των τροφών, όπως το σανό και η ενσίρωση. Έτσι αυξάνεται η κατανάλωση τροφής και η χώνευση, ειδικά για τα μηρυκαστικά στα οποία ενισχύει τη μικροβιακή δραστηριότητα στο προστόμαχο, προάγει τη σύνθεση πρωτεϊνών και μειώνει το άζωτο στα κόπρανα και στα ούρα, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις [25]. Ταυτόχρονα αυξάνει την αποδοτικότητα της παραγωγής γάλακτος και κρέατος. Περιέχει εύκολα ζυμώσιμα σάκχαρα, μεταλλικά άλατα αλλά μικρή ποσότητα πρωτεΐνης, ενώ η χαμηλή της τιμή την καθιστά δημοφιλή ως υποκατάστατο δημητριακών. Η υψηλή περιεκτικότητα σε σακχαρόζη και ανόργανα συστατικά παρέχει αντιμικροβιακή δράση και ενισχύει τη σταθερότητα και τη διάρκεια ζωής των ζωοτροφών, ελαχιστοποιώντας τη μόλυνση από μυκοτοξίνες, βασικό προνόμιο για την υγεία των ζώων [26]. Ωστόσο, η υπερβολική κατανάλωση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα λόγω του υψηλού καλίου και του θείου. Με τη χρήση της, όχι μόνο μειώνεται το κόστος διατροφής, αλλά βελτιώνεται και η υγεία και η παραγωγικότητα των ζώων, ενισχύοντας την αειφορία της ζωικής παραγωγής.

Η χρήση της ζαχαρόπιτας (Βλέπε Εικόνα11) στις ζωοτροφές αποτελεί μια πρακτική που αξιοποιεί τα υπολείμματα της βιομηχανίας ζάχαρης, προσφέροντας ένα πλούσιο σε ενέργεια και θρεπτικά συστατικά συμπλήρωμα. Η ζαχαρόπιτα, η οποία προκύπτει ως παραπροϊόν κατά την επεξεργασία ζαχαρότευτλων, περιέχει υψηλά επίπεδα σακχάρων, φυτικών ινών και πρωτεϊνών, καθιστώντας την ιδανική για τη διατροφή βοοειδών, αιγοπροβάτων και άλλων μηρυκαστικών. Η ενσωμάτωσή της στη διατροφή των ζώων έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει τη γαλακτοπαραγωγή, βελτιώνει την ανάπτυξη και προάγει την αποτελεσματική πέψη, ιδιαίτερα λόγω της υψηλής πεπτικότητας των φυτικών ινών που περιέχει. Παράλληλα, συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής ζωοτροφών και στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, περιορίζοντας την ανάγκη για χρήση πρωτογενών πρώτων υλών. Ωστόσο, απαιτείται προσεκτική δοσολογία, καθώς η υπερβολική κατανάλωση ζαχαρόπιτας μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολικές διαταραχές, όπως οξέωση, λόγω της υπερβολικής συγκέντρωσης σακχάρων. Συνεπώς, η χρήση της πρέπει να βασίζεται σε επιστημονικές συστάσεις και εξατομικευμένες διατροφικές ανάγκες των ζώων, ώστε να επιτυγχάνονται τα μέγιστα οφέλη χωρίς ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην υγεία και την παραγωγικότητα [27].



Εικόνα 11 Ζαχαρόπιτα

Πηγή:



Η βαμβακόπιτα αποτελεί σημαντικό παραπροϊόν της βιομηχανίας βαμβακιού και χρησιμοποιείται ευρέως ως συστατικό στις ζωοτροφές, κυρίως για μηρυκαστικά όπως αγελάδες, πρόβατα και αίγες. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνες και ενέργεια, η βαμβακόπιτα ενισχύει την παραγωγή γάλακτος και τη γενική ανάπτυξη των ζώων. Μελέτες έχουν δείξει ότι η προσθήκη βαμβακόπιτας σε ποσοστά μέχρι και 35% στις ζωοτροφές αυξάνει την ημερήσια παραγωγή γάλακτος, βελτιώνει τη σύνθεση του γάλακτος με αύξηση της λιποπεριεκτικότητας, και παράλληλα συμβάλλει στην καλύτερη αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών. Επιπλέον, βελτιώνει την όρεξη και την κατανάλωση ζωοτροφών, ενώ συνεισφέρει στην αύξηση του σωματικού βάρους και στη διατήρηση καλής σωματικής κατάστασης (Body Condition Score). Ωστόσο, η χρήση της απαιτεί προσοχή, καθώς η υψηλή συγκέντρωση τανινών μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη γευστικότητα και την πέψη, μειώνοντας τη διαθεσιμότητα πρωτεϊνών στο πεπτικό σύστημα. Παρά τις προκλήσεις αυτές, η βαμβακόπιτα παραμένει ένα οικονομικά αποδοτικό και θρεπτικά πλούσιο συστατικό, το οποίο ενισχύει τη βιώσιμη διαχείριση των ζωοτροφών, ενώ συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής και στη βελτίωση της παραγωγικότητας των ζώων [28].

Ε) Μίγματα ζωοτροφών

Τα μίγματα ζωοτροφών αποτελούν σύνθετες συνθέσεις θρεπτικών συστατικών που έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες διαφόρων ειδών ζώων σε διαφορετικά στάδια της ανάπτυξής τους. Είναι προϊόντα που συνδυάζουν πρώτες ύλες, όπως δημητριακά, πρωτεϊνικά συμπληρώματα, ίνες και βιταμίνες, με στόχο τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, της υγείας και της ευζωίας των ζώων. Τα μίγματα αυτά παρασκευάζονται με επιστημονική ακρίβεια, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις σε ενέργεια, λιπαρά, ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες. Για παράδειγμα, στα μηρυκαστικά, τα μίγματα περιέχουν πηγές φυτικών ινών όπως σόγια, άχυρο ή καλαμποκάλευρο, που υποστηρίζουν την υγεία του πεπτικού συστήματος, ενώ για τα μονογαστρικά ζώα, όπως τα πουλερικά και οι χοίροι, τα μίγματα επικεντρώνονται στη μέγιστη αξιοποίηση της ενέργειας και των αμινοξέων μέσω δημητριακών και ζωικών πρωτεϊνών. Η χρήση μιγμάτων ζωοτροφών έχει σημαντικό αντίκτυπο στη ζωική παραγωγή. Ενισχύει την ανάπτυξη, βελτιώνει την ποιότητα του παραγόμενου κρέατος ή γάλακτος και ελαχιστοποιεί την απώλεια θρεπτικών συστατικών. Επιπλέον, η σωστή ισορροπία των θρεπτικών στοιχείων μειώνει τον κίνδυνο ασθενειών και βελτιώνει την αποδοτικότητα της τροφής, συμβάλλοντας στη μείωση του κόστους παραγωγής. Η προετοιμασία των μιγμάτων περιλαμβάνει τη λεπτομερή ανάλυση των πρώτων υλών για να διασφαλιστεί η ομοιομορφία και η ποιότητα. Οι μελέτες δείχνουν ότι τα μίγματα ζωοτροφών μπορούν να προσαρμοστούν για συγκεκριμένες συνθήκες εκτροφής και να περιλαμβάνουν εναλλακτικές πρώτες ύλες, όπως υποπροϊόντα γεωργικών καλλιεργειών, για την ενίσχυση της βιωσιμότητας και τη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενες τροφές [29].

ΣΤ) Συμπυκνώματα ζωοτροφών

Τα συμπυκνώματα ζωοτροφών αποτελούν ειδικές τροφές που παρασκευάζονται με στόχο την ενίσχυση της διατροφικής αξίας της βασικής ζωοτροφής, παρέχοντας στα ζώα υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών σε μικρούς όγκους. Αυτά τα συμπυκνώματα περιλαμβάνουν συνήθως ουσίες πλούσιες σε πρωτεΐνες, λίπη, βιταμίνες, μέταλλα και άλλα θρεπτικά συστατικά που προορίζονται για τη συμπλήρωση των διατροφικών αναγκών των ζώων εκτροφής, κυρίως όταν οι βασικές ζωοτροφές δεν καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις τους σε θρεπτικά συστατικά. Η χρήση συμπυκνωμάτων είναι κοινή στην εκτροφή ζώων όπως τα

βοοειδή, τα πρόβατα, τα χοίροι και τα πουλερικά, με στόχο τη βελτιστοποίηση της παραγωγής τους (π.χ. παραγωγή γάλακτος, κρέατος ή αυγών) και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των τροφών. Τα συμπυκνώματα ζωοτροφών κατασκευάζονται με τη συγκέντρωση επιλεγμένων πρώτων υλών που περιέχουν υψηλές ποσότητες θρεπτικών συστατικών, με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη χρήση της ζωοτροφής από τα ζώα και την οικονομικότερη διατροφή. Συχνά, τα συμπυκνώματα περιέχουν συστατικά όπως ζωικές ή φυτικές πρωτεΐνες (π.χ. σόγια, ψαροτροφή), λιπαρά οξέα, μέταλλα (όπως ασβέστιο, φώσφορο, σίδηρο, μαγνήσιο), βιταμίνες (A, D, E) και αμινοξέα που είναι απαραίτητα για τη σωστή ανάπτυξη και απόδοση των ζώων. Η χρήση των συμπυκνωμάτων επιτρέπει την καλύτερη προσαρμογή της διατροφής στις ανάγκες του ζώου κατά τη διάρκεια των διαφορετικών φάσεων της ανάπτυξής του, είτε πρόκειται για την ανάπτυξη, τη γαλουχία, την αναπαραγωγή, ή την παραγωγή. Σε πολλές περιπτώσεις, τα συμπυκνώματα χρησιμοποιούνται για να καλύψουν συγκεκριμένες διατροφικές ελλείψεις που μπορεί να προκύψουν από τη μονοτονία των βασικών ζωοτροφών ή από τις αλλαγές στις ανάγκες των ζώων λόγω φυσιολογικών ή παραγωγικών παραμέτρων. Η παραγωγή τους απαιτεί προσεκτική επιστημονική προσέγγιση για την εξασφάλιση της σωστής αναλογίας των συστατικών τους και για την επίτευξη της επιθυμητής βιολογικής απόδοσης. Επιπλέον, τα συμπυκνώματα ζωοτροφών συμβάλλουν στην καλύτερη διαχείριση των πόρων, μειώνοντας την ανάγκη για μεγάλες ποσότητες παραδοσιακών ζωοτροφών, κάτι που καθιστά πιο οικονομική την εκτροφή και ενδέχεται να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παράλληλα, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης θρεπτικών ουσιών, τα συμπυκνώματα απαιτούν προσεκτική χρήση, καθώς η υπερβολική κατανάλωση μπορεί να οδηγήσει σε διατροφικές ανισορροπίες ή σε προβλήματα υγείας στα ζώα. Η χρήση συμπυκνωμάτων στη διατροφή των ζώων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις ειδικές ανάγκες τους και τις διατροφικές απαιτήσεις της εκτροφής, και συνήθως γίνεται με την καθοδήγηση διατροφολόγων και κτηνιάτρων, προκειμένου να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα στην παραγωγική διαδικασία [30].

Η) Ισορροπιστές

Οι ισορροπιστές ζωοτροφών είναι ουσίες που προστίθενται στα διατροφικά σχήματα των ζώων για να βελτιώσουν τη θρεπτική αξία και την αποδοτικότητα των τροφών, εξασφαλίζοντας ότι οι ανάγκες των ζώων σε θρεπτικά συστατικά καλύπτονται με τον πιο αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο. Αυτές οι ουσίες μπορούν να είναι φυσικής ή συνθετικής προέλευσης και περιλαμβάνουν διάφορες κατηγορίες, όπως πρόσθετα που ενισχύουν την πέψη, προάγουν τη μικροβιακή ισορροπία του εντέρου και βελτιώνουν την απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών. Συγκεκριμένα, οι ισορροπιστές χρησιμοποιούνται για την επίτευξη μιας πιο σταθερής και υγιούς μικροχλωρίδας στο πεπτικό σύστημα, η οποία με τη σειρά της συμβάλλει στη βελτίωση της γενικής υγείας των ζώων, της απόδοσης στην παραγωγή γάλακτος ή κρέατος, καθώς και στην ποιότητα των προϊόντων. Η ανάγκη για ισορροπιστές έχει αναδειχθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης ανησυχίας για τις αρνητικές επιπτώσεις των αντιβιοτικών, καθώς και των αυστηρότερων κανονισμών όσον αφορά τη χρήση τους στην κτηνοτροφία. Οι ισορροπιστές μπορεί να περιλαμβάνουν οξέα (οργανικά ή ανόργανα), μέταλλα, βιταμίνες, φυτικά εκχυλίσματα, καθώς και άλλα πρόσθετα που συμβάλλουν στην υποστήριξη της ανοσολογικής λειτουργίας των ζώων, μειώνουν την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών και ενθαρρύνουν την καλύτερη αφομοίωση των θρεπτικών ουσιών. Για παράδειγμα, οι οργανικοί οξείς όπως το κιτρικό και το γαλακτικό οξύ χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την οξύτητα του πεπτικού συστήματος, δημιουργώντας ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη των χρήσιμων βακτηρίων και περιορίζοντας την ανάπτυξη των επιβλαβών μικροοργανισμών. Επίσης, μέταλλα όπως ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και το σελήνιο είναι απαραίτητα για την καλή υγεία των ζώων και τη βελτίωση της ανοσολογικής τους αντίδρασης, ενώ τα φυτικά εκχυλίσματα, τα οποία περιέχουν δευτερεύοντα μεταβολίτες όπως φλαβονοειδή και τανίνες, ενδέχεται να βοηθήσουν στην ενίσχυση της αντιοξειδωτικής προστασίας, καθώς

και στην υποστήριξη της μικροχλωρίδας του εντέρου. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των ισορροπιστών εξαρτάται από την ποικιλία των προσθέτων που χρησιμοποιούνται, τη συγκέντρωσή τους, καθώς και τη συγκεκριμένη ανάγκη του ζώου, γι' αυτό και απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός και παρακολούθηση κατά τη χρήση τους. Ειδικότερα, οι πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι ο σωστός συνδυασμός αυτών των ουσιών μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα και την υγεία των ζώων, χωρίς τις αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με τη χρήση αντιβιοτικών, καθιστώντας τις ισορροπιστές ζωοτροφών έναν σημαντικό παράγοντα για τη βιώσιμη ανάπτυξη του κτηνοτροφικού τομέα [31].

1.2. Ρόλος των πρωτεϊνών, λιπιδίων, υδατανθράκων και βιταμινών

Ο ρόλος των πρωτεϊνών, των λιπών, των υδατανθράκων και των βιταμινών είναι κρίσιμος για τη διατροφή των ζώων, καθώς όλα τα θρεπτικά συστατικά συμβάλλουν στην ανάπτυξη, τη συντήρηση της υγείας και την παραγωγικότητά τους. Οι πρωτεΐνες, όπως αναφέρθηκε, είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των μυών και την παραγωγή ενζύμων και αντισωμάτων, ενώ τα λίπη παρέχουν ενέργεια και βοηθούν στην απορρόφηση των λιποδιαλυτών βιταμινών. Οι υδατάνθρακες, κυρίως μέσω της γλυκόζης, είναι η βασική πηγή ενέργειας για τα ζώα, ενώ οι βιταμίνες, αν και απαιτούνται σε μικρές ποσότητες, είναι ζωτικής σημασίας για πολλές μεταβολικές διεργασίες και την ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος. Η σωστή ισορροπία αυτών των θρεπτικών συστατικών είναι απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία του οργανισμού των ζώων και την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων στην παραγωγή τους.

Οι πρωτεΐνες είναι βασικά μακροθρεπτικά συστατικά στις ζωοτροφές και είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και τη διατήρηση όλων των ζωντανών οργανισμών. Στη διατροφή των ζώων, οι πρωτεΐνες χρησιμεύουν ως κρίσιμο συστατικό για την ανάπτυξη των μυών, την ανοσολογική λειτουργία και διάφορες μεταβολικές διαδικασίες. Η βασική λειτουργία των πρωτεϊνών στις ζωοτροφές είναι να παρέχουν αμινοξέα, τα οποία είναι τα δομικά συστατικά για τη σύνθεση πρωτεϊνών στο σώμα. Τα αμινοξέα διακρίνονται σε απαραίτητα και μη απαραίτητα, ανάλογα με το αν μπορούν να συντεθούν από το ζώο ή πρέπει να ληφθούν μέσω της διατροφής [32]. Σχετικά με την ανάπτυξη των ζώων, η συμπερίληψη επαρκών ποσοτήτων υψηλής ποιότητας πρωτεϊνών στη διατροφή είναι ζωτικής σημασίας για την ορθή ανάπτυξη της μυϊκής μάζας, ιδιαίτερα κατά τις πρώτες φάσεις ανάπτυξης. Οι πρωτεΐνες παίζουν επίσης κεντρικό ρόλο στην παραγωγή γάλακτος στις αγελάδες γάλακτος και στη δημιουργία αυγών στις κότες. Η ισορροπία των αμινοξέων, ειδικά των απαραίτητων, είναι καθοριστική για την επίτευξη βέλτιστων παραγωγικών αποτελεσμάτων στα ζώα. Η αμινοξική σύνθεση των πηγών πρωτεϊνών στις ζωοτροφές πρέπει να ταιριάζει με τις συγκεκριμένες ανάγκες του είδους, της ηλικίας και της φυσιολογικής κατάστασης του ζώου για να μεγιστοποιηθούν τα αποτελέσματα παραγωγής. Η ανεπαρκής πρωτεΐνη ή η ανισορροπία στην αμινοξική σύνθεση μπορεί να οδηγήσει σε κακή ανάπτυξη, μειωμένη αναπαραγωγική απόδοση και αποδυναμωμένο ανοσοποιητικό σύστημα. Οι απαιτήσεις για πρωτεΐνες στη διατροφή των ζώων εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος, η ηλικία, το στάδιο παραγωγής και η συνολική υγεία του ζώου. Για παράδειγμα, οι αγελάδες γάλακτος που είναι σε περίοδο γαλακτοπαραγωγής έχουν αυξημένες ανάγκες σε πρωτεΐνη για να υποστηρίξουν την παραγωγή γάλακτος, ενώ τα νεαρά ζώα στη φάση ανάπτυξης απαιτούν πρωτεΐνη για την ανάπτυξη των μυών και των οστών. Οι απαιτήσεις πρωτεΐνης συνήθως εκφράζονται ως ποσοστό της συνολικής διατροφής του ζώου, και αυτές οι ανάγκες μπορούν να καλυφθούν με την κατάλληλη διαμόρφωση διατροφών που ενσωματώνουν διάφορες πηγές πρωτεϊνών. Η ισορροπία στην αμινοξική σύνθεση της διατροφής είναι εξίσου σημαντική με την κάλυψη της συνολικής απαίτησης για πρωτεΐνη, διασφαλίζοντας ότι το ζώο έχει επαρκή ποσότητα όλων των απαραίτητων αμινοξέων στις σωστές αναλογίες [33]. Οι πρωτεΐνες στις ζωοτροφές προέρχονται συνήθως από φυτικές πηγές, όπως η σόγια, τα όσπρια και οι σπόροι, ή από ζωικές πηγές, όπως το ψαροτροφείο το κρέας και τα οστά. Η πεπτικότητα και η βιοδιαθεσιμότητα των πρωτεϊνών από αυτές τις πηγές

ποικίλλουν, με τις φυτικές πρωτεΐνες συνήθως να απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία για να βελτιωθεί η διαθεσιμότητα των αμινοξέων. Η πεπτικότητα της πρωτεΐνης σε μια δεδομένη ζωοτροφή εξαρτάται από παράγοντες όπως η παρουσία αντιαναστροφικών παραγόντων, οι μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται και η ικανότητα του ζώου να αφομοιώσει και να μεταβολίσει τις πρωτεΐνες. Για παράδειγμα, το γεύμα σόγιας είναι μια κοινή πηγή πρωτεϊνών, αλλά οι αντιαναστροφικοί παράγοντες του, όπως οι αναστολείς της τρυψίνης, μπορούν να μειώσουν την πεπτικότητα του, εκτός αν υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία [34]. Εκτός από την ανάπτυξη και την παραγωγή, οι πρωτεΐνες παίζουν ζωτικό ρόλο στο ανοσοποιητικό σύστημα και τη συνολική υγεία των ζώων καθώς είναι κρίσιμες για την παραγωγή αντισωμάτων, ενζύμων και άλλων συστατικών του ανοσοποιητικού συστήματος που προστατεύουν το ζώο από λοιμώξεις. Η ανεπαρκής πρόσληψη πρωτεϊνών μπορεί να οδηγήσει σε αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος, καθιστώντας τα ζώα πιο ευάλωτα σε λοιμώξεις και ασθένειες. Επιπλέον, οι πρωτεΐνες συμμετέχουν στην παραγωγή ενζύμων, τα οποία είναι απαραίτητα για τη διαδικασία της πέψης και της απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών. Η έλλειψη πρωτεΐνης μπορεί να εμποδίσει αυτές τις ζωτικές ενζυματικές διεργασίες, οδηγώντας σε κακή χρήση των ζωοτροφών και αναποτελεσματικότητα στην απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Η υπερβολική πρωτεΐνη στη διατροφή των ζώων, αν και λιγότερο συχνή, μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις. Η υπερκατανάλωση πρωτεΐνης, ιδιαίτερα από φυτικές πηγές υψηλής πρωτεΐνης, μπορεί να οδηγήσει σε περίσσεια αζώτου στο σύστημα του ζώου, το οποίο εκκρίνεται ως ουρία στα ούρα. Αυτή η αυξημένη εκκρίση ουρίας μπορεί να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον, κυρίως μέσω της απορροής αζώτου στα υδάτινα συστήματα, συμβάλλοντας στη ρύπανση των θρεπτικών συστατικών και την ευτροφισμένη άλγη. Επιπλέον, η ανισορροπία στην πρόσληψη πρωτεϊνών μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολικές διαταραχές, όπως η κετοξέωση ή η δυσλειτουργία του ήπατος, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την υγεία και την παραγωγικότητα των ζώων [34]. Η σωστή διαμόρφωση των ζωοτροφών με την κατάλληλη ισορροπία πρωτεϊνών, τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποιότητα, είναι θεμελιώδης για την ενίσχυση της παραγωγικότητας των ζώων. Η ακριβής διατροφή, η οποία λαμβάνει υπόψη τις συγκεκριμένες ανάγκες πρωτεϊνών των μεμονωμένων ζώων, έχει γίνει η τάση στη σύγχρονη διατροφή των ζώων. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει την προσαρμογή των διατροφών για να καλύψουν τις ακριβείς θρεπτικές ανάγκες των ζώων, με βάση παράγοντες όπως η φάση ανάπτυξης, η αναπαραγωγική κατάσταση και η υγεία τους. Βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της χρήσης πρωτεϊνών, οι παραγωγοί μπορούν να ενισχύσουν την παραγωγή ενώ μειώνουν το κόστος των ζωοτροφών και ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Συμπερασματικά, οι πρωτεΐνες είναι ζωτικά συστατικά στις ζωοτροφές που επηρεάζουν άμεσα την ανάπτυξη, την παραγωγικότητα και την υγεία των ζώων. Η ενσωμάτωση υψηλής ποιότητας, εύπεπτων πρωτεϊνών, ισχυρών σε απαραίτητα αμινοξέα, είναι κρίσιμη για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των ζώων σε διάφορα συστήματα παραγωγής. Η διαχείριση της πρόσληψης πρωτεϊνών πρέπει να εξετάζει τόσο τις θρεπτικές ανάγκες των ζώων όσο και τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υπερβολικής σίτισης. Καθώς η παραγωγή ζωικών προϊόντων συνεχώς εξελίσσεται, η επικέντρωση στη βελτιστοποίηση της χρήσης πρωτεϊνών στις διατροφές των ζώων θα διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην επίτευξη βιώσιμων, αποδοτικών και υγιεινών συστημάτων κτηνοτροφίας.

Σημαντικός και ο ρόλος των λιπιδίων στις ζωοτροφές για την ευημερία και την παραγωγικότητα των ζώων, καθώς τα λιπίδια παρέχουν σημαντική ενέργεια, υποστηρίζουν τις ζωτικές λειτουργίες του οργανισμού και συντελούν στην απορρόφηση των λιποδιαλυτών βιταμινών. Η λιπιδική σύσταση των ζωοτροφών επηρεάζει άμεσα τη φυσιολογία των ζώων, επηρεάζοντας τη μάζα του σώματος, την ανάπτυξη, τη γονιμότητα και την υγεία τους γενικότερα, αποτελούν τη βασική πηγή ενέργειας για τα ζώα, παρέχοντας περίπου 2,25 φορές περισσότερη ενέργεια ανά γραμμάριο από ό,τι οι υδατάνθρακες και οι πρωτεΐνες. Η σωστή ποσότητα και ποιότητα των

λιπιδίων στις ζωοτροφές είναι κρίσιμη για την επίτευξη της μέγιστης ανάπτυξης και παραγωγής. Τα λιπίδια έχουν επίσης θετική επίδραση στην υγεία του πεπτικού συστήματος, καθώς επιτρέπουν καλύτερη απορρόφηση θρεπτικών ουσιών, όπως οι βιταμίνες A, D, E και K. Η περιεκτικότητα των ζωοτροφών σε λιπαρά επηρεάζει την ισχυρή απόκριση του ανοσοποιητικού συστήματος, την κινητικότητα του εντέρου και την εντερική μικροχλωρίδα [35]. Ειδικά για τα μηρυκαστικά ζώα, η επεξεργασία των λιπιδίων στον πεπτικό σωλήνα επηρεάζει την ποιότητα της πεπτικής διαδικασίας και της απορρόφησης θρεπτικών συστατικών. Επιπλέον, τα λιπίδια επηρεάζουν την αναλογία των λιπαρών οξέων στον οργανισμό, με ορισμένα λιπαρά οξέα να συμβάλλουν στη μείωση της παραγωγής μεθανίου από τα ζώα, το οποίο έχει αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον. Τα λίπη που χρησιμοποιούνται στις ζωοτροφές προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως φυτικά και ζωικά έλαια, οι οποίες προσφέρουν ποικιλία λιπαρών οξέων και άλλων συστατικών που έχουν ιδιαίτερη αξία για τις ανάγκες των ζώων. Οι φυτικές πηγές λιπών, όπως το έλαιο από ηλιόσπορους και σόγια, είναι συνήθως πλούσιες σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, ενώ τα ζωικά λίπη περιέχουν κυρίως κορεσμένα λιπαρά οξέα. Η ποιοτική σύνθεση των λιπών στις ζωοτροφές έχει αντίκτυπο στην παραγωγή κρέατος, γάλακτος και άλλων προϊόντων από τα ζώα. Για παράδειγμα, η προσθήκη ελαίων υψηλής περιεκτικότητας σε ω-3 λιπαρά οξέα σταδιακά αυξάνει τη συγκέντρωση αυτών των λιπαρών οξέων στα προϊόντα των ζώων, κάτι που είναι ιδιαίτερα επιθυμητό για τη διατροφή του ανθρώπου. Επιπλέον, η σύνθεση και η ποιότητα των λιπιδίων στις ζωοτροφές επηρεάζει την παραγωγή των λιπαρών ιστών των ζώων, όπως το λιπώδες ιστό της κοιλιάς και του δέρματος, και έχει σημασία για τη διαχείριση της σωματικής κατάστασης των ζώων, ιδιαίτερα στα πτηνά και τους χοίρους. Έτσι, η χρήση συγκεκριμένων τύπων λιπιδίων και ελαίων στις ζωοτροφές μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές κατηγορίες λιπώδους ιστού και να επηρεάσει την ποιότητα του κρέατος, όπως την περιεκτικότητα σε λιπαρά και την υφή του. Αξιοσημείωτο, πως η διατροφή με λιπίδια επηρεάζει την παραγωγή γάλακτος, με τα λιπαρά οξέα του γάλακτος να εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από αυτά που περιλαμβάνονται στις ζωοτροφές. Οι κτηνοτρόφοι προσφέρουν συχνά ελαϊκά ή ω-3 λιπαρά οξέα στα ζώα τους για να βελτιώσουν την ποιότητα του γάλακτος και να ενισχύσουν την υγεία των ζώων [36]. Η έρευνα και οι μελέτες δείχνουν ότι η σωστή ισορροπία λιπιδίων στις ζωοτροφές είναι κρίσιμη για την επίτευξη βελτιστοποιημένων αποτελεσμάτων στην ανάπτυξη, την αναπαραγωγή, την υγεία και την παραγωγικότητα των ζώων. Επιπλέον, η γνώση για τις επιδράσεις των λιπιδίων στις ζωοτροφές επιτρέπει στους κτηνοτρόφους να επιλέγουν τις καλύτερες πηγές λιπιδίων για τις συγκεκριμένες ανάγκες των ζώων τους και να ενσωματώνουν τις τελευταίες επιστημονικές εξελίξεις στη διατροφή των ζώων.

Σύμφωνα με το άρθρο “Complex Carbohydrates as a Possible Source of High Energy to Formulate Functional Feeds” από τους Ochoa, Paniagua Michel και Olmos-Soto (2014), οι υδατάνθρακες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατροφή των ζώων, παρέχοντας μια από τις πιο σημαντικές πηγές ενέργειας που είναι απαραίτητες για τη διατήρηση των βασικών βιολογικών λειτουργιών τους, όπως η κινητικότητα, η ανάπτυξη, και η αναπαραγωγή. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι υδατανθράκων που χρησιμοποιούνται στις ζωοτροφές, οι οποίοι περιλαμβάνουν απλούς και σύνθετους υδατάνθρακες. Αυτοί οι υδατάνθρακες διαφέρουν στην ικανότητά τους να παρέχουν ενέργεια, στην απορρόφησή τους και στην επίδρασή τους στον οργανισμό των ζώων.

Απλοί υδατάνθρακες, όπως οι μονοσακχαρίτες (γλυκόζη, φρουκτόζη, και γαλακτόζη) και οι δισακχαρίτες (σακχαρόζη, λακτόζη), απορροφώνται ταχέως από το έντερο και χρησιμοποιούνται άμεσα από το σώμα ως πηγή ενέργειας. Ωστόσο, η ταχεία απορρόφησή τους μπορεί να προκαλέσει απότομες αυξήσεις στα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, κάτι που μπορεί να είναι ανεπιθύμητο σε ορισμένα είδη ζώων. Οι σύνθετοι υδατάνθρακες, όπως οι πολυσακχαρίτες, απαιτούν μεγαλύτερη επεξεργασία και διάσπαση πριν απορροφηθούν, προσφέροντας σταδιακή παροχή ενέργειας, η οποία μπορεί να είναι πιο ευεργετική για τη

διατήρηση της ενέργειας σε βάθος χρόνου. Οι πολυσακχαρίτες, οι οποίοι περιλαμβάνουν κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και πηκτίνες, έχουν σημαντικό ρόλο στις ζωοτροφές, καθώς εκτός από την παροχή ενέργειας, προάγουν την υγεία του εντέρου μέσω της διατροφής με ίνες. Ο ρόλος αυτών των υδατανθράκων είναι ουσιαστικός, καθώς βοηθούν στην αύξηση του όγκου των κοπράνων και στη βελτίωση της εντερικής κινητικότητας, προλαμβάνοντας έτσι την εμφάνιση προβλημάτων του πεπτικού συστήματος, όπως η δυσκοιλιότητα και η διαταραχή της εντερικής χλωρίδας. Η κυτταρίνη, για παράδειγμα, δεν διασπάται πλήρως στο στομάχι ή στο έντερο των ζώων, αλλά μέσω της μικροχλωρίδας του εντέρου, μπορεί να παράξει βραχείας αλυσίδας λιπαρά οξέα, τα οποία προσφέρουν επιπλέον πηγή ενέργειας (Ochoa et al., 2014). Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες των υδατανθράκων είναι η επίδρασή τους στη μικροχλωρίδα του εντέρου των ζώων. Οι διαλυτές ίνες, που περιέχονται σε σύνθετους υδατάνθρακες, όπως οι πηκτίνες, ενισχύουν τη δραστηριότητα ευεργετικών βακτηρίων, όπως τα *bifidobacteria* και τα *lactobacilli*, τα οποία συμβάλλουν στην παραγωγή βραχείας αλυσίδας λιπαρών οξέων (SCFAs). Αυτά τα SCFAs χρησιμοποιούνται από τα κύτταρα του εντέρου και έχουν αντιφλεγμονώδη και ανοσοενισχυτικά χαρακτηριστικά. Η αύξηση αυτών των ευεργετικών βακτηρίων μπορεί επίσης να μειώσει την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, που ενδέχεται να προκαλέσουν διάρροια ή άλλες ασθένειες στο πεπτικό σύστημα των ζώων. Η ποιότητα και η ποσότητα των υδατανθράκων στις ζωοτροφές έχουν άμεση επίδραση στην αποδοτικότητα των ζώων. Ο σωστός συνδυασμός υδατανθράκων με άλλες θρεπτικές ουσίες, όπως οι πρωτεΐνες και τα λίπη, επηρεάζει την ανάπτυξη, την παραγωγικότητα (π.χ. γάλα ή κρέας) και τη γενική υγεία των ζώων. Ζώα που διατρέφονται με ζωοτροφές πλούσιες σε σύνθετους υδατάνθρακες που είναι εύκολα πεπτοί και αφομοιώνονται σταδιακά τείνουν να εμφανίζουν βελτιωμένη αποδοτικότητα, λιγότερες ασθένειες και καλύτερη συνολική υγεία. Η ένταξη σύνθετων υδατανθράκων σε δίαιτες ζώων έχει γίνει συχνά στρατηγική για τη βελτίωση της απόδοσης, ενώ παράλληλα μειώνει το κόστος των ζωοτροφών, δεδομένου ότι οι πολυσακχαρίτες είναι συνήθως φθηνότεροι από άλλες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, η χρήση πολυσακχαριτών μπορεί να περιορίσει τις πιθανότητες εμφάνισης διαταραχών του μεταβολισμού του ζώου, όπως η λιπώδης εκφύλιση του ήπατος, όταν χρησιμοποιούνται με μέτρο σε συνδυασμό με άλλες θρεπτικές ουσίες. Ο σωστός συνδυασμός διαλυτών και αδιάλυτων ινών στις ζωοτροφές μπορεί να διασφαλίσει μια ισχυρή διατροφική στρατηγική για τη διατήρηση της καλής υγείας και της παραγωγικότητας των ζώων[37].

Οι βιταμίνες είναι οργανικές ενώσεις που είναι απαραίτητες για τη ζωή και την καλή υγεία των ζώων. Παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της φυσιολογικής λειτουργίας του οργανισμού, την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και την παραγωγή. Η επαρκής πρόσληψη βιταμινών μέσω της διατροφής είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή διαταραχών που σχετίζονται με ελλείψεις.

Στις βασικές λειτουργίες των βιταμινών στις ζωοτροφές συμπεριλαμβάνεται το ανοσοποιητικό σύστημα καθώς ορισμένες βιταμίνες, όπως η βιταμίνη E, λειτουργούν ως ισχυροί αντιοξειδωτικοί παράγοντες, προστατεύοντας τα κύτταρα από οξειδωτική βλάβη και ενισχύοντας την ανοσολογική απόκριση των ζώων. Η επαρκής πρόσληψη βιταμίνης E έχει συνδεθεί με βελτιωμένη ποιότητα κρέατος και γάλακτος, καθώς και με αυξημένη ανθεκτικότητα σε λοιμώξεις. Η βιταμίνη A συμβάλλει στη διατήρηση της υγείας του δέρματος και των τριχών και είναι απαραίτητη για τη φυσιολογική αναπαραγωγική λειτουργία. Ελλείψεις μπορεί να οδηγήσουν σε μειωμένη γονιμότητα και αυξημένη συχνότητα αποβολών. Επιπλέον, βιταμίνη D, είναι σημαντική για την απορρόφηση του ασβεστίου και του φωσφόρου, που είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη των οστών και τη σωστή λειτουργία του αναπαραγωγικού συστήματος. Από την άλλη οι βιταμίνες του συμπλέγματος B, όπως η B1 (θειαμίνη), η B2 (ριβοφλαβίνη) και η B12 (κοβαλαμίνη), είναι απαραίτητες για τον ενεργειακό μεταβολισμό και την ανάπτυξη των ζώων. Ελλείψεις αυτών των βιταμινών μπορεί να οδηγήσουν σε μειωμένη ανάπτυξη, απώλεια βάρους και μειωμένη παραγωγικότητα. Η βιταμίνη E συμβάλλει στη

διατήρηση της υγείας του δέρματος και των τριχών. Ελλείψεις μπορεί να προκαλέσουν δερματικά προβλήματα και απώλεια τριχών. Η γενικότερη έλλειψη βιταμινών μπορεί να οδηγήσει σε διάφορες ασθένειες και διαταραχές, όπως:

- Ραχίτιδα και οστεομαλακία: Σχετίζονται με ελλείψεις βιταμίνης D, οδηγώντας σε αδύναμα οστά και παραμορφώσεις.
- Νυχτερινή τύφλωση: Σχετίζεται με έλλειψη βιταμίνης A, προκαλώντας δυσκολία στην όραση σε χαμηλό φωτισμό.
- Παρκεράτωση: Σχετίζεται με έλλειψη ψευδαργύρου, οδηγώντας σε δερματικά προβλήματα και απώλεια τριχών.
- Ανεπάρκεια βιταμινών του συμπλέγματος B: Μπορεί να προκαλέσει νευρολογικές διαταραχές, μειωμένη ανάπτυξη και μειωμένη παραγωγικότητα.

Ένας σίγουρος τρόπος για την εξασφάλιση επαρκούς πρόσληψης βιταμινών είναι η ενσωμάτωση βιταμινών στις ζωοτροφές πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες κάθε είδους ζώου, την ηλικία, την κατάσταση υγείας και το επίπεδο παραγωγής. Όπως και η προσθήκη συμπληρωμάτων βιταμινών μπορεί να είναι απαραίτητη σε περιόδους αυξημένων αναγκών, όπως κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, της γαλουχίας ή της έντονης παραγωγής. Απαραίτητη προϋπόθεση η τακτική παρακολούθηση της υγείας και της παραγωγικότητας των ζώων, καθώς και η ανάλυση των ζωοτροφών, είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της επάρκειας βιταμινών και την προσαρμογή των διατροφικών στρατηγικών. Η κατανόηση του ρόλου των βιταμινών στη διατροφή των ζώων είναι θεμελιώδης για την προώθηση της υγείας τους και τη βελτίωση της παραγωγικότητας. Η συνεχής έρευνα και η εφαρμογή επιστημονικών γνώσεων είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών διατροφής που να καλύπτουν τις ανάγκες των ζώων και να προάγουν τη βιώσιμη παραγωγή [38].

1.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τη θρεπτική αξία

Η θρεπτική αξία των ζωοτροφών καθορίζεται από μια σειρά παραμέτρων που επηρεάζουν την απορρόφηση, την πέψη και τη χρησιμοποίηση των θρεπτικών συστατικών από τον οργανισμό. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη θρεπτική αξία περιλαμβάνουν τη σύνθεση της τροφής, την παρουσία αντιθρεπτικών παραγόντων, τη φυσική κατάσταση της τροφής, τη μέθοδο παρασκευής και την ποιότητα των πρώτων υλών. Η αναλογία και η ποιότητα των θρεπτικών συστατικών, όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, βιταμίνες και μέταλλα, είναι θεμελιώδης για τη θρεπτική αξία. Η παρουσία όλων των απαραίτητων αμινοξέων και λιπαρών οξέων, καθώς και η ισορροπία μεταξύ ενέργειας και πρωτεΐνης, επηρεάζουν άμεσα την ανάπτυξη και την υγεία των ζώων. Πιο συγκεκριμένα, η αναλογία και η ποιότητα των πρωτεϊνών, υδατανθράκων, λιπών, βιταμινών και μετάλλων επηρεάζουν άμεσα τη θρεπτική αξία. Η παρουσία κυτταρίνης και άλλων αδιάλυτων ινών μπορεί να μειώσει τη διαθέσιμη ενέργεια και θρεπτικά συστατικά. Η υγρασία επηρεάζει την αποθήκευση και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών καθώς και η ποσότητα αλλά και η ποιότητα των αζωτούχων ενώσεων, όπως οι πρωτεΐνες, είναι καθοριστικές για τη θρεπτική αξία. Επιπλέον, τα λιπίδια παρέχουν ενέργεια και λιποδιαλυτές βιταμίνες, επηρεάζοντας τη θρεπτική αξία. Η ισορροπία των μετάλλων είναι εξίσου σημαντική για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού. Επίσης η παρουσία και η ποσότητα των βιταμινών επηρεάζουν τη θρεπτική αξία. Τέλος, η παρουσία αδιάλυτων ινών μπορεί να μειώσει τη διαθέσιμη ενέργεια και θρεπτικά συστατικά. Ορισμένα φυτικά συστατικά περιέχουν αντιθρεπτικούς παράγοντες, όπως φυτικές ίνες, τανίνες και φυτοοιστρογόνα, οι οποίοι μειώνουν τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και την αποδοτικότητα της πέψης. Η παρουσία αυτών των ουσιών μπορεί να μειώσει την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών και να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των ζώων. Η φυσική κατάσταση της τροφής, όπως η κοκκοποίηση, η άλεση ή η συμπίεση, επηρεάζει την επιφάνεια

επαφής με τα πεπτικά ένζυμα και, συνεπώς, την πέψη [39]. Η θερμική επεξεργασία, όπως ο ατμοποιητής ή η δημιουργία πελετών, είναι χρήσιμη για τη βελτίωση της σταθερότητας και της χημικής δομής των συστατικών των ζωοτροφών. Ο ατμός χρησιμοποιείται για να προσφέρει την κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία, βελτιώνοντας την ικανότητα δέσμευσης των συστατικών και απομακρύνοντας παθογόνους οργανισμούς από τις ζωοτροφές. Με τη βοήθεια του ατμού, επιτυγχάνεται η αύξηση της ποιότητας των πελετών, αφού αυξάνεται η παραγωγή τους και βελτιώνεται ο δείκτης αντοχής των πελετών. Παράλληλα, η θερμική επεξεργασία μπορεί να μειώσει την περιεκτικότητα σε υγρασία και να κάνει τις ζωοτροφές πιο εύκολες στη διαχείριση και αποθήκευση. Ωστόσο, η θερμότητα μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή ορισμένων θρεπτικών συστατικών, όπως οι βιταμίνες και οι αμινοξέα, αν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή ή η διάρκεια επεξεργασίας πολύ μεγάλη. Η θερμική επεξεργασία μπορεί να καταστρέψει αντιθρεπτικούς παράγοντες, αλλά και να μειώσει τη βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων θρεπτικών συστατικών ενώ η άλεση να διευκολύνει την απορρόφηση θρεπτικών. στην καλύτερη ανάμιξη των συστατικών, διασφαλίζοντας ότι η τροφή είναι ομοιογενής και έχει τη σωστή αναλογία θρεπτικών συστατικών. Όταν τα σιτηρά ή άλλα συστατικά των ζωοτροφών αλέθονται σε μικρότερα σωματίδια, βελτιώνεται η πέψη τους, επειδή αυξάνεται η επιφάνεια επαφής τους με τα πεπτικά ένζυμα των ζώων. Το άλεσμα επηρεάζει επίσης τη μείωση των προβλημάτων διαχωρισμού των συστατικών κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και εξασφαλίζει ότι οι ζωοτροφές παραμένουν ομοιογενείς. Ένα άλλο κρίσιμο βήμα στην επεξεργασία ζωοτροφών είναι η αναλογία και η ανάμειξή τους. Η αναλογία συστατικών στις ζωοτροφές μπορεί να επηρεάσει την ισχύ των θρεπτικών συστατικών και την αφομοίωσή τους από τα ζώα. Η σωστή αναλογία συστατικών, όπως η αναλογία πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπιδίων, είναι καθοριστική για την καλύτερη ανάπτυξη των ζώων και την πρόληψη διατροφικών ελλείψεων. Η ομοιόμορφη ανάμιξη των συστατικών εξασφαλίζει ότι οι ζωοτροφές παρέχουν μια ισχυρή και ισχυρά αφομοιώσιμη θρεπτική αξία. Ωστόσο, εάν η αναλογία των συστατικών δεν είναι σωστή ή αν η ανάμιξη δεν είναι επαρκής, μπορεί να παρουσιαστούν προβλήματα στην αφομοίωση των θρεπτικών συστατικών, οδηγώντας σε ανεπαρκή διατροφή [40]. Ένας από τους σημαντικότερους τομείς είναι η ποιότητα των πρώτων υλών, όπως η φρεσκάδα, η αποθήκευση και η επεξεργασία τους, επηρεάζει τη θρεπτική αξία της τροφής καθώς η αλλοίωση ή η κακή αποθήκευση μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια θρεπτικών συστατικών και αύξηση αντιθρεπτικών παραγόντων. Η κατανόηση αυτών των παραμέτρων είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό και την παρασκευή ζωοτροφών που μεγιστοποιούν τη θρεπτική αξία και την αποδοτικότητα της παραγωγής.

1.4. Μέθοδοι χημικής ανάλυσης θρεπτικών συστατικών

A) ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΠΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΥΛΗΣ (IVDMD)

Η ανάλυση της πεπτικότητας της ξηρής ύλης (IVDMD) αποτελεί θεμελιώδη διαδικασία για την αξιολόγηση της θρεπτικής αξίας των ζωοτροφών, δεδομένου ότι η ξηρή ύλη περιέχει όλα τα θρεπτικά συστατικά που δεν είναι νερό, συμπεριλαμβανομένων των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών, των λιπών και των ανόργανων στοιχείων. Η *in vitro* πέψη της ξηρής ύλης αποτελεί έναν καθιερωμένο δείκτη για την αξιολόγηση της διατροφικής αξίας των ζωοτροφών. Εμφανίζει υψηλό βαθμό συσχέτισης με την πέψη *in vivo* και έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την ανάλυση ζωοτροφών, ιδιαίτερα λόγω της ακρίβειας που προσφέρει στη μέτρηση της πεπτικότητας. Η μέτρηση της πεπτικότητας παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την ικανότητα της τροφής να παρέχει θρεπτικά συστατικά στα ζώα και αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για τη διαμόρφωση ισορροπημένων σιτηρεσίων. Η παραδοσιακή μέθοδος περιλαμβάνει την επώαση των δειγμάτων τροφής με μικροβιακό ενοφθαλμισμό από την κοιλία (rumen) των μηρυκαστικών ζώων, συνήθως αγελάδων, σε συνθήκες που προσομοιάζουν το περιβάλλον της κοιλίας. Η διαδικασία περιλαμβάνει διάφορες φάσεις υδρόλυσης, ζύμωσης και μικροβιακής πέψης, και απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και σημαντική εργασιακή προσπάθεια. Η

παραδοσιακή μέθοδος πέψης *in vitro* βασίζεται στις διαδικασίες των Tilly και Terry, οι οποίες έχουν τροποποιηθεί κατά καιρούς για τη βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων [41]. Ωστόσο, οι παραδοσιακές μέθοδοι χαρακτηρίζονται από υψηλές απαιτήσεις σε εργατικό δυναμικό και δεν επιτρέπουν τη χρήση πολλαπλών δειγμάτων σε ένα μόνο σκεύος πέψης, γεγονός που περιορίζει την αποτελεσματικότητά τους. Για αυτό δοκιμάζεται μία νέα μέθοδος η DAISY. Η συσκευή DAISYII (ANKOM Technology Corp.) έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει την ταυτόχρονη ανάλυση πολλών δειγμάτων ζωοτροφών, μειώνοντας τις απαιτήσεις σε χρόνο και εργατικό δυναμικό. Αυτή η προσέγγιση μπορεί επίσης να αυξήσει την ακρίβεια της ανάλυσης λόγω της βελτιωμένης τυποποίησης των συνθηκών πέψης. Επιπλέον, επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών τύπων ζωοτροφών (χόρτα και σιτηρά) στο ίδιο δοχείο πέψης, διευκολύνοντας τη συγκριτική ανάλυση. Αρκετά σημαντική για αυτή τη μέθοδο είναι η προέλευση των ενζύμων για τη διαδικασία πέψης *in vitro* καθώς αποτελεί σημαντικό παράγοντα που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα.

Η εφαρμογή της μεθόδου *in vitro* ανάλυσης της πεπτικότητας της ξηρής ύλης (IVDMD) μέσω της συσκευής DAISYII περιλαμβάνει μία σειρά από οργανωμένα βήματα που εξασφαλίζουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Αρχικά, τα δείγματα ζωοτροφών υφίστανται προκατεργασία, η οποία περιλαμβάνει αφυδάτωση σε φούρνο κυκλοφορίας αέρα στους 55°C για 48 ώρες και άλεση μέσω κόσκινου διαμέτρου 1 mm σε μύλο τύπου Wiley. Για την προετοιμασία του ενζυμικού υγρού, συλλέγεται υγρό από την κοιλία μηρυκαστικών αγελάδων που έχουν υποβληθεί σε διατροφή με δύο διαφορετικές δίαιτες (αποκλειστικά χόρτο ή σύνολο μικτής διατροφής, TMR). Το υγρό συλλέγεται δύο ώρες μετά τη διατροφή από διάφορα σημεία της κοιλίας με αντλία κενού και μεταφέρεται σε προθερμασμένα δοχεία υπό συνθήκες διατήρησης CO₂. Η προετοιμασία του υγρού περιλαμβάνει ανάμιξη του υγρού και σωματιδίων της κοιλίας σε μπλέντερ, υπό συνεχή ροή CO₂, και διήθηση μέσω γυάλινης ίνας και τυροπάνου. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετούνται σε ειδικές σακούλες φίλτρου (Ankom F57), που είναι θερμοσφραγισμένες και ανθεκτικές στην πέψη. Οι σακούλες τοποθετούνται στα δοχεία πέψης της συσκευής DAISYII, κάθε ένα από τα οποία έχει χωρητικότητα έως 25 σακούλες, επιτρέποντας την ταυτόχρονη ανάλυση έως και 100 δειγμάτων. Προστίθεται ρυθμιστικό διάλυμα, το οποίο παρασκευάζεται με ανάμιξη διαλυμάτων Α (KH₂PO₄, MgSO₄·7H₂O, NaCl, CaCl₂·H₂O, και ουρία) και Β (Na₂CO₃ και Na₂S·9H₂O), με το pH να ρυθμίζεται στο 6.8. Κάθε δοχείο γεμίζει με το ρυθμιστικό διάλυμα και το ενζυμικό υγρό, και ακολουθεί έκπλυση με CO₂ πριν από την τοποθέτηση στον θάλαμο πέψης. Η διαδικασία πέψης διαρκεί 48 ώρες στους 39°C, ενώ τα δοχεία περιστρέφονται συνεχώς στον θάλαμο για την ομοιομορφία των συνθηκών. Μετά την αρχική φάση, προστίθεται υδροχλωρικό οξύ (HCl) και πεψίνη, και τα δείγματα επωάζονται για επιπλέον 24 ώρες. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με φιλτράρισμα και ξήρανση των σακουλών στους 100°C για 24 ώρες, ενώ χρησιμοποιούνται κενές σακούλες ως μάρτυρες για τη διόρθωση της βακτηριακής μόλυνσης. Τα δεδομένα που προκύπτουν αναλύονται στατιστικά, με τον υπολογισμό της πεπτικότητας ξηρής ύλης να βασίζεται στη διαφορά βάρους πριν και μετά την πέψη, εξασφαλίζοντας υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα [41].

B) Σύστημα Van Soest

Το σύστημα αυτό διαχωρίζει τη συνολική ποσότητα ινών σε εκχυλιζόμενη απορρυπαντική ίνα (Neutral Detergent Fiber, NDF) και όξινη απορρυπαντική ίνα (Acid Detergent Fiber, ADF). Η χημική ανάλυση των θρεπτικών συστατικών στις ζωοτροφές αποτελεί βασικό εργαλείο για την εκτίμηση της ποιότητας και της θρεπτικής αξίας τους, ιδιαίτερα για συστατικά όπως οι ίνες και οι υδατάνθρακες. Η ανάλυση των ινών, ιδίως μέσω της μέτρησης της ουδέτερης απορρυπαντικής ίνας (NDF), επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της κυτταρίνης, της ημικυτταρίνης και της λιγνίνης που αποτελούν τη βασική δομή του κυτταρικού τοιχώματος των φυτών. Η NDF περιλαμβάνει τις αδιάλυτες ίνες που παίζουν ρόλο στη διαμόρφωση της

"στρωματικής μάζας" στο εσωτερικό του μηρυκαστικού στομάχου, διεγείροντας τη λειτουργία του. Ωστόσο, η μέτρηση των NDF περιπλέκεται από την παρουσία του αμύλου, το οποίο μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης και να οδηγήσει σε εσφαλμένες εκτιμήσεις της πραγματικής περιεκτικότητας σε ίνες. Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την αφαίρεση του αμύλου περιλαμβάνουν τη χρήση ενζύμων όπως η α-αμυλάση, με επικρατούσα την αμυλάση από το βακτήριο *Bacillus subtilis* ή τη χρήση θερμοσταθερών α-αμυλασών. Οι τροποποιήσεις στις παραδοσιακές μεθόδους περιλαμβάνουν τη χρήση ενζύμων πριν, κατά τη διάρκεια ή μετά το στάδιο της αναρροής με απορρυπαντικά, ώστε να αφαιρείται το άμυλο που επηρεάζει την ανάλυση. Ειδικότερα, η χρήση θερμοσταθερής α-αμυλάσης που διασπά το άμυλο σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. βρασμός) έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική, καθώς μειώνει τον κίνδυνο παρενεργειών από άλλες δραστηριότητες των ενζύμων, όπως η διάσπαση της ημικυτταρίνης. Παράλληλα, η χρήση ασφαλέστερων διαλυτών, όπως η τριαιθυλενογλυκόλη αντί του 2-αιθοξυαιθανόλης, προτείνεται για την καλύτερη απομάκρυνση του αμύλου χωρίς κινδύνους για την υγεία. Η ανάλυση των NDF ακολουθεί συνήθως τα εξής βήματα. Αρχικά, το δείγμα υποβάλλεται σε επεξεργασία με απορρυπαντικά για την απομάκρυνση των υδατοδιαλυτών συστατικών και των μη δομικών πολυσακχαριτών. Η προσθήκη α-αμυλάσης, είτε κατά τη διάρκεια της αναρροής είτε σε προηγούμενο στάδιο, διασφαλίζει την πλήρη διάσπαση του αμύλου, ώστε να μην επηρεάσει τις τιμές των ινών. Στη συνέχεια, τα δείγματα φιλτράρονται, πλένονται και ξηραίνονται για να υπολογιστεί το ποσοστό των αδιάλυτων ινών. Τα τελικά δεδομένα διορθώνονται για τυχόν απώλειες που προκύπτουν από τη δράση ενζύμων ή τη χρήση θερμοκρασιών. Η μέθοδος της NDF έχει δεχθεί κριτική για την αδυναμία της να συμπεριλάβει την πηκτίνη, η οποία θεωρείται μέρος του μη δομικού κυτταρικού τοιχώματος, αν και είναι πλήρως ζυμώσιμη και δεν αποτελεί μέρος του διασταυρούμενου λιγνιφικού πλέγματος. Για την ανάλυση της πηκτίνης χρησιμοποιείται ειδική μέθοδος βασισμένη στον προσδιορισμό του γαλακτουρονικού οξέος. Τέλος, ο συνδυασμός εξειδικευμένων ενζύμων, χημικών αντιδραστηρίων και ασφαλών διαλυτών επιτρέπει την αξιόπιστη εκτίμηση των θρεπτικών συστατικών, ενισχύοντας την κατανόηση της σύνθεσης των ζωοτροφών και της θρεπτικής τους αξίας [42].

B) Διαδικασία όξινης απορρυπαντικής ίνας (ADF)

Η διαδικασία όξινης απορρυπαντικής ίνας (ADF), αναφέρεται ότι χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό κυτταρίνης, λιγνίνης και άλλων συστατικών, αλλά δεν αποτελεί έγκυρο κλάσμα ίνας για θρεπτική ανάλυση [42].

Γ) Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης (HPLC)

Η HPLC (Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης) αποτελεί μια εξειδικευμένη χημική μέθοδο ανάλυσης που χρησιμοποιείται ευρέως για τον ποιοτικό και ποσοτικό έλεγχο ζωοτροφών, καθώς παρέχει υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα στην ανίχνευση και ποσοτικοποίηση διαφόρων χημικών ενώσεων. Στο πλαίσιο του ποιοτικού ελέγχου των ζωοτροφών, η HPLC εφαρμόζεται για την ανάλυση οργανικών ενώσεων, όπως σάκχαρα χαμηλού μοριακού βάρους (LMW-sugars), βιταμίνες, αμινοξέα, πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα και άλλες ενώσεις με διατροφική σημασία. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την προετοιμασία δειγμάτων μέσω εκχυλίσεων και διήθησης, ώστε να απομακρυνθούν ανεπιθύμητες προσμίξεις, και την εισαγωγή του δείγματος σε μια στήλη διαχωρισμού. Η κινητή φάση, η οποία συχνά είναι ένα διάλυμα νερού ή οργανικού διαλύτη, αντλείται μέσω της στήλης υπό υψηλή πίεση. Στη στήλη, τα συστατικά του δείγματος διαχωρίζονται με βάση τη χημική τους σύνθεση και την αλληλεπίδρασή τους με τη στατική φάση, ενώ στη συνέχεια ανιχνεύονται με ανιχνευτές υψηλής ευαισθησίας, όπως διαθλαστικού δείκτη ή φασματοφωτομετρικούς ανιχνευτές. Στην περίπτωση ανάλυσης σακχάρων στις ζωοτροφές, η HPLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον

προσδιορισμό της παρουσίας και της συγκέντρωσης διαφόρων μονοσακχαριτών, δισακχαριτών ή πολυσακχαριτών, παρέχοντας κρίσιμα δεδομένα για την ενεργειακή αξία και την ποιότητα της τροφής. Η διαδικασία περιλαμβάνει εκχύλιση σακχάρων από το δείγμα με χρήση αιθανόλης, υδρόλυση για την απελευθέρωση απλών μορίων, διήθηση μέσω φίλτρων για την απομάκρυνση προσμίξεων, και τελικά την ανάλυση των δειγμάτων μέσω HPLC, με τις συνθήκες διαχωρισμού (κινητή φάση, θερμοκρασία, ρυθμός ροής) να ρυθμίζονται ώστε να επιτυγχάνεται βέλτιστος διαχωρισμός. Η HPLC, ως μέθοδος χημικής ανάλυσης, εξασφαλίζει την ακριβή ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση θρεπτικών συστατικών, συμβάλλοντας καθοριστικά στην αξιολόγηση της ποιότητας και ασφάλειας των ζωοτροφών [43].

Δ) Χρωματογραφία αερίου (GC)

Η χρωματογραφία αερίου (Gas Chromatography, GC) αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο χημικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό της σύστασης λιπαρών οξέων στις ζωοτροφές και άλλες βιολογικές μήτρες. Η διαδικασία ξεκινά με την προετοιμασία του δείγματος, η οποία περιλαμβάνει την εξαγωγή των λιπιδίων με διαλύτες όπως το χλωροφόρμιο και η μεθανόλη, ώστε να απομονωθούν τόσο τα ουδέτερα όσο και τα πολικά λιπίδια. Ακολουθεί ο διαχωρισμός των διαφορετικών τάξεων λιπιδίων μέσω χρωματογραφίας λεπτής στιβάδας (TLC) ή άλλων τεχνικών. Στη συνέχεια, τα λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (Fatty Acid Methyl Esters, FAMES) μέσω μεθόδων με χρήση καταλυτών, όπως το μεθάνιο ή το υδροξείδιο του καλίου. Αυτή η διαδικασία είναι κρίσιμη για τη σταθεροποίηση των λιπαρών οξέων και την προετοιμασία τους για ανάλυση στη συσκευή GC. Η ανάλυση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας στήλες υψηλής ανάλυσης (συνήθως στήλες από σιλικονούχα υλικά), οι οποίες προσφέρουν εξαιρετική διαχωριστική ικανότητα για τα ισομερή των λιπαρών οξέων. Η κινητή φάση αποτελείται από αέρια όπως το ήλιο ή το υδρογόνο, τα οποία μεταφέρουν το δείγμα μέσω της στήλης υπό αυστηρά ελεγχόμενες θερμοκρασίες. Οι ανιχνευτές φλογοϊονισμού (Flame Ionization Detectors, FID) χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των ενώσεων με υψηλή ευαισθησία, επιτρέποντας την ταυτοποίηση και την ποσοτικοποίηση τόσο των κύριων όσο και των δευτερευόντων λιπαρών οξέων. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την ανίχνευση πολυακόρεστων, μονοακόρεστων, κορεσμένων και τρανς λιπαρών οξέων, καθώς και την ποσοτική αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ των λιπαρών οξέων όπως το ωμέγα-3 και ωμέγα-6. Επιπλέον, η GC χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της διατροφικής ποιότητας των ζωοτροφών και για την ανίχνευση ανεπιθύμητων ή τοξικών λιπαρών συστατικών. Η τεχνολογία επιτρέπει την εξαγωγή δεδομένων που είναι απαραίτητα για την προσαρμογή της διατροφής των ζώων και τη βελτίωση της υγείας και της παραγωγικότητάς τους [44].

Ε) Φασματοφωτομετρία UV-Vis

Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος UV-Vis χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του περιεχομένου φαινολικών ενώσεων, ταννινών και της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας μέσω μετρήσεων απορρόφησης. Η φασματοφωτομετρία UV-Vis είναι χρήσιμη για την ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση σημαντικών θρεπτικών και λειτουργικών ενώσεων στις ζωοτροφές, παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα για τη θρεπτική τους αξία και την πιθανή βιοδραστικότητα. Αρχικά, τα εκχυλίσματα προετοιμάζονται με τη χρήση διαλυτών όπως ακετόνη ή μεθανόλη, τα οποία απομακρύνονται σταδιακά με περιστροφική εξάτμιση και λυοφιλοποίηση. Το τελικό εκχύλισμα χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των χημικών ιδιοτήτων. Η συγκέντρωση ολικών φαινολικών ενώσεων (Total Phenolics, TP) προσδιορίζεται μέσω της μεθόδου Folin–Ciocalteu, κατά την οποία ένα δείγμα αναμειγνύεται με το αντιδραστήριο Folin–Ciocalteu και ανθρακικό νάτριο. Το αντιδραστήριο Folin–Ciocalteu περιέχει φωσφορικό οξύ, μολυβδαίνιο και βανάδιο. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των συνολικών φαινολικών ενώσεων, όπου οι φαινόλες αντιδρούν με το αντιδραστήριο, προκαλώντας οξειδωση και σχηματισμό μπλε χρώματος. Μετά από συγκεκριμένο χρόνο επώασης στο σκοτάδι, η απορρόφηση μετρείται στα 725 nm. Οι

συμπυκνωμένες ταννίνες (Condensed Tannins, CT) προσδιορίζονται με τη μέθοδο βουτανόλης-HCl, όπου τα δείγματα αντιδρούν με οξύ διάλυμα βουτανόλης και θειικό αμμώνιο, με τη μέτρηση της απορρόφησης να γίνεται στα 550 nm. Η αντιοξειδωτική δραστηριότητα μετράται με την ικανότητα δέσμευσης ελευθέρων ριζών DPPH. Το δείγμα αντιδρά με το διάλυμα DPPH και η απορρόφηση μετριέται στα 517 nm. Υπολογίζεται το EC50, δηλαδή η συγκέντρωση του δείγματος που εξουδετερώνει το 50% των ελεύθερων ριζών [45].

Z) Η ιοντοανταλλακτική χρωματογραφία (IEC)

Η ιοντοανταλλακτική χρωματογραφία (Ion-Exchange Chromatography, IEC) χρησιμοποιείται ευρέως ως μέθοδος χημικής ανάλυσης για την ποιοτική και ποσοτική ανίχνευση αμινοξέων στις ζωοτροφές. Η μέθοδος βασίζεται στην αναστρέψιμη προσρόφηση φορτισμένων μορίων σε ένα στατικό υλικό, το οποίο φέρει αντίθετα ιόντα στην επιφάνειά του. Χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό, την ταυτοποίηση και την ποσοτικοποίηση αμινοξέων, παρέχοντας σημαντικά δεδομένα για την ανάλυση πρωτεϊνών και τη διατροφική αξιολόγηση. Η διαδικασία ξεκινά με την υδρόλυση των πρωτεϊνών, όπου οι πεπτιδικοί δεσμοί διασπώνται σε αμινοξέα μέσω μεθόδων όξινης, αλκαλικής ή ενζυμικής υδρόλυσης. Η όξινη υδρόλυση με HCl είναι η πιο κοινή, αλλά απαιτεί προσοχή για την αποφυγή καταστροφής ευαίσθητων αμινοξέων, όπως το τρυπτοφάνη, η θρεονίνη και η σερίνη. Μετά την υδρόλυση, τα δείγματα εισάγονται στη χρωματογραφική στήλη, η οποία είναι γεμάτη με ρητίνες ιοντοανταλλαγής. Οι ρητίνες αυτές είναι μικροσκοπικές σφαιρικές δομές, κατασκευασμένες από πολυστυρένιο που έχει υποστεί διασταυρούμενη σύνδεση με διβινυλοβενζόλιο, ενώ φέρουν λειτουργικές ομάδες όπως σουλφονικές ($-SO_3H$) ή καρβοξυλικές ($-COOH$) για την ανταλλαγή ιόντων. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, τα αμινοξέα εισέρχονται στη στήλη με ένα διάλυμα ρυθμιστικού διαλύματος. Η αλλαγή του pH και της ιοντικής ισχύος του διαλύματος επιτρέπει τη σταδιακή αποδέσμευση των αμινοξέων από τη ρητίνη. Ο διαχωρισμός βασίζεται στο ισοηλεκτρικό σημείο κάθε αμινοξέος, δηλαδή στο pH όπου το αμινοξύ είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Καθώς αλλάζει το pH του διαλύματος έκλουσης, τα αμινοξέα διαχωρίζονται και εξέρχονται από τη στήλη σε διαφορετικούς χρόνους. Η ανίχνευση των αμινοξέων γίνεται συνήθως μέσω αντίδρασης με το αντιδραστήριο νινυδρίνης, το οποίο παράγει έγχρωμα σύμπλοκα. Η απορρόφηση αυτών των συμπλόκων μετριέται σε συγκεκριμένα μήκη κύματος μέσω φασματοφωτομέτρου ή άλλων ανιχνευτών. Η ένταση των κορυφών στον καταγραφέα συσχετίζεται με τη συγκέντρωση των αμινοξέων στο δείγμα. Η ιοντοανταλλακτική χρωματογραφία προσφέρει εξαιρετική ακρίβεια και επαναληψιμότητα, επιτρέποντας την ανάλυση πολύ μικρών ποσοτήτων αμινοξέων. Χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της πρωτεϊνικής σύνθεσης στις ζωοτροφές, την εκτίμηση της βιοδιαθεσιμότητας των πρωτεϊνών, και τον έλεγχο ποιότητας. Επιπλέον, συμβάλλει στη μελέτη της σχέσης μεταξύ αμινοξέων και ζωικής ανάπτυξης, καθιστώντας την ένα απαραίτητο εργαλείο για τη ζωική διατροφή [46].

ΣΤ) Μέθοδος Kjeldahl για τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου

Η μέθοδος Kjeldahl αποτελεί θεμελιώδη τεχνική για τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου σε δείγματα ζωοτροφών, επιτρέποντας την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε ακατέργαστη πρωτεΐνη. Η διαδικασία ξεκινά με την πέψη του δείγματος παρουσία θειικού οξέος (H_2SO_4), όπου το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε θειικό αμμώνιο. Για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών πέψης, προστίθεται θειικό νάτριο (Na_2SO_4) ή θειικό κάλιο (K_2SO_4), αυξάνοντας το σημείο βρασμού του θειικού οξέος από $180^{\circ}C$ σε περίπου $400^{\circ}C$. Επιπλέον, η χρήση καταλυτών, όπως το θειικό χαλκό ($CuSO_4$), ενισχύει την οξείδωση της οργανικής ύλης, επιταχύνοντας τη διαδικασία πέψης. Μετά την πλήρη πέψη, το διάλυμα αλκαλοποιείται με υδροξείδιο του νατρίου ($NaOH$), απελευθερώνοντας αμμωνία (NH_3) από το θειικό αμμώνιο. Η παραγόμενη αμμωνία αποσπάζεται και συλλέγεται σε διάλυμα βορικού οξέος, σχηματίζοντας βορικό αμμώνιο. Τέλος, η συγκέντρωση της αμμωνίας προσδιορίζεται μέσω τιτλοδότησης με

πρότυπο διάλυμα οξέος, συνήθως υδροχλωρικού οξέος (HCl) ή θεικού οξέος (H₂SO₄). Η ποσότητα του οξέος που απαιτείται για την εξουδετέρωση του βορικού αμμωνίου είναι ανάλογη της περιεκτικότητας του δείγματος σε άζωτο. Η ακρίβεια της μεθόδου Kjeldahl εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ποσότητα και η αναλογία των αντιδραστηρίων πέψης. Μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση 2,0 γραμμαρίων μείγματος πέψης ανά 200 mg δείγματος, με αναλογία 20:1 μεταξύ θεικού νατρίου και θεικού χαλκού, βελτιστοποιεί την ανάκτηση του αζώτου σε δείγματα ζωοτροφών με διαφορετικές περιεκτικότητες σε άζωτο. Η μέθοδος Kjeldahl παραμένει πρότυπο στην ανάλυση ζωοτροφών λόγω της αξιοπιστίας και της επαναληψιμότητάς της. Ωστόσο, απαιτείται προσοχή στη διαχείριση των χημικών αντιδραστηρίων και στην τήρηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας, δεδομένης της χρήσης ισχυρών οξέων και βάσεων κατά τη διαδικασία. Η κατανόηση και η σωστή εφαρμογή της μεθόδου είναι κρίσιμη για την ακριβή εκτίμηση της θρεπτικής αξίας των ζωοτροφών και τη διασφάλιση της ποιότητας στη διατροφή των ζώων [47].

H) Μέθοδος Dumas (DM)

Η μέθοδος Dumas (DM) αποτελεί μία σύγχρονη τεχνική χημικής ανάλυσης που εφαρμόζεται για τον ποσοτικό προσδιορισμό του ολικού αζώτου στις ζωοτροφές, επιτρέποντας την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες. Βασίζεται στην πλήρη καύση του δείγματος σε ατμόσφαιρα εμπλουτισμένη με οξυγόνο, υπό υψηλή θερμοκρασία, με σκοπό τη μετατροπή όλων των μορφών οργανικού αζώτου σε ανόργανα προϊόντα όπως το μοριακό άζωτο (N₂). Η τεχνική αυτή λειτουργεί ως εναλλακτική στη μέθοδο Kjeldahl (KM) και κερδίζει ολοένα μεγαλύτερη αποδοχή λόγω της ταχύτητας, της ακρίβειας και της ασφάλειας που προσφέρει, καθώς και του μειωμένου περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Η διαδικασία ξεκινά με την καύση ενός δείγματος γνωστής μάζας μέσα σε θάλαμο υψηλής θερμοκρασίας, σε περιβάλλον εμπλουτισμένο με οξυγόνο. Η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει έως και τους 1000°C, εξασφαλίζοντας πλήρη καύση του οργανικού υλικού. Τα αέρια προϊόντα που παράγονται περιλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), υδρατμούς (H₂O), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και μοριακό άζωτο (N₂). Στη συνέχεια, τα αέρια διέρχονται μέσω φίλτρων χαλκού, τα οποία μειώνουν το μονοξείδιο του άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα, και ξηραντικών μέσων, τα οποία απομακρύνουν την υγρασία. Το διοξείδιο του άνθρακα παγιδεύεται και το μοριακό άζωτο ανιχνεύεται από έναν γενικό ανιχνευτή, όπως ένας θερμικός αγωγιμόμετρος (TCD). Η μέθοδος Dumas απαιτεί αυστηρή βαθμονόμηση του εξοπλισμού, χρησιμοποιώντας πρότυπα αναφοράς όπως το BBOT (2,5-δις(5-τριτ-βουτυλ-βενζοξαζολ-2-υλ) θειοφαίνιο), για τη διασφάλιση ακρίβειας. Επιπλέον, οι συνθήκες καύσης και οι παράμετροι λειτουργίας του αναλυτή πρέπει να προσαρμόζονται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και τον πειραματικό σχεδιασμό. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία DM, όπως η ποσότητα του οξυγόνου, η μάζα του δείγματος και η θερμοκρασία καύσης, εξετάζονται συχνά μέσω πειραματικών σχεδιασμών όπως ο σχεδιασμός Plackett–Burman, προκειμένου να εντοπιστούν οι κρίσιμες παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση της ανάλυσης. Συγκριτικά με τη μέθοδο Kjeldahl, η μέθοδος Dumas έχει αποδειχθεί πιο αξιόπιστη και ακριβής στον προσδιορισμό του οργανικού αζώτου, ιδιαίτερα σε δείγματα όπως τα δημητριακά και οι ελαιούχοι σπόροι. Είναι επίσης ταχύτερη, καθώς ολόκληρη η διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε λίγα λεπτά, και λιγότερο ρυπογόνος, καθώς δεν χρησιμοποιεί ισχυρά οξέα ή άλλες χημικές ουσίες που απαιτούν ειδική απόρριψη. Τα πλεονεκτήματα αυτά, σε συνδυασμό με την ευκολία χρήσης και τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης λειτουργίας, καθιστούν τη μέθοδο Dumas την προτιμώμενη τεχνική για την ανάλυση θρεπτικών συστατικών στις ζωοτροφές, συμβάλλοντας στην ακρίβεια και τη βιωσιμότητα της διατροφικής αξιολόγησης [48].

Κεφάλαιο 2ο Ανίχνευση και Ποσοτικοποίηση Τοξινών

2.1. Είδη τοξινών που βρίσκονται στις ζωοτροφές και οι επιπτώσεις τους στην υγεία των ζώων

Οι τοξίνες που βρίσκονται στις ζωοτροφές είναι επιβλαβείς ουσίες που μπορούν να προέρχονται από διάφορους παράγοντες όπως μικροοργανισμούς ή μύκητες. Από τις πιο σημαντικές κατηγορίες τοξινών που επηρεάζουν τις ζωοτροφές είναι οι μυκοτοξίνες. Οι μυκοτοξίνες είναι τοξικές χημικές ενώσεις που παράγονται από διάφορους μύκητες. Συνήθως αναπτύσσονται σε φυτικά προϊόντα και καλλιέργειες, όπως το καλαμπόκι, τα δημητριακά, και οι ξηροί καρποί [49]. Η αλληλεπίδραση των μυκοτοξινών με τις ζωοτροφές είναι πολύ σημαντική, καθώς επηρεάζουν την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφών που δίνονται στα ζώα. Οι μύκητες που παράγουν αυτές τις τοξίνες μπορεί να αναπτυχθούν κατά την αποθήκευση των ζωοτροφών, ιδιαίτερα όταν οι συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας είναι ευνοϊκές. Ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη των μυκήτων είναι οι υψηλές θερμοκρασίες και η υψηλή υγρασία, που μπορούν να βρεθούν συχνά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των ζωοτροφών. Ακόμη και αν οι συνθήκες καλλιέργειας ήταν καλές, ακατάλληλη αποθήκευση μπορεί να επιτρέψει στους μύκητες να πολλαπλασιαστούν και να παράγουν τοξίνες [59]. Οι μυκοτοξίνες δεν μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν από τις τροφές και, δυστυχώς, παραμένουν ενεργές ακόμη και όταν οι μύκητες έχουν πεθάνει. Αυτό σημαίνει ότι η πρόληψη της μόλυνσης των ζωοτροφών με μύκητες και μυκοτοξίνες είναι κρίσιμη για την προστασία της υγείας των ζώων. Οι μυκοτοξίνες είναι τοξικές ουσίες που παράγονται από διάφορα είδη μυκήτων, κυρίως από τα γένη *Aspergillus*, *Penicillium* και *Fusarium*. Οι μυκοτοξίνες χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τον μύκητα που τις παράγει και τη χημική τους σύνθεση. Οι κυριότερες κατηγορίες περιλαμβάνουν τις αλφατοξίνες, τις ωχρατοξίνες, τις ζεαραλενόνες, τις τριχοθήκενες και τις φουμονισίνες. Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες μυκοτοξινών μπορεί να προκαλέσει διαφορετικά προβλήματα στα ζώα, ανάλογα με το είδος του ζώου, την ποσότητα που λαμβάνει και την αντοχή του οργανισμού του. Οι μύκητες αυτοί αναπτύσσονται στις καλλιέργειες και μπορούν να μολύνουν τις ζωοτροφές, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στην υγεία των ζώων.

Οι μυκοτοξίνες έχουν περίπλοκο μηχανισμό λειτουργίας και οι επιπτώσεις τους στα ζώα ποικίλλουν ανάλογα με την τοξίνη, την ποσότητα έκθεσης και το είδος του ζώου. Οι μυκοτοξίνες προσβάλλουν διάφορα συστήματα στο σώμα των ζώων, επηρεάζοντας τη λειτουργία των κυττάρων και την ομοιόσταση του οργανισμού. Οι συνέπειες εξαρτώνται από την ποσότητα των μυκοτοξινών που προσλαμβάνονται και το είδος του ζώου. Σε μεγάλες ποσότητες, οι μυκοτοξίνες μπορεί να οδηγήσουν σε οξεία δηλητηρίαση και θάνατο. Σε χαμηλότερες ποσότητες, οι χρόνιες επιπτώσεις περιλαμβάνουν προβλήματα στην ανάπτυξη, την αναπαραγωγή, την παραγωγή γάλακτος ή αυγών, και ανοσολογικές διαταραχές. Κατά την είσοδό τους στον οργανισμό μέσω των ζωοτροφών, οι μυκοτοξίνες αλληλεπιδρούν με τα κύτταρα, διαταράσσοντας τη λειτουργία του μεταβολισμού και προκαλώντας οξειδωτικό στρες. Ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει την αναστολή της πρωτεϊνικής σύνθεσης και την αλλοίωση της μεμβράνης των κυττάρων, γεγονός που οδηγεί σε κυτταρικό θάνατο και βλάβες στους ιστούς. Μια κοινή επίδραση των μυκοτοξινών είναι η αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μυκοτοξίνες αναστέλλουν την παραγωγή κυττάρων του ανοσοποιητικού και καταστέλλουν την απόκριση του οργανισμού στις μολύνσεις, καθιστώντας τα ζώα πιο ευαίσθητα σε ασθένειες. Ένας άλλος μηχανισμός είναι η πρόκληση ορμονικών διαταραχών, ειδικά στην περίπτωση της ζεαραλενόνης, η οποία μιμείται τη δράση των οιστρογόνων, προκαλώντας προβλήματα στην αναπαραγωγική υγεία των ζώων [53]. Ορισμένες μυκοτοξίνες, όπως οι αλφατοξίνες, είναι ισχυρά καρκινογόνα, καθώς επηρεάζουν το DNA των κυττάρων και προκαλούν μεταλλάξεις. Ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει την ενεργοποίηση ογκογονιδίων και την αναστολή γονιδίων καταστολής του καρκίνου, οδηγώντας σε ανεξέλεγκτο πολλαπλασιασμό των κυττάρων. Συνολικά, οι μυκοτοξίνες προκαλούν

σοβαρές διαταραχές στα διάφορα συστήματα του οργανισμού, επηρεάζοντας την ανάπτυξη, την παραγωγή και την υγεία των ζώων, ενώ οι επιπτώσεις μπορεί να είναι μακροχρόνιες και επικίνδυνες [50]. Για την πρόληψη της μόλυνσης των ζωοτροφών με μυκοτοξίνες, είναι κρίσιμη η σωστή αποθήκευση των τροφών σε ξηρό και καλά αεριζόμενο χώρο, καθώς και η τακτική επιθεώρηση για τυχόν σημάδια μούχλας. Η χρήση ειδικών αντιμυκητιακών προσθέτων μπορεί επίσης να βοηθήσει στη μείωση της παραγωγής μυκοτοξινών. Ο έλεγχος των ζωοτροφών μέσω χημικών αναλύσεων είναι απαραίτητος για την ανίχνευση της παρουσίας τους. Εφόσον διαπιστωθεί μόλυνση των ζωοτροφών, οι επιλογές για την αντιμετώπιση είναι περιορισμένες. Συχνά, η μόνη λύση είναι η καταστροφή των μολυσμένων τροφών. Ωστόσο, υπάρχουν αποτοξινωτικές ουσίες και πρόσθετα που προστίθενται στις ζωοτροφές, τα οποία μπορούν να μειώσουν την τοξικότητα ή να δεσμεύσουν τις μυκοτοξίνες, ώστε να μην απορροφώνται από τον οργανισμό του ζώου [49].

Οι αλφατοξίνες είναι μια από τις πιο γνωστές και επικίνδυνες μυκοτοξίνες, που παράγονται κυρίως από τους μύκητες του γένους *Aspergillus*, ειδικότερα τα είδη *Aspergillus flavus* και *Aspergillus parasiticus*. Βρίσκονται συνήθως σε διάφορες καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, τα φιστίκια, τα σιτηρά και οι ξηροί καρποί, ιδιαίτερα όταν αυτές οι καλλιέργειες αποθηκεύονται σε ζεστά και υγρά περιβάλλοντα. Αυτές οι συνθήκες αποθήκευσης ευνοούν την ανάπτυξη των μυκήτων και την παραγωγή αλφατοξινών, καθιστώντας τα μολυσμένα προϊόντα επικίνδυνα για την υγεία των ζώων και των ανθρώπων που τα καταναλώνουν. Οι αλφατοξίνες είναι εξαιρετικά τοξικές και καρκινογόνες. Η κύρια επίδρασή τους στο σώμα αφορά το ήπαρ, καθώς προκαλούν οξείες ή χρόνιες ηπατικές βλάβες, ανάλογα με την ποσότητα που καταναλώνονται και την ανθεκτικότητα του οργανισμού. Σε μεγάλες ποσότητες, οι αλφατοξίνες μπορεί να οδηγήσουν σε οξεία δηλητηρίαση και θάνατο. Σε χαμηλότερες, μακροχρόνιες εκθέσεις, μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο του ήπατος, καθώς επηρεάζουν το DNA των κυττάρων, προκαλώντας μεταλλάξεις και καρκινογένεση. Επιπλέον, οι αλφατοξίνες καταστέλλουν το ανοσοποιητικό σύστημα, καθιστώντας τον οργανισμό πιο ευάλωτο σε λοιμώξεις και ασθένειες. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει επίσης ότι οι αλφατοξίνες επηρεάζουν την αναπαραγωγική υγεία, μειώνοντας την αναπαραγωγική ικανότητα των ζώων και προκαλώντας προβλήματα στην ανάπτυξη των νεογνών. Μπορούν να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα και να μολύνουν τους ανθρώπους μέσω των προϊόντων ζωικής προέλευσης, όπως το γάλα, το κρέας και τα αυγά. Αυτό συμβαίνει όταν τα ζώα καταναλώνουν μολυσμένες ζωοτροφές. Οι σωστές συνθήκες αποθήκευσης των καλλιεργειών, σε ξηρά και δροσερά περιβάλλοντα, μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη των μυκήτων και την παραγωγή αλφατοξινών. Επιπλέον, η τακτική επιθεώρηση των καλλιεργειών και η χρήση τεχνολογιών ανίχνευσης αλφατοξινών μπορούν να βοηθήσουν στον έλεγχο της παρουσίας τους στα τρόφιμα και τις ζωοτροφές. Σε περιπτώσεις όπου ανιχνεύονται αλφατοξίνες, οι μολυσμένες τροφές πρέπει να αποσύρονται ή να υφίστανται ειδική επεξεργασία για να μειωθεί η τοξικότητα τους [50]. Οι αλφατοξίνες είναι δευτερογενείς μεταβολίτες που παράγονται από διάφορα είδη μυκήτων, κυρίως του γένους *Aspergillus*, όπως προαναφέρθηκε και περιλαμβάνουν πολλές παραλλαγές όπως τις AFB1, AFB2, AFG1, AFG2, AFM1 και AFM2. Από όλες τις μορφές αλφατοξινών, η AFB1 θεωρείται η πιο τοξική και καρκινογόνος, ιδιαίτερα για τα ζώα και τον άνθρωπο. Η AFB1 μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας, όπως ανοσοκαταστολή, κίρρωση του ήπατος και ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα, με αποτέλεσμα σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία και στην οικονομία. Η AFB1 εισέρχεται στον οργανισμό κυρίως μέσω της κατανάλωσης μολυσμένων τροφίμων και ζωοτροφών. Μόλις εισέλθει στο σώμα, απορροφάται ταχύτατα από το γαστρεντερικό σύστημα και μεταφέρεται στο ήπαρ, όπου μεταβολίζεται από το σύστημα ενζύμων κυτοχρώματος P450. Το κυριότερο τοξικό παράγωγο αυτής της διαδικασίας είναι το AFB1-8,9-εποξείδιο, το οποίο είναι εξαιρετικά δραστικό και προκαλεί γονιδιακές βλάβες, ειδικά στο DNA. Το AFB1-8,9-εποξείδιο δεσμεύεται με το DNA, προκαλώντας μεταλλάξεις, όπως η προσθήκη της βάσης γουανίνης, που αποτελεί το κύριο

σημείο εκκίνησης για καρκινογένεση. Ένας από τους σημαντικούς μηχανισμούς δράσης της AFB1 είναι η παραγωγή αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS), τα οποία προκαλούν οξειδωτική βλάβη στα κύτταρα. Τα ROS καταστρέφουν λιπίδια, πρωτεΐνες και νουκλεϊκά οξέα, ενισχύοντας την κυτταρική δυσλειτουργία και οδηγώντας σε ηπατική βλάβη. Η παραγωγή των ROS συνδέεται επίσης με την απώλεια σταθερότητας της κυτταρικής μεμβράνης και την αναστολή ενζύμων που συμμετέχουν στην αντιοξειδωτική άμυνα, όπως η καταλάση και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης. Αυτή η οξειδωτική βλάβη συμβάλλει στην καρκινογένεση και στη βλάβη των ιστών του ήπατος. Η AFB1 μετατρέπεται επίσης σε υδροξυλιωμένα παράγωγα όπως το AFM1, το οποίο είναι συχνά ανιχνεύσιμο σε γάλα ζώων που καταναλώνουν μολυσμένες ζωοτροφές. Αν και το AFM1 είναι λιγότερο τοξικό από το AFB1, εξακολουθεί να είναι καρκινογόνο και έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να προκαλέσει σχηματισμό όγκων σε μελέτες με πειραματόζωα, όπως αρουραίους και πέστροφες. Το AFM1 εκκρίνεται σε σημαντικά επίπεδα στα ούρα και το γάλα, καθιστώντας το σημαντικό βιοδείκτη της έκθεσης στην AFB1. Άλλοι τύποι αλφατοξινών, όπως οι AFB2, AFG1 και AFG2, είναι λιγότερο τοξικοί από την AFB1, με την AFB2 να παρουσιάζει μόλις το 1-10% της τοξικότητας της AFB1. Παρόλα αυτά, όλες οι αλφατοξίνες έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν βλάβες, ανάλογα με τις συνθήκες έκθεσης και τον οργανισμό που τις προσλαμβάνει [51].

Οι ωχρατοξίνες αποτελούν μία ομάδα τοξικών μεταβολιτών που παράγονται από μύκητες του γένους *Aspergillus* και *Penicillium*. Η ωχρατοξίνη Α (Ochratoxin A ή OTA) είναι η πιο επικίνδυνη και διαδεδομένη μορφή αυτών των τοξινών, και έχει συνδεθεί με σοβαρά προβλήματα υγείας τόσο σε ανθρώπους όσο και σε ζώα. Οι ωχρατοξίνες απαντώνται σε διάφορα τρόφιμα, όπως τα δημητριακά, το κρέας, τα φρούτα, το κρασί, την μύρα, τον καφέ και άλλα προϊόντα. Η ύπαρξή τους οφείλεται κυρίως σε κακές συνθήκες αποθήκευσης, όπως υψηλή υγρασία και θερμοκρασία, που ευνοούν την ανάπτυξη των μυκήτων. Η ωχρατοξίνη Α είναι θερμοσταθερή, γεγονός που σημαίνει ότι παραμένει σε τροφές ακόμη και μετά από διαδικασίες όπως το ψήσιμο και η αποστείρωση. Μετά την πρόσληψή της, η OTA απορροφάται γρήγορα από τον γαστρεντερικό σωλήνα και δεσμεύεται ισχυρά με την αλβουμίνη του αίματος, κάτι που της προσδίδει μακρά ημίσεια ζωή στον οργανισμό. Η τοξικότητα της OTA εκδηλώνεται κυρίως στο ήπαρ και τα νεφρά, με τις κυριότερες συνέπειες να περιλαμβάνουν την ανάπτυξη νεφροπάθειας και καρκίνου, ενώ θεωρείται επίσης τερατογόνος και ανοσοκατασταλτική. Η OTA επιδεικνύει πολλαπλές τοξικές επιδράσεις, όπως την αναστολή της πρωτεϊνσύνθεσης, την παραγωγή οξειδωτικού στρες, και τη δέσμευση με το DNA, προκαλώντας μεταλλάξεις. Η αναστολή της πρωτεϊνσύνθεσης γίνεται μέσω της αναστολής του ενζύμου φαινυλαλανίνη- tRNA συνθετάσης, ενώ επηρεάζει επίσης τον ενεργειακό μεταβολισμό των κυττάρων, εμποδίζοντας τη μιτοχονδριακή λειτουργία. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι η OTA παράγει ελεύθερες ρίζες, οι οποίες προκαλούν οξειδωτική βλάβη στα λιπίδια, τις πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα, οδηγώντας σε βλάβες ιστών και καρκινογένεση. Οι ωχρατοξίνες δεσμεύονται με υψηλή συγγένεια στην αλβουμίνη, πράγμα που επηρεάζει τον χρόνο που παραμένουν στον οργανισμό και τη βραδεία αποβολή τους. Η OTA εναποτίθεται κυρίως στους νεφρούς και στο ήπαρ, ενώ σε ορισμένα είδη προκαλεί νεφροπάθεια που σχετίζεται με χρόνια έκθεση σε χαμηλές δόσεις, όπως η ενδημική νεφροπάθεια των Βαλκανίων. Η OTA συνδέεται με την ανάπτυξη νεφρικών όγκων, ενώ έχει ταξινομηθεί ως πιθανή καρκινογόνος ουσία για τον άνθρωπο από τον Διεθνή Οργανισμό Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) [52].

Η ζεαραλενόνη (ZEA) είναι μια μυκοτοξίνη που παράγεται από διάφορα είδη μύκητων, κυρίως του γένους *Fusarium*, και μολύνει συχνά δημητριακά όπως το σιτάρι, το κριθάρι, το ρύζι και το καλαμπόκι. Η ζεαραλενόνη δρα ως μυκοοιστρογόνο, κάτι που σημαίνει ότι μιμείται τη δράση των οιστρογόνων στο σώμα, προκαλώντας σημαντικές διαταραχές στο αναπαραγωγικό σύστημα των ζώων. Οι χοίροι είναι τα πιο ευαίσθητα ζώα στη ζεαραλενόνη, και οι επιπτώσεις

περιλαμβάνουν ατροφία ωοθηκών, ψευδοκύηση, παρατεταμένο οίστρο, υπογονιμότητα και αποβολές. Τα συμπτώματα αυτά παρατηρούνται κυρίως σε προεφηβικές χοιρομητέρες. Η ζεαραλενόνη μεταβολίζεται σε δύο κύρια ισομερή, την άλφα-ζεαραλενόλη (α -ZOL) και τη βήτα-ζεαραλενόλη (β -ZOL), τα οποία έχουν παρόμοιες δράσεις με την ίδια τη ζεαραλενόνη, αλλά η άλφα-ζεαραλενόλη είναι πιο δραστική. Αυτές οι μορφές μεταβολίζονται στο ήπαρ και απεκκρίνονται μέσω της χολής και των ούρων, αλλά η έκταση και η ταχύτητα του μεταβολισμού ποικίλλουν ανάμεσα σε διάφορα είδη ζώων. Για παράδειγμα, οι χοίροι έχουν χαμηλότερη ικανότητα γλυκουρονιδίωσης της ζεαραλενόνης, γεγονός που εξηγεί την ευαισθησία τους στη συγκεκριμένη τοξίνη. Η βιοχημική δράση της ζεαραλενόνης περιλαμβάνει τη σύνδεση με υποδοχείς οιστρογόνων στους ιστούς-στόχους, όπως η μήτρα και οι ωοθήκες. Η σύνδεση αυτή οδηγεί σε ενεργοποίηση γονιδιακής έκφρασης που είναι υπεύθυνη για την παραγωγή ορμονών και άλλων παραγόντων που ρυθμίζουν την αναπαραγωγική λειτουργία. Επιπλέον, η ζεαραλενόνη και τα παράγωγά της μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση στεροειδών ορμονών, επηρεάζοντας την παραγωγή προγεστερόνης και άλλων βασικών ορμονών για την αναπαραγωγή. Παρόλο που οι χοίροι είναι οι πιο ευαίσθητοι στη ζεαραλενόνη, η τοξίνη μπορεί να επηρεάσει και άλλα ζώα, όπως τα βοοειδή, τα πρόβατα και τα πουλερικά, αν και σε μικρότερο βαθμό. Σε προβατίνες, έχει παρατηρηθεί μείωση της ωορρηξίας και αποβολές σε υψηλές δόσεις. Οι όρνιθες παρουσιάζουν επίσης αντοχή στη ζεαραλενόνη, αλλά ενδέχεται να παρατηρηθεί αύξηση των ωοθυλακίων και διόγκωση των αναπαραγωγικών οργάνων σε μεγάλες δόσεις. Η έκθεση των ζώων στη ζεαραλενόνη δεν περιορίζεται μόνο σε τοξικά επίπεδα που προκαλούν ορατά κλινικά συμπτώματα, αλλά και σε χαμηλότερες δόσεις, όπου μπορεί να υπάρξουν υποκλινικές επιδράσεις, όπως διαταραχές στην αναπαραγωγική λειτουργία χωρίς άμεσα ορατά σημάδια [53].

Οι τριχοθηκένες είναι μια ομάδα μυκοτοξινών που παράγονται από μύκητες όπως τα *Fusarium*, *Myrothecium*, *Stachybotrys*, και *Trichoderma*. Κυρίως παράγονται από είδη *Fusarium* που μολύνουν τα δημητριακά, όπως το σιτάρι, το κριθάρι και το καλαμπόκι. Αυτές οι τοξίνες αποτελούν ισχυρούς αναστολείς της πρωτεϊνοσύνθεσης στα ευκαρυωτικά κύτταρα, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα τοξικές για τους ζώντες οργανισμούς, είτε πρόκειται για ζώα είτε για ανθρώπους που καταναλώνουν μολυσμένα δημητριακά. Οι τριχοθηκένες ταξινομούνται σε τέσσερις βασικούς τύπους (Τύποι Α έως Δ), ανάλογα με τη χημική τους δομή. Τα είδη *Fusarium* που παράγουν τριχοθηκένες συνδέονται στενά με την ασθένεια *Fusarium head blight* (FHB), μια σοβαρή ασθένεια των δημητριακών που οδηγεί σε σημαντικές απώλειες παραγωγής. Οι τριχοθηκένες εκκρίνονται από τους μύκητες κατά τη διάρκεια της λοίμωξης και συσσωρεύονται στα μολυσμένα φυτικά ιστία, όπως στα άγανα και στα κεφάλια των σιτηρών. Εκτός από τη λοίμωξη των δημητριακών, οι τριχοθηκένες μπορούν να παραμείνουν στα υπολείμματα της καλλιέργειας, γεγονός που καθιστά τις τοξίνες επικίνδυνες ακόμα και μετά τη συγκομιδή. Οι κύριοι τύποι τριχοθηκενών είναι οι τύποι Α και Β. Ο Τύπος Α περιλαμβάνει την τοξίνη T-2 και την HT-2 τοξίνη, ενώ ο Τύπος Β περιλαμβάνει το νιβαλενόλη (NIV) και τη δεοξυνιβαλενόλη (DON), γνωστή και ως «τοξίνη του εμέτου». Αυτές οι τοξίνες προκαλούν ποικίλες βλάβες στα ζώα και τους ανθρώπους, όπως διάρροια, ανορεξία, καταστροφή του ανοσοποιητικού συστήματος και σοβαρά γαστρεντερικά προβλήματα. Οι τριχοθηκένες αναστέλλουν τη σύνθεση πρωτεϊνών με το να δεσμεύονται στις ριβοσωματικές μονάδες 60S, γεγονός που καταστέλλει τον σχηματισμό των πεπτιδίων και οδηγεί σε κυτταρική βλάβη. Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα επιδημιών που συνδέονται με τις τριχοθηκένες είναι η *Alimentary Toxic Aleukia* (ATA), μια θανάσιμη ασθένεια που επηρέασε τη Σιβηρία τον 20ο αιώνα, όπου άνθρωποι κατανάλωναν μολυσμένο σιτάρι. Οι άνθρωποι που εκτέθηκαν στις τοξίνες παρουσίασαν σοβαρά συμπτώματα, όπως αιμορραγία, νέκρωση, και σε πολλές περιπτώσεις θάνατο. Τα ίδια συμπτώματα εμφανίστηκαν και σε ζώα που καταναλώνουν μολυσμένη τροφή. Η πρόληψη της μόλυνσης με τριχοθηκένες περιλαμβάνει την αποφυγή μόλυνσης των καλλιεργειών με τους μύκητες *Fusarium* μέσω της επιλογής ανθεκτικών

ποικιλιών και την εφαρμογή βελτιωμένων γεωργικών πρακτικών. Επίσης, η αποθήκευση των δημητριακών σε κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας είναι σημαντική για τη μείωση της παραγωγής μυκοτοξινών [54].

Οι φουμονισίνες είναι μια ομάδα μυκοτοξινών που παράγονται κυρίως από τους μύκητες *Fusarium verticillioides* και *Fusarium proliferatum*, και βρίσκονται κυρίως σε καλαμπόκι και προϊόντα που περιέχουν καλαμπόκι. Η φουμονισίνη B1 (FB1) είναι η πιο κοινή και καλά μελετημένη από αυτές τις τοξίνες. Οι φουμονισίνες είναι τοξικές για όλα τα είδη ζώων, επηρεάζοντας κυρίως το ήπαρ και τα νεφρά. Σε άλλα, η κατανάλωση φουμονισίνης έχει συνδεθεί με την εμφάνιση της λευκοεγκεφαλομαλάκωσης, μιας σοβαρής νόσου που οδηγεί σε εκτεταμένη εγκεφαλική βλάβη. Στους χοίρους, η φουμονισίνη προκαλεί πνευμονικό οίδημα, μια σοβαρή αναπνευστική διαταραχή που μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο. Η τοξικότητα της φουμονισίνης εξαρτάται από το επίπεδο της έκθεσης, καθώς και από το είδος του ζώου, με τους χοίρους και τα άλλα να είναι τα πιο ευαίσθητα είδη. Η φουμονισίνη διαταράσσει τον μεταβολισμό των σφίγγολιπιδίων, αναστέλλοντας τη σύνθεση της κεραμίδης, ενός σημαντικού μορίου για την κυτταρική ακεραιότητα. Αυτό οδηγεί σε συσσώρευση της σφιγγανοσίνης και της σφιγγανίνης, δύο προδρόμων της κεραμίδης, στα όργανα και τους ιστούς, προκαλώντας κυτταρικό θάνατο. Η συσσώρευση αυτών των μορίων έχει ως αποτέλεσμα βλάβες στα κύτταρα του ήπατος και των νεφρών, προκαλώντας απόπτωση και νέκρωση. Επιπλέον, η αναστολή της σύνθεσης των σφίγγολιπιδίων μπορεί να διαταράξει τις κυτταρικές λειτουργίες και να οδηγήσει σε ασθένειες όπως το καρκίνο, η νεφροπάθεια και η καρδιοπάθεια. Στους χοίρους, η κατανάλωση φουμονισίνης προκαλεί πνευμονικό οίδημα και οξεία καρδιοπνευμονική ανεπάρκεια, ενώ στα άλλα προκαλεί εγκεφαλική νέκρωση, που μπορεί να είναι θανατηφόρα. Τα σημάδια τοξικότητας περιλαμβάνουν διαταραχές στην κίνηση, σπασμούς, και σε ορισμένες περιπτώσεις, ξαφνικό θάνατο. Παρόλο που οι φουμονισίνες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα άλλα και τους χοίρους, τα βοοειδή και τα πουλερικά είναι πιο ανθεκτικά στην τοξικότητα τους, αλλά μπορούν να παρουσιάσουν ηπατική βλάβη σε υψηλές δόσεις. Ο μεταβολισμός και η αποβολή των φουμονισινών ποικίλλει μεταξύ των ζώων, αλλά γενικά αποβάλλονται κυρίως μέσω των κοπράνων, ενώ μικρό ποσοστό αποβάλλεται μέσω των ούρων. Οι φουμονισίνες δεν απορροφώνται καλά από τον οργανισμό και συνήθως δεν συσσωρεύονται στα τρόφιμα που παράγονται από ζώα, όπως το γάλα και το κρέας, καθιστώντας την κατανάλωση τέτοιων προϊόντων σχετικά ασφαλή για τον άνθρωπο [55].

2.2. Ανάλυση τοξινών: Χημικές και βιομοριακές μέθοδοι **ΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Υπάρχουν χημικές και φυσικοχημικές μέθοδοι ανάλυσης τοξινών που περιλαμβάνουν την υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) σε συνδυασμό με ανίχνευση μαζών (mass spectrometry - MS), αλλά και άλλες τεχνικές όπως η μικροηλεκτροφορητική χρωματογραφία και η ανοσοπροσδιοριστική μέθοδος ELISA. Ανάμεσα στις τοξίνες που αναλύονται είναι η βρεβετοξίνη, η σπιροειδής τοξίνη, η οκαδική τοξίνη και άλλες τοξίνες που προκαλούν δηλητηρίαση από θαλάσσιους οργανισμούς. Η χρήση συνδυασμού χρωματογραφίας και μαζικής φασματομετρίας επιτρέπει την αναγνώριση και ποσοτική ανάλυση μικροσκοπικών ποσοτήτων τοξινών σε μικροπεριβάλλοντα, όπως τα όργανα και τα κύτταρα. Αυτές οι τεχνικές έχουν αυξήσει σημαντικά την ευαισθησία και την ακρίβεια των αναλύσεων σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους, όπως τα πειράματα με ζωντανά ζώα. Οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν επίσης τη μικροηλεκτροφορητική χρωματογραφία (MEKC), η οποία σε συνδυασμό με τη φθορίζουσα ανίχνευση με λέιζερ παρέχει εξαιρετική ευαισθησία, ειδικά για τις βρεβετοξίνες. Επιπλέον, αναφέρονται βιοαναλυτικές τεχνικές όπως τα ανοσοπροσδιοριστικά τεστ ELISA, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ταχεία ανίχνευση τοξινών μέσω της βιολογικής δραστηριότητάς τους, αποφεύγοντας τη χρήση ζωντανών ζώων.

Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ αντιγόνου και αντισώματος για την ανίχνευση των τοξινών [57].

Η ανάλυση των τοξινών είναι κρίσιμη για την ασφάλεια των τροφίμων και ζωοτροφών, καθώς και για την προστασία της ανθρώπινης και ζωικής υγείας. Οι χημικές μέθοδοι ανάλυσης είναι από τις πιο αξιόπιστες τεχνικές για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση τοξινών σε διάφορα δείγματα, όπως δημητριακά, καλαμπόκι και άλλα τρόφιμα που είναι ευάλωτα σε μυκοτοξίνες. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν πολλαπλά στάδια, από την προεπεξεργασία και την εκχύλιση, έως τον διαχωρισμό και την τελική ανίχνευση, παρέχοντας ακριβή αποτελέσματα για τις συγκεντρώσεις τοξικών ουσιών.

Προεπεξεργασία Δειγμάτων και Εκχύλιση Τοξινών

Η εκχύλιση αποτελεί το πρώτο βήμα στην ανάλυση τοξινών, και είναι απαραίτητη για την απομόνωση των τοξινών από τα σύνθετα δείγματα. Για παράδειγμα, η υγρο-υγρή εκχύλιση (LLE) χρησιμοποιείται συχνά για να απομονωθούν οι τοξίνες από το δείγμα με τη χρήση διαλυτών. Αυτή η τεχνική στηρίζεται στη διαφορά διαλυτότητας μεταξύ της τοξίνης και άλλων συστατικών του δείγματος, επιτρέποντας τον διαχωρισμό της τοξίνης από τα υπόλοιπα μόρια. Η εκχύλιση με υπερκρίσιμα υγρά (SFE) είναι μια πιο σύγχρονη τεχνική, η οποία χρησιμοποιεί διοξείδιο του άνθρακα ως διαλύτη σε υπερκρίσιμες συνθήκες, προσφέροντας μεγαλύτερη αποδοτικότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Στη συνέχεια, η στερεά φάση εκχύλισης (SPE) είναι μια άλλη μέθοδος που βασίζεται στην προσρόφηση της τοξίνης σε μια στερεή επιφάνεια και την απομάκρυνσή της με έναν οργανικό διαλύτη. Η SPE είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για δείγματα με πολύπλοκη μήτρα, όπως τρόφιμα και βιολογικά δείγματα, καθώς προσφέρει καθαρισμό και συγκέντρωση της τοξίνης σε ένα στάδιο.

Μέθοδοι Διαχωρισμού Τοξινών

Η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) είναι από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές διαχωρισμού για την ανάλυση τοξινών. Η HPLC χρησιμοποιεί μια στήλη γεμισμένη με υλικά διαχωρισμού, από την οποία διέρχεται το δείγμα υπό πίεση. Καθώς το δείγμα περνάει μέσα από τη στήλη, τα διαφορετικά μόρια (συμπεριλαμβανομένων των τοξινών) αλληλεπιδρούν διαφορετικά με το υλικό διαχωρισμού, με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται τα μόρια ανάλογα με τη χημική τους φύση. Για παράδειγμα, οι υδρόφιλες τοξίνες μπορεί να καθυστερούν περισσότερο μέσα στη στήλη σε σχέση με τις υδρόφοβες, επιτρέποντας τον ακριβή διαχωρισμό. Η HPLC συχνά συνδυάζεται με φασματομετρία μαζών (LC-MS), μια πανίσχυρη τεχνική που επιτρέπει την ακριβή ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των τοξινών. Στη φασματομετρία μαζών, τα μόρια ιονίζονται και διαχωρίζονται με βάση τον λόγο μάζας-φορτίου, επιτρέποντας την αναγνώρισή τους με μεγάλη ακρίβεια. Η LC-MS είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για τη μελέτη μικρών μορίων όπως οι τοξίνες, καθώς προσφέρει υψηλή ευαισθησία και δυνατότητα ανάλυσης πολύπλοκων μειγμάτων. Μια ακόμη τεχνική διαχωρισμού που χρησιμοποιείται για την ανάλυση τοξινών είναι η λεπτή στιβάδα χρωματογραφία (TLC). Η TLC είναι μια απλούστερη και οικονομικότερη μέθοδος από την HPLC, και χρησιμοποιείται κυρίως για ποιοτική ανάλυση. Στη TLC, τα συστατικά του δείγματος διαχωρίζονται σε μια λεπτή στιβάδα στερεού υλικού, όπως το πυρίτιο, υπό την επίδραση ενός διαλύτη. Οι τοξίνες διαχωρίζονται ανάλογα με την αλληλεπίδρασή τους με τη στερεή και την κινητή φάση, και τα αποτελέσματα αναλύονται με βάση τη θέση και την ένταση των κηλίδων που σχηματίζονται.

Μέθοδοι Ανίχνευσης Τοξινών

Μετά τον διαχωρισμό των τοξινών, οι τεχνικές ανίχνευσης είναι το τελικό βήμα που καθορίζει την ευαισθησία και την αξιοπιστία της ανάλυσης. Η ανοσοπροσδιοριστική μέθοδος ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) είναι μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές για την

ταχεία ανίχνευση τοξινών σε τρόφιμα και ζωοτροφές. Παρόλο που η ELISA είναι οικονομική και εύκολη στη χρήση, η ευαισθησία της είναι χαμηλότερη σε σχέση με πιο προηγμένες τεχνικές όπως η LC-MS. Άλλη σημαντική τεχνική ανίχνευσης είναι η αέρια χρωματογραφία (GC), η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση πτητικών τοξινών. Η GC συνδυάζεται συχνά με φασματομετρία μαζών (GC-MS) για να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια και ευαισθησία στην ανάλυση. Η GC χρησιμοποιεί ένα αδρανές αέριο για να μεταφέρει τα μόρια μέσα από τη στήλη, όπου τα μόρια διαχωρίζονται με βάση το σημείο βρασμού τους. Η GC-MS είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση τοξινών που απαιτούν λεπτομερή ανάλυση των συστατικών τους, όπως ορισμένες περιβαλλοντικές τοξίνες και χημικά υπολείμματα. Οι χημικές μέθοδοι ανάλυσης τοξινών προσφέρουν ακρίβεια και ευαισθησία στην ανίχνευση επικίνδυνων ουσιών σε τρόφιμα και ζωοτροφές. Οι τεχνικές αυτές έχουν εξελιχθεί με την πάροδο των ετών και περιλαμβάνουν σύγχρονες μεθόδους όπως η HPLC, η φασματομετρία μαζών και η ανοσοπροσδιοριστική μέθοδος ELISA. Κάθε μέθοδος προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα ανάλογα με το είδος της τοξίνης και τις απαιτήσεις της ανάλυσης, επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση και την αξιολόγηση των επιπέδων των τοξινών με μεγάλη ακρίβεια [57].

ΒΙΟΜΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι βιομοριακές μέθοδοι ανάλυσης τοξινών έχουν φέρει επανάσταση στον τομέα της ανίχνευσης τοξικών ουσιών σε τρόφιμα και περιβαλλοντικά δείγματα. Με τεχνικές όπως η ELISA, η PCR, οι ανοσοαισθητήρες και οι ραδιοανοσολογικές μέθοδοι, οι επιστήμονες μπορούν να ανιχνεύσουν τις τοξίνες με ακρίβεια, ταχύτητα και ευαισθησία, επιτρέποντας τη λήψη μέτρων για την προστασία της δημόσιας υγείας. Αν και κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, η συνεχής εξέλιξη των βιομοριακών τεχνικών αναμένεται να βελτιώσει ακόμα περισσότερο την ανίχνευση τοξινών στο μέλλον. Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στη χρήση βιολογικών μορίων όπως DNA, RNA, πρωτεΐνες και αντισώματα, για την ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση συγκεκριμένων τοξινών με εξαιρετική ακρίβεια και ευαισθησία. Η σημασία αυτών των μεθόδων έχει αυξηθεί σημαντικά, καθώς παρέχουν ταχεία, αξιόπιστη και ποσοτική ανίχνευση ακόμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις τοξινών, καθιστώντας τις κρίσιμες για την ασφάλεια των τροφίμων και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος.

ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)

Η ανοσοπροσδιοριστική μέθοδος ELISA είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την ανίχνευση τοξινών σε δείγματα. Η μέθοδος βασίζεται στη χρήση αντισωμάτων, τα οποία είναι πρωτεΐνες που αναγνωρίζουν συγκεκριμένες τοξίνες. Σε αυτή τη διαδικασία, ένα δείγμα τοξίνης αλληλεπιδρά με ένα αντίσωμα που έχει προσδεθεί σε μια επιφάνεια, συνήθως μια μικροπλάκα. Εάν η τοξίνη είναι παρούσα στο δείγμα, θα δεσμευτεί στο αντίσωμα. Στη συνέχεια, προστίθεται ένα ένζυμο που παράγει χρωματική αλλαγή όταν έρθει σε επαφή με την τοξίνη, και αυτή η αλλαγή μετράται με τη χρήση ενός φασματοφωτόμετρου. Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης της τοξίνης στο δείγμα. Η ELISA προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς είναι εύκολη στη χρήση, γρήγορη και οικονομική. Είναι κατάλληλη για μεγάλες παρτίδες δειγμάτων, κάτι που την καθιστά ιδανική για τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων σε βιομηχανική κλίμακα. Ωστόσο, έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Παρόλο που η ευαισθησία της είναι αρκετά καλή, δεν είναι τόσο υψηλή όσο πιο προηγμένες τεχνικές όπως η φασματομετρία μαζών. Επιπλέον, οι ELISA μπορεί να εμφανίσουν διασταυρούμενη αντίδραση με άλλες ενώσεις που έχουν παρόμοια δομή με την τοξίνη, οδηγώντας σε ψευδώς θετικά αποτελέσματα.

PCR (Polymerase Chain Reaction)

Η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) αποτελεί μια εξαιρετικά ευαίσθητη μέθοδο για την ανίχνευση DNA ή RNA από οργανισμούς που παράγουν τοξίνες. Αυτή η μέθοδος

χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του γονιδιακού υλικού των μικροοργανισμών που παράγουν τις τοξίνες, όπως οι μύκητες που παράγουν μυκοτοξίνες. Η διαδικασία περιλαμβάνει την απομόνωση του DNA από το δείγμα και στη συνέχεια την πολλαπλασιαστική ενίσχυση συγκεκριμένων τμημάτων του DNA, χρησιμοποιώντας εκκινητές (primers) που είναι ειδικά για το γονιδιακό υλικό του μικροοργανισμού που παράγει την τοξίνη. Η PCR προσφέρει πολύ υψηλή ευαισθησία και μπορεί να ανιχνεύσει ακόμη και μικρά ίχνη τοξικών μικροοργανισμών. Επιπλέον, η μέθοδος είναι εξαιρετικά εξειδικευμένη, καθώς στοχεύει συγκεκριμένα γονίδια που σχετίζονται με την παραγωγή τοξινών. Ωστόσο, η PCR είναι μια σχετικά ακριβή τεχνική και απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και προσωπικό. Παράλληλα, μπορεί να υπάρξουν ψευδώς θετικά αποτελέσματα εάν το DNA από άλλους οργανισμούς μολύνει το δείγμα κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας.

Μοριακοί Δείκτες και Ανοσοαισθητήρες

Οι μοριακοί δείκτες και οι ανοσοαισθητήρες χρησιμοποιούνται επίσης για την ανίχνευση τοξινών. Οι ανοσοαισθητήρες βασίζονται στη χρήση αντισωμάτων ή άλλων αναγνωριστικών μορίων που δεσμεύουν συγκεκριμένα την τοξίνη. Όταν η τοξίνη συνδεθεί με το αντίσωμα, δημιουργείται ένα σήμα, το οποίο μπορεί να μετρηθεί ηλεκτροχημικά ή οπτικά, ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα. Οι ανοσοαισθητήρες προσφέρουν γρήγορη ανίχνευση και υψηλή εξειδίκευση, επιτρέποντας την ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Παράλληλα, παρέχουν τη δυνατότητα ανάλυσης τοξινών σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας τους ιδανικούς για περιβαλλοντική παρακολούθηση και ανίχνευση τοξινών σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Ραδιοανοσολογικές Μέθοδοι

Οι ραδιοανοσολογικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση τοξινών σε χαμηλές συγκεντρώσεις και στηρίζονται στη χρήση ραδιοσημασμένων μορίων που δεσμεύονται με την τοξίνη. Η τοξίνη από το δείγμα ανταγωνίζεται με το ραδιοσημασμένο μόριο για τη δέσμευση στο αντίσωμα. Η ποσότητα της τοξίνης στο δείγμα καθορίζεται από την ποσότητα του ραδιοσημασμένου μορίου που δεσμεύεται από το αντίσωμα. Αυτές οι μέθοδοι είναι πολύ ευαίσθητες, αλλά η χρήση ραδιοενεργών ουσιών τις καθιστά λιγότερο δημοφιλείς λόγω των περιορισμών ασφαλείας που απαιτούνται [58].

2.3. Πρόληψη και απομάκρυνση τοξινών στις ζωοτροφές

Η πρόληψη και απομάκρυνση των μυκοτοξινών στις ζωοτροφές είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της υγείας των ζώων και της ποιότητας των προϊόντων που προέρχονται από αυτά. Οι στρατηγικές πρόληψης, όπως οι σωστές αγρονομικές πρακτικές και η κατάλληλη αποθήκευση, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον κίνδυνο μόλυνσης από μυκοτοξίνες.

➤ Πρόληψη της Ανάπτυξης Μυκήτων και Μυκοτοξινών

Η πρώτη γραμμή άμυνας ενάντια στις μυκοτοξίνες ξεκινά από την πρόληψη της ανάπτυξης των μυκήτων που τις παράγουν. Η πρόληψη είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς οι μυκοτοξίνες παράγονται από μύκητες του γένους *Fusarium*, *Aspergillus*, και *Penicillium* κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, της συγκομιδής, και της αποθήκευσης των σιτηρών και άλλων ζωοτροφών.

▪ Αγρονομικές Πρακτικές

Οι σωστές αγρονομικές πρακτικές είναι θεμελιώδεις για την πρόληψη της ανάπτυξης μυκήτων στις καλλιέργειες. Η επιλογή ανθεκτικών ποικιλιών φυτών που είναι λιγότερο ευαίσθητες σε μυκητιακές λοιμώξεις είναι μια στρατηγική που μπορεί να μειώσει την πιθανότητα μόλυνσης από μυκοτοξίνες. Η βελτιστοποίηση των μεθόδων άρδευσης για την αποφυγή υπερβολικής υγρασίας και η σωστή διαχείριση των φυτοφαρμάκων και των λιπασμάτων είναι επίσης

απαραίτητες για τον περιορισμό της εξάπλωσης των μυκήτων. Η έγκαιρη συγκομιδή είναι καθοριστική για την πρόληψη της προσβολής από μύκητες, καθώς η καθυστέρηση της συγκομιδής μπορεί να αυξήσει την υγρασία στις καλλιέργειες, γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη των μυκήτων.

▪ **Σωστή Αποθήκευση των Ζωοτροφών**

Η αποθήκευση των ζωοτροφών είναι ένα κρίσιμο στάδιο για την πρόληψη της ανάπτυξης των μυκήτων και της παραγωγής μυκοτοξινών. Οι ζωοτροφές πρέπει να αποθηκεύονται σε περιβάλλοντα με χαμηλή υγρασία, ιδανικά κάτω από 13%, και με κατάλληλο αερισμό για να αποτραπεί η συσσώρευση υγρασίας. Η υγρασία είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που ενισχύουν την ανάπτυξη των μυκήτων, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν επίσης να επιδεινώσουν την κατάσταση. Οι σιταποθήκες πρέπει να είναι καλά κλειστές και να προστατεύονται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως έντομα και τρωκτικά, τα οποία μπορούν να συμβάλουν στη διάδοση μυκήτων. Τακτικές επιθεωρήσεις και καθαρισμοί των αποθηκών είναι απαραίτητοι για να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη μυκήτων. Η χρήση ξηραντήρων ή αφυγραντήρων μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση χαμηλών επιπέδων υγρασίας στις αποθήκες, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο ανάπτυξης μυκοτοξινών [59].

➤ **Απομάκρυνση και Μείωση Μυκοτοξινών**

Σε περιπτώσεις που οι ζωοτροφές έχουν ήδη μολυνθεί με μυκοτοξίνες, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την απομάκρυνση ή τη μείωση της τοξικότητάς τους. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές τεχνικές, οι οποίες αποσκοπούν στη μείωση των επιπέδων των μυκοτοξινών στα αποθηκευμένα προϊόντα.

▪ **Φυσικές Μέθοδοι Απομάκρυνσης**

Μία από τις πιο απλές φυσικές μεθόδους απομάκρυνσης των μυκοτοξινών είναι ο διαχωρισμός των μολυσμένων κόκκων μέσω καθαριστικών μηχανημάτων που αφαιρούν τα κατεστραμμένα ή μολυσμένα τμήματα των σιτηρών. Αυτή η τεχνική, αν και δεν μπορεί να αφαιρέσει πλήρως τις τοξίνες, μπορεί να μειώσει σημαντικά τα επίπεδα μόλυνσης. Επιπλέον, η θερμική επεξεργασία των ζωοτροφών, όπως η παστερίωση ή το ψήσιμο, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των μυκοτοξινών, παρόλο που ορισμένες τοξίνες, όπως οι αφλατοξίνες, είναι θερμοανθεκτικές και παραμένουν ανθεκτικές σε υψηλές θερμοκρασίες. Αν και η θερμική επεξεργασία δεν είναι απόλυτα αποτελεσματική για όλες τις τοξίνες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων.

▪ **Χημικές Μέθοδοι Αποτοξίνωσης**

Η χρήση χημικών προσροφητικών ουσιών είναι μια αποτελεσματική τεχνική για τη δέσμευση των μυκοτοξινών και την αποτροπή της απορρόφησής τους από το πεπτικό σύστημα των ζώων. Υλικά όπως οι υδατοποιημένοι νατριούχοι αργιλοπυριτικοί άλατες, οι ζεόλιθοι, και άλλοι προσροφητικοί παράγοντες προστίθενται στις ζωοτροφές και δεσμεύουν τις τοξίνες, αποτρέποντας την απορρόφησή τους από το γαστρεντερικό σωλήνα των ζώων. Οι προσροφητικές αυτές ουσίες λειτουργούν μέσω της φυσικής ή χημικής αλληλεπίδρασης με τις τοξίνες, δημιουργώντας σταθερούς δεσμούς που δεν μπορούν να διασπαστούν από το σώμα των ζώων. Επιπλέον, χημικές ενώσεις όπως το όζον και το υπεροξείδιο του υδρογόνου έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διάσπαση των μυκοτοξινών σε λιγότερο τοξικά παράγωγα. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης ή της επεξεργασίας των ζωοτροφών και προσφέρουν έναν τρόπο μείωσης της τοξικότητας των μολυσμένων προϊόντων.

▪ Βιολογικές Μέθοδοι Απομάκρυνσης

Οι βιολογικές μέθοδοι αποτοξίνωσης περιλαμβάνουν τη χρήση μικροοργανισμών ή ενζύμων για τη διάσπαση ή τον μεταβολισμό των τοξινών σε λιγότερο τοξικά προϊόντα. Ορισμένα βακτήρια, όπως οι γαλακτοβάκιλλοι και οι βακτήρια του γένους *Bacillus*, έχουν αποδειχθεί ικανά να μεταβολίζουν μυκοτοξίνες και να μειώνουν την τοξικότητά τους. Επιπλέον, ένζυμα όπως οι μυκοτοξινάσες διασπούν τους μοριακούς δεσμούς των μυκοτοξινών και τις καθιστούν ακίνδυνες. Η χρήση βιολογικών μέσων για τη μείωση της τοξικότητας των μολυσμένων ζωοτροφών είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος, καθώς προσφέρει φυσικές λύσεις χωρίς τη χρήση χημικών ουσιών. Ωστόσο, η εφαρμογή αυτών των τεχνικών απαιτεί περαιτέρω έρευνα για να διασφαλιστεί η αποδοτικότητά τους σε βιομηχανική κλίμακα [59].

2.4. Νομοθεσία τοξινών

Η νομοθεσία που αφορά τις μυκοτοξίνες στην Ελλάδα ακολουθεί τις κατευθυντήριες γραμμές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ασφάλεια των τροφίμων και των ζωοτροφών. Οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθορίζουν τα επιτρεπόμενα όρια για τις διάφορες μυκοτοξίνες στις ζωοτροφές και τα τρόφιμα, με σκοπό την προστασία της υγείας των ζώων και των ανθρώπων που καταναλώνουν ζωικά προϊόντα. Στην Ελλάδα, η νομοθεσία για τις μυκοτοξίνες είναι εναρμονισμένη με αυτή της ΕΕ και περιλαμβάνει συγκεκριμένους κανονισμούς που ρυθμίζουν τις ποσότητες των μυκοτοξινών στις ζωοτροφές και τα τρόφιμα. Η κύρια ευρωπαϊκή νομοθεσία που αφορά τις μυκοτοξίνες περιλαμβάνει δύο βασικούς κανονισμούς: τον Κανονισμό 1881/2006 και τον Κανονισμό 401/2006. Ο πρώτος κανονισμός καθορίζει τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια για διάφορες μυκοτοξίνες, όπως οι αλφατοξίνες, οι ωχρατοξίνες, οι φουμονισίνες και οι τριχοθηκένες, σε τρόφιμα και ζωοτροφές. Ο δεύτερος κανονισμός καθορίζει τη διαδικασία δειγματοληψίας και ανάλυσης που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της παρουσίας αυτών των τοξινών στα τρόφιμα. Τα ανώτατα όρια εξαρτώνται από το είδος της τροφής ή της ζωοτροφής και τον τύπο της μυκοτοξίνης. Τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των πιο συνηθισμένων μυκοτοξινών στις ζωοτροφές διαφέρουν ανάλογα με το είδος της ζωοτροφής. Για παράδειγμα, οι αλφατοξίνες στις ζωοτροφές για ζώα παραγωγής, το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο αλφατοξινών είναι 20 μικρογραμμάρια ανά κιλό, ενώ για το γάλα, το όριο για την αλφατοξίνη M1 είναι 0,05 μικρογραμμάρια ανά κιλό, ενώ οι ωχρατοξίνες επιτρέπονται σε πολύ χαμηλότερες ποσότητες, από 0,05 έως 5 μικρογραμμάρια ανά κιλό. Για τις φουμονισίνες και τις τριχοθηκένες, τα επιτρεπόμενα όρια κυμαίνονται επίσης σε αντίστοιχες χαμηλές ποσότητες. Αυτά τα όρια διασφαλίζουν ότι οι ζωοτροφές που χρησιμοποιούνται για τη διατροφή των ζώων δεν περιέχουν τοξικές ποσότητες μυκοτοξινών, οι οποίες μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ζώων και να περάσουν στην τροφική αλυσίδα. Στην Ελλάδα, ο Ενιαίος Φορέας Ελέγχου Τροφίμων, γνωστός ως ΕΦΕΤ, είναι ο κύριος οργανισμός που είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της παρουσίας μυκοτοξινών στις ζωοτροφές και τα τρόφιμα. Ο ΕΦΕΤ πραγματοποιεί τακτικούς ελέγχους μέσω δειγματοληψίας και εργαστηριακής ανάλυσης για να διασφαλίσει ότι οι ζωοτροφές και τα τρόφιμα συμμορφώνονται με τα επιτρεπόμενα όρια που θέτει η νομοθεσία. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι τα προϊόντα υπερβαίνουν αυτά τα όρια, οι παραγωγοί αντιμετωπίζουν κυρώσεις, όπως πρόστιμα, απόσυρση των προϊόντων από την αγορά ή ακόμα και την παύση της παραγωγικής τους διαδικασίας. Εκτός από τους ελέγχους, η νομοθεσία περιλαμβάνει και κατευθυντήριες γραμμές για την πρόληψη της μόλυνσης των ζωοτροφών με μυκοτοξίνες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της σωστής αποθήκευσης των ζωοτροφών σε ξηρές και καλά αεριζόμενες συνθήκες, ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη μυκήτων. Επίσης, προτείνεται η χρήση προσθέτων στις ζωοτροφές, τα οποία μπορούν να δεσμεύσουν ή να αποτοξινώσουν τις μυκοτοξίνες και να μειώσουν την τοξική τους επίδραση στον οργανισμό των ζώων. Η νομοθεσία για τις μυκοτοξίνες στην Ελλάδα και την Ευρώπη έχει ως κύριο στόχο την προστασία της υγείας των ζώων και των καταναλωτών, διασφαλίζοντας ότι οι ζωοτροφές και

τα προϊόντα ζωικής προέλευσης είναι ασφαλή για κατανάλωση. Μέσω των τακτικών ελέγχων και της εφαρμογής αυστηρών κανονισμών, προσπαθεί να μειώσει την πιθανότητα παρουσίας υψηλών ποσοτήτων μυκοτοξινών στις ζωοτροφές, προστατεύοντας έτσι τόσο τα ζώα όσο και τους ανθρώπους που καταναλώνουν τα προϊόντα που προέρχονται από αυτά [60].

Κεφάλαιο 3ο Χημική Ανάλυση Πρόσθετων στις Ζωοτροφές

3.1. Είδη πρόσθετων και ο ρόλος τους

Τα διατροφικά πρόσθετα είναι ουσίες που προστίθενται στις ζωοτροφές για να βελτιώσουν την ποιότητα και τη διατροφική τους αξία, ενισχύοντας την υγεία, την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των ζώων. Αυτά τα πρόσθετα μπορούν να περιλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά, όπως βιταμίνες, ανόργανα άλατα, αμινοξέα, καθώς και φυσικά πρόσθετα, όπως φυτικά εκχυλίσματα και αιθέρια έλαια, που συμβάλλουν στη συνολική βελτίωση της απόδοσης των ζώων.

Βιταμίνες και Ανόργανα Άλατα

Οι βιταμίνες και τα ανόργανα άλατα είναι από τα πιο βασικά διατροφικά πρόσθετα στις ζωοτροφές, καθώς είναι απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού των ζώων. Οι βιταμίνες όπως η Α, η D, και η Ε συμβάλλουν στην υγεία του ανοσοποιητικού συστήματος, την ανάπτυξη των οστών, και την καλή λειτουργία του αναπαραγωγικού συστήματος. Τα ανόργανα άλατα, όπως ο ψευδάργυρος, το σελήνιο και το ασβέστιο, είναι επίσης απαραίτητα για τη διατήρηση της καλής υγείας των ζώων και την υποστήριξη της φυσιολογικής τους ανάπτυξης. Τα πρόσθετα αυτά βοηθούν τα ζώα να καλύψουν τις ανάγκες τους σε μικροθρεπτικά συστατικά που δεν μπορούν να λάβουν επαρκώς από τη φυσική τους διατροφή [61].

Αμινοξέα και Πρωτεΐνες

Τα αμινοξέα, όπως η λυσίνη, η μεθειονίνη και η θρεονίνη, είναι θεμελιώδη για τη σύνθεση των πρωτεϊνών, που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των ζώων. Η προσθήκη αμινοξέων στις ζωοτροφές βοηθά στην αύξηση της αποδοτικότητας της διατροφής, μειώνοντας ταυτόχρονα τις απαιτήσεις για πρωτεΐνη στις ζωοτροφές, κάτι που συμβάλλει στην οικονομία και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα απόβλητα.

Η χρήση **φυτικών πρόσθετων** στις ζωοτροφές έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, καθώς τα βότανα και τα φυτικά εκχυλίσματα έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στην υποστήριξη της υγείας των ζώων και στη βελτίωση της παραγωγικότητας [61]. Ορισμένα από τα πιο συνηθισμένα φυτικά πρόσθετα περιλαμβάνουν:

Σκόρδο

Το σκόρδο χρησιμοποιείται ευρέως για τις αντιβακτηριδιακές, αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές του ιδιότητες. Στις ζωοτροφές, το σκόρδο μπορεί να βελτιώσει την ανοσία των ζώων, βοηθώντας τα να αντιμετωπίσουν λοιμώξεις και παθογόνους μικροοργανισμούς. Επιπλέον, το σκόρδο συμβάλλει στη βελτίωση της κυκλοφορίας του αίματος και της λειτουργίας του καρδιαγγειακού συστήματος, παρέχοντας έτσι οφέλη στην παραγωγικότητα και τη γενική υγεία των ζώων [62].

Δεντρολίβανο

Το δεντρολίβανο είναι γνωστό για τις αντιοξειδωτικές του ιδιότητες, καθώς περιέχει πολυφαινόλες και άλλα φυτοχημικά που προστατεύουν τα κύτταρα από το οξειδωτικό στρες. Στις ζωοτροφές, το δεντρολίβανο χρησιμοποιείται για την προστασία των ζωικών κυττάρων από βλάβες, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την ποιότητα του κρέατος μειώνοντας την οξείδωση των λιπών [64].

Τζίντζερ

Το τζίντζερ είναι ένα άλλο φυτικό πρόσθετο που χρησιμοποιείται για τις αντιφλεγμονώδεις και πεπτικές του ιδιότητες. Συμβάλλει στην αύξηση της έκκρισης ενζύμων στο πεπτικό σύστημα, βοηθώντας στη διάσπαση των τροφών και την καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών

συστατικών. Η χρήση του τζίντζερ μπορεί να βελτιώσει τη συνολική πεπτική υγεία των ζώων και να αυξήσει την αποδοτικότητα της διατροφής τους [63].

Κανέλα

Η κανέλα έχει αντιμικροβιακές και αντιπαρασιτικές ιδιότητες, καθιστώντας την χρήσιμη για τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών στις ζωοτροφές. Επίσης, έχει αντιοξειδωτικές ιδιότητες και μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση του μεταβολισμού των ζώων [61].

Παράλληλα, τα **αποτοξινωτικά** πρόσθετα που δεσμεύουν τις τοξίνες, όπως οι μυκοτοξίνες, συμβάλλουν στην προστασία της υγείας των ζώων, αποτρέποντας τις τοξικές επιδράσεις που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την παραγωγικότητα. Οι αποτοξινωτικές αυτές ουσίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στις περιπτώσεις όπου οι ζωοτροφές έχουν μολυνθεί με τοξίνες από μύκητες.

Τα **αντιμικροβιακά και τα αντιοξειδωτικά πρόσθετα** παίζουν έναν σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της υγείας των ζώων και της ποιότητας των ζωοτροφών. Τα αντιμικροβιακά πρόσθετα χρησιμοποιούνται για την προστασία των ζωοτροφών από μολύνσεις που προέρχονται από βακτήρια, μύκητες και άλλους μικροοργανισμούς, ενώ τα αντιοξειδωτικά πρόσθετα προστατεύουν τις τροφές από την οξείδωση, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής τους και βελτιώνοντας την ποιότητα των λιπών που περιέχουν. Τα αντιμικροβιακά πρόσθετα είναι ουσίες που προστίθενται στις ζωοτροφές για να περιορίσουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Τα παθογόνα βακτήρια, όπως η *Escherichia coli*, η *Salmonella typhimurium* και η *Clostridium perfringens*, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές μολύνσεις στα ζώα, επηρεάζοντας την υγεία και την ανάπτυξή τους. Ορισμένα αντιμικροβιακά, όπως το αιθέριο έλαιο ρίγανης, έχουν δείξει ισχυρή βακτηριοστατική δράση, εμποδίζοντας την ανάπτυξη αυτών των βακτηρίων, καθώς και βακτηριοκτόνο δράση, σκοτώνοντας τα παθογόνα. Το αιθέριο έλαιο ρίγανης, για παράδειγμα, λειτουργεί με την καταστροφή της εξωτερικής μεμβράνης των βακτηρίων, γεγονός που προκαλεί την απορρύθμιση της διαπερατότητας της μεμβράνης και τελικά τον θάνατό τους. Τα αντιμικροβιακά πρόσθετα μπορούν να μειώσουν τις πιθανότητες μολύνσεων και να βελτιώσουν τη συνολική υγεία των ζώων, γεγονός που οδηγεί σε καλύτερη απόδοση και αύξηση του σωματικού βάρους. Η προσθήκη τους στις ζωοτροφές είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιόδους που τα ζώα είναι ευάλωτα, όπως η περίοδος απογαλακτισμού, όπου η αλλαγή της διατροφής μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ευαισθησία σε μολύνσεις και διαταραχές του εντέρου.

Παράλληλα, τα αντιοξειδωτικά πρόσθετα προστατεύουν τα συστατικά των ζωοτροφών από την οξείδωση. Τα λίπη και τα έλαια που περιέχονται στις ζωοτροφές είναι ευαίσθητα στην οξείδωση, ειδικά όταν οι τροφές εκτίθενται σε αέρα, φως ή θερμότητα. Η οξείδωση των λιπών μπορεί να μειώσει την ενεργειακή αξία των τροφών και να οδηγήσει στην παραγωγή τοξικών ενώσεων, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την υγεία των ζώων και να μειώσουν την αποδοτικότητα της διατροφής τους. Το αιθέριο έλαιο ρίγανης, για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει εξαιρετική αντιοξειδωτική δράση. Σε μελέτες, το αιθέριο έλαιο ρίγανης έχει δείξει υψηλά ποσοστά αναστολής της οξείδωσης λιπαρών οξέων, κυρίως λόγω της παρουσίας φαινολικών ενώσεων όπως η καρβακρόλη. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να εξουδετερώσουν τις ελεύθερες ρίζες και να μειώσουν την οξείδωση των λιπών, προστατεύοντας έτσι την ποιότητα των ζωοτροφών. Η προστασία των τροφίμων από την οξείδωση είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της θρεπτικής αξίας και της ποιότητας των ζωοτροφών. Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των ζωοτροφών και να αποτρέψουν την υποβάθμιση των συστατικών τους, ειδικά όταν οι ζωοτροφές αποθηκεύονται για μεγάλες χρονικές περιόδους. Επιπλέον, η προστασία των λιπών από την οξείδωση βοηθά στη διατήρηση της ενεργειακής αξίας των ζωοτροφών, κάτι που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη και τη γενική υγεία των ζώων [62].

Τα προβιοτικά και πρεβιοτικά που προστίθενται στις ζωοτροφές ενισχύουν την υγεία του εντέρου και βελτιώνουν την πέψη, μειώνοντας τις διαταραχές του πεπτικού συστήματος. Αυτά τα πρόσθετα υποστηρίζουν τη φυσική ισορροπία της μικροχλωρίδας του εντέρου, βοηθώντας στη βελτίωση της ανοσοποιητικής απόκρισης των ζώων. Τα προβιοτικά και τα πρεβιοτικά πρόσθετα παίζουν έναν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας της μικροχλωρίδας του εντέρου των ζώων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της υγείας και της απόδοσής τους.

Προβιοτικά

Τα προβιοτικά ορίζονται ως ζωντανοί μικροοργανισμοί που, όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες, παρέχουν οφέλη για την υγεία του ξενιστή. Συνήθως, περιλαμβάνουν βακτήρια του γένους *Lactobacillus* και *Bifidobacterium*, καθώς και ζυμομύκητες όπως το *Saccharomyces cerevisiae*. Αυτοί οι μικροοργανισμοί ρυθμίζουν την ομοιόσταση της μικροχλωρίδας του εντέρου, ενισχύουν τη λειτουργία του γαστρεντερικού φραγμού, παράγουν βακτηριοκίνες που αναστέλλουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και διεγείρουν την ανοσολογική απόκριση του ξενιστή. Τα προβιοτικά έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στη μείωση του κινδύνου μόλυνσης από παθογόνα βακτήρια, όπως η *Salmonella* και η *Escherichia coli*, ενώ έχουν θετική επίδραση στη βελτίωση της ανοσίας του εντέρου. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα προβιοτικά μπορούν να σταθεροποιήσουν τη λειτουργία του εντερικού φραγμού, να μειώσουν τη φλεγμονή και να εμποδίσουν την προσκόλληση των παθογόνων βακτηρίων στα εντερικά κύτταρα.

Πρεβιοτικά

Από την άλλη, τα πρεβιοτικά είναι μη αφομοιώσιμες τροφικές ίνες που ευνοούν επιλεκτικά την ανάπτυξη ωφέλιμων βακτηρίων στο παχύ έντερο. Συνήθως περιλαμβάνουν φρουκτοολιγοσακχαρίτες (FOS) και ινουλίνη, οι οποίοι ενισχύουν την ανάπτυξη των *Bifidobacterium* και *Lactobacillus*. Αυτά τα βακτήρια συμβάλλουν στην παραγωγή βραχείας αλυσίδας λιπαρών οξέων, όπως το οξικό και το βουτυρικό, που έχουν προστατευτική δράση στον εντερικό βλεννογόνο. Τα πρεβιοτικά υποστηρίζουν επίσης τη βελτίωση της πέψης και τη ρύθμιση της λειτουργίας του εντέρου, ενώ μειώνουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών μέσω της οξίνισης του εντερικού περιεχομένου. Επιπλέον, τα συνβιοτικά, που είναι συνδυασμός προβιοτικών και πρεβιοτικών, μπορούν να παρέχουν ακόμη μεγαλύτερα οφέλη, ενισχύοντας την επιβίωση και την εμφύτευση των προβιοτικών μικροοργανισμών στο γαστρεντερικό σύστημα. Συνολικά, συμβάλλουν στη βελτίωση της υγείας των ζώων, μειώνοντας την ανάγκη για αντιβιοτικά και αυξάνοντας την παραγωγικότητα [63].

3.2. Χημική σύσταση και ανάλυση πρόσθετων

Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στις ζωοτροφές έχουν ποικίλη χημική σύσταση, ανάλογα με τον τύπο τους και τον ρόλο που επιτελούν στη διατροφή και υγεία των ζώων. Η ανάλυση της χημικής σύστασης των πρόσθετων περιλαμβάνει οργανικά και ανόργανα συστατικά που ενισχύουν τη διατροφική αξία και προστατεύουν την υγεία των ζώων από περιβαλλοντικούς και διατροφικούς κινδύνους.

Οργανικά Συστατικά

Τα οργανικά συστατικά είναι βασικά στοιχεία πολλών φυτικών εκχυλισμάτων και αιθέριων ελαίων που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στις ζωοτροφές. Κάποια από τα πιο κοινά οργανικά μόρια που περιέχονται σε αιθέρια έλαια είναι τα μονοτερπένια και τα σεσκιτερπένια. Τα μονοτερπένια είναι ενώσεις που περιλαμβάνουν την καρβακρόλη και τη θυμόλη, που έχουν αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Τα αιθέρια έλαια όπως αυτά που προέρχονται από τη ρίγανη και το θυμάρι περιέχουν αυτά τα μόρια, τα οποία είναι γνωστά για τη δράση τους κατά παθογόνων μικροοργανισμών και την ενίσχυση της ανοσίας των ζώων. Άλλες

οργανικές ενώσεις στα αιθέρια έλαια περιλαμβάνουν αλκοόλες, όπως η λιναλοόλη, και φαινολικές ενώσεις όπως η ευγενόλη, που προσφέρουν προστασία από οξειδωτικές βλάβες. Αυτές οι ενώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ποιότητας των ζωοτροφών και τη μείωση της χρήσης συνθετικών χημικών προσθέτων [61].

Ανόργανα Συστατικά

Τα ανόργανα πρόσθετα είναι κυρίως μέταλλα και ιχνοστοιχεία που είναι απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία των βιοχημικών διεργασιών στο σώμα των ζώων. Στοιχεία όπως το ασβέστιο, ο ψευδάργυρος, και το μαγνήσιο παίζουν σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της ανάπτυξης του σκελετικού συστήματος, καθώς και στη βελτίωση της αντοχής του ανοσοποιητικού συστήματος. Ο ψευδάργυρος, για παράδειγμα, είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για την καλή λειτουργία των ενζύμων και την επιδιόρθωση των κυττάρων. Η έλλειψη αυτών των στοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε ανεπάρκειες που επηρεάζουν αρνητικά την υγεία των ζώων, την ανάπτυξη και την παραγωγικότητά τους. Τα ανόργανα συστατικά είναι συνήθως σε μορφή ανόργανων αλάτων ή ιχνοστοιχείων, τα οποία απορροφώνται εύκολα από τον οργανισμό των ζώων. Αυτά τα μέταλλα συχνά προστίθενται για να συμπληρώσουν τις διατροφικές ανάγκες των ζώων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η φυσική διατροφή δεν μπορεί να παρέχει επαρκείς ποσότητες από αυτά τα θεραπευτικά συστατικά [38].

Βιοδραστικές Ενώσεις

Οι βιοδραστικές ενώσεις, όπως τα αντιοξειδωτικά και τα φυτοχημικά, αποτελούν επίσης σημαντικό μέρος των πρόσθετων. Τα αντιοξειδωτικά, όπως τα φλαβονοειδή και οι τανίνες, προστατεύουν τα κύτταρα από τις βλάβες που προκαλούνται από τις ελεύθερες ρίζες και το οξειδωτικό στρες. Αυτά τα συστατικά είναι σημαντικά για τη διατήρηση της υγείας των ζώων και τη βελτίωση της ποιότητας του κρέατος και των άλλων προϊόντων που παράγονται από τα ζώα. Επιπλέον, οι τανίνες έχουν και αντιμικροβιακή δράση, που βοηθά στην αποτροπή της ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών στο γαστρεντερικό σύστημα των ζώων. Τα φλαβονοειδή έχουν αναγνωριστεί για τις αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες, ενισχύοντας την κυτταρική λειτουργία και συμβάλλοντας στη μακροχρόνια υγεία των ζώων. Συνοψίζοντας, η χημική σύσταση των πρόσθετων στις ζωοτροφές περιλαμβάνει μια ποικιλία οργανικών και ανόργανων ενώσεων, που συμβάλλουν στη βελτίωση της διατροφικής αξίας και της υγείας των ζώων. Η ανάλυση αυτών των συστατικών είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας των πρόσθετων, με σύγχρονες χημικές μεθόδους να επιτρέπουν την ακριβή ανάλυση και παρακολούθηση των συστατικών στις ζωοτροφές [64].

Μέθοδοι ανάλυσης πρόσθετων

Η **χρωματογραφία αερίων-μαζικής φασματομετρίας (GC-MS)** είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της χημικής σύστασης και την ποιοτική εκτίμηση των πρόσθετων στις ζωοτροφές. Η τεχνική αυτή συνδυάζει δύο ισχυρές μεθόδους: την χρωματογραφία αερίων (GC), που διαχωρίζει τα πτητικά συστατικά, και τη μαζική φασματομετρία (MS), η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό και την ταυτοποίηση των χημικών ουσιών που υπάρχουν στο μείγμα. Στην GC-MS, τα πτητικά συστατικά του δείγματος εισάγονται σε έναν σωλήνα χρωματογραφίας, όπου διαχωρίζονται με βάση τις φυσικές τους ιδιότητες, όπως η πτητικότητα και η αλληλεπίδρασή τους με τη στατική φάση της στήλης χρωματογραφίας. Οι ενώσεις που διαχωρίζονται μεταφέρονται από το αέριο φάσης στον φασματογράφο μάζας. Εκεί, τα μόρια ιονίζονται μέσω κρούσεων με υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια και διασπώνται σε ιοντικά θραύσματα. Αυτά τα θραύσματα αναλύονται με βάση το λόγο μάζας-προς-φορτίο τους (m/z), παράγοντας ένα χαρακτηριστικό φάσμα για κάθε χημική ένωση. Με την ίδια φιλοσοφία η GC-MS χρησιμοποιείται για την ανάλυση της σύστασης των πτητικών πρόσθετων που προστίθενται στις ζωοτροφές, όπως τα αιθέρια έλαια

και τα αντιμικροβιακά πρόσθετα. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον προσδιορισμό οργανικών ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους, καθώς και άλλων πτητικών συστατικών. Εφαρμόζεται για την ταυτοποίηση συγκεκριμένων χημικών ενώσεων μέσα σε περίπλοκα μείγματα πρόσθετων και τη μέτρηση της συγκέντρωσής τους.

Από τα βασικά πλεονεκτήματα της GC-MS είναι η υψηλή ακρίβεια και ευαισθησία καθώς η GC-MS μπορεί να ανιχνεύσει και να προσδιορίσει ακόμη και ίχνη ενώσεων με εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις στις ζωοτροφές. Επιπλέον οι αναλύσεις με GC-MS μπορούν να πραγματοποιηθούν γρήγορα, καθιστώντας την τεχνική ιδανική για την ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων. Τέλος, η χρήση φασμάτων μάζας επιτρέπει την ταυτοποίηση άγνωστων ενώσεων, παρέχοντας αξιόπιστα δεδομένα για τη σύσταση των πρόσθετων. Παρόλο που η GC-MS είναι εξαιρετική για την ανάλυση πτητικών ουσιών, μπορεί να μην είναι κατάλληλη για μη πτητικά ή θερμοευαίσθητα συστατικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται τροποποίηση των δειγμάτων ή χρήση άλλων τεχνικών, όπως η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) [65].

Η **υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC)** είναι μια σημαντική τεχνική για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης και της ποιότητας των πρόσθετων στις ζωοτροφές. Η HPLC λειτουργεί με τη χρήση μιας υγρής κινητής φάσης που διαχωρίζει τα συστατικά ενός δείγματος μέσω μιας στήλης χρωματογραφίας, όπου τα μόρια διαχωρίζονται με βάση την αλληλεπίδρασή τους με τη στατική φάση. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μέτρηση ενώσεων που είναι μη πτητικές και έχουν υψηλή πολικότητα. Η HPLC χρησιμοποιεί αντλία υψηλής πίεσης για να μεταφέρει το διάλυμα του δείγματος μέσα στη στήλη χρωματογραφίας. Η στήλη περιέχει μια στατική φάση (π.χ. πολυμερές ή silica), που αλληλεπιδρά με τα μόρια του δείγματος. Τα συστατικά του δείγματος διαχωρίζονται ανάλογα με την πολικότητα, το μέγεθος και άλλες φυσικοχημικές ιδιότητες καθώς κινούνται μέσα στη στήλη. Στο τέλος της στήλης, ένας ανιχνευτής (συνήθως φασματοφωτομετρικός ή μαζικός) μετρά την ποσότητα της κάθε ένωσης που διαχωρίστηκε. Η HPLC εφαρμόζεται για την ανάλυση των βιοδραστικών ουσιών και άλλων πρόσθετων στις ζωοτροφές, όπως τα καροτενοειδή, τα αντιοξειδωτικά και τα συντηρητικά. Η τεχνική αυτή είναι ιδανική για τον ποσοτικό και ποιοτικό έλεγχο των συστατικών των τροφών, ειδικά σε πρόσθετα όπως βιταμίνες και άλλες θρεπτικές ουσίες που απαιτούν υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία. Η **αντίστροφης φάσης HPLC (RP-HPLC)** είναι μια από τις πιο δημοφιλείς μορφές της HPLC που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των υδρόφοβων ενώσεων στις ζωοτροφές. Σε αυτή την τεχνική, η κινητή φάση είναι πιο πολική από τη στατική, επιτρέποντας τον διαχωρισμό υδρόφοβων ενώσεων με μεγαλύτερη ευκολία. Ένα από τα πλεονεκτήματα της HPLC είναι ότι μπορεί να ανιχνεύσει και να προσδιορίσει με ακρίβεια τη συγκέντρωση των συστατικών στα πρόσθετα των ζωοτροφών καθώς επιτρέπει και τον προσδιορισμό ακόμη και χαμηλών συγκεντρώσεων πρόσθετων. Επιπροσθέτως η HPLC είναι ευέλικτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση ενός ευρέος φάσματος πρόσθετων, από υδατοδιαλυτές μέχρι λιποδιαλυτές ενώσεις. Τέλος, οι ενώσεις δεν υποβάλλονται σε υψηλές θερμοκρασίες, αποφεύγοντας τη διάσπασή τους. Από την άλλη, η HPLC είναι εξαιρετικά ακριβής και ευαίσθητη, η τεχνική μπορεί να απαιτεί μεγάλο χρόνο προετοιμασίας και είναι κοστοβόρα, ειδικά για την ανάλυση πολλών δειγμάτων σε βιομηχανική κλίμακα [66].

Η **φασματοσκοπία υπερύθρων (IR)** είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης και της ποιότητας των πρόσθετων στις ζωοτροφές. Βασίζεται στην απορρόφηση ακτινοβολίας υπερύθρων από τα μόρια του δείγματος, τα οποία διεγείρονται σε δονητικές καταστάσεις. Οι απορροφήσεις αυτές παράγουν ένα φάσμα υπερύθρων, το οποίο είναι μοναδικό για κάθε μόριο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την

ταυτοποίηση των χημικών ουσιών. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στη χρήση ακτινοβολίας υπερύθρων που διέρχεται μέσω ενός δείγματος. Τα μόρια του δείγματος απορροφούν την ενέργεια της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες συχνότητες, που αντιστοιχούν σε δονήσεις των δεσμών μέσα στα μόρια. Αυτή η απορρόφηση δημιουργεί ένα χαρακτηριστικό φάσμα, που δείχνει τις ενεργειακές καταστάσεις των δεσμών και των χημικών ομάδων στο μόριο. Όσον αφορά τις ζωοτροφές, η φασματοσκοπία υπερύθρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταυτοποίηση συστατικών όπως τα αιθέρια έλαια, οι βιταμίνες, και άλλα πρόσθετα που προστίθενται για τη βελτίωση της διατροφής και της υγείας των ζώων. Επίσης, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί αν οι ζωοτροφές περιέχουν επιβλαβείς ή ανεπιθύμητες ουσίες, όπως βαρέα μέταλλα ή μολυσματικούς παράγοντες. Το χαρακτηριστικό φάσμα κάθε αιθέριου ελαίου ή άλλης χημικής ένωσης παρέχει ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και την καθαρότητα των συστατικών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται επίσης για την ανάλυση των ιχνοστοιχείων που περιέχονται στις ζωοτροφές, όπως ο ψευδάργυρος και το σελήνιο. Η χρήση της φασματοσκοπίας υπερύθρων σε συνδυασμό με πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση, όπως η ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA), επιτρέπει τον διαχωρισμό διαφορετικών τύπων πρόσθετων στις ζωοτροφές και την ακριβή εκτίμηση της σύνθεσης των προϊόντων. Ένα από τα πλεονεκτήματα της IR είναι ότι δεν απαιτεί την καταστροφή του δείγματος, πράγμα που την καθιστά ιδανική για τον έλεγχο ζωοτροφών. Σε πολλές περιπτώσεις, τα δείγματα μπορούν να αναλυθούν απευθείας χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες προετοιμασίας. Τα φάσματα μπορούν να ληφθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα, κάνοντας την τεχνική χρήσιμη για αναλύσεις μεγάλου αριθμού δειγμάτων. Υπάρχουν όμως και μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής μπορεί να μην είναι κατάλληλη για πολύπλοκα μείγματα που περιέχουν μεγάλο αριθμό συστατικών με παρόμοιες απορροφήσεις. Επιπλέον, η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από την καθαρότητα και την ομοιομορφία των δειγμάτων. Η φασματοσκοπία υπερύθρων χρησιμοποιείται επίσης για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς σχετικά με τα πρόσθετα των ζωοτροφών στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως καθορίζονται από την EURL (European Union Reference Laboratory) [67].

Τελευταία μέθοδος ανάλυσης αλλά εξίσου σημαντική είναι η **φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR)** καθώς είναι μια ισχυρή αναλυτική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των πρόσθετων στις ζωοτροφές. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην αλληλεπίδραση των πυρήνων των ατόμων με ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, και στη δυνατότητα των πυρήνων να απορροφούν και να επανεκπέμπουν ραδιοσυχνότητες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός φάσματος NMR, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταυτοποίηση και τον προσδιορισμό της ποσότητας των ενώσεων που υπάρχουν στο δείγμα. Βασίζεται στην ιδιότητα ορισμένων ατομικών πυρήνων να συμπεριφέρονται σαν μικροί μαγνήτες όταν τοποθετούνται σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Οι πυρήνες αυτοί μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια υπό μορφή ραδιοκυμάτων και να τη μεταδώσουν όταν επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση. Το φάσμα NMR που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία παρέχει πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον των πυρήνων στο μόριο, όπως το είδος και τον αριθμό των γειτονικών ατόμων. Η NMR είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση οργανικών ενώσεων και μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τη δομή των μορίων, τον αριθμό των ατόμων που περιέχουν, καθώς και τη σύνδεσή τους με άλλα άτομα στο μόριο. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ενώσεων όπως τα αμινοξέα, οι πρωτεΐνες, τα λιπαρά οξέα και άλλες οργανικές ενώσεις που προστίθενται στις ζωοτροφές για τη βελτίωση της διατροφικής τους αξίας. Χρησιμοποιείται για την ανάλυση και τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των πρόσθετων στις ζωοτροφές. Τα προσθετα αυτά περιλαμβάνουν ενώσεις όπως οι πρωτεΐνες, οι βιταμίνες, τα αμινοξέα, και οι αντιοξειδωτικές ουσίες. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανίχνευση μικρών αλλαγών στη χημική σύσταση των ζωοτροφών κατά την παραγωγή και την αποθήκευσή τους.

Η **¹H NMR** (φασματοσκοπία πρωτονίου) χρησιμοποιείται συχνά για τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό πολικών μεταβολιτών στις ζωοτροφές. Για παράδειγμα, μπορεί να προσδιορίσει τη συγκέντρωση αμινοξέων, όπως η λευκίνη και η ισολευκίνη, καθώς και άλλων σημαντικών μεταβολιτών όπως η κρεατίνη και η γλυκερόλη, οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή των ζώων.

Σημαντικό πλεονέκτημα είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος, επιτρέποντας την ανάλυση των δειγμάτων χωρίς να καταστρέφεται η δομή τους όπως και η IR. Η NMR μπορεί να δώσει λεπτομερείς πληροφορίες για τη δομή των μορίων και την αλληλεπίδρασή τους με άλλα μόρια. Επιτρέπει τόσο τον ποιοτικό όσο και τον ποσοτικό προσδιορισμό των ενώσεων στις ζωοτροφές, διασφαλίζοντας την ακριβή σύσταση των πρόσθετων. Παρά την υψηλή ακρίβεια και τις δυνατότητες της NMR, η μέθοδος αυτή έχει και ορισμένους περιορισμούς. Ο βασικότερος περιορισμός είναι η υψηλή πολυπλοκότητα και το κόστος του εξοπλισμού, που την καθιστούν δύσκολη για καθημερινή χρήση σε βιομηχανική κλίμακα. Επίσης, η ανάλυση λιγότερο πολικών ή πολύ μεγάλων μορίων μπορεί να είναι πιο δύσκολη, κάτι που απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και μεγαλύτερο χρόνο ανάλυσης [69].

3.3. Επιπτώσεις πρόσθετων στην υγεία των ζώων

Η χρήση πρόσθετων στις ζωοτροφές έχει εξελιχθεί σε ένα σημαντικό πεδίο έρευνας, καθώς οι επιστήμονες αναζητούν τρόπους για τη βελτίωση της υγείας και της απόδοσης των ζώων. Η προηγμένη επιστημονική προσέγγιση περιλαμβάνει τη μελέτη της αλληλεπίδρασης των πρόσθετων με τους μεταβολικούς μηχανισμούς και τα γονίδια των ζώων. Οι προβιοτικοί μικροοργανισμοί, όπως οι *Lactobacillus* και *Bifidobacterium*, έχουν αποδειχθεί ότι επηρεάζουν τη λειτουργία του εντερικού φραγμού και τη μικροχλωρίδα των ζώων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της εντερικής υγείας και της απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών. Η θετική επίδραση των προβιοτικών έχει συνδεθεί με την αυξημένη παραγωγή βραχείας αλυσίδας λιπαρών οξέων και τη μείωση της φλεγμονής στο γαστρεντερικό σύστημα [69]. Επιπλέον, τα αντιοξειδωτικά προσθετα όπως οι φαινολικές ενώσεις και τα φυτικά εκχυλίσματα ενισχύουν την κυτταρική αναγέννηση, προστατεύοντας τα κύτταρα από το οξειδωτικό στρες. Αυτές οι ουσίες, όπως το αιθέριο έλαιο ρίγανης και το δεντρολίβανο, είναι πλούσιες σε φλαβονοειδή και άλλα αντιοξειδωτικά, τα οποία συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του κρέατος και στη μείωση της οξείδωσης των λιπών στα ζώα [70]. Τα αντιοξειδωτικά, σε συνδυασμό με προβιοτικά και πρεβιοτικά, λειτουργούν συνεργιστικά για τη μείωση των φλεγμονωδών αντιδράσεων και την προστασία των κυττάρων από τις ελεύθερες ρίζες, γεγονός που ενισχύει τη συνολική υγεία και ανάπτυξη των ζώων. Το ρυθμιστικό πλαίσιο για τη χρήση πρόσθετων στις ζωοτροφές είναι εξαιρετικά αυστηρό σε πολλές χώρες, ειδικά όσον αφορά τη χρήση αντιβιοτικών πρόσθετων. Η ανησυχία για την ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά έχει οδηγήσει σε αυστηρότερες ρυθμίσεις για την αποδεκτή χρήση τους στις ζωοτροφές. Οι οργανισμοί όπως η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) και η Αμερικανική Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) έχουν θεσπίσει αυστηρούς κανόνες για τη χρήση αντιβιοτικών μόνο ως θεραπευτικά μέσα και όχι για την προώθηση της ανάπτυξης [71]. Αυτό έχει οδηγήσει στην αυξημένη χρήση φυσικών πρόσθετων, όπως τα φυτικά εκχυλίσματα και τα αιθέρια έλαια, τα οποία μπορούν να προσφέρουν παρόμοια οφέλη χωρίς τους κινδύνους που συνοδεύουν τη χρήση αντιβιοτικών. Συγκριτικές μελέτες που εξετάζουν τη χρήση φυσικών και συνθετικών πρόσθετων στις ζωοτροφές δείχνουν ότι τα φυσικά προσθετα, όπως τα αιθέρια έλαια και τα εκχυλίσματα βοτάνων, προσφέρουν πλεονεκτήματα έναντι των συνθετικών. Οι φυσικές ουσίες φαίνεται να βελτιώνουν την πεπτική υγεία και να μειώνουν τις φλεγμονές χωρίς να προκαλούν ανθεκτικότητα σε μικροοργανισμούς, όπως συμβαίνει με τη χρήση συνθετικών αντιβιοτικών. Ωστόσο, τα συνθετικά προσθετα μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικά σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στην ταχεία αύξηση του βάρους των ζώων, αλλά η χρήση τους έχει γίνει

λιγότερο δημοφιλής λόγω των ανησυχιών για την ασφάλεια και την περιβαλλοντική τους επίδραση.

Οι νέες τεχνολογίες παίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των πρόσθετων. Τα νανοπροσθετικά αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη καινοτομία στη διατροφή των ζώων. Η χρήση νανοσωματιδίων σε προσθετα αυξάνει τη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών, επιτρέποντας τη βελτιωμένη απορρόφησή τους από τον οργανισμό των ζώων. Για παράδειγμα, τα νανοπροσθετικά που περιέχουν ψευδάργυρο ή χαλκό έχουν αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την ανοσολογική απόκριση των ζώων και μειώνουν τις ανάγκες για πρόσθετες ποσότητες μετάλλων [71]. Η νανοτεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα να βελτιστοποιηθεί η χορήγηση θρεπτικών συστατικών, με αποτέλεσμα τη μείωση των απωλειών και των αποβλήτων στις ζωοτροφές.

Συμπερασματικά, οι σύγχρονες προσεγγίσεις στη χρήση πρόσθετων στις ζωοτροφές συνδυάζουν επιστημονικά δεδομένα, τεχνολογικές καινοτομίες και αυστηρά ρυθμιστικά πλαίσια, με στόχο τη βελτίωση της υγείας των ζώων και την ασφάλεια των τροφίμων. Η χρήση φυσικών πρόσθετων όπως τα προβιοτικά, τα αντιοξειδωτικά και τα νανοπροσθετικά παρουσιάζει εξαιρετικά αποτελέσματα στη διατροφή των ζώων, ενώ οι συγκριτικές μελέτες μεταξύ φυσικών και συνθετικών ουσιών συνεχίζουν να προσφέρουν σημαντικά δεδομένα για τη βελτίωση της υγείας και της ευημερίας των ζώων.

3.4. Νομοθεσία και κανονισμοί για τα προσθετα

Η νομοθεσία και οι κανονισμοί που αφορούν τα διατροφικά προσθετα στις ζωοτροφές είναι αυστηρά ρυθμισμένοι σε πολλές χώρες και ακολουθούν συγκεκριμένα πρότυπα, που στοχεύουν στη διασφάλιση της υγείας των ζώων, της ασφάλειας των τροφίμων και της προστασίας του περιβάλλοντος. Οι κανονισμοί αυτοί καθορίζουν ποια πρόσθετα είναι επιτρεπτά, τις μέγιστες επιτρεπόμενες δόσεις και τους τρόπους χρήσης τους στις ζωοτροφές. Η νομοθεσία διαφοροποιείται μεταξύ των περιοχών, αλλά υπάρχουν κοινά σημεία και διεθνείς κατευθυντήριες γραμμές. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η νομοθεσία για τα πρόσθετα στις ζωοτροφές διέπεται από τον **Κανονισμό (ΕΚ) 1831/2003**. Ο κανονισμός αυτός περιλαμβάνει τους κανόνες για την έγκριση, την εμπορία και τη χρήση των πρόσθετων στις ζωοτροφές. Τα πρόσθετα ορίζονται ως ουσίες που προστίθενται στις ζωοτροφές για να βελτιώσουν τη θρεπτική αξία, την υγεία των ζώων ή την ποιότητα των προϊόντων που παράγονται από τα ζώα, όπως το κρέας και το γάλα.

Οι κύριες κατηγορίες πρόσθετων στις ζωοτροφές περιλαμβάνουν:

- **Θρεπτικά πρόσθετα:** βιταμίνες, ιχνοστοιχεία, αμινοξέα.
- **Ζωοτεχνικά πρόσθετα:** προβιοτικά, ένζυμα, αυξητικοί παράγοντες.
- **Συντηρητικά και αντιοξειδωτικά:** για την αποφυγή αλλοίωσης των ζωοτροφών.
- **Αρωματικές ουσίες:** για τη βελτίωση της γεύσης των ζωοτροφών.

Ο Κανονισμός (ΕΚ) 1831/2003 απαιτεί από τους κατασκευαστές να υποβάλλουν επιστημονικά στοιχεία που να αποδεικνύουν την ασφάλεια και την αποδοτικότητα των πρόσθετων πριν λάβουν έγκριση. Τα πρόσθετα που εγκρίνονται καταχωρίζονται σε έναν κατάλογο εγκεκριμένων ουσιών, ενώ η χρήση αντιβιοτικών ως αυξητικών παραγόντων απαγορεύεται από το 2006, με στόχο τη μείωση της ανθεκτικότητας των μικροβίων.

Σε διεθνές επίπεδο, ο **Κώδικας Τροφίμων (Codex Alimentarius)**, που αναπτύχθηκε από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), θέτει κατευθυντήριες γραμμές για την ασφάλεια των πρόσθετων στις ζωοτροφές. Ο Codex καθορίζει τις γενικές αρχές που πρέπει να τηρούνται για τη χρήση των πρόσθετων, όπως η

ασφάλεια των καταναλωτών και η προστασία του περιβάλλοντος. Οι διεθνείς κανονισμοί προσπαθούν να συντονίσουν τις πρακτικές μεταξύ των χωρών και να διασφαλίσουν ότι τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται είναι ασφαλή τόσο για τα ζώα όσο και για τους ανθρώπους που καταναλώνουν τα ζωικά προϊόντα. Οι χώρες που ακολουθούν τον Codex συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα, μειώνοντας τον κίνδυνο εμπορικών περιορισμών. Συνολικά, η νομοθεσία για τα πρόσθετα στις ζωοτροφές είναι σύνθετη και εξελίσσεται συνεχώς, με στόχο την προστασία της υγείας των ζώων και των καταναλωτών, καθώς και την προώθηση της βιώσιμης παραγωγής [72].

Κεφάλαιο 4^ο Επίδραση της Διατροφής στην Αποδοτικότητα των Ζώων

4.1. Διατροφή και παραγωγικότητα: Παράγοντες που εμπλέκονται

Η διατροφή και η υγεία των ζώων συνδέονται άρρηκτα με την παραγωγικότητά τους, και η καλή διαχείριση της διατροφής είναι καθοριστικός παράγοντας για την επίτευξη βέλτιστων αποδόσεων στη ζωική παραγωγή. Η διαχείριση της διατροφής περιλαμβάνει την κατάλληλη παροχή τροφών υψηλής θρεπτικής αξίας, τον σχεδιασμό ισορροπημένων σιτηρεσίων που ανταποκρίνονται στις ειδικές ανάγκες των ζώων σε κάθε στάδιο της ζωής τους, καθώς και τη βέλτιστη χρήση διατροφικών πρόσθετων για την υποστήριξη της υγείας και της παραγωγικότητάς τους. Η προσεκτική διαχείριση της διατροφής μπορεί να μεγιστοποιήσει την απόδοση των ζώων, ενώ η παραμέληση αυτού του τομέα μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγικότητα και υγειονομικά προβλήματα.

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες είναι η προσαρμογή των σιτηρεσίων σύμφωνα με τις διατροφικές ανάγκες των ζώων ανάλογα με τη φάση της παραγωγής στην οποία βρίσκονται. Για παράδειγμα, οι αγελάδες γαλακτοπαραγωγής απαιτούν υψηλές ποσότητες ενέργειας και πρωτεϊνών για να υποστηρίξουν την παραγωγή γάλακτος. Εάν δεν καλυφθούν οι ενεργειακές τους ανάγκες, η παραγωγή γάλακτος θα μειωθεί, ενώ μπορεί να επηρεαστεί και η γενική υγεία τους, οδηγώντας σε ασθένειες όπως η κετοξέωση. Από την άλλη, τα μοσχάρια που μεγαλώνουν για παραγωγή κρέατος απαιτούν θρεπτικά σιτηρέσια υψηλής ποιότητας για να επιτύχουν γρήγορη αύξηση του σωματικού βάρους, και η χρήση πρόσθετων όπως τα ένζυμα και τα προβιοτικά μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα της τροφής και να βελτιώσει τη μετατρεψιμότητα των θρεπτικών συστατικών..

Η χρήση πρόσθετων στη διατροφή των ζώων, όπως ήδη αναφέρθηκε είναι επίσης κρίσιμη για τη βελτίωση της παραγωγικότητας. Τα αντιοξειδωτικά προσθετα βοηθούν στην προστασία των κυττάρων από το οξειδωτικό στρες, που μπορεί να προκαλέσει ζημιές στον οργανισμό των ζώων, ενώ τα προβιοτικά και τα ένζυμα βελτιώνουν την πέψη και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Η ενσωμάτωση τέτοιων πρόσθετων στις ζωοτροφές όχι μόνο αυξάνει την απόδοση των ζώων αλλά συμβάλλει και στη μείωση των διατροφικών απωλειών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κτηνοτροφίας.

Η σωστή διαχείριση της διατροφής εξαρτάται επίσης από τη συνεχή αξιολόγηση της ποιότητας των τροφών. Τα ζώα που τρέφονται με υψηλής ποιότητας ζωοτροφές που περιέχουν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία έχουν αυξημένη παραγωγικότητα και μειωμένα προβλήματα υγείας. Αντίθετα, οι χαμηλής ποιότητας ζωοτροφές μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπάρκειες θρεπτικών ουσιών, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την υγεία και την παραγωγικότητα των ζώων. Η χρήση χημικών μεθόδων ανάλυσης για την αξιολόγηση της ποιότητας των ζωοτροφών είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της διατροφικής τους αξίας και την πρόληψη διατροφικών ελλείψεων.

Η καλή διαχείριση της διατροφής δεν αφορά μόνο την επιλογή των σωστών τροφών, αλλά και τον κατάλληλο χρόνο και τη συχνότητα παροχής της τροφής, με στόχο την ελαχιστοποίηση του στρες και τη βελτίωση της παραγωγικότητας. Για παράδειγμα, οι μικρότερες και συχνότερες ταινίες μπορούν να βελτιώσουν την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και να μειώσουν το εντερικό στρες στα ζώα, ενισχύοντας την παραγωγικότητά τους.

Συνοψίζοντας, η σωστή διαχείριση της διατροφής και η καλή ποιότητα των ζωοτροφών είναι θεμελιώδεις για την υγεία και την παραγωγικότητα των ζώων. Η χρήση πρόσθετων, η παρακολούθηση της θρεπτικής αξίας των ζωοτροφών και η προσαρμογή των σιτηρεσίων στις ειδικές ανάγκες των ζώων αποτελούν βασικά στοιχεία της διατροφικής στρατηγικής που στοχεύει στη βέλτιστη απόδοση των ζώων [73].

Επιπλέον, η γενετική προδιάθεση και η διατροφή των ζώων αποτελούν δύο παράγοντες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και επηρεάζουν άμεσα την παραγωγικότητα και την υγεία τους.

Η γενετική προδιάθεση αναφέρεται στα κληρονομικά χαρακτηριστικά των ζώων, τα οποία καθορίζουν την ικανότητά τους να αξιοποιούν τις ζωοτροφές και να αποδίδουν καλύτερα σε

διαφορετικά περιβάλλοντα και συνθήκες διατροφής. Τα γονίδια των ζώων επηρεάζουν την απορρόφηση και τον μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών, την ικανότητα μετατροπής των τροφών σε ενέργεια, καθώς και την αντίσταση σε ασθένειες. Για παράδειγμα, ορισμένα είδη ή φυλές ζώων είναι γενετικά προγραμματισμένα να αφομοιώνουν αποτελεσματικότερα τις πρωτεΐνες και τα λίπη που περιέχονται στη διατροφή τους, γεγονός που τους επιτρέπει να αυξάνουν το σωματικό τους βάρος ή να παράγουν περισσότερο γάλα ή κρέας με λιγότερες ζωοτροφές. Αντίθετα, άλλα ζώα ενδέχεται να έχουν περιορισμένη ικανότητα να αξιοποιούν πλήρως τα θρεπτικά συστατικά, λόγω γενετικών παραγόντων που επηρεάζουν τη μεταβολική τους απόδοση.

Η διατροφή παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στην ενεργοποίηση συγκεκριμένων γονιδίων, που επηρεάζουν τις μεταβολικές διεργασίες των ζώων. Η διατροφή μπορεί να επιδράσει σε γονίδια που συνδέονται με την απορρόφηση θρεπτικών ουσιών, την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και την ανοσολογική απόκριση. Αυτό σημαίνει ότι τα θρεπτικά συστατικά που παρέχονται μέσω της διατροφής μπορούν να επηρεάσουν τη γονιδιακή έκφραση των ζώων, οδηγώντας σε μεταβολές στη φυσιολογική και παραγωγική τους απόδοση.

Η γενετική προδιάθεση μπορεί να αξιοποιηθεί για να επιτευχθούν συγκεκριμένα διατροφικά και παραγωγικά αποτελέσματα, ιδιαίτερα μέσω της γενετικής βελτίωσης των ζώων. Με την επιλογή ζώων που έχουν υψηλή γενετική ικανότητα για αξιοποίηση των ζωοτροφών, οι κτηνοτρόφοι μπορούν να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή τους και να μειώσουν το κόστος των ζωοτροφών. Για παράδειγμα, στις κτηνοτροφικές μονάδες βοοειδών, η γενετική προδιάθεση επηρεάζει την ικανότητα των ζώων να μετατρέπουν τις τροφές σε μυϊκή μάζα ή γάλα. Ορισμένες φυλές παρουσιάζουν καλύτερη αποδοτικότητα ζωοτροφών, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτούν λιγότερες ποσότητες τροφής για να επιτύχουν τα ίδια παραγωγικά αποτελέσματα σε σύγκριση με άλλες φυλές.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η γενετική ανθεκτικότητα των ζώων σε ασθένειες και πώς αυτή μπορεί να επηρεαστεί από τη διατροφή τους. Για παράδειγμα, τα ζώα που έχουν ισχυρότερη γενετική προδιάθεση για ανθεκτικότητα σε λοιμώξεις μπορούν να εκμεταλλευτούν καλύτερα τα θρεπτικά συστατικά της διατροφής, ενώ τα ζώα με χαμηλότερη ανθεκτικότητα μπορεί να υποφέρουν από διατροφικές ανεπάρκειες που σχετίζονται με ασθένειες. Η καλή διατροφή μπορεί να υποστηρίξει την ανοσολογική απόκριση των ζώων, εξασφαλίζοντας ότι τα γονίδια που εμπλέκονται στην καταπολέμηση ασθενειών θα λειτουργούν αποτελεσματικά [74].

Συνολικά, η γενετική προδιάθεση και η διατροφή συνδυάζονται για να επηρεάσουν την παραγωγικότητα, τη συνολική υγεία και την αποδοτικότητα των ζώων. Η κατανόηση αυτής της αλληλεπίδρασης είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών διατροφικών στρατηγικών, που στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της παραγωγής και στη μείωση του κόστους ζωοτροφών, καθώς και για την ενίσχυση της υγείας των ζώων μέσω της ενδεδειγμένης διατροφής και της γενετικής επιλογής.

4.2. Σχέση μεταξύ ποιότητας ζωοτροφών και ποιότητας προϊόντων

Η ποιότητα των ζωοτροφών επηρεάζει άμεσα την παραγωγή γάλακτος και τη σύστασή του, καθώς οι θρεπτικές ουσίες που λαμβάνουν οι γαλακτοπαραγωγές αγελάδες επηρεάζουν τον μεταβολισμό τους και τη δυνατότητα αξιοποίησης των ζωοτροφών για την παραγωγή γάλακτος υψηλής ποιότητας. Οι διατροφικές στρατηγικές που εφαρμόζονται στις μονάδες εκτροφής έχουν καθοριστική σημασία, καθώς η ισορροπημένη διατροφή όχι μόνο αυξάνει την ποσότητα του παραγόμενου γάλακτος, αλλά βελτιώνει και τη σύστασή του, καθιστώντας το πιο πλούσιο σε πρωτεΐνες, λιπαρά και θρεπτικά συστατικά.

Η σύνθεση των ζωοτροφών, ειδικά σε ό,τι αφορά τις πρωτεΐνες και τα λιπαρά οξέα, επηρεάζει σημαντικά τη σύνθεση του γάλακτος. Ζωοτροφές πλούσιες σε υψηλής ποιότητας πρωτεΐνες, όπως το σογιάλευρο και τα προϊόντα ιχθυάλευρων, βελτιώνουν την περιεκτικότητα σε

πρωτεΐνες στο γάλα, κάτι που είναι κρίσιμο για την παραγωγή τυριών και άλλων γαλακτοκομικών προϊόντων που απαιτούν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη για καλύτερη απόδοση κατά την επεξεργασία. Παράλληλα, τα λιπαρά οξέα των ζωοτροφών, ιδιαίτερα τα ωμέγα-3 και τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα, έχουν θετική επίδραση στην ποιότητα του λίπους στο γάλα, αυξάνοντας την αναλογία των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων και βελτιώνοντας το θρεπτικό προφίλ του γάλακτος για τους καταναλωτές.

Η ενέργεια που περιέχεται στις ζωοτροφές είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη συνολική παραγωγικότητα. Ζωοτροφές με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγής γάλακτος, καθώς οι γαλακτοπαραγωγές αγελάδες έχουν αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, ειδικά κατά την περίοδο γαλουχίας. Σε περιπτώσεις που οι ζωοτροφές δεν παρέχουν αρκετή ενέργεια, τα ζώα μπορεί να εμφανίσουν αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγωγή γάλακτος και να επηρεάζεται η υγεία τους. Οι τροφές πλούσιες σε υδατάνθρακες, όπως το καλαμπόκι και το κριθάρι, προσφέρουν την απαιτούμενη ενέργεια για την υποστήριξη της γαλακτοπαραγωγής.

Επιπλέον, η ισορροπία βιταμινών και μετάλλων είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της υγείας των αγελάδων και την παραγωγή ποιοτικού γάλακτος. Η επαρκής πρόσληψη βιταμινών, όπως η βιταμίνη Ε και η βιταμίνη Α, βελτιώνει την αντιοξειδωτική ικανότητα του γάλακτος, προστατεύοντας το από την οξείδωση των λιπαρών οξέων και παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του. Αντίστοιχα, μέταλλα όπως το ασβέστιο, το φώσφορο και το μαγνήσιο υποστηρίζουν την παραγωγή γάλακτος με σταθερή σύσταση και υψηλή ποιότητα. Η ανεπάρκεια αυτών των στοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε διαταραχές της γαλακτοπαραγωγής και σε χαμηλότερη απόδοση των αγελάδων.

Η ποιότητα των ζωοτροφών επηρεάζει επίσης τη μικροβιακή ποιότητα του γάλακτος. Η καλή ποιότητα των τροφών και η διαχείριση της διατροφής μειώνουν τον κίνδυνο μολύνσεων που μπορούν να επηρεάσουν την υγεία των μαστών των αγελάδων και να οδηγήσουν σε προβλήματα όπως η μαστίτιδα. Ζωοτροφές με υψηλή ποιότητα μειώνουν τον κίνδυνο ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών, γεγονός που οδηγεί σε καλύτερη υγεία των ζώων και σε παραγωγή γάλακτος υψηλής ποιότητας με λιγότερους μικροβιακούς κινδύνους για τους καταναλωτές.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η σύνθεση και η ποιότητα των ζωοτροφών μπορεί να επηρεάσει και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γάλακτος, όπως τη γεύση και το άρωμα. Ζωοτροφές που περιέχουν συστατικά όπως βότανα ή φυσικά αντιοξειδωτικά μπορούν να προσδώσουν χαρακτηριστικά γεύσης στο γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, βελτιώνοντας τη συνολική αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Τα αιθέρια έλαια και οι φυσικές φυτικές ενώσεις που περιέχονται σε συγκεκριμένα είδη ζωοτροφών έχουν αποδειχθεί ότι προσδίδουν στο γάλα ευχάριστες γευστικές νότες.

Συμπερασματικά, η σχέση μεταξύ της ποιότητας των ζωοτροφών και της ποιότητας του γάλακτος είναι άμεση και αλληλένδετη. Η βελτίωση της σύνθεσης και της θρεπτικής αξίας των ζωοτροφών έχει σημαντικά οφέλη για την παραγωγικότητα, τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά του γάλακτος, ενώ διασφαλίζει την υγεία των ζώων και την παραγωγή ασφαλών και υψηλής ποιότητας γαλακτοκομικών προϊόντων [75].

Η ποιότητα των ζωοτροφών επηρεάζει ουσιαστικά και την ποιότητα του κρέατος, και καθορίζει κρίσιμα χαρακτηριστικά όπως η τρυφερότητα, η γεύση, η ικανότητα κατακράτησης νερού, το χρώμα, η περιεκτικότητα σε λίπος και η συνολική θρεπτική αξία του κρέατος. Οι διατροφικές στρατηγικές που εφαρμόζονται στην εκτροφή των ζώων διαμορφώνουν την αναλογία των θρεπτικών συστατικών στους μύες και στους ιστούς, γεγονός που καθορίζει την εμπορική αξία του κρέατος και την αποδοχή του από τους καταναλωτές. Ένα από τα πιο σημαντικά διατροφικά στοιχεία που επηρεάζουν την ποιότητα του κρέατος είναι η ισορροπία μεταξύ των ενεργειακών και πρωτεϊνικών συστατικών. Ζωοτροφές πλούσιες σε υψηλής ποιότητας πρωτεΐνες, όπως σόγια και ψυχανθή, συμβάλλουν στη βελτίωση της μυϊκής μάζας

των ζώων και κατ' επέκταση στην αύξηση της ποιότητας του κρέατος. Η καλή ποιότητα των ζωοτροφών οδηγεί σε κρέας με καλύτερη σύνθεση σε αμινοξέα, γεγονός που βελτιώνει την τρυφερότητα και τη δομή του κρέατος. Επιπλέον, οι υδατάνθρακες που περιέχονται στις ζωοτροφές επηρεάζουν τον μεταβολισμό της ενέργειας στους μύες, γεγονός που επηρεάζει την ποσότητα και την κατανομή του λίπους στο κρέας [76]. Η περιεκτικότητα του κρέατος σε λίπος είναι ένας καθοριστικός παράγοντας της ποιότητας, καθώς επηρεάζει τόσο τη γεύση όσο και τη θρεπτική αξία του κρέατος. Τα ζώα που τρέφονται με ζωοτροφές πλούσιες σε λιπαρά οξέα, ιδιαίτερα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs), παράγουν κρέας με υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγιή λιπαρά, κάτι που είναι επιθυμητό από τους καταναλωτές. Για παράδειγμα, η αύξηση των ωμέγα-3 και ωμέγα-6 λιπαρών οξέων στη διατροφή των ζώων έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τη σύσταση των λιπαρών στο κρέας, καθιστώντας το πιο θρεπτικό και υγιεινό. Η ισορροπημένη παροχή ενέργειας και λιπαρών στη διατροφή συμβάλλει επίσης στη σωστή κατανομή του ενδομυϊκού λίπους, που είναι κρίσιμο για την τρυφερότητα και τη γεύση του κρέατος.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα του κρέατος είναι η παροχή αντιοξειδωτικών μέσω της διατροφής. Τα αντιοξειδωτικά, όπως η βιταμίνη E, βοηθούν στη μείωση των οξειδωτικών ζημιών στους μυϊκούς ιστούς, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του κρέατος και βελτιώνοντας την εμφάνισή του. Η οξείδωση των λιπαρών συστατικών του κρέατος μπορεί να οδηγήσει σε αποχρωματισμό και υποβάθμιση της ποιότητας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, κάτι που μπορεί να μειώσει την εμπορική αξία του προϊόντος. Η συμπλήρωση της διατροφής των ζώων με αντιοξειδωτικά μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση της ποιότητας και της φρεσκάδας του κρέατος. Επιπλέον, η διατροφή μπορεί να επηρεάσει τις οργανοληπτικές ιδιότητες του κρέατος, όπως τη γεύση και το άρωμα. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι η προσθήκη βοτάνων και φυτικών εκχυλισμάτων στις ζωοτροφές μπορεί να προσδώσει χαρακτηριστικά γεύσης στο κρέας, βελτιώνοντας την αποδοχή του από τους καταναλωτές. Η χρήση φυσικών αντιοξειδωτικών και άλλων φυτικών συστατικών στις ζωοτροφές βελτιώνει επίσης την ποιότητα του κρέατος, διατηρώντας τα λιπαρά οξέα και προστατεύοντας το από την οξείδωση.

Τέλος, η συνολική υγεία και ευημερία των ζώων, η οποία υποστηρίζεται από τη σωστή διατροφή, επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του κρέατος. Ζώα που τρέφονται με θρεπτικά συστατικά που υποστηρίζουν το ανοσοποιητικό τους σύστημα και την καλή τους υγεία παράγουν κρέας με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Αντίθετα, ζώα που υποφέρουν από υποσιτισμό ή κακής ποιότητας ζωοτροφές παράγουν κρέας με χαμηλότερη ποιότητα και αυξημένα επίπεδα τοξινών [76].

Συνολικά, η ποιότητα των ζωοτροφών καθορίζει την ποιότητα του κρέατος που παράγεται, και οι κτηνοτρόφοι μπορούν να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά του κρέατος μέσω της διαχείρισης της διατροφής των ζώων. Η σωστή διατροφή οδηγεί σε κρέας υψηλής θρεπτικής αξίας, με καλύτερη γεύση, υφή και θρεπτική σύσταση, κάτι που είναι εξαιρετικά σημαντικό για την ικανοποίηση των καταναλωτών και την ανταγωνιστικότητα στην αγορά.

4.3. Συνέπειες για την υγεία του ανθρώπου από τοξικές ουσίες στις τροφές

➤ Μυκοτοξίνες

Οι τοξίνες που εισέρχονται στα ζώα μέσω των ζωοτροφών και μεταφέρονται στους ανθρώπους μέσω της κατανάλωσης ζωικών προϊόντων αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Οι μυκοτοξίνες, όπως η Ωχρατοξίνη A (Ochratoxin A, OTA) και οι χημικές ενώσεις που προκύπτουν από μολυσμένες τροφές, μπορούν να συσσωρευτούν στους ιστούς των ζώων και να εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της κατανάλωσης κρέατος, γάλακτος, αυγών και άλλων ζωικών προϊόντων. Η Ωχρατοξίνη A (OTA), που παράγεται από τους μύκητες *Aspergillus* και *Penicillium*, αποτελεί μία από τις πιο επικίνδυνες μυκοτοξίνες που μπορεί να μολύνουν τις ζωοτροφές. Τα ζώα που καταναλώνουν μολυσμένες τροφές ενδέχεται να

συσσωρεύουν την τοξίνη στους ιστούς τους, ειδικά στα νεφρά, το συκώτι και το γάλα. Οι άνθρωποι που καταναλώνουν προϊόντα από αυτά τα ζώα κινδυνεύουν από την έκθεση στην ΟΤΑ, η οποία έχει συσχετιστεί με νεφροτοξικότητα και μπορεί να προκαλέσει χρόνιες νεφρικές παθήσεις, όπως ενδημική νεφροπάθεια. Επιπλέον, η ΟΤΑ έχει ταξινομηθεί ως πιθανώς καρκινογόνος από τον Διεθνή Οργανισμό Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC), καθώς η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη καρκίνων, ειδικά στον νεφρό [77].

➤ Βαρέα μέταλλα

Εκτός από τις μυκοτοξίνες, οι ζωοτροφές μπορεί να περιέχουν βαρέα μέταλλα, όπως μόλυβδος, κάδμιο και υδράργυρος, τα οποία μπορούν να εισέλθουν στον οργανισμό των ζώων και να περάσουν στον άνθρωπο μέσω της κατανάλωσης κρέατος και γαλακτοκομικών προϊόντων. Αυτά τα βαρέα μέταλλα είναι εξαιρετικά τοξικά και προκαλούν σοβαρά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, όπως νευρολογικές διαταραχές, αναπτυξιακές καθυστερήσεις στα παιδιά και οργανική βλάβη. Ο υδράργυρος, για παράδειγμα, συσσωρεύεται κυρίως στα ψάρια και μπορεί να προκαλέσει νευρολογικές παθήσεις στον άνθρωπο, ενώ το κάδμιο και ο μόλυβδος επηρεάζουν τη λειτουργία των νεφρών και το αναπαραγωγικό σύστημα [78]. Συμπερασματικά, οι τοξίνες που εισέρχονται στους ανθρώπους μέσω των ζωοτροφών αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Οι μυκοτοξίνες και τα βαρέα μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές παθήσεις, όπως καρκίνο, νεφρικές βλάβες και νευρολογικά προβλήματα, ενώ η συνεχής έκθεση σε αυτές μπορεί να έχει μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Είναι επομένως απαραίτητη η αυστηρή παρακολούθηση και ο έλεγχος των ζωοτροφών, ώστε να μειωθεί η παρουσία τοξικών ουσιών και να προστατευθεί η υγεία των καταναλωτών.

➤ Υπολείμματα φυτοφαρμάκων

Τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων στις ζωοτροφές αποτελούν ένα σοβαρό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, καθώς η κατανάλωση ζωικών προϊόντων που περιέχουν αυτά τα κατάλοιπα μπορεί να οδηγήσει σε βλαβερές επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα φυτοφάρμακα, όπως τα οργανοφωσφορικά και τα οργανοχλωριωμένα παράγωγα, χρησιμοποιούνται ευρέως για την προστασία των καλλιεργειών από παράσιτα και ασθένειες, ωστόσο η κακή εφαρμογή τους ή η μη τήρηση των κανόνων ασφαλείας μπορεί να οδηγήσει στη μεταφορά τους στις ζωοτροφές και, κατά συνέπεια, στον άνθρωπο μέσω της κατανάλωσης κρέατος, γάλακτος και αυγών. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα με τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων είναι η αντοχή τους στην υποβάθμιση και η δυνατότητά τους να συσσωρεύονται στον οργανισμό. Ορισμένα από αυτά τα χημικά, όπως τα οργανοχλωριωμένα φυτοφάρμακα (π.χ. DDT και HCH), είναι γνωστά ως έμμονοι οργανικοί ρυπαντές (POPs), καθώς δεν διασπώνται εύκολα στο περιβάλλον και μπορούν να συσσωρευτούν στον λιπώδη ιστό των ζώων. Η βιοσυσσωρευση αυτή ενισχύεται όταν τα ζώα καταναλώνουν μολυσμένες ζωοτροφές, με αποτέλεσμα οι τοξικές ουσίες να περνούν στον άνθρωπο μέσω της κατανάλωσης προϊόντων όπως το κρέας και το γάλα. Σε χώρες όπως η Ινδία, όπου τα οργανοχλωριωμένα φυτοφάρμακα χρησιμοποιούνται ακόμη ευρέως, η συγκέντρωση αυτών των χημικών στις ζωοτροφές και στα ζωικά προϊόντα παραμένει υψηλή, θέτοντας σημαντικούς κινδύνους για την υγεία.

Οι επιπτώσεις αυτών των καταλοίπων φυτοφαρμάκων στην ανθρώπινη υγεία είναι πολυδιάστατες. Η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε χρόνιες παθήσεις, όπως διαταραχές στο αναπαραγωγικό σύστημα, προβλήματα ανάπτυξης στα παιδιά, νευρολογικές διαταραχές και αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου. Τα φυτοφάρμακα λειτουργούν επίσης ως ενδοκρινικοί διαταράκτες, επηρεάζοντας τη φυσιολογική λειτουργία του ορμονικού συστήματος και οδηγώντας σε προβλήματα γονιμότητας και άλλες αναπαραγωγικές δυσλειτουργίες. Επιπλέον, οι επιπτώσεις είναι πιο έντονες σε ευπαθείς ομάδες, όπως τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και οι έγκυες γυναίκες.

Σε περιοχές όπου η χρήση των φυτοφαρμάκων δεν ελέγχεται αυστηρά και η παρακολούθηση των υπολειμμάτων τους στα τρόφιμα είναι περιορισμένη, ο κίνδυνος για τη δημόσια υγεία είναι

αυξημένος. Αυτό καθιστά απαραίτητη την εφαρμογή αυστηρότερων κανονισμών για τη χρήση των φυτοφαρμάκων, καθώς και τη συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων των καταλοίπων στα τρόφιμα και στις ζωοτροφές. Επιπλέον, οι εναλλακτικές στρατηγικές καλλιέργειας, όπως η βιολογική γεωργία και οι φυσικές μέθοδοι καταπολέμησης των παρασίτων, μπορούν να μειώσουν την ανάγκη για τη χρήση χημικών φυτοφαρμάκων και να συμβάλουν στη βελτίωση της ποιότητας των ζωικών προϊόντων που καταναλώνονται από τους ανθρώπους. Συνολικά, η παρουσία υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων στις τροφές αποτελεί έναν σοβαρό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Οι τοξικές αυτές ουσίες μπορούν να προκαλέσουν μακροχρόνιες βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό, καθιστώντας αναγκαία τη λήψη μέτρων για τον περιορισμό της έκθεσης σε αυτές. Η συνεχής παρακολούθηση και η ενίσχυση των κανονισμών για τη χρήση φυτοφαρμάκων είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων και της δημόσιας υγείας [79].

➤ Διοξίνες και πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs)

Οι διοξίνες και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) είναι χημικές ενώσεις που ανήκουν στην κατηγορία των επίμονων οργανικών ρυπαντές (POPs) και έχουν σημαντικές τοξικές επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου. Αυτές οι ενώσεις παράγονται κυρίως ως υποπροϊόντα από βιομηχανικές διαδικασίες, όπως η καύση αποβλήτων, η χημική βιομηχανία και η παραγωγή χαρτιού. Λόγω της ανθεκτικότητάς τους στην υποβάθμιση, οι διοξίνες και τα PCBs παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και καταλήγουν στις ζωοτροφές μέσω της ατμοσφαιρικής μεταφοράς και της μόλυνσης του εδάφους και του νερού. Οι ενώσεις αυτές συσσωρεύονται στον λιπώδη ιστό των ζώων, κάτι που οδηγεί στη μεταφορά τους στους ανθρώπους μέσω της κατανάλωσης μολυσμένων τροφών όπως το κρέας, το γάλα, τα ψάρια και τα αυγά. Οι διοξίνες και τα PCBs έχουν μακροχρόνια ημίσεια ζωή στον ανθρώπινο οργανισμό, γεγονός που σημαίνει ότι μπορούν να συσσωρεύονται σταδιακά και να προκαλούν χρόνια τοξικότητα [80]. Η έκθεση σε αυτές τις ουσίες συνδέεται με μια σειρά σοβαρών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, όπως ορμονικές διαταραχές, ανοσοτοξικότητα, αναπτυξιακές ανωμαλίες και καρκινογένεση. Οι διοξίνες και τα PCBs είναι ιδιαίτερα επιβλαβή επειδή επηρεάζουν το ενδοκρινικό σύστημα, διαταράσσοντας την παραγωγή και τη ρύθμιση των ορμονών που εμπλέκονται στην αναπαραγωγή, την ανάπτυξη και τον μεταβολισμό. Έχει βρεθεί ότι η έκθεση σε διοξίνες και PCBs αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου, ιδιαίτερα του καρκίνου του μαστού, καθώς και άλλων καρκίνων όπως του ήπατος και των λεμφαδένων. Ένας άλλος σημαντικός κίνδυνος από την έκθεση στις διοξίνες και τα PCBs είναι οι επιπτώσεις στην ανάπτυξη του εμβρύου και των παιδιών. Οι ενώσεις αυτές έχουν βρεθεί να επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη του νευρικού συστήματος και του ανοσοποιητικού συστήματος, προκαλώντας μακροχρόνιες αναπτυξιακές και νευρολογικές διαταραχές στα παιδιά. Επιπλέον, η μακροχρόνια έκθεση σε διοξίνες μπορεί να προκαλέσει μεταβολικές διαταραχές όπως σακχαρώδη διαβήτη και παχυσαρκία. Έχει επίσης βρεθεί ότι επηρεάζουν την ποιότητα του σπέρματος στους άνδρες, οδηγώντας σε προβλήματα γονιμότητας [77].

Η μεταφορά των διοξινών και των PCBs στην τροφική αλυσίδα είναι ένα ζήτημα που έχει λάβει μεγάλη προσοχή από τις ρυθμιστικές αρχές σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA), οι διοξίνες και τα δίοξινα-όμοια PCBs αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για την υγεία τόσο των ζώων όσο και των ανθρώπων [80]. Η έκθεση των ζώων σε μολυσμένες ζωοτροφές μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των τοξινών στα ζωικά προϊόντα, και ως εκ τούτου, οι κανονισμοί που αφορούν τις μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις διοξινών στις τροφές έχουν καταστεί ιδιαίτερα αυστηροί. Παρόλα αυτά, οι διοξίνες συνεχίζουν να αποτελούν σημαντικό κίνδυνο λόγω της παγκόσμιας ρύπανσης και της μακροχρόνιας παραμονής τους στο περιβάλλον.

Η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων διοξινών και PCBs στις ζωοτροφές και τα ζωικά προϊόντα είναι απαραίτητη για τη μείωση της έκθεσης των καταναλωτών σε αυτές τις

επικίνδυνες ουσίες. Οι καταναλωτές εκτίθενται κυρίως μέσω της κατανάλωσης λιπαρών τροφών, όπως το κρέας και τα γαλακτοκομικά, όπου οι διοξίνες τείνουν να συσσωρεύονται. Επιπλέον, απαιτείται αυστηρή εφαρμογή των ρυθμιστικών προτύπων για την προστασία της δημόσιας υγείας [80].

➤ Υπολειμματικότητα αντιβιοτικών

Τα υπολείμματα αντιβιοτικών στις τροφές αποτελούν έναν σοβαρό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, καθώς μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρές παρενέργειες, όπως η ανάπτυξη ανθεκτικών μικροοργανισμών, αλλεργικές αντιδράσεις, τοξικότητα και άλλες επιβλαβείς επιπτώσεις. Η χρήση αντιβιοτικών στις ζωοτροφές έχει εφαρμοστεί ευρέως ως θεραπεία, προφύλαξη από ασθένειες και ενίσχυση της ανάπτυξης των ζώων. Αυτά τα αντιβιοτικά, όμως, συχνά αφήνουν κατάλοιπα στα ζωικά προϊόντα, όπως το κρέας, το γάλα και τα αυγά, τα οποία καταλήγουν στη διατροφή του ανθρώπου. Η υπερβολική και μη ελεγχόμενη χρήση αντιβιοτικών στις ζωοτροφές έχει οδηγήσει στην εμφάνιση ανθεκτικών βακτηρίων, όπως τα ανθεκτικά στη βανκομυκίνη εντεροκόκκοι (VRE) και η ανθεκτική στη σαλμονέλα. Αυτοί οι μικροοργανισμοί μπορούν να μεταφερθούν από τα ζώα στον άνθρωπο μέσω της τροφής, οδηγώντας σε αυξημένη ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά, καθιστώντας τις θεραπείες για μολυσματικές ασθένειες λιγότερο αποτελεσματικές. Μελέτες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση μολυσμένων τροφών μπορεί να επιφέρει την ανάπτυξη ανθεκτικών στελεχών βακτηρίων, όπως η *Escherichia coli*, η οποία μεταφέρει την ανθεκτικότητα στην τροφική αλυσίδα. Εκτός από την ανθεκτικότητα, τα υπολείμματα αντιβιοτικών έχουν συνδεθεί με αλλεργικές αντιδράσεις. Οι β-λακταμικές αντιδράσεις από την κατανάλωση γαλακτοκομικών προϊόντων ή κρέατος με υπολείμματα πενικιλίνης μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρές αλλεργικές αντιδράσεις, συμπεριλαμβανομένου του αναφυλακτικού σοκ, το οποίο μπορεί να αποβεί μοιραίο. Άλλες αλλεργικές εκδηλώσεις περιλαμβάνουν δερματικά εξανθήματα και αναπνευστικές δυσκολίες, ιδιαίτερα σε ευπαθή άτομα με προηγούμενη ευαισθησία στα αντιβιοτικά.

Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα είναι η καρκινογένεση και η μεταλλαξιγένεση που προκαλείται από την κατανάλωση τροφών με υπολείμματα συγκεκριμένων αντιβιοτικών. Για παράδειγμα, τα φάρμακα όπως τα νιτροφουράνια και τα μετρονιδαζόλια έχουν συσχετιστεί με καρκινογόνες επιδράσεις, καθώς λειτουργούν ως μεταλλαξιογόνοι παράγοντες, προκαλώντας βλάβες στο DNA. Αυτά τα υπολείμματα, που συχνά παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα στα ζωικά προϊόντα, μπορούν να προκαλέσουν μακροχρόνιες βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό, επηρεάζοντας την κυτταρική αναγέννηση και την υγεία. Επιπλέον, η μακροχρόνια κατανάλωση τροφών με υπολείμματα αντιβιοτικών μπορεί να προκαλέσει διαταραχές στην εντερική μικροχλωρίδα. Τα αντιβιοτικά καταστρέφουν τόσο τα παθογόνα βακτήρια όσο και τα ωφέλιμα βακτήρια στο έντερο, προκαλώντας δυσβίωση και διαταραχές του γαστρεντερικού συστήματος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πεπτικά προβλήματα, αδυναμία απορρόφησης θρεπτικών συστατικών και αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος [81]. Η έκθεση σε υπολείμματα αντιβιοτικών μέσω των τροφίμων καθιστά απαραίτητη την εφαρμογή αυστηρών μέτρων για τη διασφάλιση της ασφάλειας των ζωικών προϊόντων. Οι ρυθμιστικές αρχές επιβάλλουν περιόδους αναμονής για τα ζώα μετά τη χορήγηση αντιβιοτικών, ώστε τα υπολείμματα να μειωθούν σε ασφαλή επίπεδα πριν τα προϊόντα αυτά εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα. Ωστόσο, η ανεπαρκής τήρηση αυτών των κανόνων μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα υπολειμμάτων στις τροφές και, κατ' επέκταση, σε σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία.

Συμπεράσματα και Προτάσεις

5.1. Βασικά ευρήματα της μελέτης

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε ότι η χρήση πρόσθετων στις ζωοτροφές έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει σημαντικά την παραγωγικότητα των ζώων, καθώς και την ποιότητα των ζωικών προϊόντων. Ειδικότερα, τα φυσικά προσθετα, όπως τα αιθέρια έλαια και τα προβιοτικά, έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στη βελτίωση της υγείας των ζώων, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν την ανάγκη χρήσης χημικών ουσιών και αντιβιοτικών. Παράλληλα, δόθηκε έμφαση στην ανάγκη διαρκούς παρακολούθησης της παρουσίας τοξικών ουσιών στις ζωοτροφές, όπως μυκοτοξινών, βαρέων μετάλλων και υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων, οι οποίες δύνανται να επηρεάσουν αρνητικά την υγεία του ανθρώπου μέσω της τροφικής αλυσίδας.

5.2. Προκλήσεις για τη βιομηχανία ζωοτροφών

Η βιομηχανία ζωοτροφών αντιμετωπίζει αυξανόμενες προκλήσεις λόγω της ανάγκης για ασφαλείς και υψηλής ποιότητας πρώτες ύλες που να συμμορφώνονται με τα σύγχρονα πρότυπα διατροφικής ασφάλειας. Επιπλέον, η βιομηχανία οφείλει να υιοθετήσει καινοτόμες πρακτικές παραγωγής, οι οποίες να επικεντρώνονται στη μείωση της χρήσης χημικών πρόσθετων και στη μεγιστοποίηση της διατροφικής αξίας των προϊόντων. Η υιοθέτηση φυσικών πρόσθετων και η αναβάθμιση των μεθόδων ανάλυσης των τροφών μπορούν να αποτελέσουν μια στρατηγική κίνηση για την προσαρμογή στις αυστηρές νομοθετικές απαιτήσεις, καθώς και για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών προς τα ζωικά προϊόντα.

5.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη προηγμένων αναλυτικών μεθόδων για την ακριβέστερη ανίχνευση και ποσοτικοποίηση πρόσθετων στις ζωοτροφές. Η μελέτη των μακροχρόνιων επιπτώσεων της χρήσης φυσικών και χημικών πρόσθετων στη φυσιολογία των ζώων και τη δημόσια υγεία είναι επίσης απαραίτητη. Εξίσου σημαντική είναι η διερεύνηση εναλλακτικών πρακτικών, όπως η εφαρμογή βιώσιμων και βιολογικών μεθόδων παραγωγής ζωοτροφών, που θα ελαχιστοποιήσουν τη χρήση χημικών ουσιών και θα συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας των ζώων.

5.4. Συμπεράσματα

Η εξασφάλιση της ποιότητας των ζωοτροφών και η αποφυγή της χρήσης επικίνδυνων χημικών πρόσθετων αποτελούν κομβικούς παράγοντες για την προαγωγή της δημόσιας υγείας και τη βιωσιμότητα της κτηνοτροφικής παραγωγής. Η στροφή προς τη χρήση φυσικών πρόσθετων και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ανάλυσης ζωοτροφών μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη μείωση των επιπτώσεων από την έκθεση σε τοξικές ουσίες. Η βιομηχανία ζωοτροφών οφείλει να προσαρμόσει τις μεθόδους της στις σύγχρονες απαιτήσεις, ώστε να εξασφαλίσει την ασφάλεια των καταναλωτών και να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητά της σε μια παγκοσμιοποιημένη αγορά τροφίμων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Adams, Clifford A. "Nutrition-based health in animal production." *Cambridge University Press*, 14 Dec. 2007
- [2] Orengo J, Hernández F, Martínez-Miró S, Sánchez CJ, Rubio CP, Madrid J. Effects of commercial antioxidants in feed on growth performance and oxidative stress status of weaned piglets. *Animals*. 2021;11(2):266. doi:10.3390/ani11020266
- [3] Abuelo, Angel, et al. "Reevaluating Antioxidants for Dairy Cattle." *Michigan State University Extension*, 28 Oct. 2022
- [4] McIntosh, L., Muir, J., & Spranger, M. (2016). The environmental impact of livestock production and the role of the feed industry in promoting sustainability. *Farming Systems Research*, 45(2), 212-224
- [5] Peiren, N., Geeroms, N., Vanden Broeck, W., et al. (2017). Environmental and health impacts of animal-based food production: A literature review. *Science of the Total Environment*, 609, 1560-1570
- [6] Sapkota, Amy R., et al. "What Do We Feed to Food-Production Animals? A Review of Animal Feed Ingredients and Their Potential Impacts on Human Health." *Environmental Health Perspectives*, vol. 115, no. 5, 2007, pp. 663–670
- [7] Conrad, H. R., and T. J. Klopfenstein. "Role in Livestock Feeding—Greenchop, Silage, Hay, and Dehy." *Ohio Agricultural Research and Development Center*, Wooster, Ohio, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, 1988
- [8] Radović, J., D. Sokolović, and J. Marković. "Alfalfa—Most Important Perennial Forage Legume in Animal Husbandry." *Biotechnology in Animal Husbandry*, vol. 25, no. 5-6, 2009, pp. 465–475
- [9] TOMIĆ Z., IGNJATOVIĆ S., RADOVIĆ J., SOKOLOVIĆ D. (2001): Lignifikacija celuloze i mineralnih materija u travama, leguminozama i festololium hibridima. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 17, 5-6, 219-225
- [10] O'Donovan, P. B. "Untreated Straw as a Livestock Feed." *Nutrition Abstracts and Reviews. Series B. Livestock Feeds and Feeding*, vol. 53, no. 7, 1983, pp. 442–455
- [11] INRA Sauvant, D., Perez, J.M. and Tran, G., eds. Institut Scientifique de Recherche Agronomique. Tables of composition and nutritional value of feed materials.,, p.186. Wageningen Academic Publishers, Netherlands.2004
- [12] Liener, R.E. Feeney and J.R. Whitaker. I.E. Removal of naturally occurring toxicants through enzymatic processing., Food proteins: Improvements through chemical and enzymatic modifications (p.7-57). *Advances in Chemistry Series 160*. Washington, D.C. 1977
- [13] Dei, H. K. "Soybean as a Feed Ingredient for Livestock and Poultry." Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University for Development Studies, Tamale, Ghana
- [14] Tiwari, M. R., et al. "Effect of Bypass Protein Supplement on Milk Production in Jersey Cow." *Animal Nutrition Division, Khumaltar, Lalitpur, Nepal; Animal Breeding Division, Khumaltar, Lalitpur, Nepal; Department of Surgery and Obstetrics, Bangladesh Agricultural University, Bangladesh; National Cattle Research Program, Rampur, Chitwan, Nepal; Institute of Agriculture and Animal Science, Tribhuvan University, Kirtipur, Nepal*] Στοιχευμένες μελέτες, όπως αυτές των Preston και Leng (1987) [Preston, T. R., and R. A. Leng. *Matching*

Ruminant Production Systems with Available Resources in the Tropics and Sub-Tropics. Penambur Books, 1987, Armidale, Australia

[15] Bonos, E., et al. "The Sunflower Oil and the Sunflower Meal in Animal Nutrition." *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, vol. 62, no. 1, 2011, <https://doi.org/10.12681/jhvms.14836>.

[16] Saini, Praveen, et al. "Wheat Bran as a Potential Source of Dietary Fiber: Prospects and Challenges." *Journal of Food Composition and Analysis*. Department of Food Engineering and Technology, Sant Longowal Institute of Engineering & Technology, Longowal, Punjab, India.2023

[17] Kaur, Amritpal, et al. "Isolation and Characterization of Arabinoxylans from Wheat Bran and Study of Their Contribution to Wheat Flour Dough Rheology." *Carbohydrate Polymers*, vol. 221, 1 Oct. 2019, pp. 166–173

[18] Saini, Praveen, et al. "Wheat Bran as a Potential Source of Dietary Fiber: Prospects and Challenges." *Journal of Food Composition and Analysis*. Department of Food Engineering and Technology, Sant Longowal Institute of Engineering & Technology, Longowal, Punjab, India.2023

[19] Day, L., M. A. Augustin, I. L. Batey, and C. W. Wrigley. "Wheat-Gluten Uses and Industry Needs." *Trends in Food Science & Technology*, vol. 17, 2006, pp. 82–90

[20] European Commission. *Regulation (EU) No 68/2013 of the Commission of 16 January 2013 on the Catalogue of Feed Materials*. Official Journal of the European Union, 16 Jan. 2013

[21] Dale, Philip J., Belinda Clarke, and Eliana M.G. Fontes. "Potential for the Environmental Impact of Transgenic Crops." *Nature Biotechnology*, vol. 20, no. 6, 2002, pp. 567-574

[22] Black, J. L., et al. "Feed Uses for Barley." Australian Barley Association Conference, Australian Barley Association, 11–14 Sept. 2005, Australia, pp. 1–4

[23] Peiji, Gao, et al. "Screening Microbial Strain for Improving the Nutritional Value of Wheat and Corn Straws as Animal Feed." *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 20, no. 8, June 1997, pp. 581–584

[24] Cuddeford, D. "Oats for Animal Feed." *The Oat Crop: Production and Utilization*, edited by R. W. Welch, World Crop Series, Springer, 1995, pp. 321–368

[25] Hristov, A. N., et al. "Effect of Carbohydrate Source on Ammonia Utilization in Lactating Dairy Cows." *Journal of Animal Science*, vol. 83, 2005, pp. 408–421

[26] Mordenti, Attilio Luigi, et al. "A Review Regarding the Use of Molasses in Animal Nutrition." *Animals*, vol. 11, no. 1,p. 115.2021

[27] Habeeb, A. A. M., et al. "Using of Sugar Beet Pulp By-Product in Farm Animals Feeding." *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, vol. 3, no. 3, 2017, pp. 107. Print ISSN: 2395-6011, Online ISSN: 2395-602X

[28] Uddin, Hayaz, et al. "Effect of Cotton Seed Cake on Cattle Milk Yield and Composition at Livestock Research and Development Station Surezai, Peshawar, Pakistan." *Pakistan Journal of Nutrition*, vol. 12, no. 5, 2013, pp. 468–475. Asian Network for Scientific Information

[29] Straub, P., et al. "Experimental Feeding Studies with Crickets and Locusts on the Use of Feed Mixtures Composed of Storable Feed Materials Commonly Used in Livestock Production." *Animal Feed Science and Technology*, International Centre of Insect Physiology

and Ecology (ICIPE), Plant Health Division, Nairobi, Kenya; Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Department of Animal Science, Nairobi, Kenya; Technical University of Munich, Chair of Animal Nutrition, Freising, Germany

[30] Kellaway, Roy, and Tim Harrington. *Feeding Concentrates: Supplements for Dairy Cows*. Dairy Australia, 2004

[31] Al-Jaf, Komar Akbar Hasan, and Yaser Khorram Del. "Effect of Different Feed Additives on Growth Performance and Production in Livestock." *International Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 9, no. 1, 2019, pp. 16-31

[32] National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Revised Edition. National Academy Press, Washington, DC

[33] Moughan, P. J., & Rutherford, S. M. (2011). "Protein in the Diet: An Overview of Nutritional Requirements." *Animal Feed Science and Technology*, 166(3-4), 191-201

[34] Pirgozliev, V., & Acamovic, T. (2012). "The Role of Proteins in Poultry Nutrition." *Journal of Animal Science*, 90(4), 1515-1522

[35] Yu, X., et al. "The Role of Fats and Fatty Acids in Animal Nutrition." *Animal Nutrition*, vol. 1, no. 1, 2015, pp. 17-25

[36] Akinmoladun, Afolabi, and M. G. Olanrewaju. "The Role of Fats in Animal Nutrition." *KVJ Journal*, 2016

[37] Ochoa, L., Paniagua Michel, J. de J., & Olmos-Soto, J. (2014). Complex carbohydrates as a possible source of high energy to formulate functional feeds. *Advances in Food and Nutrition Research*, 73, 259-288

[38] Rasikh, Ahmad Hussain. "Role of vitamins in animal health and production." *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, vol. 4, no. 4, 2019, pp. 40-43

[39] Garnett, Tara. "Livestock-related Greenhouse Gas Emissions: Impacts and Options for Policy Makers." *Environmental Science & Policy*, vol. 12, no. 4, June 2009, pp. 491-503\

[40] Abdollahi, M. R., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013). Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1-4), 1-23

[41] Holden, L.A. "Comparison of Methods of In Vitro Dry Matter Digestibility for Ten Feeds." *Journal of Dairy Science*, vol. 82, no. 8, Aug. 1999, pp. 1791-1794.

[42] Van Soest, P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A. "Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition." *Journal of Dairy Science*, vol. 74, no. 10, Oct. 1991, pp. 3583-3597.

[43] Bach Knudsen, Knud Erik. "Carbohydrate and Lignin Contents of Plant Materials Used in Animal Feeding." *Animal Feed Science and Technology*, vol. 67, no. 4, Aug. 1997, pp. 319-338.

[44] Seppänen-Laakso, T., Laakso, I., & Hiltunen, R. (2002). "Analysis of Fatty Acids by Gas Chromatography, and Its Relevance to Research on Health and Nutrition." *Analytica Chimica Acta*, vol. 465, no. 1-2, 16 Aug. 2002, pp. 39-62.

[45] Md Noh, Mohd Fairulnizal, et al. "Recent Techniques in Nutrient Analysis for Food Composition Database." *Molecules*, vol. 25, no. 19, 2020, p. 4567

- [46] Singh, Chatrapal, C. S. Sharma, and P. R. Kamble. "Amino Acid Analysis Using Ion-Exchange Chromatography: A Review." *International Journal of Pharmacognosy*, vol. 1, no. 12, 2014, pp. 756-762. E-ISSN: 2348-3962, P-ISSN: 2394-5583.
- [47] Gomes, D. I., et al. "Evaluation of Digestion Procedures in Kjeldahl Method to Quantify Total Nitrogen in Analyses Applied to Animal Nutrition." *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, vol. 38, no. 1, 2016.
- [48] Serrano, S., Rincón, F., & García-Olmo, J. "Analysis of Cereal Proteins Using the Dumas Method: Standardization of a Micro Method with the EuroVector Elemental Analyzer." *Journal of Cereal Science*, vol. 58, no. 1, July 2013, pp. 31–36.
- [49] Isheshiulor, O.O.M., et al. "Effects of Mycotoxins in Animal Nutrition: A Review." *Asian Journal of Animal Sciences*, vol. 5, no. 1, 2011, pp. 19-33. Knowledge Review, doi:10.3923/ajas.2011.19.33.
- [50] Yilmaz, Seval, and Hakan Bag. "Aflatoxin B1: Mechanism, Oxidative Stress and Effects on Animal Health." *Journal of Animal Biology and Veterinary Medicine*, vol. 2, 2022, pp. 1-16. JScholar, doi:10.17303/javm.2022.2.102. Accessed 14 Oct. 2022.
- [51] Balina, Abebe, et al. "Review on Aflatoxin and Its Impacts on Livestock." *Dairy and Vet Sci J*, vol. 6, no. 2, 2018, pp. 1-5. Wollega University, doi:10.19080/JDVS.2018.06.555685. Accessed 31 May 2018.
- [52] Kőszegi, Tamás, and Miklós Poór. "Ochratoxin A: Molecular Interactions, Mechanisms of Toxicity and Prevention at the Molecular Level." *Toxins*, vol. 8, no. 4, 2016, article 111, doi:10.3390/toxins8040111. Accessed 15 Apr. 2016.
- [53] Fink-Gremmels, J., and H. Malekinejad. "Clinical Effects and Biochemical Mechanisms Associated with Exposure to the Mycoestrogen Zearalenone." *Animal Feed Science and Technology*, vol. 137, no. 3–4, 1 Oct. 2007, pp. 326-341, doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.06.006.
- [54] Foroud, Nora A., et al. "Trichothecenes in Cereal Grains – An Update." *Toxins*, vol. 11, no. 11, 2019, article 634, doi:10.3390/toxins11110634.
- [55] Voss, K. A., et al. "Fumonisin: Toxicokinetics, Mechanism of Action and Toxicity." *Animal Feed Science and Technology*, vol. 137, no. 3-4, 2007, pp. 299-325, doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.06.007.
- [56] Pierce, Richard H., and Gary J. Kirkpatrick. "Innovative Techniques for Harmful Algal Toxin Analysis." *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 20, no. 1, 2001, pp. 107-114, doi:10.1002/etc.5620200110.
- [57] Turner, Nicholas W., et al. "Analytical Methods for Determination of Mycotoxins: A Review." *Analytica Chimica Acta*, vol. 632, no. 2, 2009, pp. 168-180, doi:10.1016/j.aca.2008.11.010.
- [58] Pierce, Richard H., and Gary J. Kirkpatrick. "Innovative Techniques for Harmful Algal Toxin Analysis." *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 20, no. 1, 2001, pp. 107-114.
- [59] Bryden, W. L. "Mycotoxin Contamination of the Feed Supply Chain: Implications for Animal Productivity and Feed Security." *Animal Feed Science and Technology*, vol. 173, 2012, pp. 134-158.
- [60] ΕΦΕΤ και Κανονισμοί Ευρωπαϊκής Ένωσης (1831/2003 και 401/2006).

- [61] Squires, E. J., et al. "Application of Herbal Feed Additives in Animal Nutrition." *Journal of Animal Science*, vol. 78, no. 3, 2021, pp. 21-28.
- [62] Henn, João Dionísio, et al. "Oregano Essential Oil as Food Additive for Piglets: Antimicrobial and Antioxidant Potential." *Revista Brasileira de Zootecnia*, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2010.
- [63] Gaggia, Francesca, Paola Mattarelli, and Bruno Biavati. "Probiotics and Prebiotics in Animal Feeding for Safe Food Production." *International Journal of Food Microbiology*, vol. 141, 2010, pp. S15-S28. Elsevier, doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031.
- [64] Stevanovic, Zora Dajic, et al. "Essential Oils as Feed Additives—Future Perspectives." *Molecules*, vol. 23, no. 7, 2018, pp. 1-20.
- [65] Brambilla, G., et al. "Extraction, Clean-Up and Gas Chromatography–Mass Spectrometry Characterization of Zilpaterol as Feed Additive in Fattening Cattle." *Journal of Chromatography B*, vol. 783, 2003, pp. 141-149. Elsevier, doi:10.1016/S1570-0232(02)00700-3.
- [66] Vincent, Ursula, et al. "Validation of a Multi-Analyte HPLC Method for the Determination of Carotenoids Used as Feed Additives in Fish and Poultry Feed: Results of an Interlaboratory Study." *Food Additives & Contaminants: Part A*, vol. 38, no. 3, 2021, pp. 396-408, Taylor & Francis, doi:10.1080/19440049.2020.1869325
- [67] Omar, Jone, et al. "Spectroscopy Applied to Feed Additives of the European Union Reference Laboratory: A Valuable Tool for Traceability." *Food Additives & Contaminants: Part A*, vol. 34, no. 8, 2017, pp. 1272-1284, Taylor & Francis, doi:10.1080/19440049.2017.1303196.
- [68] Zawadzki, Andressa de, et al. "Mate Extract as Feed Additive for Improvement of Beef Quality." *Food Research International*, vol. 99, 2017, pp. 336-347, Elsevier, doi:10.1016/j.foodres.2017.05.033.
- [69] Petri, Renee Maxine, et al. "Feed Additives Differentially Impact the Epimural Microbiota and Host Epithelial Gene Expression of the Bovine Rumen Fed Diets Rich in Concentrates." *Frontiers in Microbiology*, vol. 11, 2020.
- [70] Idowu, K. R., et al. "Comparative Effects of Different Natural and Synthetic Feed Additives on Changes in Digestive Organ Weights and PH Profile of Broiler Chickens." *Proceedings of the 49th Conference, Nigeria Society for Animal Production*, March 2024.
- [71] Singh, Pankaj Kumar. "Use of Nano Feed Additives in Livestock Feeding." *International Journal of Livestock Research*, vol. 6, no. 1, 2016, pp. 1-14.
- [72] European Commission. *Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council on Additives for Use in Animal Nutrition*. Official Journal of the European Union, 2003.
- U.S. Food and Drug Administration. *Food Additives and GRAS Substances (Animal Food)*. FDA
- [73] Leng, R. A. "Factors Affecting the Utilization of Poor-Quality Forages by Ruminants Particularly Under Tropical Conditions." *Nutrition Research Reviews*, vol. 19, no. 3, 1990, pp. 277-303.
- [74] Malau-Aduli, Aduli E.O., et al. "Genetics and Nutrition Impacts on Herd Productivity in the Northern Australian Beef Cattle Production Cycle." *Veterinary and Animal Science*, vol. 15, Elsevier, 2022, pp. 100228.

- [75] Gorelik, O. V., et al. "Relationship between Cow Milk Yield and Milk Quality Indicators." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 677, 2021, doi:10.1088/1755-1315/677/3/032013.
- [76] Andersen, Henrik J., et al. "Feeding and Meat Quality – A Future Approach." *Meat Science*, vol. 70, no. 4, 2005, pp. 543–554, doi:10.1016/j.meatsci.2004.07.015.
- [77] Reddy, Lalini, and Kanti Bhoola. "Ochratoxins—Food Contaminants: Impact on Human Health." *Toxins*, vol. 2, no. 4, 2010, pp. 771-779, doi:10.3390/toxins2040771.
- [78] Rather, Irfan A., et al. "The Sources of Chemical Contaminants in Food and Their Health Implications." *Frontiers in Pharmacology*, vol. 8, 2017, Article 830, doi:10.3389/fphar.2017.00830.
- [79] Kumar, Atul, et al. "Pesticide Residues in Animal Feed: Status, Safety and Scope." *Journal of Animal Feed Science and Technology*, vol. 7, no. 2, 2019, pp. 73-80.
- [80] EFSA CONTAM Panel. "Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food." *EFSA Journal*, vol. 16, no. 11, 2018, pp. 5333.
- [81] Kyuchukova, Ralitsa. "Antibiotic Residues and Human Health Hazard: A Review." *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, vol. 26, no. 3, 2020, pp. 664-668.