



Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Κλιματική Κρίση και Τεχνολογίες Πληροφορικής και
Επικοινωνιών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προοπτικές αξιοποίησης των εντόμων ως εναλλακτικές πρωτεϊνούχες πηγές τροφών και ζωοτροφών

Ελένη Σκουρουλιάκου

Επιβλέπων Καθηγητής

Ιωάννης Μανιάτης

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2022



Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο

“Προοπτικές αξιοποίησης των εντόμων ως εναλλακτικές πρωτεϊνούχες πηγές τροφών και ζωοτροφών”

καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και οι πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Σκουρουλιάκου Ελένη, 2022 , Πειραιάς

Υπογραφή Φοιτητή:



Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Κλιματική Κρίση και Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών» του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Νιώθω τη βαθιά ανάγκη να ευχαριστήσω:

- *Τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ιωάννη Μανιάτη για την καθοδήγηση, την ενθάρρυνση, τις χρήσιμες συστάσεις και την προθυμία να μου προσφέρει τις γνώσεις του. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μόσχο Κορασίδη π. Γενικό Γραμματέα Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων για την πολύτιμη βοήθεια του, την απρόσκοπτη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε, τις συμβουλές και την ηθική παρότρυνση.*
- *Την οικογένειά μου, για την κατανόηση και την ψυχολογική στήριξη σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.*

Περίληψη

Η αξιοποίηση των εντόμων ως εναλλακτικές πρωτεϊνούχες πηγές τροφών και ζωοτροφών, καθώς και οι προοπτικές που απορρέουν από τη χρήση αυτή, είναι το θέμα που πραγματεύεται η διπλωματική εργασία. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται στοιχεία και πληροφορίες σχετικά με την αξιοποίηση των εντόμων στη διατροφή του ανθρώπου. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται και αναλύεται η χρήση τους ως εναλλακτικής πηγής πρωτεΐνης σε ζωοτροφές. Αναδεικνύονται στοιχεία από μελέτες σχετικά με την ενεργειακή αξιοποίηση και την ενεργειακή απόδοση που προκύπτει μέσω της παραγωγής ζωοτροφών που έχουν ως βάση τα έντομα. Το μέρος αυτό συνδέεται με την κλιματική κρίση και έχει ως στόχο να αποδείξει μέσα από τα αποτελέσματα μελετών ότι η χρήση ζωοτροφών με βάση τα έντομα έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σχέση με τις κοινές ζωοτροφές. Τέλος, παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης από τη βιβλιογραφία, όπου τα έντομα αξιοποιήθηκαν ως πηγή πρωτεΐνης σε ζωοτροφές, με συνέπεια να επιτευχθούν εξαιρετικά αποτελέσματα.

Abstract

The implementation of insects as alternative sources of protein in both human and animal diet as well as the prospects arising from this use, is the main topic of the dissertation thesis. The first part mainly presents data and information related to the use of insects in human nutrition. Continuously, their use as an alternative source of protein in animal feed is presented and analyzed. In particular, evidence from studies regarding energy utilization and energy efficiency resulting from the production of insect-based animal feed is demonstrated. This part is highly associated with the climate crisis and aims to prove through the results of studies that the use of insect-based feed has a lighter environmental footprint compared to the conventional animal feed. Finally, a case study from the literature is presented, where insects were used as a source of protein in animal feed, resulting in excellent outcomes.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	8
1. Αξιοποίηση των εντόμων στη διατροφή του ανθρώπου	10
1.1 Ιστορικό υπόβαθρο	10
1.2 Διατροφική αξία	11
1.2.1 Πρωτεΐνη	12
1.2.2 Λίπη.....	14
1.2.3 Βιταμίνες	15
1.2.4 Ασβέστιο	15
1.2.5 Θερμιδική αξία	16
1.3 Η εντομοφαγία σήμερα.....	16
1.3.1 Προνύμφες.....	16
1.3.2 Φτωχές και αναπτυσσόμενες περιοχές.....	17
1.4 Ασφάλεια ως τροφίμων για τους ανθρώπους.....	17
1.5 Προοπτικές αύξησης κατανάλωσης	19
2. Αξιοποίηση των εντόμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης σε ζωοτροφές	20
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	20
2.2 Τα έντομα ως πηγή παραγωγής ζωοτροφών	20
2.3 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα	26
2.4 Αποτύπωμα άνθρακα	27
2.5 Μετατροπή θρεπτικών συστατικών.....	31
2.6 Διαχείριση των αποβλήτων	32
3. Άλλες χρήσεις	35
4. Νομοθεσία	37
5. Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη	40
5.1 Κυκλική οικονομία.....	41
5.2 Προβλέψεις σε παραγωγή και επενδύσεις.....	45
6. Διερεύνηση περίπτωσης: Αντικατάσταση ιχθυάλευρου με άλευρο εντόμων χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά (Yellow Mealworm <i>Tenebrio molitor</i>) - Βελτιώνει την ανάπτυξη και την ανοσία των λευκών γαρίδων του Ειρηνικού (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	49
6.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	49
6.2 Υλικά και μέθοδοι	52
6.2.1 Γαρίδες και Πειραματικές Συνθήκες	52
6.2.2 Σύνθεση Γεύματος Κίτρινου Αλευροσκώληκα	52

6.2.3 Προετοιμασία διαίτας	52
6.2.4 Αξιολόγηση της ανάπτυξης και της μετατροπής της τροφής.....	53
6.2.5 Στατιστική ανάλυση.....	54
6.2.6 Δοκιμή πρόκλησης με χρήση του <i>Vibrio Parahaemolyticus</i>	55
6.3 Αποτελέσματα	56
Επίλογος- Συμπεράσματα	58
Βιβλιογραφικές αναφορές	60

Εισαγωγή

Η παραγωγή ζωικής πρωτεΐνης βρίσκεται υπό τεράστια πίεση καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται ραγδαία (Gerland et al., 2014). Κατά συνέπεια, οι άνθρωποι αντιμετωπίζουν τον διαρκή υποσιτισμό με πρωτεΐνη και αναζητούν εναλλακτικούς πόρους πρωτεΐνης. Η εντομοφαγία θεωρείται μια από τις καλύτερες επιλογές. Καθώς θα μπορούσε να παρέχει γρήγορα μεγάλες ποσότητες πολλαπλών θρεπτικών συστατικών, θα μπορούσε να προσφέρει μια λύση για την αντιμετώπιση του λιμού (Van Huis et al., 2013). Μεγάλη προσοχή έχει δοθεί στην αξιοποίηση και παραγωγή βρώσιμων εντόμων. Ωστόσο, η βιομηχανική αλυσίδα των βρώσιμων εντόμων, από τη θεμελιώδη έρευνα έως το μάρκετινγκ, χρειάζεται ακόμη να αναπτυχθεί.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, το ενδιαφέρον για την χρήση εντόμων στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων έχει αυξηθεί με ραγδαίους ρυθμούς. Με έναν ολοένα αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό, ολοένα και πιο απαιτητικούς καταναλωτές και περιορισμένη έκταση γεωργικής γης, υπάρχει επείγουσα ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών λύσεων σε σχέση με τα συμβατικά προϊόντα κρέατος, καθώς και ουσιαστικών λύσεων σε επίπεδο κτηνοτροφίας. Οι γεωργικές δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για το 10,3% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης και σχεδόν το 70% των εκπομπών αυτών προέρχεται από δραστηριότητες εκτροφής ζώων. Υπάρχει επίσης μια εξαιρετικά άνιση κατανομή της αξιοποίησης της γης μεταξύ της χρήσης για ζώα και της χρήσης για καλλιέργειες που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Εάν στους βοσκότοπους προσθέσουμε και τη γη που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια και την παραγωγή ζωοτροφών, τότε προκύπτει πως για την κτηνοτροφία χρησιμοποιείται το 77% της παγκόσμιας γεωργικής γης. Το παράδοξο είναι πως, ενώ το ζωικό κεφάλαιο καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας γεωργικής γης, παράγει μόνο το 18% των παγκόσμιων θερμίδων και το 37% των συνολικών πρωτεϊνών.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, με σκοπό να συνεισφέρει στην αποκλιμάκωση των περιβαλλοντικών και κλιματικών επιπτώσεων που προέρχονται από δραστηριότητες της ζωικής παραγωγής, στην αποφυγή της διαρροής άνθρακα μέσω των εισαγωγών και για να υποστηρίξει την εν εξελίξει μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη κτηνοτροφία, έχει σκοπό να διευκολύνει τη διάθεση στην αγορά βιώσιμων και καινοτόμων πρόσθετων ζωοτροφών. Οι κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μείωση της

εξάρτησης από κρίσιμης σημασίας πρώτες ύλες ζωοτροφών (π.χ. καλλιέργειες σόγιας σε αποδασωμένες εκτάσεις) πρόκειται να εξεταστούν, ώστε να προωθηθούν οι φυτικές πρωτεΐνες που καλλιεργούνται στην ΕΕ, καθώς και οι εναλλακτικές πρώτες ύλες ζωοτροφών, όπως είναι τα έντομα (European Commission, 2020).

1. Αξιοποίηση των εντόμων στη διατροφή του ανθρώπου

1.1 Ιστορικό υπόβαθρο

Η κατανάλωση βρώσιμων εντόμων ξεκίνησε πριν από σχεδόν 7000 χρόνια (Ramos-Elorduy, 2009). Περισσότερα από 2300 είδη 18 τάξεων έχουν αναφερθεί ως βρώσιμα έντομα, εκ των οποίων τα 5 είναι με τουλάχιστον 100 καταγραφές. Αυτά τα έντομα κατοικούν τόσο σε υδάτινο όσο και σε χερσαίο περιβάλλον (Jongema, 2017). Η πλειοψηφία τους συλλέγεται από τη φύση, αν και ορισμένα είδη εκτρέφονται σε μεγάλη κλίμακα.

Πολλά έντομα έχουν καταναλωθεί παγκοσμίως (Van Huis et al., 2013). Τα λεπιδόπτερα, τα ορθόπτερα, τα ισόπτερα και τα υμενόπτερα θεωρούνται όλα ως κοινές πηγές τροφίμων σε πολλές περιοχές. Πολιτιστικά και θρησκευτικά, η εντομοφαγία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές λόγω του θερμού και υγρού κλίματος (Jongema, 2017). Τα τροπικά έντομα είναι γενικά μεγάλα σε μέγεθος με σταθερό ιστορικό κύκλου ζωής, το οποίο μπορεί να διευκολύνει τη συγκομιδή (Gaston & Chown, 1999). Οι ανώριμες μορφές εντόμων (νύμφες και προνύμφες) προτιμώνται για τα άφθονα αμινοξέα και λιπαρά οξέα τους, τα οποία όχι μόνο εξασφαλίζουν τη θρεπτική τους αξία, αλλά προσφέρουν και μια μοναδική και υπέροχη γεύση.

Η κατανάλωση εντόμων από ανθρώπους συχνά υποτιμάται σε σχέση με άλλες τροφές. Τα έντομα θεωρούνται εφεδρικός πόρος τροφίμων που χρησιμοποιείται μόνο σε περιθωριακά και αναπτυσσόμενα περιβάλλοντα, βάσει των προκαταλήψεων του δυτικού αναπτυγμένου κόσμου. Ωστόσο, μπορεί να γίνει κατανοητό γιατί τα έντομα στον δυτικό κόσμο δεν τρώγονταν, ενώ, από την άλλη πλευρά στις τροπικές ζώνες ήταν μια απόλυτα φυσιολογική διατροφική συνήθεια. Στις αναπτυσσόμενες χώρες των τροπικών περιοχών, τα έντομα είναι μεγαλύτερα και διατίθενται όλο το χρόνο. Επιπλέον, η συγκομιδή είναι ευκολότερη, καθώς είναι άφθονη και συχνά εμφανίζονται μαζικά. Πρόσφατα γίνεται επίσης αντιληπτό ότι τα έντομα δεν είναι μόνο μια θρεπτική πηγή τροφής αλλά και ότι μπορούν να εκτραφούν με πιο βιώσιμο τρόπο σε σχέση με τα κοινά είδη ζώων. Εκτός αυτού, είναι μια ασφαλής πηγή πρωτεϊνών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ανθρώπους, ζώα εκτροφής, ψάρια και

κατοικίδια. Σήμερα πολλές προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη για την εκτροφή διαφόρων ειδών εντόμων σε μεγάλες αυτοματοποιημένες εγκαταστάσεις.

1.2 Διατροφική αξία

Τα έντομα χρησιμοποιούνται ως ανθρώπινη τροφή και ζωοτροφή σε παγκόσμιο επίπεδο και συνιστώνται ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης για ανθρώπους, ζώα και ψάρια. Συνολικά, τα έντομα παρουσιάζουν πολλά αλλά και προφανή πλεονεκτήματα σε θρεπτική αξία. Οι διατροφικές τους συνθέσεις είναι στην πραγματικότητα αρκετά παρόμοιες με αυτές των παραδοσιακών ζωικών τροφών (Raubenheimer & Rothman, 2013), που σημαίνει πως διαθέτουν τεράστιες δυνατότητες ως πηγή θρεπτικών ουσιών.

Παρόλο που η κατανάλωση εντόμων είναι λιγότερο διαδεδομένη στις δυτικές χώρες, οι πρόσφατες εξελίξεις στον κλάδο της μεταποίησης οδήγησαν στην αυξημένη χρήση τους ως συστατικών. Αυτή η αξιοποίησή τους, έχει μεγαλύτερη αποδοχή μεταξύ των καταναλωτών και κερδίζει δημοτικότητα απέναντι σε πιο γνωστά τρόφιμα, όπως είναι το ψωμί και τα παράγωγά του. Τα βρώσιμα έντομα περιέχουν πρωτεΐνες, βιταμίνες και αμινοξέα υψηλής ποιότητας για τον άνθρωπο. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες μάλιστα, τα έντομα καταναλώνονται ακριβώς για αυτόν τον λόγο, για τα επίπεδα δηλαδή ενέργειας και θρεπτικών συστατικών που προσφέρουν, πέραν του ότι η εντομοφαγία αποτελεί μέρος της πολιτισμικής κουλτούρας των κατοίκων στις περιοχές αυτές. Έτσι, τα βρώσιμα έντομα έχουν τη δυνατότητα να αποτελούν εξαιρετική πηγή ενέργειας και μακροθρεπτικών συστατικών. Τα μικροθρεπτικά συστατικά από την άλλη πλευρά, είναι εξίσου απαραίτητα, καθώς απαρτίζονται από βιταμίνες, μέταλλα και ιχνοστοιχεία.

Μια σημαντική ανησυχία για τις αναπτυσσόμενες χώρες είναι η πρόσληψη σιδήρου, καθώς η ανεπάρκεια του είναι μια άκρως διαδεδομένη διατροφική διαταραχή στον ανθρώπινο πληθυσμό. Πολλά από τα έντομα που είναι ασφαλή για κατανάλωση περιέχουν άφθονα επίπεδα σιδήρου που συχνά υπερβαίνουν τα άλλα ζώα που τρώγονται συνήθως. Για παράδειγμα, βρώσιμα έντομα που βρίσκονται στην Αφρική όπως τα *Rhynchophorus phoenicis* και *Imbrasia belina* μπορούν να παρέχουν 12 και 31 mg σιδήρου ανά 100 g βάρους, αντίστοιχα. Το κοτόπουλο και το βόειο κρέας, από την άλλη πλευρά, παρέχουν μόνο 1,2 mg και 3 mg σιδήρου, αντίστοιχα. Τέλος ο

ψευδάργυρος, ένα άλλο μέταλλο σημαντικό για την ανάπτυξη μπορεί γενικά να βρεθεί στα περισσότερα έντομα.

Το ψωμί που περιέχει αλεύρι γρύλλου έχει προταθεί ως εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά ψωμιά σίτου και έχει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες συνολικά μεταξύ εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης (Εικόνα 1). Ωστόσο, το ψωμί γρύλλου περιέχει περίπου 10% περισσότερες θερμίδες λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε ακόρεστα λιπαρά των προστιθέμενων εντόμων, η οποία είναι ευεργετική σε μικρές ποσότητες για την καρδιαγγειακή υγεία, αλλά μπορεί να αυξήσει την πρόσληψη ενέργειας και να συμβάλει στην αύξηση βάρους εάν καταναλώνεται ευρέως με την πάροδο του χρόνου. Στον παρακάτω πίνακα, γίνεται σύγκριση των θρεπτικών συστατικών συμβατικών και εναλλακτικών πρωτεϊνών.

Εικόνα 1: Σύγκριση βοείου κρέατος και εναλλακτικών πρωτεϊνών (όσπρια, σόγια, φύκια και έντομα), έτοιμα για κατανάλωση.

Table 4. Comparison of beef and alternative proteins (legumes, algae, and insects), as prepared and ready-to-eat.

	Beef Patty (Grilled) ¹		Silken Tofu (Boiled) ¹		Tofu (Fried) ¹		Tempeh, (Fried) ¹		Black Beans (Boiled) ¹		Seaweed (<i>Spirulina</i>) Salad (with Seasoning) ¹		Bread with Cricket Flour (with Butter) ²		White Bread (with Butter) ¹	
	Per Serving (120 g)	Per 100 g	Per Serving (60 g)	Per 100 g	Per Serving (93 g)	Per 100 g	Per Serving (90 g)	Per 100 g	Per Serving (120 g)	Per 100 g	Per Serving (80 g)	Per 100 g	Per Serving (80 g or 2 Slices)	Per 100 g	Per Serving (80 g or 2 Slices)	Per 100 g
Calories (kcal)	326.40	272.00	39.60	43.95	84.60	91.71	206.22	229.14	158.40	132.00	36.02	45.02	327.26	347.41	297.20	315.50
Protein (g)	30.54	25.45	4.00	4.44	4.00	4.34	18.04	20.04	10.63	8.86	4.52	5.65	21.63	22.96	5.46	5.79
Carbohydrate (g)	0	0	1.00	1.11	1.00	1.08	6.79	7.55	28.45	23.71	2.28	2.85	-	-	33.79	35.87
Sugar (g)	0	0	0	0	0	0	-	-	0.38	0.32	0.81	1.01	-	-	3.56	3.78
Total Fat (g)	21.82	18.18	2.00	2.22	6.50	7.05	13.60	15.11	0.65	0.54	1.83	2.29	-	-	15.05	15.98
Saturated Fat (g)	8.34	6.95	0	0	0.33	0.36	2.55	2.83	0.17	0.14	0.21	0.26	-	-	7.29	7.74
Polysaturated Fat (g)	0.62	0.51	1.00	1.11	2.27	2.46	4.95	5.5	0.28	0.23	0.51	0.64	-	-	-	-
Monounsaturated Fat (g)	9.83	8.19	0	0	3.35	3.63	5.38	5.98	0.06	0.05	1.01	1.26	-	-	-	-
Cholesterol (mg)	104.40	87.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	30.50	32.38
Sodium (mg)	459.60	383.00	333.00	369.59	514.60	557.83	452.44	502.72	284.40	237.00	567.72	709.65	-	-	340.10	361.04
Fibre (g)	0	0	0	0	0	0	-	-	10.44	8.70	0.28	0.35	1.95	2.07	1.76	1.87
Vitamin B12 (µg)	3.30	2.75	-	-	-	-	0.07	0.08	0	0	-	-	-	-	-	-
Iron (mg)	2.89	2.41	0.72	0.80	0.72	0.78	2.40	2.67	2.52	2.10	2.05	2.56	-	-	1.92	2.04
Zinc (mg)	7.40	6.17	-	-	-	-	1.01	1.13	1.34	1.12	0.16	0.20	-	-	-	-
Protein Source	Beef		Soy		Soy		Soy		Black beans		Algae (<i>Spirulina</i>)		Crickets		Wheat	

Sources: ¹ United States Department of Agriculture [53]. ² Osimani et al. 2018 [54]. Nutritional information of all food items (as prepared and ready-to-eat) was calculated by adding fat (oil or butter) and sodium (salt or soya sauce) to raw ingredients. Dashes denote unavailable values.

Πηγή: Tso, R., JiaYing Lim, A., Forde, C., (2020). “A Critical Appraisal of the Evidence Supporting Consumer Motivations for Alternative Proteins”.

1.2.1 Πρωτεΐνη

Εκτός από τη θερμιδική αξία των βρώσιμων εντόμων, τα έντομα θεωρούνται επίσης σημαντική πηγή πρωτεΐνης. Έντεκα έντομα που βρέθηκαν στην Κίνα αναλύθηκαν, με

τα αποτελέσματα να αποδεικνύουν πως η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες που βρέθηκε κυμαίνονταν από χαμηλό 13% έως υψηλό 77% (βάση ξηρού βάρους). Άλλοι ερευνητές εντόπισαν εύρος περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες 37%–54% σε οκτώ έντομα που βρέθηκαν στην Ταϊλάνδη. Παρά αυτές τις διαφορές στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, τα βρώσιμα έντομα συνολικά αποδεικνύουν ότι είναι μια εξαιρετικά καλή πηγή πρωτεΐνης. Ενώ λοιπόν οι πρωτεΐνες από κρέας απουσιάζουν από την καθημερινή διατροφή των ανθρώπων στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα βρώσιμα έντομα είναι σχετικά πιο διαθέσιμα, αποδεικνύοντας για άλλη μια φορά την αξία τους ως λύση για τη μείωση της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας.

Η αναλογία της ακατέργαστης πρωτεΐνης είναι γενικά από 40% έως 75% με βάση το ξηρό βάρος, ενώ οι μέσες τιμές κυμαίνονται από 33% έως 60%. Τα βρώσιμα έντομα περιέχουν συνήθως περισσότερη ακατέργαστη πρωτεΐνη σε σύγκριση με το συμβατικό κρέας και οι συνθέσεις των αμινοξέων τους είναι συνήθως ανάλογες. Ως τροφή, μπορούν να παρέχουν απαραίτητα αμινοξέα σε ιδανικό επίπεδο, τα οποία είναι γενικά 76% έως 96% εύπεπτα (Nowak et al., 2016 ; Payne et al., 2016). Τα βασικά και ημι-απαραίτητα αμινοξέα των ειδών που καταναλώνονται συνήθως παρουσιάζονται με τις απαιτήσεις αμινοξέων για ενήλικες που δημοσιεύονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2007). Μερικά έντομα στερούνται ή περιέχουν μόνο πολύ μικρές ποσότητες μεθειονίνης, κυστεΐνης και τρυπτοφάνης. Η διατροφή πρέπει να είναι ισορροπημένη εάν αυτά τα έντομα λαμβάνονται ως το μεγαλύτερο μέρος ενός γεύματος. Αλλά εκτός από αυτά τα είδη, τα έντομα πληρούν γενικά τη σύσταση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για τα αμινοξέα. Τα περισσότερα από αυτά μπορούν να παρέχουν ικανοποιητικές ποσότητες βασικών αμινοξέων καταναλώνοντας έναν λογικό συνδυασμό προϊόντων. Όλες οι ομάδες είναι επιλέξιμες με επαρκή ισολευκίνη, λευκίνη, λυσίνη, φαινυλαλανίνη, θρεονίνη, βαλίνη, αργινίνη, ιστιδίνη και τυροσίνη. Η ποσότητα λυσίνης, βαλίνης, μεθειονίνης, αργινίνης και τυροσίνης είναι γενικά η πλουσιότερη στα Blattodea σε σύγκριση με άλλα έντομα. Η ποσότητα λευκίνης στα κολεόπτερα είναι υψηλότερη από αυτή σε άλλους τύπους πηγών πρωτεΐνης, συμπεριλαμβανομένων των ζώων. Ομοίως, η ποσότητα φαινυλαλανίνης στα ημίπτερα είναι γενικά υψηλότερη από αυτή σε όλες τις άλλες γνωστές πηγές πρωτεΐνης. Σε σύγκριση με τα βρώσιμα έντομα σε άλλα στάδια, οι νύμφες είναι συνήθως η πιο άφθονη πηγή σχεδόν όλων των ειδών αμινοξέων. Είναι ιδιαίτερα πλούσια σε αργινίνη, η οποία ωφελεί τις παθήσεις της καρδιάς και των

αιμοφόρων αγγείων και ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα. Η αργινίνη είναι περισσότερο από διπλάσια σε αφθονία στις νύμφες των κατσαρίδων (*Blatta lateralis*). Σε ανάλογες ποσότητες απαντάται στο βόειο και χοιρινό κρέας.

1.2.2 Λίπη

Τα έντομα έχουν γενικά άφθονη περιεκτικότητα σε λίπη. Η περιεκτικότητα σε λίπος των εντόμων σε ανώριμα στάδια κυμαίνεται από 8% έως 70% με βάση το ξηρό βάρος. Οι συνθέσεις λιπαρών οξέων είναι παρόμοιες σε διαφορετικές πηγές κρέατος, συμπεριλαμβανομένων όλων των ομάδων εντόμων (Bukkens, 1997). Η περιεκτικότητα σε λίπος των προνυμφών Lepidopteran και Heteropteran είναι υψηλότερη από αυτή των άλλων βρώσιμων εντόμων. Οι προνύμφες είναι η καλύτερη πηγή λιπαρών οξέων ή ελαίων σε σύγκριση με τα έντομα σε άλλα στάδια. Τα ενήλικα έχουν περιεκτικότητα σε λιπαρά μικρότερη από 20%. Το λίπος στα έντομα είναι κυρίως τριακυλογλυκερόλη (Arrese & Soulages, 2010). Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα (SFAs) και τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFAs) συνήθως αποτελούν περισσότερο από το 80% όλων των λιπών. Τα SFA στα έντομα σε διαφορετικά στάδια αποτελούνται κυρίως από παλμιτικό οξύ και στεατικό οξύ. Η περιεκτικότητα σε SFA είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή των MUFA στα ενήλικα έντομα, ενώ τα τελευταία είναι πιο υγιεινά για τη διαίτα του ανθρώπου. Το ελαϊκό οξύ, ένα κοινό μονοακόρεστο λιπαρό οξύ στην ανθρώπινη διατροφή, είναι το πιο σημαντικό εκ των MUFA που βρίσκεται στα έντομα. Βοηθά στη μείωση της αρτηριακής πίεσης για τον άνθρωπο και έχει μεγάλες δυνατότητες στη θεραπεία φλεγμονωδών, ανοσολογικών και καρδιαγγειακών παθήσεων (Sales-Campos et al., 2013). Όταν οι τροφές περιέχουν SFA, ωστόσο, τα ώριμα έντομα είναι η καλύτερη πηγή πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFAs) σε σύγκριση με το χοιρινό, το βόειο κρέας και τα έντομα σε άλλα στάδια. Το λινολεϊκό οξύ είναι το κύριο συστατικό των PUFA στα έντομα, το οποίο έχει αποδειχθεί ότι είναι αντιφλεγμονώδες, μειώνει την ακμή και φωτίζει το δέρμα. Τα ορθόπτερα είναι η καλύτερη πηγή λινολεϊκού οξέος σε σύγκριση με άλλες τάξεις εντόμων. Το Lepidoptera, με υψηλές ποσότητες PUFAs, είναι ιδιαίτερα πλούσιο σε α-λινολενικό οξύ, το οποίο έχει αναγνωριστεί ως πιθανό θρεπτικό για την προστασία του εγκεφάλου από εγκεφαλικό (Blondeau et al., 2015). Τόσο το λινολενικό όσο και το α-λινολενικό οξύ είναι απαραίτητα για τον άνθρωπο καθώς δεν μπορούν να παραχθούν από τον ανθρώπινο οργανισμό. Είναι πρόδρομες ουσίες για τη

σύνθεση προσταγλανδίνης, θρομβοξάνης και λευκοτριενίου και είναι απαραίτητα για τη διατήρηση των φυσιολογικών λειτουργιών της όρασης. Η ανεπαρκής πρόσληψη λινολενικού και α-λινολενικού οξέος μπορεί να προκαλέσει επιβράδυνση της ανάπτυξης, αναπαραγωγικές διαταραχές, δερματικές βλάβες (εξάνθημα κλπ.) καθώς και παθήσεις των νεφρών, του ήπατος, του νευρολογικού και οπτικού συστήματος για τον άνθρωπο. Η εξαγωγή αυτών των θρεπτικών συστατικών από έντομα έχει μεγάλες δυνατότητες στην ιατρική βιομηχανία.

1.2.3 Βιταμίνες

Τα έντομα είναι εξαιρετικοί πόροι βιταμινών και μικροθρεπτικών συστατικών, αν και ορισμένες μελέτες επεσήμαναν ότι αυτά τα περιεχόμενα μπορεί να επηρεαστούν από τη διατροφή. Θα μπορούσαν να παρέχουν βιοχημικές ουσίες όπως βιταμίνες A, B 1–12, C, D, E, K, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη φυσιολογική ανάπτυξη και υγεία (Kouřimská & Adámková, 2016). Για παράδειγμα, οι κάμπιες είναι ιδιαίτερα πλούσιες σε B 1, B 2 και B 6 (Rumpold & Schluter, 2013). Ο γόνος των μελισσών (Pupae) είναι πλούσιος σε βιταμίνες A και D (Finke, 2005). Ο ερυθρός φοίνικας (*Rhynchophorus ferrugineus*) είναι καλή πηγή βιταμίνης E (Bukkens & Paoletti, 2005). Μια ποικιλία μικροθρεπτικών συστατικών μπορεί να βρεθεί στα βρώσιμα έντομα, όπως ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το μαγγάνιο, ο φώσφορος, το κάλιο, το σελήνιο, το νάτριο και ο ψευδάργυρος (Rumpold & Schluter, 2013).

1.2.4 Ασβέστιο

Το περιεχόμενο των χημικών στοιχείων σε διάφορα έντομα διαφέρει σημαντικά. Τα περισσότερα έντομα περιέχουν μόνο μια χαμηλή ποσότητα ασβεστίου (λιγότερο από 100 mg/g με βάση την ξηρή ύλη), αλλά οι προνύμφες των οικιακών μυγών και των ενήλικων εντόμων είναι συνήθως άφθονες με αυτό. Οι νύμφες της *Polybia occidentalis* μπορούν να παρέχουν μόνο 54 mg καλίου ανά 100 g ενώ όλα τα στάδια του *Apis mellifera*, που ανήκει επίσης στα υμενόπτερα, μπορεί να παρέχει τουλάχιστον 1500 mg καλίου ανά 100 γρ. Οι ενήλικες του *Macrotermes nigeriensis* παρέχουν μόνο 6,1 mg μαγνησίου ανά 100 g, ενώ εκείνοι του *Euschistus egglestoni* παρέχουν 1910 mg από αυτό ανά 100 g. Το περιεχόμενο των ιχνοστοιχείων στα έντομα διαφέρει επίσης ευδιάκριτα. Ωστόσο, τα περισσότερα βρώσιμα έντομα είναι

ιδιαίτερα άφθονα με σίδηρο. Η ποσότητα που καταλαμβάνει ο σίδηρος στα έντομα είναι συνήθως υψηλότερη από εκείνη που καταλαμβάνει το φρέσκο βόειο κρέας.

1.2.5 Θερμιδική αξία

Τα βρώσιμα έντομα έχουν μεγάλη αξία στην παροχή θερμίδων, με θερμιδικές συνεισφορές που ποικίλλουν από 290 έως περισσότερες από 750 kcal/100 g (Ramos-Elorduy et al., 1997). Γενικά, τα ενήλικα αποτελούνται από υψηλή ποσότητα χιτίνης η οποία είναι δύσπεπτη και επομένως είναι χαμηλή σε θερμίδες. Οι προνύμφες και οι νύμφες συνήθως αποτελούνται από υψηλές ποσότητες πρωτεϊνών και λιπών, που αντιστοιχούν σε υψηλές θερμίδες. Ως εκ τούτου, τα προϊόντα που παράγονται από έντομα διαφορετικών σταδίων μπορούν να ταιριάζουν σε άτομα με διαφορετικές ανάγκες.

1.3 Η εντομοφαγία σήμερα

Υπάρχουν έξι κοινά εμπορικά βρώσιμα είδη εντόμων όπως ο γρύλος (*Acheta domesticus*), η μέλισσα (*Apis mellifera*), ο εξημερωμένος μεταξοσκώληκας (*Bombyx mori*), η κάμπια *morane* (*Imbrasia belina*), ο αφρικανικός φοίνικας (*Rhynchophorus phoenicis*) και το σκουλήκι (*Tenebrio molitor*). Ωστόσο, στην Ευρωπαϊκή Ένωση επί του παρόντος έχουν εγκριθεί ως νέα τρόφιμα, προϊόντα που προέρχονται από τα είδη: κίτρινο σκουλήκι των αλεύρων (*Tenebrio molitor*), μεταναστευτική ακρίδα (*Locusta migratoria*) και κρίκετ (*Acheta domesticus*).

1.3.1 Προνύμφες

Για μερικά από αυτά, μόνο οι προνύμφες καταναλώνονται σε ευρεία κλίμακα (*R. phoenicis*, *T. molitor* και *I. belina*) καθώς τα άφθονα λίπη τους μπορούν να προσφέρουν μια ικανοποιητική γεύση. Η παραγωγή του *T. molitor* έχει βιομηχανοποιηθεί λόγω της ζωτικότητάς του. Μπορούν να αναπτυχθούν μαζικά και γρήγορα ακόμη και αν χρησιμοποιούνται μόνο ξηρά απόβλητα χαμηλής θρεπτικής αξίας ως τροφές για τα έντομα (Ramos-Elorduy & Moreno, 2002). Ορθόπτερα όπως το κρίκετ και η ακρίδα συνήθως καταναλώνονται μόνο ως ενήλικα έντομα, καθώς είναι ιδιαίτερα εύκολο να συλλεχθούν μέσα από σμήνη. Ωστόσο, καθώς είναι σημαντικά παράσιτα σε πολλές περιοχές και συχνά εκτίθενται σε φυτοφάρμακα κατά

τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής τους, υπάρχει ανησυχία ότι ενδέχεται να περιέχουν υπολείμματα φυτοφαρμάκων που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα ασφάλειας των τροφίμων.

1.3.2 Φτωχές και αναπτυσσόμενες περιοχές

Η ορθολογική κατανάλωση εντόμων τείνει να εξελιχθεί σε μια σύγχρονη λύση για το παγκόσμιο επισιτιστικό πρόβλημα. Τα βρώσιμα έντομα παίζουν σημαντικό ρόλο σε διάφορα συστήματα τροφίμων. Στην πραγματικότητα, είναι μια ζωτική πηγή βασικών θρεπτικών συστατικών σε πολλές αναπτυσσόμενες περιοχές. Πολλοί άνθρωποι εξακολουθούν να βρίσκονται υπό οικονομική πίεση και ως εκ τούτου υποσιτίζονται. Πρακτικά, είναι ευκολότερο να προσαρμόσουν τα παραδοσιακά τους συστήματα διατροφής παρά να εξαναγκαστούν να ακολουθήσουν άγνωστες ξένες δίαιτες. Ένα ερευνητικό πρόγραμμα που ονομάζεται WinFood, με στόχο την ανακούφιση του παιδικού υποσιτισμού, έχει την κατανάλωση εντόμων ως το βασικό κλειδί του (Owino et al., 2015). Οι πρωτεΐνες, οι βιταμίνες και τα μέταλλα συχνά λείπουν από τις παραδοσιακές δίαιτες των αναπτυσσόμενων περιοχών, αν και είναι απαραίτητο να παρέχονται αυτά τα θρεπτικά συστατικά επαρκώς για βρέφη και παιδιά. Τα αγροτικά προϊόντα όπως τα λαχανικά, καθώς και τα προϊόντα ζωικής προέλευσης, είναι συχνά απρόσιτα για αυτούς. Τα έντομα, ωστόσο, είναι φθηνά και συγχρόνως πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Έτσι έχουν αναπτυχθεί προϊόντα και τα υποσχόμενα αποτελέσματα είναι καθ' οδόν. Το διατροφικό σκεύασμα SOR-Mite (κουάκερ σόργου εμπλουτισμένο με πρωτεΐνες τερμιτών) παρέχει μια άλλη προοπτική για τη βελτίωση μιας δίαιτας.

Πολλοί άνθρωποι από ανεπτυγμένες περιοχές δυσκολεύονται να υιοθετήσουν τα έντομα ως τροφή. Πρόσφατα αναπτύχθηκαν φαγητά ταχείας εστίασης που περιέχουν εντομικά συστατικά, τα οποία παρασκευάζονται γενικά από το μείγμα θρυμματισμένων αλευροφόρων σκουληκιών και αλεύρου. Η γεύση των προϊόντων μοιάζει με έντομα, αλλά παρουσιάζονται με τη μορφή σνακ στα οποία οι άνθρωποι είναι εξοικειωμένοι (π.χ. πατατάκια) (Hartmann et al., 2018). Αναμένονται μεγάλα κέρδη εάν αυτά τα σνακ μπορούν να αναπτυχθούν περαιτέρω με την κατάλληλη προώθηση.

1.4 Ασφάλεια ως τροφίμων για τους ανθρώπους

Η αξιοποίηση των βρώσιμων εντόμων βρίσκεται σε πρώιμο έως μεσαίο στάδιο. Υπάρχουν ανησυχίες για τους πιθανούς κινδύνους, αλλά οι κανονισμοί που διέπουν τα έντομα ως πηγή τροφής εξακολουθούν να είναι ανεπαρκείς παγκοσμίως (EFSA, 2015).

Πολλά έντομα καταναλώνονται ως τροφές, αλλά μόνο πολύ λίγα από αυτά έχουν ερευνηθεί καλά. Θα πρέπει να διεξαχθεί μια πλήρης έρευνα των συστατικών των εντόμων που καταναλώνονται συνήθως. Από τη μία πλευρά, ορισμένα έντομα μπορεί να έχουν τοξικές ουσίες όπως καρκινογόνο θειαμινάση, η οποία μπορεί να προκαλέσει το σύνδρομο εποχικής αταξίας, και η οποία έχει βρεθεί σε προνύμφες αφρικανικών μεταξοσκώληκων (*Anaphe venata*) (Adamolekun & Ibikunle, 1994). Το τολουόλιο, ένα τοξικό κατασταλτικό του νευρικού συστήματος, έχει εξαχθεί και από ορισμένα προϊόντα εντόμων. Αλλεργίες που προκαλούνται από την κατανάλωση μεταξοσκώληκων, τζιτζίκων, γρύλων, σφηκών, ακρίδων και βρωμοφόρων έχουν όλες αναφερθεί (Ribeiro et al., 2018). Τα έντομα ήταν στην πραγματικότητα οι τέταρτοι πιο κοινοί αλλεργιογόνοι παράγοντες στην Κίνα από το 1980, αν και δεν αναφέρθηκαν θάνατοι (Feng et al., 2018). Επιπλέον, τα συστατικά των εντόμων είναι τόσο περίπλοκα που μπορεί να προκαλέσουν διασταυρώμενες αλλεργικές αντιδράσεις σε ορισμένες ομάδες ανθρώπων. Τα κρούσματα είναι πολλά και οι αλλεργίες μερικές φορές ακολουθούνται ακόμη και από άσθμα και κόρυζα. Θα πρέπει να γίνονται αναλύσεις σύνθεσης των εμπορικών εντόμων για να κατανοηθούν τα επίπεδα αλλεργιογόνων και τοξινών τους καθώς και ο δείκτης κινδύνου. Αξιοπίστα διαγνωστικά εργαλεία για ανιχνεύσεις ρουτίνας θα πρέπει να αναπτυχθούν για τα είδη που συλλέγονται από τη φύση για να αποφευχθεί η τυχαία κατάποση (Van Huis & Oonincx, 2017). Οι χημικοί κίνδυνοι εξαρτώνται όχι μόνο από τα είδη, αλλά και από τους οικοτόπους. Τα έντομα που αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα με ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί επίσης να περιέχουν υπολείμματα φυτοφαρμάκων.

Τα περισσότερα βρώσιμα έντομα περιέχουν υψηλή ποσότητα θερμίδων ή είναι εμπλουτισμένα σε ένα συγκεκριμένο θρεπτικό συστατικό, γεγονός που τα καθιστά επικίνδυνα για ορισμένες ομάδες ανθρώπων. Για παράδειγμα, οι ασθενείς με παχυσαρκία θα πρέπει να αποφεύγουν να τρώνε προνύμφες του *Phasus triangularis*, το οποίο αποτελείται από 77,2% λίπος (Ramos-Elorduy et al., 1997). Τα προϊόντα εντόμων που είναι εμπλουτισμένα σε πρωτεΐνες είναι επικίνδυνα για τους ασθενείς με ουρική αρθρίτιδα. Θα πρέπει να προταθεί μια αναφορά όπως οι συνιστώμενες

ημερήσιες ποσότητες (RDA) για αυτά τα προϊόντα. Οι σωστοί οδηγοί μαγειρέματος είναι επίσης απαραίτητοι. Ο Bouvier (1945) διαπίστωσε ότι η κατανάλωση των ποδιών της ακρίδας μπορεί να προκαλέσει εντερική απόφραξη, η οποία είναι θανατηφόρα. Η αιμολέμφορ ορισμένων ομάδων πρέπει να αφαιρείται πριν από το μαγείρεμα γιατί είναι δηλητηριώδης για τον άνθρωπο.

1.5 Προοπτικές αύξησης κατανάλωσης

Η κατανάλωση βρώσιμων εντόμων αυξάνεται συνεχώς καθώς οι άνθρωποι ενδιαφέρονται όλο και περισσότερο για τη νέα πηγή. Ωστόσο, ορισμένα έντομα εξακολουθούν να μην είναι άμεσα διαθέσιμα, καθώς προς το παρόν μπορούν να συλλεχθούν μόνο από τη φύση. Η εκτροφή εντόμων ως τροφή είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο, αν και ορισμένα είδη έχουν εκτραφεί με επιτυχία σε μεγάλη κλίμακα (Reineke et al., 2012). Ωστόσο, αναμένεται ότι η βιομηχανία θα ευημερήσει με την ανάπτυξη νέων προϊόντων εντόμων, τη βελτίωση της καλλιέργειας και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής.

Σπάνια παρατηρούνται εξαγωγές σε βρώσιμα έντομα, εν μέρει επειδή η μεταφορά ωμών εντόμων μπορεί να προκαλέσει προβλήματα καραντίνας. Μόνο πολύ λίγες περιπτώσεις έχουν αναφερθεί ότι μετανάστες εισάγουν ειδικά τοπικά προϊόντα εντόμων από την πόλη τους (Bukkens, 1997). Ωστόσο, τα έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα μπορούν να είναι ασφαλή, εάν παρασκευάζονται με την τυπική μέθοδο. Αυτό απαιτεί μια ώριμη βιομηχανική γραμμή. Από τον Ιούνιο του 2021 άνοιξε ο δρόμος για την περαιτέρω μαζική παραγωγή των εντόμων καθώς εγκρίθηκαν ως νέα τρόφιμα συγκεκριμένα είδη. Η εκβιομηχάνιση των βρώσιμων εντόμων είναι επομένως το θεμέλιο της παγκόσμιας μαζικής κατανάλωσης εντόμων. Οι ομάδες εντόμων που καταναλώνονται μερικές φορές διαφέρουν ευδιάκριτα ακόμη και σε γειτονικές περιοχές, επειδή οι άνθρωποι συνήθως ακολουθούν απλώς τις παραδόσεις τους, κάτι που ωστόσο δίνει την ευκαιρία να αναπτυχθούν νέα βρώσιμα έντομα από ήδη υπάρχοντα είδη και οικογένειες εντόμων. (Meyer-Rochow, 2005).

2. Αξιοποίηση των εντόμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης σε ζωοτροφές

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Τα βρώσιμα έντομα χρησιμεύουν επίσης ως πηγή τροφής για τα ζώα και την υδατοκαλλιέργεια. Πιστεύεται ότι τα πουλερικά που τρέφονται από έντομα, τα οποία μπορούν να παρέχουν σημαντικά αποθέματα πρωτεΐνης, είναι πιο θρεπτικά από αυτά που τρέφονται με δημητριακά (Józefiak et al., 2016). Η χρήση εντόμων ως ζωοτροφών είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε περιοχές όπου οι συμβατικές ζωοτροφές είναι ακριβές (Krishnan et al., 2011). Τα εκτρεφόμενα έντομα μπορούν να παρέχουν μια εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης, ενώ υποστηρίζουν την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, δημιουργούν εισόδημα για τους μικροκαλλιεργητές και μειώνουν τις αρνητικές επιπτώσεις της συμβατικής παραγωγής τροφίμων, ειδικά στις τροπικές περιοχές. Ωστόσο, η ποσότητα, η διατροφική ποιότητα και η ασφάλεια των εντόμων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πρόσληψή τροφής τους.

2.2 Τα έντομα ως πηγή παραγωγής ζωοτροφών

Τα πλούσια σε πρωτεΐνες έντομα είναι ένα φυσικό συστατικό των ζωοτροφών σε βιολογικές φάρμες ψαριών και πουλερικών. Οι προνύμφες των εντόμων μπορούν να τραφούν με ένα ευρύ φάσμα υποπροϊόντων, γεγονός που συμβάλλει στην ανακύκλωση των τροφίμων και των γεωργικών απορριμμάτων. Η βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία, επειδή οι ζωοτροφές με βάση τα έντομα όχι μόνο μειώνουν το έλλειμμα πρωτεΐνης, αλλά μειώνουν επίσης σημαντικά τον όγκο των απορριμμάτων που παράγονται στη γεωργία και τη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων. Οι προνύμφες των εντόμων θα μπορούσαν να μειώσουν τον όγκο των οργανικών αποβλήτων κατά 60%. Η έρευνα έχει δείξει ότι η ανάγκη για πρωτεΐνη εντόμων που συμπληρώνει τις συμβατικές φυτικές πηγές στη διατροφή των ζώων, θα ευνοήσει, έμμεσα, την αύξηση της έκτασης

της γεωργικής γης για την παραγωγή τροφίμων που καταναλώνονται άμεσα από τον άνθρωπο (Doi et al., 2021).

Τα οφέλη που προκύπτουν από την ένταξη των βρώσιμων εντόμων στη διατροφή των ζώων πρέπει να αναλυθούν προσεκτικά κατά την αναζήτηση βιώσιμων και μακροπρόθεσμων λύσεων. Οι αποφάσεις σχετικά με την ασφαλή εισαγωγή πρωτεΐνης εντόμων στο διατροφικό καθεστώς των ζώων πρέπει να βασίζονται σε ορθή έρευνα.

Η επιλογή των βέλτιστων ειδών εντόμων για την παραγωγή ζωοτροφών αποτελεί σημαντική πρόκληση. Χιλιάδες είδη εντόμων καταναλώνονται σε όλο τον κόσμο, αλλά μόνο μερικά από αυτά είναι κατάλληλα για εκτροφή μεγάλης κλίμακας. Η επιλογή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών και κλιματικών συνθηκών, των διατροφικών απαιτήσεων, της θρεπτικής αξίας και των τύπων οργανικών αποβλήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εκτροφές εντόμων.

Στις έρευνες αναλύονται οκτώ είδη εντόμων που είναι εγκεκριμένα από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την χρήση τους ως πρωτεΐνες σε ζωοτροφές όπως: μαύρη μύγα στρατιώτη (*Hermetia illucens*), οικιακή μύγα (*Musca domestica*), μικρός αλευροσκώληκας (*Alphitobius diaperinus*), κίτρινος αλευροσκώληκας (*Tenebrio molitor*), τροπικό σπιτικό κρίκετ (*Grylloides sigillatus*), σπιτικό κρίκετ (*Acheta domesticus*), τζαμαϊκανό κρίκετ γηπέδου (*Gryllus assimilis*) και μεταξοσκώληκας (*Bombyx mori*). Επίσης, εξετάζονται έντομα που καταναλώνονται σε άλλα μέρη του κόσμου, όπως: κατσαρίδες (*Blattodeae*), υπερσκώληκας (*Zophobas morio*), πράσινη τριανταφυλλιά (*Cetonia aurata*), πράσινη μύγα (*Lucilia sericata*), σκώρος κεριού (*Galleria mellonella*), μεσογειακός γρύλος χωραφιού (*Gryllus bimaculatus*), και ακρίδες (*Arcididae*).

Εικόνα 2: Πάνω διακρίνεται προνύμφη και ενήλικο άτομο *Hermetia illucens*, κάτω αριστερά ενήλικο *Tenebrio molitor* και κάτω δεξιά ενήλικο *Alphitobius diaperinus*



Πηγή: Fishect, (2022), “<https://fishect.webnode.gr>”.

Με βάση μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, η μαύρη μύγα στρατιώτη (*H. illucens*) θεωρήθηκε ως η καλύτερη υποψήφια για την παραγωγή ζωοτροφών, ενώ ο αλευροσκώληκας (*T. molitor*) επιλέχθηκε ως το βέλτιστο είδος για την παραγωγή ζωοτροφών και τροφίμων. Η σχετική βιβλιογραφία ήταν αρκετά εκτεταμένη γιατί έχει γίνει σημαντική έρευνα σχετικά με την εφαρμογή και των δύο ειδών για βιομηχανική εφαρμογή σε όλο τον κόσμο. Και τα δύο αυτά έντομα έχουν βιολογικές πτυχές που επηρεάζουν την ευκολία της αναπαραγωγής και τα μελλοντικά οικονομικά οφέλη. Επιλεγμένα είδη που προορίζονται για μαζική παραγωγή στην Πολωνία έχουν θετικά χαρακτηριστικά όπως: ταχεία ανάπτυξη, σύντομο κύκλο ανάπτυξης, υψηλή επιβίωση στα νεανικά στάδια, υψηλό επίπεδο φωτοκίας, υψηλό

καθημερινό δυναμικό ανάπτυξης βιομάζας, υψηλό ποσοστό μετατροπής τροφοδοσίας, ικανότητα να ζει σε υψηλές πυκνότητες και χαμηλή ευαισθησία σε μολυσματικές ασθένειες (Wang & Shelomi, 2017 ; Chia et al., 2018). Επιπλέον, αυτά τα έντομα δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις από συνθήκες θερμότητας και υγρασίας κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής τους (Wang and Shelomi, 2017 ; Chia et al., 2018). Επί του παρόντος, η παγκόσμια αγορά εντόμων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη μαύρη μύγα στρατιώτη (*H. Illucens*) και στον κίτρινο αλευροσκώληκα (*T. molitor*), με τα αναφερόμενα αποτελέσματα να είναι ικανοποιητικά.

Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν πολλές εφαρμογές των εντόμων ως δυνητικού συστατικού τροφής σε ζώα εκτροφής. Η έρευνα έδειξε ότι τα έντομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διατροφή των ωοπαραγωγών ορνίθων (Ruhnke et al., 2018 ; Secci et al., 2018). Η αντικατάσταση της σόγιας με άλευρο εντόμων δεν επηρέασε την παραγωγική απόδοση των ωοπαραγωγών ορνίθων και την ποιότητα των αυγών (Secci et al., 2018). Η θετική στάση των καταναλωτών στα αυγά από κόττες που τρέφονται με έντομα είναι επίσης σημαντική (Spartano & Grasso, 2021). Τα έντομα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη διατροφή των κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής (Altmann et al., 2020). Αποδείχθηκε ότι η διαίτα με βάση τα έντομα είχε θετική επίδραση στην ποιότητα του κρέατος και δεν επηρέασε τη θνησιμότητα των ζώων (Khan, 2018). Τα έντομα μείωσαν επίσης τα ποσοστά ενέργειας που απαιτούνται για την παραγωγή τροφής από κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής (Bovera et al., 2015). Τα προϊόντα εντόμων φαίνεται να είναι μια καλή εναλλακτική για τη μερική αντικατάσταση των παραδοσιακών συστατικών πλούσιων σε πρωτεΐνες στη διαίτα. Η συμπλήρωση εντόμων στη διατροφή των χοίρων που απογαλακτίζονται βελτιώνει την απόδοση ανάπτυξης και την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών. Τα έντομα επίσης δεν προκαλούν σημαντικές αλλαγές στον μεταβολισμό των χοίρων (Meyer et al., 2020).

Τα έντομα αποτελούν επιπλέον μέρος της διατροφής για τα εκτρεφόμενα ψάρια (Nogales-Mérida et al., 2019). Στην εκτροφή σολομού του Ατλαντικού, δεν βρέθηκαν αρνητικές επιπτώσεις μετά την εισαγωγή των εντόμων στη διατροφή. Τα έντομα στα ψάρια μπορεί επίσης να έχουν προβιοτική δράση, λόγω της παρουσίας χιτίνης και αντιμικροβιακών πεπτιδίων (Nogales-Mérida et al., 2019). Η έρευνα δείχνει ότι η αποδοχή των ψαριών που τρέφονται με έντομα είναι πολύ υψηλή από τους

καταναλωτές. Ωστόσο, το μειονέκτημα της χρήσης εντόμων στη διατροφή των ψαριών μπορεί να είναι η αύξηση του κόστους παραγωγής (Arru et al., 2019).

Μια λεπτομερής περιγραφή της δυνατότητας χρήσης εντόμων ως υποκατάστατων στην παραγωγή ζωοτροφών για πολλά είδη ζώων παρουσιάστηκε από τους Makkar et al. (2014). Ζωντανά και επεξεργασμένα έντομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διατροφή των ζώων. Η ανάπτυξη της επεξεργασίας εντόμων για σκοπούς τροφής και ζωοτροφών επιτρέπει την απομόνωση καθαρής πρωτεΐνης ή την εξαγωγή λίπους. Το άλευρο εντόμων παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες στη διατροφή των ζώων (Sogari et al., 2019).

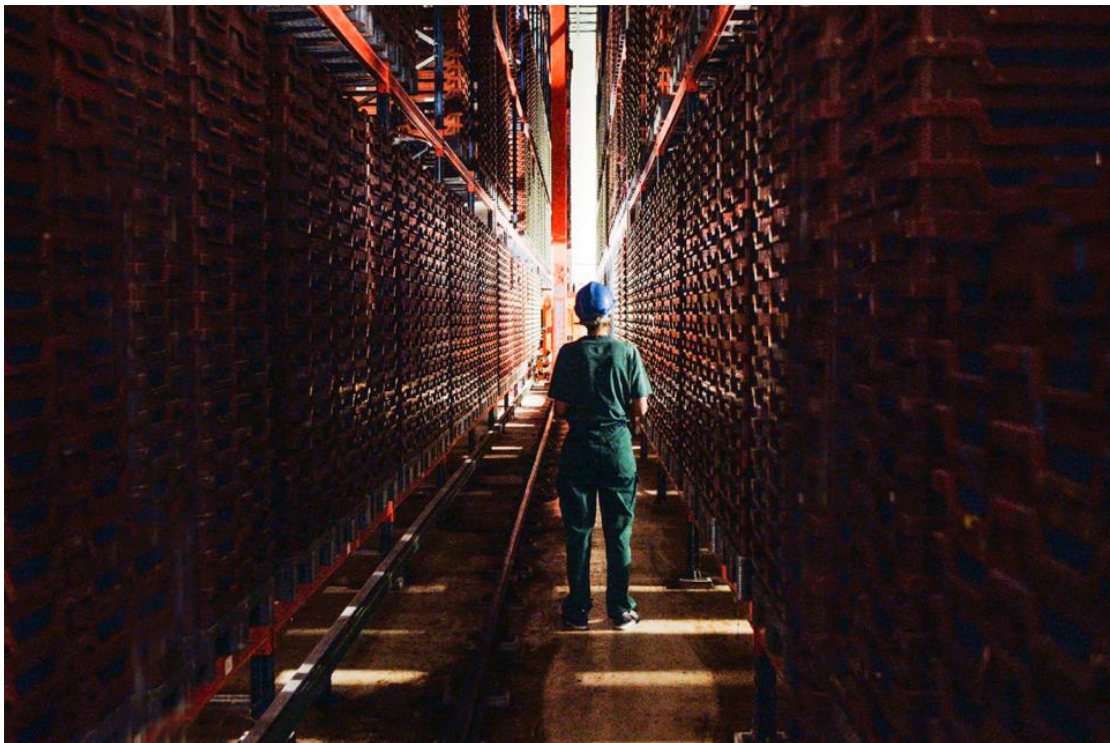
Τόσο η *H. illucens* όσο και το *T. molitor* πληρούν τα κριτήρια για τα καταλληλότερα είδη εντόμων που μπορούν μετατρέψουν οργανικά απορρίμματα και υποπροϊόντα χαμηλής αξίας σε πρωτεΐνη υψηλής ποιότητας. Οι προνύμφες που τρέφονται με φρούτα, λαχανικά και άλλες φυτικές ουσίες, καθώς και με ζωικούς ιστούς και κοπριά, βιομετατρέπουν αυτά τα προϊόντα σε βιομάζα πλούσια σε πρωτεΐνες (Shepard et al., 1994). Τα επιλεγμένα είδη εντόμων έχουν σύντομο κύκλο αναπαραγωγής και ο μεγάλος αριθμός αυγών που γεννούν τα θηλυκά υποστηρίζει την ταχεία παραγωγή εντόμων. Για παράδειγμα, τα θηλυκά *T. molitor* γεννούν 400-500 αυγά που εκκολάπτονται μετά από 7 ημέρες και οι προνύμφες που αναδύονται χρειάζονται 45-60 ημέρες για να φτάσουν στο στάδιο της νύμφης (Broekhoven et al., 2015).

Τα έντομα σε διάφορα στάδια ανάπτυξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ζωοτροφών. Οι νύμφες της μαύρης μύγας στρατιωτών περιέχουν 35–37% πρωτεΐνη και 35% λίπος, και οι προνύμφες *T. molitor* είναι μια από τις πιο άφθονες πηγές πρωτεΐνης (47,76%-53,13%) και λιπιδίων (27,25%-38,26%) (Broekhoven et al., 2015). Τα έντομα είναι επίσης πλούσια σε βιογονικά στοιχεία, νιασίνη, πυριδοξίνη, ριβοφλαβίνη, φολικό οξύ και βιταμίνη B12 (Cortes Ortiz et al., 2016). Βρέθηκε ότι δίαιτες που περιέχουν πρωτεΐνη εντόμων προάγουν την ανάπτυξη κοτόπουλων, χοίρων και πολλών ειδών εκτρεφόμενων ψαριών (Bovera et al., 2015). Μια μελέτη δίαιτας ζώων που περιέχει άλευρο εντόμων που προέρχεται από τα αναλυόμενα είδη (που αντιστοιχούν στο 20%-30% της πρωτεΐνης σόγιας) αποκάλυψε ικανοποιητικά κέρδη σωματικού βάρους, υψηλή ποιότητα κρέατος και πεπτικότητα (Bovera et al., 2015). Μια σύγκριση αυτών των ειδών εντόμων με το συμβατικό κρέας αποκάλυψε

ότι οι αλευροσκώληκες έχουν πολύ υψηλότερη θρεπτική αξία από το βοδινό και το κρέας κοτόπουλου (Payne et al., 2016).

Οι μικρές απαιτήσεις ως προς την έκταση που απαιτείται για την αναπαραγωγή εντόμων, δημιουργούν χαμηλότερο αρχικό κόστος επένδυσης. Σε αντίθεση με τη συμβατική κτηνοτροφία, τα έντομα μπορούν να εκτραφούν λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο τον κυβισμό του κτιρίου. Οι λύσεις που χρησιμοποιούνται για την αναπαραγωγή και των δύο αυτών εντόμων μειώνουν το κόστος σε υποδομές που θα απαιτούσαν αντίστοιχα τα ζώα. Η χρήση γης είναι ολοένα και πιο σημαντική στη γεωργική παραγωγή σε πολλές χώρες. Χάρη στην τρισδιάστατη γεωργία, δεν χρειάζονται εκτεταμένες επενδύσεις/γεωργικές εκτάσεις για τη δημιουργία μιας φάρμας εντόμων.

Εικόνα 3: Φωτογραφία του εσωτερικού χώρου μιας μονάδας αναπαραγωγής εντόμων στην Γαλλία (Ynsect) η οποία κάνει χρήση ολόκληρου του κυβισμού του κτιρίου.



Πηγή: Jackson L., (2021). “France has become innovation nation for insect production”.

Το αρχικό κόστος είναι χαμηλότερο, επίσης λόγω της τροφής που χρησιμοποιείται για την αναπαραγωγή αυτών των εντόμων, π.χ. φυτικές τροφές δεύτερης κατηγορίας ή απούλητα προϊόντα διατροφής. Τα έντομα μπορούν επίσης να ελαχιστοποιήσουν το κόστος απόρριψης γεωργικών ή τροφίμων υποπροϊόντων μέσω της βιομετατροπής της οργανικής ύλης (Fowles & Nansen, 2020). Αυτό το φαινόμενο μπορεί να συμβάλλει στη φυσική ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών και είναι περιβαλλοντικά βιώσιμο (Salomone et al., 2017). Στην Πολωνία, επί του παρόντος το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής εντόμων σχετίζεται με τους μισθούς των εργαζομένων. Στο μέλλον, ωστόσο, αυτό το φαινόμενο μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την ανάπτυξη αυτοματοποίησης της αναπαραγωγής εντόμων.

2.3 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Τα έντομα ως τροφή και ζωοτροφή έχουν πολλά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Αυτή η αναγνώριση οφείλεται εν μέρει σε χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και αμμωνίας, μειωμένο νερό και τις απαιτήσεις γης και στην ικανότητα μετατροπής οργανικών υλών σε προϊόντα υψηλής αξίας. Για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής εντόμων, τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες επιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA). Οι Smetana et al. (2021) συνέκριναν 24 μελέτες LCA που προσδιορίζουν τη βιωσιμότητα των αλυσίδων παραγωγής εντόμων. Οι περισσότερες ασχολήθηκαν με τη μαύρη μύγα στρατιώτη *Hermetia illucens*, τον κίτρινο αλευροσκώληκα *T. molitor* και την οικιακή μύγα *Musca domestica*.

Η πλειοψηφία των 24 μελετών που αξιολογήθηκαν χρησιμοποίησαν την απόδοση προσέγγισης LCA. Οι περισσότερες επικεντρώθηκαν σε cradle-to-gate προσεγγίσεις, δηλαδή σε προσεγγίσεις που αναφέρονται στο αποτύπωμα άνθρακα ενός προϊόντος από τη στιγμή που παράγεται μέχρι και τη στιγμή που εισέρχεται σε ένα κατάστημα και διατίθεται προς πώληση. Οι περισσότερες επιπτώσεις σχετίζονται με τη χρήση ενέργειας (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμα, φυσικό αέριο) και κατά συνέπεια με το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, τη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και τη χρήση νερού και γης.

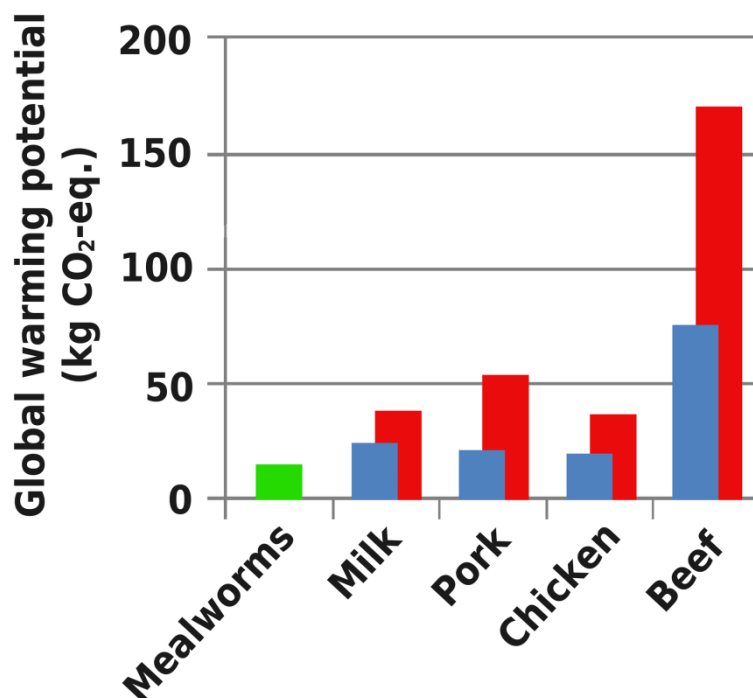
Το είδος της τροφής των εντόμων και η μοντελοποίηση της αξιολόγησής τους ήταν σε πολλές περιπτώσεις καθοριστικές για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εντόμων. Η επιλογή συγκεκριμένων κανόνων με βάση τους οποίους παρασκευάζονται και κατανέμονται στην αγορά οι ζωοτροφές αυτές, τα κριτήρια αντικατάστασης των συμβατικών ζωοτροφών από τις ζωοτροφές με βάση τα έντομα και τα διάφορα σενάρια σχετικά με τον όγκο αποβλήτων που συνεπάγεται η χρήση τους καθόρισαν ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η πολυπλοκότητα των αλυσίδων παραγωγής εντόμων δεν επιτρέπει απλές και ξεκάθαρες απαντήσεις σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων με βάση τα έντομα. Ο αντίκτυπος εξαρτάται από τον τύπο του εντόμου, τις συνθέσεις του υποστρώματος τους, τη βελτιστοποίηση των συνθηκών ανάπτυξης, το επίπεδο επεξεργασίας κλπ.

2.4 Αποτύπωμα άνθρακα

Η παραγωγή αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gas = GHG) είναι μια από τις βασικές αιτίες της κλιματικής αλλαγής. Τα πιο σημαντικά αέρια του θερμοκηπίου είναι το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), και μεθάνιο (CH_4). Έως 18% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών GHG και 64% όλων των ανθρωπογενών NH_3 παράγονται από τον κτηνοτροφικό τομέα (Steinfeld et al., 2006). Εκχωρώντας μια CO_2 τιμή δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential = GWP), τα δυναμικά θέρμανσης μπορούν να εκφραστούν σε μια CO_2 -ισοδύναμη βάση: το CH_4 έχει GWP 25 και το N_2 έχει GWP 298. Μια τεράστια ποσότητα NH_3 , που παράγεται από την κτηνοτροφία, οδηγεί σε οξίνιση και νιτροποίηση του εδάφους. Η αυξημένη πρακτική της εντομοφαγίας θα μπορούσε να βοηθήσει με αυτό το πρόβλημα (Premalatha et al., 2011). Επιπλέον, άλλοι παράγοντες που οδηγούν σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συνδέονται στενά με την παραγωγή τροφών από ζωικά προϊόντα (παραγωγή αερίων θερμοκηπίου στην παραγωγή ζωοτροφών, ενέργεια για παραγωγή και μεταποίηση ζωικών προϊόντων, μεταφορά).

Οι Oonincx & de Boer (2012) αξιολόγησαν τη συμβολή των εντόμων στο GWP και τα συνέκριναν με άλλα ζωικά προϊόντα – γάλα, χοιρινό, κοτόπουλο και μοσχάρι. Η συνεισφορά στο GWP ήταν χαμηλότερη για τον αλευροσκώληκα από ό,τι για άλλα προϊόντα – μειωμένο κατά δώδεκα φορές, σε σύγκριση με το βόειο κρέας.

Εικόνα 4: Συμβολή της προνύμφης του *Tenebrio molitor* στο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) σε σχέση με άλλα ζωικά προϊόντα.



Πηγή: Oonincx, D. G. A. B., de Boer, I. J. M. (2012). “Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment”.

Αν αυτό εκφραστεί σε ποσοστό επί τοις εκατό για τα συγκεκριμένα ζωικά είδη, καταλήγουμε στον παρακάτω πίνακα.

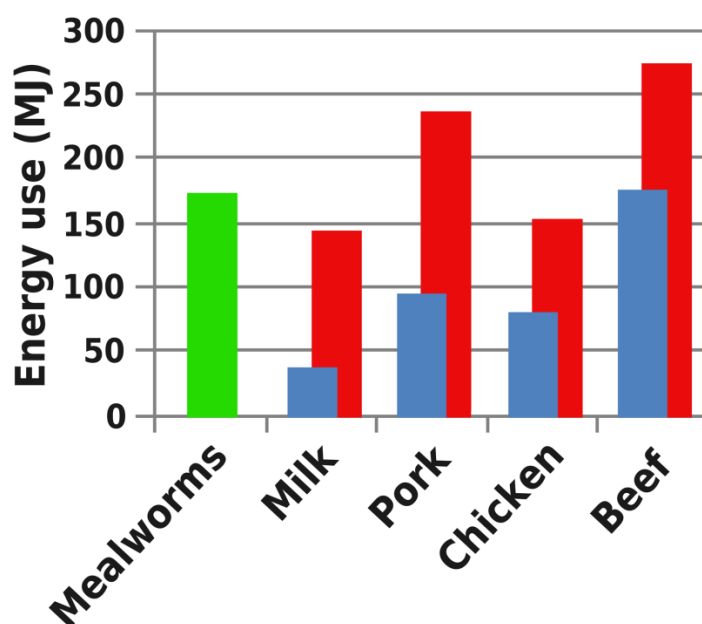
Πίνακας 1: Συμβολή των ζωικών προϊόντων στο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) σε ποσοστό επί τοις εκατό, εξαιτίας της παραγωγής ενός κιλού βρώσιμης πρωτεΐνης.

Mealworms	Chicken	Milk	Pork	Beef
5,9%	11,7%	13,5%	15,8%	53,1%

Πηγή: Oonincx, D. G. A. B., de Boer, I. J. M. (2012). “Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment”.

Η ενέργεια που απαιτήθηκε για την παραγωγή 1 κιλού βρώσιμης πρωτεΐνης αλευροσκώληκα ήταν χαμηλότερη από την ενέργεια που απαιτήθηκε για την παραγωγή 1 κιλού βόειου κρέατος, παρόμοια με αυτή του χοιρινού και μεγαλύτερη από αυτή του γάλακτος και του κοτόπουλου. Ο λόγος είναι η θέρμανση των εντομοτροφείων σε χαμηλό περιβάλλον θερμοκρασίας. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, μέτρα μετριασμού έχουν προταθεί, όπου μεγαλύτερες προνύμφες παράγουν περίσσεια μεταβολικής θερμότητας, θερμαίνοντας έτσι τις μικρότερες προνύμφες που το απαιτούν (Oonincx & Dierenfeld, 2012).

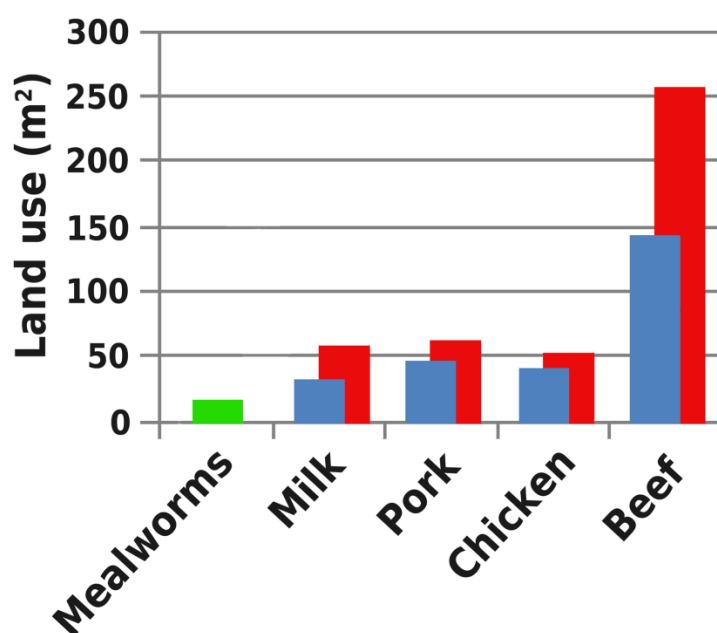
Εικόνα 5: Δαπάνη ενέργειας για την παραγωγή 1 κιλού βρώσιμης πρωτεΐνης αλευροσκώληκα σε σχέση με την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή 1 κιλού πρωτεΐνης από άλλα προϊόντα διατροφής.



Πηγή: Oonincx, D. G. A. B., de Boer, I. J. M. (2012). “Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment”.

Οι Oonincx & de Boer (2012) συνέκριναν επίσης την αξιοποίηση της έκτασης του χώρου της εντομοκαλλιέργειας που απαιτείται, σε σχέση με την έκταση της περιοχής που απαιτεί η παραγωγή ζωικών προϊόντων διατροφής.

Εικόνα 6: Σύγκριση χρήσης γης για εντομοκαλλιέργεια σε σχέση με την περιοχή που απαιτείται για την παραγωγή άλλων ζωικών προϊόντων διατροφής.



Πηγή: Oonincx, D. G. A. B., de Boer, I. J. M. (2012). “Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment”.

Η χρήση γης που απαιτείται για την καλλιέργεια είναι χαμηλότερη για τα βρώσιμα έντομα σε σύγκριση με άλλα προϊόντα (έως δεκατέσσερις φορές). Οι Oonincx et al. (2010), οι οποίοι ασχολήθηκαν και με την παραγωγή αερίων των θερμοκηπίων, αναφέρουν στην εργασία τους ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) σε 4 από τα 5 είδη εντόμων ήταν πολύ χαμηλότερες από των χοίρων. Τα μετρηθέντα NH_3 επίπεδα εκπομπής όλων των ειδών εντόμων σε αυτό το πείραμα ήταν χαμηλότερα από αυτά που αναφέρθηκαν στα NH_3 επίπεδα εκπομπών για τα συμβατικά ζώα.

Επιπλέον, το μέσο ημερήσιο κέρδος των εντόμων (Average Daily Gain = ADG) σε αυτή τη μελέτη ήταν υψηλότερο από αντίστοιχο της συμβατικής κτηνοτροφίας, ενώ η παραγωγή CO₂ που σχετίζεται με την αύξηση βάρους ήταν συγκρίσιμη ή χαμηλότερη, υποδηλώνοντας υψηλότερη απόδοση μετατροπής της τροφής εντόμων. CH₄ παρήχθη μόνο από τερμίτες, κατσαρίδες και σκαραβαίους. Ο λόγος είναι η ζύμωση του οπίσθιου εντέρου των Methanobacteriaceae (Oonincx et al., 2010).

2.5 Μετατροπή θρεπτικών συστατικών

Οι τρεις κύριοι παράγοντες που προκαλούν τη διαφορά στη αξιολόγηση του κύκλου ζωής είναι η αποτελεσματικότητα μετατροπής της τροφής, οι εκπομπές CH₄ και οι ρυθμοί αναπαραγωγής (de Vries & de Boer, 2010). Πολλές μελέτες δείχνουν ότι τα έντομα και τα μικρά ζώα, γενικά, είναι σχετικά αποτελεσματικοί μετατροπείς. Το έντομο είναι πιο αποτελεσματικό από τα μεγάλα ζώα στην αφομοίωση της ύλης – οι φυσικοί πόροι που απαιτούνται για την παραγωγή ενός κιλού κρέατος είναι δέκα φορές περισσότεροι από τους φυσικούς πόρους που χρειάζονται για την παραγωγή ενός κιλού εντόμου. Έτσι, η παραγωγή τροφών με βάση τα έντομα ασκεί πολύ λιγότερη πίεση στις υπηρεσίες οικοσυστήματος από ότι οι τροφές με βάση τα ζώα (Premalatha et al., 2011). Η εξήγηση αυτής της διαφοράς είναι αρκετά απλή. Το έντομο είναι ποικιλόθερμο και επομένως δεν ξοδεύει τόσο πολλή ενέργεια και θρεπτικά συστατικά (Lindroth et al., 1993). Επομένως, το έντομο παράγει πολύ περισσότερη ζωική πρωτεΐνη ανά κιλό φυτομάζας που καταναλώνει, σε σύγκριση με τα συνηθισμένα ζώα. Τα έντομα έχουν πολύ μεγαλύτερη γονιμότητα και πολύ ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης: χιλιάδες απόγονοί τους παράγονται από ένα μόνο άτομο έντομο, ενώ μόνο λίγα παράγονται από κανονική κτηνοτροφία.

Σε αυτά οι απόγονοι ωριμάζουν μέσα σε λίγες μέρες, ενώ στα πουλερικά και μηρυκαστικά, χρειάζονται μήνες ή και χρόνια. Σε συνδυασμό με την πολύ καλή θρεπτική αξία, αυτές οι ιδιότητες έχουν εντυπωσιάσει τους επιστήμονες του διαστήματος, οι οποίοι προτείνουν τη χρήση εντόμων ως ανθρώπινη τροφή σε διαστημικά ταξίδια (Hu et al., 2017). Δεν είναι μόνο αυτό, καθώς μοντελοποιήθηκε η κατάσταση σε διαστημικές μονάδες, όπου θα πρέπει να διασφαλίζονται οι πηγές

τροφίμων σε έναν πολύ μικρότερο χώρο, ενώ και σε πολλές περιοχές της Γης υπάρχουν δυνατότητες για επίτευξη ακόμη καλύτερων αποτελεσμάτων που απορρέουν από την ορθή αξιοποίηση των εντόμων.

2.6 Διαχείριση των αποβλήτων

Η σύγχρονη κτηνοτροφία στηρίζεται κυρίως σε μεγάλους πληθυσμούς γαλακτοκομικών αγελάδων, χοίρων, κοτόπουλων και άλλων ζώων. Αυτό προκαλεί τη συσσώρευση σημαντικής ποσότητας κοπριάς που είναι επικίνδυνη για το περιβάλλον (Li et al., 2011).

Από την άλλη πλευρά, η κοπριά και τα βιολογικά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υπόστρωμα για τις προνύμφες πολλών εντόμων, είδη όπως η μαύρη μύγα στρατιώτη, *Hermetia illucens* (Li et al., 2011). Έρευνες πάνω σε αυτό, μπορούν να αποτελέσουν κίνητρο για την καθιέρωση μιας κατάλληλης μεθόδου για τη μαζική παραγωγή δίπτερων προνυμφών πλούσιων σε πρωτεΐνες (Larde, 1990).

Οι προνύμφες της μαύρης μύγας στρατιωτών (BSFL) διαθέτουν ένα άλλο πλεονέκτημα, καθώς, εκτός από την εκκαθάριση κοπριάς, μπορούν να μειώσουν τον αριθμό του *Escherichia coli* ενός Gram (-) ραβδόμορφου βακτηρίου. (Liu et al., 2010). Πολλά υποσχόμενη από πολλές απόψεις φαίνεται να είναι η διαπίστωση ότι η BSFL μπορεί να βοηθήσει με την αξιοποίηση της κοπριάς, αποτελώντας ταυτόχρονα πηγή ποιοτικής πρωτεΐνης και λίπους. Οι προνύμφες της μαύρης μύγας στρατιωτών είναι επίσης χρήσιμες για την παραγωγή βιοντίζελ. Τα 1000 BSFL που αναπτύσσονται σε 1 κιλό κοπριάς βοοειδών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή 35,5 g βιοντίζελ. Αντίστοιχα στην κοπριά χοίρων η παραγωγή βιοντίζελ είναι 57,8 g, και στην κοπριά κοτόπουλου 91,4 g (Li et al., 2011). Ο πετρελαϊκός αιθέρας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή λίπους από BSFL. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η μέθοδος δύο σταδίων για την παραγωγή βιοντίζελ. Τα «απόβλητα» από αυτή τη διαδικασία, τα ξερά υπολείμματα ύλης του BSFL μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρωτεΐνη ζωοτροφών (Li et al., 2011).

Η ενσωμάτωση της μεγάλης κλίμακας εκτροφής εντόμων σε μικρής κλίμακας γεωργικές επιχειρήσεις μπορεί να αποτελέσει μια ενδιαφέρουσα πρόκληση. Ένα παράδειγμα μπορεί να είναι να συμπεριληφθεί το έντομο σε συστήματα ανακύκλωσης οργανικών απορριμμάτων (Ramos-Elorduy, 2009). Τα έντομα είναι η

πολυπληθέστερη και πιο πολυποίκιλη ομοταξία του ζωικού βασιλείου που τρέφεται με οργανική ύλη. Αυτό καθιστά αποτελεσματική τη χρήση όλων των βιολογικών πόρων και ζωοτροφών σε όλα τα επίπεδα φυτών και ζώων. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων και της ανάγκης για ανακύκλωση τεράστιων ποσοτήτων απορριμμάτων που δημιουργούνται από τον σύγχρονο τρόπο ζωής, τα έντομα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βιομετασχηματιστές για τη μετατροπή των οργανικών αποβλήτων σε ζωική βιομάζα πλούσια σε πρωτεΐνες κατάλληλη για χρήση σε ζωϊκή διατροφή (Ramos-Elorduy, 1996).

Ο χρόνος ανακύκλωσης των απορριμμάτων εξαρτάται από το είδος του εντόμου και το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται. Για τα υποστρώματα που παρέχουν ισορροπημένη διατροφή, από το 92% έως το 95% του μέσου καταναλώθηκε και μετασχηματίστηκε σε ιστούς εντόμων (Ramos-Elorduy et al., 1988).

Ο βαθμός μετασχηματισμού πρωτεΐνης κυμαινόταν από 5% έως 8% για πρωτεΐνες κακής ποιότητας σε υποστρώματα, και από 43% έως 61% για πρωτεΐνες υψηλότερης ποιότητας (Ramos-Elorduy et al., 1988). Όλα αυτά τα στοιχεία δείχνουν τις δυνατότητες ανακύκλωσης οργανικής ύλης ως μέσο καλλιέργειας για έντομα για την απόκτηση θρεπτικής βιομάζας εντόμων. Πειράματα με τα έντομα στη διατροφή των ζώων δείχνουν ότι μπορούν να αντικαταστήσουν σόγια ή ιχθυάλευρα όταν ταΐζονται πουλερικά ή ψάρια με το ίδιο ή καλύτερα αποτελέσματα (Ramos-Elorduy et al., 1988 ; Ramos-Elorduy, 1996).

Η μαύρη μύγα στρατιώτη (*Hermetia illucens*) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τη μείωση ζωικών αποβλήτων σε εγκαταστάσεις αναπαραγωγής και παραγωγής ζώων που τρέφονται με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και λιπαρά, γεγονός που οφείλεται στον υψηλό ρυθμό μετατροπής της βιομάζας σε πρωτεΐνη και λίπη (Rabani et al., 2019).

Αν η διατροφή τους περιέχει παραπροϊόντα ψαριών, οι μύγες περιέχουν εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA), α-λινολενικό οξύ (ALA) και δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA). Οι St-Hilaire et al. (2007) εξέτασαν τη διαφορά στη διατροφή με ψάρια και αγελαδινή κοπριά. Μια ομάδα προνυμφών μαύρου στρατιώτη, τράφηκε με υποπροϊόντα ψαριών σε ποσοστό 22%, εντός 24 ωρών από την γέννηση τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι εάν οι προνύμφες τρέφονταν με παραπροϊόντα ψαριών, η ποσότητα λιπιδίων ήταν κατά μέσο όρο 30%, που ήταν 43% περισσότερο από ότι αν

οι προνύμφες τρέφονταν με κοπριά αγελάδας. Άλλωστε σε ότι αφορά τα ωμέγα-3 λιπαρά η περιεκτικότητα σε οξύ έφτασε σε αυτό το επίπεδο εντός 24 ωρών μετά τη σίτιση με τα υποπροϊόντα. Τα αυξημένα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα της προνύμφης μπορεί να χρησιμοποιηθούν τόσο καλά όσο το ιχθυάλευρο και το υποκατάστατο ιχθυελαίου για σαρκοφάγα ψάρια και άλλες ζωοτροφές. Αυτό θα μπορούσε επίσης είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης και ανακύκλωσης των υποπροϊόντα ψαριών που προέρχονται από τα εργοστάσια επεξεργασίας (St-Hilaire et al., 2007).

Μερικά είδη εντόμων που ζουν συλλογικά είναι πολύ επιτυχημένα ζώα όσον αφορά τη βιομάζα και την ποικιλότητα (Gibson & Hunter, 2010). Κοινωνικά έντομα – κυρίως τερμίτες, σφήκες, μέλισσες, και τα μυρμήγκια έχουν αναπτύξει την ικανότητα να ζουν σε αποικίες με πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού σε σχέση με τα σκαθάρια, αφού είναι «κλώνοι» – άτομα γενετικά πανομοιότυπα.

Αν και τα κοινωνικά έντομα αποτελούν μόνο το δύο τοις εκατό των ειδών εντόμων, αποτελούν περισσότερο από το ήμισυ του συνόλου της μάζας εντόμων. Το κοινωνικό έντομο χρειάζεται να αξιοποιήσει αποτελεσματικότερα τους πόρους για την αύξηση της βιομάζας, η οποία επιτυγχάνεται με τη δημιουργία κοινοτήτων που συνεργάζονται για τη συλλογή τροφίμων σε μεγάλες περιοχές (Gibson & Hunter, 2010).

3. Άλλες χρήσεις

Τα πρόσθετα τροφίμων μπορούν να εξαχθούν και από έντομα. Η καρμίνη, μια κοινή φυσική χρωστική που χρησιμοποιείται εδώ και εκατοντάδες χρόνια, λαμβάνεται από το *Dactylopius coccus* (Van Huis et al., 2013). Παρέχει μια φωτεινή κόκκινη βαφή για ρούχα, καλλυντικά και φυσικά τρόφιμα. Στην πραγματικότητα, η ζήτηση της χρωστικής έχει αυξηθεί ραγδαία καθώς οι άνθρωποι ενδιαφέρονται για φυσικές βαφές επί του παρόντος (Baskes, 2000). Ομοίως, το έντομο lac (*Kerria lacca*) είναι μια υπέροχη πηγή μιας υδατοδιαλυτής πολυδροξυ-ανθρακινόνης που ονομάζεται βαφή lac. Η χρωστική ουσία είναι αρχικά έντονο κόκκινο, αλλά μπορεί να σκουραίνει από βιολετί έως κόκκινο και καφέ. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως στον χρωματισμό κλωστοϋφαντουργικών ινών, αλλά τώρα αξιοποιείται και από τις βιομηχανίες ποτών (Raman, 2014). Η ρητίνη Lac που εκκρίνεται από το έντομο lac χρησιμοποιείται συνήθως στην επικάλυψη και φρούτων και γλυκών του κουταλιού (Siddiqui, 2004).

Πέρα από το να τρώγονται για να καταπραΰνουν την πείνα ή απλώς για ευχαρίστηση, τα εκχυλίσματα εντόμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή φαρμάκων, υγειονομικής περίθαλψης και βιομηχανικών προϊόντων (Liu & Wei, 2002). Βιομηχανικά ένζυμα για την παραγωγή βιοντίζελ έχουν εξαχθεί με επιτυχία από μαύρες μύγες στρατιωτών (*Hermetica illucens*). Η τεχνική θεωρείται ως λύση στην έλλειψη ενέργειας (Su et al., 2019). Ο εξωσκελετός των ενηλίκων είναι μια πλούσια πηγή χιτίνης, η οποία έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα διαφορετικών οργανισμών (Van Dyken & Locksley, 2018). Περισσότερα από 400 είδη αντιβακτηριακών ουσιών έχουν εξαχθεί από έντομα. Τα αντιμικροβιακά πεπτίδια (AMPs) είναι όλο και πιο δημοφιλή πρόσφατα με την εντατική έρευνα που διεξάγεται. Στην πραγματικότητα, περισσότερες από 170 αντιμικροβιακές ουσίες έχουν βρεθεί σε ασπόνδυλα και οι περισσότερες από αυτές μπορούν να παραχθούν από έντομα (Józefiak et al., 2016). Οι οικιακές μύγες (*Musca domestica*) έχουν χρησιμοποιηθεί ως πηγή αντιμικροβιακών ουσιών. Η ρητίνη lac που αναφέρθηκε παραπάνω είναι πραγματικά ευέλικτη σε διάφορες βιομηχανίες. Εκτός από την επικάλυψη τροφίμων, χρησιμοποιείται ευρέως σε μονωτικά υλικά, βιομηχανίες εκτύπωσης και κόλλας (Wang et al., 2006). Επιπλέον, έχει μεγάλη αξία στη φαρμακοβιομηχανία με τη δυνατότητα σε ηπατοπροστατευτικά και κατά της παχυσαρκίας φάρμακα (Iqbal & Khan, 2019). Το λευκό κερί που εκκρίνεται από

κινεζικά έντομα λευκού κεριού (*Ericerus pela*) χρησιμεύει παρόμοια με τη ρητίνη lac και χρησιμοποιείται σε ταμπλέτες επικάλυψης (Yang et al., 2012). Ένα ειδικό λάδι που ονομάζεται um-buga, το οποίο προέρχεται από το ζώφιο *Coridius viduatus*, περιέχει υψηλή ποσότητα αντιβακτηριακών ουσιών που ελέγχουν τα θετικά κατά Gram βακτήρια (Mustafa et al., 2008). Ωστόσο, χρησιμοποιείται μόνο σε ορισμένες αφρικανικές περιοχές. Το περίφημο σύμπλεγμα μυκήτων-εντόμων *Bombyx batryticatus* και *Beauveria bassiana* είναι ένα πολυτελές παραδοσιακό κινέζικο φάρμακο. Έχει αποδειχθεί ότι διαθέτει πολλαπλές φαρμακολογικές λειτουργίες, όπως αντισπασμωδική, αντιπηκτική, υπνογένεση, αντιμυκητιακή, αντικαρκινική και υπολιπιδαιμική. Τα ενεργά συστατικά που εξάγονται από αυτό, συμπεριλαμβανομένων των πολυσακχαριτών, των φλαβονών και της μποβερισίνης, έχουν αναπτυχθεί στην σύγχρονη ιατρική που στοχεύει αντίστοιχες ασθένειες (Hu et al., 2017). Το ιατρικό δυναμικό πολλών άλλων εκτρεφόμενων εντόμων έχει αποδειχθεί, συμπεριλαμβανομένων αρκετών περιπτώσεων αντιοξειδωτικών που εξάγονται από διαφορετικές ομάδες εντόμων (Zielinska et al., 2017).

4. Νομοθεσία

Τα επιτρεπόμενα είδη εκτρεφόμενων εντόμων που μπορούν να εισάγονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση ως μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες είναι: α) μαύρη μύγα των απορριμμάτων *Hermetia illucens* και κοινή οικιακή μύγα *Musca domestica*, β) μεγάλο σκαθάρι των αλεύρων *Tenebrio molitor* και μικρό σκαθάρι των αλεύρων *Alphitobius diaperinus*, γ) οικοδίατος γρύλλος *Acheta domesticus*, στικτός μαύρος γρύλλος *Grylloides sigillatus* και αγροδίατος γρύλλος *Gryllus assimilis*. Η πρωτεΐνη εντόμων από τα παραπάνω έντομα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση ως τροφή για ζώα συντροφιάς και γουνοφόρα. Επιπλέον από την 1η Ιουλίου 2017 εγκρίθηκε η χρήση τους σε ιχθυοτροφές. Με τον Κανονισμό (ΕΕ) 2021/1372 της Επιτροπής, της 17ης Αυγούστου 2021 οι πρωτεΐνες που προέρχονται από εκτρεφόμενα έντομα επιτρέπονται πλέον να χρησιμοποιηθούν σε ζωοτροφές για χοίρους και πουλερικά.

Επί του παρόντος (1^ο τρίμηνο του 2022) τέσσερις εγκρίσεις για νέα τρόφιμα έχουν τεθεί σε ισχύ για τα βρώσιμα έντομα. Δυο από αυτές αφορούν στο κίτρινο σκουλήκι των αλεύρων (*Tenebrio molitor*) είτε ως ολόκληρο έντομο, σε μορφή σκόνης είτε ως κατεψυγμένο, στην αποξηραμένη και κατεψυγμένη μεταναστευτική ακρίδα (*Locusta migratoria*) και στο αλεσμένο και κατεψυγμένο κρίκετ (*Acheta domesticus*). Μέχρι στιγμής η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει λάβει περισσότερες από 20 νέες αιτήσεις τροφίμων για προϊόντα διατροφής με βάση τα έντομα (IPIFF,2022).

Η πρώτη έγκριση αφορά στο κίτρινο σκουλήκι των αλεύρων (*Tenebrio molitor*). Συγκεκριμένα την 1^η Ιουνίου 2021 δημοσιεύτηκε ο Εκτελεστικός κανονισμός (ΕΕ) 2021/882 για την έγκριση της διάθεσης στην αγορά αποξηραμένης προνύμφης *Tenebrio molitor* ως νέου τροφίμου σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και για την τροποποίηση του εκτελεστικού κανονισμού (ΕΕ) 2017/2470 της Επιτροπής. Η ονομασία του νέου τροφίμου στην επισήμανση των τροφίμων στα οποία περιέχεται είναι αποξηραμένη προνύμφη *Tenebrio molitor* (αλευροσκώληκας). Το νέο τρόφιμο είναι ολόκληρος ο θερμικώς αποξηραμένος αλευροσκώληκας, είτε σε ακέραιη μορφή (ζεματισμένη προνύμφη, αποξηραμένη σε φούρνο) είτε σε μορφή σκόνης (ζεματισμένη προνύμφη, αποξηραμένη σε φούρνο, αλεσμένη). Ο όρος “αλευροσκώληκας” αναφέρεται στην προνυμφική μορφή του *Tenebrio molitor*, ενός είδους εντόμου που ανήκει στην

οικογένεια των Tenebrionidae (σκούρα σκαθάρια). Οι αλευροσκώληκες προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο ολόκληροι και κανένα μέρος τους δεν αφαιρείται. Πριν από το στάδιο της θερμικής αποξήρανσης απαιτείται περίοδος νηστείας τουλάχιστον 24 ωρών, ώστε να εκκενώνεται το έντερο των προνυμφών.

Η παραγωγή και η εμπορία εντόμων ως τροφής στην Ευρώπη διέπεται από τη νομοθεσία για τα νέα τρόφιμα – δηλαδή τον κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 2015/2283. Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε διαφορετικές εθνικές προσεγγίσεις όσον αφορά την εφαρμογή του Κανονισμού.

Εικόνα 7: Η προσέγγιση των μελών της Ευρώπης σχετικά με την εφαρμογή του νέου μεταβατικού μέτρου για την χρήση προϊόντων με βάση τα έντομα στην εθνική τους αγορά.



Πηγή: IPIFF, (2022), “Insects as Novel Foods in the European Union”

Πρόσφατα, τον Νοέμβριο του 2021 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε νομοσχέδιο που ρυθμίζει την παραγωγή και τη διάθεση στην αγορά της Ε.Ε. λιπάσματος (frass) που προέρχεται από την εκτροφή εντόμων. Το λίπασμα αυτό είναι μείγμα περιττωμάτων που προέρχεται από εκτρεφόμενα έντομα, το υπόστρωμα τροφοδοσίας, μέρη εκτρεφόμενων εντόμων, νεκρά αυγά και με περιεκτικότητα σε νεκρά εκτρεφόμενα

έντομα όχι μεγαλύτερη από 5% σε όγκο και έως 3% σε βάρος. Στην αναζήτηση πιο βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων, το λίπασμα από έντομα, θεωρείται επί του παρόντος συμπληρωματική λύση στην αυξανόμενη ζήτηση για οργανικά λιπάσματα. Επιπλέον η χρήση του στη γεωργία, θα βελτιώσει την κυκλικότητα της βιομηχανίας παραγωγής εντόμων και ταυτόχρονα θα μειώσει την εξάρτηση από τα εισαγόμενα στην Ε.Ε. ορυκτά λιπάσματα.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι τύποι πρώτων υλών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σίτιση εντόμων είναι περιορισμένοι. Προς το παρόν η εκτροφή επιτρέπει την χρήση φυτικών υλών καθώς και γάλα, αυγά, τετηγμένα λίπη, μέλι και προϊόντα αίματος από μη μηρυκαστικά ζώα. Το υπόστρωμα για τη σίτιση των εντόμων, τα ίδια τα έντομα και οι προνύμφες τους απαγορεύεται να έρθουν σε επαφή με άλλα υλικά ζωικής προέλευσης εκτός από τα προαναφερθέντα και το υπόστρωμα δεν πρέπει να περιέχει κόπρο, υπολείμματα τροφίμων ή άλλα απόβλητα. Ωστόσο, η βιομηχανία εντόμων αναμένει μέσα στο 2022 την έγκριση της χρήσης αποβλήτων τροφίμων που περιλαμβάνουν κρέας και ψάρι ως προϊόντα σίτισης εκτρεφόμενων εντόμων. Κάτι τέτοιο θα αυξήσει την κυκλικότητα μέσω της ανακύκλωσης πόρων που διαφορετικά θα απορρίπτονταν. Θα επιφέρει επίσης μεγαλύτερη ευελιξία και οικονομικά πλεονεκτήματα στον κλάδο των εντόμων, αφού αξιοποιώντας τα υπολείμματα τροφίμων θα μειωθεί το κόστος εκτροφής των εντόμων.

Η νομοθεσία στην Βόρεια Αμερική είναι διαφορετική. Κάθε πολιτεία έχει διαφορετικό ρυθμιστικό πλαίσιο σχετικά με την χρήση εντόμων ως ζωοτροφών. Εμφανίζονται διαφορές ως προς τα υποστρώματα σίτισης των εντόμων όπου διάφορα υποπροϊόντα εγκρίνονται ως πρώτες ύλες. Το γεύμα με έντομα δεν έχει ακόμα εγκριθεί ως συστατικό τροφής για κατοικίδια στις ΗΠΑ, αλλά έχει εγκριθεί ως συστατικό τροφής πουλερικών και σολομοειδών, ενώ στον Καναδά συμβαίνει το αντίθετο.

5. Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη

Κατά κύριο λόγο, τα έντομα λαμβάνονται ως τρόφιμα λόγω του χαμηλού κόστους. Για άγρια είδη πλούσια σε πόρους, η συγκομιδή είναι σχεδόν δωρεάν. Τα εκτρεφόμενα είδη, τρέφονται συνήθως με ένα ευρύ φάσμα φθηνών ζωοτροφών με αποτελεσματική μετάδοση ενέργειας. Σημειωτέον, η αποτελεσματικότητα της μετατροπής της καταποθείσας τροφής (ECI) του *T. molitor* είναι 53% έως 73% ενώ είναι το πολύ 40% σε άλλα ζώα. Η χρήση άνθρακα και νερού καθώς και οι εκπομπές αμμωνίας των εκτρεφόμενων εδωδιμων εντόμων είναι χαμηλές σε σύγκριση με εκείνες των ζώων, γεγονός που μπορεί να ωφελήσει τόσο την οικονομία όσο και το περιβάλλον (Halloran et al., 2016). Οι κύκλοι ζωής των εντόμων είναι συνήθως σαφώς μικρότεροι από άλλες πηγές πρωτεΐνης με λιγότερο απαραίτητο χώρο αναπαραγωγής (Klunder et al., 2012). Σε αντίθεση με το χαμηλό κόστος, πωλούνται συχνά σε υψηλές τιμές στην αγορά, φέρνοντας μεγάλες ευκαιρίες εισοδήματος παγκοσμίως (Sribandit et al., 2008).

Η εκκίνηση της εκτροφής εντόμων δεν χρειάζεται υψηλό κεφάλαιο εκκίνησης σε μικρής κλίμακας γεωργικές επιχειρήσεις. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλές φάρμες εντόμων που λειτουργούν από οικογένειες στην Ινδία και τη Νοτιοανατολική Ασία (Halloran et al., 2016). Η βιομηχανική παραγωγή των περισσότερων εντόμων βρίσκεται σε αρχικό αλλά ικανοποιητικό στάδιο. Η εκτροφή συγκεκριμένων ειδών σε μεγάλη κλίμακα σημαίνει το άνοιγμα νέων βιομηχανιών, οι οποίες θα έφερναν ευκαιρίες απασχόλησης, καθώς θα χρειαζόταν εργατικό δυναμικό από την παραγωγή έως τις πωλήσεις. Σύμφωνα με τα μέλη του IPIFF, ο αριθμός των θέσεων εργασίας που δημιουργούνται από τις επιχειρήσεις εντόμων για την παραγωγή ζωοτροφών, θα αυξηθεί σταδιακά. Συγκεκριμένα, μέχρι το 2025 αναμένεται οκταπλάσια αύξηση του αριθμού των άμεσων θέσεων εργασίας σε σχέση με σήμερα - και ο αριθμός αυτός μπορεί να διπλασιαστεί μέχρι το τέλος της δεκαετίας, ξεπερνώντας τις 16.000 θέσεις εργασίας.

Σε μη εκτρεφόμενα είδη, η κατανάλωση εντόμων θα μείωνε την κατανάλωση φυτοφαρμάκων, ειδικά των χημικών. Πολλά βρώσιμα έντομα είναι σημαντικά παράσιτα οικονομικών φυτών, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση με εντομοκτόνα. Κατά συνέπεια, η ποσότητα της επόμενης γενιάς εντόμων θα ελέγχεται από τον περιορισμένο αριθμό ενηλίκων που ζευγαρώνουν, ανάλογα με τον αριθμό

των εντόμων που συγκομίζονται προκειμένου να αξιοποιηθούν ως τροφή ή ζωοτροφή.

5.1 Κυκλική οικονομία

Σημαντική καθίσταται η συνεισφορά των εντόμων στις προσπάθειες για μείωση των οργανικών αποβλήτων. Η παγκόσμια αυξητική τάση στην κατανάλωση πρωτεϊνών, τόσο για τη διατροφή του ανθρώπου, όσο και των ζώων, επέστησε σημαντική προσοχή και ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην εκτροφή εντόμων. Οι εμπλεκόμενοι φορείς εστιάζουν στη δυναμική των εντόμων για μετατροπή οργανικών υλικών χαμηλής ποιότητας σε τρόφιμα και ζωοτροφές υψηλής ποιότητας και θρεπτικής αξίας. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε, χρησιμοποιήθηκαν έντομα και συγκεκριμένα οι προνύμφες του *Hermetia illucens* (μύγα μαύρου στρατιώτη), όπου και επιβεβαιώθηκε ότι τα έντομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των οργανικών αποβλήτων. Μεταξύ των υποστρωμάτων που ταξινομούνται από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων, ελήφθησαν υπόψη τα οικιακά απορρίμματα τροφίμων μη ζωικής προέλευσης. Συγκεκριμένα, τα υποπροϊόντα των καλλιεργειών ή τα υπολείμματα φρούτων και λαχανικών που απορρίπτονται από τις αγορές ενδέχεται να αντιπροσωπεύουν ένα καλό υπόστρωμα για την εκτροφή εντόμων, τα οποία στη συνέχεια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή πρωτεΐνης. Τα απορρίμματα και τα υποπροϊόντα τροφίμων είναι άλλωστε ένα θέμα παγκόσμιας σημασίας που συνδέεται άμεσα με τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι το 1/3 έως το 1/2 της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων καταλήγουν στα σκουπίδια. Σύμφωνα με τη δέσμη μέτρων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την κυκλική οικονομία του 2015 «η μετάβαση σε μια πιο κυκλική οικονομία, όπου η αξία των προϊόντων, των υλικών και των πόρων διατηρείται στην οικονομία για όσο το δυνατόν περισσότερο και η παραγωγή αποβλήτων ελαχιστοποιείται, είναι ουσιαστική συμβολή στις προσπάθειες της ΕΕ για ανάπτυξη μιας βιώσιμης, χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, οικονομικής απόδοσης πόρων και ανταγωνιστικής οικονομίας».

Σύμφωνα με έρευνα που χρησιμοποίησε δεδομένα παραγωγής βιομηχανικής κλίμακας, τεκμηριώθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής εντόμων σε ένα καινοτόμο μοντέλο παραγωγής. Η γαλλική εταιρεία InnovaFeed, έχει αναπτύξει ένα μοναδικό και καινοτόμο μοντέλο βιομηχανικής συμβίωσης, στο οποίο η μονάδα

παραγωγής εντόμων, τροφοδοτείται μέσω αγωγού με υποπροϊόντα από μια συστεγαζόμενη εγκατάσταση αμύλου, με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες σε τροφή των προνυμφών. Οι εισροές για την παραγωγή προνυμφών μύγας μαύρου στρατιώτη επικεντρώθηκαν σε γεωργικά υποπροϊόντα (πίτουρο σίτου και πολτός σίτου), υποπροϊόντα τροφίμων και σε ενέργεια για την τροφοδοσία της μονάδας παραγωγής. Η συστέγαση της μονάδας παραγωγής εντόμων και της μονάδας παραγωγής αμύλου, επέτρεψε τη λήψη του πολτού σίτου στους 80 °C. Η δέσμευση αυτής της θερμότητας συνέβαλε στη διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας στη ζώνη αναπαραγωγής των προνυμφών, μειώνοντας έτσι τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης παραγωγής εντόμων κατά 20%. Ομοίως, η θέση της εγκατάστασης παραγωγής εντόμων κοντά στον στρόβιλο βιομάζας ξύλου του σταθμού συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επέτρεψε τη σύλληψη της απορριπτόμενης ενέργειας του στροβίλου (δηλ. ενέργειας που προηγουμένως διαχέονταν στην ατμόσφαιρα) με τη μορφή νερού στους 60 °C. Η θερμαντική ικανότητα αυτού του θερμαινόμενου νερού εξήχθη στις εγκαταστάσεις παραγωγής εντόμων πριν το νερό σταλεί πίσω στον στρόβιλο για να θερμανθεί ξανά. Αυτή η απορριπτόμενη ενέργεια αντιστοιχούσε στο 53% των ενεργειακών αναγκών της μονάδας παραγωγής. Το υπόλοιπο 47% προερχόταν από τον γειτονικό σταθμό παραγωγής ενέργειας, που αποτελούνταν αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

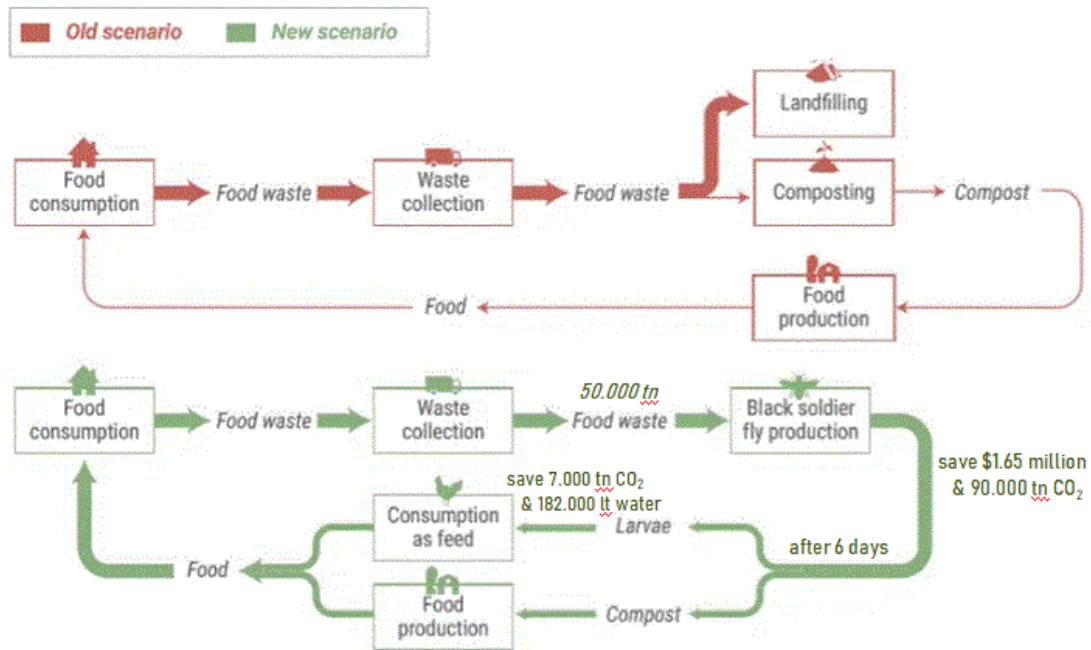
Οι περιβαλλοντικές αποδόσεις του συγκεκριμένου μοντέλου συγκρίθηκαν με μια συμβατική μονάδα παραγωγής εντόμων, υποθέτοντας το ακόλουθο σενάριο. Στη συμβατική μονάδα παραγωγής, τα γεωργικά υποπροϊόντα προμηθεύονται με φορτηγό σε ξηρή μορφή από μια μονάδα παραγωγής σίτου που βρίσκεται σε απόσταση 40km. Ως εκ τούτου, εκτός από τις εκπομπές και την κατανάλωση ενέργειας εξαιτίας της μεταφοράς, προκύπτει και κατανάλωση από τη χρήση πρόσθετου νερού για την ανάμειξη των γεωργικών παραπροϊόντων και τη λήψη ενός υποστρώματος τροφοδοσίας των προνυμφών. Επίσης στη συμβατική μονάδα, η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από το εθνικό δίκτυο. Επιπλέον σε έλλειψη της απορριπτόμενης ενέργειας όπως στο μοντέλο συμβίωσης, απαιτήθηκε θερμότητα για την θέρμανση του χώρου και την ανάπτυξη των προνυμφών.

Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος του μοντέλου βιομηχανικής συμβίωσης ήταν 80% και 83% χαμηλότερος από αυτόν του μοντέλου χωρίς συμβίωση λαμβάνοντας υπόψη τις

εκπομπές CO₂ και την εξάντληση των ορυκτών πόρων αντίστοιχα, ενώ ο αντίκτυπος της χρήσης γης ήταν 3% υψηλότερος. Μια μείωση της τάξης του 80% στις εκπομπές CO₂ αντιστοιχεί σε 57 kt CO₂ τα οποία εξοικονομούνται ετησίως από το εργοστάσιο. Αντίστοιχα η μείωση κατά 83% της ενέργειας που προέρχεται από ορυκτούς πόρους (στη συσχέτιση των δυο μοντέλων), αντιστοιχεί σε 1170 TJ ετησίως, που ισοδυναμεί με ~200.000 βαρέλια πετρελαίου. Αν και το μοντέλο βιομηχανικής συμβίωσης είχε ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με το μοντέλο μη συμβίωσης όσον αφορά τη χρήση γης (οριακή αύξηση 3%), αυτό οφειλόταν στη δασοκομία απαραίτητη για την παροχή ξυλείας στη μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας.

Σύμφωνα με άλλη έρευνα, σχεδιάστηκε ένα σύστημα συνεχούς αναγέννησης στο οποίο τα υποπροϊόντα κάθε διαδικασίας αποτελούσαν το πρωτογενές υλικό για μια άλλη. Ο κύκλος ξεκίνησε με τα υπολείμματα της αγοράς φρούτων και λαχανικών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτροφή προνυμφών μύγας μαύρου στρατιώτη. Μέρος της βιομάζας των εντόμων υποβλήθηκε σε ξήρανση για την εξαγωγή λαδιού το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διατροφή των ψαριών. Ένα άλλο μέρος των προνυμφών καταναλώθηκε από πουλερικά. Τα υπολείμματα του κύκλου εκτροφής του εντόμου χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την καλλιέργεια γαιοσκωλήκων (*Eisenia fetida*), οι οποίοι τα μετέτρεψαν σε βελτιωτικό εδάφους για φυτά.. Η έρευνα ακολούθησε καλές πρακτικές υγιεινής για την πλήρη αλυσίδα παραγωγής εντόμων και την υγεία των εντόμων, σύμφωνα με τις συστάσεις που εκδόθηκαν από την Διεθνή Πλατφόρμα Εντόμων για Τροφές και Ζωοτροφές (IPIFF).

Εικόνα 8: Κυκλικό επιχειρηματικό μοντέλο παραγωγής μύγας μαύρου στρατιώτη.



Πηγή: Metabolic, (2019). “Devouring waste, nourishing the world: how insects can feed a circular economy”.

Τα απορρίμματα τροφίμων αξιοποιούνται ήδη σε μεγάλο βαθμό από επιχειρήσεις σε όλον τον κόσμο, από τη στιγμή που τα έντομα μπορούν να τα μετατρέψουν σε πολύτιμη μάζα σώματος άμεσα και με χαμηλό αντίκτυπο στους πόρους. Για παράδειγμα, ένας τόνος εντόμου μπορεί να καλλιεργηθεί σε έξι ημέρες χρησιμοποιώντας έκταση 20 τετραγωνικών μέτρων.

Ένα ακόμα παράδειγμα αποτελεί η αμερικανική πόλη του Σαρλότ, που χρησιμοποιεί τη μύγα μαύρου στρατιώτη ως βασικό μέρος της μετάβασής της σε μια κυκλική οικονομία. Σύμφωνα με το πρόγραμμα που έχει διαμορφωθεί με σκοπό τη μετάβαση στην κυκλική οικονομία, εάν 50.000 τόνοι απορριμμάτων τροφίμων της πόλης διοχετεύονται στην παραγωγή προνυμφών εντόμων, το γεγονός αυτό θα καταφέρει από μόνο του να μειώσει την ποσότητα των απορριμμάτων τροφίμων, τα οποία πρόκειται να καταλήξουν σε χώρο υγειονομικής ταφής, κατά 5,3%, θα εξοικονομούσε 1,65 εκατομμύρια δολάρια και θα απέτρεπε σχεδόν 90.000 τόνους εκπομπών CO₂ ετησίως μέσω εκτροπής από τους χώρους υγειονομικής ταφής (όπου τα απορρίμματα τροφίμων θα είχαν εκπέμψει μεθάνιο). Επιπλέον 7.000 τόνοι CO₂ θα





εξοικονομηθούν από τους 6.800 τόνους ζωοτροφών πουλερικών που μπορούν να αντικατασταθούν από προνύμφες μύγας μαύρου στρατιώτη. Η αντικατάσταση των ζωοτροφών πουλερικών εξοικονομεί επίσης 182.000 λίτρα νερού ετησίως και 3.200 στρέμματα γης στο συγκεκριμένο παράδειγμα.

5.2 Προβλέψεις σε παραγωγή και επενδύσεις

Το 2020, οι παγκόσμιες επενδύσεις σε πρωτεΐνη εντόμων άγγιξαν τα 475 εκατομμύρια δολάρια και οι αναλυτές αναμένουν ότι η αγορά θα ξεπεράσει τα 4,1 δισεκατομμύρια δολάρια τα επόμενα πέντε χρόνια. Οι προβλέψεις σε όγκο παραγωγής για ζήτηση πρωτεϊνών εντόμων κυρίως ως συστατικό σε ζωοτροφές και τροφές για κατοικίδια, κάνουν λόγο για μισό εκατομμύριο τόνους έως το 2030, από την σημερινή αγορά περίπου 10.000 τόνων. Ανώτεροι αναλυτές θεωρούν η επίτευξη αυτού του όγκου, θα είναι ένα σημείο ορόσημο για τη βιομηχανία εντόμων. Τα κέρδη απόδοσης λόγω της αυξανόμενης τεχνολογίας, των βελτιώσεων στη γενετική, του αυτοματισμού και των νομοθετικών αλλαγών θα επιτρέψουν επίσης την μείωση του κόστους. Προς το παρόν, οι κύριοι παράγοντες που περιορίζουν την ανάπτυξη του τομέα, θεωρούνται η τρέχουσα περιορισμένη παραγωγική ικανότητα και η νομοθεσία. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι επενδύσεις στην βιομηχανία εντόμων το 2018 ήταν 45% υψηλότερες σε σχέση με το άθροισμα των επενδύσεων των τριών προηγούμενων ετών. Αυτό συνέβη εξαιτίας της έγκρισης της Ευρωπαϊκής Ένωσης της χρήσης των πρωτεϊνών εντόμων στις ιχθυοτροφές.

Σήμερα η ζήτηση για πρωτεΐνες εντόμων δείχνει να είναι μεγαλύτερη από την προσφορά της. Οι κορυφαίοι παίκτες στην βιομηχανία εντόμων, ήδη σχεδιάζουν την επέκταση των εγκαταστάσεών τους και την παραγωγή σε μεγαλύτερη κλίμακα. Το υψηλό κόστος στην παραγωγή εντόμων σε επιχειρήσεις μικρής κλίμακας που υπάρχει ακόμα σήμερα, ευθύνεται για τις υψηλές τιμές, οι οποίες με τη σειρά τους εμποδίζουν τη ζήτηση. Η τιμή της πρωτεΐνης εντόμων κυμαίνεται σήμερα μεταξύ 3.500€ και 5.500€ ανά τόνο. Η τιμή αυτή είναι σημαντικά υψηλότερη από την τιμή του ιχθυάλευρου και της σόγιας. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε, αξιολογήθηκε η δυνητική αγορά πρωτεϊνών εντόμων χωρίς τους περιορισμούς της προσφοράς και της νομοθεσίας. Εξετάστηκαν τρία στάδια έως το 2030 όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, αυτό της φάσης αναβάθμισης, της περιόδου ευρύτερης χρήσης και της φάσης ωριμότητας.

Εικόνα 9: Δυναμικό αγοράς μισού εκατομμυρίου τόνων για πρωτεΐνη εντόμων έως το 2030

		Animal feed					
		Total	Pet food	Aquaculture	Poultry - Layers	Poultry - Broilers	Piglets
							
Estimated market size (metric tons)	Scale-up phase: EUR 3,500–EUR 5,500/metric ton	120,000	65,000	20,000	20,000	10,000	5,000
	Wider-use period: EUR 2,500–EUR 3,500/metric ton	200,000	85,000	55,000	30,000	20,000	10,000
	Maturity phase: EUR 1,500–EUR 2,500/metric ton	500,000	150,000	200,000	70,000	50,000	30,000

Source: Rabobank 2021

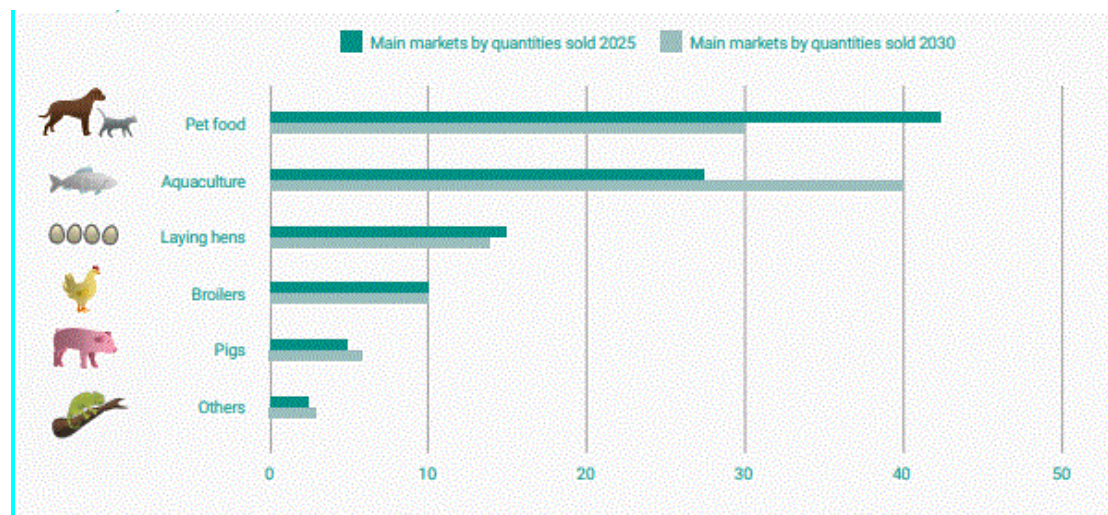
Πηγή: Byrne, G., (2021), “Demand for insect protein could hit 500.000 tons by 2030”.

Στην δεύτερη φάση που θα βασιστεί στην έρευνα των λειτουργικών ιδιοτήτων των εντόμων, αναμένουμε να έχουμε πτώση της τιμής κατά 1000€ ανά τόνο. Ερευνητικά στοιχεία αποκαλύπτουν ότι εκτός από την υψηλή θρεπτική αξία των εντόμων, σημαντικό ρόλο παίζει και η γευστικότητα. Επιπλέον η υγεία του εντέρου ορισμένων ειδών μπορεί να βελτιωθεί συμπεριλαμβάνοντας έντομα στη διατροφή. Σε αυτή τη φάση οι πρωτεΐνες εντόμων θα χρησιμοποιηθούν παράλληλα με το ιχθυάλευρο και το γεύμα σόγιας. Μετά το 2030 αναμένεται η πτώση της τιμής των πρωτεϊνών εντόμων να είναι πια συγκρίσιμη με αυτή των ιχθυάλευρων.

Η Διεθνή Πλατφόρμα Εντόμων για Τροφές και Ζωοτροφές (IPIFF), λαμβάνοντας υπόψη τόσο την παραπάνω έκθεση της Rabobank (2021) όσο και πρόσφατους οικονομικούς δείκτες και τεχνικές εκτιμήσεις, φιλοδοξεί ότι έως το 2030 η συνολική παραγωγική ικανότητα του Ευρωπαϊκού τομέα εντόμων να αγγίξει το 1 εκατομμύριο τόνους σε άλευρο εντόμων. Ωστόσο, ο κύριος περιορισμός αυτής της προσέγγισης είναι η απουσία ακριβούς χρονοδιαγράμματος για τις επερχόμενες ρυθμιστικές εξελίξεις π.χ. έγκριση νέων υποστρωμάτων (τα οποία ταυτόχρονα θα οδηγήσουν σε μείωση της τιμής του τελικού προϊόντος).

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αναμενόμενη ανάπτυξη των κύριων αγορών στις οποίες στοχεύουν οι υπεύθυνοι στη βιομηχανία ζωοτροφών με βάση τα έντομα.

Εικόνα 10: Αναμενόμενη ανάπτυξη των κύριων αγορών της βιομηχανίας εντόμων για ζωοτροφή με βάση τις ποσότητες που θα πουληθούν έως το 2025 και έως το 2030.



Πηγή: IPIFF, (2021), “An overview of the European market of insects as feed”

Στα μέσα της δεκαετίας το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης για άλευρο εντόμων θα βρίσκεται στον τομέα τροφών για κατοικίδια ζώα (περίπου στο 43%). Στη συνέχεια, η τάση που παρατηρήθηκε μετά την έγκριση των εντόμων στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας θα συνεχιστεί, οδηγώντας σε σταθερή αύξηση (φτάνοντας το 27-40% ως προς το μερίδιο). Οι αγορές που ακολουθούν είναι αυτές των ορνίθων ωοπαραγωγής και κρεατοπαραγωγής με μερίδιο 20-30% και αυτή των χοίρων με ποσοστά επί του συνόλου 5-15%.

Από την άλλη, η βιομηχανία ζωοτροφών από 345 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020, αναμένεται να φτάσει τα 460 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2026. Αυτός ο τομέας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην καλλιέργεια σιτηρών με ένταση νερού και άνθρακα, σε μια εποχή που το κόστος των εισροών φυτοπροστατευτικών προϊόντων και λιπασμάτων αυξάνεται και οι πόροι γλυκού νερού γίνονται όλο και πιο αναξιόπιστοι. Παγκοσμίως, οι φάρμες ζώων καταναλώνουν περισσότερο από το ένα τρίτο της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής σιτηρών, ενώ στις ΗΠΑ το μερίδιο πλησιάζει στο μισό. Οι ζωοτροφές με βάση τα έντομα θα μπορούσαν να αποτελέσουν ευκαιρία αυτής της βιομηχανίας για την οικοδόμηση ανθεκτικότητας στο κλίμα, ενώ παράλληλα θα βοηθούσαν στη διαχείριση μιας κρίσης σπατάλης τροφίμων.

Ειδικά η μύγα μαύρου στρατιώτη χρήσιμη ως τροφή για κοτόπουλο και ψάρια, απαιτεί 1.000 φορές λιγότερη γη ανά μονάδα πρωτεΐνης που παράγεται σε σύγκριση με την παραγωγή σόγιας, από 50 έως 100 φορές λιγότερο νερό και μηδενικές εισροές φυτοπροστατευτικών προϊόντων και λιπασμάτων. Η μύγα μαύρου στρατιώτη πλεονεκτεί στο ότι μπορεί να τραφεί με υπολείμματα τροφών μας. Κάθε κιλό προνυμφών εντόμου μπορεί να τραφεί με δέκα κιλά υπολειμμάτων τροφών που εκπέμπουν μεθάνιο, παίζοντας σημαντικό ρόλο στη διατήρηση των οργανικών αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής και στην ανάκτηση αυτών των θρεπτικών συστατικών, ώστε να μπορέσουν να εισέλθουν ξανά στην τροφική αλυσίδα. Επιπλέον, οι προνύμφες παράγουν ένα πολύτιμο υποπροϊόν: τα περιττώματά τους είναι ένα λίπασμα πλούσιο σε άζωτο και μικροοργανισμούς, ικανό να αποκαταστήσει την ποιότητα του εδάφους και να ενισχύσει την ικανότητα αποθήκευσης άνθρακα.

Παρά τα πλεονεκτήματα, οι πρωτεΐνες εντόμων διατηρούν προς το παρόν μια μικρή μερίδα της συνολικής αγοράς ζωοτροφών, σε μεγάλο βαθμό λόγω του κόστους. Καθώς ο κλάδος κλιμακώνεται, αυτά τα κόστη θα μειώνονται γρήγορα. Μεγάλη αναμένεται να είναι και η συνεισφορά του FDA (Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών) σε βασικές ρυθμιστικές αλλαγές προκειμένου να βοηθήσει τη βιομηχανία να επεκταθεί.

6. Διερεύνηση περίπτωσης: Αντικατάσταση ιχθυάλευρου με άλευρο εντόμων χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά (Yellow Mealworm *Tenebrio molitor*) - Βελτιώνει την ανάπτυξη και την ανοσία των λευκών γαρίδων του Ειρηνικού (*Litopenaeus vannamei*)

6.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι λευκές γαρίδες του Ειρηνικού είναι ένα από τα πιο κοινά εμπορευματοποιημένα θαλάσσια είδη στην υδατοκαλλιέργεια. Τα τελευταία χρόνια, η εμπορική παραγωγή αυτής της γαρίδας έχει αντιμετωπίσει μεγάλες προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της διαθεσιμότητας και του κόστους των ιχθυαλεύρων, της κύριας πηγής πρωτεΐνης των εμπορικών γαρίδων, καθώς και συχνών κρουσμάτων συνδρόμου πρώιμης θνησιμότητας (EMS) μεταξύ των αποθεμάτων γαρίδας. Στην παρούσα μελέτη μια ομάδα ερευνητών διερεύνησε, εάν η αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με αλεύρι από προνύμφες εντόμων (*Tenebrio molitor*) χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά, θα μπορούσε να ξεπεράσει αυτές τις προκλήσεις. Τα αποτελέσματα από μια σειρά δοκιμών σίτισης έδειξαν ότι είναι δυνατό να αντικατασταθεί μερικώς ή πλήρως το ιχθυάλευρο με αυτό το άλευρο εντόμων σε ισοπρωτεϊκές και ισοενεργειακές δίαιτες. Το άλευρο εντόμων βελτίωσε τις επιδόσεις ανάπτυξης και μετατροπής της τροφής της γαρίδας. Οι βέλτιστες επιδόσεις επιτεύχθηκαν στο 50% της αντικατάστασης ιχθυαλεύρων. Επιπλέον, οι γαρίδες που τρέφονταν με το γεύμα εντόμων και στη συνέχεια προσβλήθηκαν με το παθογόνο βακτήριο *Vibrio parahaemolyticus*, είχαν σημαντικά βελτιωμένα ποσοστά επιβίωσης και μειωμένη ανοσοκαταστολή. Το συμπέρασμα που προέκυψε από τη μελέτη, είναι ότι το άλευρο που παράγεται από προνύμφες *Tenebrio molitor*, μπορεί να αντικαταστήσει επιτυχώς το ιχθυάλευρο στην εμπορική παραγωγή γαρίδας, λόγω της υψηλής πρωτεϊνικής αξίας του γεύματος και της παρουσίας χιτίνης και άλλων βιοδραστικών ουσιών που καταπολεμούν τη μόλυνση από παθογόνους παράγοντες.

Η λευκή γαρίδα του Ειρηνικού (*Litopenaeus* [L.] *vannamei*) είναι ένα από τα πιο κοινά παραγόμενα είδη γαρίδας στον κόσμο με επίπεδα παραγωγής που αναφέρθηκαν ότι ήταν περισσότερα από 3,67 εκατομμύρια μετρικούς τόνους το 2014. Το ιχθυάλευρο (FM) είναι μια πολύ σημαντική πηγή πρωτεΐνης στην υδατοκαλλιέργεια.

Πρόσφατα, ένας συνδυασμός οικολογικών προβλημάτων και οικονομικών ζητημάτων επηρέασε την παροχή FM και αυτό, με τη σειρά του, έχει πυροδοτήσει την αναζήτηση εναλλακτικών διατροφικών πηγών πρωτεΐνης, όπως υποπροϊόντα ή φυτικές πρωτεΐνες. Το FM περιέχει τα απαραίτητα αμινοξέα, μέταλλα και νουκλεοτίδια που απαιτούνται για τα εμπορικά παραγόμενα σαρκοφάγα είδη υδατοκαλλιέργειας και το FM είναι, επομένως, απαραίτητο συστατικό στη διατροφή των ψαριών και των γαρίδων για τη διατήρηση της παραγωγής, της ανάπτυξης και της υγείας γενικότερα.

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών, τα έντομα μπορούν να είναι μια βιώσιμη πηγή πρωτεϊνών (FAO, 2020). Το γέυμα εντόμων παρέχει μια καλή πηγή αμινοξέων, λιπιδίων, μετάλλων, βιταμινών και ενέργειας. Το στάδιο της προνύμφης του εντόμου *Tenebrio molitor*, είναι ένας καλός υποψήφιος για χρήση ως συστατικό τροφής υψηλής πρωτεΐνης που θα μπορούσε να αντικαταστήσει το ιχθυάλευρο για τα σαρκοφάγα είδη υδατοκαλλιέργειας.

Μελέτες που αξιολογούν την αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με άλευρο εντόμων με πλήρη λιπαρά για γαρίδες και ψάρια που παράγονται στο εμπόριο, έχουν αναφέρει ανόμοιες επιδόσεις ανάπτυξης στο ίδιο είδος. Αυτό μπορεί να είναι συνέπεια διαφορών στη διαδικασία προετοιμασίας του γεύματος ή/και στη διαμόρφωση της δίαιτας. Η διατροφική ποιότητα των αλεύρων ζωικής πρωτεΐνης συνδέεται άμεσα με την επεξεργασία και τη φρεσκάδα της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, σε ένα είδος πέστροφας, μια μελέτη έδειξε ότι ένα γέυμα προνυμφών από μαύρη μύγα στρατιώτη θα μπορούσε να αντικαταστήσει το 50% του ιχθυάλευρου χωρίς να επηρεάσει την ανάπτυξη. Όσον αφορά τις γαρίδες, οι Katya et al. (2017) ανέφεραν ότι η μύγα μαύρου στρατιώτη (*Hermetia illucens*) με πλήρη λιπαρά, μπορεί να αντικαταστήσει έως και το 25% του ιχθυάλευρου χωρίς να επηρεάσει την ανάπτυξη της γαρίδας. Ομοίως, προηγούμενες μελέτες για δίαιτες βασισμένες σε γέυματα με *T. Molitor* με πλήρη λιπαρά που συμπληρώθηκαν επαρκώς με μεθειονίνη (απαραίτητο αμινοξύ που απουσιάζει από τα άλευρα χερσαίων ειδών), έδειξαν παρόμοια ή ανώτερη θρεπτική αξία και απόδοση ανάπτυξης της λευκής γαρίδας Ειρηνικού σε σύγκριση με τη δίαιτα που βασίζεται σε ιχθυάλευρο.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή γαρίδας είναι οι εστίες ασθενειών που θεωρούνται ότι συνδέονται με μειωμένους ρυθμούς ανάπτυξης και υψηλές

θνησιμότητες, ειδικά στο πλαίσιο των παθογόνων ειδών του *Vibrio* spp. σε νερά εκμεταλλεύσεων γαρίδας. Η οξεία νόσος της ηπατοπαγκρεατικής νέκρωσης που προκαλείται από το παθογόνο *Vibrio parahaemolyticus* στις γαρίδες έχει, τις τελευταίες δεκαετίες, οδηγήσει σε μεγάλες απώλειες στην παραγωγή. Οι γαρίδες δεν έχουν προσαρμοστικό ανοσοποιητικό σύστημα για την καταπολέμηση ασθενειών. Έτσι, στο πλαίσιο της εντατικής εκτροφής γαρίδας, οι παραγωγοί πρέπει να βρουν τρόπους να ενισχύσουν το έμφυτο ανοσοποιητικό σύστημα της γαρίδας και να βελτιώσουν την αντοχή στις ασθένειες. Κατά συνέπεια, πρωταρχικό μέλημα είναι η υγεία της γαρίδας και η ενίσχυση του έμφυτου ανοσοποιητικού συστήματος. Η διατροφική χιτίνη και το έλαιο κριλ (πλούσια σε χιτίνη) έχει αποδειχθεί ότι ρυθμίζουν το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών και των γαρίδων. Σε αντίθεση με το ιχθυάλευρο, τα γεύματα εντόμων περιέχουν χιτίνη, η οποία είναι ένας πολυσακχαρίτης όμοιος με την κυτταρίνη και αποτελείται από γραμμικώς πολυμερισμένη β -(1,4)-N-ακετυλ-D-γλυκοζαμίνη. Η χιτίνη είναι ένα κοινό συστατικό του εξωσκελετού των εντόμων που βρίσκεται στα κυτταρικά τους τοιχώματα.

Επί του παρόντος, η βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας αναζητά εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών για την εμπορική εκτροφή γαρίδων, πρωτεΐνες που ενισχύουν την ανάπτυξη, καθώς και τη βελτίωση της ανοσίας και της αντοχής των γαρίδων στις ασθένειες. Ως εκ τούτου, τα γεύματα εντόμων μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην οικονομία και τη βιωσιμότητα της εκτροφής γαρίδας σε σύγκριση τόσο με τα ιχθυάλευρα όσο και με τις δίαιτες που βασίζονται σε φυτικά γεύματα. Πράγματι, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των εντόμων έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ χαμηλότερο από τις φυτικές πρωτεΐνες, καθώς η παραγωγή τους απαιτεί λιγότερη καλλιεργήσιμη γη, νερό και ενέργεια.

Ο στόχος της μελέτης ήταν να αξιολογήσει τις διατροφικές επιδράσεις ενός επεξεργασμένου με χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά, γεύματος κίτρινου αλευροσκώληκα (*T. molitor*) σε νεαρές γαρίδες. Η μελέτη αξιολόγησε επίσης την ανοσοαπόκριση και την αντίσταση σε ένα κοινό παθογόνο βακτήριο, το *Vibrio parahaemolyticus*.

6.2 Υλικά και μέθοδοι

6.2.1 Γαρίδες και Πειραματικές Συνθήκες

Τα πειράματα της μελέτης πραγματοποιήθηκαν στο Nutrition and Aquafeed Laboratory, Τμήμα Υδατοκαλλιέργειας, Σχολή Αλιείας, Πανεπιστήμιο Kasetsart, Ταϊλάνδη από μια ομάδα ερευνητών. Οι μετανύμφες των 0,5 g της λευκής γαρίδας του Ειρηνικού (*L. vannamei*) που προέρχονται από μια συγκεκριμένη γενεαλογία απαλλαγμένη από παθογόνα, ελήφθησαν από ένα σταθμό υδατοκαλλιέργειας νεαρών γαρίδων στην επαρχία Samutsakhon στην Ταϊλάνδη από τους Henry & Jintasatporn (2019). Μετά από 21 ημέρες εγκλιματισμού, νεαρές γαρίδες 1,5 g – 1,6 g κατανεμήθηκαν τυχαία σε δεξαμενές 100 λίτρων. Η πυκνότητα εκτροφής καθορίστηκε στις 60 γαρίδες/m² (15 άτομα/δεξαμενή). Αυτές οι δεξαμενές περιείχαν 80 λίτρα αλατούχου νερού 15 ppt με pH που κυμαίνεται από 7,0–7,5 και ολικό αμμωνιακό άζωτο (NH₃-N) κάτω από 0,02 mg/lit. Το οξυγόνο παρέχεται από έναν φυσητήρα σε κάθε δεξαμενή και διατηρήθηκε σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από 5 mg/lit. Οι τροφές χορηγήθηκαν 3 φορές την ημέρα στο 3%-5% του σωματικού βάρους της γαρίδας για 8 εβδομάδες. Οι μη καταναλωθείσες ζωοτροφές και τα περιττώματα απομακρύνονταν καθημερινά και το 20% του νερού ανταλλάσσονταν κάθε 3 ημέρες. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε μεταξύ 26 °C και 30 °C. Οι Henry & Jintasatporn (2019) εκτέλεσαν τα πειράματα 6 φορές.

6.2.2 Σύνθεση Γεύματος Κίτρινου Αλευροσκώληκα

Το γεύμα κίτρινου αλευροσκώληκα παρείχε η εταιρεία Ynsect με έδρα την Γαλλία. Πρόκειται για ένα εμπορικό προϊόν που ονομάζεται YnMealTM (YM), το οποίο είναι μια αποξηραμένη σκόνη που λαμβάνεται από την επεξεργασία προνυμφών του εντόμου *T. molitor* που εκτρέφονται σε υποστρώματα φυτικής προέλευσης.

6.2.3 Προετοιμασία διαίτας

Οι Henry & Jintasatporn (2019) σχεδίασαν πέντε πειραματικές δίαιτες για να μειώσουν σταδιακά την αναλογία ιχθυάλευρου (FM), αυξάνοντας παράλληλα την περιεκτικότητα σε YM. Το ιχθυάλευρο αντικαταστάθηκε στα ακόλουθα επίπεδα: 0% (έλεγχος/μάρτυρας), 25%, 50%, 75% και 100% (πλήρης αντικατάσταση) από YnMeal ενώ προσαρμόστηκε η περιεκτικότητα σε σογιέλαιο και αλεύρι σίτου. Όλες οι δίαιτες

διαμορφώθηκαν για να είναι ισοπρωτεϊκές και ισολιπιδικές, με σεβασμό των τιμών της λυσίνης και της μεθειονίνης σύμφωνα με τις συστάσεις του NRC (Εθνικό συμβούλιο έρευνας –απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά των ψαριών) του 2011.

Τα υλικά τροφοδοσίας αλέστηκαν στα 150-250 micron, αναμίχθηκαν μεταξύ τους και στη συνέχεια υγράθηκαν απαλά για να φτάσουν το 25% της υγρασίας. Το προκύπτον υγρό μείγμα διήλθε μέσω μηχανής κιμά για να σχηματίσει σφαιρίδια 2 x 2 mm. Τα σφαιρίδια ξηράθηκαν στον αέρα στους 65 °C για 12 ώρες για να φτάσουν περίπου το 10% υγρασία. Τα ξηρά σφαιρίδια τελικά αποθηκεύτηκαν στους -20 °C σε συσκευασμένες σε κενό και ερμητικά σφραγισμένες πλαστικές σακούλες.

6.2.4 Αξιολόγηση της ανάπτυξης και της μετατροπής της τροφής

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου, καταγράφηκαν οι ποσότητες της παρεχόμενης τροφής και η μη καταναλωμένη τροφή ζυγίστηκε μετά το φιλτράρισμα και την ξήρανση. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν από τους Henry & Jintasataporn (2019) για τον υπολογισμό της τροφής που καταναλώθηκε. Δείγματα από γαρίδες ελήφθησαν κάθε δύο εβδομάδες μέχρι το τέλος των 8 εβδομάδων για αξιολόγηση της ανάπτυξης. Η θνησιμότητα παρακολουθούνταν καθημερινά. Οι επιδόσεις ανάπτυξης υπολογίστηκαν μέσω της αξιολόγησης της αύξησης βάρους, της μέσης ημερήσιας αύξησης βάρους, του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης (SGR) και του ποσοστού θνησιμότητας. Οι επιδόσεις χρήσης του εκάστοτε γεύματος υπολογίστηκαν βάσει της αναλογίας μετατροπής της τροφής (FCR) και της αναλογίας πρωτεϊνικής απόδοσης (PER).

Εικόνα 11: Επιδόσεις ανάπτυξης.

$$WG = W_t - W_0 \quad (1)$$

$$ADG \text{ (g/d)} = \frac{W_t - W_0}{\text{rearing days}} \quad (2)$$

$$SGR \text{ (%/d)} = 100 \times \frac{\ln(W_t) - \ln(W_0)}{t \text{ (rearing days)}} \quad (3)$$

$$FCR = \frac{\text{Total dry feed intake}}{W_t - W_0} \quad (4)$$

$$PER = \frac{W_t - W_0}{\text{Total feed intake} \times \text{Protein content of the diet}} \quad (5)$$

Πηγή: Motte, C., Rios, A., Lefebvre, T., Do, H., Henry, M., Jintasataporn, O. (2019). “Replacing Fish Meal with Defatted Insect Meal (Yellow Mealworm *Tenebrio molitor*) improves the Growth and Immunity of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)”. *Animals*, 9(5).

όπου W_t είναι το βάρος ανά γαρίδα ανά δεξαμενή που λαμβάνεται τη χρονική στιγμή t , WG είναι η αύξηση βάρους, ADG είναι το μέσο ημερήσιο κέρδος, PER είναι η αναλογία πρωτεϊνικής απόδοσης.

6.2.5 Στατιστική ανάλυση

Πειραματικές μονάδες σε όλες τις βιοδοκιμές αποδόθηκαν από τους ερευνητές σε κάθε θεραπεία σε ένα πλήρες τυχαιοποιημένο πειραματικό σχέδιο. Όλες οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν με το στατιστικό λογισμικό R (έκδοση 3.5.3). Οι πολυωνυμικές αντιθέσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο γραμμικών, τετραγωνικών και κυβικών τάσεων μεταξύ των διαφορετικών αποκρίσεων ανάπτυξης και αντικατάστασης του ποσοστού ιχθυάλευρου (FM). Εάν ένα ANOVA που προέκυψε από αυτές τις αναλύσεις ήταν σημαντικό, χρησιμοποιήθηκαν μέσοι όροι ελαχίστου τετραγώνου (R: συνάρτηση `lsmeans`) για τον έλεγχο των διαφορών ανά

ζεύγη μεταξύ των επιπέδων αντικατάστασης FM. Οι συγκρίσεις κατά ζεύγη χρησιμοποίησαν την δοκιμή σημαντικής διαφοράς του Tukey. Οι στατιστικές δοκιμές θεωρήθηκαν σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα υπολείμματα ελέγχθηκαν ως προς την κανονικότητα χρησιμοποιώντας γραφικές παραστάσεις από ποσοστό σε ποσοστό και χρησιμοποιήθηκαν δοκιμές Bartlett για την αξιολόγηση της ομοιογένειας των διακυμάνσεων. Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα με διωνυμική κατανομή σφαλμάτων (R: συνάρτηση glm) χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση διαφορών στη θνησιμότητα μεταξύ %FM αντικατάστασης ιχθυάλευρου στις αναλύσεις ανάπτυξης και πρόκλησης χρησιμοποιώντας τη δοκιμή αναλογίας πιθανότητας. Οι διαφορές θεραπείας κατά ζεύγη αξιολογήθηκαν με την ειλικρινή δοκιμασία σημαντικής διαφοράς του Tukey.

Η γενικευμένη παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων (R: συνάρτηση gls) χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση των διαφορετικών ανοσολογικών αποκρίσεων ως συνάρτηση της αντικατάστασης FM, της κατάστασης πρόκλησης («προκληθείσα» ή αμφισβητούμενη) και της αλληλεπίδρασής τους. Αυτός ο όρος αλληλεπίδρασης χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο των διαφορών στις κλίσεις απόκρισης μεταξύ «προ-πρόκλησης» και γαρίδας που προκλήθηκαν από βακτήρια. Μια δομή συσχέτισης σύνθετης συμμετρίας καθορίστηκε στο μοντέλο για να ληφθεί υπόψη η εξάρτηση των μετρήσεων («προ-πρόκληση» έναντι αμφισβήτησης) που έγιναν στην ίδια ομάδα γαρίδων. Όταν παρατηρήθηκε μη ομοιογένεια διακυμάνσεων μεταξύ της διαφορετικής κατάστασης γαρίδας, προσαρμόστηκαν μεμονωμένες αποκλίσεις σε κάθε ομάδα κατάστασης. Ομοίως, η δοκιμή Wald Chi-square χρησιμοποιήθηκε για να ελεγχθεί η σημασία των εκτιμώμενων παραμέτρων στα μοντέλα.

6.2.6 Δοκιμή πρόκλησης με χρήση του *Vibrio Parahaemolyticus*

Η αντοχή της λευκής γαρίδας του Ειρηνικού έναντι του *V. parahaemolyticus* αξιολογήθηκε από την ομάδα ερευνητών αμέσως μετά τη δοκιμή σίτισης 8 εβδομάδων. Οι Henry & Jintasataporn (2019) προμηθεύτηκαν το παθογόνο στέλεχος από το Περιφερειακό Κέντρο Έρευνας και Ανάπτυξης Παράκτιας Υδατοκαλλιέργειας 2 (Samutsakhorn), Τμήμα Αλιείας, Υπουργείο Γεωργίας και Συνεταιρισμού, Ταϊλάνδη. Τρεις ομάδες των 10 γαρίδων ανά θεραπεία ελήφθησαν τυχαία από τη δοκιμή σίτισης και χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή πρόκλησης. Η δοκιμασία

πρόκλησης πραγματοποιήθηκε με μόλυνση κάθε γαρίδας με ενδομυϊκή ένεση $4,3 \times 10^5$ CFU/mL *V. parahaemolyticus*. Ο ίδιος αριθμός γαρίδων ανά θεραπεία ελήφθη επίσης τυχαία και στη συνέχεια εγχύθηκε με φυσιολογικό ορό (0,85%) για να χρησιμοποιηθεί ως μάρτυρας. Οι πειραματικές γαρίδες διατηρήθηκαν στην ίδια κατάσταση ενυδρείου και εκτροφής όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Κάθε θεραπεία επαναλήφθηκε 3 φορές. Η θνησιμότητα παρακολούθηθηκε για 10 ημέρες.

6.3 Αποτελέσματα

Ο κύριος στόχος της μελέτης ήταν να αξιολογήσει εάν το FM μπορεί να αντικατασταθεί από το YM στη διατροφή των γαρίδων που εκτρέφονται σε εμπορικές δραστηριότητες. Αξιολογήθηκε η απόδοση ανάπτυξης και χρήσης τροφής, καθώς και οι ανοσολογικές παράμετροι των γαρίδων που τρέφονταν με δίαιτες που περιείχαν διαφορετικές αναλογίες YM και FM. Επειδή ο ρυθμός ανάπτυξης των γαρίδων σχετίζεται με κρούσματα ασθενειών μεταξύ των γαρίδων που εκτρέφονται εμπορικά, ήταν σημαντικό να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος της αντικατάστασης του FM με το YM στο ανοσοποιητικό σύστημα των γαρίδων. Στις γαρίδες χορηγήθηκε μετά από μια δοκιμή σίτισης 8 εβδομάδων μια ένεση *V. Parahaemolyticus*, ένα παθογόνο βακτήριο που είναι γνωστό ότι οδηγεί σε υψηλή θνησιμότητα μεταξύ των γαρίδων. Διαπιστώθηκε ότι κατά τα πρώιμα στάδια ανάπτυξης της γαρίδας, το YM θα μπορούσε να αντικαταστήσει ευνοϊκά το FM σε ισοπρωτεϊνικές και ισοενεργειακές δίαιτες, με θετικά αποτελέσματα στην απόδοση ανάπτυξης και στην ανοσία των γαρίδων.

Η μελέτη υποστηρίζει τη συμπερίληψη του *YnMeal TM* σε δίαιτες γαρίδας, καθώς βελτιώνει ουσιαστικά την ανάπτυξη όταν συνδυάζεται με FM χωρίς να προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις στην επιβίωση των γαρίδων ή στην κατάποση της τροφής, ακόμη και όταν το 100% του FM αντικαθίσταται από YM. Παρατηρήθηκε ότι η αντικατάσταση σε ποσοστό 50% του FM με YM, μας δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα σε τελική βιομάζα σώματος. Επιπλέον, ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη αυτού του συστατικού τροφής είναι η βελτίωση της ανοσίας και της αντίστασης στις ασθένειες, κάτι που μεταφράζεται σε βελτίωση της επιβίωσης της γαρίδας. Ο ρυθμός θνησιμότητας μειώνεται στο μέγιστο, με την αντικατάσταση του FM με YM σε ποσοστό 75%. Η βελτίωση της ανοσίας έχει μεγάλη σημασία, καθώς η μείωση της θνησιμότητας αυξάνει τις ποσότητες παραγωγής της γαρίδας. Τα

αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τις μεγάλες δυνατότητες του ÝnMeal TM (YM)
ως λειτουργικής πηγής τροφής για γαρίδες εκτροφής.

Επίλογος- Συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί ένα αυξημένο ενδιαφέρον του δυτικού κόσμου να εντάξει στις διατροφικές του συνήθειες τροφές με βάση τα έντομα. Έτσι, είτε ολόκληρα συσκευασμένα έντομα, είτε τρόφιμα που περιέχουν αλεσμένα έντομα, κάνουν όλο και συχνότερα και σε μεγαλύτερη κλίμακα την εμφάνισή τους σε καταστήματα τροφίμων των ανεπτυγμένων χωρών. Περισσότερο από το 80% των δημοσιεύσεων που αφορούσαν εδώδιμα έντομα, έκαναν την εμφάνισή τους κατά την διάρκεια της τελευταίας πενταετίας (van Huis, 2022). Η έρευνα άλλωστε δείχνει ότι τα έντομα θα μπορούσαν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της επικείμενης κρίσης εφοδιασμού με πρωτεΐνες, αλλά και στο ζήτημα της κάλυψης των διατροφικών αναγκών του ραγδαία αυξανόμενου πληθυσμού της γης. Καθίσταται σαφές ότι συνολικά τα έντομα περιέχουν επαρκή επίπεδα πρωτεϊνών, λιπών και άλλων μικροθρεπτικών συστατικών για να συμβάλλουν στη βελτίωση της παγκόσμιας υγείας και της ασφάλειας των τροφίμων, τόσο μέσω της αξιοποίησής τους ως προϊόντα ανθρώπινης κατανάλωσης όσο και μέσω της χρήσης τους στις ζωοτροφές. Επιπρόσθετα, το μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα των τροφών που παράγονται με βάση τα έντομα, καθώς επίσης και η υψηλότερη οικονομική τους αξία σε σχέση με άλλες πηγές ζωικής πρωτεΐνης δεν πρέπει να παραβλεφθεί. Είναι εμφανές ότι οι επενδύσεις στη βιομηχανία εντόμων παρουσιάζουν αυξητική πορεία, εντούτοις, η τρέχουσα περιορισμένη παραγωγική ικανότητα σε συνδυασμό με τις ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις θεωρούνται οι κύριοι παράγοντες που εμποδίζουν την ανάπτυξη και επέκταση του τομέα. Τα βρώσιμα έντομα φαίνεται να αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση από το συμβατικό κρέας, ωστόσο αναπτύσσεται αντίσταση στην υιοθέτησή τους από τον δυτικό κόσμο.

Στην ευρωπαϊκή στρατηγική για την προώθηση των πρωτεϊνούχων καλλιεργειών, έχει ληφθεί υπόψη ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση πάσχει από σοβαρό έλλειμμα σε πρωτεΐνες λόγω των αναγκών του κτηνοτροφικού της τομέα, ο οποίος εξαρτάται από τις εισαγόμενες από τρίτες χώρες ζωοτροφές. Αντίστοιχα, στην ευρωπαϊκή στρατηγική «από το αγρόκτημα στο πιάτο», η Επιτροπή εξετάζει τους κανόνες της ΕΕ για τη μείωση της εξάρτησης από κρίσιμης σημασίας πρώτες ύλες ζωοτροφών (π.χ. καλλιέργειες σόγιας σε αποδασωμένες εκτάσεις) και προωθεί τις φυτικές πρωτεΐνες που καλλιεργούνται στην ΕΕ, καθώς και εναλλακτικές πρώτες ύλες ζωοτροφών, όπως

έντομα. Λαμβάνοντας υπόψη τις δεσμεύσεις της ευρωπαϊκής στρατηγικής «από το αγρόκτημα στο πιάτο», την επερχόμενη επισιτιστική κρίση, την κρίση στον τομέα της ενέργειας, την έλλειψη κρίσιμων πόρων, αλλά και στον αντίποδα την τεχνολογική εξέλιξη της εποχής μας, την ποικιλία μικροκλιμάτων της χώρας μας (απόρροια της γεωγραφικής της θέσης) και την ανάγκη για αυτάρκεια σε τοπικό επίπεδο, μοιραία αθούμαστε σε καινοτόμες λύσεις μετασχηματισμού.

Στη χώρα μας η αξιοποίηση των εντόμων ως υποκατάστατο του ιχθυάλευρου στις ιχθυοτροφές, αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη λύση για τη βιωσιμότητα του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών. Στη Ελλάδα ο πρώτος εξαγωγικός κλάδος ζωικής παραγωγής είναι ο τομέας της ιχθυοκαλλιέργειας, με μεγάλη συμβολή στην ελληνική οικονομία, αφού η αξία του φτάνει σχεδόν τα 500 εκατομμύρια, σύμφωνα με στοιχεία του ΕΛΣΤΑΤ για το 2019. Περισσότερο από το 60% της παραγωγής τσιπούρας και λαβρακίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση αντιπροσωπεύεται από την Ελλάδα, ενώ σε διεθνές επίπεδο η χώρα μας κατέχει την τρίτη θέση. Μια από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο τομέας της ιχθυοκαλλιέργειας είναι το συνεχώς αυξανόμενο κόστος των ιχθυοτροφών, οι οποίες αντιπροσωπεύουν το 60% του κόστους παραγωγής.

Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες σε ερευνητικό επίπεδο στη χώρα μας να αποδοθούν πρωτόκολλα μαζικής εκτροφής εντόμων. Ειδικότερα εξετάζεται η καταλληλότητα διαφόρων ειδών εντόμων ως συστατικό των ιχθυοτροφών, έτσι ώστε η χρήση τους να εξασφαλίζει υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης και να διατηρεί την υψηλή θρεπτική αξία των εκτρεφόμενων ιχθύων. Έτσι εξετάζεται η μερική αντικατάσταση ιχθυάλευρου από εντομάλευρο και ιδιαίτερα για την τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) που αποτελούν τα κυριότερα είδη της ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας. Η πρόσβαση των ελληνικών μονάδων ιχθυοπαραγωγής σε τέτοιου είδους εναλλακτικών και χαμηλού κόστους πηγών πρωτεΐνης, θα τους προσέφερε συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι άλλων χωρών. Επιπλέον, πέρα από τη μεσοπρόθεσμη βελτιστοποίηση των οικονομικών αποτελεσμάτων των μονάδων ιχθυοπαραγωγής, ιχθυοκαλλιέργειες που στρέφονται στην υποκατάσταση πρώτων υλών με εντομάλευρα, βοηθούν στην προστασία του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα του θαλάσσιου οικοσυστήματος, εξαιτίας της μείωσης υπερεκμετάλλευσης των ιχθυοαποθεμάτων.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Adamolekun, B., Ibikunle, F. R. (1994). “Investigation of an epidemic of seasonal ataxia in Ikare, western Nigeria”. *Acta Neurologica Scandinavica*, 90(5), 309–311.
- Altmann, B. A., Wigger, R., Ciulu, M., Mörlein, D. (2020). “The effect of insect or microalga alternative protein feeds on broiler meat quality”. *J. Sci. Food Agric.*, 100, 4292–4302.
- Arrese, E. L., Soulages, J. L. (2010). “Insect fat body: Energy, metabolism, and regulation”. *Annual Review of Entomology*.
- Arru, B., Furesi, R., Gasco, L., Madau, F. A., Pulina, P. (2019). “The introduction of insect meal into fish diet: the first economic analysis on European sea bass farming”. *Sustainability*, 11:1697.
- Awoniyi, T. A. M., Adetuyi, F. C., Akinyosoye, F. A. (2004). “Microbiological investigation of maggot meal, stored for use as livestock feed component”. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 2(3-4), 104–106.
- Baskes, J. (2000). Indians, merchants, and markets: “A reinterpretation of the Repartimiento and Spanish-Indian economic relations in colonial Oaxaca”, 1750–1821. *California: Stanford University Press*.
- Blondeau, N., Lipsky, R. H., Bourourou, M., Duncan, M. W., Gorelick, P. B., Marini, A. M. (2015). “Alpha-linolenic acid: An omega-3 fatty acid with neuroprotective properties-ready for use in the stroke clinic?”. *BioMed Research International*, 2015, 519830.
- Bouvier, G. (1945). “Quelques questions d’entomologie vétérinaire et lutte contre certains arthropodes en Afrique tropicale”. *Acta Tropica*, 2, 42–59.
- Bovera, F., Piccolo, G., Gasco, L., Marono, S., Loponte, R., Vassalotti, G. (2015). “Yellow mealworms larvae (*Tenebrio molitor* L.) as possible alternative to soybean meal in growing broiler diet”. *Br. Poult. Sci.* 56, 569–575.
- Broekhoven, S. V., Oonincx, D. G. A. B., Van Huis, A., Van Loon, J. J. A. (2015). “Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm

species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products”. *J. Insect Physiol.*, 73, 1–10.

Bukkens, S. G., Paoletti, M. G. (2005). “Insects in the human diet: nutritional aspects. Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development” (pp. 545–577).

Bukkens, S. G. F. (1997). “The nutritional value of edible insects”. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4), 287–319.

Byrne, G., (2021), “Demand for insect protein could hit 500.000 tons by 2030”.

Chen, P., Wongsiri, S., Jamyanya, T., Rinderer, T., Vongsamanode, S., Matsuka, M. (1998). “Honey bees and other edible insects used as human food in Thailand”. *American Entomologist*, 44(1), 24–29.

Chia, S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S. (2018). “Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: implications for mass production”. *PLoS ONE*, 13.

Cortes Ortiz, J. A., Ruiz, A. T., Morales-Ramos, J. A., Thomas, M., Rojas, M. G., Tomberlin, J. K. (2016). “Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food cover for insects as sustainable food ingredients”. *Acad. Press* 6, 153–201.

DeFoliart, G. R. (1997). “An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity”. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4), 109–132.

De Vries, M., de Boer, I. J. M. (2010). “Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments”. *Livestock Science*, 128(1-3), 1-11.

Doi, H., Galecki, R., Mulia, R. N. (2021). “The merits of entomophagy in the post COVID-19 world”. *Trends Food Sci. Technol.*, 110, 849–854.

Ernst, W. H. O., Sekhwela, M. B. M. (1987). “The chemical-composition of lerps from the mopane psyllid *Arytaina-Mopane* (Homoptera, Psyllidae)”. *Insect Biochemistry*, 17(6), 905.

European Commission (2020). “From farm to fork”, Brussels.

European Food Safety Authority (EFSA). “Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed: EFSA Scientific Committee”.

Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C. Y. (2018). “Edible insects in China: Utilization and prospects”. *Insect Science*, 25(2), 184–198.

Finke, M. D. (2005). “Nutrient composition of bee brood and its potential as human food”. *Ecology of Food and Nutrition*, 44(4), 257–270.

Fishect, (2022), “<https://fishect.webnode.gr>”.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020). “Food security and nutrition around the world in 2020”, Rome.

Fowles, T. M., Nansen, C. (2020). “Insect-Based Bioconversion: Value from Food Waste”. *Food Waste Management*, 321-346.

Gaston, K. J., Chown, S. L. (1999). “Elevation and climatic tolerance: A test using dung beetles”. *Oikos*, 86(3), 584–590.

Gerland, P., Raftery, A. E., Sevčikova, H., Li, N., Gu, D. A., Spoorenberg, T. (2014). “World population stabilization unlikely this century”. *Science*, 346(6206), 234–237.

Gibson, C. M., Hunter, M. S. (2010). “Extraordinarily widespread and fantastically complex: comparative biology of endosymbiotic bacterial and fungal mutualists of insects”. *Ecology Letters*, 13, 223-234.

Halloran, A., Roos, N., Hanboonsong, Y. (2016). “Cricket farming as a livelihood strategy in Thailand”. *The Geographical Journal*, 183(1), 112–124.

Hartmann, C., Ruby, M. B., Schmidt, P., Siegrist, M. (2018). “Brave, health-conscious, and environmentally friendly: Positive impressions of insect food product consumers”. *Food Quality and Preference*, 68, 64–71.

Hu, M. B., Yu, Z. J., Wang, J. L., Fan, W. X., Liu, Y. J., Li, J. H. (2017). “Traditional uses, origins, chemistry and pharmacology of *Bombyx batryticatus*: A review”. *Molecules*, 22(10).

IPIFF (2021), “An overview of the European market of insects as feed”.

IPIFF (2022), “EU Novel Food Legislation”.

IPIFF (2022), “Insects as Novel Foods in the European Union”

Iqbal, B., Khan, N. A. (2019). “Hepatoprotective and anti-hepatitis effect of non pharmacopoeial compound formulation on CCl 4-induced hepatotoxicity in albino rats”. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 18(1), 47–51.

Jongema, Y. (2017). “Worldwide list of recorded edible insects”. The Netherlands: Department of Entomology, Wageningen University & Research.

Józefiak, D., Józefiak, A., Kieronczyk, B., Rawski, M., Swiatkiewicz, S., Dlugosz, J. (2016). “Insects - a natural nutrient source for poultry - a review”. *Annals of Animal Science*, 16(2), 297–313.

Katya, K., Borsra, M. Z. S., Ganesan, D., Kuppusamy, G., Herriman, M., Salter, A., Ali, S. A. (2017). “Efficacy of insect larval meal to replace fish meal in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* reared in freshwater”. *International Aquatic Research*, 9, 303-312.

Khan, S. H. (2018). “Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition”. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 1144-1157.

Klunder, H. C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. M., & Nout, M. J. R. (2012). “Microbiological aspects of processing and storage of edible insects”. *Food Control*, 26(2), 628–631.

Kouřimská, L., & Adámková, A. (2016). “Nutritional and sensory quality of edible insects”. *NFS Journal*, 4, 22–26.

Krishnan, R., Sherin, L., Muthuswami, M., Balagopal, R., Jayanthi, C. (2011). “Seri waste as feed substitute for broiler production”. *Sericologia*, 51(3), 369–383.

Larde, G. (1990). “Recycling of coffee pulp by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae”. *Biological Wastes*, 33(4), 307-310.

Li, Y., Zhou, W., Hu, B., Min, M., Chen, P., Ruan, R. R. (2011). “Integration of algae cultivation as biodiesel production feedstock with municipal wastewater treatment: Strains screening and significance evaluation of environmental factors”. *Bioresource Technology*, 102(23), 10861-10867.

- Lindroth, R. L., Kinney, K. K., Platz, C. L. (1993). “Responses of Deciduous Trees to Elevated Atmospheric CO₂: Productivity, Photochemistry, and Insect Performance”. *Ecology*, 74(9), 763-777.
- Little A. , (2021), “Why bugs must be a bigger part of the human food chain”
Bloomberg
- Liu, M., & Wei, G. (2002). “The review on functional factors in Insects and exploitation prospect of functional food”. *Food Science and Technology*, 27, 21–25.
- Liu, Y.-S., Wang, F.-B., Cui, J.-X., Zhang, L. (2010). “Recent status and advances on study and utilization of *Tenebrio molitor*”. *Journal of Environmental Entomology*, 32(106–14).
- 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*, 197(2014), 1-33.
- Metabolic, (2019). “Devouring waste, nourishing the world: how insects can feed a circular economy”.
- Meyer, S., Gessner, D. K., Braune, M. S., Friedhoff, T., Most, E., Horing, M., Liebisch, G., Zorn, H., Eder, K., Ringseis, R. (2020). “Comprehensive evaluation of the metabolic effects of insect meal from *Tenebrio molitor* L. in growing pigs by transcriptomics, metabolomics and lipidomics”. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11(20).
- Meyer-Rochow, V. (2005). “Traditional food insects and spiders in several ethnic groups of Northeast India, Papua New Guinea, Australia, and New Zealand”. *Ecological implications of minilivestock: Rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development* (pp. 385–409).
- Motte, C., Rios, A., Lefebvre, T., Do, H., Henry, M., Jintasataporn, O. (2019). “Replacing Fish Meal with Defatted Insect Meal (Yellow Mealworm *Tenebrio molitor*) improves the Growth and Immunity of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)”. *Animals*, 9(5).
- Mustafa, N. E. M., Mariod, A. A., Matthaus, B. (2008). “Antibacterial activity of *Aspongopus Viduatus* (melon bug) oil”. *Journal of Food Safety*, 28(4), 577–586.

- Nogales-Merida, S., Gobbi, P., Jozefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kieronczyk, B., Jozefiak, A. (2019). "Insect meals in fish nutrition". *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103.
- Nowak, V., Persijn, D., Rittenschober, D., Charrondiere, U. R. (2016). "Review of food composition data for edible insects". *Food Chemistry*, 193, 39–46.
- O'Dea, K. (1991). "Traditional diet and food preferences of Australian Aboriginal hunter-gatherers". *Biological Sciences*, 334.
- Oonincx, D. G. A. B., de Boer, I. J. M. (2012). "Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment".
- Oonincx, D. G. A. B., Dierenfeld, E. S. (2012). "An Investigation Into the Chemical Composition of Alternative Invertebrate Prey".
- Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, 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".
- Owino, V. O., Skau, J., Omollo, S., Konyole, S., Kinyuru, J., Estambale, B., (2015). "WinFood data from Kenya and Cambodia: Constraints on field procedures". *Food and Nutrition Bulletin*, 36(4), Np1.
- Payne, C., Scarborough, P., Rayner, M., Nonaka, K. (2016). "Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over-and undernutrition". *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(3), 285.
- Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, T.¹, Abbasi, S. A. (2011). "Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2011), 4357-4360.
- Rabani, V., Cheatsazan, H., Davani, S. (2019). "Proteomics and Lipidomics of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) and Blow Fly (Diptera: Calliphoridae) Larvae". *Journal of Insect Science*, 19(3).

- Raman, A. (2014). "Discovery of *Kerria lacca* (Insecta: Hemiptera: Coccoidea), the lac insect, in India in the late 18th century". *Current Science India*, 106(6), 886.
- Ramos-Elorduy, J. (2009). "Anthropo-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability". *Entomological Research*, 39(5), 271–288.
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M. P. (2002). "Edible insects of Chiapas, Mexico". *Ecology of Food and Nutrition*, 41(4), 271–299.
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M., P., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L., de Guevara, O. L. (1997). "Nutritional Value of Edible Insects from the State of Oaxaca, Mexico". *Journal of Food Composition and Analysis*, 10(2), 142-157.
- Ramos-Elorduy, J. (1996). "Insects: A sustainable source of food?". *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4), 247-276.
- Ramos-Elorduy, J., Villegas, R. J., Pino, M. J. M. (1988). "The Efficiency of the Insect *Musca domestica* L. in Recycling Organic Wastes as a Source of Protein". *Biodeterioration*, 7, 805-810.
- Raubenheimer, D., Rothman, J. M. (2013). "Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates". *Annual Review of Entomology*, 58, 141–160.
- Reineke, K., Doehner, I., Schlumbach, K., Baier, D., Mathys, A., Knorr, D. (2012). "The different pathways of spore germination and inactivation in dependence of pressure and temperature". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 13, 31–41.
- Ribeiro, J. P. C., Cunha, L. M., Sousa-Pinto, B., Fonseca, J. (2018). "Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review". *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(1).
- Rumpold, B. A., & Schluter, O. K. (2013). "Nutritional composition and safety aspects of edible insects". *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802–823.
- Ruhnke, I., Normant, C., Campbell, D. L. M., Iqbal, Z., Lee, C., Hinch, G. N., Roberts, J. (2018). "Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens". *Animal Nutrition*, 4(4), 452-460.

- Sales-Campos, H., Reis de Souza, P., Crema Peghini, B., Santana da Silva, J., Ribeiro Cardoso, C. (2013). “An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease”. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 13(2), 201–210.
- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., Savastano, D. (2017). “Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*”. *Journal of Cleaner Production*, 140(2017), 890-905.
- Secci, G., Bovera, F., Nizza, F., Baronti, N., Gasco, N., Conte, G., Serra, A., Bonelli, A., Parisi, G. (2018). “Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean”. *Animal*, 12(10), 2191-2197.
- Sheppard, D. G., Newton, G. L., Thompson, S. A., Savage, S. (1994). “A Value Added Manure Management System Using the Black Soldier Fly”. *Bioresource Technology*, 50 (1994), 275-297.
- Siddiqui, R. (2004). “Energy and Economic Growth in Pakistan”. *The Pakistan Development Review*, 43(2), 175-200.
- Smetana, S., Spykman, R., Heinz, V. (2021). “Environmental aspects of insect mass production”. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 553-571.
- Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., Gasco, L. (2019). “The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review”. *Sustainability*, 9(4).
- Spartano, S., Grasso, S. (2021). “Consumers’ Perspectives on Eggs from Insect-Fed Hens: A UK Focus Group Study”. *Sustainability*, 10(2).
- Sribandit, W., Wiwatwitaya, D., Suksard, S., Offenber, J. (2008). “The importance of weaver ant (*Oecophylla smaragdina* Fabricius) harvest to a local community in northeastern Thailand”. *Asian Myrmecology*, 2, 129–138.
- Steinfeld, H., Wassenaar, T., Jutzi, S. (2006). “Livestock production systems in developing countries: status, drivers, trends”. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 25(2), 505-516.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Tomberlin, J. K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., Irving, S. (2007). “Fish Offal Recycling by the Black

Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids”. *World Aquaculture Society*, 38(2), 309-313.

Su, C.-H., Nguyen, H. C., Bui, T. L., & Huang, D. L. (2019). “Enzyme-assisted extraction of insect fat for biodiesel production”. *Journal of Cleaner Production*, 223, 436–444.

The New York Times Magazine, (2018), “The Insect Apocalypse Is Here”.

Tso, R., JiaYing Lim, A., Forde, C., (2020). “A Critical Appraisal of the Evidence Supporting Consumer Motivations for Alternative Proteins”.

Van Dyken, S. J., Locksley, R. M. (2018). “Chitins and chitinase activity in airway diseases”. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 142(2), 364–369.

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., (2013). “Edible insects: Future prospects for food and feed security”. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

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(5).

Van Phl C.P., Walraven M., Bezagu M., Lefranc M., Ray C. (2020), “Industrial Symbiosis in Insect Production- A Sustainable Eco-Efficient and Circular Business Model”. *Sustainability*, 12(24).

Wang, Y. S., Shelomi, M. (2017). “Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food”. *Sustainability*, 6(10).

Wang, X., Li, J.-Z., Fan, Y.-M., Jin, X.-J. (2006). “Present research on the composition and application of lac”. *Forestry Studies in China*, 8(1), 65–69.

World Health Organization (WHO) (2007). “Protein and amino acid requirements in human nutrition”, Geneva.

Yang, P., Zhu, J. Y., Ghong, Z. J., Xu, D. L., Chen, X. M., Liu, W. W., Lin, X. D., Li, Y. F. (2012). “Transcriptome Analysis of the Chinese White Wax Scale *Ericerus pela* with Focus on Genes Involved in Wax Biosynthesis”.

Zhang, C., Tang, X., Cheng, J. (2008). “The utilization and industrialization of insect resources in China”. *Entomological Research*, 38, S38–S47.

Zielinska, E., Baraniak, B., Karas, M. (2017). “Antioxidant and anti-inflammatory activities of hydrolysates and peptide fractions obtained by enzymatic hydrolysis of selected heat-treated edible insects”. *Nutrients*, 9.