



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΧΡΗΣΗ ΕΝΤΟΜΑΛΕΥΡΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΖΩΩΝ

Καλαντζάκη Νίκη

Επιβλέπων: Ελευθέριος Μπόνος
Αναπληρωτής Καθηγητής | D.V.M. | Ph.D

Άρτα, Μάιος, 2023

USE OF INSECT MEALS IN DIETS OF PRODUCTIVE ANIMALS

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Τόπος, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Ελευθέριος Μπόνος

2. Μέλος επιτροπής

Ευαγγελία Γκούβα

3. Μέλος επιτροπής

Μαγκλάρας Γεώργιος

© Καλαντζάκη, Νίκη, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

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

Καλαντζάκη, Νίκη

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες και θερμές ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που με την επιρροή τους με βοήθησαν να κλείσω τον κύκλο σπουδών μου.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κύριο Μπόνο Ελευθέριο για την σημαντική καθοδήγηση , ώσπου να ολοκληρώσω με επιτυχία την πτυχιακή μου εργασία.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου , που με την υποστήριξη τους μου έδειχναν συνεχώς ότι είμαι ικανή να τα καταφέρω και να πάω ένα βήμα παραπέρα.

Τέλος την μεγαλύτερη ευχαριστία την αφιερώνω στην οικογένεια μου που ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια της φοίτησης μου.

Η χρήση εντομάλευρων στη διατροφή των παραγωγικών ζώων

Use of insect meals in diets of productive animals

Περίληψη

Μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η παγκόσμια κοινότητα είναι η επάρκεια τροφίμων υψηλής διατροφικής αξίας για την κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού του πλανήτη. Οι απαιτήσεις των καταναλωτών σε προϊόντα των παραγωγικών ζώων αυξάνονται, καθώς επίσης αυξάνεται και ο πληθυσμός δημιουργώντας περαιτέρω ζήτηση σε τρόφιμα. Η σίτιση των ζώων έχει αναδειχθεί σε ένα μείζον ζήτημα το οποίο απασχολεί έντονα την επιστημονική κοινότητα. Η έρευνα σχετικά με τη χρήση εντομάλευρων προτείνει τα έντομα ως μια υψηλής ποιότητας, επαρκή και βιώσιμη εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης. Η χρήση των εντόμων μπορεί να συμβάλει στην παγκόσμια ασφάλεια των τροφίμων μέσω της σίτισης των παραγωγικών ζώων τα οποία χρησιμοποιούνται ως τροφή των ανθρώπων. Η παγκόσμια πρόκληση της αυξανόμενης ζήτησης τροφίμων με υψηλή περιεκτικότητα πρωτεΐνης είναι πιθανό να οδηγήσει στην επέκταση της χρήσης των εντόμων στις ζωοτροφές τα οποία είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Επιπλέον, ο μετριασμός της απειλής της κλιματικής αλλαγής μπορεί να επιτευχθεί μέσω της εντατικοποίησης της παραγωγής εντόμων η οποία απαιτεί λιγότερους πόρους ενέργειας, νερού και γης, ενώ είναι δυνατό να μειώσει τις ποσότητες οργανικών αποβλήτων. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα αναφορικά με τις βέλτιστες πρακτικές υιοθέτησης των εντομάλευρων στην τροφή των παραγωγικών ζώων ώστε να μην τεθεί σε κίνδυνο η ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια.

Λέξεις-κλειδιά

εντομάλευρα, παραγωγικά ζώα, διατροφική αξία, βιωσιμότητα

Abstract

One of the challenges facing the global community is the sufficiency of food of high nutritional value to meet the needs of the planet's population. Consumers' demands for animal products are increasing, as is the human population, creating further demand for food. Animal feeding has emerged as a major issue that is of intense concern to the scientific community. Research on the use of insect meals suggests insects as a high quality, adequate and sustainable alternative source of protein. The use of insects can contribute to global food security by feeding productive animals that are used as human food. The global challenge of increasing demand for high protein food is likely to lead to the expansion of the use of insects in nutrient-rich animal feed. In addition, mitigating the threat of climate change can be achieved through the intensification of insect production which requires less energy, water and land resources, while it is possible to reduce the amounts of organic waste. However, further research is needed regarding the best practices of adopting insect meals in the feed of productive animals so that human health and safety are not put at risk.

Keywords

insect meals, productive animals, nutritional value, sustainability

Περιεχόμενα

Περίληψη	8
Abstract	9
Κατάλογος εικόνων.....	11
Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο 1 ^ο . Τα έντομα στη διατροφή των ζώων.....	15
1.1 Η χρήση των εντομάλευρων ως συστατικό της τροφής των παραγωγικών ζώων15	
1.2 Οι υπηρεσίες των εντόμων	16
1.3 Τα χαρακτηριστικά των εντόμων ως πηγών τροφής.....	18
1.4 Θρεπτική σύνθεση και ιδιότητες των εντόμων	22
1.4.1 Πρωτεΐνες και αμινοξέα	25
1.4.2 Λιπίδια	26
1.4.3 Βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία	27
Κεφάλαιο 2 ^ο . Οφέλη της χρήσης εντόμων.....	29
2.1 Διατροφικά οφέλη.....	29
2.1.1 Πουλερικά.....	29
2.1.2 Χοίροι.....	30
2.1.3 Ψάρια.....	31
2.2 Περιβαλλοντικά οφέλη.....	32
2.3 Οικονομικά οφέλη.....	34
Κεφάλαιο 3 ^ο . Παραγωγή και Νομοθετικό πλαίσιο	38
3.1 Η βιωσιμότητα της συλλογής βρώσιμων εντόμων από τα οικοσυστήματα.....	37
3.2 Βιομηχανική παραγωγή των εντομάλευρων	39
3.3 Η νομιμοποίηση της χρήσης εντομάλευρων	42
Κεφάλαιο 4 ^ο . Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	48
4.1 Συμπεράσματα	48
4.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και προοπτικές.....	50
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	52

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Είδη εντόμων κατάλληλα για την παραγωγή τροφών/ζωοτροφών ...	σ. 20
Εικόνα 2. Κύκλος ζωής της μύγας στρατιώτη (BSF)	σ. 21
Εικόνα 3. Κύκλος ζωής της οικιακής μύγας (<i>Musca domestica</i>)	σ. 22
Εικόνα 4. Κύκλος ζωής του κίτρινου αλευροσκώληκα (<i>Tenebrio molitor</i>)	σ. 22
Εικόνα 5. Αυγά κίτρινου αλευροσκώληκα	σ. 23
Εικόνα 6. Προνύμφη κίτρινου αλευροσκώληκα	σ. 23
Εικόνα 7. Νύμφη κίτρινου αλευροσκώληκα	σ. 24
Εικόνα 8. Προνύμφη κίτρινου αλευροσκώληκα.....	σ. 24
Εικόνα 9. Τα θρεπτικά συστατικά των εντόμων	σ. 29
Εικόνα 10. Βιώσιμη κυκλική οικονομία	σ. 36
Εικόνα 11. Θέσεις απασχόλησης έως το 2025 και 2030	σ. 37
Εικόνα 12. Ανάπτυξη επιχειρήσεων 2020-2030	σ. 37
Εικόνα 13. Τα έντομα στην τροφική αλυσίδα	σ. 43
Εικόνα 14. Τάσεις στην αγορά εντομάλευρων έως το 2025 και το 2030	σ. 46
Εικόνα 15. Προνύμφη <i>Amphitobius diaperinus</i>	σ. 47
Εικόνα 16. Νύμφη <i>Amphitobius diaperinus</i>	σ. 48
Εικόνα 17. Ενήλικο <i>Amphitobius diaperinus</i>	σ. 48

Εισαγωγή

Μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανθρώπινη κοινότητα είναι η αύξηση της ζήτησης των τροφίμων, ιδίως όσον αφορά στα ζωικά προϊόντα. Έως το 2050, υπολογίζεται ότι η κατανάλωση αυτών των προϊόντων θα αυξηθείσε ποσοστό 60-70% δημιουργώντας τεράστιες απαιτήσεις σε πόρους. Λαμβάνοντας υπόψη την περιορισμένη διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων, τις συνεχείς κλιματικές αλλαγές και τον ανταγωνισμό στα τρόφιμα, στις ζωοτροφές και στα καύσιμα, είναι προφανές ότι η εξεύρεση πηγών για τη διατροφή των ζώων γίνεται όλο και πιο δυσχερής. Το κόστος των συμβατικών πόρων ζωοτροφών, όπως τα σογιάλευρα και τα ιχθυάλευρα είναι υψηλό, ενώ η διαθεσιμότητά τους στο μέλλον θα είναι περιορισμένη. Η εκτροφή εντόμων θα μπορούσε να είναι μια λύση στο πρόβλημα. Αν και υπάρχουν μελέτες που επικεντρώνονται στην αξιολόγηση των εντόμων, των προνυμφών ή των γευμάτων εντόμων ως συστατικών στη διατροφή ορισμένων ειδών ζώων, ωστόσο το πεδίο αυτό δεν έχει επαρκώς ερευνηθεί.

Τα έντομα εδώ και αιώνες αποτελούν μέρος της ανθρώπινης διατροφής και καταναλώνονται πρωτίστως σε πολλά μέρη της Ασίας, της Λατινικής Αμερικής και της Αφρικής συμπληρώνοντας τη διατροφή περίπου δύο δισεκατομμυρίων ανθρώπων. Πρόσφατα, η επισιτιστική ανασφάλεια που επικρατεί σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες και οι μελλοντικές επισιτιστικές ανάγκες του πλανήτη έχουν στρέψει το ενδιαφέρον στα έντομα ως εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών. Το παγκόσμιο σύστημα τροφίμων υφίσταται μια βαθιά αλλαγή λόγω της αστικοποίησης, της αύξησης του εισοδήματος, των περιβαλλοντικών και διατροφικών ανησυχιών του σύγχρονου ανθρώπου. Η αλλαγή αυτή χαρακτηρίζεται από την αυξανόμενη ζήτηση ζωικών προϊόντων η οποία είναι πιθανό ότι θα συνεχιστεί τις επόμενες δεκαετίες. Καθώς τα έντομα αναπτύσσονται και αναπαράγονται εύκολα, μπορούν να θεωρηθούν αποτελεσματικά στην ενίσχυση της διατροφικής ασφάλειας για την παγκόσμια κοινότητα (Makkaretal., 2014).

Παρά τα πιθανά οφέλη της χρήσης τους ως ζωοτροφών, η ευρεία υιοθέτησή τους απαιτεί περαιτέρω έρευνα και αξιολόγηση. Ένα από τα ζητήματα στο οποίο επικεντρώνονται οι ερευνητές είναι το κόστος παραγωγής των εντομάλευρων σε μεγάλη κλίμακα και το τελικό κόστος στην αγορά ζωοτροφών. Ωστόσο, θεωρείται ότι όσο αυξάνεται η ζήτηση βιώσιμων πηγών πρωτεΐνης το κόστος είναι πιθανό να γίνει ανταγωνιστικό. Μια ακόμα πρόκληση είναι οι ρυθμιστικές διατάξεις, καθώς σε ορισμένες χώρες δεν έχει ακόμα επιτραπεί η χρήση των εντομάλευρων για τη διατροφή των ζώων. Παρόλα αυτά, το ρυθμιστικό πλαίσιο εξελίσσεται καθώς όλο και περισσότερες χώρες, μεταξύ αυτών και οι χώρες της

Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχουν εγκρίνει τη σίτιση των ζώων με εντομάλευρα. Επιπλέον, ένας από τους παράγοντες που αναστέλλουν την ευρεία υιοθέτηση των εντομάλευρων είναι το γεγονός ότι η κατανάλωση εντόμων δεν συνηθίζεται στις δυτικές κουλτούρες. Ωστόσο, η επίγνωση του περιβαλλοντικού οφέλους και η αναμενόμενη μείωση του κόστους παραγωγής είναι πιθανό να μεταστρέψουν τις αντιλήψεις σχετικά με την κατανάλωση εντόμων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συλλογή, η σύνθεση και η συζήτηση των δεδομένων που προκύπτουν από τις διαθέσιμες έρευνες αναφορικά με τη διατροφική αξία των εντομάλευρων στην τροφή των παραγωγικών ζώων, όπως πουλερικών, χοίρων, μηρυκαστικών, ψαριών, και με την αποτελεσματικότητα της χρήσης τους ως εναλλακτικών διατροφικών πόρων. Περαιτέρω διερευνώνται τα γενικότερα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη που είναι πιθανό να προκύψουν από τη εισαγωγή των εντομάλευρων στη διατροφή των ζώων.

Η παρούσα εργασία δομείται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, στην ενότητα 1.1, προσεγγίζεται εννοιολογικά ο όρος «εντομάλευρα» και περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά τους. Στην ενότητα 1.2 παρουσιάζονται οι χρήσεις/υπηρεσίες των εντόμων ώστε να καταδειχθεί η σημασία τους στην υγεία των ζώων και στην ανθρώπινη ευημερία. Στη συνέχεια, στην ενότητα 1.3, παρουσιάζονται ειδικότερα τα χαρακτηριστικά των εντόμων τα οποία τα καθιστούν κατάλληλα για πηγές τροφής των ζώων. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με αναφορά στη θρεπτική σύνθεση και στις ιδιότητες των εντόμων (ενότητα 1.4), με εστίαση στα συστατικά των πρωτεϊνών και των αμινοξέων, των λιπιδίων, των βιταμινών και άλλων μεταλλικών στοιχείων (υποενότητες 1.4.1, 1.4.2 και 1.4.3).

Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στα οφέλη που είναι πιθανό να προκύψουν από τη χρήση των εντομάλευρων στη σίτιση των παραγωγικών ζώων. Πιο συγκεκριμένα, στην ενότητα 2.1, γίνεται αναφορά στα διατροφικά οφέλη όσον αφορά στα πουλερικά (υποενότητα 2.1.1), στους χοίρους (υποενότητα 2.1.2) και στα ψάρια (υποενότητα 2.1.3). Στην επόμενη ενότητα, 2.2, αναλύονται τα περιβαλλοντικά οφέλη όπως η μείωση των οργανικών αποβλήτων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τέλος, στην ενότητα 2.3 παρουσιάζονται τα πιθανά οικονομικά οφέλη από την επέκταση της χρήσης των εντομάλευρων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, ενότητα 3.1, γίνεται αναφορά στη βιωσιμότητα της συλλογής των εντόμων από τα οικοσυστήματα, καθώς είναι αναγκαία η εξασφάλιση της αειφορίας του συγκεκριμένου είδους. Στη συνέχεια, στην ενότητα 3.2 γίνεται λόγος για ζητήματα που αφορούν στην παραγωγή και επεξεργασία των εντομάλευρων, όπου επισημαίνεται ο

αναδυόμενος τομέας της βιομηχανικής παραγωγής του προϊόντος. Στην ενότητα 3.3, παρουσιάζονται ζητήματα που άπτονται του νομοθετικού και ρυθμιστικού πλαισίου αναφορικά με τη χρήση των εντομάλευρων στη διατροφή των παραγωγικών ζώων.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το τέταρτο κεφάλαιο, το οποίο περιλαμβάνει συμπεράσματα (ενότητα 4.1) και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα (ενότητα 4.2).

Κεφάλαιο 1^ο. Τα έντομα στη διατροφή των ζώων

1.1 Η χρήση των εντομάλευρων ως συστατικό της τροφής των παραγωγικών ζώων

Τα εντομάλευρα αποτελούν έναν τύπο ζωοτροφής που παράγεται μέσω του αλέσματος και της επεξεργασίας των εντόμων, κυρίως αυτών που είναι πλούσια σε πρωτεΐνη. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή διατροφής των παραγωγικών ζώων, των πουλερικών, των ψαριών. Θεωρούνται ως μια εναλλακτική πηγή τροφής σε σχέση με τα σογιάλευρα και τα ιχθυάλευρα, βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική.

Η χρήση τους στην τροφή των ζώων έχει προσελκύσει την προσοχή των ειδικών τα τελευταία χρόνια λόγω της θρεπτικής τους αξίας και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας που εξασφαλίζουν, καθώς η παραγωγή τους απαιτεί λιγότερους πόρους σε σχέση με τις παραδοσιακές ζωοτροφές. Τα έντομα έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν την τροφή που καταναλώνουν σε βιομάζα χρησιμοποιώντας ένα μικρό μέρος των πόρων συγκριτικά με αυτούς που χρησιμοποιούν τα ζώα ή τα φυτά. Επιπλέον, ο χώρος που απαιτείται για την εκτροφή τους είναι πολύ μικρότερος από αυτόν των ζώων, ενώ επίσης εκλύονται πολύ λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου σε σχέση με τις αγελάδες ή τα γουρούνια. Μπορούν να εκτραφούν σε υλικά οργανικών αποβλήτων μειώνοντας τις ποσότητες που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής (Makkaretal., 2014).

Η χρήση των εντομάλευρων στη διατροφή των παραγωγικών ζώων κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος ως μια πιο βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές πηγές ζωοτροφών. Τα έντομα είναι πλούσια πηγή πρωτεϊνών και το άλεσμά τους σε ένα ωραίο γεύμα δημιουργεί μια τροφή γεμάτη θρεπτικά συστατικά κατάλληλη για μια ποικιλία ειδών ζώων, πουλερικών και ψαριών. Από τα σημαντικότερα οφέλη που προκύπτουν από την εισαγωγή των εντομάλευρων στη διατροφή των ζώων είναι ο περιορισμός του περιβαλλοντικού αντίκτυπου σε σχέση με την εκτροφή των άλλων ζώων. Οι παραδοσιακές ζωοτροφές απαιτούν μεγάλες ποσότητες πόρων για την παραγωγή τους, όπως νερό, γη και ενέργεια. Τα έντομα ωστόσο, απαιτούν λιγότερους πόρους για την παραγωγή ισοδύναμης ποσότητας πρωτεΐνης, γεγονός που τα καθιστά μια βιώσιμη επιλογή. Επιπλέον, τα εντομάλευρα μπορούν να βελτιώσουν τη θρεπτική ποιότητα των ζωοτροφών. Είναι πλούσια σε αμινοξέα, βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία, επομένως μπορούν να βελτιώσουν το διατροφικό προφίλ των παραγωγικών ζώων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη υγεία, ανάπτυξη και παραγωγικότητα των ζώων (Elahietal., 2022).

Επιπροσθέτως, η χρήση των εντομάλευρων στη δίαιτα των ζώων μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από εισαγωγές ζωοτροφών ενισχύοντας τη διατροφική ασφάλεια και περιορίζοντας τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των μεταφορών. Η εκτροφή των εντόμων μπορεί να είναι εγχώρια και επίσης μπορεί να γίνεται σε οργανικά απόβλητα. Έτσι, μειώνονται οι ποσότητες των αποβλήτων.

Παρά τα πιθανά οφέλη τους, τα εντομάλευρα στη δίαιτα των ζώων δεν είναι ευρέως διαδεδομένα και υπάρχουν ακόμα σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Μία από τις κυριότερες είναι το κόστος των παραγόμενων εντομάλευρων σε μεγάλη κλίμακα. Αν και το κόστος έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια, ωστόσο είναι ακόμα πιο υψηλό σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές ζωοτροφών. Καθώς όμως η ζήτηση για βιώσιμες πηγές πρωτεΐνης αυξάνεται, αναμένεται το κόστος τους να γίνει περισσότερο ανταγωνιστικό (Oonincx et al., 2010).

Η χρήση εντόμων σε εμπορικές συνθέσεις ζωοτροφών αντιπροσωπεύει έναν πιθανό τρόπο μετατροπής της διατροφής των ζώων σε πιο βιώσιμα συστήματα, καθώς τα έντομα μπορεί να είναι μια πολύ καλή πηγή πρωτεΐνης σε σύγκριση με τις υφιστάμενες χρησιμοποιούμενες πηγές. Οι τελευταίες τάσεις στη χρήση εντόμων για τη διατροφή των ζώων δείχνουν ότι η αγορά βρώσιμων εντόμων για ζωοτροφές αναμένεται να επεκταθεί στα 2.386 δισεκατομμύρια δολάρια έως το τέλος του 2029. Τα έντομα δεν είναι απαραίτητο να υποστούν επεξεργασία προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ως τροφή των πουλερικών και των ψαριών, καθώς τα είδη αυτά τρώνε συχνά έντομα στη φύση. Τα επεξεργασμένα εντομάλευρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τροφή των χοίρων και των αγελάδων αντικαθιστώντας ακριβά συστατικά πλούσια σε πρωτεΐνες, όπως ιχθυάλευρα και σογιάλευρα. Τα άλευρα εντόμων είναι το πιο ευρέως παραγόμενο προϊόν, αλλά έχει επίσης αυξηθεί η παραγωγή απολιπασμένων εντομάλευρων τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνης (περίπου 60% σε ξηρή βάση). Ένα άλλο προϊόν που έχει αυξηθεί σε παραγωγή τελευταία είναι τα εντομέλαια, τα οποία είναι πλούσια σε συστατικά. Επίσης, παράγονται αποξηραμένες και ζωντανές προνύμφες (Ordonez-Araque et al., 2022).

1.2 Οι υπηρεσίες των εντόμων

Τα έντομα αποτελούν ένα από τα πολυπληθέστερα και πλουσιότερα σε ποικιλομορφία είδη του ζωικού βασιλείου στον πλανήτη, με σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της οικολογικής

ισορροπίας. Περαιτέρω, τα έντομα έχουν και άλλους ρόλους που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Σε πολλές περιοχές υποστηρίζουν και εξασφαλίζουν τα προς το ζην σε αδύναμες οικονομικά πληθυσμιακές ομάδες. Για παράδειγμα, τα έντομα έχουν βασικό ρόλο στο εμπόριο μεταξιού, στη μελισσοκομία, στην επικονίαση του μεγαλύτερου μέρους των φρούτων και άλλων γεωργικών προϊόντων. Επίσης, σε κάποιες περιοχές του πλανήτη αποτελούν ζωτικό συστατικό της ανθρώπινης διατροφής. Ορισμένα έντομα έχουν μεγάλη αξία στην παραδοσιακή κινεζική ιατρική για την παραγωγή φαρμάκων. Χάρη στην ευαισθησία τους σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, πολλά έντομα μπορούν χρησιμοποιηθούν ως βιολογικοί δείκτες. Η δυναμική του πληθυσμού των πεταλούδων, για παράδειγμα, προτείνεται ως δείκτης του πλούτου των ειδών για τους επικονιαστές συνολικά της δομικής και χλωριδικής ποικιλότητας των οικοτόπων ως δείκτης της αλλαγής θερμοκρασίας και περαιτέρω οικολογικών παραμέτρων και της ιδιαιτερότητας του τοπίου. Τα σκαθάρια χρησιμοποιούνται επίσης συνήθως ως βιοδείκτες των αλλαγών στις περιβαλλοντικές συνθήκες λόγω της ευαισθησίας τους στην αλλαγή των ενδιαιτημάτων. Μια άλλη πτυχή αξιοποίησης των εντόμων είναι ότι αυτά αποτελούν πηγή έμπνευσης στην τέχνη, καθώς με το περίγραμμα και τα πολύχρωμα μοτίβα του σώματός τους έχουν εμπνεύσει έργα της λογοτεχνίας και του πολιτισμού ενώ επίσης χρησιμοποιούνται και στην εκπαίδευση (Nayaketal., 2021).

Τα έντομα ευθύνονται για την επικονίαση του 80% περίπου των δέντρων και των θάμνων σε ολόκληρο τον πλανήτη. Τα φυτά επενδύουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας ώστε να σχηματίσουν ανθοφορίες νέκταρ που προσελκύουν τα έντομα. Η σχέση μεταξύ φυτών και εντόμων είναι ιδιαίτερα περίπλοκη. Για παράδειγμα, οι ορχιδέες έχουν συνεξελιχθεί με έντομα για εκατομμύρια χρόνια και μπορούν να επικονιαστούν μόνο από ένα είδος εντόμου. Περαιτέρω, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αποσύνθεση της ζωικής και φυτικής ύλης, η οποία είναι απαραίτητη για την απελευθέρωση θρεπτικών συστατικών που κατόπιν χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των φυτών. Η αποσύνθεση επίσης συμβάλλει στην απομάκρυνση των οργανισμών που προκαλούν ασθένειες στα ζώα των σφαγείων. Τα σκαθάρια και οι τερμίτες της κοπριάς των ζώων παρέχουν σοβαρές υπηρεσίες περιορίζοντας τη ρύπανση των βοσκοτόπων μέσω της συσσώρευσης περιττωμάτων. Τέτοιου είδους υπηρεσίες συμβάλλουν επίσης στη βελτίωση της αποθήκευσης του νερού και του άνθρακα στο έδαφος, στη μείωση της απώλειας ζώων ως αποτέλεσμα των μυγών που τρέφονται με αίμα και στη μείωση της απώλειας αζώτου λόγω της εξάτμισης και της διάβρωσης (World Atlas, 2019).

1.3 Τα χαρακτηριστικά των εντόμων ως πηγών τροφής

Μία εναλλακτική πηγή πρωτεϊνούχας τροφής για τα ζώα, που δεν έχει αξιοποιηθεί έως σήμερα σε ευρείας κλίμακας παραγωγή, είναι τα έντομα. Η πιθανή αυτή λύση φαίνεται να συγκεντρώνει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες υφιστάμενες πηγές τροφής. Οι ανάγκες των παραγωγικών ζώων σε πρωτεΐνες έχουν δημιουργήσει την υπερεκμετάλλευση των πόρων προκαλώντας σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Καθώς η ζήτηση αυξάνεται, είναι εύλογο ότι θα υπάρξει ένα διευρυμένο χάσμα ανάμεσα στην προσφορά και στη ζήτηση πρωτεϊνών. Επιπλέον, το σογιάλευρο, το οποίο αποτελεί την κύρια πηγή πρωτεΐνης προερχόμενη από τα φυτά που χρησιμοποιείται στη ζωική διαίτα, έχει μεγάλο περιβαλλοντικό αντίκτυπο λόγω της χρήσης νερού και γης για την καλλιέργεια των φυτών και λόγω της μεγάλης κλίμακας μεταφοράς του συγκεκριμένου προϊόντος. Η χρήση του σε ανθρώπινες ροές τροφίμων και η χαμηλή παραγωγικότητα είναι πιθανό να περιορίσουν περαιτέρω τη διαθεσιμότητα του σογιάλεου. Παράλληλα, άλλες πηγές πρωτεϊνούχων ζωοτροφών, όπως τα κρεατάλευρα και το ζωικό λίπος, απαιτούν επεξεργασία για μεταφορά ώστε να είναι κατάλληλες για διαίτες μονογαστρικών ζώων (DiGiacomo&Leury, 2019).

Τα πιο συνηθισμένα καταναλωτικά έντομα παγκοσμίως είναι τα σκαθάρια, οι κάμπιες και οι γρύλοι. Οι γρύλοι είναι δύο φορές πιο αποτελεσματικοί από τα πουλερικά στη μετατροπή των ζωοτροφών σε κρέας, τέσσερις φορές πιο αποτελεσματικοί από τους χοίρους και δώδεκα φορές από τα βοοειδή. Επιπλέον, για την παραγωγή μιας ισοδύναμης ποσότητας πρωτεΐνης από χοίρους και κοτόπουλα χρειάζονται 2 έως 3,5 εκτάρια γης, ενώ τα έντομα χρειάζονται μόνο 1 εκτάριο (vanHuisetal., 2013).

Τα έντομα έχουν χαρακτηριστικά που τα καθιστούν εξαιρετική εναλλακτική λύση στα προϊόντα ζωοτροφών:

- Σύντομος κύκλος ζωής και μεγάλη βιοποικιλότητα: ο σύντομος κύκλος ζωής επιτρέπει την τακτική αναπαραγωγή εντόμων σε μεγάλο αριθμό, ενώ η μεγάλη βιοποικιλότητα καλύπτει τις διατροφικές απαιτήσεις των ειδών.
- Κυριαρχία στα οικοσυστήματα: πολλά είδη εντόμων αποικίζουν σε ένα ευρύ φάσμα οικοτόπων, είναι άφθονα στις περισσότερες γεωγραφικές περιοχές και ορισμένα παρουσιάζουν ταχείς και σχετικά απλές αναπτυξιακές στρατηγικές, καθιστώντας την εμπορική τους αναπαραγωγή απλή και οικονομικά αποδοτική.

- Τεράστιος πληθυσμός και βιομάζα: ο σύντομος κύκλος ζωής διευκολύνει την αναπαραγωγή σε μεγάλο πληθυσμό και βιομάζα.
- Χαμηλό κόστος αναπαραγωγής: πολλά έντομα δεν απαιτούν πολύπλοκη και δαπανηρή υποδομή για αναπαραγωγή, γεγονός που τα καθιστά εξαιρετική επιλογή για τροφή πουλερικών. Η αναπαραγωγή τους μπορεί να ελέγχεται εύκολα χωρίς να απαιτούνται σύνθετες υποδομές και υψηλό εργατικό κόστος.
- Καλής ποιότητας πρωτεΐνη: η πρωτεΐνη τους είναι καλύτερης θρεπτικής ποιότητας από τις περισσότερες πρωτεΐνες από τα δημητριακά.
- Υψηλός ρυθμός αναπαραγωγής: ο υψηλός αναπαραγωγικός ρυθμός των εντόμων τα καθιστά καλή πηγή συμπληρωματικής τροφής για τα πουλερικά.
- Καλύτερη απόδοση μετατροπής της τροφής από τα περισσότερα άλλα ζώα (Al-Qazzaz&Ismail, 2016).

Είναι τεχνικά εφικτό να παραχθούν έντομα σε μεγάλη κλίμακα και να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικό βιώσιμο πλούσιο σε πρωτεΐνες συστατικό σε δίαιτες χοίρων και πουλερικών, ιδιαίτερα αν εκτρέφονται σε υποστρώματα βιολογικών αποβλήτων και οργανικών πλευρικών ρευμάτων (Makkaretal., 2014).

Μερικά έντομα είναι πλούσια σε πρωτεΐνες και μέταλλα, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα επειδή εκκρίνουν τοξίνες και επιβλαβή μέταλλα, για αυτό θα πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία. Τα ζωντανά έντομα είναι δύσκολο να αναμιχθούν με άλλα συστατικά, ενώ μπορεί να δρουν ως φορείς στη μετάδοση βακτηριακών και ιογενών ασθενειών. Τα νεκρά έντομα είναι πιο εύκολα να αναμιχθούν (Ostaszewskaetal., 2011).

Ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους τα έντομα θεωρούνται ως δυνητικά βιώσιμες πηγές ζωικής πρωτεΐνης είναι λόγω της υψηλής απόδοσης μετατροπής της τροφής. Ωστόσο, η υψηλή απόδοση απαιτεί βέλτιστες δίαιτες και επομένως πρέπει να εδραιωθεί η γνώση των διατροφικών απαιτήσεων των ειδών εντόμων. Όπως και στην αναπαραγωγή των συμβατικών ζώων, έτσι και στα έντομα η γενετική επιλογή μπορεί να βοηθήσει περαιτέρω στη δημιουργία αποτελεσματικών στελεχών. Πολλά είδη εντόμων συσσωρεύουν πρωτεΐνη πολύ αποτελεσματικά. Ενώ τα πουλερικά με βελτιστοποιημένες δίαιτες μετατρέπουν το 33% της διατροφικής πρωτεΐνης σε βρώσιμη βιομάζα, οι κίτρινοι αλευροσκώληκες χρησιμοποιούν το 22-45% της διατροφικής πρωτεΐνης, οι προνύμφες μαύρων μυγών στρατιωτών περίπου το 43-55% και οι κατσαρίδες της Αργεντινής το 51-88%. Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι το αρχικό επίπεδο αποτελεσματικότητας των

πρωτεϊνών, χωρίς βελτιστοποίηση γενετικού υποβάθρου ή διαίτας, είναι ήδη υψηλό σε σύγκριση με τα συμβατικά ζώα (vanHuis&Oonincx, 2017).

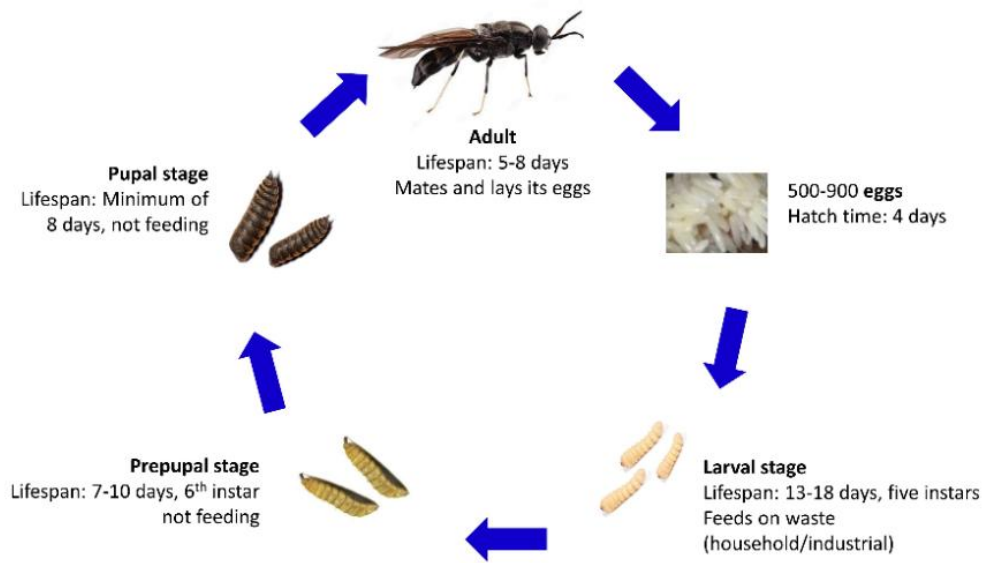
Περισσότερα από 1.900 είδη εντόμων είναι βρώσιμα παγκοσμίως. Ωστόσο, λίγα από αυτά είναι κατάλληλα για παραγωγή. Είδη εντόμων τα οποία είναι κατάλληλα για την παραγωγή τροφών και ζωοτροφών είναι διάφορα είδη ακρίδας, μύγας, σκαθαριών, μελισσών, σκωλήκων, γρύλων, όπως παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα 1 (Dosseyetal., 2016).

Name	Latin Name	Food	Feed
House cricket	<i>Acheta domesticus</i>	x	
Mealworm	<i>Tenebrio molitor</i>	x	x
Mediterranean field cricket	<i>Gryllus bimaculatus</i>		x
Silkworm	<i>Bombyx mori</i>	x	x
Wax worm	<i>Galleria mellonella</i>	x	
European honeybee	<i>Apis mellifera</i>	x	
Common housefly	<i>Musca domestica</i>		x
Common green bottle fly	<i>Lucilia sericata</i>		x
Green rose chafer	<i>Cetonia aurata</i>		x
Jamaican field cricket	<i>Gryllus assimilis</i>	x	
Migratory locust	<i>Locusta migratoria</i>	x	
Palm weevil	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	x	
Palm weevil	<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	x	
Sun beetle	<i>Pachnoda marginata</i>		x

Εικόνα 1.Είδη εντόμων κατάλληλα για την παραγωγή τροφών και ζωοτροφών
Dossey et al. (2016)

Τα έντομα τα οποία είναι περισσότερο υποσχόμενα για βιομηχανική παραγωγή εντομάλευρων είναι οι προνύμφες της μαύρης μύγας στρατιώτη, οι κίτρινοι αλευροσκώληκες, οι μεταξοσκώληκες, οι ακρίδες και οι τερμίτες. Έρευνες έχουν δείξει ότι τα κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής που τρέφονται με προνύμφες οικιακής μύγας αυξάνουν την πρόσληψη τροφής και το μέσο βάρος, αποφέροντας περισσότερο οικονομικό κέρδος στους παραγωγούς. Άλλες έρευνες έχουν δείξει ότι οι προνύμφες της μαύρης μύγας-στρατιώτη βελτιώνουν την αναπτυξιακή τους απόδοση. Γενικότερα, οι διαίτες με εντομάλευρα βελτιώνουν τη γεύση των προϊόντων κρέατος (Moyo & Moyo, 2021).

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται μερικά από τα πιο διαδεδομένα είδη εντόμων στα διάφορα στάδια της ανάπτυξης τους (κύκλος ζωής): η μύγα στρατιώτη (BSF), η κοινή οικιακή μύγα (*Musca domestica*) και του κίτρινου αλευροσκώληκα (*Tenebrio molitor*).



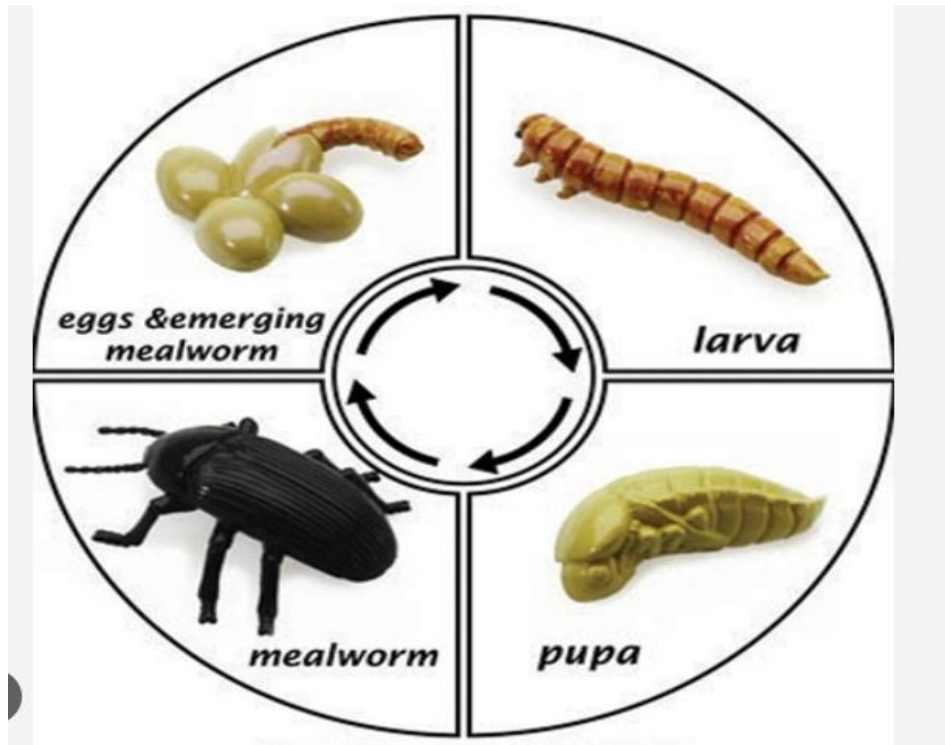
Εικόνα 2. Κύκλος ζωής της μύγας στρατιώτη (BSF)

Πηγή: E Scholarly Community Encyclopedia (2023)



Εικόνα 3. Κύκλος ζωής της οικιακής μύγας (*Musca domestica*)

Πηγή: Sanches-Arroyo & Capinera (2020)



Εικόνα 4. Κύκλος ζωής του κίτρινου αλευροσκώληκα (*Tenebrio molitor*)

Πηγή: Breeding insects



Εικόνα 5. Αυγά κίτρινου αλευροσκώληκα

Πηγή: Breeding insects



Εικόνα 6. Προνύμφη κίτρινου αλευροσκώληκα

Πηγή: Breeding insects



Εικόνα 7. Νύμφη κίτρινου αλευροσκώληκα

Πηγή: Breeding insects



Εικόνα 8. Προνύμφη κίτρινου αλευροσκώληκα

Πηγή: Breeding insects

1.4 Θρεπτική σύνθεση και ιδιότητες των εντόμων

Η διατροφική αξία των εντόμων είναι εξαιρετικά υψηλή, καθώς τα κύρια συστατικά που περιέχουν είναι πρωτεΐνες, λιπίδια, βιταμίνες, μεταλλικά στοιχεία και σάκχαρα, τα οποία είναι ουσιώδη για την ανθρώπινη ανάπτυξη. Τα βρώσιμα έντομα έχουν υψηλότερη ενέργεια, πρωτεΐνη, λίπος, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και χοληστερόλη και μεγαλύτερη ποικιλία και περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία από το κρέας. Τα έντομα φαίνεται να είναι πιο θρεπτικό και υγιεινό φαγητό από το κόκκινο κρέας και γι' αυτό θεωρούνται ως υποκατάστατο.

Σύμφωνα με έρευνα σε 236 θρεπτικές συνθέσεις βρώσιμων εντόμων, τα κύρια συστατικά των εντόμων είναι η πρωτεΐνη και το λίπος, ακολουθούμενα από φυτικές ίνες, εκχύλισμα χωρίς άζωτο, υδατάνθρακες και τέφρα. Η περιεκτικότητα σε ίνες κυμαίνεται από 5,1% για τους τερμίτες (Isoptera) έως 13,6% για τα ζώφια Hemiptera. Αυτές περιλαμβάνουν τη χιτίνη η οποία υπάρχει στον εξωσκελετό των εντόμων και περιέχει περίπου 5% άζωτο. Η χιτίνη και τα παράγωγά της μπορούν να διεγείρουν τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος. Το εύρος της περιεκτικότητας σε χιτίνη των εμπορικών εντόμων που εκτρέφονται εκτείνεται από 11,6 έως 137,2mg/kg (Rumpold & Schluter, 2015).

Τα κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής που τρέφονται με άλευρα σκωλήκων (mealworm meal-MWM) έχουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις ασθένειες και καλύτερη απόκριση του ανοσοποιητικού χάρη στην προβιοτική σύσταση της χιτίνης. Επιπλέον, οι υπολιπιδαιμικές και υπερχοληστερολαιμικές ιδιότητες της χιτίνης παράγουν πιο άπαχο κρέας μειώνοντας το λίπος στα κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής (Rumpold&Schluter, 2015).

Τα έντομα περιέχουν επίσης αντιμικροβιακά πεπτίδια που είναι δραστικά κατά των μικροβιακών ανθεκτικών βακτηρίων, ιών, μυκήτων και παρασίτων και τα οποία χρησιμοποιούνται σε φάρμακα για πληγές, λοιμώξεις, φλεγμονές, καρκίνο και αντιπηκτικά φάρμακα. Το αντιμικροβιακό πεπτίδιο P5 δρα ως εναλλακτικό αντιβιοτικό φάρμακο. Εν γένει, τα αντιμικροβιακά πεπτίδια βελτιώνουν την απόδοση της ανάπτυξης, την πεπτικότητα των θρεπτικών ουσιών, την υγεία του εντέρου και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού. Επίσης, το σκούρο χρώμα της επιδερμίδας του εντόμου, που οφείλεται στη βιοδραστική φαινολική ένωση μελανίνη, έχει αντιβακτηριακή και αντιμυκητιακή δράση, ενώ προλαμβάνει και θεραπεύει ηπατικές ασθένειες και όγκους. Άλλες αντιμικροβιακές ιδιότητες έχουν τα λιπαρά οξέα που υπάρχουν πλούσια στα έντομα (Elahi et al., 2022).

Τα έντομα, σε αντίθεση με άλλα είδη, δεν είναι φορείς ασθενειών. Συγκεκριμένα, οι BSF δεν γεννούν τα αυγά τους σε οργανικά υλικά σε αποσύνθεση και τα ενήλικα δεν τρώνε σάπιο υλικό. Η διαίτα των ζώων με πρωτεΐνες ζωικών πηγών έχει εγγενή κίνδυνο μεταφοράς ασθενειών, όπως για παράδειγμα σπογγώδη εγκεφαλοπάθεια. Για τον λόγο αυτόν, έχουν απαγορευτεί τέτοιες πρωτεΐνες από τα περισσότερα συστήματα ζωικής παραγωγής. Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με έρευνες που έχουν διεξαχθεί έως σήμερα για τα έντομα δεν προκύπτει ότι αυτά φέρουν τέτοιου είδους ασθένειες, επομένως θεωρούνται ότι συνιστούν μια ασφαλή τροφή για τα παραγωγικά ζώα (DiGiacomo&Leury, 2019).

1.4.1 Πρωτεΐνες και αμινοξέα

Η πρωτεΐνη είναι απαραίτητο συστατικό της ζωής και έχει μεγάλη ζήτηση από τον άνθρωπο. Στην ανοσοαπόκριση, τα αντισώματα τα οποία είναι ουσιαστικά πρωτεΐνες εκτελούν την ανοσολογική λειτουργία και η πλειοψηφία ενζύμων που εμπλέκονται στις βιοχημικές αντιδράσεις στα ζώα είναι επίσης πρωτεΐνες. Η πρωτεΐνη μπορεί ακόμα να παρέχει ενέργεια όταν το σώμα την χρειάζεται. Το γεγονός ότι τα έντομα είναι πλούσια σε πρωτεΐνη είναι ευρέως αποδεκτό στην επιστημονική κοινότητα. Η περιεκτικότητα σε

πρωτεΐνη των περισσότερων εντόμων κυμαίνεται περίπου από 35 έως 60% ξηρό βάρος ή 10 έως 25% φρέσκο βάρος, που είναι ήδη γενικά υψηλότερο από εκείνη των δημητριακών και των οσπρίων. Όσον αφορά στα είδη, τα ορθόπτερα είναι γενικά υψηλότερα σε περιεκτικότητα πρωτεΐνης, για παράδειγμα οι γρύλοι και οι ακρίδες. Η πρωτεΐνη των εντόμων αποτελείται από περισσότερα από 20 αμινοξέα, που είναι απαραίτητα στη διατροφή (Kim et al., 2020).

Το ποσοστό πρωτεΐνης στα συστατικά των ζωοτροφών παίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία ισορροπημένης διατροφής. Οι περισσότερες προνύμφες έχουν υψηλή ποιότητα και ποσότητα πρωτεΐνης. Είκοσι είδη εντόμων περιέχουν ισοδύναμη ακατέργαστη πρωτεΐνη με τα ιχθυάλευρα (60-80%) και περίπου είκοσιοκτώ είδη περιέχουν ίση ή μεγαλύτερη ποσότητα πρωτεΐνης σε σχέση με τα σογιάλευρα (45-50%) (Al-Qazzaz & Ismail, 2016).

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των βρώσιμων εντόμων σε βάση ξηρής ουσίας κυμαίνεται από 35,3% για τους τερμίτες (Isoptera) έως 61,3% για τους γρύλους και τις ακρίδες (Orthoptera). Τα ορθόπτερα είναι πλούσια σε πρωτεΐνες και αντιπροσωπεύουν μια πολύτιμη εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης. Η μεγάλη δυναμική των εντόμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης γίνεται εμφανής όταν συγκρίνονται με τις φυτικές πηγές πρωτεϊνών, όπως οι ξηροί σπόροι σόγιας με περιεκτικότητα 35,8%. Ωστόσο, δεν έχουν αξιολογηθεί επαρκώς η ποιότητα, η πεπτικότητα και η διαθεσιμότητα της πρωτεΐνης που παρέχεται από τα έντομα (Rumpold & Schluter, 2015).

1.4.2 Λιπίδια

Εκτός από την πρωτεΐνη, ένα άλλο κύριο συστατικό της θρεπτικής σύνθεσης των βρώσιμων εντόμων είναι το λίπος. Σε ξηρή βάση, ο μέσος όρος περιεκτικότητας σε λίπος ποικίλλει από 13,4% στα ορθόπτερα έως 33,4% στα κολεόπτερα (στα σκαθάρια και στις προνύμφες τους). Τα ζώφια (Hemiptera), οι τερμίτες (Isoptera), οι κατσαρίδες (Blattodea) και μερικές κάμπιες (Lepidoptera) είναι επίσης πλούσια σε λίπος με μέσες ποσοότητες 30,3%, 32,7%, 29,9% και 27,7% αντίστοιχα. Άλλα βρώσιμα έντομα με υψηλή περιεκτικότητα σε λίπος είναι η κάμπια *P. triangularis* (77%), οι *Rhynchophorousphoenicis* (έως και 70% λίπος) και η σφήκα *P. instabiliz.* (62%). Αυτά τα έντομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συμπληρώματα σε δίαιτες υψηλής ενέργειας λόγω των υψηλών θερμίδων. Το προφίλ των λιπαρών οξέων των βρώσιμων εντόμων που συλλέγονται κυρίως στη φύση δείχνει ότι τα κορεσμένα λιπαρά οξέα κυμαίνονται από 31,8% για τις μέλισσες, τις σφήκες και τα

μυρμήγκια και σε 42% για τους τερμίτες. Τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα κυμαίνονται από 22% για τα ακάρεα (Isoptera) έως 48,6% για τις μέλισσες, τις σφήκες και τα μυρμήγκια, ενώ τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα κυμαίνονται από 16% για τα δίπτερα έως 39,8% για τα λεπιδόπτερα. Επίσης, ορισμένα είδη από τα ορθόπτερα (ακρίδες και γρύλοι) και λεπιδόπτερα (κάμπιες) έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε λίπος. Στα παραγωγικά ζώα, η σύσταση των λιπαρών οξέων των βρώσιμων εντόμων εξαρτάται από τη σύνθεση της τροφής τους. Η περιεκτικότητα σε χοληστερόλη εξαρτάται επίσης από τη διατροφή των εντόμων (Rumpold&Schluter, 2015).

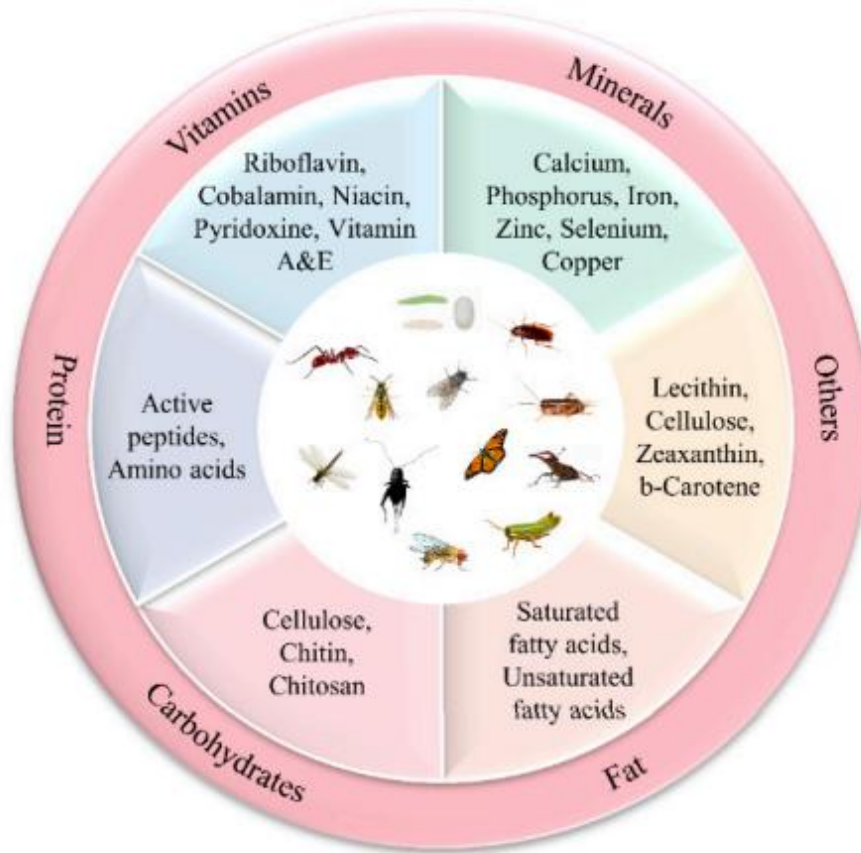
1.4.3 Βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία

Οι βιταμίνες και τα μέταλλα βρίσκονται συνήθως στα έντομα. Οι βιταμίνες δεν συντίθενται στα έντομα, αλλά προέρχονται μέσω της κατάποσης από έντομα εμπλουτισμένα στο σώμα τους με αυτές. Τόσο οι βιταμίνες όσο και τα μέταλλα είναι απαραίτητα στις μεταβολικές διεργασίες του ανθρώπου και των ζώων και η έλλειψή τους μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Σύμφωνα με έρευνες, τα έντομα περιέχουν ένα ευρύ φάσμα βιταμινών και μετάλλων με ποικιλία μικροθρεπτικών συστατικών απαραίτητων στη διατροφή. Οι βιταμίνες A, D2, D3, C, E, B12 έχουν βρεθεί στα έντομα. Η βιταμίνη B12 έχει βρεθεί σε μια ποικιλία βρώσιμων εντόμων. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε βιταμίνη B12 στις προνύμφες *Tenebrio molitor*, στους γρύλους, στις ακρίδες και στις κατσαρίδες έχει βρεθεί 1,08mg/100g, 2,88mg/100g, 0,84mg/100g, και 13,2mg/100g ξηρού βάρους αντίστοιχα. Υψηλότερα επίπεδα βιταμίνης B12 έχουν βρεθεί στα σκαθάρια, 89,5mg/100g. Ωστόσο, όλα τα έντομα δεν είναι το ίδιο πλούσια σε όλους τους τύπους βιταμινών ούτε έχουν την ίδια περιεκτικότητα. Τα ορθόπτερα και κολεόπτερα περιέχουν περισσότερο φολικό οξύ από άλλα έντομα.

Επίσης, τα έντομα είναι καλές πηγές μετάλλων, ιδιαίτερα σιδήρου και ψευδαργύρου που έχουν μεγάλη σημασία στη διατροφή ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου παρατηρούνται σημαντικές ελλείψεις σε μικροθρεπτικά συστατικά. Η περιεκτικότητα των εντόμων σε μέταλλα εξαρτάται από το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται και από τη σύνθεση της τροφής τους. Για παράδειγμα, οι γρύλοι και οι τερμίτες στη Νιγηρία έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και ψευδάργυρο και χαμηλή σε ασβέστιο (Zhou et al., 2022).

Στην εικόνα 2 αποτυπώνονται σχηματικά τα κύρια θρεπτικά συστατικά των εντόμων: βιταμίνες A, E, ριβοφλαβίνη κ.ά., μεταλλικά στοιχεία (ασβέστιο, φώσφορος, σίδηρος κ.ά.),

πρωτεΐνες (ενεργά πεπτίδια, αμινοξέα κ.ά.), υδατάνθρακες (χιτίνη κ.ά.), λίπος (κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα) και άλλα στοιχεία, όπως λεκιθίνη, β-καροτίνη κ.ά.



Εικόνα 9. Τα θρεπτικά συστατικά των εντόμων

Πηγή: Zhou et al. (2022)

Κεφάλαιο 2^ο. Οφέλη της χρήσης εντόμων

2.1 Διατροφικά οφέλη

Η υψηλή θρεπτική αξία των εντόμων τα καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλα για τη διατροφή των ζώων, καθώς μάλιστα πολλά από αυτά αποτελούν φυσική τροφή των διαφόρων ειδών. Εκτός από τα θρεπτικά συστατικά, τα έντομα μπορούν να εξασφαλίσουν επάρκεια ζωοτροφών. Η αναπαραγωγική τους ικανότητα επίσης είναι μια σημαντική παράμετρος που μπορεί να οδηγήσει σε πολλαπλά οφέλη. Πολλοί ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στο ζήτημα της εναλλακτικής λύσης της σίτισης των ζώων, πουλερικών, χοίρων, ψαριών, με εντομάλευρα. Τα μηρυκαστικά γενικά αποκλείονται, καθώς είναι ήδη αποτελεσματικά στη μετατροπή μη βρώσιμων πρωτεϊνών σε βρώσιμες πρωτεΐνες (United Nations, n.d.).

2.1.1 Πουλερικά

Τα έντομα είναι φυσικές τροφές για τα πουλερικά τα οποία συλλέγουν σκουλήκια και προνύμφες από το γρασίδι, το χώμα, ακόμα και από σκουπίδια. Τα έντομα είναι ικανά να καταναλώνουν ζωική κοπριά και υπολείμματα τροφών, να μειώνουν τη ρύπανση και να παρέχουν πρωτεΐνες και λίπασμα. Μετατρέπουν τα απόβλητα σε πρωτεΐνες και περιορίζουν τη συνολική απέκκριση αζώτου, τις οσμές και εκπομπές μεθανίου μειώνοντας τη μάζα των αποβλήτων έως και 80%. Η χρήση εντόμων στη διατροφή των πουλερικών είναι μια πιθανή λύση για τη βελτίωση της βιωσιμότητας της διαίτας του συγκεκριμένου ζωικού είδους, καθώς το άλευρο των εντόμων περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα απαραίτητων αμινοξέων σε σύγκριση με τις συμβατικές ζωοτροφές. Παράλληλα, ένα ευρύ φάσμα εντόμων είναι διαθέσιμο για χρήση στη διαίτα των πουλερικών. Τα εντομάλευρα ως τροφή των πουλερικών βελτιώνουν τη γευστικότητα των κοτόπουλων που προτιμώνται από τους καταναλωτές. Επίσης, μειώνουν το κόστος των τροφών καθώς αποτελούν μια οικονομική πηγή πρωτεΐνης για τα πουλερικά. Ιδιαίτερη σημασία έχει ότι ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα των πουλερικών μειώνοντας τη χρήση αντιβιοτικών και προάγοντας την υγεία τους. Έχει διαπιστωθεί ότι η διαίτα των κοτόπουλων με ακρίδες βελτιώνει τη διάρκεια ζωής τους (Elahi et al., 2022).

Μια ευρεία ποικιλία εντόμων είναι διαθέσιμη για χρήση σε δίαιτες πουλερικών. Οι προνύμφες των εντόμων ευδοκιμούν στην κοπριά και στα οργανικά απόβλητα και παράγουν αντιμικροβιακά πεπτίδια για να προστατευθούν από μικροβιακές μολύνσεις. Τα πεπτίδια αυτά μπορεί να είναι λειτουργικά στις τροφές πουλερικών βελτιώνοντας την

απόδοση της ανάπτυξης, την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών, την υγεία του εντέρου και την ανοσολογική λειτουργία στα πουλερικά. Τα εντομάλευρα περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα απαραίτητων αμινοξέων σε σύγκριση με τις συμβατικές ζωοτροφές. Η μαύρη μύγα στρατιώτης, ο αλευροσκώληκας, η οικιακή μύγα, ο γρύλος, η ακρίδα, ο μεταξοσκώληκας και ο γαιοσκώληκας είναι τα γεύματα εντόμων που χρησιμοποιούνται συνήθως στις δίαιτες κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής και ορνίθων ωοπαραγωγής (Elahi et al. 2022).

2.1.2 Χοίροι

Οι εισροές από τις ζωοτροφές έχουν μεγάλο μερίδιο στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε όλο το σύστημα παραγωγής, σύμφωνα με εκτιμήσεις του κύκλου ζωής. Η αντικατάσταση της διαίτας με σογιάλευρο των χοίρων από προνύμφες θεωρείται ότι μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων που ευθύνονται για την υπερθέρμανση του πλανήτη καθώς επίσης και στη μείωση της χρήσης γης. Ωστόσο, η υποκατάσταση των ζωοτροφών με εναλλακτικά υποπροϊόντα ή παραπροϊόντα δεν είναι απολύτως βέβαιο ότι θα οδηγήσει σε καθαρή μείωση του συνολικού περιβαλλοντικού αντίκτυπου, καθώς σε διάφορες θρεπτικές συνθέσεις απαιτούνται επιπρόσθετα συστατικά ώστε η διαίτα να είναι ισορροπημένη (Di Giacomo & Leury, 2019).

Η διαίτα των χοίρων με BSF έχει μελετηθεί από παλιότερα. Περισσότερο από τέσσερις δεκαετίες πριν, οι άγριες προνύμφες BSF που εκτρέφονταν σε κόπρανα και ούρα βοοειδών συλλέχθηκαν, ξηράνθηκαν και δόθηκαν ως τροφή σε μικρό αριθμό αναπτυσσόμενων χοίρων. Από τις μελέτες αυτές προέκυψε ότι ενώ η περιεκτικότητα σε λίπος μπορεί να επηρεάσει τη γευστικότητα και την πεπτικότητα, οι προνύμφες BSF είναι ένα κατάλληλο συστατικό για τη διαίτα των χοίρων (DiGiacomo&Leury, 2019). Οι Neumannetal. (2018) συνέκριναν την πλήρη υποκατάσταση του σογιάλεου σε χοιρίδια και χοιροειδή που τρέφονταν είτε με προνύμφες BSF είτε με φύκια και διαπίστωσαν ότι δεν υπάρχει διαφορά στις παραμέτρους ανάπτυξης και στην πεπτικότητα. Η αντικατάσταση της περιεκτικότητας σε σογιάλευρα στις δίαιτες των χοίρων με γεύματα BSF δεν είχε αρνητική επίδραση στην ποιότητα του χοιρινού κρέατος. Οι χοίροι που τρέφονταν με δίαιτες συμπληρωμένες με προνύμφες BSFπαρήγαγαν λίπος με υψηλότερη περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, πιθανότατα λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά των προνυμφών.

2.1.3 Ψάρια

Τα τελευταία χρόνια, τα έντομα έχουν αρχίσει να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως πηγές πρωτεΐνης στις υδατοκαλλιέργειες. Τα έντομα είναι η πιο διαφοροποιημένη κατηγορία ζώων στον πλανήτη περιλαμβάνοντας περίπου 1.000.000 είδη. Ορισμένα από αυτά αποτελούν μέρος της διατροφής των σαρκοφάγων και παμφάγων ψαριών. Βρίσκονται στα περισσότερα υδάτινα περιβάλλοντα και είναι πολύ σημαντικά συστατικά για τη διατροφή των ψαριών λόγω της περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνη, η οποία μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 9,3% και 76%. Η περιεκτικότητά τους σε λίπος μπορεί να ποικίλλει από 7,9% έως 40%. Αυτές οι διαφοροποιήσεις επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα και αμινοξέα. Ωστόσο, τα παμφάγα και τα σαρκοφάγα ψάρια απαιτούν περισσότερη πρωτεΐνη στη διατροφή τους σε σχέση με τα φυτοφάγα ή τα παρασιτοφάγα είδη. Τα έντομα αποτελούν ένα ουσιώδες μέρος της διαίτας, ιδιαίτερα στα πρώιμα στάδια της διατροφής των σαρκοφάγων και των παμφάγων ψαριών, και βρίσκονται ως βασικά συστατικά στη διαίτα των ηπειρωτικών ψαριών, καθώς και των θαλάσσιων ψαριών και αυτών που ζουν σε υφάλμυρο νερό. Μερικά είδη τρέφονται ευκαιριακά με έντομα, καθώς τα ψάρια και άλλα σπονδυλωτά έχουν στόμα προσαρμοσμένο για να επιλέγουν λεία εντόμων (Nogales-Meridaetal., 2018).

Όπως αναφέρουν οι Mousavietal. (2020), διάφορες δοκιμές διατροφής έχουν αποκαλύψει την πολλά υποσχόμενη εφαρμογή των εντομάλευρων σε ένα ευρύ φάσμα υδρόβιων ζώων, όχι μόνο για την ευεργετική αντικατάσταση πρωτεϊνών αλλά και για τα ανοσοδιεγερτικά τους αποτελέσματα. Η χιτίνη και τα παράγωγά της καθώς και άλλες ουσίες στον εξωσκελετό των εντόμων, όπως τα αντιμικροβιακά πεπτίδια, παίζουν ουσιαστικό ρόλο στην ανοσορύθμιση των υδρόβιων οργανισμών. Οι κυριότερες ομάδες εντόμων που χρησιμοποιούνται ευρέως ως εναλλακτική διαίτα στις υδατοκαλλιέργειες είναι μαύρη μύγα στρατιώτης, ο κίτρινος αλευροσκώληκας, η οικιακή μύγα, ο μεταξοσκώληκας. Τα συμπληρώματα διατροφής με εντομάλευρα μπορούν να βελτιώσουν την επιβίωση και την ανοσία των υδρόβιων ειδών καθώς και την αποτελεσματικότητα μετατροπής ζωοτροφών στοχευμένων ειδών υδατοκαλλιέργειας.

Η πλήρης αντικατάσταση των τροφών των υδατοκαλλιεργειών με εντομάλευρα είναι ένα ζήτημα αμφιλεγόμενο. Η διατροφική συμπερίληψη των εντομάλευρων στις υδατοκαλλιέργειες μπορεί να συμβάλει στην ανοσοκαταστολή. Παρόλα αυτά, η μερική αντικατάσταση των συμβατικών τροφών με εντομάλευρα θεωρείται ως ο βέλτιστος τρόπος εξάρτησης από αυτές. Επιπλέον, συστατικά όπως η χιτίνη έχουν ανοσοδιεγερτικές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες που πιθανόν μπορούν να βελτιώσουν την υγεία των

υδατοκαλλιεργειών και να συμβάλουν στην αντικατάσταση της χρήσης συνθετικών φαρμάκων και αντιβιοτικών (Lohetal., 2020).

2.2 Περιβαλλοντικά οφέλη

Η χρήση εντομάλευρων στη δίαιτα των ζώων μπορεί να αποφέρει αρκετά περιβαλλοντικά οφέλη τα οποία θα συμβάλουν στη μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου της εκτροφής ζώων. Τα οφέλη αυτά συνίστανται σε:

- Χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου: η παραγωγή των εντομάλευρων απαιτεί λιγότερους υδατικούς πόρους και πόρους γης και παράγει χαμηλότερο ποσοστό αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με την παραδοσιακή εκτροφή ζώων. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, οι εκπομπές που προκαλούνται από την εκτροφή εντόμων είναι 100 φορές λιγότερες από την εκτροφή βοοειδών.
- Μειωμένη χρήση γης: η εκτροφή εντόμων απαιτεί λιγότερη γη σε σχέση με αυτήν των παραγωγικών ζώων. Αυτό συμβαίνει διότι τα έντομα μπορούν να αναπαραχθούν σε κάθετα αγροκτήματα ή σε μικρούς χώρους, επομένως για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης ποσότητας πρωτεΐνης απαιτείται μικρή έκταση γης.
- Μείωση της αποψίλωσης των δασών: η παραγωγή παραδοσιακών ζωοτροφών, όπως σογιάλευρα και ιχθυάλευρα, ενισχύουν την αποψίλωση, καθώς απαιτείται μεγάλη έκταση γης για τις σοδειές και για τα ζώα. Η χρήση εντομάλευρων μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις για αυτές τις πηγές τροφών και επακολούθως για τη δημιουργία περισσότερης γης για τη γεωργία.
- Μείωση της χρήσης νερού: η εκτροφή εντόμων απαιτεί λιγότερους πόρους νερού σε σχέση με τα παραδοσιακά ζώα, καθώς τα έντομα μπορούν να αναπαραχθούν σε οργανικά απόβλητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εξοικονομούνται υδατικοί πόροι που είναι απαραίτητοι για τις γεωργικές καλλιέργειες.
- Μείωση αποβλήτων: η εκτροφή εντόμων επίσης συμβάλλει στη μείωση αποβλήτων τροφίμων καθώς αξιοποιεί τα οργανικά απόβλητα ως πηγές τροφής. Αποτέλεσμα είναι να παράγονται μικρότερες ποσότητες αποβλήτων, ενώ η διαχείρισή τους μπορεί να γίνει με έναν βιώσιμο τρόπο (vanHuis&Oonincx, 2017).

Τα έντομα μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της υγιεινής του νερού όταν εκτρέφονται σε περιπτώματα των ανθρώπων και των ζώων. Πολλές κατηγορίες εντόμων, ιδίως οι μύγες,

χρησιμοποιούν τα περιττώματα ως την κύρια διατροφική πηγή για τα στάδια ανάπτυξής τους, από τις προνύμφες έως την ενήλικη φάση. Χρησιμοποιώντας τα περιττώματα ως υπόστρωμα των εντόμων συμβάλλει στον περιορισμό της μόλυνσης βελτιώνοντας την υγιεινή αυτών των υλικών. Μελέτες στη Νότια Αφρική έχουν δείξει τις δυνατότητες της προνύμφης μαύρης μύγας στρατιωτών στη διαχείριση ιλύος κοπράνων. Ομοίως, μελέτες στη διαχείριση της κοπριάς ζώων που προέρχεται από ζωοτεχνικές επεξεργασίες έχουν δείξει αντίστοιχα θετικά αποτελέσματα. Τα έντομα που καλλιεργήθηκαν σε αυτά τα υποστρώματα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφές ή για την παραγωγή ενέργειας (για παράδειγμα, βιοκαύσιμα) ή να αξιοποιηθούν ως λιπάσματα. Άλλα οφέλη που αναφέρονται είναι η μείωση των παθογόνων και ο περιορισμός της χρήσης παρασιτοκτόνων (Moruzzo et al., 2021).

Όσον αφορά στα περιβαλλοντικά οφέλη, οι Makkaret al. (2014) υποστηρίζουν ότι η αντικατάσταση των συμβατικών ζωοτροφών με έντομα πιθανότατα θα μειώσει τη χρήση της γης, την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα έντομα είναι ψυχρόαιμα, ταχέως αναπτυσσόμενα, πλούσια σε πρωτεΐνες και λιπίδια, απαιτούν ελάχιστο χώρο εκτροφής και συμβάλλουν στη φυσική διατροφή πολλών ειδών. Επιπλέον, τα απόβλητα που προκαλούνται από την παραγωγή εντόμων είναι μια πολύτιμη πηγή οργανικού λιπάσματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φυτική παραγωγή δημιουργώντας έτσι μια κλειστή κυκλική οικονομία. Τα έντομα, όπως οι προνύμφες μύγας, μπορούν να μετατρέψουν προϊόντα, όπως λαχανικά, φρούτα, υπολείμματα σιτηρών/δημητριακών, κοπριά και ζωικά υπολείμματα, σε πρωτεΐνες και λιπίδια. Αυτά που συνήθως προορίζονται για εμπορική εκτροφή είναι οι μύγες Black Soldier Flies (BSF- *Hermetia illucens*), οι κοινές μύγες (*Muscadomestica*) και οι κίτρινοι αλευροσκώληκες (*Tenebrio molitor*). Οι μύγες BSF είναι ενδημικές στην Αυστραλία, δεν ενοχλούν τους ανθρώπους και δεν μεταφέρουν φυσικά παθογόνα, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για εκτροφή μεγάλης κλίμακας. Οι προνύμφες μύγας αναπτύσσονται φυσικά σε κοπριά από χοίρους, βοοειδή και πουλερικά.

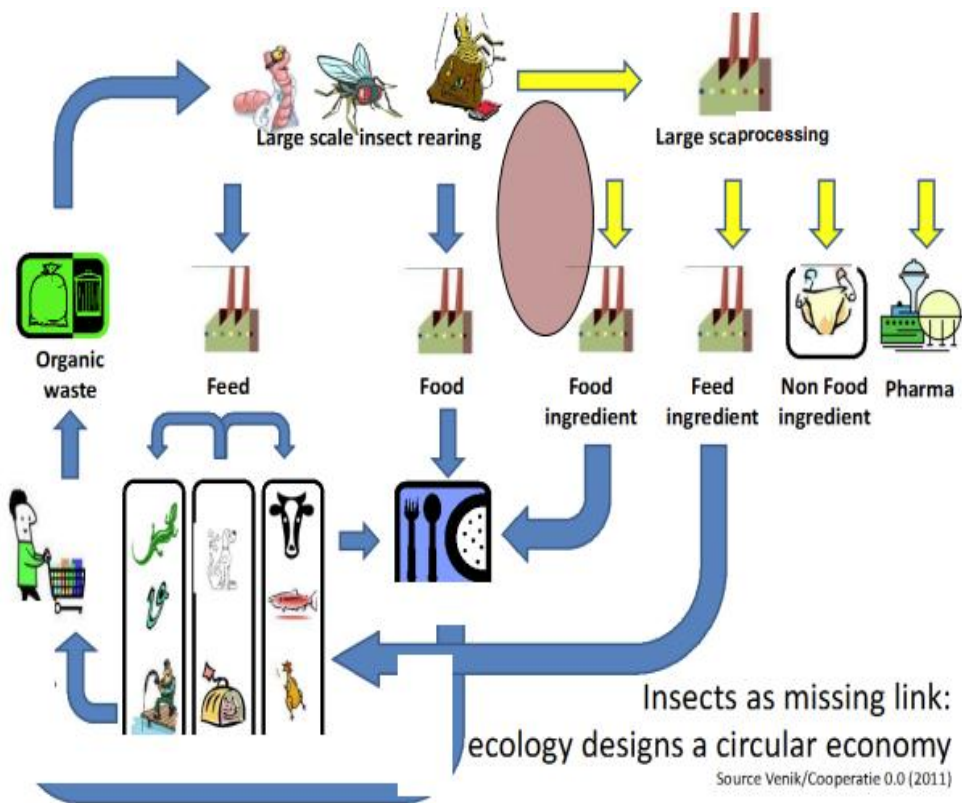
Η παραγωγή εντόμων εξαρτάται από το περιβάλλον, αν και γενικά τα έντομα προσαρμόζονται στις απαιτήσεις του χώρου και παρουσιάζουν σημαντικές βελτιώσεις στις εκπομπές νερού και αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τις συμβατικές ζωοτροφές. Αν και ορισμένες αξιολογήσεις κύκλου ζωής δείχνουν υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας στην παραγωγή ορισμένων εντόμων (για παράδειγμα, προνύμφες οικιακής μύγας), οι τεχνικές καινοτομίες μπορούν να συμβάλουν προς τη στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μειώνοντας έτσι το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη. Επιπλέον, η

συμπλήρωση των ζωοτροφών με εντομάλευρα θα μειώσει την πίεση στους φυσικούς πόρους, στα φυσικά καταφύγια και στα παγκόσμια ιχθυαποθέματα (Oonincxetal., 2010).

2.3 Οικονομικά οφέλη

Με την αύξηση των τιμών των συμβατικών ζωοτροφών και την πίεση στους φυσικούς πόρους, τα έντομα φαίνεται να αποτελούν μέρος μιας βιώσιμης λύσης. Αν και οι τρέχουσες τιμές των εντόμων είναι σχετικά υψηλές, η σωστή επένδυση και η αναβάθμιση μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος παραγωγής. Για πολλούς παραγωγούς μικρής κλίμακας, τα έντομα μπορούν να προσφέρουν στρατηγικές διαφοροποίησης των μέσων διαβίωσης που θα περιορίσουν την ευπάθεια των ζώων (UnitedNations, n.d.).

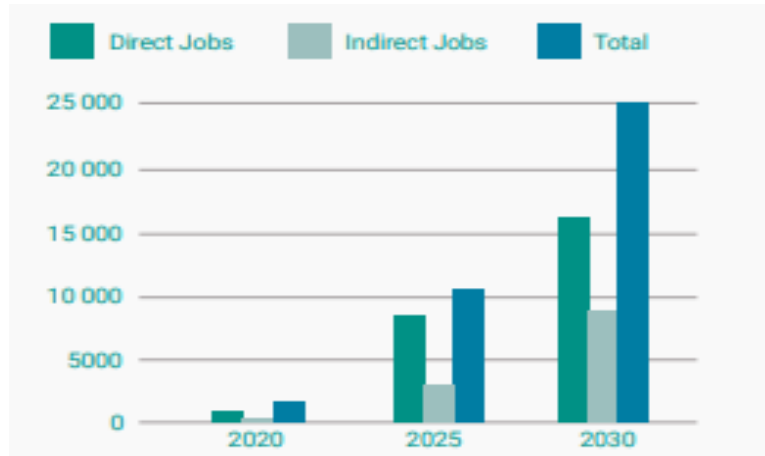
Σύμφωνα με τους Veldkampetal. (2012), η αποτελεσματική χρήση των εντόμων μπορεί να συμβάλει στη βιώσιμη κυκλική οικονομία. Η επιτυχημένη εισαγωγή εντόμων στην τροφική αλυσίδα βασίζεται σε ένα τρίγωνο ποιότητας, το οποίο προσδιορίζει τρεις διαστάσεις: την ποιότητα των εντόμων καθαυτή, τη διαθεσιμότητα των εντόμων και το κόστος. Αυτές οι τρεις παράμετροι θεωρούνται ζωτικής σημασίας για την επιτυχημένη υιοθέτηση των εντόμων στη διατροφή των ζώων. Στην παρακάτω εικόνα (3) αποδίδεται σχηματικά ο οικολογικός σχεδιασμός μιας κυκλικής βιώσιμης οικονομίας με την εισαγωγή των εντόμων. Τα έντομα εκτρέφονται στα οργανικά απόβλητα, περνούν στην παραγωγή και καταλήγουν ως συστατικά των τροφών με τις οποίες σιτίζονται τα ζώα. Από τη σίτιση των ζώων προκύπτουν τα οργανικά απόβλητα και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 10. Βιώσιμη κυκλική οικονομία

Πηγή: Veldkamp et al. (2012)

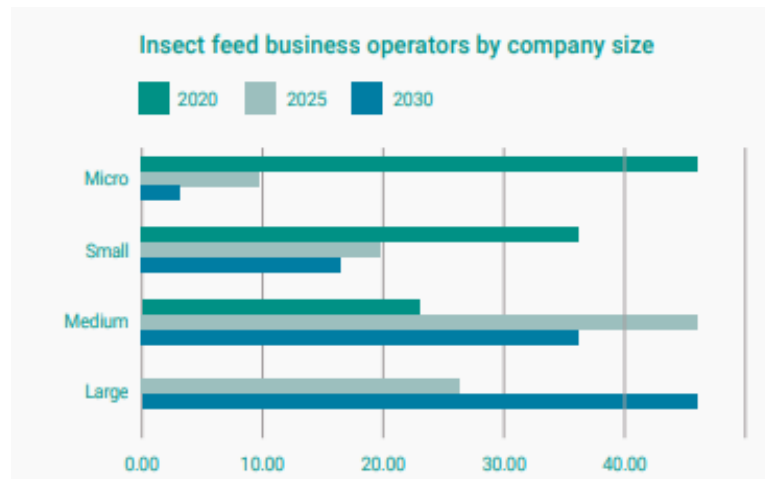
Το οικονομικό όφελος θα προκύψει επίσης μέσω της ενίσχυσης της απασχόλησης. Ο τομέας της απασχόλησης αναμένεται να ωφεληθεί από τη χρήση των εντομάλευρων έως τα τέλη της δεκαετίας του 2030, καθώς βαθμιαία θα αυξηθούν οι θέσεις απασχόλησης στις επιχειρήσεις που εμπλέκονται με την παραγωγή των εντομάλευρων. Συγκεκριμένα, έως το 2025 αναμένεται οκταπλάσια αύξηση στον αριθμό των άμεσων θέσεων εργασίας και ο αριθμός αυτός μπορεί να διπλασιαστεί έως το τέλος τη δεκαετίας ξεπερνώντας τις 16.000 θέσεις εργασίας. Επίσης, σημειώνεται μια ορατή αύξηση στον αριθμό των έμμεσων θέσεων εργασίας που θα αντιπροσωπεύουν περίπου μία από τις τρεις θέσεις εργασίας που δημιουργούνται από τις συγκεκριμένες επιχειρήσεις. Οι προβλέψεις είναι ότι τα έντομα στις ζωοτροφές θα παράγουν περισσότερες από 25.000 άμεσες και έμμεσες θέσεις εργασίας έως το 2030 (Ipiiff, 2021).



Εικόνα 11. Θέσεις απασχόλησης έως το 2025 και 2030

Πηγή: Ipiff (2021)

Επί του παρόντος, οι περισσότερες επιχειρήσεις είναι μικρομεσαίες και αντιπροσωπεύουν πάνω από το 40% των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή ζωοτροφών. Έως το 2030 αναμένεται να αναπτυχθούν οι μεγάλες επιχειρήσεις και να καταλάβουν μερίδιο περίπου 40%, οι μεσαίες περίπου 20% και οι μικρές περίπου 10% (Ipiff, 2021).



Εικόνα 12. Ανάπτυξη επιχειρήσεων 2020-2030

Πηγή: Ipiff (2021)

Όσον αφορά στο οικονομικό όφελος, οι Moruzzoetal. (2021) επισημαίνουν ότι η χρήση των εντόμων ως βασικό συστατικό των ζωοτροφών είναι δυνατό να μειώσει την εξάρτηση

από ακριβές εισαγόμενες τροφές. Αυτή η παράμετρος είναι ουσιώδης για την αγορά, ιδίως για τους κτηνοτρόφους που εκτρέφουν ζώα σε μικρή κλίμακα. Επιπλέον, η καλλιέργεια των εντόμων σε τοπικές περιοχές μπορεί να αποφέρει ένα ακόμα όφελος. Τα υπολείμματα στις περιοχές καλλιέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιολιπάσματα δημιουργώντας μια περαιτέρω ανεξάρτηση από εισαγόμενα λιπάσματα.

Κεφάλαιο 3^ο. Παραγωγή και Νομοθετικό πλαίσιο

3.1 Η βιωσιμότητα της συλλογής βρώσιμων εντόμων από τα οικοσυστήματα

Τα περισσότερα από περίπου 2.100 είδη εντόμων που καταναλώνονται από τους ανθρώπους στις τροπικές περιοχές συλλέγονται από τη φύση, τα δάση, τα υδάτινα οικοσυστήματα, τις γεωργικές εκτάσεις. Η χρήση αυτών των πηγών τροφής απαιτεί τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος. Ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται κατά τη χρήση παρασιτοκτόνων για τον έλεγχο στις κάμπιες του δάσους, καθώς είναι πηγές πρωτεΐνης, μεταλλικών στοιχείων και βιταμινών για τους ανθρώπους στην Κεντρική Αφρική. Τα έντομα συμβάλλουν σημαντικά στην επιβίωση και ασφαλή διατροφή των φτωχών, ιδίως των γυναικών και των παιδιών, που τα χρησιμοποιούν στη διατροφή τους ή τα πωλούν στην αγορά. Η συλλογή εντόμων που είναι δημοφιλή για τη διατροφική τους αξία και κοστίζουν ακριβά στην αγορά προϋποθέτει μεγάλη προσοχή ώστε να αποφευχθεί η υπερεκμετάλλευση που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τις επόμενες σοδειές. Στην Αυστραλία, τα λεπιδόπτερα και κολεόπτερα (για παράδειγμα, τα μυρμήγκια) είναι σημαντικά για τη διατροφή των ιθαγενών. Ωστόσο, η αυξημένη εκμετάλλευση για τα εστιατόρια και τον τουρισμό απειλεί τη διαθεσιμότητά τους. Επίσης, 18 είδη από το Μεξικό καταγράφονται ότι απειλούνται από τη ρύπανση, την αλλαγή οικοσυστήματος και την υπερεκμετάλλευση. Πρόκειται για ένα φαινόμενο μείωσης του τοπικού πληθυσμού εντόμων ή και εξαφάνισης ειδών λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης. Στην Αφρική, η υπερεκμετάλλευση και η υλοτομία έχουν οδηγήσει σε παρόμοια αποτελέσματα για τα είδη κάμπιας (van Huis & Oonincx, 2017).

Τα έντομα είναι η πιο πλούσια κατηγορία ειδών στη γη και διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία του οικοσυστήματος και στην παγκόσμια οικονομία. Η διατήρηση της βιοποικιλότητας των εντόμων, επομένως, είναι ένα ζήτημα παγκόσμιας σημασίας. Για τον λόγο αυτόν, απαιτείται μια επαρκής στρατηγική διαχείρισης συλλογής των εντόμων ώστε να διαφυλαχθεί η ετερογένεια των οικοτόπων. Οι κίνδυνοι που απειλούν τις κοινότητες των εντόμων είναι πολλαπλοί. Η κλιματική αλλαγή έχει συμβάλει στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, η οποία επηρεάζει την κατανομή και τα μοτίβα ποικιλομορφίας των κοινοτήτων των εντόμων (Nayak et al., 2021).

Όπως αναφέρουν οι Godfray & Garnett (2014), κατά την εντατικοποίηση της καλλιέργειας πρέπει να δίνεται προσοχή στα βρώσιμα έντομα και στις υπηρεσίες που προσφέρουν αυτά, εκτός από τον ρόλο τους ως πηγή θρεπτικών συστατικών. Στην έρευνα των Payne & van

Itterbeeck (2017), εξετάστηκαν τέτοιες υπηρεσίες οικοσυστήματος σε παγκόσμια κλίμακα και ταξινομήθηκε μια επιλεγμένη ομάδα βρώσιμων ειδών εντόμων με βάση τις προσφερόμενες υπηρεσίες τους, τη ρύθμιση και τη συντήρηση. Προτείνουν ότι ο έλεγχος των εντόμων θα μπορούσε να επιτευχθεί όχι με τη χρήση παρασιτοκτόνων, αλλά με τη συλλογή τους για τροφή των ανθρώπων και των ζώων. Τα πλεονεκτήματα θα είναι σημαντικά: διατροφικά, καθώς τα έντομα συμβάλλουν στην ασφαλή διατροφή, οικονομικά, διότι θα εξαλειφθεί το κόστος αγοράς παρασιτοκτόνων, και περιβαλλοντικά, καθώς θα αποτραπούν η μόλυνση από φυτοφάρμακα και η επανεμφάνιση παρασίτων ή οι δευτερογενείς επιδημίες. Ως παράδειγμα αναφέρονται οι ακρίδες από τη Λατινική Αμερική, την Αφρική και την Ασία.

3.2 Βιομηχανική παραγωγή των εντομάλευρων

Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για εναλλακτική πηγή τροφής για τα ζώα, η αγορά όλο και περισσότερο αναγνωρίζει την πρωτεΐνη των εντόμων. Η τρέχουσα παραγωγή δεν μπορεί να συναγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ζωοτροφών. Ωστόσο, η αναδυόμενη βιομηχανία εκτροφής εντόμων προχωρά με ταχείς ρυθμούς και αναπτύσσονται συστήματα πλήρως αυτοματοποιημένα που θα αντικαταστήσουν τα ημι-αυτόματα. Όπως φαίνεται, ένας νέος βιομηχανικός τομέας κάνει την εμφάνισή του δυναμικά επιχειρώντας να διασφαλίσει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση κόστους. Αυτή η νέα βιομηχανία ακόμα εξαρτάται από τις συγκεκριμένες τοποθεσίες και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, οι οποίες συναρτώνται με τη διαθεσιμότητα, τη χρήση, τη συνέπεια και την ποιότητα του προϊόντος (United Nations, n.d.).

Στις εύκρατες χώρες η προσοχή που δίνεται στη βιομηχανία επεξεργασίας εντόμων είναι περιορισμένη. Έξω από τον δυτικό κόσμο, η επεξεργασία πραγματοποιείται από διάφορες εταιρείες, όπως η Agriprotein Technologies και η Hao Cheng Mealworms Inc. Agriprotein, οι οποίες στεγνώνουν τις προνύμφες σκουληκιών σε στεγνωτήριο ρευστοποιημένης κλίνης και τις αλέθουν σε μορφή νιφάδων. Ο κίτρινος αλευροσκώληκας πωλείται ζωντανός, αποξηραμένος, σε κονσέρβα και ως σκόνη για ζώα, ψάρια και κατοικίδια. Στις ΗΠΑ, το κέντρο εκτροφής εντόμων του Πανεπιστημίου του Μισισιπή σε συνεργασία με την Neptune Industries Inc. ανέπτυξε ένα πατενταρισμένο πρωτόκολλο παραγωγής για ξηρό πρωτεϊνικό γεύμα εντόμων. Ωστόσο, αντίστοιχες εταιρείες στην Ευρώπη δεν υπάρχουν (Veldkamp et al., 2012).

Τα βρώσιμα έντομα μπορούν να αποκτηθούν με τρεις τρόπους (Moruzzoetal., 2021):

- άγρια συγκομιδή: αντιπροσωπεύει περίπου το 92% της συγκομιδής των βρώσιμων εντόμων που προορίζονται για κατανάλωση από ανθρώπους
- ημι-εξημέρωση με έλεγχο των οικοτόπων για αύξηση της παραγωγής: αντιπροσωπεύει περίπου το 6% της συγκομιδής
- εκτροφή η οποία μπορεί να κυμαίνεται από καλλιέργεια σε ένα μικρό κλουβί έως ένα μεγάλο εργοστάσιο: συνιστά το 2% των βρώσιμων εντόμων.

Ωστόσο, τα έντομα δεν είναι διαθέσιμα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και ποικίλλει ανάλογα με την εποχή και τον γεωγραφικό τόπο για την άγρια συγκομιδή. Επομένως, η βιομηχανική παραγωγή μπορεί να συμβάλει στη βιώσιμη καλλιέργεια των εντόμων και οι τεχνικές επεξεργασίας μπορούν να αναστείλουν τους περιορισμούς στη διαθεσιμότητα των εντόμων και να μειώσουν τις τιμές. Η εκτροφή αποτελεί τον πιο επαρκή τρόπο παραγωγής εντόμων που προορίζονται για τροφές και ζωοτροφές και θα μπορούσε να δώσει ώθηση σε έναν καινοτόμο οικονομικό τομέα με τυποποιημένες τεχνικές βιομηχανικής κλίμακας. Επιπλέον, η καλλιέργεια εντόμων σε μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις είναι δυνατό να συμβάλει στην παραγωγή τροφής υψηλής διατροφικής αξίας με απλές τεχνολογικές πρακτικές. Αυτού του είδους η βιομηχανική δραστηριότητα απαιτεί χαμηλές επενδύσεις και προσφέρει υψηλά οικονομικά κέρδη. Η διαχείριση είναι σχετικά απλή και δεν απαιτεί υψηλή εξειδίκευση, ο κύκλος παραγωγής είναι ταχύς και η μετατροπή σε ζωοτροφές επαρκής με χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Η θανάτωση των εντόμων από το φυσικό τους περιβάλλον φαίνεται παράλογη και ισοδυναμεί με καταστροφή των φυσικών πόρων. Για τον λόγο αυτό, η μεγάλης κλίμακας εκτροφή είναι μια λογική και βιώσιμη λύση. Απαιτούνται ωστόσο βελτιωμένες στρατηγικές καλλιέργειας ώστε να εκτρέφονται πιο υγιή και παραγωγικά βρώσιμα έντομα με την βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος στο οποίο γίνεται η εκτροφή και τον εμπλουτισμό των πηγών διατροφής τους. Δεδομένου ότι η θρεπτική αξία των εντόμων καθορίζεται κυρίως από το είδος του εντόμου, την πηγή τροφής και τη μέθοδο παραγωγής και επεξεργασίας είναι δυνατό να αναπτυχθούν τεχνικές παραγωγής εντόμων πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά (Zhou etal., 2022).

Μετά την παραγωγή των εντόμων, απαιτούνται μια σειρά διαδικασιών προκειμένου να πάρουν την κατάλληλη μορφή ώστε να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφές. Στην Κίνα, ο κίτρινος αλευροσκώληκας πωλείται ζωντανός, αποξηραμένος, κονσερβοποιημένος και ως σκόνη για παραγωγικά ζώα και ψάρια και για κατοικίδια ζώα (Veldkampetal., 2012).

Η διαίτα εντομάλευρων πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις της καλής γεύσης, της διατροφικής αξίας, της βιοδιαθεσιμότητας και της σταθερότητας. Οι παράμετροι αυτές σαφώς επηρεάζονται από τις μεθόδους επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των εντομάλευρων. Αυτές είναι τεχνολογικές κατασκευές που μπορεί να έχουν αναπτυχθεί από ευρετικές διαδικασίες ή κάποιες φορές από λεπτομερείς μηχανολογικές προσεγγίσεις (Cohen, 2018).

Ο επιδιωκόμενος στόχος της εκτροφής εντόμων εξαρτάται από την επιλογή των ειδών εντόμων και των υποστρωμάτων εκτροφής. Οι στόχοι μπορεί να ποικίλλουν ανάμεσα στη μείωση των αποβλήτων, στην παραγωγή πρωτεΐνης υψηλής ποιότητας ή στην εξαγωγή υποπροϊόντων. Η καταλληλότερη εκτροφή εντόμων γίνεται σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες όλο τον χρόνο, όπου υπάρχει πυκνή δραστηριότητα εκτροφής ζώων και εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων (United Nations, n.d.).

Το ζήτημα των συστημάτων παραγωγής εντόμων συζητήθηκε τον Ιανουάριο του 2012 σε συνάντηση τεχνικής διαβούλευσης του FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), που πραγματοποιήθηκε στη Ρώμη, με τίτλο «Αξιολόγηση των Εντόμων ως Τροφίμων και Ζωοτροφών για τη Διασφάλιση της Ασφάλειας Τροφίμων». Εκεί, θεωρήθηκε ως μείζων πρόκληση η χρήση των εντόμων ως τροφή. Τα βασικά θέματα που τέθηκαν ήταν η επιλογή κατάλληλων ειδών και στελεχών εντόμων, η εύρεση φθηνού υποστρώματος εκτροφής διασφαλίζοντας την πρώτη ύλη κατά την εκτροφή των εντόμων σε οργανικά απόβλητα και κοπριά, η διαχείριση ασθενειών και η θέσπιση διαδικασιών υγιεινής. Τα παραπάνω αποτελούν παράγοντες για την παραγωγή σταθερής ποσότητας εντόμων και διασφάλισης της ποιότητάς της, για την ανάπτυξη καινοτόμων και οικονομικά αποδοτικών συστημάτων παραγωγής, για την ενίσχυση της αυτοματοποίησης, για τη διασφάλιση της καλής μεταχείρισης των ζώων, για τη θέσπιση κανονιστικού πλαισίου και την εκπόνηση βιομηχανικού κώδικα προτύπων (Veldkamp et al., 2012).

Η καλλιέργεια εντόμων με σκοπό τη χρήση τους στις ζωοτροφές είναι μια αναπτυσσόμενη βιομηχανία στην Ευρώπη. Καινοτόμες νεοσύστατες επιχειρήσεις που έχουν ως δραστηριότητα την παραγωγή ζωοτροφών στοχεύοντας στην αγορά των κατοικίδιων ζώων, στρέφονται σταδιακά προς την παραγωγή εντομάλευρων για τις υδατοκαλλιέργειες (Irfiff, 2021).

Όταν γίνεται λόγος για βιομηχανική παραγωγή, νοούνται κυρίως τρία είδη εντόμων: η Μαύρη Μύγα Στρατιώτης (Black Soldier Fly-BSF), η Οικιακή Μύγα (Common Housefly),

ο Κίτρινος Αλευροσκώληκας (YellowMealworm). Η ενσωμάτωση των εντόμων στην τροφική αλυσίδα αποδίδεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα (6):

- Τα έντομα αναπτύσσονται στα οργανικά απόβλητα, όπως πολτός κόκκων καφέ, λαχανικά, παραπροϊόντα ψαριών κ.ά.
- Στη συνέχεια γίνεται η εκτροφή των εντόμων.
- Τα έντομα υπόκεινται σε επεξεργασία προκειμένου να αποτελέσουν συστατικά των ζωοτροφών.
- Τα παραγόμενα εντομάλευρα προωθούνται στον τομέα εμπορίου ζωοτροφών.
- Στη συνέχεια γίνεται η προώθηση στον τομέα των πουλερικών και των χοίρων.
- Τελικό στάδιο είναι η λιανική πώληση/καταναλωτής.



Εικόνα 13. Τα έντομα στην τροφική αλυσίδα

Πηγή: Veldkampetal. (2012)

3.3Η νομιμοποίηση της χρήσης εντομάλευρων

Η νομιμοποίηση της διατροφής των ζώων με έντομα διαφέρει από χώρα σε χώρα. Στην Αυστραλία, σύμφωνα με την Υπηρεσία Αγροτικής Ανάπτυξης και Υδατικών Πόρων, τα έντομα χρησιμοποιούνται ήδη ως τροφή στα ψάρια, στα πουλερικά, στους χοίρους και στα κατοικίδια. Οι πρώτες ύλες ζωοτροφών στην Αυστραλία ελέγχονται από την Αυστραλιανή Αρχή Φυτοφαρμάκων και Κτηνιατρικής. Η Αρχή ορίζει ότι για τα προϊόντα ζωοτροφών από εντομάλευρα δεν απαιτείται εγγραφή στον συγκεκριμένο φορέα, εάν αυτά χρησιμοποιούνται ως μέρος μιας κανονικής δίαιτας, προορίζονται αποκλειστικά για διατροφικούς σκοπούς, δεν περιέχουν φάρμακα. Ωστόσο, τα εκτρεφόμενα έντομα απαγορεύεται να τρέφονται με κοπριά, υπολείμματα τροφών ή μη επεξεργασμένο κρέας. Ως νέα πηγή τροφής, οι αυστραλιανοί κανονισμοί υπαγορεύουν ότι τα προϊόντα που περιέχουν έντομα υποβάλλονται σε αξιολόγηση πριν από την αγορά, εκτός αν έχουν ήδη εγκριθεί, όπως οι αλευροσκώληκες, οι γρύλοι, τα σκαθάρια. Τέλος, εγκρίνονται από τον

Οργανισμό Προτύπων Τροφών της Αυστραλίας-Νέας Ζηλανδίας. Αναφορικά με την εισαγωγή ζωντανών εντόμων υπάρχουν ρυθμιστικά εμπόδια και απαιτείται έγκριση για την εισαγωγή προϊόντων ζωοτροφών που προέρχονται από έντομα (Di Giacomo & Leury, 2019).

Ο Διεθνής Οργανισμός για τα Έντομα ως Τροφή και Ζωοτροφές (IPIFF) έχει ζητήσει την επικαιροποίηση της νομοθεσίας από τα κράτη ώστε να επιτρέπεται η διαίτα των κατοικιδίων, των υδατοκαλλιεργειών, των πουλερικών και των χοίρων με έντομα. Όσον αφορά στα μηρυκαστικά, η χρήση εντομάλευρων απαγορεύεται σε παγκόσμια κλίμακα λόγω του αντιλαμβανόμενου κινδύνου μετάδοσης ασθενειών. Η Κίνα έχει ήδη καθιερώσει ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για την αναβάθμιση της παραγωγής εντόμων.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, επί του παρόντος υφίσταται ο Κανονισμός 1069/2009 στον οποίο περιλαμβάνονται υδρόβια και χερσαία ασπόνδυλα είδη που δεν είναι παθογόνα για τον άνθρωπο και τα ζώα. Επιπλέον, η Οδηγία 2002/32 για τις ανεπιθύμητες ουσίες στις ζωοτροφές εφαρμόζεται στα προϊόντα εντόμων. Όσον αφορά στους κινδύνους της αλυσίδας παραγωγής, οι ευρωπαϊκές αρχές και οι επιχειρηματικές κοινότητες αναμένεται να θέσουν το ζήτημα στην εθνική και ευρωπαϊκή ατζέντα ώστε να καθιερωθούν τα πρότυπα για τη χρήση των εντόμων ως συστατικών ζωοτροφών. Αυτό θα είναι εφικτό κατόπιν διενέργειας ερευνητικών προγραμμάτων, καθώς η υφιστάμενη γνώση σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων, τις μεταδοτικές ασθένειες και τους ιούς είναι ελλιπής (Veldkamp et al., 2012).

Τα έντομα ως ζωοτροφές στην Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρούνται επεξεργασμένες ζωικές πρωτεΐνες σύμφωνα με τον Κανονισμό 1069/2009. Ο Κανονισμός 999/2001 απαγορεύει τη σίτιση εκτρεφόμενων ζώων με επεξεργασμένες ζωικές πρωτεΐνες με αποτέλεσμα την απαγόρευση των εντόμων ως ζωοτροφών (United Nations, 2020).

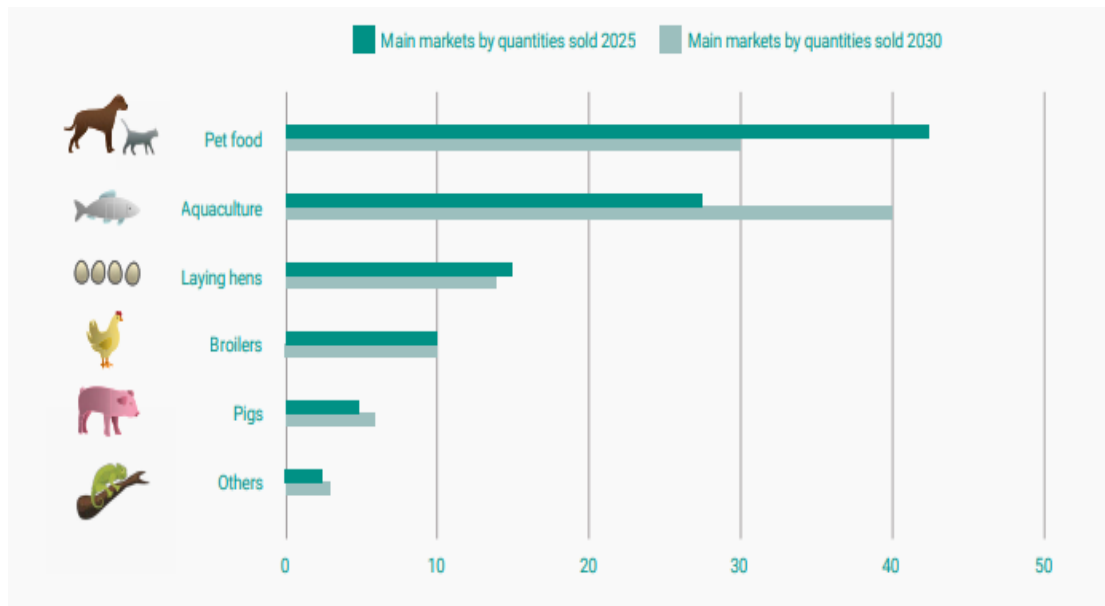
Στην Ολλανδία επιτρέπεται η πώληση εντομάλευρων ως τροφή για τα ζώα των ζωολογικών κήπων και των ζώων στα καταστήματα κατοικιδίων, όπως πουλιά, ερπετά, θηλαστικά και αμφίβια. Αυτά είναι διαθέσιμα σε διάφορες μορφές, ζωντανά, αποξηραμένα και κατεψυγμένα. Η κατάψυξη και η αποξήρανση είναι δύο μέθοδοι που επιμηκύνουν τη διάρκεια διατήρησης των εντόμων, ωστόσο έχουν υψηλό κόστος για να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλης κλίμακας σίτιση πουλερικών και χοίρων (Veldkamp et al., 2012).

Ωστόσο, η επέκταση της χρήσης εντομάλευρων προσκρούει σε διάφορα ζητήματα που σχετίζονται με τους πιθανούς περιβαλλοντικούς κινδύνους από την αντικατάσταση των σημερινών συστημάτων κτηνοτροφίας με συστήματα εκτροφής εντόμων. Θα πρέπει να υπάρξει διαβεβαίωση ότι δεν υφίσταται κίνδυνος για τους ανθρώπους, τα φυτά, τα ζώα, τη

βιοποικιλότητα. Επιπλέον, θα πρέπει να διαμορφωθεί το νομοθετικό πλαίσιο κάθε χώρας ώστε να επιτραπεί η παραγωγή εντόμων. Επίσης, περιορισμοί δημιουργούνται από τη Διεθνή Σύμβαση Προστασίας Φυτών (IPPC-International Plant Protection Convention), η οποία στοχεύει στην προστασία των καλλιεργούμενων και άγριων φυτών προλαμβάνοντας την εισαγωγή και εξάπλωση παρασίτων. Παγκοσμίως υπάρχουν εννέα Περιφερειακοί Οργανισμοί Προστασίας Φυτών με αρμοδιότητα να προστατεύουν τις καλλιεργούμενες και φυσικές φυτικές πηγές από τα παράσιτα. Αυτό υλοποιείται με ρυθμιστικούς κανονισμούς που ελέγχουν την εισαγωγή ειδών εντόμων. Αν το είδος εντόμου δεν είναι ενδημικό και θα μπορούσε να επιβιώσει στη φύση, ίσως έθετε σε κίνδυνο τις ανθρώπινες ζωές και τη βιοποικιλότητα, οπότε θα έπρεπε να απαγορευτεί (van Huis & Oonincx, 2017).

Μια πολύ σημαντική πτυχή που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την επέκταση της χρήσης των εντομάλευρων είναι το γεγονός ότι τα πολλαπλά οφέλη που προσφέρει η εκτροφή εντόμων εναρμονίζονται με τους Στόχους της Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals - SDGs). Κατά κύριο λόγο, τα έντομα ως πηγή τροφής προσφέρουν ευκαιρίες για αύξηση της επισιτιστικής ασφάλειας. Επιπλέον, από την εκτροφή τους προκύπτουν περιβαλλοντικά οφέλη, όπως η βελτίωση των υποδομών διαχείρισης απορριμμάτων, ιδίως σε οικονομικά ασθενέστερες χώρες. Οι επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία και ευημερία είναι σημαντικές. Η εκτροφή εντόμων με τυποποιημένες τεχνικές σε βιομηχανική κλίμακα είναι ένας οικονομικός τομέας ικανός να βελτιώσει τη βιωσιμότητα των παγκόσμιων αλυσίδων τροφίμων (United Nations, 2020).

Παρά την διστακτικότητα όσον αφορά στη διαμόρφωση σχετικού νομοθετικού πλαισίου, εν γένει η αγορά των εντομάλευρων στην Ευρωπαϊκή Ένωση εξελίσσεται δυναμικά και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το νομοθετικό πλαίσιο που θα επιτρέπει την επέκταση της χρήσης τους στις υδατοκαλλιέργειες και στη σίτιση των χοίρων και των πουλερικών. Η ανάπτυξη αυτής της αγοράς θα ενδυναμώσει τις συνεργασίες μεταξύ των επιχειρήσεων παραγωγής εντομάλευρων και εκτροφής παραγωγικών ζώων. Η αναμενόμενη ανάπτυξη των κύριων αγορών στις οποίες στοχεύουν οι εμπλεκόμενοι των επιχειρήσεων ζωοτροφών αποτυπώνονται στην παρακάτω εικόνα (7), όπου παρουσιάζεται η πιθανή διανομή των εντομάλευρων στις επιμέρους αγορές έως το 2025 και το 2030.



Εικόνα 14. Τάσεις στην αγορά εντομάλευρων έως το 2025 και το 2030

Πηγή: Irippf (2021)

Η μεγαλύτερη ζήτηση εντομάλευρων έως το 2025 βρίσκεται στον τομέα των κατοικίδιων ζώων, περίπου 40-50% της παραγωγής. Ακολουθεί ο τομέας των υδατοκαλλιέργειών, που θα καταλαμβάνει ένα μερίδιο περίπου 25-35%. Η επόμενη αναδυόμενη αγορά είναι αυτή των πουλερικών, με μερίδιο 20-30%, και των χοίρων, 5-15%. Έως το τέλος της δεκαετίας (2030), νέες ρυθμιστικές διατάξεις αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της παραγωγής και στην επακόλουθη μείωση των τιμών. Οι αλλαγές αυτές θα κάνουν πιο ελκυστικά τα προϊόντα προερχόμενα από έντομα για συγκεκριμένες αγορές, ιδίως για τις υδατοκαλλιέργειες, οι οποίες θα πρέπει παράλληλα να αναβαθμιστούν. Ο τομέας αυτός θα ακολουθήσει ραγδαία ανάπτυξη παγκοσμίως και, όπως αναφέρει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, θα συμβάλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των ευρωπαϊκών συστημάτων τροφίμων (Irippf, 2021).

Η Ε.Ε. έχει ήδη προβεί σε επικαιροποίηση της νομοθεσίας και έχει συμπεριλάβει την αναπαραγωγή εντόμων στη στρατηγική 'Farm to Fork', δηλώνοντας πως τα έντομα θα μπορούσαν να παίξουν μεγάλο ρόλο στην ανάπτυξη ενός βιώσιμου, ανθεκτικού και κυκλικού συστήματος τροφίμων. Η εκτροφή εντόμων θα μπορούσε να μειώσει τα εισαγόμενα τρόφιμα και τις εισαγόμενες ζωοτροφές συντομεύοντας τη διατροφική αλυσίδα και διαφοροποιώντας τα πρωτεϊνούχα προϊόντα. Με τον Κανονισμό 2015/2283 της Ε.Ε., όπως τροποποιήθηκε και ισχύει, τρία είδη εντόμων έχουν εγκριθεί, οι αλευροσκώληκες, οι ακρίδες και οι γρύλοι. Ο κανονισμός περιλαμβάνει τόσο έντομα που καταναλώνονται

ολόκληρα όσο και προϊόντα που έχουν ως βάση τα έντομα. Όσον αφορά στη χρήση των εντόμων ως ζωοτροφών, ο Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 2017/893 ενημερώθηκε με τον Κανονισμό 2021/1372, ο οποίος επέτρεψε τη χρήση επεξεργασμένης ζωικής πρωτεΐνης που προέρχεται από επτά είδη εντόμων ως τροφή για ψάρια, χοίρους και πουλερικά (Mina et al., 2023).

Περαιτέρω, ο Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 2023/5 επιτρέπει τη διάθεση στην αγορά μερικώς απολιπασμένης σκόνης του οικιακού γρύλου (*Acheta domesticus*) ως νέο τρόφιμο τροποποιώντας τον κανονισμό 2017/2470 (Official Journal of the European Union, 2023). Επιπλέον, η Επιτροπή έχει εγκρίνει τη διάθεση στην αγορά ενός τέταρτου εντόμου αλευροσκώληκα. Πρόκειται για την προνύμφη του εντόμου *Amphitobius diaperinus* που ανήκει στην οικογένεια των σκούρων σκαθαριών. Η έγκριση αυτών των δύο εντόμων που συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των «νέων (καινοτόμων) τροφίμων» θα επιτρέψει τη διάθεσή τους στην αγορά της Ε.Ε. υπό ορισμένες συνθήκες χρήσης (European Commission, 2023).



Εικόνα 15. Προνύμφη *Amphitobius diaperinus*

Πηγή: Dunford & Kaufman (2021)



Εικόνα 16. Νύμφη *Amphitobius diaperinus*

Πηγή: Dunford & Kaufman (2021)



Εικόνα 17. Ενήλικο *Amphitobius diaperinus*

Πηγή: Dunford & Kaufman (2021)

Κεφάλαιο 4^ο. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

4.1 Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει από όσα εκτέθηκαν στην παρούσα εργασία, η χρήση των εντομάλευρων ως τροφή των παραγωγικών ζώων θεωρείται από τους ειδικούς ως μια βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική λύση στην εξασφάλιση περισσότερων σε ποσότητα και πιο ποιοτικών ζωοτροφών. Τα πρότυπα κατανάλωσης και επιλογής τροφίμων έχουν διαφοροποιηθεί, ιδίως στις εκβιομηχανισμένες χώρες, ενώ η αύξηση του πληθυσμού και του εισοδήματος δημιουργούν νέες απαιτήσεις.

Αυτό που καθιστά τα έντομα μια καλή πηγή τροφής για τα παραγωγικά ζώα είναι η πλούσια θρεπτική σύνθεσή τους σε συστατικά όπως πρωτεΐνη, αμινοξέα, λιπίδια, βιταμίνες, μεταλλικά στοιχεία, απαραίτητα συστατικά με τα οποία μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη ανάπτυξη και παραγωγικότητα των ζώων. Βασικά πλεονεκτήματα που συγκεντρώνουν τα έντομα είναι ο σύντομος κύκλος ζωής τους που ευνοεί την τακτική αναπαραγωγή τους, ο ταχύς ρυθμός αναπαραγωγής, η μεγάλη βιοποικιλότητα και η παρουσία τους σε μια ποικιλία οικοτόπων, η εύκολη και ελεγχόμενη αναπαραγωγή τους, η βέλτιστη μετατροπή της τροφής σε βιομάζα σε σχέση με άλλα ζώα.

Η χρήση των εντομάλευρων ως τροφή των παραγωγικών ζώων αφορά στα πουλερικά, στους χοίρους και στα ψάρια. Όσον αφορά στα πουλερικά, τα εντομάλευρα θεωρείται ότι μπορούν να βελτιώσουν την υγεία και ανάπτυξη των κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής και να τα κάνουν πολύ πιο γευστικά για τους καταναλωτές. Για τη σίτιση των χοίρων, οι έρευνες επισημαίνουν ότι οι προνύμφες BSF είναι ένα κατάλληλο συστατικό για τη διαίτα των συγκεκριμένων ζώων, καθώς τα εντομάλευρα που είναι εμπλουτισμένα με προνύμφες BSF παράγουν τροφές υψηλής περιεκτικότητας σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, κατάλληλες για τους χοίρους. Ο εμπλουτισμός της διατροφής των υδατοκαλλιεργειών με εντομάλευρα θεωρείται ότι θα έχει θετικές επιπτώσεις στην επιβίωση και ανάπτυξη αυτών των ειδών.

Εκτός από τη διατροφική αξία των εντομάλευρων για τα διάφορα είδη των παραγωγικών ζώων, η χρήση τους θεωρείται ότι θα αποφέρει περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη σε παγκόσμια κλίμακα. Σε σύγκριση με τα συμβατικά ζώα, η παραγωγή των εντόμων έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο καθώς απαιτεί μικρότερη έκταση γης και λιγότερες ποσότητες νερού.

Τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την αναμενόμενη μείωση του κόστους παραγωγής των εντομάλευρων θα τα καταστήσει ανταγωνιστικά απέναντι στις συμβατικές

ζωοτροφές. Το κόστος των τελευταίων αναμένεται να αυξηθεί λόγω της πίεσης που ασκούν στους φυσικούς πόρους. Η αύξηση της ζήτησης των εντομάλευρων που έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στην υγεία και ευημερία των ζώων θα ευνοήσει τους παραγωγούς μικρής κλίμακας με την ενίσχυση των δραστηριοτήτων στον τομέα των ζωοτροφών. Πρωτίστως, το οικονομικό όφελος από την εισαγωγή των εντομάλευρων θα προκύψει μέσω του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας που είναι δυνατό να εφαρμοστεί, δηλαδή της παραγωγής εντόμων από τα οργανικά απόβλητα των ζώων και της μετατροπής τους σε θρεπτικά συστατικά για τη διατροφή των ζώων μέσω επεξεργασίας.

Στην Ευρώπη, η πρόσφατη νομοθεσία επιτρέπει τη χρήση επεξεργασμένης ζωικής πρωτεΐνης ως τροφή για ψάρια, χοίρους και πουλερικά, τη διάθεση στην αγορά μερικώς απολιπασμένης σκόνης του οικιακού γρύλου (*Acheta domesticus*) ως νέο τρόφιμο και τη διάθεση στην αγορά ενός τέταρτου εντόμου αλευροσκώληκα, της προνύμφης *Amphitobius diaperinus*.

Συμπερασματικά, η χρήση των εντομάλευρων στη διατροφή των ζώων προσφέρει τη δυνατότητα μιας πιο βιώσιμης και περιβαλλοντικά φιλικής βιώσιμης εναλλακτικής λύσης συγκρινόμενη με τις παραδοσιακές ζωοτροφές. Αν και υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, τα οφέλη που θα προκύψουν από τη χρήση τους είναι σημαντικά. Η πιθανότητα της ευρείας διάδοσής τους είναι μεγάλη, καθώς η ζήτηση για πρωτεϊνούχες πηγές εμφανίζει ανοδική τάση. Η υιοθέτησή τους θεωρείται ότι θα οδηγήσει σε ένα βιώσιμο και περιβαλλοντικά φιλικό διατροφικό σύστημα.

Συνοψίζοντας τις προοπτικές για τη χρήση των εντόμων οι Veldkampetal. (2012) καταλήγουν στα εξής συμπεράσματα:

- Η χρήση των εντόμων ως συστατικών ζωοτροφής είναι τεχνικά εφικτή.
- Μεγάλες ποσότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφές για την πλήρη αντικατάσταση του σογιάλευρου.
- Τα περισσότερα υποσχόμενα είδη εντόμων είναι οι προνύμφες της μύγας στρατιώτη, της κοινής οικιακής μύγας και του κίτρινου αλευροσκώληκα.
- Οι τεχνικές επεξεργασίας πρέπει να αναπτυχθούν περαιτέρω.
- Είναι απαραίτητη η επίλυση νομοθετικών περιορισμών.
- Η παραγωγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από έντομα είναι χαμηλότερη από ό,τι στα συμβατικά ζώα.

4.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και προοπτικές

Η υφιστάμενη έρευνα αναφορικά με τη χρήση εντομάλευρων στη διατροφή των παραγωγικών ζώων έχει αναδείξει σημαντικές πτυχές του ζητήματος όσον αφορά στα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση τους (van Huis et al. 2013). Πιθανά σημεία που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης περιλαμβάνουν:

- Τη διερεύνηση της δυνατότητας τα εντομάλευρα να υποκαταστήσουν άλλες πηγές πρωτεΐνης στη διατροφή των ζώων και την ανάπτυξη τυποποιημένων πρωτοκόλλων ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα των εντομάλευρων και η ασφάλεια από τη χρήση τους.
- Τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων από την εισαγωγή των εντομάλευρων στη διατροφή των διαφορετικών ειδών ζώων, καθώς και των αποτελεσμάτων της χορήγησης διαφορετικών ειδών εντόμων στην απόδοση των ζώων.
- Την έρευνα σχετικά με τη θρεπτική σύσταση των διαφορετικών ειδών εντόμων ώστε να ενισχυθεί η διατροφική τους αξία μέσω τροποποιήσεων στο υπόστρωμα στο οποίο εκτρέφονται.
- Την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου στην παραγωγή εντομάλευρων, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων στην ενεργειακή κατανάλωση και στη χρήση υδάτινων πόρων.
- Την ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων μάρκετινγκ και διανομής των εντομάλευρων ως εναλλακτικής πρωτεϊνούχας πηγής διατροφής των ζώων.

Όσον αφορά στις υδατοκαλλιέργειες, τα εντομάλευρα είναι μια αναδυόμενη πηγή πρωτεΐνης που δεν πρέπει να υποτιμηθεί. Ωστόσο, η γνώση και κατανόηση των φυσιολογικών και ανοσοτροποποιητικών επιδράσεων στις υδατοκαλλιέργειες είναι περιορισμένη. Για τον λόγο αυτόν, είναι απαραίτητη η διερεύνηση της χρήσης των εντομάλευρων από διαφορετικές βιολογικές πτυχές (Lohetal., 2020):

- Βελτιστοποίηση των θρεπτικών συστατικών των εντόμων μέσω καθιέρωσης προτύπων ζωοτροφών.
- Διερεύνηση της ποικιλίας των εντόμων που δυνητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τροφή των υδατοκαλλιεργειών.
- Κατανόηση του ρόλου της χιτίνης στην ανοσοποιητική λειτουργία.
- Διερεύνηση της προσαρμοστικής ανοσολογικής απόκρισης των επόμενων γενεών.
- Βελτιστοποίηση της παραγωγής εντομάλευρων ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της αγοράς και να εξασφαλιστεί χαμηλότερο κόστος παραγωγής.

- Μελέτη της πιθανότητας μετάδοσης ασθενειών, για παράδειγμα παθογόνων βακτηρίων, ιών, παρασίτων και μυκήτων, από ανθυγιεινά έντομα. Η βιοασφάλεια των εντομάλευρων ως συστατικών ζωοτροφής θα πρέπει να ελέγχεται αυστηρά.
- Εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών, για παράδειγμα μελέτες γονιδιακής έκφρασης, ενζυμικές ανοσοδοκιμασίες κ.ά. και βελτίωση της επεξεργασίας των εντομάλευρων μέσω ξήρανσης σε χαμηλή θερμοκρασία, αποπάχυνσης και ενίσχυσης.

Εν γένει, η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να αντιληφθεί τη σημασία της χρήσης εντομάλευρων ως βιώσιμης εναλλακτικής λύσης για τη σίτιση των παραγωγικών ζώων (Cohen, 2018; Stull&Patz, 2020). Η νέα ακμάζουσα βιομηχανία παραγωγής εντόμων θα μπορούσε να λάβει σημαντική ώθηση αν η νομοθεσία, ιδίως στην Ευρώπη, μπορούσε να προσαρμοστεί σε αυτήν την αναδυόμενη αγορά πρωτεΐνης εντόμων. Περαιτέρω, για την επιτυχή ενσωμάτωση των εντόμων στις τροφές των παραγωγικών ζώων απαιτείται συνεργασία των κυβερνήσεων, των ακαδημαϊκών και της βιομηχανίας. Οι ερευνητές χρειάζονται κεφάλαια και βιομηχανικά δεδομένα ώστε να εισηγηθούν τροποποιήσεις στους ρυθμιστικούς κανονισμούς, ενώ οι βιομηχανίες χρειάζονται νέους κανονισμούς και το επιστημονικό υπόβαθρο για να παράγουν ασφαλή και αξιόπιστα προϊόντα (United Nations, 2020).

Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, οι μελλοντικές προοπτικές από τη χρήση των εντομάλευρων στη διατροφή των παραγωγικών ζώων είναι σημαντικές για την κοινωνία, την οικονομία, το περιβάλλον. Η εκτροφή εντόμων θα ωφελήσει τις οικονομικά ασθενέστερες κοινωνίες και τα πιο ευάλωτα μέλη της κοινωνίας. Με την εισαγωγή των τεχνολογικών καινοτομιών, τα έντομα θα είναι μια φθηνότερη και πιο βιώσιμη πηγή πρωτεΐνης σε σύγκριση με τις συμβατικές ζωοτροφές. Επίσης, η εκτροφή των εντόμων σε οργανικά απόβλητα μπορεί να μειώσει τις ποσότητές τους ωφελώντας το περιβάλλον. Τέλος, η επένδυση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα (United Nations, 2020).

Όπως υποστηρίζουν οι Ordonez-Araqueetal. (2022), τα έντομα μπορούν να αποτελέσουν μια καλή εναλλακτική λύση της βιώσιμης παραγωγής τροφών και να καλύψουν τις διατροφικές ανάγκες των παραγωγικών ζώων. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τον εμπλουτισμό της έρευνας θα είναι δυνατό να δημιουργηθούν αγροκτήματα, όπου θα εκτρέφονται έντομα. Έμφαση πρέπει να δοθεί στην τήρηση των πρωτοκόλλων ασφάλειας και ποιότητας ώστε να αποφευχθούν μολύνσεις και μεταδοτικές ασθένειες.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Al-Qazzaz, M.F., & Ismail, D.B. (2016). Insect Meal as a Source of Protein in Animal Diet. Review Paper. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 16, 527-547.
- Breeding Insects. Yellow Mealworm Life Cycle. Ανακτήθηκε, 7 Μαΐου 2023, από url <https://www.breedinginsects.com/yellow-mealworm-life-cycle/>
- Cohen, A.C. (2018). Standards for Effective Insect Rearing Science and Technology Papers. *Advances in Entomology*, 6, 256-284. doi: <https://doi.org/10.4236/ae.2018.64020>
- DiGiacomo, K., & Leury, B.J. (2019). Review: Insect meal: a future source of protein feed for pigs? *Animal*, 13(12), 1-9. doi:10.1017/S1751731119001873
- Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G. (2016). *Insects as Sustainable Food Ingredients. Production, Processing and Food Applications*. Academic Press. ISBN: 978-0-12-802856-8
- Dunford, J.C., & Kaufman, P.E. (2021). Featured Creatures. University of Florida. Ανακτήθηκε, 8 Μαΐου 2023, από url https://entnemdept.ufl.edu/creatures/livestock/poultry/lesser_mealworm.htm
- EScholarly Community Encyclopedia. (2023). Black soldier Fly. Ανακτήθηκε, 6 Μαΐου 2023, από url <https://encyclopedia.pub/entry/7597>
- Elahi, U., Xu, C., Wang, J., Lin, J., & Wu, S. (2022). Insect meal as a feed ingredient for poultry. *Animal Bioscience*, Vol. 35, No 2, 332-346. doi:10.5713/ab.21.0435
- European Commission. (2023). Approval of fourth insect as a Novel Food. Ανακτήθηκε, 6 Μαΐου 2023, από url https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food/authorisations/approval-insect-novel-food_en
- Godfray, H.C.J., Garnett, T. (2014). Food security and sustainable intensification. *Phil Trans R Soc B* 369(1639). DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0273>
- Ipiff. (2021). An overview of the European market of insects as feed. Ανακτήθηκε, 22 Φεβρουαρίου 2023, από url Apr-27-2021-IPIFF_The-European-market-of-insects-as-feed.pdf
- Kim, T.K., Yong, H.I., Chun, H.H., Lee, M.A., & Kim, Y.B. (2020). Changes of amino acid composition and protein technical functionality of edible insects by extracting steps. *Journal of Asia-Pacific*, 23, 298-305 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.12.017>
- Loh, J.Y., Mousavi, S., & Zahedinezhad, S. (2020). A review on insect meals in aquaculture: The immunomodulatory and physiological effects. *International Aquatic Research*, 12(2): 100-115. DOI: [10.22034/IAR\(20\).2020.1897402.1033](https://doi.org/10.22034/IAR(20).2020.1897402.1033)

- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuze, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, Vol. 197, 1-33.
- Mina, G., Peira, G., & Bonadonna, A. (2023). The Potential Future of Insects in the European Food System: A Systematic Review Based on the Consumer Point of View. *Foods*, 12, 646. <https://doi.org/10.3390/foods12030646>
- Moruzzo, R., Mancini, S., & Guidi, A. (2021). Edible Insects and Sustainable Development Goals. *Insects*, 12(6): 557. DOI:[10.3390/insects12060557](https://doi.org/10.3390/insects12060557)
- Mousavi, S., Zahedinezhad, S., & Loh, J.Y. (2020). A review on insect meals in aquaculture: the immunomodulatory and physiological effects. *Int Aquat Res*, 12, 100-115. Doi: [https://doi.org/10.22034/IAR\(20\).2020.1897402.1033](https://doi.org/10.22034/IAR(20).2020.1897402.1033)
- Moyo, S., & Moyo, B. (2021). Potential Utilization of Insect Meal as Livestock Feed. *Animal Feed Science and Nutrition*. DOI: 10.5772/intechopen.101766
- Nayak, S.B., Elango, K., & Rao, K.S. (2021). *Insect biodiversity and their conservation for sustainable ecosystem functioning*. In: Biological Diversity: Current Status and Conservation Policies, Vol. 1. Doi:10.26832/aesa-2021-bdcp-020
- Neumann, C., Velten, S., & Liebert, F. (2018). N balance studies emphasize the superior protein quality of pig diets at high inclusion level of algae meal (*Spirulina platensis*) or insect meal (*Hermetia illucens*) when adequate amino acid supplementation is ensured. *Animals* 8, 1–14.
- Nogales-Merida, S., Gobbi, S., Damian Jozefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kieronczyk, B., & Jozefiak, A. (2018). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 1-24. doi: 10.1111/raq.12281
- Official Journal of the European Union. (2023). Commission implementing Regulation (EU) 2023/5. Ανακτήθηκε, 6 Μαΐου 2023, από url <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32023R0005>
- Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. J. A., & van Huis, A. (2010). An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *PLoS ONE*, vol. 5, no. 12, p. e14445.
- Ordonez-Araque, R., Quishpillo-Miranda, N., Ramos-Guerrero, L. (2022). Edible insects for humans and animals: Nutritional Composition and an option for mitigating environmental damage. *Insects*, 13, 944. <https://doi.org/10.3390/insects13100944>
- Ostaszewska, T., Dabrowski, K., Kwasek, K., Verri, T., Kamaszewski, M., Sliwinski, J., & Naporaa, R.L. (2011). Effects of various diet formulations (experimental and

- commercial) on the morphology of the liver and intestine of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Aquaculture Research*, 42, 1796-1806.
- Payne, C.L.R., & Van Itterbeeck, J. (2017). Ecosystem services from edible insects in agricultural systems: a review. *Insects* 8(1):24. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects8010024>
- Rumpold, B.A., & Schluter, O. (2015). Insect-based protein sources and their potential for human consumption: Nutritional composition and processing. *Animal Frontiers*, Vol.5, No 2, 20-24. doi:[10.2527/af.2015-0015](https://doi.org/10.2527/af.2015-0015)
- Sanches-Arroyo, H., & Capinera, J.L. (2020). Featured Creatures. University of Florida. Ανακτήθηκε, 7 Μαΐου 2023, από url https://entnemdept.ufl.edu/creatures/urban/flies/house_fly.htm
- Stull, V., & Patz, J. (2020). Research and policy priorities for edible insects. *Sustainability Science Innovation and Capacity Development*, 15, 633-645. doi:<https://doi.org/10.1007/s11625-019-00709-5>
- van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertnes, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper 171. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- van Huis, A., & Oonincx, D.G.A.B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37, 43. DOI:<https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., & Lakemond, C.M.M. (2012). Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets : a feasibility study = Insecten als duurzamediervoedergrondstof in varkens- en pluimveevoeders : eenhaalbaarheids studie. Wageningen UR Livestock research, Paper 638.
- United Nations (2020). Insects as livestock feed. Ανακτήθηκε, 16 Φεβρουαρίου 2023, από url https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/12867Policybrief_Insects.pdf
- World Atlas. (2019). What Is The Importance Of Insects In The Ecosystem. Ανακτήθηκε, 20 Φεβρουαρίου 2023, από url <https://www.worldatlas.com/articles/what-is-the-importance-of-insects-in-the-ecosystem.html>

Zhou, Y., Wang, D., Zhou, S., Duan, H., Guo, J., & Yan, W. (2022). Nutritional Composition, Health Benefits, and Application Value of Edible Insects: A Review. *Foods, 11*, 3961. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods1124396>