



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΔΠΜΣ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

*«Η χρήση καινοτόμων πρωτεϊνών με έμφαση τη χρήση εντομάλευρων
από το είδος *Tenebrio molitor* στη διατροφή του χοίρου»*

Βαρούχου Ευθυμία

Ιωάννινα, 2024

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Ιωάννης Σκούφος, Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας, Επιβλέπων

Αθηνά Τζώρα, Καθηγήτρια Τμήματος Γεωπονίας

Ελευθέριος Μπόνος, Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Ιωάννη Σκούφο για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, αποτελούμενη από την κ. Τζώρα και τον κ. Μπόνο για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους σε όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την άπλετη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση σε όλο το χρονικό διάστημα της διπλωματικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
SUMMARY	10
1. Εισαγωγή	11
1.1 Πρωτεϊνικές πηγές στην διατροφή του χοίρου.....	11
1.2 Η ανάγκη αντικατάστασης των βασικών πρωτεϊνικών πηγών στην διατροφή του χοίρου	17
1.2.1 Η ανάγκη αντικατάστασης της σόγιας.....	17
1.2.2 Η ανάγκη αντικατάστασης του ιχθυάλευρου	20
1.3 Εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών στην διατροφή του χοίρου	23
1.3.1 Εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης.....	23
1.4 Μικροβιακή πρωτεΐνη ως εναλλακτική πρωτεϊνική πηγή.....	28
1.5 Η χρήση πρωτεϊνών εντόμων ως εναλλακτική πρωτεϊνική πηγή	30
2. Η χρήση πρωτεϊνών του <i>Tenebrio molitor</i> στη διατροφή του χοίρου.....	39
2.1 Προνύμφες <i>Tenebrio molitor</i> : η θρεπτική τους αξία	39
2.2 Η θρεπτικότητα του άλευρου από προνύμφες <i>T. Molitor</i>	44
3. Η επίδραση της συμπερίληψης πρωτεϊνών <i>T. molitor</i> στην υγεία και ανάπτυξη των χοίρων	50
3.1 Πεπτικότητα και βιο-διαθεσιμότητα των πρωτεϊνών	50
3.1.2 Επίδραση στην υγεία του εντέρου	51

3.1.3 Αντιμικροβιακές και Ανοσοτροποποιητικές Ιδιότητες	56
3.1.4 Βιοχημικές και Αιματολογικές Παράμετροι.....	58
3.1.5 Επίδραση στην απόδοση ανάπτυξης και την αποτελεσματικότητα τροφής	61
4. Η επίδραση της χορήγησης αλεύρων <i>T. molitor</i> στην ποιότητα του χοιρινού κρέατος.....	64
4.1 Επίδραση σε βιοχημικά χαρακτηριστικά	66
4.2 Επίδραση σε οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	67
4.3 Οξειδωτική σταθερότητα και χρόνος συντήρησης.....	68
4.4 Αντιοξειδωτικές επιδράσεις του άλευρου <i>T. molitor</i>	68
5. Προκλήσεις της χρήσης πρωτεϊνών του <i>Tenebrio molitor</i> ως ζωοτροφή.....	70
5.1 Ασφάλεια χρήσης πρωτεϊνών του <i>Tenebrio molitor</i> ως ζωοτροφή.....	70
5.2 Αποδοχή από τους καταναλωτές.....	72
6. Συμπεράσματα.....	73
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.: Σπόροι σόγιας και σογιάλευρο	12
Εικόνα 2.: Η παρασκευή ιχθυάλευρου	15
Εικόνα 3.: Η χρήση της παγκόσμιας παραγωγής σόγιας	18
Εικόνα 4.: Η χρήση του ιχθυάλευρου στην βιομηχανία ζωοτροφών	20
Εικόνα 5.: Φυτό, σπόρος και άλευρο λούπινου.....	24
Εικόνα 6.: Η φάβα.....	26
Εικόνα 7.: Η χρήση των μικροφυκών στις ζωοτροφές.....	27
Εικόνα 8.: <i>Spirulina platensis</i>	28
Εικόνα 9.: Βιοαντιδραστήρας βυθισμένης ζύμωσης	29
Εικόνα 10.: Προνύμφες <i>Tenebrio molitor</i> προς ανθρώπινη κατανάλωση	32
Εικόνα 11.: Black soldier fly	33
Εικόνα 12.: <i>Bombyx mori</i>	33
Εικόνα 13.: <i>Gryllus assimilis</i>	34
Εικόνα 14.: Ο κύκλος της ζωής του <i>Tenebrio molitor</i>	40
Εικόνα 15.: Προνύμφες <i>Tenebrio molitor</i>	42
Εικόνα 16.: Τα στάδια επεξεργασίας της προνύμφης <i>T.molitor</i> για ενσωμάτωση στις ζωοτροφές	48
Εικόνα 17.: Η επίδραση των διατροφικών πηγών πρωτεΐνης στη φυσιολογία της πέψης και το μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών στους χοίρους	52

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Η διατροφική αξία των προνυμφών <i>Tenebrio Molitor</i> ή του αλευρου αυτού (επί ξηρής ουσίας).....	41
Πίνακας 2.: Περιεκτικότητα του αλευρου του <i>Tenebrio molitor</i> σε λιπαρά οξέα	43
Πίνακας 3.: Σύνθεση βακτηριακών πληθυσμών (σε επίπεδο γένους) του τυφλού εντέρου αναπτυσσόμενων χοίρων που διατρέφονται με ισοαζωτούχες δίαιτες χωρίς ή με 5% (IM5) ή 10% (IM10) προσθήκης αλεύρου προνυμφών <i>Tenebrio molitor</i>	54
Πίνακας 4.: Η επίδραση του <i>Tenebrio molitor</i> στους μικροβιακούς πληθυσμούς των τεμαχίων του σφάγιου αναπτυσσόμενων χοίρων.....	56
Πίνακας 5.: Η επίδραση του <i>Tenebrio molitor</i> σε αιματολογικές παραμέτρους αναπτυσσόμενων χοίρων	60
Πίνακας 6.: Αύξηση βάρους, μετατρεψιμότητα τροφής, κατανάλωση τροφής και ποσοστό κρέατος με τη χρήση αλευρου από προνύμφες <i>T. molitor</i> σε αναπτυσσόμενους χοίρους.	64

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

	ΑΓΓΛΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ
E.A.A.	Essential amino acids	Απαραίτητα αμινοξέα
Γ.Τ.Ο.	Genetically modified organisms (GMO)	Γενετικά τροποποιημένοι οργανισμοί
Ξ.Β	Dry weight	Ξηρό βάρος
Ξ.Ο	Dry matter	Ξηρή ουσία
F.A.O.	Food and Agriculture Organization	Οργανισμός Γεωργίας και Τροφίμων
PUFA	Polyunsaturated fatty acids	Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα
UFA	Unsaturated fatty acids,	Ακόρεστα λιπαρά οξέα
SFA	Saturated fatty acid	Κορεσμένα λιπαρά οξέα
MUFA	Monounsaturated fatty acid	Μονοακόρεστα λιπαρά οξέα
F.C.R.	Feed Conversion Ratio-FCR	Δείκτης Μετατρεψιμότητας τροφής
A.D.G.	Average Daily Gain	Μέση ημερήσια αύξηση βάρους
B.W.	Body Weight	Σωματικό βάρος
A.D.F.I.	Average Daily Feed Intake	Μέση ημερήσια πρόσληψη τροφής
B.S.F	Black soldier fly	Μύγα μαύρος στρατιώτης
B.S.F.M.	Black soldier fly meal	Άλευρο μύγας
T.M.	Tenebrio molitor	Μαύρο σκαθάρι/προνύμφη μαύρου σκαθαριού
Pb	Lead	Μόλυβδος
Cd	Cadmium	Κάδμιο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Επι του παρόντος η ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η κλιματική κρίση έχουν επιφέρει προβλήματα στην προσπάθεια σίτισής του, με τον τομέα της κτηνοτροφίας να πασχίζει για την εξασφάλιση επαρκών πόρων τροφοδοσίας, ειδικά των πρωτεϊνικών του πηγών. Τις κύριες πηγές πρωτεϊνών των ζωοτροφών αποτελούν το σογιάλευρο και το ιχθυάλευρο, λόγω της ισορροπημένης και ιδιαίτερα εύπεπτης περιεκτικότητάς τους σε αμινοξέα, λιπαρά οξέα, βιταμίνες και ανόργανα συστατικά. Ωστόσο, το συνεχώς αυξανόμενο κόστος παραγωγής αυτών, και η υποβάθμιση εδαφικών πόρων, καθώς και των αλιευτικών πεδίων έχει αυξήσει την ανάγκη για αντικατάσταση υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες πρώτων υλών με εντομάλευρα ή άλλες εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών. Σκοπός της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η μελέτη της χρήσης καινοτόμων πρωτεϊνών με έμφαση τη χρήση εντομάλευρων από το είδος *Tenebrio molitor* στη διατροφή του χοίρου. Αναλύθηκε η επίδραση της ένταξης καινοτόμων πρωτεϊνών από το εν λόγω είδος στην υγεία και την ανάπτυξη των χοίρων, και την ποιότητα του χοιρινού κρέατος. Συνολικά, ενώ η χρήση αλεύρων εντόμων στις ζωοτροφές φαίνεται μια ελκυστική εναλλακτική λύση με διατροφικά και παραγωγικά οφέλη, είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες σχετικά με την αποδοχή από τους καταναλωτές και την ασφάλεια μέσω ενός αυστηρού ρυθμιστικού πλαισίου, όπως και περαιτέρω έρευνας. Μόνο έτσι θα μπορέσει να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό αυτής της καινοτόμου πηγής πρωτεΐνης για τη βιώσιμη ανάπτυξη του κλάδου των ζωοτροφών.

SUMMARY

Currently, the rapid growth of the world's population and the climatic crisis have caused serious problems in the search for protein sources and components in animal diets, therefore the livestock sector is struggling to secure sufficient feed and protein resources. The main protein sources in animal feed are soybean and fishmeal, due to their balanced and highly digestible content of amino acids, fatty acids, vitamins, and minerals. However, the ever-increasing cost of their production has increased the need for high-protein substitutes, such as insect meals, as well as the climatic crisis, depleting soil and water resources. The aim of this thesis is to investigate the use of innovative proteins with emphasis on *Tenebrio molitor* insect meal in pig nutrition. The effect of the inclusion of proteins from *Tenebrio molitor* on health and growth performance of pigs and the quality of pork meat was analysed. Overall, while the use of insect meal in animal feed seems an attractive alternative, it is necessary to address concerns about consumer acceptability and safety through a strict regulatory framework and further research.

1. Εισαγωγή

1.1 Πρωτεϊνικές πηγές στην διατροφή του χοίρου

Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, τα συστήματα τροφίμων καλούνται να γίνουν βιώσιμα, να ανταποκρίνονται δηλαδή στις ανάγκες του σημερινού πληθυσμού χωρίς να διακυβεύονται οι ανάγκες των μελλοντικών γενεών (OECD/FAO, 2019). Στον τομέα της κτηνοτροφίας, η χοιροτροφία αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους υποτομείς. Ως αποτέλεσμα των αλλαγών στα πρότυπα κατανάλωσης, η παγκόσμια παραγωγή χοιρινού κρέατος αυξήθηκε από 95 σε πάνω από 130 εκατομμύρια τόνους τα τελευταία 15 χρόνια και επί του παρόντος αντιπροσωπεύει το δεύτερο πιο περιζήτητο για κατανάλωση κρέας στον κόσμο (OECD, 2022). Επιπλέον, έχει υπολογιστεί ότι αυτή η παραγωγή θα αυξηθεί πάνω από 40% έως το 2050, γεγονός που μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη χρήση των ζωοτροφών και στη ζήτηση γης για καλλιέργεια δημητριακών και πρωτεϊνούχων σπερμάτων (Lassaletta *et al.*, 2019). Σύμφωνα με τον FAO (2019) ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να ξεπεράσει τα 9,5 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050 και η παραγωγή ζωικής πρωτεΐνης θα πρέπει να υπερδιπλασιαστεί για να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση τροφίμων.

Στις αναπτυσσόμενες χώρες, όλο και περισσότεροι άνθρωποι βασίζονται στο χοιρινό κρέας για απαραίτητα τα θρεπτικά, όπως τα απαραίτητα αμινοξέα και το σύμπλεγμα βιταμινών Β που περιέχει (deSmet, 2012). Η διατροφή των χοιριδίων, από τον απογαλακτισμό έως την ηλικία των δύο μηνών, είναι μία από τις πιο δύσκολες πτυχές της χοιροτροφίας. Η επαρκής διατροφή των χοιριδίων είναι υποχρεωτική για να ξεπεραστεί το στρες του απογαλακτισμού και να επιτευχθεί αποτελεσματικά το βάρος σφαγής.

Επιπλέον, είναι γνωστό ότι η σύσταση του σώματος στο τέλος της περιόδου μετά τον απογαλακτισμό επηρεάζει την απόδοση ανάπτυξης κατά τη φάση της πάχυνσης, καθώς και τη σύσταση του σώματος όταν οι χοίροι φτάσουν τα 110 kg ζώντος βάρους (Correia *et al.*, 2017). Οι ισορροπημένες τροφές για χοίρους πρέπει να περιέχουν ενέργεια και πρωτεΐνες σε επαρκείς ποσότητες, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις τους σε θρεπτικά συστατικά (Ran *et al.*, 2017).

Το σογιάλευρο είναι ίσως η περισσότερη ελκυστική πηγή πρωτεΐνης φυτικής προέλευσης που χρησιμοποιείται στις ζωοτροφές στον κόσμο, παρά την κατά καιρούς υψηλή τιμή του, με καταγεγραμμένη παγκόσμια παραγωγή περίπου 350 εκατομμυρίων τόνων το 2020 (FAOSTAT, 2020). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αποτελεί το κύριο άλευρο ελαιούχων σπόρων που χρησιμοποιείται στη διατροφή των ζώων, με το μεγαλύτερο ποσοστό σόγιας να εισάγεται, καθώς η Ευρωπαϊκή παραγωγή σόγιας είναι χαμηλή, σε σύγκριση με άλλους ελαιούχους σπόρους (Florou-Paneri *et al.*, 2014).



Εικόνα 1.: Σπόροι σόγιας και σογιάλευρο (www.legumehub.eu)

Το σογιάλευρο είναι διαθέσιμο σε όλο τον κόσμο, με βασικές χώρες παραγωγής τις ΗΠΑ, Κίνα, Αργεντινή, Ινδία και Βραζιλία (Florou-Paneri *et al.*, 2014). Είναι μια εξαιρετική πηγή πρωτεΐνης σε δίαιτες για χοίρους, αλλά είναι δαπανηρή, παρουσιάζει διακυμάνσεις στην προσφορά και προέρχεται κυρίως από γενετικώς τροποποιημένα φυτά (Boczar, 2016). Υπολογίζεται ότι αντιπροσωπεύει το 85% των συμπληρωμάτων πρωτεΐνης που χορηγούνται σε χοίρους (Van Krimpen *et al.*, 2013) και η χρήση του έχει τις υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά κιλό εκτρεφόμενου χοίρου (Smith *et al.*, 2013). Μπορεί να χορηγηθεί σε χοίρους οποιασδήποτε ηλικίας σε επίπεδα ένταξης έως και 30% στις περιόδους ανάπτυξης και πάχυνσης, ενώ έως και 20% στις δίαιτες των χοιριδίων (Mordenti *et al.*, 2012). Το σογιάλευρο είναι υποπροϊόν της εξαγωγής σογιέλαιου. Ταξινομείται ως άλευρο “υψηλής περιεκτικότητας πρωτεΐνης” με 440 – 460 g kg⁻¹ ολικής πρωτεΐνης και 30 g kg⁻¹ ολικές ίνες. Επιπλέον, έχει πολύ καλή ισορροπία αμινοξέων, με υψηλές ποσότητες λυσίνης, τρυπτοφάνης, θρεονίνης και ισολευκίνης, οι οποίες συχνά λείπουν από σπόρους δημητριακών. Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις των θειούχων αμινοξέων δεν είναι βέλτιστες για τους χοίρους, άρα απαιτείται συμπλήρωμα μεθειονίνης. Επιπρόσθετα, το σογιάλευρο είναι μια φτωχή πηγή βιταμινών Β, καθώς περίπου 60-70% του συμπεριλαμβανόμενου φωσφόρου συνδέεται με φυτικό οξύ, το οποίο δεν διατίθενται διατροφικά σε μονογαστρικά ζώα και ως εκ τούτου, μειώνει τη διαθεσιμότητα φωσφόρου και άλλων μετάλλων (Florou-Paneri *et al.*, 2014). Επιπλέον, περιέχει ολιγοσακχαρίτες όπως ραφινόζη και σταχυόζη που δεν μπορούν να αφομοιωθούν από μονογαστρικά λόγω έλλειψης ειδικών ενδογενών ενζύμων (Parsons *et al.*, 2000).

Τέλος, όσον αφορά τα μονογαστρικά, το σογιάλευρο είναι απαραίτητο να υποβληθεί σε θερμική επεξεργασία προκειμένου να απενεργοποιηθούν αρκετοί αντιθρεπτικοί παράγοντες και συγκεκριμένα αναστολείς θρυψίνης και λεκτίνες. Έτσι, όταν ακατάλληλα

θερμικά επεξεργασμένο σογιάλευρο δοθεί σε χοίρους, μπορεί να μειώσει την αξιοποίηση θρεπτικών στοιχείων και να καταστείλει την ανάπτυξή τους (Min *et al.*, 2009).

Το εμπορικό ισοζύγιο των συστατικών υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται για τη διατροφή των μονογαστρικών αγροτικών ζώων είναι αρνητικό με την εισαγωγή αλεύρων σόγιας. Τα γενετικά τροποποιημένα φυτά σόγιας αντιπροσωπεύουν περίπου το 98% της παγκόσμιας παραγωγής σόγιας. Ωστόσο, η χρήση ΓΤΟ απαγορεύεται στη βιολογική κτηνοτροφία. Οι υψηλές διακυμάνσεις των τιμών και της προσφοράς του γενετικά τροποποιημένου σογιάλευρου και η ανάγκη διασφάλισης της ασφάλειας των πρωτεϊνών ζωοτροφών έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών, φθηνότερων πρωτεϊνών πηγών φυτικής προέλευσης όπως όπως αλεύρο ηλίανθου, λιναρόσπορου, φάβας, λούπινου και ψυχανθών (Van Huis and Oonincx, 2017).

Υπό εντατικές συνθήκες εκτροφής χοίρων, το ιχθυάλευρο είναι επίσης συνηθισμένο συστατικό των τροφών που προμηθεύει τον οργανισμό με απαραίτητες πρωτεϊνικές ουσίες. Παρασκευάζεται κυρίως από μικρά θαλασσινά ψάρια (ρέγγες, γαύρους, σαρδέλες, μενάχεν- *Brevoortia tyrannus*, *B. aurea* και *B. pectinata*), με υψηλό ποσοστό οστών και ελαίων, ενώ ένα μικρό, αλλά αυξανόμενο ποσοστό προέρχεται από παρεμπίπτοντα αλιεύματα και υποπροϊόντα επεξεργασίας (Miles & Chapman 2006). Είναι δημοφιλές λόγω της υψηλής θρεπτικής του αξίας και της υψηλής του πεπτικότητας ως ζωική πρωτεΐνη που ξεπερνά το 92%. Η πρωτεΐνη του κυμαίνεται από 56% έως 76%, ενώ περιλαμβάνει υψηλά επίπεδα απαραίτητων αμινοξέων, όπως λυσίνη, η οποία συχνά είναι ανεπαρκής σε φυτικά προϊόντα που επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως στις περισσότερες ζωοτροφές (Miles & Chapman 2006). Το ιχθυάλευρο έχει επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε μεθειονίνη και κυστεΐνη περιέχει βιταμίνες όπως B12, χολίνη, νιασίνη, παντοθενικό οξύ και ριβοφλαβίνη και τέλος αποτελεί καλή πηγή ασβεστίου, χαλκού, σιδήρου, φωσφόρου και άλλων μεγαλοστοιχείων και ιχνοστοιχείων (Hall 1992).



Εικόνα 2.: Η παρασκευή ιχθυάλευρου(www.foodcom.pl)

Τα πλεονεκτήματα του ιχθυάλευρου έναντι των αλεύρων από φυτικές πρωτεΐνες προκάλεσαν μια αύξηση της χρήσης του στη διατροφή των εκτρεφόμενων ζώων με

αποτέλεσμα το 2016 τα ιχθυάλευρα να αποτελούν το 69%, 23%, 5% και 3% των σιτηρεσίων της υδατοκαλλιέργειας, χοίρων, πτηνών και άλλων εκτρεφόμενων ζώων, αντίστοιχα (Bachis, 2017).

Σιτηρέσια χοίρων που περιλαμβάνουν ιχθυάλευρα έχουν αποδειχθεί ότι λόγω των εμπεριεχομένων ωμέγα- 3 λιπαρών οξέων, βελτιώνουν την ανοσολογική κατάσταση και ελαχιστοποιούν φλεγμονώδεις αντιδράσεις, γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερη παραγωγή κρέατος και μειωμένες απώλειες ζώων. Τα ιχθυάλευρα είναι επίσης μια φυσική πηγή ρετινόλης (βιταμίνη Α) και τοκοφερόλης (βιταμίνη Ε) που δρουν ως αντιοξειδωτικά, μπορούν να βοηθήσουν στη διατήρηση και προστασία των κυτταρικών μεμβρανών και παρέχουν προστασία από φλεγμονές που μπορούν να προέλθουν από αυξημένο πολλαπλασιασμό μικροοργανισμών ή στρεσογόνων παραγόντων (Rooke 2001).

Στον αντίποδα, η ποιότητα του χρησιμοποιούμενου ιχθυάλευρου μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού, τη φρεσκάδα της πρώτης ύλης και τη μέθοδο επεξεργασίας (Pike *et al.*, 1990). Έτσι η ανάπτυξη των εκτρεφόμενων χοιριδίων σε πολλές περιπτώσεις δεν ήταν η επιθυμητή, εξαιτίας του ιχθυάλευρου. Το γεγονός αυτό ίσως οφείλεται στην ποσότητα των διαλυτών ψαριών που προστίθεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παρασκευής του ιχθυάλευρου. Το ιχθυάλευρο που παράγεται και διατίθεται σήμερα στην αγορά περιέχει κατά μέσο όρο 8- 15% διαλυτά ψάρια (Jones *et al.*, 2010).

1.2 Η ανάγκη αντικατάστασης των βασικών πρωτεϊνικών πηγών στην διατροφή του χοίρου

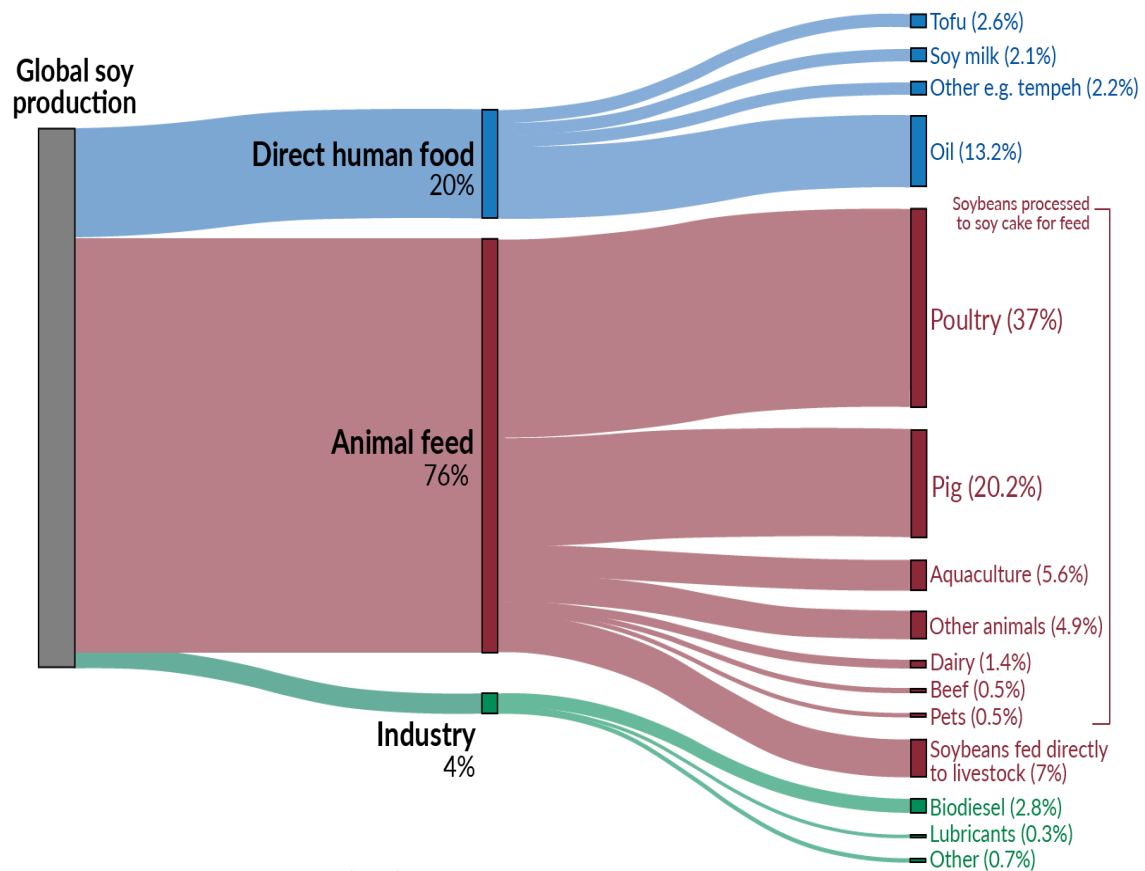
1.2.1 Η ανάγκη αντικατάστασης της σόγιας

Η παραγωγή ζωοτροφών αποτελεί σημαντική πηγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων στη ζωική παραγωγή. Όπως προαναφέρθηκε, η σόγια αποτελεί σημαντική πρωτεϊνική πηγή που στη διατροφή των χοίρων. Τα εν λόγω συστατικά παράγονται κυρίως στη Βόρεια και Νότια Αμερική και χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο στην εκτροφή ζώων. Το υψηλό οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος που συνδέεται με την παραγωγή και τη μεταφορά αυτών των ζωοτροφών σε μεγάλες αποστάσεις και ο άμεσος ανταγωνισμός τους με την ανθρώπινη κατανάλωση έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη βιωσιμότητα των ζωοτροφών και της ζωικής παραγωγής (Manceron *et al.*, 2014). Πάνω από το ένα τρίτο (37%) της παγκόσμιας παραγωγής σόγιας χρησιμοποιείται σε ζωοτροφές που προορίζονται για πουλερικά, το ένα πέμπτο σε ζωοτροφές για χοίρους (20,2%) και το 6% στην υδατοκαλλιέργεια. Ενώ το μικρότερο ποσοστό, μόλις της τάξεως του 2% χρησιμοποιείται για την παραγωγή βόειου κρέατος και γαλακτοκομικών προϊόντων (Εικόνα 3) .

The World's Soy: is it used for Food, Fuel, or Animal Feed?

Shown is the allocation of global soy production to its end uses by weight. This is based on data from 2017 to 2019.

Our World
in Data



Data source: Food Climate Resource Network (FCRN), University of Oxford; and USDA PSD Database.

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Εικόνα 3.: Η χρήση της παγκόσμιας παραγωγής σόγιας
(University of Oxford's Food Climate Research Network)

Επιπρόσθετα, η πρακτική αυτή επηρεάζει άμεσα την βιοποικιλότητα, με την αποψίλωση μεγάλων εκτάσεων του τροπικού δάσους του Αμαζονίου για την παραγωγή αροτριάων καλλιεργειών που προορίζονται για ζωοτροφές. Τα τοπία απλοποιούνται, τα οικοσυστήματα κατακερματίζονται, επέρχεται ερημοποίηση και υποβάθμιση του εδάφους.

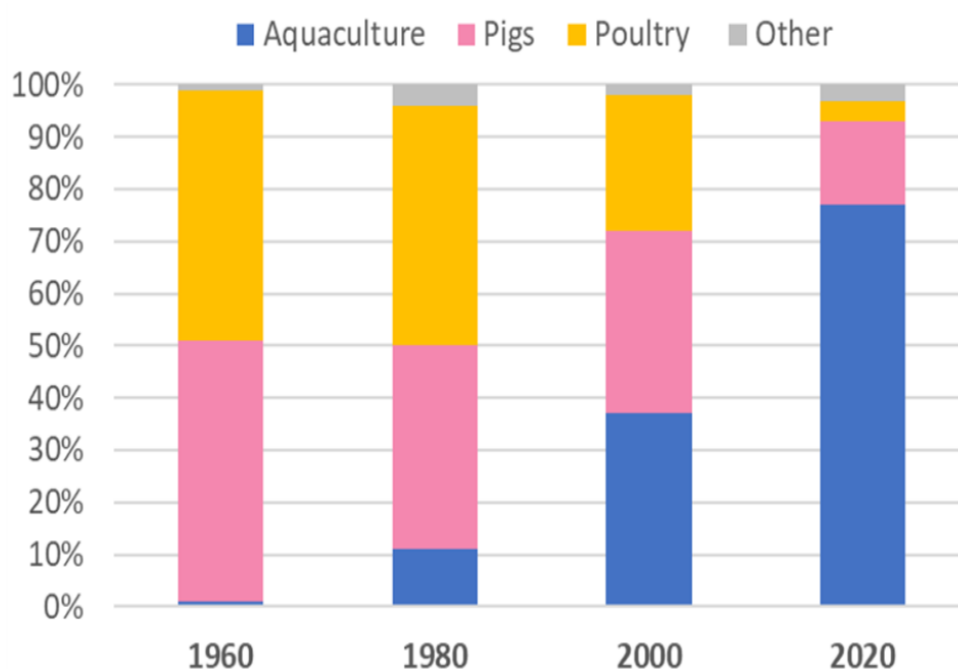
Συμπληρωματικά, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την εμφάνιση και τα χαρακτηριστικά των ακραίων φαινομένων στη γεωργία (IPCC, 2023). Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η κλιματική αλλαγή επηρεάζει γεγονότα μεγάλης κλίμακας, προσφέρει σχετικές γνώσεις σχετικά με τους κινδύνους και τις προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίσει το

παγκοσμιοποιημένο γεωργικό σύστημα στο μέλλον. Στην περίπτωση της σόγιας, οι μεταβολές της θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων, της ηλιακής ακτινοβολίας και του ανέμου παίζουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή (Osei *et al.*, 2023).

Η ιδανική θερμοκρασία για την καλλιέργεια σόγιας είναι οι 30°C. Οι θερμοκρασίες εντός του βέλτιστου εύρους ευνοούν περισσότερο την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών. Ωστόσο, ακόμη και μια μικρή αύξηση άνω των οριακών επιπέδων μειώνει σημαντικά τις αποδόσεις. Έτσι, η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και των αποδόσεων ακολουθεί μια μη γραμμική πορεία. Οι έντονες βροχοπτώσεις προκαλούν διάβρωση του εδάφους και απώλεια θρεπτικών στοιχείων, ενώ αυξάνουν το κόστος των εργασιών στον αγρό λόγω της έντονης υγρασίας και αυξάνουν την πιθανότητα προσβολής από παράσιτα και ασθένειες. Η υγρασία την Άνοιξη οψιμίζει την παραγωγή με αποτέλεσμα την ανάγκη χρήσης ποικιλιών μικρότερης διάρκειας και τα αυξημένα επίπεδα CO₂ ευνοούν την εμφάνιση ζιζανίων. Τέλος, πρόσφατες μελέτες έδειξαν πως εξαιτίας των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, στο μέλλον θα επέλθει μείωση της τάξης του 24%, στις εκτάσεις καλλιέργειας σόγιας με βάση τα σημερινά κλιματικά πρότυπα (Osei *et al.*, 2023).

1.2.2 Η ανάγκη αντικατάστασης του ιχθυάλευρου

Το ιχθυάλευρο συγκαταλέγεται στα πιο εύπεπτα και καλύτερα συστατικά που προστίθεται στη διατροφή των περισσότερων εκτρεφόμενων ζώων και συγκεκριμένα στα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας (Miles & Chapman 2006). Το 2017, η παραγωγή ιχθυάλευρων έφτασε περίπου τους 5 εκατομμύρια τόνους και η κατανάλωση τους το 2030 προβλέπεται να είναι 10,6 εκατομμύρια τόνοι (Alboghbeish *et al.*, 2015). Επιπλέον, η επιστημονική ομάδα του Jackson (2016), απέδειξε ότι το 70% του ιχθυάλευρου χρησιμοποιείται στην ιχθυοκαλλιέργεια και σε συνδυασμό με την μεγάλη ανάπτυξη των ιχθυοκαλλιεργειών προκλήθηκε αύξηση της ζήτησης για τεχνητές ιχθυοτροφές, μειώνοντας έτσι συγκεκριμένα ιχθυαποθέματα που προορίζονται για ιχθυάλευρα. Επιπρόσθετα, η αλόγιστη χρήση των αποθεμάτων ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές σε συνδυασμό με τη στάσιμη παραγωγή του και τη συνεχή αύξηση της τιμής του, συντελούν στο ολοένα και υψηλότερο κόστος της εκτροφής ζώων (Adeli *et al.*, 2016), με αποτέλεσμα την προσπάθεια αντικατάστασης του.



Εικόνα 4.: Η χρήση του ιχθυάλευρου στην βιομηχανία ζωοτροφών (IFFO2022)

Συμπληρωματικά, η κλιματική αλλαγή έχει σοβαρό αντίκτυπο στα θαλάσσια οικοσυστήματα που με την σειρά τους επηρεάζουν τον πληθυσμό των φυσικών αλιευμάτων που αποτελούν πρώτη ύλη για την παραγωγή ιχθυάλευρου. Έρευνες έδειξαν αναμενόμενη μείωση της τάξεως του 12,1% του μέγιστου δυναμικού αλιευμάτων στις παγκόσμιες οικονομικές ζώνες μέχρι το 2050, εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου (Barange, *et al.*, 2018)

Οι αλλαγές στις χημικές και φυσικές συνθήκες του ωκεανού, όπως οι αλλαγές στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και η οξίνιση των ωκεανών, επηρεάζουν το δυναμικό αλίευσης των θαλάσσιων αλιευμάτων λόγω των αλλαγών στα τροφικά πλέγματα, την παραγωγικότητα και τη χωρική κατανομή των ειδών ψαριών που ανταποκρίνονται σε αυτές τις επιδράσεις (Richard & Quijón, 2023).

Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των υδρόβιων ζώων (Ngoan, 2018). Τα ψάρια, ως ποικιλόθερμα, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις μεταβολές της θερμοκρασίας που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή (Adhikari *et al.*, 2018). Με την προβλεπόμενη αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1,5°C, προβλέπεται αυξημένη θνησιμότητα για τα περισσότερα ψάρια, ιδίως για τα είδη ψυχρού νερού, όπως ο σολομός και ο μπακαλιάρος, και τα οστρακοειδή λόγω θερμικής καταπόνησης (Gubbins *et al.*, 2013).

Η οξίνιση των ωκεανών οφείλεται στη μείωση των επιπέδων pH του νερού των ωκεανών για παρατεταμένο χρονικό διάστημα λόγω της πρόσληψης ατμοσφαιρικού CO₂ με αποτέλεσμα την μείωση της ανάπτυξης και την δυσχέρεια επιβίωσης των ψαριών (IPCC, 2018). Επιπλέον, η αύξηση της οξύτητας των ωκεανών μειώνει τη διαθεσιμότητα των ανθρακικών αλάτων που απαιτούνται για την κατασκευή των σκελετών των

κοραλλιών (ασβεστοποίηση) στους οργανισμούς που σχηματίζουν κέλυφος, όπως οι γαρίδες, τα μύδια, τα στρείδια ή τα κοράλλια (Kibria *et al.*, 2017).

Τέλος, η αύξηση της θερμοκρασίας, επιφέρει και άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας μπορεί να καταστρέψει διάφορα παράκτια οικοσυστήματα, ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των αποθεμάτων άγριων ψαριών. Αυτό θα επηρεάσει αρνητικά τα προγράμματα αναπαραγωγής υδατοκαλλιέργειας και την οικονομική βιωσιμότητα του τομέα. Η υψηλότερη στάθμη της θάλασσας προβλέπεται ότι θα επηρεάσει τις εγκαταστάσεις παραγωγής υδατοκαλλιέργειας, όπως τις λίμνες, τους κλωβούς, τις δεξαμενές και τις μάντρες, ιδίως στις πεδινές περιοχές, μέσω της διείσδυσης αλμυρού νερού (Kibria *et al.*, 2017).

Ως εκ τούτου, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης εναλλακτικών πηγών πρωτεϊνών με ισορροπημένα αμινοξέα. πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA), βιταμίνες, μέταλλα, καροτενοειδή και βιοδραστικές ενώσεις (Florou Paneri *et al.*, 2014). Ορισμένες εναλλακτικές πρωτεϊνικές πηγές που καλύπτουν τις άνωθεν προϋποθέσεις για την διατροφή του χοίρου παρουσιάζονται παρακάτω.

1.3 Εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών στην διατροφή του χοίρου

1.3.1 Εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια αντικατάστασης της σόγιας με εναλλακτικές πρωτεϊνικές πηγές φυτικής προέλευσης, όπως άλευρο ηλιάνθου, λιναρόσπορου, φάβας, λούπινου και ψυχανθών (Van Huis and Oonincx, 2017). Η περιεκτικότητα του λούπινου σε ακατέργαστη πρωτεΐνη κυμαίνεται από 44,7% έως 48,2% (Ξ.Ο), ανάλογα με την ποικιλία (Schumacher *et al.* 2011), ενώ είναι χαμηλότερη στην φάβα, κυμαίνεται από 29,6% έως 31,5% (Ξ.Ο) (Sobotka and Fiedorowicz Szatkowska, 2021). Η συγκέντρωση της σφαιρίνης είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση της αλβουμίνης στις πρωτεΐνες των οσπρίων, και επιπλέον τα όσπρια έχουν σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε αμινοξέα που περιέχουν θείο, περίπου 50% μικρότερη από αυτή της σόγιας. Άρα, στα σιτηρέσια χοίρων που περιέχουν σπόρους οσπρίων πρέπει να γίνεται προσθήκη και άλλων φυτικής προέλευσης πρωτεϊνικών πηγών πλούσιων σε αμινοξέα που περιέχουν θείο, ή να γίνει προσθήκη μεθειονίνης (Jezierny *et al.* 2010). Τέλος, οι σπόροι λούπινου περιέχουν κυρίως αλκαλοειδή και α-γαλακτοζίτες, ενώ οι σπόροι φάβας περιέχουν τανίνες (Sobotka and Fiedorowicz-Szatowska 2021).



Εικόνα 5.: Φυτό, σπόρος και άλευρο λούπινου
(www.legumehub.eu)

Το άλευρο ηλίανθου είναι ένα υποπροϊόν που λαμβάνεται από την εξαγωγή του ελαίου ηλιόσπορου, το οποίο χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση ή για την παραγωγή βιοντίζελ. Η παγκόσμια παραγωγή ηλιόσπορου είναι μεγάλη και κατέχει την τέταρτη θέση στην παραγωγή ελαιούχων σπόρων. Η εξαγωγή ελαίου από τους ηλιόσπορους μπορεί να γίνει είτε με μηχανική συμπίεση μέσω κοχλιωτών πρεσών (εκτοξευτήρες) είτε με εκχύλιση με διαλύτη και είναι πλούσια πηγή πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA), τα οποία σήμερα έχουν αποκτήσει μεγάλο ενδιαφέρον στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων (Simopoulos, A. P. 2008). Σύμφωνα με την Vaclavkova *et al.* (2011), η προσθήκη άλευρου ηλιόσπορου στο σιτηρέσιο χοίρων πάχυνσης είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη περιεκτικότητα σε PUFA σε δείγματα μυών και λίπους των ζώων.

Μεταξύ των εναλλακτικών φυτικών πηγών, σε σχέση με το σογιάλευρο, το άλευρο ηλίανθου έχει τις μεγαλύτερες τιμές όσον αφορά την πεπτικότητα της πρωτεΐνης. Η μέση πεπτικότητα των αμινοξέων είναι υψηλή συγκριτικά με εκείνη του σογιάλευρου (de

Oliveira Filho, *et al.*, 2021), έχει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε θειούχα αμινοξέα και ιδίως μεθειονίνη, είναι πλούσια πηγή σιδήρου, ασβεστίου, φωσφόρου και βιταμινών Β, ενώ δεν περιέχει αντιδιατροφικούς παράγοντες και για αυτό τον λόγο μπορεί να χορηγηθεί στους χοίρους χωρίς θερμική ή άλλη επεξεργασία. Στον αντίποδα, η περιεκτικότητα σε λυσίνη είναι φτωχότερη σε σχέση με αυτή του σογιάλευρου και περιέχει χαμηλές ποσότητες ορισμένων φαινολικών ενώσεων όπως το χλωρογενικό οξύ και οι τανίνες γεγονός βέβαια που δεν έχει σοβαρό αντίκτυπο στα εκτρεφόμενα ζώα (Lannuzel C. *et al.*, 2022).

Τέλος, η φάβα θα μπορούσε να αποτελέσει για την κτηνοτροφική βιομηχανία μια εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών και ενέργειας για την αντιστάθμιση του κόστους των ζωοτροφών και την εξασφάλιση σταθερού εφοδιασμού του ζωικού κεφαλαίου με ζωοτροφές (Etemadi *et al.*, 2019).

Οι σπόροι φάβας περιέχουν 61,35% ολική πρωτεΐνη, η συνολική περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες κυμαίνεται από 457 έως 701 g/kg Ξ.Ο, με το άμυλο, τα ολικά σάκχαρα και τις φυτικές ίνες να αποτελούν τα κύρια συστατικά υδατανθράκων. Είναι καλές πηγές διαιτητικών ανόργανων συστατικών, ιδίως καλίου, φωσφόρου, σιδήρου και ψευδαργύρου και συγκριτικά με το καλαμπόκι και το σιτάρι που χρησιμοποιούνται ευρέως στις ζωοτροφές, περιέχουν υψηλότερη περιεκτικότητα πρωτεΐνης, διαιτητικών ινών, καλίου, σιδήρου και φυλλικού οξέος (Gu *et al.*, 2020). Το περιεχόμενο βέβαια της χημικής σύνθεσης των σπόρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους γονότυπους/καλλιέργειες και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και από τις πρακτικές γεωργικής διαχείρισης. Παρά το γεγονός ότι είναι πλούσιοι σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη και ανόργανα άλατα, περιέχουν μια ποικιλία αντιδιατροφικών παραγόντων, όπως ολικά φαινολικά, τανίνες και αναστολείς δραστηριότητας της θρυψίνης, που επηρεάζουν αρνητικά την γευστικότητα της τροφής καθώς και τη βιοδιαθεσιμότητα της πρωτεΐνης και της ενέργειας (Kowalczyk *et al.*,

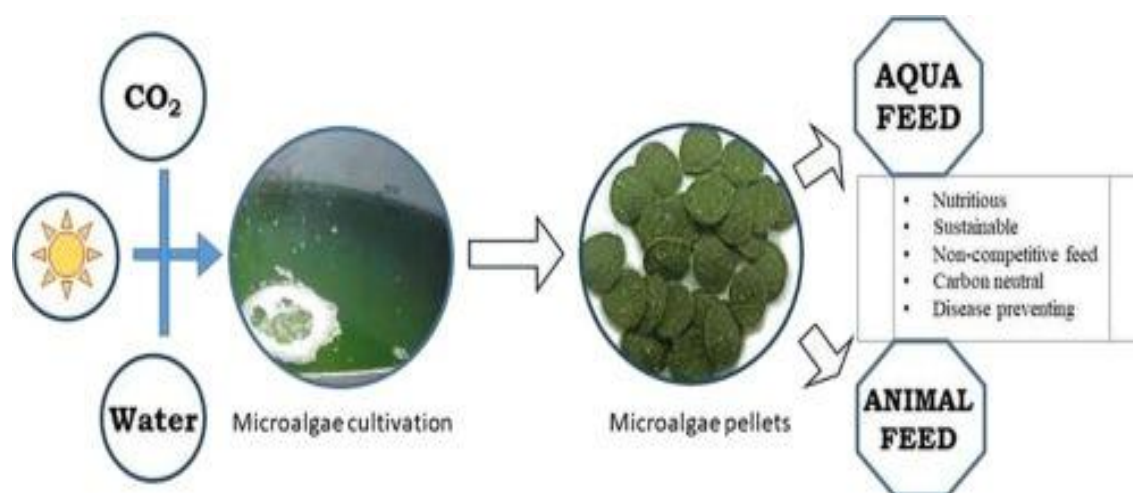
2020). Οι Schwediauer *et al.* (2018), ανέφεραν πως η προσθήκη φάβας έως και 160g/kg με σκοπό την αντικατάσταση βασικών οσπρίων, σε σιτηρέσια χοίρων, δεν επηρεάζει το τελικό βάρος και την FCR χοιριδίων απογαλακτισμού, ενώ αντίθετα ψηλότερο επίπεδο ένταξης 240 g/kg στη διατροφή θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά τις παραγωγικές επιδόσεις των χοιριδίων.



Εικόνα 6.: Η φάβα
(www.legumehub.eu)

Τα φύκη, και κυρίως τα μικροφύκη, αποτελούν μια νέα πηγή πρωτεϊνών με ποιότητα ίδια ή και ανώτερη σε σύγκριση με τις πρωτεΐνες των συμβατικών φυτών στις ζωοτροφές, όπως το σογιάλευρο. Αποτελούν σημαντική πηγή ανόργανων ουσιών, περιέχουν πολυσακχαρίτες και τα λιπαρά οξέα των μικροφυκών παρέχουν στους ζωϊκούς οργανισμούς τα απαραίτητα ω-3 λιπαρά οξέα (Lum *et al.*, 2013). Ερευνητές από την δεκαετία του 50 μάλιστα, υποστηρίζουν πως τα φύκια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων. Σήμερα εκτιμάται ότι το 30% περίπου των παραγόμενων φυκιών στον κόσμο χρησιμοποιείται κυρίως εξαιτίας της υψηλής ποιότητας πρωτεϊνών που περιέχουν. Χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο κυρίως ως ζωντανή

τροφή στις υδατοκαλλιέργειες και καλλιεργούνται για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων στον τομέα της κοσμετολογίας, της φαρμακευτικής και γενικά για βιομηχανική χρήση. Πολλοί από τους μεταβολίτες των φυκών έχουν φαρμακευτική αξία, είτε επειδή είναι αντιοξειδωτικά, είτε επειδή ενισχύουν το ανοσοποιητικό και το νευρικό σύστημα του ανθρώπου και των ζώων, είτε επειδή έχουν ιστατική δράση (Lum *et al.*, 2013).



Εικόνα 7.: Η χρήση των μικροφυκών στις ζωοτροφές (Gnanasekaran *et al.*, 2019)

Ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μικροφύκη τόσο στα τρόφιμα όσο και στις ζωοτροφές είναι η Σπιρουλίνα (*Arthrospira platensis*). Η Σπιρουλίνα είναι ένα κυανοβακτήριο, γνωστό και ως γαλαζοπράσινο μικροφύκος, και είναι ως εκ τούτου ένας αυτότροφος προκαρυώτης, με υψηλή διατροφική αξία, ιδίως υψηλή πρωτεΐνη (50% έως 70% ΞΒ) και ενδιαφέρουσα περιεκτικότητα σε λιπίδια (5% έως 14% ΞΒ) (Madeira *et al.*, 2017). Ωστόσο, οι ανθεκτικοί υδατάνθρακες του κυτταρικού τοιχώματος των μικροφυκών, είναι δύσπεπτοι από τα μονογαστρικά ζώα, όπως οι χοίροι. Η επιστημονική ομάδα του Grinstead (2000) πρότεινε τη χρήση μικροφυκών (*Spirulina platensis*) ως πρωτεϊνούχο

συμπλήρωμα στη διατροφή απογαλακτισμένων χοιριδίων και απέδειξαν πως μικρή πρόσληψη φυκιών (έως 2%), έδειξε μικρή βελτίωση στην αύξηση του σωματικού τους βάρους, οι Hugh *et al.*, (1985) διαπίστωσαν ότι απογαλακτισμένοι χοίροι που έλαβαν διαιτητικό συμπλήρωμα *Spirulina* σε ποσοστό 1,5% και 3% είχαν ρυθμούς ανάπτυξης έως και 9% υψηλότερους από τους αντίστοιχους χοίρους που δεν έλαβαν συμπλήρωμα.



Εικόνα 8.: *Spirulina platensis*
(Hugh *et al.*, 1985)

1.4 Μικροβιακή πρωτεΐνη ως εναλλακτική πρωτεϊνική πηγή

Στη διατροφή των ζώων, το βακτηριακό πρωτεϊνούχο άλευρο (BPM) μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική πρωτεΐνη πηγή σε σχέση με το ιχθυάλευρο και το κρεατάλευρο και μια μη γενετικά τροποποιημένη εναλλακτική λύση σε σχέση με τις γενετικά τροποποιημένες φυτικές πηγές πρωτεϊνών. Παράγεται με συνεχή ζύμωση φυσικού αερίου και αμμωνίας από τα βακτήρια *Methylococcus capsulatus*, *Ralstonia sp.*, *Brevibacillus agri* και *Aneurinibacillus sp.* Στις βιομηχανικές ζυμώσεις, χρησιμοποιούνται βιοαντιδραστήρες, με κυριότερους τους βιοαντιδραστήρες βυθισμένης ζύμωσης και τους βιοαντιδραστήρες ζύμωσης στερεάς κατάστασης (Εικόνα 9)



Εικόνα 9.: Βιοαντιδραστήρας βυθισμένης ζύμωσης (www.gibobsrl.com/biotech-plants/bioreactors-smf)

Η βακτηριακή καλλιέργεια συμπυκνώνεται, αποστειρώνεται με θερμότητα και ξηραίνεται για να ληφθεί ένα ξηρό προϊόν με υψηλή σταθερότητα αποθήκευσης. Το βακτηριακό άλευρο είναι κοκκινωπό/καφέ και περιέχει 70% ακατέργαστη πρωτεΐνη και 10% λίπος. Το προφίλ των αμινοξέων είναι παρόμοιο με αυτό του ιχθυάλευρου, με τη διαφορά ότι η περιεκτικότητα σε λυσίνη είναι κάπως χαμηλότερη και η περιεκτικότητα σε τρυπτοφάνη υψηλότερη (Storebakken *et al.*, 2004).

Είναι γνωστό ότι οι παραδοσιακές πρωτεϊνικές πηγές σε δίαιτες χοίρων μπορούν να αντικατασταθούν από ορισμένες μονοκυτταρικές πρωτεΐνες χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση των ζώων (Overland *et al.*, 2001). Κατά την τελευταία δεκαετία το BPM έχει διερευνηθεί σε διάφορες μελέτες απόδοσης σε διάφορα μονογαστρικά είδη και ψάρια και

απεδείχθη μια νέα, πολλά υποσχόμενη πηγή πρωτεΐνης. Προσθήκη BPM, σε σιτηρέσια κοτόπουλων, που παρείχε έως και το ένα τρίτο της πρόσληψης N διατήρησε την απόδοση των ζώων και εξασφάλισε την υγεία τους (Skrede *et al.*, 2003), ενώ όσων αφορά αναπτυσσόμενους χοίρους τελικής εκτροφής, η επιστημονική ομάδα του Øverland (2001) απέδειξε πως προσθήκη BPM στα σιτηρέσια τους, που αποτελούσε τουλάχιστον το 50% του διαιτητικού N, δεν επέφερε δυσμενείς επιδράσεις στην απόδοσή τους. Τέλος, οι Hellwing *et al.*, (2005), ανέφεραν πως η ενσωμάτωση BPM έως και 50% του διαιτητικού N στη διατροφή των αναπτυσσόμενων χοίρων δεν επηρεάζει τον μεταβολισμό των πρωτεϊνών και της ενέργειας ενώ με την αύξηση των διαιτητικών επιπέδων του BPM, η ποσότητα των προσλαμβανόμενων αμινοξέων μειώθηκε, αλλά τα ζώα εξακολουθούσαν να είναι σε θέση να διατηρούν την απορρόφηση πρωτεϊνών στο ίδιο επίπεδο.

1.5 Η χρήση πρωτεϊνών εντόμων ως εναλλακτική πρωτεϊνική πηγή

Επί του παρόντος, τα έντομα θεωρούνται μια νέα πηγή πρωτεΐνης για τις ζωοτροφές. Υπάρχουν περίπου ένα εκατομμύριο γνωστά είδη εντόμων, αν και έχει υπολογιστεί ότι η παγκόσμια ποικιλομορφία τους φτάνει τα 80 εκατομμύρια (Premalatha *et al.*, 2011). Οι Grimaldi και Engel (2005) ανέφεραν ότι μόνο το 20% περίπου των εντόμων έχουν ονομαστεί και περιγραφεί, ενώ αποτελούν το 58% της παγκόσμιας γνωστής βιοποικιλότητας.

Από τα αρχαία χρόνια, τα έντομα αποτελούσαν μια εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης, για την περιοδική ή εποχιακή αντιστάθμιση άλλων σπάνιων πηγών (Rumpold & Schlüter 2013). Οι περισσότερες υπάρχουσες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στα έντομα που έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη διατροφή στην Αφρική, την Ασία και τη Λατινική Αμερική. Αν και τα έντομα άρχισαν να αξιολογούνται ως δυνητικό τρόφιμο για τα ζώα πριν

από 40 χρόνια, η ενσωμάτωση των εντόμων σε ζωοτροφές για τα μονογαστρικά δεν είχε λάβει ιδιαίτερη προσοχή μέχρι πρόσφατα (Barroso *et al.*, 2014).

Τα έντομα αποτελούν μέρος της φυσικής διατροφής αρκετών ζώων. Είναι πλούσια σε αμινοξέα, λιπίδια, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία, καθώς επίσης έχουν και ένα σαφώς μικρότερο οικολογικό αποτύπωμα σε σχέση με εκτροφές άλλων ζώων (δεν υπάρχει ανάγκη για καλλιεργήσιμη γη, χαμηλή ανάγκη για ενέργεια και νερό). Τα έντομα είναι αποτελεσματικοί μετατροπείς τροφής επειδή δεν χρησιμοποιούν ενέργεια για να διατηρήσουν υψηλή θερμοκρασία σώματος. Επιπλέον, έχουν την ικανότητα μετατροπής οργανικών πλευρικών ροών σε προϊόντα πρωτεΐνης υψηλής αξίας. Ειδικότερα, η χρήση εντόμων στη βιομετατροπή απορριμμάτων αποτελεί μια νέα προσέγγιση και ένα αξιόλογο παράδειγμα βιώσιμης κυκλικής οικονομίας (Makkar 2018).

Το νομοθετικό σύστημα για τη χρήση εντόμων στις ζωοτροφές διαφέρει πολύ μεταξύ των χωρών παγκοσμίως και δεν σχετίζεται πάντα με την «παραδοσιακή» χρήση των εντόμων ως τροφή (Han *et al.*, 2017). Τα εδώδιμα έντομα αποτελούν εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών και εκτιμάται ότι καταναλώνονται παγκοσμίως περίπου 1600 είδη, κυρίως είδη των τάξεων Coleoptera, Lepidoptera και Hymenoptera. Ο κανονισμός 2015/2283 ενέκρινε τη χρήση προϊόντων που προέρχονται από έντομα ως νέα τρόφιμα για ανθρώπινη κατανάλωση (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2015). Μεταξύ των εδωδιμων εντόμων, το *Tenebrio molitor* L. είναι ένα από τα πιο υποσχόμενα και η χρήση των προνυμφών εγκρίθηκε από την ΕΕ ως νέα τρόφιμα μαζί με άλλα έξι είδη (Κανονισμός 2015/2283; (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2015)), και μπορούν να διατεθούν στο εμπόριο σε κατεψυγμένη μορφή, αποξηραμένη ή σε μορφή σκόνης (Κανονισμός 2022/169; (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2022)).



Εικόνα 10.: Προνύμφες *Tenebrio molitor* προς ανθρώπινη κατανάλωση

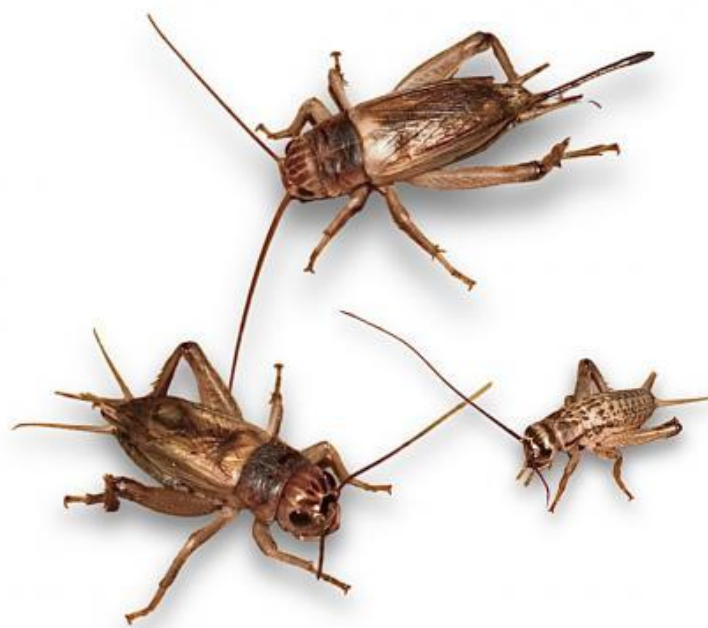
Η ευρωπαϊκή προσέγγιση για τα έντομα ως ζωοτροφές επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το θέμα της σπογγώδους βοοειδούς εγκεφαλοπάθειας, η οποία αποτελεί σοβαρή απειλή για την υγεία και την ασφάλεια των καταναλωτών (Belluco *et al.*, 2017). Το 2017, ο κανονισμός (ΕΕ) 2017/1017 επέτρεψε τη χρήση ζωντανών και νεκρών χερσαίων ασπόνδυλων με ή χωρίς επεξεργασία ως πρώτες ύλες ζωοτροφών με διαφορετική επεξεργασία από τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 ενώ τον Απρίλιο του 2021, τα κράτη μέλη της ΕΕ ψήφισαν θετικά για την αδειοδότηση μεταποιημένων ζωικών πρωτεϊνών εντόμων (PAPs) από οκτώ είδη: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus assimilis* και *Bombyx mori* στις ζωοτροφές πουλερικών και χοίρων, ιχθύων και η χρήση τους επιτράπηκε από τον Σεπτέμβριο του 2021 (Κανονισμός 2017/893; Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2017).



Εικόνα 11.: *Black soldier fly*
(www.naturepl.com)



Εικόνα 12.: *Bombyx mori*
(www.naturepl.com)



Εικόνα 13.: *Gryllus assimilis*
(www.naturepl.com)

Τα έντομα αποτελούν ένα ολοένα και πιο ελκυστικό προϊόν ζωοτροφών και τροφίμων, ιδίως ως μια νέα και βιώσιμη πηγή πρωτεϊνών υψηλής ποιότητας για τη ζωική παραγωγή. Μέχρι σήμερα έχουν αναγνωριστεί περίπου 2.000 είδη βρώσιμων εντόμων και η διατροφική αξία τους ποικίλει από είδος σε είδος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι Hong J. και Kim Y.Y. (2022), ανέφεραν πως η μέση περιεκτικότητα πρωτεΐνης των εντόμων κυμαίνεται μεταξύ 50 και 82% ανάλογα με το είδος του εντόμου ή με τη μέθοδο επεξεργασίας του, ενώ έρευνες έδειξαν πως τα χαμηλότερα επίπεδα πρωτεϊνών ανήκουν σε έντομα της Τάξης των Κολεόπτερων (*Rhynchophorus ferrugineus*, 35%), και των Δίπτερων (*Hermetia illucens* larvae, 36%), και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη την είχαν έντομα της Τάξης των Ορθόπτερων (*Heteracris littoralis*, 74% και *Acheta domestica* 73%), η οποία είναι παρόμοια με αυτή του ιχθυάλευρου (73%) (Barroso *et al.* 2014). Το προφίλ των απαραίτητων αμινοξέων των εντόμων εξαρτάται από την Τάξη στην οποία ανήκουν.

Συγκεκριμένα, το προφίλ των αμινοξέων σε άλευρα που προέρχονται από έντομα που ανήκουν στην Τάξη των Δίπτερων, θεωρείται στενά συνδεδεμένο με το προφίλ των ιχθυάλευρων και τα προφίλ των αλεύρων από Κολεόπτερα και Ορθόπτερα κοντά στο προφίλ του σογιάλευρου με πιθανές ελλείψεις στα αμινοξέα λυσίνη και μεθειονίνη (Barroso *et al.* 2014). Τα συχνότερα περιοριστικά αμινοξέα είναι η ιστιδίνη, η λυσίνη και η τρυπτοφάνη, τα οποία θα πρέπει να ενσωματωθούν για μια ισορροπημένη διατροφή (Sanchez-Muros *et al.* 2014). Όσον αφορά το περιεχόμενο λίπος, το ποσοστό των εντόμων κυμαίνεται μεταξύ 10-30%, και είναι υψηλότερο του ιχθυάλευρου (τυπικά 7-10%), αλλά και της σόγιας (Sanchez-Muros *et al.* 2014). Πειράματα έδειξαν ότι το περιεχόμενο λίπος στα *Locusta migratoria*, προνύμφες *Musca domestica* και *Tenebrio molitor* ήταν σε ποσοστό 30% και στο *Zophoba morio* 38% (Barroso *et al.* 2014). Επιπλέον, κάποια είδη εντόμων περιέχουν ικανοποιητικά επίπεδα σε ω-3 και ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs) και ανόργανα στοιχεία, όπως σίδηρο (Sanchez-Muros *et al.* 2014).

Τα τελευταία χρόνια, οι ερευνητές εστιάζουν στην χρήση εντόμων για την αντικατάσταση της σόγιας και του ιχθυάλευρου σε σιτηρέσια ψαριών, πουλερικών και χοίρων (Makkar 2018) και υπάρχουν θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την υγεία και την απόδοση των ζώων, την υγεία του εντέρου και την ποιότητα του κρέατος (Gasco *et al.*, 2018).

Πειράματα διατροφής με ενσωμάτωση πρωτεΐνης BSF (*Black Soldier Fly*) ή/και TM (*Tenebrio molitor*) στα ενδαιτήματα ψαριών είχαν θετικά αποτελέσματα. Οι Belghit *et al.*, (2019), με 100% υποκατάσταση ιχθυάλευρου από απολιπασμένο άλευρο BSF, στο Σολομό Ατλαντικού απέδειξαν ότι η υποκατάσταση αυτή δεν είχε αρνητικές επιδράσεις στην θρεπτική αξία των ιχθύων. Σε πείραμα με πέστρφες των Dumas *et al.*, (2018), με **13%** υποκατάσταση ιχθυάλευρου από μερικώς απολιπασμένο άλευρο BSF δεν παρατήρησαν αρνητικές επιδράσεις στην θρεπτική σύσταση των ιχθύων, ενώ η 40% υποκατάσταση δεν

επηρέασε την περιεκτικότητα πρωτεΐνης των ιχθύων (Renna *et al.*, 2017). Όσο αφορά πειράματα με ενσωμάτωση *T. molitor* άλευρο προνυμφών μπορεί να συμπεριληφθεί σε ποσοστό έως και 50% στα ενδαιτήματα ιριδίζουσας πέστροφας (Melenchón *et al.*, 2020), ενώ οι Rema *et al.*, (2019), απέδειξαν την 100% υποκατάσταση του ιχθυάλευρου από απολιπασμένο άλευρο TM.

Τόσο τα κοτόπουλα ελευθέρως βοσκής όσο και τα άγρια πτηνά, καταναλώνουν εκ φύσεως έντομα. Βέβαια, πολλοί ερευνητές έχουν αξιολογήσει τη σκοπιμότητα συμπλήρωσης εντόμων στις δίαιτες πουλερικών (Khan *et al.*, 2018). Οι Bovera *et al.* (2016) ανέφεραν ότι η αντικατάσταση του σογιάλευρου από άλευρο TM στη διατροφή των πουλερικών δεν είχε σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη, στα αιματολογικά χαρακτηριστικά και στη ποιότητα κρέατος, ενώ οι Biasato *et al.*, (2020) ανέφεραν ότι η αύξηση των επιπέδων της διατροφικής συμπερίληψης γεύματος TM (15%) σε αρσενικά κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής μπορεί να βελτιώσει το σωματικό βάρος και την πρόσληψη τροφής, αλλά επηρεάζει αρνητικά την αποτελεσματικότητα της τροφής και την μορφολογία του εντέρου, υποδηλώνοντας έτσι ότι τα χαμηλά επίπεδα (πχ 5%) μπορεί να είναι περισσότερο αποτελεσματικά. Δίαιτα με πλήρη αντικατάσταση του άλευρου σόγιας από άλευρο προνυμφών BSF σε όρνιθες αυγοπαραγωγής επέφερε χαμηλότερο F.C.R. σε σχέση με την δίαιτα με σογιάλευρο (Marono *et al.*, 2017). Η υποκατάσταση σογιάλευρου με 15% απολιπασμένο BSF άλευρο σε ορτύκια κρεατοπαραγωγής, επίδρασε θετικά στην βιολογική αξία της πρωτεΐνης του κρέατος, με αυξημένες τις περιεκτικότητες σε ασπαρτικό, γλουταμινικό οξύ, αλανίνη, σερίνη, τυροσίνη και θρεονίνη (Cullere *et al.*, 2018).

Τέλος, οι Vassilopoulos *et al.* (2023) απέδειξαν πως η αντικατάσταση σόγιας με άλευρο T.M. ολόκληρων προνυμφών σε ποσοστά 5 και 10% σε κοτόπουλα Ross-308 ηλικίας ημερών, επηρεάζουν το εντερικό μικροβίωμα στον ειλεό ή στον τυφλό χιτώνα των

κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής. Η χορήγηση προνυμφών *T. molitor* προκάλεσε επικράτηση των Firmicutes τόσο στο τυφλό όσο και στον ειλεό, ενώ σε επίπεδο γένους οι *Lactobacillus* υπερίσχυσαν στον ειλεό. Οι γαλακτοβάκιλλοι θεωρούνται ευρέως ως προβιοτικά και εμπλέκονται σε διάφορες λειτουργίες στα κοτόπουλα, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης, της απόδοσης, της παραγωγής βιταμινών και του μεταβολισμού των χολικών οξέων. Ως εκ τούτου, η ύπαρξη γαλακτοβακίλλων στον ειλεό συμβάλλει θετικά στην απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών.

Όσον αφορά τα μηρυκαστικά, πιθανές πρωτεϊνικές πηγές στα σιτηρέσια τους θα μπορούσαν να αποτελέσουν πρωτεΐνες του Τζαμαϊκανού γρύλλου, της BSF και του TM. Οι Jayanegara *et al* (2017) χρησιμοποίησαν αυτούς τους τρεις τύπους εντόμων για τη διατροφή βοοειδών *Friesian Holstein*. Τα ζώα που έλαβαν ζωοτροφές που περιείχαν όλα τα έντομα απέκριναν πολύ λιγότερο μεθάνιο από εκείνα που τρέφονταν με σογιάλευρο και η μειωμένη πεπτικότητα των εντόμων είχε ως αποτέλεσμα χαμηλή παραγωγή H₂, το οποίο αποτελεί σημαντικό υπόστρωμα για την παραγωγή μεθανογένεσης. Βέβαια όσον αφορά τα μηρυκαστικά η χορήγηση άλευρου εντόμων γίνεται μόνο στη φάση πριν την ανάπτυξη των προστομάχων και της μεγάλης κοιλίας και βέβαια απαγορεύεται η χορήγησή τους στην Ε.Ε.

Υπάρχουν περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση πρωτεϊνών εντόμων στη διατροφή των χοίρων αν και η δράση τους μελετάται εδώ και αρκετές δεκαετίες. Οι Makkar H.P. *et al.* (2014), σε ανασκόπηση τους για την χρήση πρωτεϊνών εντόμων σε ζωοτροφές αναφέρουν την συμπερίληψη άλευρου σκουληκιών οικιακής μύγας από ερευνητές στην Ρωσία, σε σιτηρέσιο χοιρομητέρων και γεννητόρων και κατέληξαν πως η προσθήκη αυτή δεν είχε δυσμενείς επιπτώσεις στην απόδοση των χοιριδίων, την υγεία, τις οργανοληπτικές ιδιότητες ή στη φυσιολογία και την απόδοση αναπαραγωγής των χοιρομητέρων.

Η χρήση αλεύρου μεταξοσκώληκα έχει εξεταστεί σε αναπτυσσόμενους και ώριμους χοίρους. Η αντικατάσταση σε επίπεδο 100% του αλεύρου σόγιας ή του ιχθυάλευρου με απολιπασμένο αλεύρο μεταξοσκώληκα δεν είχε αρνητικές επιπτώσεις στις επιδόσεις ανάπτυξης και στα χαρακτηριστικά του κρέατος. Ωστόσο, σε επίπεδα υποκατάστασης υψηλότερα από 50%, παρατηρήθηκε μείωση της πρόσληψης τροφής, η οποία αντισταθμίστηκε από καλύτερο FCR που δεν αλλοίωσε την ποιότητα του κρέατος, ή τις παραμέτρους του αίματος (Medhi, 2011).

Οι Ao *et al.* (2019) απέδειξαν ότι υποκατάσταση ιχθυάλευρου της τάξεως του 2% από αλεύρο αποξηραμένων προνυμφών αλευρώδους (*Ptecticus tenebrifer*) μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διατροφή των χοίρων στην φάση του απογαλακτισμού χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση ανάπτυξης ή στην πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών.

Όπως προαναφέρθηκε η διαθέσιμη βιβλιογραφία για την χρήση πρωτεϊνών εντόμων στην διατροφή του χοίρου είναι περιορισμένη και είναι επιτακτική η ανάγκη εμπλουτισμού της, καθώς τα αποτελέσματα μερικών δοκιμασμένων ειδών είναι ελπιδοφόρα, με το *Tenebrio molitor* να κυριαρχεί. Η δημοτικότητα του ως εναλλακτική πρωτεϊνική πηγή στα σιτηρέσια ζώων, οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει η διαδικασία ελέγχου του κύκλου ζωής του, άρα και της μαζικής εκτροφής του (Sogari *et al.*, 2019).

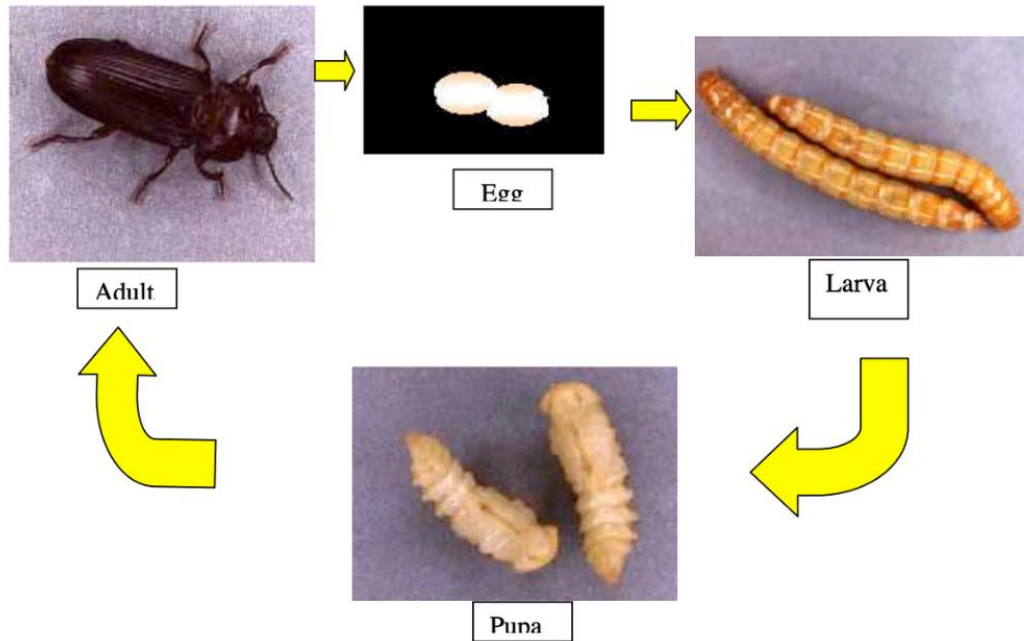
Αν και η χρήση της προσθήκης πρωτεΐνης από το *T.molitor* έχει μελετηθεί εδώ και αρκετά χρόνια, υπάρχουν σχετικά λίγα δεδομένα για την επίδρασή της σε εκτρεφόμενους χοίρους, ίσως γιατί απαιτείται μεγάλη ποσότητα εντόμων για την κάλυψη των διατροφικών τους αναγκών. Ξεκινώντας από τη θρεπτική αξία της αλεύρου που παράγεται από προνύμφες *T. molitor*, παρακάτω παρουσιάζονται μελέτες σχετικά με το πως η χρήση

πρωτεϊνών του *T. molitor* στην διατροφή του χοίρου, επιδρά στην ανάπτυξη των ζώων, πως τις παραμέτρους κρέατος και την μικροβιολογία εντέρου.

2. Η χρήση πρωτεϊνών του *Tenebrio molitor* στη διατροφή του χοίρου

2.1 Προνύμφες *Tenebrio molitor*: η θρεπτική τους αξία

Το *Tenebrio molitor* (*T. molitor*) ανήκει στην οικογένεια Tenebrionidae, μια οικογένεια με περισσότερα από 20.000 είδη σκαθαριών και είναι ευρέως γνωστό ως «yellow mealworm» ή «σκώληκας του αλεύρου» (Yang *et al.*, 2018). Ο κύκλος της ζωής του αποτελείται από τέσσερα στάδια ανάπτυξης, και συγκεκριμένα από το αυγό, την προνύμφη (larvae), τη νύμφη (pupae) και το ενήλικο (adult) (Ribeiro 2017). Ολόκληρος ο κύκλος ζωής του, λαμβάνει χώρα στο ίδιο οικοσύστημα. Ωστόσο, τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του εξαρτώνται άμεσα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως τη θερμοκρασία, τη φωτοπερίοδο, τη σχετική υγρασία, αλλά και τη διαθέσιμη τροφή και την πυκνότητα του πληθυσμού (Ribeiro, 2017).



Εικόνα 14.: Ο κύκλος της ζωής του *Tenebrio molitor* (www.cucarachasdubia.com)

Περίπου 500 αυγά γεννιούνται από τα θηλυκά, τα οποία εκκολάπτονται μετά από 3-9 ημέρες και μετατρέπονται σε προνύμφες στους 25°C. Το στάδιο της προνύμφης διαρκεί από έναν έως οκτώ μήνες. Μετά από 5–28 ημέρες στους 18°C, το στάδιο της νύμφης τελειώνει και το στάδιο της ενηλικίωσης διαρκεί 2-3 μήνες. Οι προνύμφες συνήθως έχουν κίτρινο - καφέ χρώμα και μέγεθος μεταξύ δύο και τριών εκατοστών, ενώ τα ενήλικα είναι περίπου ένα εκατοστό. Τα ενήλικα καταναλώνουν προϊόντα φυτικής και ζωικής προέλευσης, συμπεριλαμβανομένου του κρέατος και των φτερών, καθώς είναι παμφάγα.

Το *Tenebrio molitor* είναι εδώδιμο στο στάδιο της προνύμφης. Το 60% περίπου του σώματος αυτής αποτελείται από νερό, ενώ η περιεκτικότητα του σε πρωτεΐνες αγγίζει το 60% επί ξηρού και έως και 19,1% επί νωπού βάρους και σε λίπη το 45% επί ξηρού, 20% επί νωπού βάρους. Το σωματικό λίπος της προνύμφης είναι συνήθως σταθερό και ανεξάρτητο από τη τροφή που λαμβάνει, ενώ αν υποβληθεί σε δίαιτα χαμηλής θρεπτικής

αξίας, έχει την ικανότητα να χρησιμοποιεί το αποθηκευμένο λίπος για την απόκτηση ενέργειας (Makkar *et al.*, 2014).

Η αποτελεσματικότητα των προνυμφών *T. molitor* έχει αποδειχθεί ότι είναι υψηλότερη από εκείνη των ενηλίκων. Η διατροφική τους αξία παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 (Hong *et al.*, 2020). Όπως είναι εμφανές, η περιεκτικότητα των προνυμφών σε υψηλής ποιότητας πρωτεΐνη αλλά και λίπους τις κάνουν κατάλληλες πηγές αντικατάστασης της σόγιας και του ιχθυάλευρου.

Πίνακας 1: Η διατροφική αξία των προνυμφών *T. Molitor* ή του άλευρου αυτού (επί ξηρής ουσίας) (Hong *et al.*, 2020).

ΠΡΟΝΥΜΦΗ <i>T. MOLITOR</i>							ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΟΓΙΑΛΕΥΡΟ	ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟ
Ακατέργαστη πρωτεΐνη (CP) %	53.83	47.70	50.79(6.25)	47.00	53.22(6.25)	46.44	49.44	67.53
Ακατέργαστο λίπος %	28.03	37.70	36.77	29.60	34.54	32.70	1.40	10.36
Τέφρα %	6.99		6.70	2.56	4.04	2.86	7.19	17.15
Ακατέργαστες ίνες %	7.53	5.00	6.48	5.60	6.26	4.58	7.43	0.26
Χιτίνη %	5.60			8.91				
Αναφορά	Sedgh-Gooya, et al (2020)	Ramos-Elorduy, et al (2002)	Yoo, et al(2019)	Benzertih, et al (2020)	Ghosh, et al(2019)	Ravzanaadii, et al (2012)	National Research Council. (2012)	National Research Council. (2012)

Οι προνύμφες *T. molitor* θεωρούνται μια εξαιρετικά βιώσιμη πηγή πρωτεΐνης υποκατάστατο του ιχθυάλευρου ή του σογιάλευρου λόγω της υψηλής περιεκτικότητας, της ποιότητας και του προφίλ αμινοξέων τους. Στις προνύμφες *T. molitor*, τα πιο κοινά απαραίτητα αμινοξέα είναι τα Leu, Val και Lys, ενώ τα λιγότερο κοινά είναι τα His, Met και Trp. Οι προνύμφες *T. molitor* έχουν περιεκτικότητα σε Lys που κυμαίνεται από 1,58% έως 5,76% και περιεκτικότητα σε Met που κυμαίνεται από 0,52% έως 2,20% (Hong *et al.*,

2020). Επιπλέον, οι προνύμφες *T. molitor* έχουν θρεονίνη σε συγκέντρωση από 1,57% έως 4,29% και τρυπτοφάνη σε συγκέντρωση από 0,02% έως 1,86%.



Εικόνα 15.: Προνύμφες *Tenebrio molitor*

Σε σύγκριση με το σογιάλευρο, οι προνύμφες *T. molitor* περιέχουν υψηλότερα επίπεδα λυσίνης, μεθειονίνης, θρεονίνης, τρυπτοφάνης, βαλίνης και ισολευκίνης (Hong *et al.*, 2020). Τα επίπεδα Trp, Val και Ile των προνυμφών *T. molitor* είναι υψηλότερα από εκείνα του ιχθυάλευρου, παρόλο που οι ποσότητες λυσίνης, μεθειονίνης και θρεονίνης είναι χαμηλότερες. Επιπροσθέτως, οι προνύμφες *T. molitor* περιέχουν ωφέλιμα λιπαρά οξέα. Τα επίπεδα του μυριστικού οξέος (C14:0), του παλμιτικού οξέος (C16:0) και του στεατικού οξέος (C18:0) για τα κορεσμένα λιπαρά οξέα του *T. molitor* larvae (SFA) είναι 2,12% έως

5,21%, 9,33% έως 17,21%, και 0,26% έως 3,06%, αντίστοιχα. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα (UFA) στις προνύμφες *T. molitor* αναφέρθηκαν ότι κυμαίνονται από 9,33% έως 17,24% για το παλμιτολεϊκό οξύ (C16:1), 40,78% έως 49,71% για το ελαϊκό οξύ (C18:1n9), 24,19% έως 35 για το λινολεϊκό οξύ (C18:2n6), 0,35% έως 2,27% για το λινολενικό οξύ (C18:3n3), 0,03% έως 1,85% για το γ-λινελαϊκό οξύ (C18:3n6) και 0,06% έως 0,39% για το εικοσενοϊκό οξύ (C20 :1n9). Για τις προνύμφες *T. molitor*, το εύρος των SFA και UFA είναι 22,3% έως 23,3% και 77,7% έως 79,0%, αντίστοιχα (Ravzanaadii, Kim, Choi, Hong, & Kim, 2012).

Πίνακας 2.: Περιεκτικότητα του άλευρου του *Tenebrio molitor* σε λιπαρά οξέα
(Ravzanaadii, Kim, Choi, Hong, & Kim, 2012).

Fatty acid	Larvae	Adult	Exuvium	Excreta
Saturated fatty acid	22.26	26.66	35.57	23.97
Unsaturated fatty acid	77.74	73.34	64.43	76.03
omega 3	46.1	39.97	39.54	25.65
omega 6	31.64	33.36	24.89	50.38

Όσον αφορά την χιτίνη, η σύνθεση και η ποσότητα της ποικίλλει ανάλογα με το είδος και τα στάδια ανάπτυξης. Το μεγαλύτερο μέρος της χιτίνης παρατηρείται στον εξωσκελετό, με ποσοστό περίπου 18,35%. Η προνύμφη του *T. molitor* περιέχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε χιτίνη σε σύγκριση με άλλους τύπους. Οι Adámková *et al.*, (2017) διαπίστωσαν ότι οι προνύμφες του *T. molitor* περιείχαν 13 g/100 g χιτίνης ενώ οι νύμφες 12 g/100 g χιτίνης. Οι προνύμφες *T. molitor* έχουν μέση περιεκτικότητα σε χιτίνη 6,41%, με εύρος από 4,92% έως 13,0% (Adámková, *et al.*, 2017). Αν και θεωρείται δύσπεπτη ίνα, έχει θετικές επιδράσεις στην λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και μπορεί να βελτιώσει την ανοσολογική κατάσταση και απόδοση των ζώων (Yuanqing *et al.*, 2013).

Επίσης, με την αποακετυλίωση της χιτίνης, δημιουργείται η χιτοζάνη - ένα υλικό που θεωρείται κατάλληλο για χρήση στη βιοϊατρική. Σύμφωνα με έρευνα, οι προνύμφες *T. molitor* έχουν 11,56 mg/g χιτοζάνης, υποδηλώνοντας ότι οι προνύμφες των εν λόγω εντόμων μπορούν να τραφούν ή να χρησιμοποιηθούν ως λειτουργική τροφή.

2.2 Η θρεπτικότητα του άλευρου από προνύμφες *T. Molitor*

Το άλευρο που παράγεται από προνύμφες *T. molitor* έχει αναλυθεί εκτενώς για τη χημική της σύνθεση και το προφίλ αμινοξέων. Είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες, με εύρος τυπικά από 40% έως 60% με βάση την ξηρή ουσία, ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας και το στάδιο ανάπτυξης του εντόμου (Gasco *et al.*, 2016), περιέχει ένα ισορροπημένο προφίλ αμινοξέων, συμπεριλαμβανομένων των απαραίτητων αμινοξέων όπως η λυσίνη, η μεθειονίνη και η θρεονίνη, που είναι κρίσιμα για τη διατροφή των χοίρων.

Εννέα αμινοξέα - ιστιδίνη (His), ισολευκίνη (Iso), λευκίνη (Leu), λυσίνη (Lys), μεθειονίνη (Met), φαινυλαλανίνη (Phe), θρεονίνη (*θρεονίνη*), τρυπτοφάνη (Trp) και βαλίνη (Val) - πρέπει να καταναλώνονται μέσω της διατροφής, επειδή τα ζώα δεν είναι σε θέση να τα συνθέσουν. Η τρυπτοφάνη βρίσκεται σπάνια στις προνύμφες του *T. molitor*, οι οποίες είχαν υψηλές συγκεντρώσεις Leu, Val και Lys, αλλά χαμηλές συγκεντρώσεις των EAA His, Met και Trp. Όπως και η ακατέργαστη πρωτεΐνη, η θερμοκρασία, η υγρασία, το υπόστρωμα της τροφής, η τοποθεσία εκτροφής και οι συνθήκες εκτροφής των προνυμφών *T. molitor* επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των EAA. Για παράδειγμα, οι ποσότητες Lys και *θρεονίνη* στις προνύμφες *T. molitor* μπορεί να ποικίλλουν από 1,6% έως 5,8% και 1,3% έως 4,3%, αντίστοιχα.

Επιπλέον, το άλευρο από *T. molitor* είναι πηγή λιπαρών οξέων, όπως τα ω-3 και ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, καθώς και βιταμινών και ανόργανων συστατικών (Gasco *et al.*, 2019). Τα ω-3 λιπαρά οξέα έχουν αντιφλεγμονώδεις και καρδιοπροστατευτικές

ιδιότητες, συμβάλλοντας επίσης στην ανάπτυξη του εγκεφάλου και της όρασης. Όταν χρησιμοποιείται ως συστατικό στις ζωοτροφές των χοίρων, το άλευρο προνυμφών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το προφίλ λιπαρών οξέων του χοιρινού κρέατος, αυξάνοντας την περιεκτικότητά του σε ω -3 και ω -6. Αυτό το καθιστά μια πιο υγιεινή επιλογή για τους καταναλωτές, καθώς η αυξημένη πρόσληψη κεκορεσμένων λιπαρών οξέων έχει συσχετιστεί με μειωμένο κίνδυνο για διάφορες χρόνιες παθήσεις όπως καρδιαγγειακά νοσήματα και ορισμένους τύπους καρκίνου.

Εκτός από τα λιπαρά οξέα, το άλευρο *T. molitor* είναι επίσης καλή πηγή διαφόρων βιταμινών και ανόργανων θρεπτικών συστατικών. Περιέχει υψηλά επίπεδα της βιταμίνης B12, η οποία είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία του νευρικού συστήματος και την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων. Επίσης, είναι πλούσιο σε ριβοφλαβίνη (βιταμίνη B2), νιασίνη (βιταμίνη B3) και φυλλικό οξύ.

Ένα άλλο σημαντικό συστατικό της προνύμφης *T. molitor* είναι η ακατέργαστη τέφρα, η οποία εξετάζεται σε όλες τις έρευνες που εξετάζουν τη διατροφική αξία της προνύμφης. Το σύνολο όλων των ανόργανων στοιχείων, συμπεριλαμβανομένου του φωσφόρου (P), του ασβεστίου (Ca), του νατρίου (Na) και του μαγνησίου (Mg), αναφέρεται ως ακατέργαστη τέφρα. Η περιεκτικότητα σε ακατέργαστη τέφρα, κυμαίνεται μεταξύ περίπου 1,0 και 4,2% και επηρεάζεται από τη σύνθεση της ολικής πρωτεΐνης και του λίπους, εκτός από άλλα θρεπτικά συστατικά. Διάφορες έρευνες προσδιόρισαν και μέτρησαν τα ανόργανα συστατικά που υπάρχουν στις προνύμφες του *T. molitor*. Συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί ότι η περιεκτικότητα των προνυμφών σε P φτάνει το 1,0%, η περιεκτικότητα σε Ca φτάνει το 0,5%, η περιεκτικότητα σε Na φτάνει το 0,4%.

Αυτά τα ανόργανα στοιχεία διαδραματίζουν ζωτικούς ρόλους σε διάφορες βιοχημικές και μεταβολικές διεργασίες του οργανισμού. Ο φώσφορος και το ασβέστιο είναι

απαραίτητα για την ανάπτυξη και τη διατήρηση υγιών οστών και δοντιών. Το νάτριο και το κάλιο εμπλέκονται στη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης και τη μυϊκή λειτουργία. Το μαγνήσιο συμμετέχει σε περισσότερες από 300 ενζυμικές αντιδράσεις, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με τον μεταβολισμό των πρωτεϊνών, των λιπιδίων και των υδατανθράκων.

Τα ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός είναι επίσης ζωτικής σημασίας. Ο σίδηρος είναι απαραίτητος για τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης και τη μεταφορά οξυγόνου. Ο ψευδάργυρος συμμετέχει στη σύνθεση πρωτεϊνών και DNA, ενώ ο χαλκός είναι απαραίτητος για την ανοσολογική λειτουργία και την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων.

Όταν χρησιμοποιείται ως συστατικό στις ζωοτροφές των χοίρων, το άλευρο *T. molitor* μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην πρόσληψη αυτών των ζωτικών ανόργανων θρεπτικών συστατικών. Αυτό μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις στην υγεία και την ανάπτυξη των χοίρων, καθώς και στη θρεπτική αξία του παραγόμενου χοιρινού κρέατος για τους καταναλωτές.

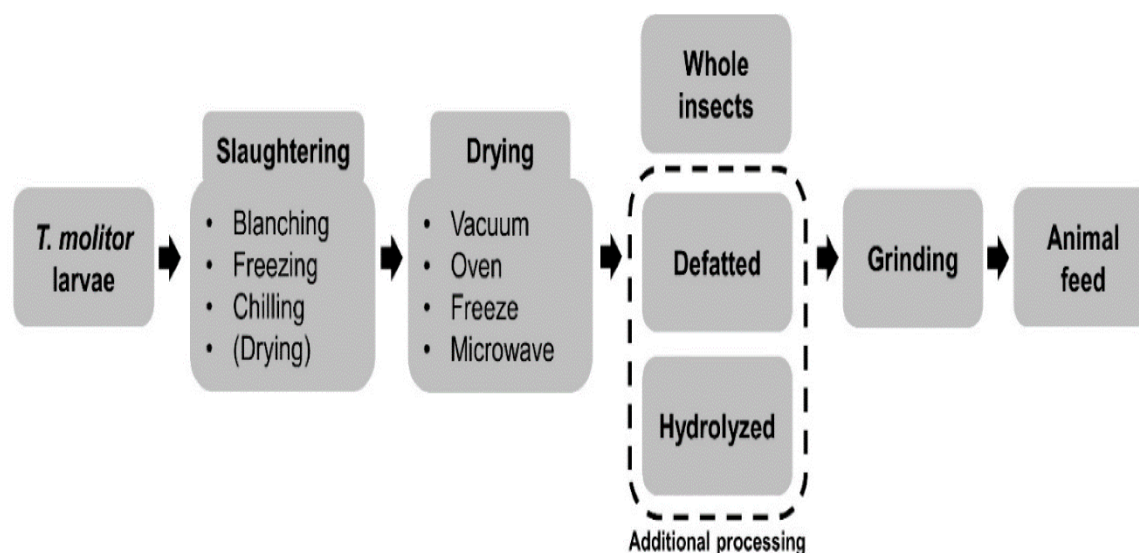
Σύμφωνα με τη Διεθνή Πλατφόρμα Εντόμων για Τρόφιμα και Ζωοτροφές (IPIFF), τα έντομα συνήθως υποβάλλονται σε επεξεργασία για ζωοτροφές μέσω των σταδίων θέρμανση ή κατάψυξη και ξήρανση και άλεση. Αυτά τα πρωτόκολλα είναι κρίσιμα για τη διατήρηση της θρεπτικής σύνθεσης καθώς και για την εγγύηση της ασφάλειας. Τα βήματα που εμπλέκονται είναι το άσπρισμα, η κατάψυξη, η ψύξη και η ξήρανση. Αυτό διευκολύνει τη μεταφορά και τη μακροχρόνια αποθήκευση των προνυμφών *T. molitor*. Πολλοί μελετητές έχουν προσπαθήσει να καθορίσουν την πιο αποτελεσματική προσέγγιση για τη μεγιστοποίηση της θρεπτικής αξίας και της ασφάλειας. Το ζεμάτισμα συνιστάται πριν από την ψύξη ή το στέγνωμα επειδή σκοτώνει τα βλαστικά κύτταρα και σταματά τη

μικροβιολογική ανάπτυξη. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία των προνυμφών *T. molitor* (περίπου 68%), η ξήρανση είναι κρίσιμη μετά τη θανάτωση. Καθώς μικροβιολογική αλλοίωση και η ενζυματική ή μη ενζυματική αποικοδόμηση θα μπορούσε να προκύψει από αυτή την υψηλή συγκέντρωση υγρασίας Προκειμένου να αποφευχθούν πιθανά προβλήματα, συνιστάται ένα επίπεδο υγρασίας 4 έως 5%.

Η ξήρανση σε φούρνο και ο καθαρισμός της πρωτεΐνης ή του λίπους των προνυμφών *T. molitor* είναι οι δύο κύριες διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την ξήρανση. Οι προνύμφες *T. molitor* μπορεί να περάσουν από επιπλέον φάσεις επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της απολίπανσης ή της υδρόλυσης πριν από την άλεση (Εικόνα 16). Ολόκληρο (πλήρες) αλεσμένο απολίπασμένο έδαφος ή υδρολυμένο έδαφος έχουν συμπεριληφθεί ως υλικά διατροφής για τις προνύμφες *T. molitor*. Προκειμένου να διασφαλιστούν μεγαλύτεροι χρόνοι επεξεργασίας και αποθήκευσης, η απολίπανση είναι ζωτικής σημασίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πλήρεις προνύμφες *T. molitor* είναι πιο ευάλωτες στην οξείδωση των λιπιδίων κατά την ξήρανση και την αποθήκευση λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά (25-35%) και της σύστασης λιπαρών οξέων (10-30%).

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για την απολίπανση: υψηλή συμπίεση, ή χρήση υπερκρίσιμου CO₂ και ενός οργανικού διαλύτη. Μια πρόσφατη μελέτη μείωσε τα πιθανά αντιθρεπτικά στοιχεία στη δίαιτα των χοίρων με τη συμπλήρωση υδρολυμένων προνυμφών *T. molitor* (Cho, et al., 2019). Βρήκαν ότι η πεπτικότητα του ειλεού των χοίρων αυξήθηκε από τις υδρολυμένες προνύμφες *T. molitor*. Με την πρόοδο των τεχνικών επεξεργασίας, είναι πλέον δυνατή η εξαγωγή και ο καθαρισμός της πρωτεΐνης ή του λίπους από τις προνύμφες *T. molitor*.

Έχουν χρησιμοποιηθεί ως θρεπτικά και λειτουργικά πρόσθετα τροφίμων για τον άνθρωπο μέχρι τώρα. Είναι απαραίτητο να ερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης πρωτεΐνης ή λίπους που προέρχεται από προνύμφες *T. molitor* για ζωοτροφές. Η θερμοκρασία και η διάρκεια της επεξεργασίας φαίνεται να έχουν αντίκτυπο στα λειτουργικά χαρακτηριστικά της πρωτεΐνης που ανακτάται από τις προνύμφες *T. Molitor*. Κατά συνέπεια αποτελούν κατάλληλες και αποτελεσματικές διαδικασίες επεξεργασίας προνυμφών *T. Molitor*.



Εικόνα 16.: Τα στάδια επεξεργασίας της προνύμφης *T.molitor* για ενσωμάτωση στις ζωοτροφές (<https://www.mdpi.com/animals/animals-10-02068>)

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα επίπεδα αυτών των ανόργανων συστατικών στο αλεύρο προνυμφών μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τη σύνθεση της τροφής των προνυμφών και τις συνθήκες ανάπτυξής τους. Συνεπώς, κατά τον σχεδιασμό των ζωοτροφών, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η ακριβής σύνθεση του αλεύρου προνυμφών που χρησιμοποιείται για να διασφαλιστεί η βέλτιστη ισορροπία των ανόργανων θρεπτικών συστατικών.

Μια σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση της διατροφικής αξίας ενός συστατικού ζωοτροφών είναι η βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών του συστατικών. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα θρεπτικά συστατικά του αλευριού *T. molitor* είναι γενικά καλά απορροφήσιμα από τους χοίρους. Η απορρόφηση των αμινοξέων και των ανόργανων συστατικών από την άλεуро *T. molitor* είναι συγκρίσιμη με εκείνη των συμβατικών πηγών πρωτεΐνης όπως το σογιάλευρο και το ιχθυάλευρο (Biasato *et al.*, 2018).

Αξιοσημείωτη είναι επίσης η υψηλή βιοδιαθεσιμότητα του ασβεστίου και του φωσφόρου από την άλεуро *T. molitor*. Αυτά τα ανόργανα στοιχεία είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ανάπτυξη των οστών και τη σωματική σύνθεση στους χοίρους. Η καλή απορρόφηση τους από την άλεуро *T. molitor* μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ανάγκης για συμπληρωματική πρόσθετη ασβεστίου και φωσφόρου στις ζωοτροφές (Biasato *et al.*, 2018).

Ωστόσο, η βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών δεν περιορίζεται μόνο στο ασβέστιο και τον φώσφορο. Άλλα σημαντικά ανόργανα συστατικά όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός πρέπει επίσης να είναι ευπρόσιτα στους χοίρους για βέλτιστη ανάπτυξη και υγεία. Το άλεуро *T. molitor* θεωρείται μια πηγή υψηλής βιοδιαθεσιμότητας για πολλά από αυτά τα θρεπτικά συστατικά.

Η καλή βιοδιαθεσιμότητα των ανόργανων θρεπτικών συστατικών από το άλεуро προνομυφών μπορεί να έχει πολλαπλά οφέλη για την παραγωγή χοιρινού κρέατος. Πρώτον, μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της χρήσης των ζωοτροφών, καθώς τα θρεπτικά συστατικά απορροφώνται καλύτερα από τους χοίρους. Δεύτερον, μπορεί να βελτιώσει την ανάπτυξη και την υγεία των χοίρων, οδηγώντας σε υψηλότερες αποδόσεις και λιγότερες απώλειες λόγω ασθενειών. Τρίτον, μπορεί να συμβάλει στη μείωση των αποβλήτων και του περιβαλλοντικού αντικτύπου, καθώς λιγότερα ανόργανα θρεπτικά

συστατικά αποβάλλονται χωρίς να απορροφηθούν και τέλος μπορεί δυνητικά να μεταφραστεί σε καλύτερη θρεπτική αξία για το παραγόμενο χοιρινό κρέας. Τα ανόργανα στοιχεία που απορροφώνται καλύτερα από τους χοίρους θα είναι πιο άφθονα στο τελικό προϊόν, προσφέροντας στους καταναλωτές ένα πιο θρεπτικό τρόφιμο.

Η βιοδιαθεσιμότητα των ανόργανων θρεπτικών συστατικών από το άλευρο *T. molitor* αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τη βιώσιμη και αποτελεσματική παραγωγή υψηλής ποιότητας χοιρινού κρέατος.

3. Η επίδραση της συμπερίληψης πρωτεϊνών *T. molitor* στην υγεία και ανάπτυξη των χοίρων

3.1 Πεπτικότητα και βιο-διαθεσιμότητα των πρωτεϊνών

Ένας από τους κρίσιμους παράγοντες για τον καθορισμό της καταλληλότητας ενός συστατικού ζωοτροφών είναι η πεπτικότητα και η βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών του συστατικών. Αρκετές μελέτες έχουν εξετάσει την πεπτικότητα της άλευρου *T. molitor* στις ζωοτροφές των χοίρων. Η έρευνα έχει δείξει ότι οι πρωτεΐνες και τα αμινοξέα στην άλευρο *T. molitor* είναι σημαντικά εύπεπτα, με συντελεστές πεπτικότητας συγκρίσιμους ή ακόμη και υψηλότερους από εκείνους της σογιάλευρου (Biasato *et al.*, 2023).

Πολλές μελέτες έχουν αξιολογήσει τη θρεπτική αξία των προϊόντων προνυμφών *T. molitor* για την πεπτικότητα του ειλεού σε χοίρους. Οι Yoo *et al.* (2019) ανέφεραν ότι οι αναπτυσσόμενοι χοίροι που τρέφονταν με προνύμφες *T. molitor* είχαν μεγαλύτερη πεπτικότητα της αργινίνης και κυστεΐνης στον ειλεό σε σύγκριση με τους χοίρους που τρέφονταν στη διαίτα με ιχθυάλευρο. Επίσης, η διαίτα των προνυμφών *T. molitor* έτεινε να εμφανίζει αυξημένη πεπτικότητα της ξηρής μάζας, πρωτεΐνης και αμινοξέων σε σύγκριση με διαίτες με κρεατάλευρα ή ιχθυάλευρα.

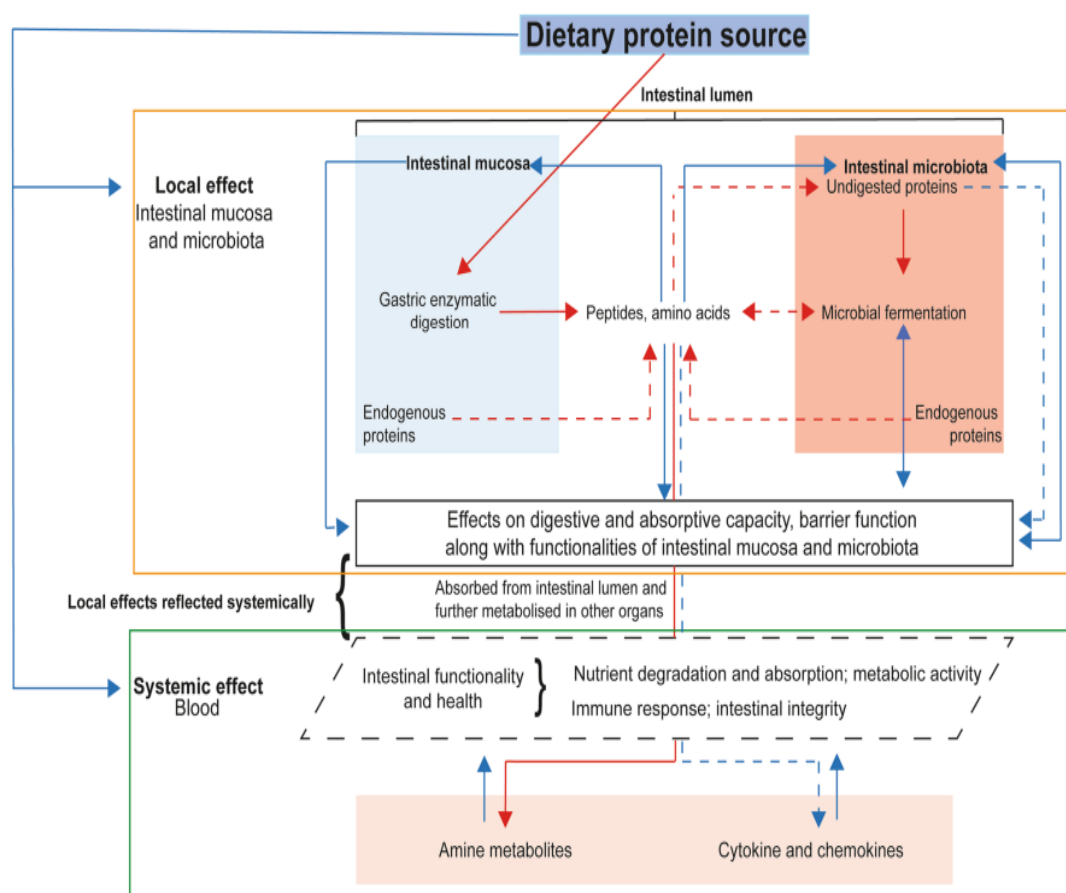
Οι Cho *et al.* (2020) παρατήρησαν ότι οι αναπτυσσόμενοι χοίροι που τρέφονταν με δίαιτα που περιείχε υδρόλυμα προνυμφών *T. molitor* είχαν επίσης μεγαλύτερες τιμές πεπτικότητας ειλεού αυξημένη πεπτικότητα της ξηρής μάζας, πρωτεΐνης, λυσίνης, μεθειονίνης και θρεονίνης από χοίρους που ταΐστηκαν με υποπροϊόντα πουλερικών που έχουν υποστεί ζύμωση και 10% υδρολυμένα διαλυτά ψάρια αντίστοιχα. Αν και η δίαιτα αλεύρων προνυμφών απολιπασμένου *T. molitor* είχε μεγαλύτερες τιμές πεπτικότητας ειλεού ξηρής μάζας, πρωτεΐνης, λυσίνης, μεθειονίνης, θρεονίνης, ασπαρτικού οξέος, γλυκίνης και αλανόνης από τη δίαιτα υδρολυμένων ψαριών, οι τιμές πεπτικότητας ειλεού των αμινοξέων, εκτός της μεθειονίνης, δεν διέφεραν μεταξύ των απολιπασμένων προνυμφών *T. molitor* δίαιτες με γεύματα και υποπροϊόντα πουλερικών που έχουν υποστεί ζύμωση.

Οι Liu *et al.* (2020) υπέδειξαν ότι το άλευρο εντόμων συμπεριλαμβανομένων των προνυμφών *T. molitor* θα μπορούσε να βελτιώσει τη χρήση πρωτεϊνών μέσω της μεταφοράς αμινοξέων ρυθμίζοντας το γονίδιο αίσθησης και τον στόχο των θηλαστικών της οδού σήματος της ραπαμυκίνης (mTOR) στον εντερικό βλεννογόνο. Επομένως, το άλευρο ή άλλα προϊόντα από προνύμφες *T. molitor* είναι δυνητικά υποσχόμενες πηγές πρωτεΐνης για χοίρους με βελτίωση στη χρήση πρωτεΐνης ή αμινοξέων.

3.1.2 Επίδραση στην υγεία του εντέρου

Οι διατροφικές, φυσιολογικές και ανοσολογικές λειτουργίες των χοίρων μπορούν να επηρεαστούν από τον εντερικό μικροβίωμα τους. Ο απογαλακτισμός στην ηλικία των 3-4 εβδομάδων φέρνει τους νεαρούς χοίρους αντιμέτωπους με πολλούς στρεσογόνους παράγοντες (διατροφικούς και περιβαλλοντικούς). Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να μειώσουν την πρόσληψη τροφής καθώς και την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών και συχνά συνδέονται με τον πολλαπλασιασμό παθογόνων μικροοργανισμών όπως τα

εντεροβακτηρίδια. Είναι γνωστό ότι τα προϊόντα ενζυματικής υδρόλυσης και ζύμωσης που σχηματίζονται κατά τη διέλευση των διαιτητικών πρωτεϊνών μέσω του πεπτικού σωλήνα μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργικότητα και την υγεία του εντέρου έτσι και η ενσωμάτωση εντόμων στις τροφές των χοίρων έχει αποδειχθεί ότι τροποποιεί τη σύνθεση της εντερικής μικροβιακής χλωρίδας, γεγονός που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην υγεία του εντέρου και την πέψη (Εικόνα 17).



Εικόνα 17.: Η επίδραση των διατροφικών πηγών πρωτεΐνης στη φυσιολογία της πέψης και το μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών στους χοίρους(Kar et al.,2021)

Σχηματική επισκόπηση των επιδράσεων των διατροφικών πηγών πρωτεΐνης στη φυσιολογία της πέψης και στον μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών στους χοίρους. Τα κόκκινα βέλη αντιπροσωπεύουν βήματα που σχετίζονται με τη φυσιολογία της πέψης. Τα μπλε βέλη αφορούν στις βιολειτουργικές επιδράσεις των διαιτητικών πρωτεϊνικών πηγών και των προϊόντων που απελευθερώνονται κατά την ενζυματική υδρόλυσή τους. Τα συνεχή βέλη αντιπροσωπεύουν σημαντικές επιδράσεις και τα διακεκομμένα δευτερεύουσες επιδράσεις. Επιδράσεις των διαιτητικών πρωτεϊνών πέψης σε τοπικό (περιγράφεται με πορτοκαλί χρώμα- μαύρο πλαίσιο,

τοπικές επιδράσεις) και συστηματικό (περιγράφεται με πράσινο χρώμα- διακεκομμένο μαύρο πλαίσιο, τοπικές επιδράσεις που αντανακλώνται συστηματικά).

Αρκετές μελέτες έχουν αναφέρει αλλαγές στην αφθονία ορισμένων ωφέλιμων βακτηρίων, όταν οι χοίροι τρέφονται με τροφές που περιέχουν άλευρο *T. Molitor*. Η χιτίνη και οι πολυσακχαρίτες που προέρχονται από αυτήν, όπως η χιτοζάνη, μπορούν να επηρεάσουν τη μικροχλωρίδα του εντέρου του ανθρώπου και των ζώων (Lopez-Santamarina et al. 2020) Οι ενώσεις αυτές θεωρούνται ότι έχουν "πρεβιοτικές" ιδιότητες και μπορούν να βελτιώσουν την υγεία του εντέρου των ζώων (Markowiak & Śliżewska, 2018)

Οι Zacharis *et al.*, (2023), σε διατροφικό πείραμα με συμπερίληψη τυπικού εντομαλευρου *T.molitor* σε ποσοστό 10%, αλλά και συμπερίληψη *T.molitor* (10%), από υπόστρωμα μερικώς εμπλουτισμένου με φυτικό υλικό απέδειξαν πως η ανάλυση των βακτηριακών πληθυσμών έδειξε ότι η συμπλήρωση με *T. Molitor* από εμπλουτισμένο υπόστρωμα παρουσίασε χαμηλότερο αριθμό αερόβιων βακτηρίων, που περιλαμβάνουν πολυάριθμους δυνητικά παθογόνους μικροοργανισμούς σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις. Σε επίπεδο οικογένειας, η μικροβιακή χλωρίδα που κυριάρχησε ήταν αυτή των Lactobacillaceae, Enterococcaceae και Enterobacteriaceae σε όλες τις ομάδες. Οι Lactobacillaceae είναι μια οικογένεια που γενικά θεωρείται ότι έχει ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία του εντέρου.

Επίσης, η μελέτη των Meyer *et al.* (2020) έδειξε ότι η συμπερίληψη του αλεύρου προνυμφών *T. molitor* (συμπερίληψης 5% και 10% αντίστοιχα) στη διατροφή των αναπτυσσόμενων χοίρων προκαλεί σημαντικές αλλαγές στη σχετική αφθονία βακτηριακών κατηγοριών υψηλής αφθονίας (*Bacteroidetes*) και χαμηλής αφθονίας (*Spirochaetes*, *Actinobacteria*) και έτεινε να αυξήσει την αναλογία *Firmicutes* έναντι

Bacteroidetes στο τυφλό έντερο. Λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε ακατέργαστες ίνες στις δίαιτες που περιέχουν προνύμφες *T. molitor*, η επίδραση του αλεύρου προνυμφών *Tenebrio molitor* στη σύνθεση της μικροχλωρίδας του τυφλού δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά σε συγκεκριμένα συστατικά, όπως η χιτίνη.

Πίνακας 3.: Σύνθεση βακτηριακών πληθυσμών (σε επίπεδο γένους) του τυφλού εντέρου αναπτυσσόμενων χοίρων που τρέφονται με ισοαζωτούχες δίαιτες χωρίς ή με 5% (IM5) ή 10% (IM10) προσθήκης αλεύρου προνυμφών *Tenebrio molitor*

(Meyer *et al.* 2020)

Classification Levels of Bacteria				CON	IM5	IM10	Pooled SD	p
Phylum	Order	Family	Genus					
Actinobacteria	Bifidobacteriales	Bifidobacteriaceae	Bifidobacterium	0.00 ^b	0.02 ^{ab}	0.09 ^a	0.08	0.002
Bacteroidetes	Bacteroidales	Bacteroidaceae	Bacteroides	0.37	0.35	0.33	0.50	0.458
			Barnesiella	0.30	0.30	0.38	0.20	0.407
		Porphyromonadaceae	Parabacteroides	0.00	0.00	0.01	0.01	0.108
			unknown	0.73	0.34	0.73	0.72	0.450
		Prevotellaceae	Alloprevotella	6.42	7.53	8.08	2.26	0.208
			Prevotella	47.0	41.8	39.0	9.64	0.123
			unknown	3.15	3.89	2.47	2.26	0.662
		Rikenellaceae	Alistipes	0.00	0.00	0.02	0.02	0.080
		unknown		0.61	0.42	0.54	0.78	0.837
				1.00	0.91	0.45	0.95	0.772
Firmicutes	Bacillales	Bacillaceae 1	Bacillus	0.04	0.01	0.00	0.07	0.992
			Staphylococcus	0.02	0.01	0.00	0.03	0.372
	Lactobacillales	Lactobacillaceae	Lactobacillus	2.16	2.68	4.22	2.55	0.164
			Streptococcus	0.05	0.09	0.03	0.11	0.063
	Clostridiales	Clostridiaceae 1	Clostridium sensu stricto	3.41	4.03	4.04	2.88	0.416
			Blautia	0.33	0.49	0.87	0.47	0.107
		Lachnospiraceae	Clostridium XIVa	0.33	0.40	0.45	0.32	0.661
			Coprococcus	0.10 ^a	0.07 ^{ab}	0.02 ^b	0.06	0.011
		Lachnospiraceae incertae sedis	Fusicatenibacter	0.03	0.03	0.04	0.03	0.958
			Roseburia	4.17	4.98	3.68	1.73	0.276
			unknown	4.68	5.65	2.83	3.47	0.432
			Clostridium XI	0.57	0.90	0.92	0.53	0.327
			Clostridium IV	0.21	0.23	0.13	0.23	0.522
			Faecalibacterium	2.92	2.24	1.43	1.76	0.618
			Gemmiger	1.20	1.28	1.18	0.78	0.956
			Oscillibacter	0.68	0.62	0.68	0.41	0.953
			Ruminococcus	0.08	0.04	0.05	0.11	0.405
			unknown	2.68	3.73	2.42	2.42	0.547
		unknown		0.66	0.71	0.89	0.47	0.910
	Selenomonadales	Acidaminococcaceae	Phascolarctobacterium	1.64	1.87	2.11	0.86	0.257
			Anaerovibrio	1.65	2.16	2.24	1.67	0.256
		Veillonellaceae	Dialister	0.91	1.05	1.02	1.17	0.937
			Megasphaera	0.31	0.42	1.31	1.29	0.135
			Mitsuokella	0.73	1.05	2.38	1.71	0.239
			unknown	2.83	4.15	5.57	2.79	0.150
				0.18	0.21	0.14	0.24	0.887
Proteobacteria	unknown	Betaproteobacteria		0.08	0.11	0.05	0.16	0.411
				0.63	0.32	0.47	0.52	0.371
	Aeromonadales	Succinivibrionaceae	Succinivibrio	1.16	0.77	1.44	1.01	0.657
			Escherichia/Shigella	0.04	0.02	0.49	0.64	0.317
				2.16	1.60	5.27	3.24	0.158
Spirochaetes	Spirochaetales	Spirochaetaceae	Treponema	2.38 ^a	1.06 ^{ab}	0.10 ^b	2.65	0.030
			Unknown	0.41	0.66	0.95		0.102

Values are means for $n = 10$ pigs per group; ^{a,b} Values within a row with different superscripts differ significantly at $p < 0.05$.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεαστεί από τη χρήση αλεύρου *T. molitor* στη διατροφή των χοίρων είναι η μικροβιακή σύνθεση και η ασφάλεια του κρέατος. Μελέτες έχουν δείξει ότι η συμπλήρωση με άλευρο εντόμων μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στο μικροβίωμα του εντέρου των χοίρων, οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να επηρεάσουν τη μικροβιακή σύνθεση του κρέατος.

Οι Knecht *et al.*, (2020) ανέφεραν ότι υψηλότεροι πληθυσμοί βακτηρίων του εντέρου, όπως *Lactobacillus*, *Oscillibacter*, *Roseburia spp.* και *Clostridium spp.* συνδέονται με υψηλότερη ποιότητα κρέατος. Αυτά τα βακτήρια είναι σε θέση να παράγουν λιπαρά οξέα βραχείας και μέσης αλυσίδας καθώς και συζευγμένο λινολεϊκό οξύ (CLA) από το λινολεϊκό οξύ (LA), το οποίο μπορεί να μειώσει την ποσότητα του λιπώδους ιστού στο κρέατος. Στη μελέτη των Zacharis *et al.*, 2023, η μικροβιολογική ανάλυση των τεμαχίων ώμου και κοιλιάς έδειξε ότι το κρέας των ομάδων με προσθήκη άπλου ή ενισχυμένου ΤΜ αλεύρου. (Πίνακας 4) είχε σημαντικά χαμηλότερους αριθμούς παθογόνων βακτηρίων, όπως *E. coli*, *Clostridium spp.* και *Staphylococcus spp.*, γεγονός που συμφωνεί με τα συμπεράσματα προηγούμενων συγγραφέων σχετικά με τη σχέση μεταξύ του μικροβιώματος του εντέρου των αναπτυσσόμενων χοίρων και των μικροοργανισμών των τεμαχίων κρέατος.

Πίνακας 4.: Η επίδραση του *Tenebrio molitor* στους μικροβιακούς πληθυσμούς των τεμαχίων του σφάγιου αναπτυσσόμενων χοίρων

(Zacharias et al., 2023)

Ομάδα Α, εμπορικά διαθέσιμη διαίτα. Ομάδα Β, διαίτα που περιέχει 10% "Συμβατικό" άλευρο από *T. molitor*. Ομάδα Γ, διαίτα που περιέχει 10% "Εμπλουτισμένο" άλευρο από *T. molitor*. SEM, τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής. α,β Οι μέσοι όροι ($n = 6$ ανά αντιμετώπιση) χωρίς κοινό υπερκείμενο διαφέρουν σημαντικά ($p \leq 0,05$). x, γ Οι μέσοι όροι ($n = 6$ ανά αντιμετώπιση) χωρίς κοινό υπερκείμενο τείνουν στο ($0,05 < p \leq 0,10$).

Shoulder Meat Microbiota (Log ₁₀ CFU/g)	Group A	Group B	Group C	SEM	p-Value
Total microbes	5.93	5.11	5.23	0.227	0.297
<i>Escherichia coli</i>	4.27 ^b	2.44 ^a	4.11 ^b	0.262	0.001
<i>Clostridium</i> spp.	3.24 ^b	2.01 ^a	3.25 ^b	0.193	0.009
<i>Campylobacter jejuni</i>	3.44	2.33	3.09	0.221	0.100
<i>Staphylococcus</i> spp.	4.80 ^b	4.61 ^a	4.63 ^{ab}	0.037	0.046
<i>Staphylococcus aureus</i>	2.60	2.46	2.38	0.061	0.348
Belly meat microbiota (Log₁₀ CFU/g)					
Total microbes	6.04	6.20	6.33	0.128	0.854
<i>Escherichia coli</i>	4.31	3.37	3.88	0.205	0.180
<i>Clostridium</i> spp.	2.06 ^{xy}	2.02 ^x	2.81 ^y	0.163	0.068
<i>Campylobacter jejuni</i>	3.40	2.98	2.74	0.204	0.434
<i>Staphylococcus</i> spp.	4.17	4.09	4.34	0.176	0.864
<i>Staphylococcus aureus</i>	2.40	2.46	2.18	0.158	0.780
Boneless steak meat microbiota (Log₁₀ CFU/g)					
Total microbes	4.35	4.35	4.76	0.109	0.211
<i>Escherichia coli</i>	2.74	2.08	2.10	0.235	0.460
<i>Clostridium</i> spp.	1.45	1.47	1.61	0.087	0.751
<i>Campylobacter jejuni</i>	3.32	2.98	2.86	0.176	0.691
<i>Staphylococcus</i> spp.	3.09	2.32	2.79	0.224	0.401
<i>Staphylococcus aureus</i>	2.91	2.11	2.32	0.243	0.405

3.1.3 Αντιμικροβιακές και Ανοσοτροποποιητικές Ιδιότητες

Σε μια ανασκόπηση από τους Gasco *et al.* (2019), αναφέρεται ότι το άλευρο από *T. molitor* περιέχει αντιμικροβιακούς παράγοντες όπως η χιτίνη, η χιτοζάνη και τα λιπαρά οξέα, τα οποία μπορούν δυνητικά να βελτιώσουν την εντερική υγεία. Επιπλέον, η χιτίνη και η χιτοζάνη έχουν αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες που μπορούν να προστατεύσουν τον εντερικό βλεννογόνο, και έχουν προταθεί ότι έχουν αντιμικροβιακές και ανοσοτροποποιητικές ιδιότητες. Αυτές οι ιδιότητες ενδέχεται να συμβάλουν στη βελτιωμένη υγεία του εντέρου και την ενισχυμένη αντίσταση στις ασθένειες στους χοίρους που τρέφονται με άλευρο *T. molitor*.

Η χιτίνη είναι ένα φυσικό πολυμερές που βρίσκεται στο εξωσκελετό των εντόμων και έχει αποδειχθεί ότι εμποδίζει την ανάπτυξη διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών,

συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων και μυκήτων. Η χιτοζάνη, ένα παράγωγο της χιτίνης, έχει επίσης ισχυρές αντιμικροβιακές και αντιϊκές ιδιότητες.

Τα λιπαρά οξέα που υπάρχουν στο άλευρο προνυμφών, όπως τα ω -3 και ω -6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, έχουν επίσης αναφερθεί ότι έχουν αντιμικροβιακές δράσεις εναντίον παθογόνων βακτηρίων και μυκήτων. Αυτά τα λιπαρά οξέα μπορούν να διαταράξουν τη δομή και τη λειτουργία των κυτταρικών μεμβρανών των μικροοργανισμών, οδηγώντας σε κυτταρικό θάνατο.

Οι πιθανές αντιμικροβιακές ιδιότητες των συστατικών του αλεύρου *T. molitor* μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της εντερικής υγείας και της αντίστασης στις ασθένειες στους χοίρους. Η διατήρηση μιας υγιούς εντερικής χλωρίδας και η καταπολέμηση των παθογόνων μικροοργανισμών είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική πέψη και απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών, καθώς και για την πρόληψη ασθενειών που σχετίζονται με διαταραχές της εντερικής χλωρίδας. Με λιγότερες ασθένειες, οι χοίροι μπορούν να αναπτυχθούν και να αποδώσουν καλύτερα, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της παραγωγής χοιρινού κρέατος.

Εκτός από τις αντιμικροβιακές τους δράσεις, ορισμένες ενώσεις που βρίσκονται στο άλευρο *T. molitor*, όπως η χιτίνη και η χιτοζάνη, έχουν επίσης αναφερθεί ότι έχουν ανοσοτροποποιητικές ιδιότητες. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να ενεργοποιήσουν διάφορους τύπους ανοσοποιητικών κυττάρων, όπως τα μακροφάγα και τα φυσικά κυτταροκτόνα κύτταρα, (κύτταρα φυσικοί φονιάδες NK) ενισχύοντας έτσι την ανοσολογική απόκριση του οργανισμού.

Η ενισχυμένη ανοσολογική λειτουργία που προκαλείται από τα συστατικά του αλεύρου προνυμφών μπορεί να βοηθήσει τους χοίρους να αντισταθούν καλύτερα στις

λοιμώξεις και να ανακάμψουν πιο γρήγορα από ασθένειες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη απόδοση ανάπτυξης και μειωμένη θνησιμότητα, γεγονός που βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της παραγωγής χοιρινού κρέατος.

Επιπλέον, οι αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες ορισμένων συστατικών του αλεύρου προνυμφών, όπως η χιτίνη και η χιτοζάνη, μπορούν επίσης να συμβάλουν στη διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού βλεννογόνου και στην προστασία από οξειδωτική βλάβη. Αυτό μπορεί να διευκολύνει την απρόσκοπτη απορρόφηση θρεπτικών συστατικών και να βελτιώσει γενικά την υγεία του εντέρου των χοίρων.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι αντιμικροβιακές και ανοσοτροποποιητικές ιδιότητες του αλεύρου *T. molitor* μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τη σύνθεση και την επεξεργασία του. Επιπλέον, οι ακριβείς μηχανισμοί δράσης και οι βέλτιστες συγκεντρώσεις για τη μεγιστοποίηση αυτών των ωφελειών δεν έχουν ακόμη διευκρινιστεί πλήρως. Επομένως, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την πλήρη κατανόηση των μηχανισμών και των δυνητικών οφελών αυτών των ιδιοτήτων (Gasco *et al.*, 2018).

3.1.4 Βιοχημικές και Αιματολογικές Παράμετροι

Οι βιοχημικές παράμετροι του ορού μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της γενικής υγείας και του μεταβολικού προφίλ των ζώων. Η συμπερίληψη αλεύρου *T. molitor* στις τροφές των χοίρων έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει διάφορες παραμέτρους του αίματος, υποδεικνύοντας την πιθανή επίδρασή της στη γενική υγεία και τη φυσιολογική κατάσταση. Αρκετές μελέτες έχουν αναφέρει αλλαγές σε αιματολογικές παραμέτρους, όπως ο αιματοκρίτης, η αιμοσφαιρίνη και η μέτρηση των λευκοκυττάρων, όταν οι χοίροι τρέφονται με τροφές που περιέχουν άλευρο *T. molitor* (Biasato *et al.*, 2019)

Οι Zacharis *et al.*, (2023), σε διατροφικό πείραμα με συμπερίληψη τυπικού εντομαλευρου *T.molitor* σε ποσοστό 10%, αλλά και συμπερίληψη *T.molitor* (10%), από υπόστρωμα μερικώς εμπλουτισμένου (20%) με φυτικό ανέφεραν πως οι αιματολογικές και οι περισσότερες βιοχημικές παράμετροι δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη των δύο γευμάτων *T. Molitor* (Πίνακας 5) (εκτός από την ολική χοληστερόλη) αν και ήταν εντός των φυσιολογικών διαστημάτων αναφοράς που αναφέρονται για τους χοίρους (Friendship *et al.*,1984), τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με τους Ao *et al.* 2019. Αύξηση του αριθμού των αιμοπεταλίων αναφέρθηκε από τους Chia *et al.*, (2019) όταν συμπλήρωσαν τις ζωοτροφές αναπτυσσόμενων χοίρων με 50% άλευρο. *molitor*, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην υψηλή πεπτικότητα της πρωτεΐνης με βάση τα έντομα και στα υψηλά επίπεδα ανόργανων συστατικών όπως ο σίδηρος.

Πίνακας 5.: Η επίδραση του *Tenebrio molitor* σε αιματολογικές παραμέτρους αναπτυσσόμενων χοίρων

(Zacharias *et al.*, 2023)

Ομάδα Α, εμπορικά διαθέσιμη διαίτα. Ομάδα Β, διαίτα που περιέχει 10% "Συμβατικό" άλευρο από *T. molitor*. Ομάδα Γ, διαίτα που περιέχει 10% "Εμπλουτισμένο" άλευρο από *T. molitor*. SEM, τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής. α,β Οι μέσοι όροι (n = 6 ανά αντιμετώπιση) χωρίς κοινό υπερκείμενο διαφέρουν σημαντικά ($p \leq 0,05$). x, y Οι μέσοι όροι (n = 6 ανά αντιμετώπιση) χωρίς κοινό υπερκείμενο τείνουν στο ($0,05 < p \leq 0,10$).

WBC, λευκά αιμοσφαίρια- Lym, λεμφοκύτταρα, Mon, μονοκύτταρα- Gra, κοκκιοκύτταρα- RBC, ερυθρά αιμοσφαίρια- Hct, αιματοκρίτης- Hb, αιμοσφαιρίνη- THR, θρομβομοντουλίνη- ALB, αλβουμίνη- ALT, αμινοτρανσφεράση της αλανίνης- AST, ασπαρτική αμινοτρανσφεράση- CHOL, χοληστερόλη, CK, κινάση της κρεατίνης- GLU, γλυκόζη- TBIL, ολική χολερυθρίνη- TRIG, τριγλυκερίδια. α,β Μέσοι όροι (n = 6 ανά ενέργεια) χωρίς στατιστικά να διαφέρουν σημαντικά ($p \leq 0,05$)

Hematological Parameters	Group A	Group B	Group C	SEM	p-Value
WBC (m/mm ³)	23.47	22.03	21.70	1.338	0.867
Lym (%)	34.33	35.48	37.37	1.020	0.474
Mon (%)	9.35	7.58	7.65	0.445	0.237
Gra (%)	56.32	56.93	54.98	1.247	0.818
RBC (m/mm ³)	6.32	6.62	6.13	0.184	0.553
Hct (%)	35.02	36.32	34.28	1.131	0.692
Hb (g/dL)	11.87	12.27	11.82	0.381	0.778
THR (m/mm ³)	329.50	325.50	296.00	14.697	0.647
Biochemical parameters					
ALB (g/dL)	2.63	2.57	2.47	0.837	0.721
ALT (U/L)	117.33	115.33	122.83	2.906	0.572
AST (U/L)	69.50	74.83	70.33	3.992	0.864
CHOL (mg/dL)	75.00 ^a	70.00 ^a	92.00 ^b	2.753	<0.001
CK (U/L)	1189.50	1014.00	1050.67	130.476	0.862
GLU (mg/dL)	92.17	98.17	100.17	4.603	0.780
TBIL (mg/dL)	0.09	0.12	0.09	0.125	0.890
TRIG (mg/dL)	49.00	48.17	55.50	2.085	0.337

Οι διακυμάνσεις αυτές στις βιοχημικές και αιματολογικές παραμέτρους μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και βιοδραστικές ενώσεις του αλεύρου εντόμων, οι επιδράσεις στο μικροβίωμα του εντέρου και οι πιθανές ανοσοδιεργετικές ιδιότητες των εντόμων. Ωστόσο, οι υποκείμενοι μηχανισμοί δεν έχουν διευκρινιστεί πλήρως και απαιτούνται περαιτέρω έρευνες.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι παρατηρούμενες αλλαγές στις παραμέτρους του αίματος και τη βιοχημεία του ορού μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με το επίπεδο ενσωμάτωσης της άλευρου *T. molitor*, τη σύνθεση της τροφής και το φυσιολογικό στάδιο των χοίρων. Η παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση της γενικής υγείας και της διατροφικής κατάστασης των χοίρων που τρέφονται με τροφές βασισμένες σε έντομα.

3.1.5 Επίδραση στην απόδοση ανάπτυξης και την αποτελεσματικότητα τροφής

Η ενσωμάτωση του άλευρου *T. molitor* στις τροφές των χοίρων έχει διαπιστωθεί ότι επηρεάζει θετικά την απόδοση ανάπτυξης και την αποτελεσματικότητα της τροφής. Σε πειράματα διατροφής οι μετρήσεις ανάπτυξης περιλαμβάνουν κυρίως τέσσερις δείκτες. Μελετάται η μέση ημερήσια αύξηση βάρους (Average Daily Gain-ADG), η οποία μπορεί να οριστεί ως η μέση ποσότητα βάρους που θα κερδίσει ένα εκτρεφόμενο ζώο κάθε ημέρα κατά τη διάρκεια της περιόδου σίτισης. Το ADG μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας το βάρος που έχει κερδίσει το ζώο από την προηγούμενη μέτρηση, διαιρούμενο με τον αριθμό των ημερών διατροφής, ώστε να αντιπροσωπεύει το βάρος σε κιλά που κερδίζει το ζώο κάθε ημέρα. Όσο πιο γρήγορα κερδίζει ένα ζώο βάρος, τόσο πιο γρήγορα είναι έτοιμο για σφαγή, γεγονός που μπορεί να μειώσει το κόστος των εισροών. Επόμενος παράγοντας είναι το σωματικό βάρος (Body Weight-BW) και η μέση ημερήσια πρόσληψη τροφής (Average Daily Feed Intake-ADFI). Τέλος, υπολογίζεται και η μετατρεψιμότητα τροφής (Feed Conversion Ratio-FCR), το βάρος δηλαδή της προσλαμβανόμενης ζωοτροφής διαιρούμενο με το βάρος που κερδίζει το ζώο. Χαμηλότερες τιμές FCR υποδηλώνουν υψηλότερη αποδοτικότητα.

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει πληθώρα μελετών όσων αφορά την υποκατάσταση της πρωτεΐνης της σόγιας ή του ιχθυάλευρου από πρωτεΐνη *Tenebrio molitor*. Οι Jin *et al.*, (2016), σε πείραμα διατροφής με ενσωμάτωση άλευρο προνύμφης *T. molitor* σε ποσοστά 0%, 1,5%, 3%, 4,5% και 6%, σε χοίρους απογαλακτισμού παρατήρησαν γραμμική αύξηση σε ADG, BW ADFI με αύξηση του επιπέδου ενσωμάτωσης, ενώ η FCR δεν επηρεάστηκε. Η μελέτη των Meyer *et al.*, (2020), απέδειξε πως η συμπερίληψη αλεύρου προνυμφών TM στη διατροφή των χοίρων ηλικίας 5 εβδομάδων, έως και 10%, δεν επέφερε αλλαγές σε BW, ADFI, ενώ οι Ao *et al.*, (2019) ανέφεραν ότι η αντικατάσταση σε ποσοστό 2% έως

100% του ιχθυάλευρου σε σιτηρέσια χοίρων απογαλακτισμού δεν επηρέασε τις επιδόσεις ανάπτυξης τους.

Ομοίως, οι Ko *et al.*, (2020) ανέφεραν ότι η συμπληρωματική χορήγηση αλεύρου απολιπασμένων προνυμφών *T. molitor*, για 28 ημέρες, σε ποσοστό 5% για τις ημέρες 0 έως 14 και 3% για τις ημέρες 14 έως 28, με 100% αντικατάσταση του ιχθυάλευρου (5% κατά τη διάρκεια των ημερών 0 έως 14 και 3% κατά τη διάρκεια της 14ης έως 28ης ημέρας) στο σιτηρέσιο χοίρων απογαλακτισμού, δεν επέφερε καμία αλλαγή στις επιδόσεις ανάπτυξης των χοίρων.

Οι Zacharis *et al.*, (2023) απέδειξαν πως η προσθήκη *T. molitor* μπορεί να αντικαταστήσει άλλες πηγές πρωτεΐνης στις ζωοτροφές, όπως το ιχθυάλευρο, χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην αύξηση του σωματικού βάρους (Πίνακας 6).

Μέχρι στιγμής, δεν έχει δημοσιευθεί καμία μελέτη που να έχει διεξαχθεί για την αξιολόγηση των επιδράσεων των προνυμφών του *T. molitor* στις δίαιτες των αναπτυσσόμενων χοίρων. Λόγω της τιμής και της προσφοράς των προνυμφών, και της υψηλότερης πρόσληψης τροφής από τους αναπτυσσόμενους προς τελειωτικούς χοίρους, οι μελέτες για την αξιολόγηση του βέλτιστου επιπέδου συμπλήρωσης των προνυμφών *T. molitor* είναι περιορισμένες, οπότε υπάρχει ανάγκη να διεξαχθεί περαιτέρω μελέτη για αυτό το στάδιο ανάπτυξης (Hong & Kim, 2022).

Πίνακας 6.: Αύξηση βάρους, μετατρεψιμότητα τροφής, κατανάλωση τροφής και βάρος σφάγιου με τη χρήση άλευρου από προνύμφες *T. molitor* σε αναπτυσσόμενους χοίρους.

Υιοθέτηση από Zacharis et al. (2023). Ομάδα Α, εμπορικά διαθέσιμη διαίτα. Ομάδα Β, διαίτα που περιέχει 10% "Συμβατικό" άλευρο από *T. molitor*. Ομάδα Γ, διαίτα που περιέχει 10% "Εμπλουτισμένο" άλευρο από *T. molitor*. SEM, τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής. ^{a,b} οι μέσοι όροι (n = 6 ανά αντιμετώπιση) χωρίς κοινό υπερκείμενο διαφέρουν σημαντικά ($p \leq 0,05$). ^{x,y} Οι μέσοι όροι (n = 6 ανά αντιμετώπιση) χωρίς κοινό υπερκείμενο τείνουν στο ($0,05 < p \leq 0,10$).

Body Weight on Day (kg)	Group A	Group B	Group C	SEM	p-Value
1	8.41	8.51	8.42	0.138	0.950
21	14.77 ^a	16.86 ^b	16.04 ^{ab}	0.337	0.034
42	24.86	24.98	25.29	0.478	0.934
Weight gain for the period (kg)					
1 to 21 days	6.36 ^a	8.35 ^b	7.63 ^{ab}	0.254	0.003
21 to 42 days	10.09	8.13	9.25	0.400	0.131
1 to 42 days	16.45	16.48	16.88	0.433	0.909
Feed intake per pig for the period (kg)					
1 to 21 days	14.56	14.02	14.05	-	-
21 to 42 days	21.19	20.46	20.49	-	-
1 to 42 days	35.75	34.48	34.54	-	-
Feed conversion ratio (FCR) for the period (kg feed/kg weight gain)					
1 to 21 days	2.29	1.68	1.84	-	-
21 to 42 days	2.10	2.52	2.22	-	-
1 to 42 days	2.17	2.09	2.05	-	-
Carcass parameters					
Carcass weight (kg)	14.94 ^x	15.66 ^{xy}	16.80 ^y	0.356	0.090
Carcass dressing percentage (%)	0.63	0.63	0.63	0.104	0.996

Όσον αφορά τις χοιρομητέρες, οι Hong & Kim (2022) σε βιβλιογραφική τους ανασκόπηση ανέφεραν πως η αύξηση του επιπέδου αντικατάστασης του ιχθυάλευρου με άλευρο προνυμφών ΤΜ στο σιτηρέσιο τους, από 0% έως 3%. για την ύστερη περίοδο κυοφορίας (ημέρα 75 έως 115 της κυοφορίας) αύξησε γραμμικά το συνολικό βάρος της γέννας χωρίς διαφορά στον αριθμό των συνολικά γεννηθέντων χοιριδίων. Η συμπερίληψη πρωτεϊνών *T. molitor* φαίνεται να προωθεί την αύξηση της αποτελεσματικότητας και κατ' επέκταση του όγκου της παραγωγής χοιρινού κρέατος. Ωστόσο, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας δεν είναι η μόνο η ποσότητα, αλλά και η ποιότητα του παραγόμενου χοιρινού κρέατος.

4. Η επίδραση της χορήγησης αλεύρων *T. molitor* στην ποιότητα του χοιρινού κρέατος

Όσον αφορά την ποιότητα του κρέατος, η βιομηχανία χοιρινού κρέατος καταβάλλει μεγάλες προσπάθειες για τη δημιουργία προϊόντων κρέατος με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως είναι η υψηλότερη διατροφική αξία. Οι στρατηγικές διατροφής είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κρέατος.

Η ποιότητα του κρέατος είναι δύσκολο να οριστεί, καθώς είναι μια σύνθετη έννοια που καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Σε μια στενότερη πτυχή, η ποιότητα του κρέατος ορίζεται ως αισθητηριακή ποιότητα, η οποία είναι η διέγερση του προϊόντος κρέατος στις ανθρώπινες αισθήσεις, όπως η όραση, η όσφρηση, η γεύση και η αφή. Η αισθητηριακή ποιότητα του κρέατος αξιολογείται από το χρώμα, τη γεύση, το pH, την απώλεια υγρασίας, την τρυφερότητα (Thorslund *et al.*, 2016).

Με μια ευρύτερη έννοια, η ποιότητα του κρέατος περιλαμβάνει επίσης την ποιότητα της επεξεργασίας, τη θρεπτική αξία και την υγιεινή του κρέατος. Το νωπό κρέας, ως ζωικός ιστός που είναι κατάλληλος για χρήση ως τρόφιμο, έχει χαρακτηριστικές ιδιότητες που επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες (Joo *et al.*, 2013), όπως η δομή των μυών, η χημική σύνθεση (δηλ. η σύνθεση λιπαρών οξέων, το ενδομυϊκό λίπος και η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες), το χημικό περιβάλλον, η αλληλεπίδραση των χημικών συστατικών, οι μεταθανάτιες αλλαγές στους μυϊκούς ιστούς, το στρες (όπως το οξειδωτικό στρες), οι επιδράσεις πριν από τη σφαγή, ο χειρισμός του προϊόντος, η επεξεργασία και η αποθήκευση, καθώς και οι μικροβιολογικοί αριθμοί και πληθυσμοί.

Για παράδειγμα, η σύνθεση των λιπαρών οξέων μπορεί εύκολα να μεταβληθεί μέσω του σιτηρεσίου, ιδίως στα μονογαστρικά ζώα. Εν τω μεταξύ, η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες σχετίζεται στενότερα με τη γενετική σε ζώα όπως οι χοίροι- τη διατροφή τις

τελευταίες ημέρες πριν από τη σφαγή και τον χειρισμό κατά τη σφαγή (τόσο πριν όσο και μετά τη σφαγή). Άλλοι παράγοντες διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του κρέατος, είναι η συσχέτιση μεταξύ του εντερικού μικροβιώματος και της ποιότητας του κρέατος, γεγονός που δείχνει ότι η διατροφή των ζώων μπορεί να επηρεάσει τους μικροβιακούς πληθυσμούς, τους βακτηριακούς μεταβολίτες και την ποιότητα του παραγόμενου κρέατος (Chen *et al.*, 2022).

Αναφορικά, οι υψηλότεροι πληθυσμοί βακτηρίων του εντέρου, όπως *Lactobacillus*, *Oscillibacter*, *Roseburia spp.* και *Clostridium spp.* συνδέονται με υψηλότερη ποιότητα κρέατος.

Η συμπερίληψη εντόμων στη διατροφή των χοίρων και η άμεση επίδρασή της στην ποιότητα του κρέατος δεν έχει μελετηθεί εκτενώς. Ωστόσο, γενικά αναμένεται ότι, εάν καλύπτονται οι διατροφικές ανάγκες των χοίρων, ο συνολικός αντίκτυπος στην ποιότητα του κρέατος να είναι θετικός.

Η προσθήκη του *T. molitor* στη διατροφή των αναπτυσσόμενων χοίρων δεν επηρέασε τις αντιδραστικές ουσίες του θειοβαρβιτουρικού οξέος στα τεμάχια κρέατος (Meyer *et al.*, 2020) ενώ τις μείωσε στην μελέτη των Zacharis *et al.*, (2023) και αξίζει να αναφερθεί πως όσον αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα του κρέατος, παρατηρήθηκε αύξηση των ολικών φαινολών σε όλα τα τεμάχια κρέατος.

Τέλος, το χρώμα του κρέατος αποτελεί σημαντική παράμετρο αποδοχής για τους καταναλωτές. δεδομένου ότι συχνά απορρίπτουν προϊόντα που διαφέρουν από αυτό που περιμένουν ως «φυσιολογικό». Ένας από τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το χρώμα του χοιρινού κρέατος είναι η περιεκτικότητα της διατροφής σε χρωστικές ουσίες. Στην τελευταία μελέτη αναφέρεται πως η προσθήκη ΤΜ άλευρου δεν επηρέασε τη συνολική περιεκτικότητα σε χρωστικές ουσίες της δίαιτας. Οι συγκεκριμένοι υποκείμενοι

μηχανισμοί για τις παραπάνω επιδράσεις είναι άγνωστοι και η δημοσιευμένη έρευνα σχετικά με την επίδραση των εντομάλευρων στην ποιότητα του χοιρινού κρέατος είναι ακόμη πολύ περιορισμένη. Σύμφωνα με τους Yu *et al* (2019) υπάρχουν ενδείξεις ότι η διαιτητική χιτίνη και τα παράγωγά της, χιτοζάνη και χιτο-ολιγοσακχαρίτες, μπορούν να βελτιώσουν ορισμένες παραμέτρους του χοιρινού κρέατος όπως το χρώμα

4.1 Επίδραση σε βιοχημικά χαρακτηριστικά

Το προφίλ λιπαρών οξέων του χοιρινού κρέατος μπορεί να τροποποιηθεί σημαντικά με τη διατροφική ενσωμάτωση άλευρου *T. molitor*. Αρκετές μελέτες έχουν παρατηρήσει αυξημένα επίπεδα πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA), ιδιαίτερα των ω-3 και ω-6 PUFA, στο κρέας από χοίρους που τρέφονται με άλευρο *T. molitor* (Kierończyk *et al.*, 2018).

Αυτή η αύξηση των ω-3 και ω-6 PUFA στο χοιρινό κρέας είναι επιθυμητή από διατροφική άποψη, καθώς αυτά τα λιπαρά οξέα θεωρούνται ευεργετικά για την ανθρώπινη υγεία. Τα ω-3 PUFA, όπως το α-λινολενικό οξύ και το εικοσαπεντανοϊκό οξύ, έχουν αντιφλεγμονώδεις και καρδιοπροστατευτικές ιδιότητες, ενώ τα ω-6 PUFA, όπως το λινολεϊκό οξύ, είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη και τη λειτουργία του οργανισμού (Wood *et al.*, 2008).

Εκτός από τα PUFA, μελέτες έχουν επίσης αναφέρει αυξημένα επίπεδα μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFA) στο κρέας από χοίρους που τρέφονται με άλευρο *T. Molitor*. Τα MUFA, όπως το ελαϊκό οξύ, θεωρούνται επίσης ευεργετικά για την υγεία, καθώς μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των επιπέδων της "κακής" χοληστερόλης (LDL) και στην αύξηση των επιπέδων της "καλής" χοληστερόλης (HDL) (Kierończyk *et al.*, 2018).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι αλλαγές στο προφίλ λιπαρών οξέων του κρέατος εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως το επίπεδο ενσωμάτωσης της άλευρου *T. molitor* στη διατροφή, η σύνθεση της τροφής και η ηλικία και το στάδιο ανάπτυξης των χοίρων. Ωστόσο, γενικά, η χρήση της άλευρου *T. molitor* φαίνεται να οδηγεί σε ένα προφίλ λιπαρών οξέων στο χοιρινό κρέας, που είναι πιο ευνοϊκό για την ανθρώπινη υγεία.

4.2 Επίδραση σε οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με τους Yu *et al.* (2019) υπάρχουν ενδείξεις ότι η διαιτητική χιτίνη και τα παράγωγά της, χιτοζάνη και χιτο-ολιγοσακχαρίτες, μπορούν να βελτιώσουν ορισμένες οργανοληπτικές παραμέτρους του χοιρινού κρέατος, όπως το χρώμα. Οι Zacharis *et al.*, (2023), σε διατροφικό πείραμα με συμπερίληψη τυπικού εντομαλευρου *T.molitor* σε ποσοστό 10%, αλλά και συμπερίληψη *T.molitor* (10%), από υπόστρωμα μερικώς εμπλουτισμένου (20%) με φυτικό υλικό απέδειξαν πως η προσθήκη *T. molitor* δεν επηρέασε την πλησιέστερη σύνθεση (λίπος, πρωτεΐνη, υγρασία και τέφρα) των διαφόρων τεμαχίων κρέατος. Όσον αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα του κρέατος, παρατηρήθηκε αύξηση των ολικών φαινολών σε όλα τα τεμάχια κρέατος.

Επιπλέον, η προσθήκη άλευρου *T. molitor* στη διατροφή των χοίρων έχει συσχετιστεί με αύξηση της τιμής pH του κρέατος, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού και τραγανότητα (Schiafone *et al.*, 2018). Επιπλέον, η ενσωμάτωση άλευρου *T. molitor* έχει αναφερθεί ότι οδηγεί σε πιο έντονο κόκκινο χρώμα του κρέατος, πιθανώς λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης της μυοσφαιρίνης (Biasato *et al.*, 2019).

Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι το κρέας από χοίρους που τρέφονται με άλευρο *T. molitor* είναι πιο τραγανό και έχει καλύτερη

γέυση σε σύγκριση με το κρέας από χοίρους που τρέφονται με συμβατικές τροφές. Ωστόσο, άλλες μελέτες δεν έχουν βρει σημαντικές διαφορές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Kierończyk *et al.*, 2018).

4.3 Οξειδωτική σταθερότητα και χρόνος συντήρησης

Μελέτες έχουν δείξει ότι το κρέας από χοίρους που τρέφονται με άλευρο *T. molitor* παρουσιάζει υψηλότερη οξειδωτική σταθερότητα και μεγαλύτερο χρόνο συντήρησης σε σύγκριση με το συμβατικό χοιρινό κρέας. Αυτό αποδίδεται κυρίως στην παρουσία αντιοξειδωτικών ουσιών στο άλευρο εντόμων, όπως οι φαινολικές ενώσεις, οι τοκοφερόλες και τα καροτενοειδή.

Οι Schiavone *et al.* (2018) διαπίστωσαν ότι η συμπερίληψη 4% αλεύρου *T. molitor* στη διατροφή των χοίρων οδήγησε σε χαμηλότερα επίπεδα οξείδωσης λιπιδίων (μέτρηση TBARS) στο κρέας κατά τη συντήρηση σε σύγκριση με το κρέας από χοίρους που τρέφονταν με συμβατική διατροφή. Επιπλέον, το κρέας από χοίρους με άλευρο *T. molitor* παρουσίασε υψηλότερη συγκέντρωση α-τοκοφερόλης, μιας ισχυρής αντιοξειδωτικής βιταμίνης.

Η καλύτερη οξειδωτική σταθερότητα του κρέατος με άλευρο εντόμων μπορεί να οδηγήσει σε παρατεταμένο χρόνο συντήρησης και καλύτερη διατήρηση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τη βιομηχανία κρέατος.

4.4 Αντιοξειδωτικές επιδράσεις του αλεύρου *T. molitor*

Οι ερευνητές έχουν επίσης μελετήσει το αντιοξειδωτικό δυναμικό του αλεύρου *T. molitor*, το οποίο μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας και της διατηρησιμότητας του κρέατος. Το άλευρο περιέχει διάφορες ενώσεις με αντιοξειδωτικές ιδιότητες, όπως φαινολικές ενώσεις, καροτενοειδή και πεπτίδια (Gasco *et al.*, 2018). Τα

αντιοξειδωτικά αυτά μπορεί να βοηθήσουν στην καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες και της υπεροξειδωσης των λιπιδίων, οδηγώντας δυνητικά σε βελτιωμένη ποιότητα κρέατος και αυξημένη διατηρησιμότητα (Gasco *et al.*, 2018) και η περιεκτικότητά τους συσχετίζεται με τις πρώτες ύλες που διατράφηκε το *T. molitor*.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η ενσωμάτωση αλεύρου *T. molitor* στις τροφές των χοίρων μπορεί να ενισχύσει το αντιοξειδωτικό τους καθεστώς. Τα αντιοξειδωτικά που βρίσκονται στο άλευρο προνυμφών, όπως φαινολικές ενώσεις, καροτενοειδή και πεπτίδια, συμβάλλουν στην εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών και στην προστασία των κυτταρικών μεμβρανών από την οξειδωτική βλάβη.

Αυτή η αντιοξειδωτική δράση μπορεί να έχει ευεργετικές επιπτώσεις στην ποιότητα και τη διατηρησιμότητα του χοιρινού κρέατος. Η οξείδωση των λιπιδίων είναι μια σημαντική αιτία αλλοίωσης στο κρέας, προκαλώντας ανεπιθύμητες αλλαγές στη γεύση, την οσμή και το χρώμα. Τα αντιοξειδωτικά από το άλευρο προνυμφών μπορούν να επιβραδύνουν αυτήν την οξειδωτική διαδικασία, διατηρώντας την φρεσκάδα και την ποιότητα του κρέατος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Επιπλέον, η ενισχυμένη αντιοξειδωτική κατάσταση των χοίρων που τρέφονται με άλευρο *T. molitor* μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις στην υγεία και την ευζωία τους. Το οξειδωτικό στρες συνδέεται με διάφορες παθολογικές καταστάσεις και μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την ανοσολογική απόκριση, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγική απόδοση. Έτσι, τα αντιοξειδωτικά από το άλευρο προνυμφών μπορούν δυνητικά να βελτιώσουν την υγεία και την παραγωγικότητα των χοίρων (Gasco *et al.*, 2018).

Η ενσωμάτωση αλεύρου *T. molitor* στις ζωοτροφές των χοίρων φαίνεται να έχει πολλαπλά οφέλη. Εκτός από τη βελτίωση της ποιότητας και της διατηρησιμότητας του κρέατος, μπορεί επίσης να συμβάλει στη βελτίωση της γενικής υγείας και ευζωίας των

ζώων μέσω της ενισχυμένης αντιοξειδωτικής τους κατάστασης. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να κατανοηθούν πλήρως οι επιπτώσεις αυτής της εναλλακτικής πηγής πρωτεΐνης στην παραγωγή χοιρινού κρέατος.

5. Προκλήσεις της χρήσης πρωτεϊνών του *Tenebrio molitor* ως ζωοτροφή

5.1 Ασφάλεια χρήσης πρωτεϊνών του *Tenebrio molitor* ως ζωοτροφή

Όπως και για κάθε πηγή τροφής, η χρήση αλεύρων από έντομα στις ζωοτροφές θα πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη την ασφάλεια. Παρότι τα έως τώρα δεδομένα υποδεικνύουν θετικές επιδράσεις τόσο στην αύξηση της παραγωγικότητας και αποτελεσματικότητας των χοίρων, όσο και στη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου κρέατος, η ενσωμάτωση νέων ειδών τροφής στη διατροφή των παραγωγικών ζώων απαιτεί διεξοδική αξιολόγηση για πιθανούς κινδύνους και ανεπιθύμητες παρενέργειες.

Ένα κρίσιμο ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη χρήση αλεύρων εντόμων στις ζωοτροφές είναι η ασφάλεια των τροφίμων. Υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την πιθανή παρουσία διάφορων επικίνδυνων τοξινών ή παθογόνων μικροοργανισμών στα άλευρα εντόμων, οι οποίες θα μπορούσαν να μεταφερθούν στο κρέας και να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία.

Ο αμυντικός αδένας του *T. molitor* εκκρίνει μια τοξίνη γνωστή ως βενζοκινόνη. Τόσο για τους ανθρώπους όσο και για τα ζώα, η βενζοκινόνη είναι ένας επικίνδυνος μεταβολίτης που μπορεί να προκαλέσει νεφρική βλάβη, να επηρεάσει την κυτταρική αναπνοή και να προκαλέσει καρκίνο (Bakula, Baranowski, & Czarnewicz, 2011). Καθώς το *T. molitor* γερνάει, η περιεκτικότητά του σε βενζοκινόνη μπορεί επίσης να αυξηθεί, καθώς συνήθως συσσωρεύεται με την πάροδο του χρόνου. Οι ανεκτές ποσότητες βενζοκινόνης σε

μονογαστρικά ζώα, καθώς και η ποσότητα βενζοκινόνης που παραμένει στις προνύμφες του *T. molitor* μετά από διάφορες τεχνικές επεξεργασίας, όπως ο καθαρισμός, η ξήρανση, η θέρμανση και η άλεση, δεν έχουν ακόμη προσδιοριστεί. Κατά συνέπεια, πρέπει να αναπτυχθεί μια τεχνική επεξεργασίας για τη ρύθμιση της τοξικότητας ή της περιεκτικότητας σε υπολειμματική βενζοκινόνη στα προϊόντα προνυμφών *T. molitor*.

Επιπροσθέτως, ένα άλλος σημαντικός παράγοντας είναι οι μικροβιακές μολύνσεις από μολυσμένες πηγές τροφής. Έχουν βρεθεί γονίδια ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά στα έντομα, γεγονός που υποδηλώνει ότι παθογόνα ή μυκοτοξίνες από μολυσμένα γεύματα μπορεί να μολύνουν τα έντομα (Vandeweyer, *et al.*, 2019). Η *Salmonella spp.* βρέθηκε να μεταφέρεται από μολυσμένο πίτουρο σιταριού σε προνύμφες *T. molitor*, σύμφωνα με τους Wynants *et al.* (Wynants, *et al.*, 2019). Παρ' όλα αυτά, η επιβίωση παθογόνων στο *T. molitor* μπορεί να ανασταλεί με τη συνήθη μικροβιολογική παρακολούθηση των παθογόνων του υποστρώματος και των προνυμφών.

Επίσης, τα βαρέα μέταλλα από τη διατροφή και το περιβάλλον εκτροφής τους μπορούν να συσσωρευτούν στους ιστούς των εντόμων (Handley, *et al.*, 2007), καθιστώντας τα έντομα δηλητηριώδη για τους ανθρώπους και τα ζώα (Zhuang, Huiling, & Wensheng, 2009). Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι είδη διατροφής όπως το σιτάρι, το ρύζι, τα μύδια και τα καλαμπόκια ζωικών νεφρών έχουν υψηλά επίπεδα καδμίου (Oymak *et al.*, 2009). Επίσης, έχει βρεθεί ότι η ποσότητα των συσσωρευμένων βαρέων μετάλλων εξαρτάται από την τροφή και ότι τα επίπεδα Pb στις προνύμφες του *T. molitor* ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης, ενώ τα επίπεδα Cd (147-230 mg/kg) στην ξηρή ύλη των προνυμφών ήταν πάνω από το όριο διατροφής (Oymak *et al.*, 2009).

Για την αντιμετώπιση αυτών των κινδύνων, είναι απαραίτητη η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας και αυστηρών μέτρων ελέγχου ποιότητας κατά την παραγωγή

αλεύρων εντόμων. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν θερμική επεξεργασία, ξήρανση, απολύμανση και άλλες διεργασίες για την απομάκρυνση ή απενεργοποίηση τυχόν επικίνδυνων ουσιών ή μικροοργανισμών. Επίσης, απαιτείται αυστηρή παρακολούθηση και έλεγχος των συνθηκών εκτροφής των εντόμων και των υποστρωμάτων ανάπτυξής τους.

5.2 Αποδοχή από τους καταναλωτές

Η χρήση αλεύρων από έντομα ως πηγή πρωτεΐνης στις ζωοτροφές αποτελεί μία καινοτόμο και ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση. Ωστόσο, πριν από την ευρεία υιοθέτησή της, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψιν διάφορες πτυχές, συμπεριλαμβανομένης της αποδοχής από τους καταναλωτές και της διασφάλισης της ασφαλούς κατανάλωσης.

Όσον αφορά την καταναλωτική αποδοχή, έρευνες έχουν δείξει ότι τα προϊόντα κρέατος από ζώα εκτροφής που έχουν τραφεί με έντομα φαίνεται να γίνονται λιγότερα αποδεκτά έναντι άλλων. Συγκεκριμένα, τα ψάρια, τα πουλερικά και οι χοίροι που τρέφονται με έντομα παρουσιάζουν υψηλότερα από το μέσο όρο ποσοστά αποδοχής των σχετικών προϊόντων κρέατος από τους καταναλωτές. Μάλιστα, το κρέας από ψάρια που τρέφονται με έντομα φαίνεται να είναι ακόμη πιο δημοφιλές συγκριτικά με εκείνο από κοτόπουλα και χοίρους της ίδιας διατροφής (Verbeke *et al.*, 2015).

Παρά ταύτα, υπάρχει ακόμη ανάγκη για μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση και αλλαγή στις αντιλήψεις των καταναλωτών σχετικά με τα προϊόντα από ζώα που τρέφονται με έντομα. Όπως σημειώνει η επιστημονική ομάδα του Verbeke (2015), ενώ τα πουλερικά και οι χοίροι είναι παμφάγα είδη και η κατανάλωση εντόμων είναι φυσιολογική για αυτά, οι απόψεις για τη χρήση εντόμων στις ζωοτροφές είναι πιο θετικές για τα πουλερικά παρά για τους χοίρους.

Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων είναι επίσης κρίσιμη για τη διασφάλιση της ασφάλειας των αλεύρων εντόμων και του κρέατος που

παράγεται από ζώα που τρέφονται με αυτά. Επιπλέον, η ενημέρωση και η εκπαίδευση όλων των εμπλεκόμενων φορέων, από τους παραγωγούς εντόμων μέχρι τους κτηνοτρόφους και τους καταναλωτές, είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική εφαρμογή των κανονισμών και την εξασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων.

6. Συμπεράσματα

Η προμήθεια επαρκών πόρων ζωοτροφών αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις της κτηνοτροφίας παγκοσμίως. Ενώ η ανάγκη για ζωοτροφές πλούσιες σε πρωτεΐνες αυξάνεται συνεχώς, η παραγωγή δεν μπορεί να συμβαδίσει εύκολα με τη ζήτηση. Κατά συνέπεια, για να αντιμετωπιστεί η πρόκληση αυτή με βιώσιμο τρόπο, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν και να αναπτυχθούν νέες στρατηγικές διατροφής και νέα συστατικά ζωοτροφών.

Στον τομέα της κτηνοτροφίας, η χοιροτροφία αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους υποτομείς. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η βιομηχανία χοιρινού κρέατος είναι το υψηλό κόστος σίτισης, ιδίως η τιμή και η διαθεσιμότητα ζωοτροφών υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχει καταβληθεί μεγάλη προσπάθεια για τον εντοπισμό και τη χρήση νέων πηγών πρωτεϊνούχων ζωοτροφών με υψηλή διατροφική αξία με στόχο την αντικατάσταση του σογιάλευρου και του ιχθυάλευρου.

Το σογιάλευρο είναι η πιο κοινή πηγή πρωτεΐνης φυτικής προέλευσης που χρησιμοποιείται στις ζωοτροφές στον κόσμο, έχει υψηλό κόστος, τεράστιο περιβαλλοντικό αποτύπωμα εξαιτίας των ιδιαιτεροτήτων καλλιέργειας της σόγιας και περιέχει αντιδιατροφικούς παράγοντες ακατάλληλους για τα μονογαστρικά ζώα. Το ιχθυάλευρο, αποτελεί εξαιρετική πηγή πρωτεΐνης εξαιτίας της υψηλής διατροφικής του αξίας, όμως η αλόγιστη χρήση του στις ζωοτροφές έχει μειώσει ραγδαία τα παγκόσμια ιχθυαποθέματα.

Όμως το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της καλλιέργειας σόγιας είναι το βαρύτερο μετά την καύση του άνθρακα για την εκτροφή μονογαστρικών, ενώ η αποψίλωση του Αμαζονίου για χρήση της γης για την καλλιέργεια σόγιας δημιουργεί καταναλωτική δυσφορία και αντιθέσεις προς το τελικό προϊόν. Ταυτόχρονα, η εξάντληση των ιχθυοαποθεμάτων των θαλασσών δημιουργεί ένα επιπρόσθετο εμπόδιο στην ανεύρεση ιχθυάλευρου, της πιο πλήρους πρωτεϊνούχας τροφής των μονογαστρικών. Η ευαισθησία των καταναλωτών έναντι ζητημάτων περιβαλλοντικής αειφορίας, παραγωγικών προτύπων και συστατικών που επιβαρύνουν την περιβαλλοντική φόρτιση δημιουργούν νέα δεδομένα για τη χρήση συγκεκριμένων πρωτεϊνούχων ζωοτροφών.

Τα έντομα, θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια εναλλακτική λύση για την κάλυψη ενός μέρους των διατροφικών αναγκών των εκτρεφόμενων χοίρων. Η χρήση νέων, εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης στη διατροφή των χοίρων, όπως το άλευρο από το έντομο *Tenebrio molitor*, αποκτά όλο και μεγαλύτερη δημοτικότητα λόγω των πιθανών πλεονεκτημάτων που το χαρακτηρίζει, όπως η επίδραση του στην ευζωία και την υγεία των χοίρων, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κρέατος και τα σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Αρχικά, όσον αφορά τη διατροφική αξία, το άλευρο από προνύμφες *Tenebrio molitor* είναι εξαιρετική πηγή πρωτεϊνών, λιπαρών οξέων και μετάλλων, ενώ είναι επίσης πλούσιο σε κρίσιμα αμινοξέα, καθιστώντας τα πιθανό υποκατάστατο συμβατικών πηγών πρωτεΐνης. Έρευνες αποδεικνύουν την καλή απορροφησιμότητα από τους χοίρους, επιτρέποντας την αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών του και την αύξηση των ωφέλιμων βακτηρίων στο εντερικό μικροβίωμα τους, οδηγώντας σε βελτιωμένη υγεία των ζώων. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε αυξημένη αποτελεσματικότητα παραγωγής και βελτιωμένη ποιότητα χοιρινού κρέατος. Επιπλέον, η χρήση του μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από συμβατικές πηγές πρωτεΐνης όπως τα ιχθυάλευρα και τα σογιάλευρα, οι οποίες όπως προαναφέρθηκε συχνά συνδέονται με οικονομικά και περιβαλλοντικά

ζητήματα. Η εκτροφή εντόμων χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες απαιτήσεις σε γη, νερό και ζωοτροφές, καθώς και μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, συμβάλλοντας έτσι στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Οι κανονισμοί που διέπουν τη χρήση συστατικών με βάση τα έντομα στις ζωοτροφές εξακολουθούν να αναπτύσσονται και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη βελτιστοποίηση της χρήσης τους, όπως η διερεύνηση των κατάλληλων ποσοτήτων, των τεχνικών επεξεργασίας και των συνδυασμών με άλλα συστατικά. Τέλος, η χρήση εντόμων ως συστατικά ζωοτροφών σε βιομηχανικό επίπεδο είναι πολύ περιορισμένη λόγω της χαμηλής διαθεσιμότητάς τους και της υψηλής τιμής τους.

Ένα άλλο ζήτημα που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψη είναι η ασφάλεια των τροφίμων αυτών. Εκτός από την τις διαφορούμενες απόψεις των καταναλωτών όσων αφορά την δεκτικότητα ενός τροφίμου που έχει σιτιστεί με έντομα, και του γεγονότος ότι αποτελούν βιοσυσσωρευτές εντομοκτόνων, βαρέων μετάλλων και φυσικών τοξινών, ένα ακόμα βασικό μειονέκτημα της χρήσης εντόμων στην τροφή είναι η χιτίνη, συστατικό του εξωσκελετού των εντόμων. Έτσι, με σκοπό να μπορεί να συμπεριληφθεί στην τροφή μπορεί να αφαιρεθεί από το έντομο μέσω αλκαλικής εκχύλισης ή μέσω άλλων χημικών ή ενζυματικών διεργασιών, διεργασίες που αυξάνουν το κόστος του σιτηρεσίου.

Συμπερασματικά, η χρήση άλευρου από το έντομο *Tenebrio molitor* ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης στη διατροφή των χοίρων αποτελεί μια βιώσιμη επιλογή για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της περιβαλλοντικής συμβατότητας της παραγωγής κτηνοτροφικών προϊόντων, ενώ παράλληλα καλύπτει τις διατροφικές ανάγκες και την ευζωία των ζώων. Ωστόσο, για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού αυτής της νέας πηγής πρωτεΐνης, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες, καθώς και η αντιμετώπιση των ανησυχιών

σχετικά με την αποδοχή των καταναλωτών και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας τροφίμων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adámková, A., Adámek, M., Mlček, J., Borkovcová, M., Bednářová, M., Kouřimská, L., ... & Vítová, E. (2017). Welfare of the mealworm (*Tenebrio molitor*) breeding regarding nutrition value and food safety. *Potravinarstvo slovak journal of food sciences*.
2. Adeli, A. and Baghaei, F., 2016. Status of production and market of fishmeal on the aquaculture development. *Journal of Aquaculture Development*, 10(3), 137-149, in Persian.
3. Adhikari, S., Keshav, C. A., Barlaya, G., Rathod, R., Mandal, R. N, Ikmail, S., Saha, G. S., De, H. K., Sivaraman, I., Mahapatra, A. S., Sarkar, S., Routray, P., Pillai, B. R., & Sundaray, J. K. (2018). Adaptation and mitigation strategies of climate change impact in freshwater aquaculture in some states of India.
4. Alboghbeish, M., Mohammadiazarm, H., Yavari, V. and Zakeri, M., 2015. Effect of fish meal replacement by soybean meal and baker's yeast on growth performance and feed utilization of juvenile *Mesopotamichthys sharpeyi* Gunther, 1874.
5. Ao, X., & Kim, I. H. (2019). Effects of dietary dried mealworm (*Ptecticus tenebrifer*) larvae on growth performance and nutrient digestibility in weaning pigs. *Livestock Science*, 230, 103815.
6. Barange, M., Fernandes, J.A., Kay, S., Hossain, M.A.R., Ahmed, M., Lauria, V., 2018. Marine ecosystems and fisheries: trends and prospects. In: Nicholls, R.J., Hutton,

C.W., Adger, W.N., Hanson, S.E., Rahman, M.M., Salehin, M. (Eds.), Ecosystem Services for Well-being in Deltas: Integrated Assessment for Policy Analysis.

7. Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422, 193-201.

8. Belghit, I., Liland, N. S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., ... & Lock, E. J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 503, 609-619.

9. Belluco, S., Halloran, A., & Ricci, A. (2017). New protein sources and food legislation: the case of edible insects and EU law. *Food Security*, 9, 803-814.

10. Biasato, I., Ferrocino, I., Dabbou, S., Evangelista, R., Gai, F., Gasco, L., ... & Schiavone, A. (2020). Black soldier fly and gut health in broiler chickens: insights into the relationship between cecal microbiota and intestinal mucin composition. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11, 1-12.

11. Biasato, I., Renna, M., Gai, F., Dabbou, S., Meneguz, M., Perona, G., ... & Gasco, L. (2019). Partially defatted black soldier fly larva meal inclusion in piglet diets: effects on the growth performance, nutrient digestibility, blood profile, gut morphology and histological features. *Journal of animal science and biotechnology*, 10, 1-11.

12. Boczar, P. (2016). The economic importance of soybean and possibility of expanding its production in Poland. *Problems of World Agriculture/Problemy Rolnictwa Światowego*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.250164>.

13. Bovera, F., Loponte, R., Marono, S., Piccolo, G., Parisi, G., Iaconisi, V., ... & Nizza, A. (2016). Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *Journal of Animal Science*, 94(2), 639-647.

14. Cazzato, E., Laudadio, V., Ceci, E., & Tufarelli, V. (2014). Effect of sulphur fertilization on fatty acid composition of faba bean (*Vicia faba* L.), white lupin (*Lupinus albus* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) grains. *J. Food Agric. Environ*, 12, 136-138.
15. Chen, B., Li, D., Leng, D., Kui, H., Bai, X., & Wang, T. (2022). Gut microbiota and meat quality. *Frontiers in Microbiology*, 13, 951726.
16. Chia, S. Y., Tanga, C. M., Osuga, I. M., Alaru, A. O., Mwangi, D. M., Githinji, M., & Dicke, M. (2019). Effect of dietary replacement of fishmeal by insect meal on growth performance, blood profiles and economics of growing pigs in Kenya. *Animals*, 9(10)
17. Cho, K. H., Sampath, V., Kim, A. J., Yoo, J. S., & Kim, I. H. (2023). Evaluation of full-fatted and hydrolysate mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae as a substitute for spray-dried plasma protein diet in weaning pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107(2), 589-597.
18. Correia, C. S., Alfaia, C. M., Madeira, M. S., Lopes, P. A., Matos, T. J. S., Cunha, L. F., ... & Freire, J. P. B. (2017). Dietary inclusion of tomato pomace improves meat oxidative stability of young pigs. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 101(6), 1215-1226.
19. Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Acuti, G., Marangon, A., & Dalle Zotte, A. (2018). Black soldiers fly as dietary protein source for broiler quails: Meat proximate composition, fatty acid and amino acid profile, oxidative status and sensory traits. *Animal*, 12(3), 640-647.
20. Dabbou, S., Gasco, L., Rotolo, L., Pozzo, L., Tong, J. M., Dong, X. F., ... & Gai, F. (2018). Effects of dietary alfalfa flavonoids on the performance, meat quality and lipid oxidation of growing rabbits. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 31(2), 270.

21. de Oliveira Filho, J. G., & Egea, M. B. (2021). Sunflower seed byproduct and its fractions for food application: An attempt to improve the sustainability of the oil process. *Journal of Food Science*, 86(5), 1497-1510.
22. De Smet, S., Demeyer, D., & Van Hecke, T. (2019). Chronic diseases associated with meat consumption: epidemiology and mechanisms.
23. Dumas, A., Raggi, T., Barkhouse, J., Lewis, E., & Weltzien, E. (2018). The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 492, 24-34.
24. Etemadi, F., Hashemi, M., Barker, A. V., Zandvakili, O. R., & Liu, X. (2019). Agronomy, nutritional value, and medicinal application of faba bean (*Vicia faba* L.).
25. Fabrikov, D., Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., Tomás-Almenar, C., Melenchón, F., Hidalgo, M. C., ... & Montes-Lopez, J. (2020). Comparative study of growth performance and amino acid catabolism in *Oncorhynchus mykiss*, *Tinca tinca* and *Sparus aurata* and the catabolic changes in response to insect meal inclusion in the diet.
26. FAOSTAT. (2020). Rome: FAO. <http://www.fao.org/faostat/>
27. Florou-Paneri, P., Christaki, E., Giannenas, I., Bonos, E., Skoufos, I., Tsinas, A., & Peng, J. (2014). Alternative protein sources to soybean meal in pig diets. *J. Food Agric.*
28. Friendship, R., Lumsden, J. H., McMillan, I., & Wilson, M. R. (1984). Hematology and biochemistry reference values for Ontario swine.
29. Gasco, L., Biasato, I., Dabbou, S., Schiavone, A., & Gai, F. (2019). Animals fed insect-based diets: State-of-the-art on digestibility, performance and product quality. *Animals*, 9(4), 170.

30. Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., ... & Caruso, G. (2018). Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. *Feeds for the aquaculture sector: current situation and alternative sources*, 1-28.
31. Goulart, F. F., Chappell, M. J., Mertens, F., & Soares-Filho, B. (2023). Sparing or expanding? The effects of agricultural yields on farm expansion and deforestation in the tropics. *Biodiversity and Conservation*, 32(3), 1089-1104.
32. Grinstead, G. S., Tokach, M. D., Dritz, S. S., Goodband, R. D., & Nelssen, J. L. (2000). Effects of *Spirulina platensis* on growth performance of weanling pigs.
33. Gu, B. J., Masli, M. D. P., & Ganjyal, G. M. (2020). Whole faba bean flour exhibits unique expansion characteristics relative to the whole flours of lima, pinto, and red kidney beans during extrusion. *Journal of Food Science*, 85(2), 404-413.
34. Gubbins, M., Bricknell, I., & Service, M. (2013). Impacts of climate change on aquaculture. Marine Climate Change Impacts Partnership: Science Review. 2013, 318–327.
35. Hall, G.M. (1992). Fish processing technology. In Ockerman, H.W. ed. Fishery by products, pp. 155-192. New York: VCH publishers.
36. Han, R., Shin, & Kim, Y. W. (2017). An overview of the South Korean edible insect food industry: Challenges and future pricing/promotion strategies.
37. Handley M.A., Hall C., Sanford E., Diaz E., Gonzalez-Mendez E., Drace K., Wilson R., Villalobos M., Croughan M. 2007. Globalization, binational communities, and imported food risk: Results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California.
38. Hellwing, A. L. F. (2005). *Bacterial protein meal as protein source for monogastric animals: comparative studies on protein and energy metabolism*.
39. Hong, J., & Kim, Y. Y. (2022). Insect as feed ingredients for pigs.

40. Hong, J., Han, T., & Kim, Y. Y. (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: A review. *Animals*, 10(11), 2068.
41. IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate
42. IPIFF, 2021. An overview of the European market of insects as feed. Available at: https://ipiff.org/wp-content/uploads/2021/04/Apr-27-2021-IPIFF_The-European-market-of-insects-as-feed.pdf
43. Jackson, A., 2016. Fishmeal and fish oil its role in sustainable aquaculture. Symposium on Perspectives for Fishmeal and Fish Oil. Hirtshals, Denmark. International Fish Oil and Fishmeal Organization(IFFO), UK, 12P.
44. Jayanegara, A., Novandri, B., Yantina, N., & Ridla, M. (2017). Use of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet: An in vitro rumen fermentation study. *Veterinary world*, 10(12), 1439.
45. Jezierny, D., Mosenthin, R., & Bauer, E. (2010). The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review.
46. Jin, X.H.; Heo, P.S.; Hong, J.S.; Kim, N.J.; Kim, Y.Y. Supplementation of dried mealworm (*Tenebrio molitor* larvae) on growth performance, nutrient digestibility and blood profiles in weaning pigs. *Asian-Australas J Anim Sci* 2016, 29, 979-986,
47. Jones, C. K., DeRouchey, J. M., Nelssen, J. L., Tokach, M. D., Dritz, S. S., & Goodband, R. D. (2010). Effects of fermented soybean meal and specialty animal protein sources on nursery pig performance. *Journal of Animal Science*, 88(5), 1725-1732.
48. Joo, S. T., Kim, G. D., Hwang, Y. H., & Ryu, Y. C. (2013). Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat science*, 95(4), 828-836.
49. 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.

50. Kibria, G., Haroon, Y. A. K., & Dayanthi, N. (2017). Climate change impacts on tropical and temperate fisheries, aquaculture, and seafood security and implications – A review. *Livestock Research for Rural Development*, 29(1), 1-16.
51. Kierończyk, B., Rawski, M., Józefiak, A., Mazurkiewicz, J., Świątkiewicz, S., Siwek, M., ... & Józefiak, D. (2018). Effects of replacing soybean oil with selected insect fats on broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 240, 170-183.
52. Ko, H., Kim, Y., & Kim, J. (2020). The produced mealworm meal through organic wastes as a sustainable protein source for weanling pigs.
53. Kowalczyk, J., Barak, N., Riede, O., Engel, A. M., Koch, F., Spolders, M., ... & Pieper, R. (2022). Literature review and qualitative risk assessment on the role of feed materials in African Swine Fever Virus transmission.
54. Lannuzel, C., Smith, A., Mary, A. L., Della Pia, E. A., Kabel, M. A., & De Vries, S. (2022). Improving fiber utilization from rapeseed and sunflower seed meals to substitute soybean meal in pig and chicken diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 285, 115213.
55. Lassaletta, L., Estellés, F., Beusen, A. H., Bouwman, L., Calvet, S., Van Grinsven, H. J., ... & Westhoek, H. (2019). Future global pig production systems according to the Shared Socioeconomic Pathways. *Science of the Total Environment*, 665, 739-751.
56. Lis, L., Bakula, T., Baranowski, M., & Czarnewicz, A. (2011). The carcinogenic effects of benzoquinones produced by the flour beetle.
57. Liu, J., Liu, J., Xu, B., Xu, A., Cao, S., Wei, R., ... & Dong, W. (2022). Biodegradation of polyether-polyurethane foam in yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) and effects on the gut microbiome. *Chemosphere*, 304, 135263.

58. Lopez-Santamarina, A., Mondragon, A. D. C., Lamas, A., Miranda, J. M., Franco, C. M., & Cepeda, A. (2020). Animal-origin prebiotics based on chitin: An alternative for the future? a critical review. *Foods*, 9(6), 782.
59. Lum, K. K., Kim, J., & Lei, X. G. (2013). Dual potential of microalgae as a sustainable biofuel feedstock and animal feed. *Journal of animal science and biotechnology*, 4, 1-7.
60. Madeira, M. S., Cardoso, C., Lopes, P. A., Coelho, D., Afonso, C., Bandarra, N. M., & Prates, J. A. (2017). Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: A review. *Livestock science*, 205, 111-121.
61. Makkar, H. P., Tran, G., Heuze, V., & Ankers, P. (2014). 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol*, 197, 1-33.
62. Makkar, H.P.S., 2018. Review: feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal* 12, 1744-1754.
63. Manceron, S., Ben-Ari, T., & Dumas, P. (2014). Feeding proteins to livestock: Global land use and food vs. feed competition. *OCL*.
64. Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2018). The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut pathogens*, 10, 1-20.
65. Marono, S., Loponte, R., Lombardi, P., Vassalotti, G., Pero, M. E., Russo, F., ... & Bovera, F. (2017). Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. *Poultry science*, 96(6), 1783-1790.
66. Martínez-Villaluenga, C., Frías, J., & Vidal-Valverde, C. (2006). Functional lupin seeds (*Lupinus albus* L. and *Lupinus luteus* L.) after extraction of α -galactosides.
67. Medhi, D. (2011). Effects of enzyme supplemented diet on finishing crossbred pigs at different levels of silkworm pupae meal in diet.

68. Meyer, S., Gessner, D. K., Maheshwari, G., Röhrig, J., Friedhoff, T., Most, E., Eder, K.(2020). *Tenebrio molitor* larvae meal affects the cecal microbiota of growing pigs. *Animals*, 10(7), 1151.
69. Miles, R. D., & Chapman, F. A. (2006). The benefits of fish meal in aquaculture diets: FA122/FA122, 5/2006. *EDIS*, 2006(12).
70. Min, B. J., Cho, J. H., Chen, Y. J., Kim, H. J., Yoo, J. S., Lee, C. Y., ... & Kim, I. H. (2009). Effects of fermented soy protein on growth performance and blood protein contents in nursery pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 22(7), 1038-1042.
71. Mordenti, A. L., Martelli, G., Brogna, N., Nannoni, E., Vignola, G., Zaghini, G., & Sardi, L. (2012). Effects of a soybean-free diet supplied to Italian heavy pigs on fattening performance, and meat and dry-cured ham quality
72. Nguyen, L. A., Pham, T. B., Bosma, R., Verreth, J., Leemans, R., De Silva, S., & Lansink, A. O. (2018). Impact of climate change on the technical efficiency of striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. *Journal of World Aquaculture Society*
73. OECD, F. (2019). Dairy and dairy products. *OECD-FAO Agric. Outlook*, 2028
74. Oecd, F. A. O. (2022). OECD-FAO agricultural outlook 2022-2031.
75. Osei, E., S. H. Jafri, A. Saleh, P. W. Gassman, and O. Gallego. "Simulated Climate Change Impacts on Corn and Soybean Yields in Buchanan County, Iowa
76. Øverland, M., Skrede, A., & Matre, T. (2001). Bacterial protein grown on natural gas as feed for pigs.
77. Oymak, T., Tokalıoğlu, Ş., Yılmaz, V., Kartal, Ş., & Aydın, D. (2009). Determination of lead and cadmium in food samples by the coprecipitation method. *Food Chemistry*, 113(4), 1314-1317.
78. Parsons, C. M., Zhang, Y., & Araba, M. (2000). Nutritional evaluation of soybean meals varying in oligosaccharide content. *Poultry Science*, 79(8), 1127-1131.

79. Pike IH, Andorsdottir G Mundheim H (1990) The role of fishmeal in diets for salmonids. International Association of Fishmeal Manufacturers.
80. Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects.
81. Ran, Y., van Middelaar, C. E., Lannerstad, M., Herrero, M., de Boer, I. J. (2017). Freshwater use in livestock production To be used for food crops or livestock feed.
82. Ravzanaadii, N., Kim, S. H., Choi, W. H., Hong, S. J., & Kim, N. J. (2012). Nutritional value of mealworm, *Tenebrio molitor* as food source.
83. Rema, P., Saravanan, S., Armenjon, B., Motte, C., & Dias, J. (2019). Graded incorporation of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet improves growth performance and nutrient retention.
84. Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., ... & Gasco, L. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*H. illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) diets.
85. Ribeiro, N. T. G. M. (2017). *Tenebrio molitor* for Food or Feed: Rearing Conditions and the Effects of Pesticides on its Performance (Doctoral dissertation).
86. Richard, M., & Quijón, P. A. (2023). Seagrass-macroalgal interactions in a changing ocean. *Frontiers in Climate*, 5, 1283305.
87. Richmond, A. E., & Soeder, C. J. (1986). Microalgaculture. *Critical reviews in Biotechnology*, 4(3), 369-438.
88. Rooke, J. A., Sinclair, A. G., Edwards, S. A., Cordoba, R., Pkiyach, S., Penny, P. C & Horgan, G. W. (2001). The effect of feeding salmon oil to sows throughout pregnancy on pre-weaning mortality of piglets. *Animal Science*, 73(3), 489-500.
89. Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production.

90. Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16-27.
91. Schiavone, A., Dabbou, S., De Marco, M., Cullere, M., Biasato, I., Biasibetti, E., ... & Gasco, L. (2018). Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal*, 12(10), 2032-2039.
92. Schlenker, W., & Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change.
93. Schumacher, H., Paulsen, H. M., Gau, A. E., Link, W., Jürgens, H. U., Sass, O., & Dieterich, R. (2011). Seed protein amino acid composition of important local grain legumes *Lupinus angustifolius* L., *Lupinus luteus* L., *Pisum sativum* L. and *Vicia faba* L.
94. Schwediauer, P., Hagmüller, W., & Zollitsch, W. (2018). Germination of faba beans (*Vicia faba* L.) for organic weaning piglets. *Organic agriculture*, 8, 249-258.
95. Simopoulos, A. P. (2020). Omega-6 and omega-3 fatty acids: Endocannabinoids, genetics and obesity. *Ocl*, 27, 7.
96. Skrede, A., Faaland Schøyen, H., Svihus, B., & Storebakken, T. (2003). The effect of bacterial protein grown on natural gas on growth performance and sensory quality of broiler chickens.
97. Sobotka, W., & Fiedorowicz-Szatkowska, E. (2021). The effect of replacing genetically modified soybean meal with 00-rapeseed meal, faba bean and yellow lupine in grower-finisher diets on nutrient digestibility, nitrogen retention, selected blood biochemical parameters and fattening performance of pigs. *Animals*, 11(4), 960.
98. Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., & Gasco, L. (2019). The potential role of insects as feed: A multi-perspective review. *Animals*, 9(4), 119.

99. Spranghers, T., Michiels, J., Vrancx, J., Ovyen, A., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2018). Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets.
100. Storebakken, T., Baeverfjord, G., Skrede, A., Olli, J. J., & Berge, G. M. (2004). Bacterial protein grown on natural gas in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in freshwater. *Aquaculture*, 241(1-4), 413-425.
101. Thorslund, C. A., Sandøe, P., Aaslyng, M. D., & Lassen, J. (2016). A good taste in the meat, a good taste in the mouth—Animal welfare as an aspect of pork quality in three European countries. *Livestock Science*, 193, 58-65.
102. Václavková, E., Danek, P., & Rozkot, M. (2011). Effect of sunflower in pig diet on fatty acid content in muscle and fat tissue of fattening pigs. *Research in Pig Breeding*
103. Van Huis, A., & Oonincx, D. G. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 1-14.
104. van Vliet, M. J., Tissing, W. J., Dun, C. A., Meessen, N. E., Kamps, W. A., de Bont, E. S., & Harmsen, H. J. (2009). Chemotherapy treatment in pediatric patients with acute myeloid leukemia receiving antimicrobial prophylaxis leads to a relative increase of colonization with potentially pathogenic bacteria in the gut. *Clinical infectious diseases*, 49(2), 262-270.
105. Vasilopoulos, S., Giannenas, I., Savvidou, S., Bonos, E., Rumbos, C. I., Papadopoulos, E., ... & Athanassiou, C. G. (2023). Growth performance, welfare traits and meat characteristics of broilers fed diets partly replaced with whole *Tenebrio molitor* larvae. *Animal Nutrition*, 13, 90-100.
106. Verbeke, W., Sans, P., & Van Loo, E. J. (2015). Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 285-294.

107. White, G. A., Smith, L. A., Houdijk, J. G. M., Homer, D., Kyriazakis, I., & Wiseman, J. (2015). Replacement of soya bean meal with peas and faba beans in growing/finishing pig diets: Effect on performance, carcass composition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 202-210.
108. Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I & Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat science*, 78(4), 343-358.
109. Wynants, E., Frooninckx, L., Crauwels, S., Verreth, C., De Smet, J., Sandrock, C., & Van Campenhout, L. (2019). Assessing the microbiota of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on organic waste streams on four different locations at laboratory and large scale. *Microbial ecology*, 77, 913-930.
110. Xu, Y., Shi, B., J., Yu, P., & Guo, X. (2013). Effects of chitosan on the development of immune organs and gastrointestinal tracts in weaned piglets. *Feed Industry*, 3(008).
111. Yang, S. S., Wu, W. M., Brandon, A. M., Fan, H. Q., Receveur, J. P., Li, Y., ... & Criddle, C. S. (2018). Ubiquity of polystyrene digestion and biodegradation within yellow mealworms, larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus
112. Yoo, J. S., Cho, K. H., Hong, J. S., Jang, H. S., Chung, Y. H., Kwon, G. T., ... & Kim, Y. Y. (2019). Nutrient ileal digestibility evaluation of dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae compared to three animal protein by-products in growing pigs.
113. Yu, M., Li, Z., Chen, W., Wang, G., Rong, T., Liu, Z., ... & Ma, X. (2020). *Hermetia illucens* larvae as a fishmeal replacement alters intestinal specific bacterial populations and immune homeostasis in weanling piglets. *Journal of Animal Science*, 98(3), skz395.
114. Zacharis, C., Bonos, E., Giannenas, I., Skoufos, I., Tzora, A., Voidarou, C., ... & Grigoriadou, K. (2023). Utilization of *Tenebrio molitor* Larvae Reared with Different Substrates as Feed Ingredients in Growing Pigs. *Veterinary Sciences*, 10(6), 393.

115. Zacharis, C., Bonos, E., Voidarou, C., Magklaras, G., Fotou, K., Giannenas, I., ... & Skoufos, I. (2024). Combined Dietary Supplementation of *Tenebrio molitor* Larvae and Chitosan in Growing Pigs: A Pilot Study. *Veterinary Sciences*, *11*(2), 73
116. Zhuang, P., Huiling, Z. O. U., & Wensheng, S. H. U. (2009). Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: Field study.