



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΖΥΜΑΡΙΚΩΝ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΩΝ ΜΕ
ΑΛΕΥΡΙ ΑΠΟ ΤΟ ΒΡΩΣΙΜΟ ΕΝΤΟΜΟ *TENEBRIO MOLITOR* ΩΣ
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ: ΜΕΛΕΤΗ
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ, ΘΡΕΠΤΙΚΗΣ ΑΞΙΑΣ ΚΑΙ
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ.

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL PASTA ENRICHED WITH *TENEBRIO
MOLITOR* FLOUR AS AN ALTERNATIVE AND SUSTAINABLE PROTEIN
SOURCE: STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, NUTRITIONAL
VALUE, AND SENSORY CHARACTERISTICS.

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΚΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ AM:2820035

ΣΤΑΜΟΥΛΗ ΕΙΡΗΝΗ AM:2820068

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΤΖΗΜΗΤΑΚΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑ 2025

Πρόλογος- Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε κατά το Ακαδημαϊκό Έτος 2024 – 2025, στο πλαίσιο των Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το θέμα της μελέτης αφορά τον εμπλουτισμό ζυμαρικών με πρωτεΐνη από αλεύρι βρώσιμου εντόμου *Tenebrio molitor* και την αξιολόγηση της θρεπτικής τους αξίας.

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην πραγματοποίησή της.

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας, κ. Χατζημητάκο, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τις χρήσιμες παρατηρήσεις και την αδιάκοπη στήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης. Η συμβολή του υπήρξε καθοριστική στην ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής.

Ιδιαίτερη μνεία αξίζει στις οικογένειές μας, για την αμέριστη ηθική και υλική υποστήριξη, την ενθάρρυνση και την πίστη τους στις δυνατότητές μας σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μας. Χωρίς τη συνεχή παρουσία τους, η προσπάθεια αυτή δεν θα είχε φτάσει στο σημερινό της αποτέλεσμα.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στους φίλους και συμφοιτητές μας για τη συντροφικότητα, την κατανόηση και την ενθάρρυνση που προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μας πορείας. Ιδιαίτερα, θέλουμε να ευχαριστήσουμε η μια την άλλη για τη συνεργασία, τη συνεχή ανταλλαγή ιδεών και τη συλλογική προσπάθεια που κατέστησε δυνατή την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας με επιτυχία. Η συνεργασία μας υπήρξε καθοριστική για την αποτελεσματική εκπόνηση της μελέτης και την επίτευξη των στόχων της

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
1.1. Η παγκόσμια διατροφική κρίση και οι νέες προκλήσεις του 21ου αιώνα 8	
1.2. Η αξία των πρωτεϊνούχων τροφών στη διατροφή του ανθρώπου	9
1.3. Ζυμαρικά	12
1.3.1. Ιστορία ζυμαρικών	12
1.3.2. Πως φτιάχνονται τα ζυμαρικά	12
1.3.3. Διατροφική αξία ζυμαρικών.....	14
1.4. Ιστορική αναδρομή της εντομοφαγίας	16
1.4. Διατροφικά οφέλη βρώσιμων εντόμων	18
1.5. Κίτρινος αλευροσκώληκας <i>Tenebrio molitor</i>	19
1.5.1. Ο βιολογικός κύκλος.....	19
1.5.2. Συνθήκες ανάπτυξης	20
1.5.3. Επεξεργασία προνυμφών <i>Tenebrio molitor</i>	21
1.5.4. Θρεπτική αξία <i>T.molitor</i>	22
1.6. Νομοθεσία	24
1.7. Εμπλουτισμός τροφίμων με <i>Tenebrio molitor</i>	26
1.7.1. Αρτοσκευάσματα	26
1.7.1.1. Ψωμί	26
1.7.1.2. Μπισκότα	27
1.7.1.3. Κράκερ.....	28
1.7.1.4. Μπάρες.....	28
1.7.2. Κρέας	29
1.7.2.1. Μπιφτέκι	29
1.7.2.2. Λουκάνικα.....	30
1.7.3. Σάλτσα σόγιας.....	31
1.7.4. Γαλακτοκομικά προϊόντα	32
1.7.4.1. Γάλα.....	32
1.7.4.2. Αλειφόμενο τυρί	33
1.7.4.3. Παγωτό	33

1.7.5. Λάδι	34
2. Σκοπός	35
3. Πειραματικό μέρος	36
3.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός/ Υλικά μέθοδοι	36
3.2 Προετοιμασία δειγμάτων	36
3.2.1 Παρασκευή αλεύρου εντόμου	36
3.3 Επιλογή βασικής συνταγής	36
3.3.1 Βασικός διαχωρισμός	36
3.3.2 Επιλογή βάσης	37
3.3.3. Δοκιμή σιμιγδάλι 7%	38
3.3.4. Δοκιμή σιμιγδάλι 10%	38
3.3.5.Τελική πειραματική δοκιμή 8,5%	38
3.4 Οργανοληπτικός Έλεγχος	39
4. Αποτελέσματα συζήτηση	41
4.1.1. Αποτελέσματα δοκιμή 7%	41
4.1.2. Αποτελέσματα δοκιμής 10%	41
4.1.3. Αποτελέσματα τελικής δοκιμής 8,5%	41
4.2. Υπολογισμός θρεπτικής αξίας τελικού προϊόντος	42
5. Συμπεράσματα	46
6. Βιβλιογραφία	48

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1 Συγκριτική αξιολόγηση της διατροφικής αξίας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ αλευροσκώληκα, βοδινού, κοτόπουλου, χοιρινού, σογιάλευρου και ιχθυελαίου	18
Εικόνα 2 Ο βιολογικός κύκλος του <i>Tenebrio molitor</i>	19
Εικόνα 3 Επεξεργασία προνυμφών <i>Tenebrio molitor</i>	21
Εικόνα 4 Διαδικασία παραγωγής αλεύρου <i>Tenebrio molitor</i>	36
Εικόνα 5 Ερωτηματολόγιο	40
Εικόνα 6 Τελικό προϊόν δοκιμής	42

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη διερεύνηση της χρήσης αλεύρου από το βρώσιμο έντομο *Tenebrio molitor* ως εναλλακτική και βιώσιμη πηγή πρωτεΐνης για τον εμπλουτισμό ζυμαρικών, με στόχο τη βελτίωση της θρεπτικής τους αξίας και την ενίσχυση της βιωσιμότητας στη βιομηχανία τροφίμων. Στην εισαγωγή παρουσιάζονται οι παγκόσμιες προκλήσεις που σχετίζονται με την επισιτιστική ασφάλεια, την κλιματική αλλαγή και την αυξανόμενη ζήτηση για ζωικές πρωτεΐνες, ενώ γίνεται αναφορά στην εντομοφαγία ως διατροφική πρακτική με ιστορικές ρίζες και προοπτικές ανάπτυξης.

Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση του εντόμου *Tenebrio molitor*, όπου περιγράφονται ο βιολογικός του κύκλος, οι συνθήκες εκτροφής και τα διατροφικά του χαρακτηριστικά, με έμφαση στη σημαντική περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνες, απαραίτητα λιπαρά οξέα, βιταμίνες και ιχνοστοιχεία. Παράλληλα, εξετάζεται το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την κατανάλωση εδώδιμων εντόμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και οι κατευθυντήριες γραμμές για την ασφάλεια τροφίμων.

Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε την παρασκευή δειγμάτων ζυμαρικών με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου *Tenebrio molitor* και την αξιολόγησή τους μέσω χημικών αναλύσεων και οργανοληπτικών δοκιμών. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας των εμπλουτισμένων ζυμαρικών σε πρωτεΐνες και λιπαρά οξέα, καθώς και βελτίωση της συνολικής θρεπτικής τους αξίας. Παράλληλα, καταγράφηκαν διαφοροποιήσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, οι οποίες συνδέονται με το επίπεδο εμπλουτισμού.

Συμπερασματικά, η ένταξη αλεύρου *Tenebrio molitor* στη διαδικασία παρασκευής ζυμαρικών συμβάλλει στη δημιουργία προϊόντων με υψηλότερη διατροφική αξία, προσφέροντας μια καινοτόμο και περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική που μπορεί να ενισχύσει την αειφορία της διατροφικής αλυσίδας.

Abstract

This undergraduate thesis investigates the use of flour derived from the edible insect *Tenebrio molitor* as an alternative and sustainable protein source for the enrichment of pasta, aiming to enhance its nutritional value and promote sustainability in the food industry. The introduction addresses global challenges related to food security, climate change, and the increasing demand for animal protein, while also highlighting entomophagy as a dietary practice with historical roots and promising future potential.

An overview of *Tenebrio molitor* is provided, including its biological cycle, rearing conditions, and nutritional profile, with emphasis on its high content of proteins, essential fatty acids, vitamins, and trace elements. Furthermore, the legal framework regulating the consumption of edible insects in the European Union is examined, alongside current food safety guidelines.

The experimental procedure involved the preparation of pasta samples enriched with different concentrations of *Tenebrio molitor* flour, followed by chemical analyses and sensory evaluations. The results demonstrated a notable increase in protein and fatty acid content in the enriched pasta, as well as an overall improvement in nutritional quality. At the same time, variations in sensory characteristics were observed depending on the enrichment level.

In conclusion, the incorporation of *Tenebrio molitor* flour into pasta production contributes to the development of products with enhanced nutritional value, offering an innovative and environmentally friendly alternative that supports the sustainability of the food chain.

1.1. Η παγκόσμια διατροφική κρίση και οι νέες προκλήσεις του 21ου αιώνα

Στην εποχή μας σε παγκόσμια κλίμακα φανερόνται ζητήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως το αίσθημα της επισιτιστικής ανασφάλειας αλλά και της αύξησης του πληθυσμού, η οποία έως το 2050 θα φτάσει τα 9,3 δισεκατομμύρια. Η αναγκαιότητα της αύξησης των παραγόμενων τροφίμων με σκοπό τη κάλυψη των διατροφικών αναγκών του παγκόσμιου πληθυσμού είναι όλο ένα και πιο σημαντική. Για την επίλυση του φαινομένου αυτού λειτουργεί ως τροχοπέδη η ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς μέσω, για παράδειγμα, της ρύπανσης και της αποψίλωσης των δασών επιβαρύνουν και προκαλούν αποσταθεροποίηση του κλίματος της γης. Ταυτόχρονα όμως υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι αναπόφευκτα δεν ευνοούν την παγκόσμια κάλυψη των διατροφικών αναγκών και αυτοί είναι οι περιβαλλοντικές καταστροφές. Μια ενδεχόμενη άνοδος της θερμοκρασίας ή μείωση των βροχοπτώσεων θα λειτουργήσουν καταλυτικά στην παραγωγικότητα του εδάφους και στην απόδοση της κτηνοτροφίας κάτι το οποίο θα επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα για την διατροφική ασφάλεια αυξάνοντάς τα ποσοστά πείνας.

Τα τρόφιμα επηρεάζονται αλλά και συμβάλλουν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αν και είναι δύσκολο να μετρηθεί με ακρίβεια, το παγκόσμιο σύστημα τροφίμων ευθύνεται για το 21%-37% των συνολικών ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων, ιδίως εδάφους και νερού, η αποψίλωση των δασών, η απώλεια βιοποικιλότητας και η ρύπανση καθιστούν τη γεωργική παραγωγή περιβαλλοντικά μη βιώσιμη.

Στόχος αυτής της πρόκλησης είναι παρόντες μέθοδοι διατροφής να δημιουργούν κλίμα ασφάλειας στον πληθυσμό και όσον αφορά τα επισιτιστικά ζητήματα αλλά και όσον αφορά την υγεία τους την άνοδο στην παραγωγή τροφίμων αλλά και ταυτόχρονα την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η ανάγκη για μια πιο δίκαιη, υγιεινή, βιώσιμη και ανθεκτική αλυσίδα τροφίμων είναι πιο επίκαιρη από ποτέ. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα νέα τρόφιμα ορίζονται από τον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283 και αφορά μεγάλο εύρος προϊόντων, από τρόφιμα με τροποποιημένη ή νέα μοριακή δομή έως τρόφιμα τα οποία έχουν παραχθεί από μικροοργανισμούς, φύκη, νανοϋλικά ή ζωικές πηγές. Τέτοια τρόφιμα τα οποία προσφέρουν υγιή, ασφαλή και βιώσιμες επιλογές λειτουργούν ευεργετικά στην επίτευξη του παραπάνω στόχου. Μέρος αυτών αποτελούν και τα βιώσιμα έντομα, τα οποία αναγνωρίζονται ως τρόφιμα υψηλής διατροφικής αξίας με εξαιρετικά χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Το 2013, ο FAO δημοσίευσε τη μελέτη «Edible Insects. Future Prospects for Food and Feed Security», η οποία φανερώνει κάποια από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης των βρωσιμών εντόμων σε σχέση με το κρέατος σε μια περίοδο την οποία η κατανάλωση κρέατος μεγεθύνεται δραστικά, ιδιαίτερα σε αναδυόμενες οικονομίες. Τα έντομα λοιπόν εκπέμπουν σημαντικά λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου, απαιτούν λιγότερη τροφή, νερό και έδαφος, και είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, λίπη, βιταμίνες και μέταλλα.

Παρόλο που η κατανάλωση εντόμων είναι συνηθισμένη σε πολλές χώρες της Ασίας, Αφρικής και Λατινικής Αμερικής, η εισαγωγή τους στην ευρωπαϊκή διατροφή συνοδεύεται από νομοθετικά, πολιτισμικά και ψυχολογικά εμπόδια. Τα βρώσιμα έντομα εμφανίζουν ισχυρό δυναμικό στη μάχη κατά της πείνας και της περιβαλλοντικής κρίσης, η αποδοχή τους από τους καταναλωτές απαιτεί ενημέρωση, έρευνα και σαφές ρυθμιστικό πλαίσιο.

1.2. Η αξία των πρωτεϊνούχων τροφών στη διατροφή του ανθρώπου

Οι διατροφικές συνήθειες των καταναλωτών αντανakλούν επίσης μια σαφή στροφή προς τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες. Δείχνουν ότι η υγεία, η άσκηση και η πρόληψη ασθενειών μέσω της διατροφής είναι πια περισσότερο σημαντικά. Σύμφωνα με έρευνα της Censis (2022), το 75,8% των Ιταλών θεωρεί τον τρόπο ζωής καθοριστικό παράγοντα για την καλή υγεία, ποσοστό που έχει αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με το 41,1% το 2016. Η στάση αυτή αποτυπώνεται και σε πράξεις, καθώς το 82,1% δηλώνει ότι υιοθετεί τουλάχιστον μία υγιεινή συνήθεια, όπως ισορροπημένη διατροφή, άσκηση ή αποχή από επιβλαβείς συμπεριφορές. Το φαινόμενο αυτό είναι ακόμη πιο έντονο στους νέους (88,4% στην ηλικιακή ομάδα 18-34 ετών), έναντι του 78,5% στις μεγαλύτερες ηλικίες (άνω των 64 ετών).

Με αφορμή την απώλεια βάρους ή την αύξηση της φυσικής απόδοσης, πολλοί καταναλωτές προτιμούν τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες. Ενώ οι παρανοήσεις σχετικά με την υγιεινή διατροφή επιμένουν, η πρωτεΐνη έχει αναδειχθεί ως βασικό θρεπτικό συστατικό ενδιαφέροντος. Η σημασία της για τη μυϊκή ανάπτυξη και την προστασία, την καλύτερη λειτουργία του νευρικού συστήματος και την επίδοση του σώματος εξηγεί αυτήν τη δημοφιλία. Η Συνιστώμενη Ημερήσια Πρόσληψη (LARN) της Ιταλικής Εταιρείας Ανθρώπινης Διατροφής ορίζει την επαρκή ημερήσια πρόσληψη πρωτεΐνης στα 0,9 γραμμάρια ανά κιλό σωματικού βάρους για τον γενικό πληθυσμό. Ωστόσο, τα άτομα με υψηλά επίπεδα δραστηριότητας, όπως οι αθλητές, χρειάζονται περισσότερα. Μια συναίνεση του 2016 από την Ακαδημία Διατροφής και Διαιτολογίας, τους Διαιτολόγους του Καναδά και το Αμερικανικό Κολλέγιο Αθλητιατρικής συνιστά 1,2 έως 2,0 γραμμάρια ανά κιλό σωματικού βάρους ημερησίως για τους αθλητές, ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης.

Αυτή η διευρυνόμενη καθοδήγηση, σε συνδυασμό με την ευρέως διαδεδομένη αντίληψη ότι η μεγάλη πρόσληψη πρωτεΐνης βοηθάει τη μυϊκή μάζα, τη λειτουργικότητα και την καλή φυσική κατάσταση, έχει τροφοδοτήσει την αυξημένη κατανάλωση φυσικά πλούσιων σε πρωτεΐνες ή εμπλουτισμένων τροφίμων. Η βιομηχανία τροφίμων έχει ανταποκριθεί προσφέροντας μια συνεχώς αυξανόμενη γκάμα προϊόντων "υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες" όπως γιαούρτια, μπάρες, ποτά και αρτοσκευάσματα. Είναι σημαντικό ότι ο όρος "υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες" ορίζεται αυστηρά από τον κανονισμό 1924/2006 της ΕΕ. Ωστόσο, δεν τηρούν όλα τα διαθέσιμα προϊόντα με συνέπεια αυτόν τον ορισμό.

Συνοψίζοντας, η αυξανόμενη κατανάλωση πρωτεϊνούχων τροφών δείχνει τη γενικότερη τάση των καταναλωτών να κάνουν πιο συνειδητές και στοχευμένες

επιλογές διατροφής, με στόχο την υγεία και τη βελτίωση της φυσικής τους κατάστασης. Παρόλο που η πρωτεΐνη είναι αναμφισβήτητα σημαντική, η υπερβολική έμφαση σε αυτήν και η αντίληψη ότι «όσο περισσότερη τόσο καλύτερα» δημιουργούν προκλήσεις, τόσο για την εκπαίδευση του κοινού γύρω από τη σωστή διατροφή όσο και για τη διάδοση αξιόπιστων, επιστημονικά τεκμηριωμένων πληροφοριών.

Πέρα από την επισιτιστική ανασφάλεια που ήδη επικρατεί σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού, άλλοι παράγοντες που τείνουν να πλήξουν τον κόσμο τα επόμενα χρόνια, όπως η κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή κρίση, η μείωση του εδάφους, της γονιμότητας και του διαθέσιμου πόσιμου νερού, η εμφάνιση επιβλαβών οργανισμών και ασθενειών των φυτών, η υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων σε καλλιέργειες, η αλόγιστη χρήση αντιβιοτικών σε κτηνοτροφικές μονάδες και η καταπόνηση των ζώων κατά την εντατικοποίηση της εκτροφής αυτών (A. van Huis, 2013; Tian et al., 2016) Επανεξετάζουν τα πλεονεκτήματα της κατανάλωσης βρώσιμων εντόμων βάσει των χαρακτηριστικών τους και των και των έμμεσων ιδιοτήτων που προσφέρει η εκτροφή τους.

Το 90% του ζωικού βασιλείου ανήκει στην οικογένεια των αρθροπόδων, σε αυτό ανήκουν και τα έντομα, περιλαμβάνονται από χιτινώδη εξωσκελετό ο οποίος τους παρέχει την κάλυψη ώστε να προστατευτούν από το περιβάλλον το οποίο διαβιούν. Το σώμα των ενήλικων εντόμων αποτελείται από 3 μέρη ή περιοχές ή τμήματα: την κεφαλή, το θώρακα και την κοιλιακή χώρα. Τα έντομα αποτελούν την πιο ποικιλόμορφη και πολυπληθέστερη σε αριθμό ειδών κλάση ζώων στον πλανήτη. Εκτιμάται ότι υπάρχουν πάνω από 1 εκ. διαφορετικά είδη εντόμων, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 70% όλων των ειδών παγκοσμίως (Τζανακάκης, 1995). Ζουν σε μεγάλους πληθυσμούς, αναπαράγονται γρήγορα, υφίστανται μεταμόρφωση για να προσαρμοστούν στις εποχιακές αλλαγές και δεν χρειάζονται γονική φροντίδα για να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν όπως τα θηλαστικά. Μπορούν να ζήσουν και να βρεθούν σε όλα τα είδη οικοτόπων, εκτός από τους ωκεανούς, όπου κυριαρχούν τα οστρακοειδή, μια άλλη ομάδα αρθρόποδων. Επιπλέον, μπορούν να τραφούν με σχεδόν οποιοδήποτε είδος φυτού ή ζώου και μπορούν να αποικίσουν νέες περιοχές

Επιπρόσθετα, τα έντομα ταξινομούνται ως ποικιλόθερμα ή εξώθερμα ή ψυχρόαιμα. Ποικιλόθερμο είναι ένα ζώο, του οποίου η θερμοκρασία του σώματος κυμαίνεται σημαντικά αντί να παραμένει σταθερή, αλλά ποικίλλει σημαντικά, καθώς επηρεάζεται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και γίνεται ίση με αυτήν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το έντομο να μην χρησιμοποιεί το μεταβολισμό του προκειμένου να ζεσταθεί ή να δροσιστεί, έχοντας μικρό ενεργειακό κόστος/μικρή συνολική ενεργειακή απαίτηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλό κόστος ενέργειας και χαμηλή συνολική ενεργειακή απαίτηση για το έντομο, καθώς δεν χρησιμοποιεί τον μεταβολισμό του για να ζεσταθεί ή να ψυχθεί. Έτσι, η διάκριση μεταξύ ποικιλόθερμων και ομοιόθερμων - θηλαστικών και πτηνών, των οποίων τα σώματα διατηρούν θερμική ομοιόσταση - έγκειται στο γεγονός ότι μια δεδομένη πηγή τροφής μπορεί να διατηρήσει μεγαλύτερο πληθυσμό ποικιλόθερμων από τα ομοιόθερμα. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα έντομα χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια και θρεπτικά συστατικά για τη συντήρηση, την πέψη και την αναπαραγωγή από άλλα ζώα εκτροφής. Για παράδειγμα, οι γρύλλοι χρειάζονται 12 φορές λιγότερη τροφή σε σχέση με τα βοοειδή, 4 φορές λιγότερη από

τα πρόβατα και τη μισή τροφή σε σχέση με τα κοτόπουλα και τους χοίρους, προκειμένου να παράξουν την ίδια ποσότητα πρωτεΐνης στο σώμα τους

Με βάση τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η εκτροφή εντόμων είναι πιο οικονομική και αποτελεσματική από την παραδοσιακή εκτροφή ζώων. Σύμφωνα με τον Gahukar, 2011, τα έντομα μπορούν να εκτρέφονται και να αναπαράγονται γρήγορα και εύκολα σε σύντομο χρονικό διάστημα και χώρο λόγω του μικρού τους μεγέθους και του σύντομου βιολογικού κύκλου. Δεν χρειάζονται πολλή ενέργεια, καύσιμα, ειδικές εγκαταστάσεις, φυτικά υλικά, σιτηρά, νερό ή άλλες ζωοτροφές. Στην πραγματικότητα, τα έντομα μετατρέπουν την τροφή σε βρώσιμη μυϊκή μάζα των ζώων πιο αποτελεσματικά από ό,τι άλλα ζώα. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζονται λιγότερες ζωοτροφές για την παραγωγή ενός κιλού βρώσιμου σωματικού βάρους εντόμων από ό,τι χρειάζεται για την κτηνοτροφία, η οποία περιλαμβάνει την εκτροφή βοοειδών, πουλερικών, χοίρων και άλλων ζώων. Συνεπώς, η μαζική εντομοκαλλιέργεια, σε σύγκριση με τη συμβατική κτηνοτροφία και την εντατικοποίησή της, έχει θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς παράγονται λιγότεροι ρύποι και υπολείμματα. Υπό αυτή την έννοια, συμβάλλει στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και θεωρείται φιλική προς το περιβάλλον.

Τα έντομα παράγουν, ανά κιλό κρέατος, πολύ μικρότερες ποσότητες αερίων που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (greenhouse gases, GHG, όπως μεθανίου και οξειδίου του αζώτου), σε σχέση με τη συμβατική κτηνοτροφία (A. van Huis, 2013). Αναλυτικότερα, το 14,5% των εκπομπών GHG στην ατμόσφαιρα οφείλεται στην κτηνοτροφική αλυσίδα, ιδίως βοοειδών και χοίρων, η οποία απελευθερώνει 7,1 γιγατόνους CO₂-eq κάθε χρόνο (Carolyn Orio, 2016) Αντίθετα, σύμφωνα με τον Gahukar (2011), οι προνύμφες του *Tenebrio molitor* παράγουν έως και 100 φορές λιγότερα GHG σε σύγκριση με μόλις έναν χοίρο. Επιπρόσθετα, η εκπομπή αμμωνίας, η οποία προκαλεί τον ευτροφισμό του νερού στο έδαφος, φαίνεται επίσης να είναι σημαντικά χαμηλότερη κατά την εκτροφή εντόμων. Πιο συγκεκριμένα, ένας χοίρος παράγει 8-12 φορές περισσότερη αμμωνία σε σύγκριση με τους γρύλους, καθώς και 50 φορές περισσότερη αμμωνία σε σχέση με τις ακρίδες. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι έντομα, όπως η *Musca domestica* Linnaeus, η *Hermetica illucens* Linnaeus και το *Tenebrio molitor* Linnaeus παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανακύκλωση οργανικών προϊόντων σε λιπάσματα και προϊόντα υψηλής ποιότητας. Ως εκ τούτου, τα έντομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποτελεσματικοί βιο-μετασχηματιστές/βιο-αποικοδομητές για τη μετατροπή άφθονων οργανικών αποβλήτων χαμηλού κόστους σε ζωική βιομάζα πλούσια σε πρωτεΐνες και κατάλληλη για χρήση σε ζωοτροφές (Kelemu et al., 2015; van Huis, 2016).

Η αυξανόμενη ζήτηση και οι κλιμακούμενες τιμές των ιχθυαλεύρων, σε συνδυασμό με τη μειούμενη διαθεσιμότητά τους, θέτουν μια σημαντική πρόκληση που απαιτεί βιώσιμες λύσεις στην υδατοκαλλιέργεια. Αυτή η κατάσταση έχει οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών και βιώσιμων πηγών πρωτεΐνης, με τα έντομα να αναδεικνύονται ως μια πολλά υποσχόμενη επιλογή. Τα εντομάλευρα μπορούν να χρησιμεύσουν ως βιώσιμο υποκατάστατο των ιχθυαλεύρων στην παραγωγή ιχθυοτροφών, καθώς και των σογιάλευρων στις ζωοτροφές. Αυτό όχι μόνο καλύπτει τις διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών και των ζώων, αλλά προσφέρει επίσης μια οικονομικά αποδοτική και χρονικά αποδοτική λύση. Ενσωματώνοντας τα

εντομάλευρα, η υδατοκαλλιέργεια μπορεί να ενισχύσει τη βιωσιμότητά της, αντιμετωπίζοντας παράλληλα τις αυξανόμενες πιέσεις για βελτιστοποίηση της παραγωγής

Τέλος, πολλά εδώδιμα είδη εντόμων μπορούν να αποτελέσουν τόσο καλή διατροφική πηγή, όσο και καλή προστασία έναντι άλλων εντόμων, που συνήθως προσβάλλουν καλλιέργειες, αποτρέποντας έτσι τη χρήση χημικών και φυτοφαρμάκων (Caparros Megido et al., 2013).

1.3. Ζυμαρικά

1.3.1. Ιστορία ζυμαρικών

Σε παγκόσμιο επίπεδο και σε βάθος χρόνων συναντάμε την λέξη ζυμαρικά να έρχεται σε απόλυτη ταύτιση με τη Ιταλία, παρόλα αυτά πολλαπλές είναι οι ενδειξεις ότι οι κινεζοί καταναλώναν ζυμαρικά ήδη από το 5000π.Χ. Ταυτόχρονα, ορισμένη μερίδα επιστημονών αναφέρει ότι τα ζυμαρικά χρονολογούνται ακόμα πιο πίσω στους αρχαίους ετρουσκικούς πολιτισμούς. Η πρώτη φορά που γίνεται λόγος για ζυμαρικά σε γραπτό κείμενο ήταν το 1279, όταν κάποιος τα άφησε στη διαθήκη του, αναφέροντας ένα «καλαθάκι γεμάτο μακαρόνια». Πολλά χρόνια αργότερα, στα τέλη του 18ου αιώνα, τα μακαρόνια είχαν γίνει μόδα στο Παρίσι, και λέγεται πως ο Τόμας Τζέφερσον τα έφερε στην Αμερική. Μάλιστα, είχε φτιάξει και σχέδια για μια μηχανή που θα τα έφτιαχνε, και αργότερα αγόρασε και μια έτοιμη. Γύρω στο 1800, στην Ιταλία εμφανίστηκαν για πρώτη φορά μηχανές για την παραγωγή ζυμαρικών, και το πρώτο εργοστάσιο ζυμαρικών στις ΗΠΑ άνοιξε στο Μπρούκλιν το 1848 από έναν Γάλλο που λεγόταν Αντουάν Ζερέγκα. Όσο για τα μακαρόνια με κόκκινη σάλτσα, χρειάστηκε να περάσουν σχεδόν δύο αιώνες από τότε που ο εξερευνητής Κορτέζ έφερε τις ντομάτες στην Ευρώπη, για να καθιερωθεί ο γνωστός σε όλους μας συνδυασμός των σπαγγέτι με σάλτσα ντομάτας.

1.3.2. Πως φτιάχνονται τα ζυμαρικά

Αρχικά, αλέθονται διάφορα είδη δημητριακών και σιτηρών, τα οποία στη συνέχεια ανακατεύονται με νερό πριν μαγειρευτούν. Στις μέρες μας, η βασική πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται παγκοσμίως είναι το σκληρό σιτάρι (*Triticum turgidum* L.), το οποίο καλλιεργείται ειδικά για την παρασκευή ζυμαρικών. Αν το συγκρίνουμε με το κοινό σιτάρι (*Triticum aestivum* L.), που χρησιμοποιείται για ψωμί ή για ασιατικά noodles, το σκληρό είναι πιο ανθεκτικό και όταν αλεστεί, δίνει σιμιγδάλι, δηλαδή ένα χρυσοκίτρινο και χοντρό αλεύρι. Το γνωστό μας κους κους στην ουσία είναι σιμιγδάλι που έχει βραστεί με νερό. Η σφιχτή του δομή, που προκύπτει από την υψηλή περιεκτικότητα του σκληρού σιταριού σε πρωτεΐνες, βοηθά στο να έχουν τα ζυμαρικά τη σωστή γεύση, υφή και να κρατάνε καλά στο μαγείρεμα.

Η καλή ποιότητα ζυμαρικών ξεκινά από την άλεση σκληρού σιταριού υψηλής ποιότητας. Πριν την άλεση, οι κόκκοι καθαρίζονται από κάθε ξένη ύλη που μπορεί να προέρχεται από το χωράφι και στη συνέχεια βουρτσίζονται ώστε να καθαριστεί το εξωτερικό στρώμα του πίτουρου. Όταν το σιτάρι φτάνει στον μύλο, οι κυλινδρόμυλοι αφαιρούν το πίτουρο και το φύτρο, ενώ το ενδοσπέρμιο (το εσωτερικό του κόκκου) σπάει σε χοντρά κομμάτια. Έπειτα, με κοσκίνισμα, ξεχωρίζονται τα κομμάτια του ενδοσπερμίου από το πίτουρο και αλέθονται για να παραχθεί σιμιγδάλι με σωστό μέγεθος και ποιότητα. Το σιμιγδάλι στη συνέχεια ανακατεύεται με νερό και σχηματίζει μια ζύμη, η οποία ζυμώνεται για να αποκτήσει την κατάλληλη υφή. Το σιμιγδάλι που προέρχεται από σκληρό σιτάρι με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είναι προτιμότερο, γιατί δίνει πιο ομοιόμορφο μέγεθος σωματιδίων και λιγότερα αμυλούχα κομμάτια, με αποτέλεσμα να ενυδατώνεται πιο ομοιόμορφα. Η ζύμη περνάει από ειδικές μηχανές – τις λεγόμενες «πλαστικοποιητές» – για να πάρει επίπεδα σχήματα, όπως λαζάνια ή ταλιατέλες, ή από διάφορα καλούπια ώστε να αποκτήσει το τελικό της σχήμα. Τα κοντά ζυμαρικά χρησιμοποιούν στρογγυλά καλούπια, ενώ τα μακριά ορθογώνια. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί ένα προστατευτικό στρώμα πρωτεΐνης γύρω από το άμυλο, το οποίο χαρίζει στα ζυμαρικά την ελαστικότητα και τη σφιχτή δομή που τα χαρακτηρίζει.

Αφού πάρουν το σχήμα τους, τα ζυμαρικά μπαίνουν σε στεγνωτήρια που φυσάνε ζεστό αέρα για πολλές ώρες. Αυτό γίνεται ώστε να μη δημιουργηθούν σβόλοι και να σταθεροποιηθεί ακόμα περισσότερο το προστατευτικό στρώμα πρωτεΐνης. Η ξήρανση είναι το πιο κρίσιμο στάδιο στην παραγωγή, γιατί εξασφαλίζει ότι τα ζυμαρικά θα είναι ανθεκτικά και θα διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα κοντά ζυμαρικά στεγνώνουν σταδιακά καθώς κινούνται σε ιμάντες, ενώ τα μακριά χρειάζονται περισσότερο χρόνο λόγω του μεγέθους τους. Αυτά συνήθως κρεμιούνται σε ξύλα και κόβονται στο κατάλληλο μήκος στο τέλος της διαδικασίας. Αν η ξήρανση δεν γίνει σωστά, υπάρχει κίνδυνος να σπάσουν. Τα ζυμαρικά περνούν από ειδικές ζώνες ξήρανσης, με ακριβή ρύθμιση θερμοκρασίας και υγρασίας, μέχρι η περιεκτικότητά τους σε νερό να πέσει περίπου στο 12%. Ο χρόνος ξήρανσης εξαρτάται από το είδος και μπορεί να διαρκέσει από 4 έως 48 ώρες. Αφού στεγνώσουν, τα ζυμαρικά προχωρούν σε μηχανές που τα ζυγίζουν και τα συσκευάζουν σε κουτιά ή σακούλες. Υπάρχουν πάνω από 600 διαφορετικά σχήματα ζυμαρικών σε όλο τον κόσμο, όμως στις ΗΠΑ, τα πιο διαδεδομένα είναι τα спаγγέτι, τα λεπτά спаγγέτι, οι αγκώνες (elbow), τα rotelle, οι πέννες και τα λαζάνια. Τα αποξηραμένα ζυμαρικά μπορούν να διατηρηθούν από 1 έως 3 χρόνια, αρκεί να φυλάσσονται σε καλά κλεισμένα δοχεία. Σε ορισμένα είδη ζυμαρικών, όπως τα λαζάνια, τα αυγομακαρόνια ή τα ζυμαρικά με λαχανικά, προστίθενται επιπλέον υλικά. Για παράδειγμα, τα αυγομακαρόνια σύμφωνα με τις ομοσπονδιακές οδηγίες πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον 5,5% αυγά. Μπορεί επίσης να προστεθούν ντομάτες ή σπανάκι. Υπάρχουν κι άλλοι τύποι που παρασκευάζονται από διαφορετικές πρώτες ύλες, όπως ρύζι, καλαμπόκι, κριθάρι, φασόλια ή άλλα όσπρια. Κάποιες χώρες, όπως η Ιταλία, η Γαλλία και η Ελλάδα, έχουν θεσπίσει νόμους που υποχρεώνουν την παραγωγή αποξηραμένων ζυμαρικών να γίνεται μόνο από σκληρό σιτάρι. Αν χρησιμοποιηθεί άλλο δημητριακό που δεν προβλέπεται,

θεωρείται παραπλάνηση. Αντίθετα, σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Αυστραλία και η Ισπανία, ενώ συνήθως χρησιμοποιείται σιμιγδάλι από σκληρό σιτάρι, δεν υπάρχει υποχρέωση από το νόμο και κυκλοφορούν διάφοροι άλλοι τύποι ζυμαρικών στην αγορά.

Μια πιο πρόσφατη εναλλακτική στα παραδοσιακά ζυμαρικά είναι τα προμαγειρεμένα ζυμαρικά που πωλούνται σε σακουλάκι. Αυτά είναι ήδη μαγειρεμένα και μπορούν να ζεσταθούν στο φούρνο μικροκυμάτων, έτοιμα για να φαγωθούν μέσα σε μόλις 60 δευτερόλεπτα. Για την παραγωγή τους χρειάζεται λιγότερο νερό και, επειδή χρειάζονται πολύ λιγότερο χρόνο προετοιμασίας σε σχέση με τα κλασικά ζυμαρικά, καταναλώνεται και λιγότερη ενέργεια. Ένα παράδειγμα είναι τα Barilla Ready-Pasta, τα οποία χρησιμοποιούν 78% λιγότερη ενέργεια και 45% λιγότερο νερό από το μαγείρεμα των παραδοσιακών ζυμαρικών. Όπως και τα απλά ξηρά ζυμαρικά, δεν περιέχουν καθόλου συντηρητικά. Από διατροφικής άποψης, τα προμαγειρεμένα ζυμαρικά έχουν σχεδόν τις ίδιες θερμίδες ανά μερίδα με τα παραδοσιακά και προσφέρουν ίδια ποσότητα πρωτεΐνης, υδατανθράκων και φυτικών ινών. Επιπλέον, ούτε τα μεν ούτε τα δε περιέχουν κορεσμένα ή trans λιπαρά, ούτε και χοληστερόλη. Παρ' όλα αυτά, τα προμαγειρεμένα ζυμαρικά περιέχουν λίγο λάδι και αλάτι, σε ποσότητα παρόμοια με αυτή που προσθέτουν οι περισσότεροι όταν φτιάχνουν ζυμαρικά στο σπίτι. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουν ελαφρώς περισσότερα λιπαρά (γύρω στα 2 γραμμάρια ανά μερίδα για τον προμαγειρεμένο αγκώνα, σε σχέση με 1 γραμμάριο για τον κανονικό) και παραπάνω νάτριο (περίπου 200 mg για τον προμαγειρεμένο αγκώνα έναντι 0 mg στον κλασικό).

1.3.3. Διατροφική αξία ζυμαρικών

Τα περισσότερα αποξηραμένα ζυμαρικά που κυκλοφορούν στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι εμπλουτισμένα με θρεπτικά συστατικά, όπως ο σίδηρος, η ριβοφλαβίνη, η θειαμίνη και το φολικό οξύ. Μια μερίδα 2 ουγγιών ζυμαρικών από σιμιγδάλι (δηλαδή περίπου 1 φλιτζάνι μαγειρεμένων ζυμαρικών) δίνει πάνω από το 25% της ημερήσιας συνιστώμενης ποσότητας φολικού οξέος (100 μg), που είναι σημαντική βιταμίνη του συμπλέγματος Β. Επίσης, αποτελεί καλή πηγή σιδήρου, προσφέροντας περίπου το 10% της ημερήσιας ανάγκης. Τα ζυμαρικά από τη φύση τους έχουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο και δεν περιέχουν καθόλου χοληστερόλη. Αν επιλέξουμε ζυμαρικά ολικής αλέσεως, αυτά μπορούν να καλύψουν μέχρι και το 25% των φυτικών ινών που χρειαζόμαστε καθημερινά σε μια μερίδα 2 ουγγιών (δηλαδή περίπου 50 γραμμάρια ξηρού προϊόντος). Επιπλέον, περιέχουν ολιγοσακχαρίτες, φαινολικές ενώσεις, λιγνάνες και φυτικό οξύ. Ωστόσο, δεν είναι εμπλουτισμένα με φολικό οξύ. Υπάρχουν επίσης ζυμαρικά που φτιάχνονται με πολτοποιημένα λαχανικά όπως σπανάκι, καρότα, φακές ή κολοκυθάκια και αυτά μπορούν να μας δώσουν μέχρι και μισή μερίδα λαχανικών ανά μερίδα.

«Τα ζυμαρικά ολικής αλέσεως μπορούν να παρέχουν έως και 25% της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης φυτικών ινών σε κάθε μερίδα 50 γραμμαρίων ξηρής τροφής.» Τα ζυμαρικά μπορούν να καταναλωθούν και μόνα τους, αλλά στη μεσογειακή

διατροφή, που εφαρμόζεται ευρέως σε περιοχές όπως η Ιταλία, σερβίρονται συνήθως με σάλτσα ντομάτας, μυρωδικά, ελαιόλαδο, λαχανικά, όσπρια ή άπαχα κρέατα. Αυτός είναι ένας πολύ καλός τρόπος για να προσθέσουμε πιο θρεπτικά τρόφιμα στη διατροφή μας και να έχουμε ένα πλήρες και υγιεινό γεύμα.

Επειδή τα ζυμαρικά από σιμιγδάλι περιέχουν γλουτένη, δεν είναι κατάλληλα για άτομα που έχουν κοιλιοκάκη ή δυσανεξία στη γλουτένη. Παρόλο που τα ζυμαρικά χωρίς γλουτένη δεν έχουν μελετηθεί τόσο όσο τα κλασικά, υπάρχουν πολλές επιλογές στην αγορά. Αυτά φτιάχνονται με υλικά όπως καλαμπόκι, ρύζι, σόγια, κινόα, κεχρί, φακές ή αμάραντο, και είναι κατάλληλα για όσους πρέπει να αποφεύγουν τη γλουτένη.

1.3.4. Βιωσιμότητα

Τα ζυμαρικά είναι ένα απλό φυτικό προϊόν που έχει μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Το αποτύπωμα άνθρακα που αφήνει είναι πολύ χαμηλότερο σε σύγκριση με αυτό του βοδινού κρέατος, του τυριού, των ψαριών, του χοιρινού, των αυγών και των πουλερικών. Σύμφωνα με μελέτες που εξέτασαν ολόκληρο τον κύκλο ζωής των ζυμαρικών —από την παραγωγή ως και τη λιανική πώληση— η μεγαλύτερη επιβάρυνση στο περιβάλλον προκύπτει κατά το στάδιο της καλλιέργειας του σιταριού. Σε αυτό το στάδιο αντιστοιχεί περίπου το 80% του συνολικού οικολογικού αποτυπώματος, το 60% του αποτυπώματος άνθρακα και σχεδόν όλο το υδατικό αποτύπωμα.

Το 2010 ξεκίνησε ένα πρόγραμμα που είχε σκοπό να βελτιώσει τη βιωσιμότητα της καλλιέργειας του σκληρού σιταριού. Η Ιταλία ήταν το πρώτο μέρος που μελετήθηκε, καθώς είναι η βασική χώρα από την οποία η εταιρεία Barilla —ο μεγαλύτερος παραγωγός ζυμαρικών παγκοσμίως— προμηθεύεται το 70% του σκληρού σιταριού που χρειάζεται. Μέσα από μελέτες που κάλυψαν το σύνολο της διαδικασίας, από το χωράφι μέχρι το ράφι, επιβεβαιώθηκε ότι το πιο επιβαρυντικό στάδιο για το περιβάλλον είναι η ίδια η καλλιέργεια. Στο πλαίσιο του προγράμματος, εφαρμόστηκαν εναλλακτικές καλλιεργητικές πρακτικές και προωθήθηκε η αμειψισπορά, δηλαδή η εναλλαγή διαφορετικών καλλιεργειών με το σκληρό σιτάρι να είναι μόνο μία από αυτές. Δοκιμάστηκαν επίσης η πολυκαλλιέργεια και η ενδοκαλλιέργεια, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας τόσο στις συμβατικές όσο και στις βιολογικές γεωργικές μεθόδους. Για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά πιστοποιημένοι σπόροι υψηλής ποιότητας, και η προσπάθεια επικεντρώθηκε όχι μόνο σε μεμονωμένα χωράφια αλλά σε ολόκληρα αγροκτήματα. Το πρόγραμμα έδειξε ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και το κόστος παραγωγής μπορούν να μειωθούν μέχρι και 30%, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες κάθε χρονιάς. Επίσης, οι αποδόσεις των καλλιεργειών αυξήθηκαν έως και 20% σε ορισμένες περιπτώσεις, με αποτέλεσμα καλύτερα κέρδη για τους αγρότες. Από το 2012 και μετά, το συγκεκριμένο σύστημα έχει καταφέρει να περιορίσει τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, να ενισχύσει την αποδοτικότητα και να κάνει τη γεωργία πιο ανθεκτική σε μελλοντικές προκλήσεις.

Τα ζυμαρικά που φτιάχνονται από σιμιγδάλι αποτελούν βασικό στοιχείο σε πολλά παραδοσιακά και υγιεινά διατροφικά πρότυπα παγκοσμίως. Ένα από τα πιο γνωστά είναι η μεσογειακή διατροφή, η οποία έχει συνδεθεί με χαμηλότερα ποσοστά θνησιμότητας, λιγότερες καρδιαγγειακές παθήσεις, μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης μεταβολικού συνδρόμου και κάποιων μορφών καρκίνου. Επίσης, φαίνεται να σχετίζεται με καλύτερους δείκτες υγείας καθώς οι άνθρωποι γερνούν. Η μεσογειακή διατροφή προέρχεται από τις χώρες γύρω από τη Μεσόγειο Θάλασσα – μια περιοχή με μακρά ιστορία, που πολλοί ιστορικοί αποκαλούν «λίκνο του πολιτισμού». Αυτή η διατροφή δεν είναι συγκεκριμένο πλάνο ή δίαιτα, αλλά ένα σύνολο συνηθειών που ακολουθούνταν παραδοσιακά από τους ανθρώπους της περιοχής. Η ιδέα ότι η μεσογειακή διατροφή —η οποία συνήθως περιλαμβάνει και ζυμαρικά— μπορεί να μειώνει τον κίνδυνο καρδιοπαθειών εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1950, και από τότε πολλές μελέτες στηρίζουν αυτή τη θεωρία. Πρόσφατες έρευνες, όπως η Μελέτη για την Υγεία των Ιταλών Νοσηλευτών και η μελέτη MOLI-sani, έδειξαν ότι όσοι κατανάλωναν περισσότερα ζυμαρικά σιμιγδαλιού ακολουθούσαν γενικά πιο πιστά τη μεσογειακή διατροφή.

Αν και τα ζυμαρικά είναι βασικό μέρος της μεσογειακής διατροφής, ο τρόπος που τα ετοιμάζουν και τα συνδυάζουν με άλλα τρόφιμα διαφέρει από τόπο σε τόπο, ακόμα και μέσα στην Ιταλία. Εκεί, τα ζυμαρικά από σιμιγδάλι αποτελούν τη βάση της παραδοσιακής κουζίνας. Τα ζυμαρικά ολικής αλέσεως που έχουν υποστεί επεξεργασία είναι μια πιο πρόσφατη προσθήκη στη διατροφή. Παρόλο που έχουν περισσότερες φυτικές ίνες και είναι ευεργετικά για την υγεία, δεν υπήρχαν στο παραδοσιακό μοντέλο της μεσογειακής διατροφής.

1.4. Ιστορική αναδρομή της εντομοφαγίας

Η εντομοφαγία, ορίζεται ως η συνήθεια της κατανάλωσης εντόμων, κυρίως από τον άνθρωπο και προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις έντομον (έντομο) και φάγειν (το να τρώς).

Στα προϊστορικά χρόνια εντοπίζεται η αρχή της κατανάλωσης εντόμων. Προτού οι προϊστορικοί άνθρωποι κατασκευάσουν εργαλεία για κυνήγι ή καλλιέργεια, τα έντομα είχαν πρωταρχικό ρόλο στην καθημερινή διατροφή τους. Κάτι τέτοιο φανερώνεται και από τις πρώτες καταγεγραμμένες ενδείξεις που εμφανίζονται σε τοιχογραφίες σπηλαίων, υπονοώντας πως τα έντομα κατείχαν ανεκτίμητη και ευεργετική πηγή τροφής. Το γεγονός αυτό πιθανό να οφειλόταν τόσο στην αφθονία τους όσο και στην ευκολία συλλογής τους από το έδαφος. Καθώς οι άνθρωποι διέρχονται από την πρωτόγονη εποχή της συγκομιδής και του κυνηγιού, στη γεωργία και αργότερα στην αστικοποίηση και την ανάπτυξη σύνθετων κοινωνιών, εντοπίζεται μεγάλη διαφοροποίηση στις διατροφικές τους συνήθειες και. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν γραπτά ευρήματα που αποδεικνύουν ότι η κατανάλωση εντόμων συνεχίζει να αποτελεί μέρος των διατροφικών συνηθειών, ακόμα και σε ανεπτυγμένους πολιτισμούς, όπως ο αρχαίος ελληνικός. Συγκεκριμένα, ο Αριστοτέλης στο έργο του "Περί ζώων ιστορίας", αναφέρει τα τζίτζικια ως εκλεκτό έδεσμα. Η κατανάλωση των εντόμων συνεχίστηκε και κατά την ανάπτυξη του ρωμαϊκού πολιτισμού, όπου τα έντομα αν και δεν

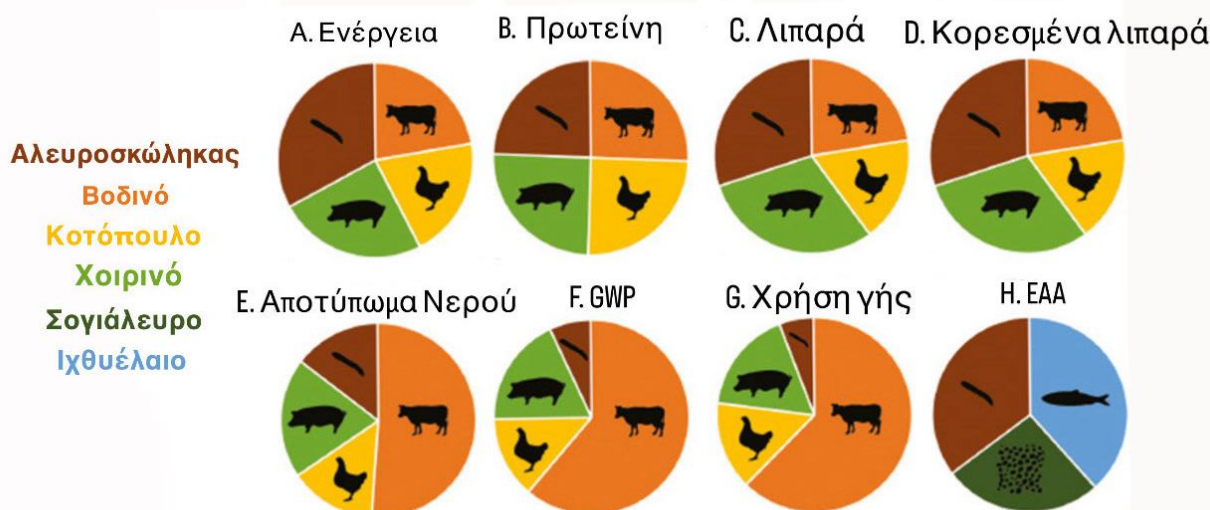
αποτελούσαν βασικό μέρος της διατροφής, θεωρούνταν πολυτελές έδεσμα σε συμπόσια και άλλες ειδικές περιστάσεις. Μετέπειτα από την πτώση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορία υπάρχουν ιστορικά στοιχεία που συνδέονται με την εντομοφαγία, η οποία συσχετίζεται με θρησκείες, όπως ο Χριστιανισμός, ο Ιουδαϊσμός και το Ισλάμ. Κατά τον Μεσαίωνα, η κατανάλωση εντόμων αρχίζει βαθμιαία να χάνεται από την Ευρώπη λόγω άνθισης της αγροτικής οικονομίας, σε αντίθεση με τους λαούς της Ασίας, της Αφρικής και τους ιθαγενείς πληθυσμούς της Αμερικής, όπου η συγκεκριμένη συνήθεια εξακολούθησε σε μεγάλο βαθμό. Κάτι τέτοιο ήταν αποτέλεσμα στο γεγονός ότι οι λαοί αυτοί είχαν εντάξει στην διατροφή τους τα έντομα κυρίως για τα ιατρικά οφέλη τους. Με το πέρασμα των χρόνων, παρατηρήθηκε ότι το διατροφικό μοντέλο του Δυτικού κόσμου έπαψε να υποστηρίζει την εντομοφαγία, σε αντίθεση με τους Ασιατικούς λαούς όπου αποτελούσε αναπόσπαστο πολιτιστικό και διατροφικό κομμάτι. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια, η εντομοφαγία αρχίζει να παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον τόσο στις αναπτυσσόμενες όσο και στις ανεπτυγμένες χώρες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα συστήματα τροφίμων σε όλο τον κόσμο υφίστανται ολοένα και μεγαλύτερη πίεση. Στη σύγχρονη εποχή η εντομοφαγία παρουσιάζεται σε 113 χώρες παγκοσμίως και έχουν καταγραφεί περισσότερα από 2.000 είδη βρώσιμων εντόμων

Φθάνοντας στο σήμερα, εκτιμάται πως τουλάχιστον 2 δισ. άνθρωποι σε όλον τον κόσμο συνεχίζουν να καταναλώνουν έντομα τακτικά και περίπου 2.000 είδη εντόμων θεωρούνται εδώδιμα, μεταξύ των οποίων σκαθάρια, σκουλήκια, μέλισσες, μυρμήγκια, γρύλοι κ.ά. Τα εδώδιμα έντομα καταναλώνονται από 3.071 διαφορετικές εθνικότητες σε 130 χώρες στην Ασία, την Αφρική, τη Λατινική Αμερική και τους ιθαγενείς πληθυσμούς της Αυστραλίας, όπου αποτελούν μέρος της παράδοσης και μία σημαντική πηγή τροφίμου για την κάλυψη των αναγκών σε ζωική κυρίως πρωτεΐνη.(Caparros Megido et al., 2016; van Broekhoven, 2015; van Huis, 2016)

1.4. Διατροφικά οφέλη βρώσιμων εντόμων

Ο αλευροσκώληκας (*Tenebrio molitor*) περιέχει σημαντικά θρεπτικά συστατικά και σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) και τον FAO μπορεί να χαρακτηριστεί ως «πηγή» ή «πλούσια σε» θρεπτικά συστατικά. Σε ξηρή βάση έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (περίπου 50–60 g/100 g) και λίπος (25–35 g/100 g), ενώ περιέχουν επίσης μέταλλα όπως ασβέστιο, ψευδάργυρο και μαγνήσιο. Αποτελούν ακόμη πηγή βιταμινών του συμπλέγματος B (B2, B6, B12, φολικό οξύ, νιασίνη, χολίνη).

Όταν συγκρίνονται με το παραδοσιακό κρέας, όπως το μοσχάρι και το κοτόπουλο, τα σκουλήκια εμφανίζουν υψηλότερη διατροφική αξία χωρίς να υστερούν σε ισορροπία θρεπτικών συστατικών. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι καλύπτουν όλες τις ανάγκες του οργανισμού σε απαραίτητα αμινοξέα.



Εικόνα 1 Συγκριτική αξιολόγηση της διατροφικής αξίας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ αλευροσκώληκα, βοδινού, κοτόπουλου, χοιρινού, σογιάλευρου και ιχθυελαίου

Διατροφική αξία και βιωσιμότητα του αλευροσκώληκα και των συμβατικών τροφών / ζωοτροφών.

(A–D) Η διατροφική αξία μερίδας 100 γραμμαρίων βρώσιμου μέρους αλευροσκώληκα σε σύγκριση με διάφορα κρέατα από εκτρεφόμενα ζώα.

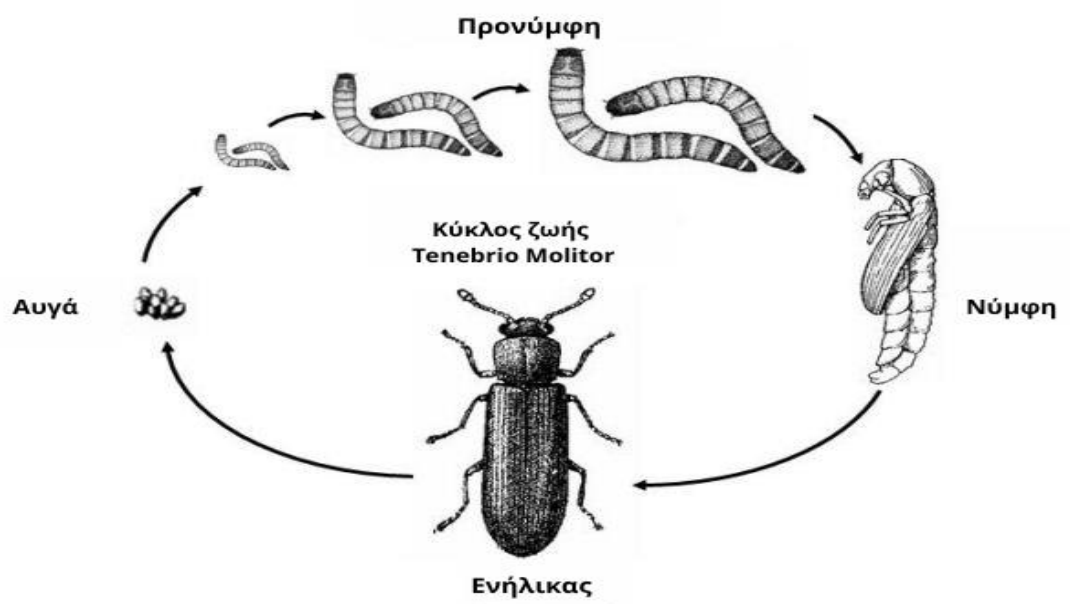
(E–G) Η συγκριτική επίδραση αλευροσκώληκα και των ζώων εκτροφής στο περιβάλλον, η οποία παρουσιάζεται ως αποτύπωμα νερού ανά βρώσιμο τόνο, δυνητικό φαινόμενο του θερμοκηπίου (GWP) για κάθε 1 κιλό βρώσιμης μερίδας και χρήση γης για κάθε 1 κιλό βρώσιμης μερίδας.

(Η) Σύγκριση των απαραίτητων αμινοξέων (Essential Amino Acids – EAA) μεταξύ αλευροσκώληκα και κλασικών ζωοτροφών, όπως το γεύμα σόγιας και το ιχθυάλευρο.

1.5. Κίτρινος αλευροσκώληκας *Tenebrio molitor*

1.5.1. Ο βιολογικός κύκλος

Ο κύκλος ζωής του *Tenebrio molitor* περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: αυγό, προνύμφες, νύμφες και ενήλικα (Syahrulawal et al., 2023). Τα αυγά του *T. molitor* εκκολάπτονται σε 3-9 ημέρες μετά την εναπόθεση, ενώ το στάδιο της προνύμφης είναι το μεγαλύτερο και μπορεί να διαρκέσει από 57 ημέρες (υπό ελεγχόμενες συνθήκες) έως και 2 χρόνια όταν τα άτομα εκτίθενται σε χαμηλές θερμοκρασίες ((Muñoz-Seijas et al., 2024; Gkinali et al., 2022; Hong et al., 2020). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι προνύμφες μπορεί να περάσουν από 9 έως 23 στάδια ανάπτυξης (Ribeiro et al., 2018). Στη συνέχεια, οι προνύμφες εισέρχονται στη φάση της νύμφης, η οποία είναι η συντομότερη από όλα τα στάδια ανάπτυξης, η οποία διαρκεί από 5 έως 48 ημέρες ανάλογα με τη θερμοκρασία (Gkinali et al., 2022). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι οργανισμοί δεν τρώνε και σταδιακά αναπτύσσουν έναν άκαμπτο εξωσκελετό. Στη συνέχεια, εμφανίζονται οι ενήλικοι οργανισμοί και αυτό το στάδιο μπορεί να διαρκέσει από 2 έως 3 μήνες (Hong et al., 2020). Διαφορετικοί παράγοντες επηρεάζουν τη μετάβαση μεταξύ κάθε σταδίου ανάπτυξης του *T. molitor*, όπως η θερμοκρασία, ο τύπος διατροφής, η υγρασία, η φωτοπερίοδος, το οξυγόνο και η πυκνότητα του πληθυσμού (Ribeiro et al., 2018).



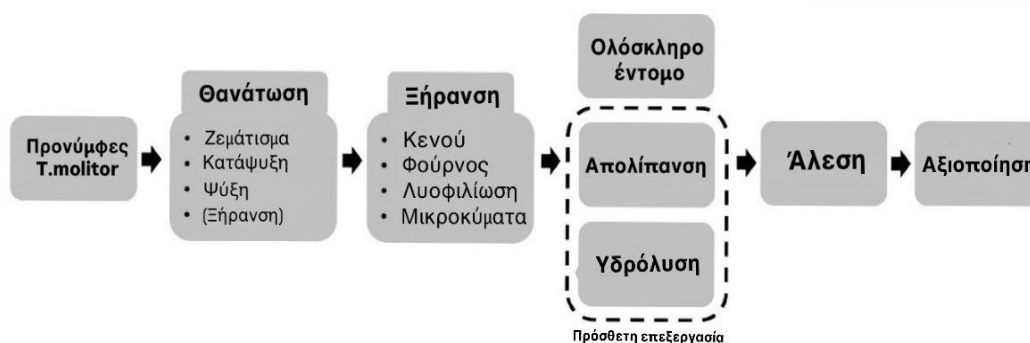
Εικόνα 2 Ο βιολογικός κύκλος του *Tenebrio molitor*

1.5.2. Συνθήκες ανάπτυξης

Παρόλο που ολόκληρος ο κύκλος ζωής του αλεύρου σκόληκα διαδραματίζεται στο ίδιο οικοσύστημα υπάρχουν περιβαλλοντικές παράγοντες που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξής του. Μέσα σε αυτούς τους περιβαλλοντικούς παράγοντες ανήκει η θερμοκρασία η φωτοπερίοδος, τα ποσοστά σχετική υγρασία, η διαθεσιμότητα τροφής στο έδαφος αλλά και η πυκνότητα του πληθυσμού. Αρχικά, Υπάρχει συγκεκριμένη θερμοκρασία η οποία ευνοεί την εκτροφή του είδους και αυτή κυμαίνεται μεταξύ 25-30°C, σε αυτή τη θερμοκρασία συναντώνται οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης των εντόμων. Ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του *T. Molitor* είναι το γεγονός ότι έχει την δυνατότητα ανάπτυξης και σε θερμοκρασίες μικρότερες των 20 βαθμών κελσίου, tg με ελάχιστη θερμοκρασία επιβίωσης τους 10°C. Σε εκείνες τις θερμοκρασίες όπως είναι λογικό παρατηρείται και μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των εντόμων. Ενώ οι μέγιστες θερμοκρασίες επιβίωσης και ανάπτυξης του εντόμου θεωρούνται οι 40°C. Όταν ξεπεραστεί η θερμοκρασία αυτή επέρχεται επικείμενος θάνατος. Επειτά, όσον αφορά το ποσοστό σχετικής υγρασίας, για την επιβίωση αλλά και την ανάπτυξη του *T. Molitor* έχει βρεθεί ότι η βέλτιστη τιμή κυμαίνεται ανάμεσα στο 60 με 75%. Παρομοίως και με τη θερμοκρασία ανάλογη είναι η αλλαγή στον ρυθμό ανάπτυξης του εντόμου σε οποιαδήποτε μεταβολή του παράγοντα που το επηρεάζει. Στην περίπτωση μας με σχετική υγρασία μικρότερη του 60% και συγκεκριμένα έως 13% το έντομο ναι μεν μπορεί να επιβιώσει αλλά συναντώνται πολλά μειονεκτήματα. Αρχικά θα μειωθεί σε μεγάλο βαθμό ο ρυθμός ανάπτυξής του όπως επίσης μειώνεται και η ικανότητα μετατροπής της τροφής σε μυική μάζα και το σημαντικότερο αυξάνεται ο κίνδυνος εμφανίσεις κανιβαλισμού μεταξύ του είδους. Σε σχετική υγρασία άνω των 75% το έντομο βρίσκεται σε πολύ ευνοϊκές συνθήκες επιβίωσης αλλά και ανάπτυξης ωστόσο υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες ανάπτυξης μυκήτων στο υπόστρωμα το οποίο επιβιώνει με κίνδυνο να προσβληθεί και το ίδιο με αυτόν. Άλλη μία περιβαλλοντική παράμετρος που επηρεάζει τη σωστή ανάπτυξη του *T. molitor* είναι η φωτοπερίοδος που επικρατεί. Το συγκεκριμένο έντομο χαρακτηρίζεται ως «μη φωτοτροπικό», με τα ενήλικα άτομα και τις προνύμφες να κρύβονται στο εσωτερικό του υποστρώματος, όπου εκτρέφονται, και να εμφανίζονται στη επιφάνεια υπό σκοτάδι. Εξίσου σημαντική είναι και η παρουσία οξυγόνου. Πιο συγκεκριμένα, η μικρή συγκέντρωση οξυγόνου προκαλεί θνησιμότητα, με αποτέλεσμα το *T. molitor* να χρειάζεται οξυγόνο για να επιβιώσει και να έχει ένα φυσιολογικό ρυθμό ανάπτυξης (Ribeiro, 2017 ; Spang, 2013). Τελευταίος αλλά εξίσου σημαντικός παράγοντας για την φυσιολογική ανάπτυξη και την διαβίωση του εντόμου είναι πληθυσμιακή πυκνότητα. Προαναφέρθηκε η έννοια του κανιβαλισμού μεταξύ των εντόμων. Ο κανιβαλισμός μεταξύ των προνυμφών ή και μεταξύ των ενήλικων εντόμων ιδιαίτερα των ώριμων είναι αποτέλεσμα της πληθυσμιακής πυκνότητας, όταν δεν υπάρχει ο έλεγχος της εντοπίζεται συνωστισμός κατά την εκτροφή τους. Ταυτόχρονα ο συνωστισμός δημιουργεί κι άλλο δυο σημαντικά πρόβλημα πρώτον, τη μείωση της ωοτοκίας των θηλυκών ενήλικων εντόμων και δεύτερον την επιτάχυνση των προνυμφών στο σημείο μεταμορφώσεως και στο στάδιο της νύμφης, σε μια προσπάθεια για επιβίωση και μείωση του φαινομένου του κανιβαλισμού.

1.5.3. Επεξεργασία προνυμφών *Tenebrio molitor*

Οι προνύμφες του *T.molitor* υπόκεινται σε ορισμένες μεθόδους επεξεργασίας τόσο για την διασφάλιση της ασφάλειας όσο και για την διατήρηση της θρεπτικής τους σύνθεσης. Σύμφωνα με τη Διεθνή Πλατφόρμα Εντόμων για Τρόφιμα και Ζωοτροφές (IPIFF) οι προνύμφες υπόκεινται σε σφαγή η οποία πραγματοποιείται είτε με θέρμανση είτε με κατάψυξη και έπειτα ξήρανση και άλεση. Η διαδικασία της σφαγής επιτρέπει την αποθήκευση των εντόμων για μεγάλο χρονικό διάστημα και την διευκόλυνση της μεταφοράς τους για οποιαδήποτε μετέπειτα επεξεργασία. Ερευνητές όπως οι Vandeweyer et al. πρότειναν το ζεμάτισμα πριν από την ψύξη ή την ξήρανση, επειδή το ζεμάτισμα επιτρέπει τη θανάτωση των βλαστικών κυττάρων και αποτρέπει την ανάπτυξη μικροβίων κατά την αποθήκευση. Μετά τη σφαγή, η ξήρανση διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε υγρασία των προνυμφών *T. molitor* (περίπου 68%). Αυτή η περιεκτικότητα υγρασίας εμδέχεται να φέρει αρνητικές επιπτώσεις, μια από αυτές είναι η ενζυμική ή μη ενζυμική αποικοδόμηση και οποιαδήποτε μικροβιολογική αλλοίωση. Επομένως, αυτό που προτείνεται είναι να μην ξεπερνά η περιεκτικότητα σε υγρασία το 4-5%. Οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ξήρανση είναι η ξήρανση σε φούρνο, η ξήρανση σε κενό, η λυοφιλοποίηση και η ξήρανση σε φούρνο μικροκυμάτων. Επιπρόσθετα, οι παραπάνω τύποι ξήρανσης έχουν αμεση επίδραση στην χαμηλή δραστικότητα νερού στις προνύμφες *T. molitor* και αυτή η περιεκτικότητα δεν επιτρέπει μικροβιολογική ανάπτυξη. Στη μελέτη των Kröncke et al. από την άλλη πλευρά, η ξήρανση σε φούρνο είχε τον συντομότερο χρόνο επεξεργασίας και τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Επομένως, η λεύκανση και η ξήρανση σε φούρνο μπορεί να είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος επεξεργασίας των προνυμφών *T. molitor*. Μετά την ξήρανση, τα δείγματα συνήθως αλέθονται λεπτά στο ίδιο μέγεθος σωματιδίων με τα άλλα συστατικά της τροφής.



Εικόνα 3 Επεξεργασία προνυμφών *Tenebrio molitor*

1.5.4. Θρεπτική αξία T.molitor

Στον πίνακα 1 παρατίθενται θρεπτική αξία του T. molitor είτε σε αυτούσια μορφή είτε σε μορφή αλεύρου. Η περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη (CP των προνυμφών T.molitor εμφανίζεται να είναι μεγαλύτερη από αυτή του συμβατικού SBM Soybean Meal (Σογιάλευρο) και μικρότερη από αυτή του ιχθυαλεύρου. Κατά μέσο όρο είναι 52,4% και κυμαίνεται από 47,0% έως 60,2%, και οι προαναφερθείσες ουσίες 49,4% και 67,5% αντίστοιχα. 61])

Οι τιμές ακατέργαστης πρωτεΐνης για τις προνύμφες ή το αλεύρι προνυμφών T. molitor αναλύθηκαν με τη μέθοδο καύσης (Dumas) , τη μέθοδο Randall, τη μέθοδο Kjeldah και τη μέθοδο στοιχειακής ανάλυσης .Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι υπάρχει ένας παρόντας ο οποίος συχνά οδηγεί στην υπερεκτιμάται της περιεκτικότητας τα πρωτεΐνης, αυτός είναι ο συντελεστής μετατροπής αζώτου σε πρωτεΐνη (k p) 6,25 . Ο εξωσκελετός χιτίνης, ένας πολυσακχαρίτης γλυκοζαμίνης και N- ακετυλογλυκοζαμίνης, θεωρείται μη πρωτεϊνικό άζωτο και άπεπτη πρωτεΐνη. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι ο συντελεστής μετατροπής αζώτου σε πρωτεΐνη για τις προνύμφες T. molitor είναι 4,74, 4,75 ή 5,41. Όσον αφορά την εφαρμογή του k p 5,41 για τις προνύμφες T. molitor , η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (CP) των προνυμφών T. molitor δείχνει κατά μέσο όρο 47,2% και κυμαίνεται από 43,9% έως 51,0%, η οποία είναι παρόμοια με αυτή του συμβατικού SBM (49,4%,) και μικρότερη από αυτή του ιχθυαλεύρου (67,5%,. Οι προνύμφες T. Molitor περιέχουν κατά μέσο όρο 27% (κυμαίνεται από 19,1% έως 36,7%) ακατέργαστου λίπους και αυτό ποικίλλει ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας. Οι τιμές ακατέργαστου λίπους για τις προνύμφες T. molitor ήταν μεγαλύτερες από εκείνες για το SBM (1,4%) και το ιχθυάλευρο (10,4%) που αναφέρθηκαν από το εθνικό συμβούλιο έρευνας (NRC). Ωστόσο, η μέση περιεκτικότητα σε ακατέργαστη τέφρα (4,2%) για τις προνύμφες T. molitor είναι χαμηλότερη από εκείνη για το SBM (7,2%,) και το ιχθυάλευρο (17,2%,) και κυμαίνεται από 2,65% έως 6,99%.61 Η μείωση της CP όταν χρησιμοποιείται μικρότερος συντελεστής μετατροπής αζώτου (π.χ. 5,41 αντί για 6,25) δεν είναι αρνητική, αλλά δείχνει πιο ρεαλιστική και αξιόπιστη εκτίμηση της πραγματικής πρωτεΐνης, χωρίς να πολολογίζει και μη πρωτεϊνικό ή μη-διαθέσιμο άζωτο.

	T. molitor	SBM	Ιχθυάλευρο
Ακατέργαστη Πρωτεΐνη	52.4%	49.4%	67.5%
Kp=6.25	47.0-60.2%		
Ακατέργαστη Πρωτεΐνη	47.2%	49.4%	67.5%
Kp=5.41	43.9%-51.0%		
Ακατέργαστο Λίπος	27%	1.4%	10.4%
	19.1%-36.7%		
Ακατέργαστη \ Τέφρα	1,0%-4.2%	7.2%	17.2%

Πίνακας 1 Θρεπτική αξία T. molitor

Η ιστιδίνη (His), η ισολευκίνη (Iso), η λευκίνη (Leu), η λυσίνη (Lys), η μεθειονίνη (Met), η φαινυλαλανίνη (Phe), η θρεονίνη (Thr), η τρυπτοφάνη (Trp) και η βαλίνη (Val) είναι εννέα αμινοξέα που δεν έχουν την ικανότητα να δημιουργηθούν από τα θηλαστικά και είναι αναγκαίο να τα λάβουμε μέσω της κατανάλωσης τροφής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να φέρουν την ονομασία ως απαραίτητα διαιτητικά, απαραίτητα θρεπτικά συστατικά ή απαραίτητα αμινοξέα (EAAs)]. Κάτι το οποίο παρατηρείται στις προνύμφες *T. Molitor* είναι το γεγονός ότι βρίσκονται σε αυτές μεγάλες ποσότητες Leu, Val και Lys, αλλά χαμηλές ποσότητες His, Met και Trp EAAs, με την Trp να εντοπίζεται σπάνια σε αυτά τα έντομα. Όσον αφορά την ακατέργαστη πρωτεΐνη, οι συγκεντρώσεις EAA υφίστανται επίδραση από από τις συνθήκες εκτροφής των προνυμφών *T. molitor*, τη θερμοκρασία, την υγρασία, το υπόστρωμα τροφής και την περιοχή εκτροφής. Για παράδειγμα, οι ποσότητες Lys στις προνύμφες του *T. molitor* κυμαίνονται από 1,6 έως 5,8%, οι ποσότητες Thr κυμαίνονται από 1,3 έως 4,3%, οι ποσότητες Met κυμαίνονται από 0,6 έως 2,2% και οι ποσότητες Trp μπορούν να κυμαίνονται από 0,02 έως 1,9%.

Έπειτα από την ακατέργαστη πρωτεΐνη αμέσως μετά σε αφθονία εντοπίζεται το ακατέργαστο λίπος, το οποίο υπόκειται σε μεταβολή ανάλογα με την ποσότητα σε θρεπτικά συστατικά αλλά και τη μέθοδο επεξεργασίας. Όπως προαναφέρθηκε η ποσότητα ακατέργαστου λίπους η οποία βρίσκεται στις προνύμφες είναι 27% αλλά κυμαίνεται από 19,1% έως 36.7% Εκτός από τα EAA, στις προνύμφες *T. molitor*, ανιχνεύονται επίσης απαραίτητα λιπαρά οξέα (EFAs), όπως το λινολεϊκό οξύ (ομάδα ω- 6) και το άλφα-λινολενικό οξύ (ομάδα ω-3). Οι άνθρωποι δεν μπορούν να παράγουν αυτά τα EFAs και επομένως πρέπει να τα λάβουν μέσω της διατροφής στην οποία βασίζονται. Η παραγωγή λιπαρών οξέων των προνυμφών *T. molitor* παρουσιάζεται στον Πίνακα 2. Όσον αφορά το λινολενικό οξύ (C18:2 ω-6), υπάρχει σε υψηλές ποσότητες στις προνύμφες του *T. molitor*, που κυμαίνονται από 11,5 έως 48,1%. Αντίθετα, όσον αφορά την περιεκτικότητα σε άλφα-λινολενικό οξύ (C18:3 ω-3) στις προνύμφες, καλύπτει ένα εύρος τιμών, από 0,2 έως 2,3%. Επιπλέον, ανιχνεύονται επίσης σημαντικές ποσότητες λιπαρών οξέων όπως μυριστικό οξύ (C14:0), παλμιτικό οξύ (C16:0), παλμιτολεϊκό οξύ (C16:1) και ω-9 ελαϊκό οξύ (C18:1)

Λιπαρά οξέα, %	Προνύμφες <i>T. molitor</i>	
Μυριστικό οξύ (C14:0)	2,85	5.21
Πενταδεκανοϊκό οξύ (C15:0)	7.10	0,06
Παλμιτικό οξύ (C16:0)	9.33	15.05
Παλμιτολεϊκό οξύ (C16:1)	2.12	2,84
Στεατικό οξύ (C18:0)	2,40	0,26
Ολεϊκό οξύ (C18:1n9)	40,78	49,71
Λινολεϊκό οξύ (C18:2n6)	35,58	24.19
Λινολενικό οξύ (C18:3n3)		0,35
γ-λινολεϊκό οξύ (C18:3n6)	1,85	0,03
Εικοσενοϊκό οξύ (C20:1n9)		0,06
Αραχιδονικό οξύ (C20:4n6)	0,50	
Ερουνικό οξύ (C22:1)	1,62	
Δοκοσατετραενοϊκό οξύ (C22:4n6)		0,13
Κορεσμένα λιπαρά οξέα, %		22.17

Ακόρεστα λιπαρά οξέα, %		77,83
Αναλογία μη λιπαρών τροφών/μη λιπαρών τροφών		3.51

Πίνακας 2 Παραγωγή λιπαρών οξέων προνυμφών T. molitor

Η ακατέργαστη τέφρα αποτελεί μια ακόμη σημαντική πτυχή των προνυμφών *T. molitor*, η οποία έχει δοκιμαστεί σε όλες τις μελέτες που διερευνούν τη θρεπτική αξία των προνυμφών *T. molitor*. Η ακατέργαστη τέφρα αναφέρεται στο σύνολο όλων των ορυκτών στοιχείων όπως ο φώσφορος (P), το ασβέστιο (Ca), το νάτριο (Na) και το μαγνήσιο (Mg). Η ακατέργαστη τέφρα, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1, κυμαίνεται από περίπου 1,0 έως 4,2% και επηρεάζεται επίσης από τη σύνθεση των άλλων θρεπτικών συστατικών, της ακατέργαστης πρωτεΐνης και του ακατέργαστου λίπους. Όσον αφορά τα ορυκτά που περιέχονται στις προνύμφες *T. molitor*, ταυτοποιήθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν σε μια σειρά μελετών. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα των προνυμφών σε φωσφόρο έχει καταγραφεί σε τιμές έως περίπου 1,0% περιεκτικότητα σε Ca έως 0,5%, περιεκτικότητα σε Na έως 0,4%, περιεκτικότητα σε Mg έως 1,6% και περιεκτικότητα σε κάλιο (K) έως περίπου 1,0%. Επιπλέον, οι προνύμφες *T. Molitor* περιέχουν έως 100,02 mg/kg σιδήρου (Fe), έως 117,4 mg/kg, ψευδαργύρου (Zn) και 20,0 mg/kg χαλκού (Cu).

1.6.Νομοθεσία

Η κατανάλωση βρώσιμων εντόμων στις δυτικές κοινωνίες αποτελεί μια σχετικά νέα πρακτική, όπου είναι αναγκαίο ένα σαφές νομοθετικό πλαίσιο. Για να προχωρήσουμε στην εντομοφαγία, ιδίως στην Ευρώπη, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η ενσωμάτωση των βρώσιμων εντόμων στη διατροφή υπόσχεται σημαντικά οφέλη, αλλά παραμένει πρόκληση, καθώς συνδέεται τόσο με τις διατροφικές συνήθειες και αντιλήψεις των καταναλωτών, όσο και με το νομικό πλαίσιο που ρυθμίζει την παραγωγή και διάθεσή τους (Caparros Megido et al., 2016).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει κανονισμούς για τα νέα τρόφιμα, στους οποίους εντάσσεται και το *Tenebrio molitor*, με στόχο την προστασία του καταναλωτή και τη διασφάλιση της ποιότητας και ασφάλειας των προϊόντων. Ο «νέος» κανονισμός (ΕΕ) 2015/2283 επικαιροποίησε τον ορισμό του όρου «νέα τρόφιμα», ώστε να περιλαμβάνει και «ολόκληρα έντομα και τα μέρη τους». Ο παλαιός κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 258/97 δεν όριζε ρητά ότι ολόκληρα ζώα, όπως τα έντομα, υπάγονταν στο πεδίο εφαρμογής του («συστατικά τροφίμων που απομονώνονται από ζώα»).

Η πρώτη εφαρμογή του κανονισμού 258/97 στην Ευρωπαϊκή Ένωση ήταν η 1η Ιουλίου 2017. Ως «νέα τρόφιμα» χαρακτηρίζονται προϊόντα που δεν είχαν καταναλωθεί σε σημαντικό βαθμό από τον άνθρωπο πριν από τις 15 Μαΐου 1997 (<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/1997/258/oj/eng>), καθώς και τρόφιμα που δημιουργήθηκαν με καινοτόμες τεχνολογίες ή καταναλώνονταν εκτός Ευρώπης. Η διαφορετική ερμηνεία των κρατών-μελών οδήγησε στην αντικατάσταση του κανονισμού 258/97 από τον 2015/2283, που τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2018.

Ο νέος κανονισμός διασφαλίζει ότι τα νέα τρόφιμα που κυκλοφορούν στην αγορά είναι ασφαλή, δεν παραπλανούν το κοινό και δεν υστερούν διατροφικά σε σχέση με τα παραδοσιακά τρόφιμα (OJEU, 2018). Σήμερα στη λίστα των εγκεκριμένων νέων τροφίμων περιλαμβάνονται τα βρώσιμα έντομα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δεχθεί περισσότερες από 20 αιτήσεις για έγκριση εντόμων ως νέων τροφίμων (IPIFF, 2024)), και μέχρι στιγμής έχουν εκδοθεί τέσσερις επίσημες εγκρίσεις. Η πρώτη δόθηκε στις 1 Ιουνίου 2021 για την αποξηραμένη προνύμφη του κίτρινου αλευροσκώληκα (*Tenebrio molitor*), σύμφωνα με τον εκτελεστικό κανονισμό (ΕΕ) 2021/882. Το προϊόν μπορεί να κυκλοφορεί είτε σε ακέραια θερμικά αποξηραμένη μορφή είτε σε σκόνη, με εμπορική ονομασία «αποξηραμένη προνύμφη *Tenebrio molitor*». Ακολούθησαν εγκρίσεις για τη μεταναστευτική ακρίδα (*Locusta migratoria*), τον οικιακό γρύλο (*Acheta domesticus*) και το μικρό σκαθάρι των αλεύρων (*Alphitobius diaperinus*) στις αρχές του 2023.

Ο κανονισμός προβλέπει επίσης μεταβατικές διατάξεις: έντομα που κυκλοφορούσαν νόμιμα στην αγορά έως την 1η Ιανουαρίου 2018 και για τα οποία υποβλήθηκε αίτηση ή κοινοποίηση μέχρι τον Ιανουάριο 2019 μπορούν να συνεχίσουν να διατίθενται μέχρι την τελική απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Σημαντική εξέλιξη αποτέλεσε και η απόφαση του Δικαστηρίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (C-526/19) τον Οκτώβριο του 2020, σύμφωνα με την οποία τα ολόκληρα έντομα δεν εμπίπτουν στον παλαιό κανονισμό περί νέων τροφίμων, διευρύνοντας το μεταβατικό καθεστώς σε όλα τα κράτη-μέλη.

Πέραν της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, ορισμένα κράτη, όπως η Γαλλία, το Βέλγιο, η Ολλανδία και η Αυστρία, έχουν θεσπίσει συμπληρωματικούς εθνικούς κανόνες για την εμπορία τροφίμων με βάση τα έντομα, παρέχοντας στις επιχειρήσεις το δικαίωμα παραγωγής και διάθεσής τους υπό τις ίδιες προϋποθέσεις ασφάλειας που ισχύουν για τα συμβατικά τρόφιμα. Εξετάζονται επίσης ειδικοί κανόνες υγιεινής για τα έντομα ως τρόφιμα, με προτάσεις τροποποίησης του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 853/2004, ώστε να διασφαλίζεται η υγιεινή παραγωγή και επεξεργασία τους.

Σημαντικό ρόλο στη βιώσιμη και ασφαλή παραγωγή τους διαδραματίζει η νομοθεσία και οι κανονισμοί που καθορίζουν τα επιτρεπόμενα υποστρώματα, την ασφάλεια των προϊόντων και την ευημερία των εντόμων.

Τα έντομα που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση θεωρούνται εκτρεφόμενα ζώα σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΕ) 2017/893, ενώ η έννοια αυτή καλύπτεται και από τον Κανονισμό (ΕΚ) 1069/2009. Ως εκτρεφόμενα ζώα, η εκτροφή τους υπόκειται σε περιορισμούς σχετικά με τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για τη σίτισή τους. Απαγορεύεται η χρήση κρεατοστεαλευρών και άλλων επικίνδυνων ζωικών υποπροϊόντων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Κανονισμών (ΕΚ) 999/2001 και 1069/2009.

Στην εκτροφή τους επιτρέπεται να περιλαμβάνονται γάλα, αυγά και άλλα προϊόντα που αναφέρονται στο Παράρτημα Χ του Κανονισμού 142/2011. Η επιλογή των πρώτων υλών αποτελεί σημαντικό παράγοντα κόστους για τη βιομηχανία παραγωγής εντόμων,

ενώ γίνονται προσπάθειες για επέκταση του καταλόγου επιτρεπόμενων υλικών (Niyonsaba et al., 2023).

Η ασφάλεια των εντόμων ως τροφίμων επηρεάζεται από τη σύνθεση των υποστρωμάτων και τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων ή φαρμάκων που μπορεί να περιέχουν. Η νομοθεσία καθορίζει όρια για κτηνιατρικά φάρμακα, κοκκιδιοστατικά και μικροβιολογικούς δείκτες, ενώ οι εθνικοί κανονισμοί μπορούν να συμπληρώνουν τα κενά της ευρωπαϊκής νομοθεσίας.

Επιπλέον, η χρήση υπολειμματικών ρευμάτων για τη σίτιση των εντόμων περιορίζεται λόγω κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τέτοια ρεύματα χρησιμοποιούνται μόνο για τροφές κατοικίδιων ή μη τροφικές εφαρμογές (Veldkamp et al., 2022; Meijer et al., 2023).

Η ευημερία των εντόμων αποτελεί επίσης αντικείμενο μελέτης, αν και η ενωσιακή νομοθεσία δεν ορίζει συγκεκριμένες απαιτήσεις για τη θανάτωση τους. Οι πέντε ελευθερίες της ζωικής ευημερίας εφαρμόζονται εν μέρει, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Van Huis, 2019; Delvendahl et al., 2022; Klobučar & Fisher, 2023), ενώ ενημερωτικά έγγραφα, όπως του IPIFF (2019), παρέχουν οδηγίες για δεοντολογική διαχείριση.

Συνολικά, η νομοθεσία για τα έντομα ως τρόφιμα συνδυάζει κανονισμούς για ασφάλεια τροφίμων, επιτρεπόμενα υποστρώματα, ευημερία και δεοντολογία, διασφαλίζοντας ότι η παραγωγή τους πληροί τα πρότυπα προστασίας της δημόσιας υγείας και της ηθικής μεταχείρισης των ζώων.

1.7. Εμπλουτισμός τροφίμων με *Tenebrio molitor*

1.7.1. Αρτοσκευάσματα

1.7.1.1. Ψωμί

Τα προϊόντα αρτοποιίας και τα δημητριακά, όπως το ψωμί και τα μπισκότα, αποτελούν βασικά στοιχεία της διατροφής σε πολλές χώρες και χαρακτηρίζονται από υψηλή αποδοχή από τους καταναλωτές (Zielińska & Pankiewicz, 2020). Το ψωμί, ως θεμελιώδες τρόφιμο, παρέχει κυρίως υδατάνθρακες και ενέργεια, ενώ ο εμπλουτισμός του με πρωτεΐνες από έντομα έχει προσελκύσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον (Jankauskienė et al., 2025).

Η χρήση βρώσιμων εντόμων, όπως ο αλευροσκώληκας (*Tenebrio molitor*), η *Acheta domestica* και ο *Alphitobius diaperinus*, σε προϊόντα αρτοποιίας και σνακ, επηρεάζει όχι μόνο τη θρεπτική αξία, αλλά και τις τεχνολογικές και αισθητηριακές ιδιότητες των τελικών προϊόντων. Η σκόνη αλευροσκώληκα, η οποία παρουσιάζεται ως αλεύρι, αποτελεί πλούσια πηγή πρωτεϊνών και άλλων θρεπτικών συστατικών, καθιστώντας την αντικατάσταση μέρους του αλευριού σίτου με αυτό μια ενδιαφέρουσα στρατηγική για τη βελτίωση του διατροφικού προφίλ του ψωμιού.

Οι Kim et al. διερεύνησαν την ενσωμάτωση σκόνης προνυμφών *T. molitor* σε τρία σκευάσματα ψωμιού με διαφορετικά ποσοστά (2, 4 και 6%). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη του αλευριού εντόμου μείωσε τη διόγκωση της ζύμης λόγω της έλλειψης γλουτένης, αύξησε το pH και μείωσε την οξύτητα, χωρίς να επηρεάσει σημαντικά το χρώμα του τελικού προϊόντος. Ο οργανοληπτικός έλεγχος κατέδειξε ότι το ψωμί με 2% αλεύρι *T. molitor* ήταν το πιο αποδεκτό σε επίπεδο εμφάνισης, γεύσης και συνολικής αποδοχής, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα αξιοποίησής του ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης σε αρτοσκευάσματα.

Σε μεταγενέστερη μελέτη, οι Roncolini et al. αξιολόγησαν ψωμιά με υψηλότερα ποσοστά ενσωμάτωσης αλευριού προνυμφών *T. molitor* (5% και 10% επί του συνολικού αλευριού). Η αύξηση αυτή βελτίωσε τη θρεπτική αξία, αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και αμινοξέα, ενώ επηρεάστηκε και η υφή και ο όγκος του ψωμιού, πιθανώς λόγω της παρουσίας λιπιδίων από το αλεύρι εντόμου. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η ενσωμάτωση σκόνης εντόμου αποτελεί αποτελεσματική στρατηγική για τη διατροφική ενίσχυση των αρτοσκευασμάτων.

Παρά τα θετικά αποτελέσματα, επισημαίνεται η ανάγκη για περαιτέρω αξιολόγηση των μικροβιολογικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των εμπλουτισμένων προϊόντων, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα και η αποδοχή τους από τους καταναλωτές (Roncolini et al., 2019)

1.7.1.2.Μπισκότα

Τα μπισκότα αποτελούν το δεύτερο πιο καταναλισκόμενο προϊόν αρτοποιίας μετά το ψωμί [Ahmad et al., 2022]. Την τελευταία δεκαετία έχει αναδειχθεί έντονο ενδιαφέρον για την ενσωμάτωση αλευριού από *Tenebrio molitor* στα μπισκότα, με στόχο την ενίσχυση της θρεπτικής τους αξίας. Στην αρχική μελέτη των Zielińska et al. (2020), εφαρμόστηκαν διαφορετικά επίπεδα προσθήκης αλευριού εντόμου (15, 20 και 30 g), με αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη, που έφτασε έως και 48,3%. Παράλληλα, παρατηρήθηκαν μεταβολές στην τέφρα και στην αντιοξειδωτική δραστηριότητα, ανάλογα με την ποσότητα του εντόμου, ενώ διατροφικά τα εμπλουτισμένα μπισκότα υπερείχαν σαφώς σε σχέση με τα συμβατικά.

Συνεπώς, η αντικατάσταση μέρους του συμβατικού αλευριού με σκόνη *T. molitor* έχει μελετηθεί περαιτέρω από τους (Xie et al., 2022), οι οποίοι χρησιμοποίησαν ποσοστά 5%, 10%, 15% και 20%. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι όσο αυξανόταν η ποσότητα εντόμου, τόσο ενισχύονταν τα βασικά θρεπτικά συστατικά των μπισκότων, όπως οι πρωτεΐνες, τα λιπίδια και οι διαιτητικές ίνες. Για παράδειγμα, η πρωτεϊνική περιεκτικότητα ανέβηκε από 9,1% στο δείγμα ελέγχου σε 16,0% στο δείγμα με 20% σκόνη εντόμου, ενώ αντίστοιχα αυξήθηκαν κατά 20,5% και 21,7% τα λιπαρά και οι φυτικές ίνες. Όσον αφορά την οργανοληπτική αξιολόγηση, οι καταναλωτές δεν παρουσίασαν αρνητική στάση σε επίπεδα εμπλουτισμού έως 15%, με την προτίμηση να εστιάζεται στο δείγμα με 5% περιεκτικότητα, γεγονός που υποδηλώνει την αποδοχή χαμηλών ποσοστών εντόμων στα τρόφιμα.

Τέλος, σε πρόσφατη μελέτη των Cozmuta et al., εξετάστηκε η αντικατάσταση του συμβατικού αλευριού με άλευρο *T. molitor* σε ποσοστά 0%, 10%, 15% και 20%. Διαπιστώθηκε ότι το δείγμα με 15% προσθήκη εντόμου ήταν το πλέον προτιμητέο από τους καταναλωτές, κάτι που καταγράφηκε για πρώτη φορά σε τόσο υψηλό επίπεδο εμπλουτισμού. Επιπλέον, η θρεπτική αξία των μπισκότων βελτιώθηκε σημαντικά σε σχέση με το συμβατικό δείγμα, με αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (από 29,1% σε 31,3%), σε λίπος (από 46,4% σε 47,8%) και σε τέφρα (από 1,4% σε 1,6%). Η ανάλυση των ανόργανων στοιχείων έδειξε αυξημένα επίπεδα μετάλλων όπως νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, φώσφορος, χαλκός, ψευδάργυρος, μαγγάνιο, σίδηρος και λίθιο, με ποσοστά αύξησης που κυμαίνονταν από 0,1% έως 50,1%. Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν την ικανότητα του αλευριού *T. molitor* να ενισχύει τρόφιμα με περιορισμένο θρεπτικό προφίλ, όπως τα μπισκότα και το ψωμί.

1.7.1.3.Κράκερ

Η πρώτη προσπάθεια εμπλουτισμού ενός άλλου προϊόντος αμύλου, όπως τα κράκερ, πραγματοποιήθηκε από τους Djouadi et al., οι οποίοι εξέτασαν την ενσωμάτωση αλευριού *Tenebrio molitor* σε σνακ τύπου κράκερ, με στόχο τη βελτίωση της διατροφικής τους αξίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη αλευριού έως και 6% (w/w) θεωρείται αποδεκτή αισθητικά, χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τη συνολική ποιότητα του προϊόντος. Σε αυτό το επίπεδο εμπλουτισμού, τα κράκερ παρουσίασαν αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και ανόργανα στοιχεία.

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του *T. molitor* σε πρωτεΐνες και μεταλλικά στοιχεία όπως κάλιο, μαγνήσιο, φώσφορο, σίδηρο και ψευδάργυρο, τα εμπλουτισμένα προϊόντα μπορούν να φέρουν διατροφικούς ισχυρισμούς, όπως «πηγή πρωτεΐνης» και «πηγή μετάλλων». Επιπλέον, η παρουσία του εντόμου φάνηκε να ενισχύει την αντιοξειδωτική δράση των προϊόντων, βελτιώνοντας περαιτέρω το διατροφικό τους προφίλ. Στο συγκεκριμένο κράκερ παρατηρήθηκε επίσης μείωση της σκληρότητας και αύξηση της τραγανότητας.

Συνολικά, τα ευρήματα υπογραμμίζουν ότι το αλεύρι *T. molitor* μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς ως συστατικό εμπλουτισμού, προσφέροντας τόσο διατροφικά όσο και λειτουργικά οφέλη. Η ενσωμάτωσή του στα κράκερ αποτελεί μια βιώσιμη και ενδιαφέρουσα προσέγγιση, η οποία μπορεί να διευρύνει την αποδοχή των βρώσιμων εντόμων από το ευρύ καταναλωτικό κοινό, ιδιαίτερα στη Δύση, όπου η κατανάλωσή τους παραμένει περιορισμένη. Επιπλέον, η αξιοποίηση αυτής της εναλλακτικής πηγής πρωτεΐνης μπορεί να αποδειχθεί σημαντική για την αντιμετώπιση των παγκόσμιων διατροφικών προκλήσεων στο μέλλον.

1.7.1.4.Μπάρες

Στην Πολωνία πραγματοποιήθηκε μια έρευνα στην οποία χρησιμοποιήθηκε ολόκληρο τον σκελετό της προνύμφης του *T. molitor*. δημιουργήθηκαν λοιπόν 4 είδη μπάρων: μπάρες χωρίς βρώσιμα έντομα (Για τον έλεγχο), μπάρες που περιείχαν 7,4% w / w ολόκληρα σκουλήκια αλευριού (ήταν ορατές στους καταναλωτές), μπάρες

που περιείχαν 7,4% w / w αλεσμένα σκουλήκια αλευριού και μπάρες που περιείχαν 7,4% w / w αλεσμένα τριζόνια. Αυτή η έρευνα είχε σκοπό αρχικά, να ελέγξει την αποδοχή των καταναλωτών σε ένα καινοτόμο αλλά και πολύ διαφορετικό σνάκ αλλά και στην συνέχεια, να διαπιστώσει κατά πόσο οι καταναλωτές επηρεάζονται από την εμφάνιση ενός τροφίμου. Είναι ικανή η παρουσία ολόκληρης της προνύμφης στις μπάρες να εκθρονίσει τα θρεπτικά χαρακτηριστικά της.

Το πόρισμα της παρούσας έρευνας έδειξε εμφανή προτίμηση από τους καταναλωτές για την μπάρα ελέγχου, εκείνη δηλαδή η οποία δεν περιείχε τις προνύμφες. Αποδοκιμάστηκε από τους καταναλωτές η μπάρα με ολόκληρες τις προνύμφες καθώς σημείωσαν ότι η εμφάνιση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις επιλογές τους. Στη συνέχεια, μελετήθηκαν περαιτέρω οι εμπλουτισμένες μπάρες στις οποίες αναδείχθηκε ότι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας αποδοχής των καταναλωτών είναι η γεύση. Η μπάρα η οποία περιείχε το άλευρο των προνυμφών προτιμήθηκε τόσο σε εμφάνιση τόσο και σε γεύση, και μάλιστα, υπογραμμίστηκε ότι σε σχέση με τις μπάρες ελέγχου δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Τέλος, η οσμή του προϊόντος αναδείχθηκε ως στατιστικά σημαντικός δείκτης ποιότητας, τονίζοντας περαιτέρω τη σημασία των αισθητηριακών πτυχών στις προτιμήσεις των καταναλωτών. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα από την οσμή των δειγμάτων, το δείγμα ελέγχου είχε την πιο ελκυστική οσμή, ακολουθούμενο από το δείγμα χωρίς εμφανή βρώσιμα έντομα και το δείγμα με εμφανή βρώσιμα έντομα. Όσον αφορά τα δείγματα με προνύμφες *T. molitor*, η εμφάνιση των προνυμφών φάνηκε να έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την οσμή του τροφίμου. Συνολικά, η παρούσα έρευνα υπογραμμίζει ότι, όσον αφορά την εμφάνιση και τη γεύση, οι μπάρες ελέγχου και εκείνες που περιέχουν μη ορατά ενσωματωμένα βρώσιμα έντομα δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Αυτό υποδηλώνει ότι το φαινόμενο της νεοφοβίας, της απροθυμίας να υιοθετήσουν νέες ή άγνωστες τροφές όπως τα έντομα, είναι αυτό που ενσταλάζει την καχυποψία στους ανθρώπους σχετικά με την κατανάλωση εντόμων. Αυτά τα ευρήματα είναι ανεκτίμητα για την κατανόηση των λεπτών παραγόντων που επηρεάζουν την αποδοχή των τροφίμων με βάση τα έντομα από τους καταναλωτές.

1.7.2.Κρέας

1.7.2.1. Μπιφτέκι

Το *T. molitor*, εκτός από τα αρτοσκευάσματα, χρησιμοποιήθηκε επίσης σε προϊόντα με βάση το κρέας. Για τον σκοπό αυτό, παρασκευάστηκαν ξεχωριστές συνθέσεις μπέργκερ στο Πανεπιστήμιο της Λιέγης. Συγκεκριμένα, παράχθηκαν ένα μοσχαρίσιο μπέργκερ που αποτελούνταν από άοσμο μοσχαρίσιο κιμά, μια παραλλαγή με βάση τη φακή (που αποτελείται από 95% πράσινες φακές), ένα μπέργκερ με 45% πράσινες φακές και 50% *T. molitor*, και ένα μπέργκερ που περιείχε 45% μοσχαρίσιο κιμά και 50% *T. molitor*. Σε όλες τις περιπτώσεις, ένα κλάσμα 5% κάθε μπέργκερ αποτελούνταν από ένα μείγμα αρωμάτων (που περιείχε κρεμμύδια, καρότα, πελτέ ντομάτας, σκόρδο, αλάτι και πιπέρι). Αυτά τα μπέργκερ παρασκευάστηκαν προκειμένου να εξεταστεί ο βαθμός νεοφοβίας για τα έντομα στις δυτικές κοινωνίες. Στην ανάλυση των

αξιολογήσεων των συμμετεχόντων, διαπιστώθηκε ότι το φύλο του συμμετέχοντα έπαιξε σημαντικό ρόλο. Όσον αφορά τη γεύση του μπέργκερ, όλοι οι συμμετέχοντες προτίμησαν το παραδοσιακό μοσχαρίσιο μπέργκερ, κατατάσσοντάς το πρώτο. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι άνδρες συμμετέχοντες προτίμησαν παρασκευάσματα μπιφτεκιών που περιείχαν βοδινό ή *T. molitor* περισσότερο από τα πλήρως φυτικά. Ταυτόχρονα, οι γυναίκες έδειξαν μεγαλύτερη προτίμηση μόνο για συμβατικά μπιφτέκια με βοδινό κρέας. Επιπλέον, η οσμή δεν φάνηκε να επηρεάζεται σημαντικά από τη σύνθεση των δειγμάτων και για τα δύο φύλα. Ένα αξιοσημείωτο αποτέλεσμα ήταν η θετική τάση που παρατηρήθηκε μεταξύ των συμμετεχόντων σχετικά με την ενσωμάτωση των εντόμων στις μελλοντικές διατροφικές τους συνήθειες. Εντυπωσιακά, το 70% των ερωτηθέντων εξέφρασε εμπιστοσύνη στην πιθανή συμπερίληψη εντόμων στη διατροφή τους.

1.7.2.2. Λουκάνικα

Οι Kim et al., όντας οι πρώτοι που το επιχείρησαν, προχώρησαν στην παρασκευή γαλακτωμάτων λουκάνικων τα οποία περιείχαν διαφορετικούς τύπους αλεύρου *T. molitor*. Συγκεκριμένα, παρασκεύασαν ένα κλασικό χοιρινό λουκάνικο που αποτελούνταν από 60% άπαχο χοιρινό κρέας, 20% λίπος και 20% πάγο (λουκάνικο ελέγχου). Παράλληλα, δημιουργήθηκαν λουκάνικα με έντομα, στα οποία το 10% του άπαχου χοιρινού κρέατος αντικαταστάθηκε με αλεύρι προνυμφών *T. molitor*. Συνολικά, παρασκευάστηκαν τρεις διαφορετικές εκδοχές λουκάνικων, αφού χρησιμοποιήθηκαν τρεις ποικιλίες αλεύρου: ακατέργαστο, απολιπασμένο και απολιπασμένο με επιπλέον όξινη υδρόλυση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όσο πιο επεξεργασμένο ήταν το αλεύρι *T. molitor*, τόσο υψηλότερη ήταν και η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη στο τελικό προϊόν. Με άλλα λόγια, στο λουκάνικο με το απολιπασμένο και υδρολυμένο με οξύ αλεύρι καταγράφηκε η μεγαλύτερη συγκέντρωση πρωτεΐνης, με τιμή που ανέβηκε από 22,6% σε 31,3%. Εκτός από την πρωτεΐνη, αξιολογήθηκαν και τα μεταλλικά στοιχεία των λουκάνικων, με τα ευρήματα να παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις. Σε κάθε περίπτωση, η ενσωμάτωση αλεύρου *T. molitor*—ανεξαρτήτως επεξεργασίας—ενίσχυσε την περιεκτικότητα όλων των εξεταζόμενων μετάλλων (P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu και Mn). Ωστόσο, το δείγμα με το απολιπασμένο και υδρολυμένο με οξύ αλεύρι εμφάνισε τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε μέταλλα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Ca (13,9 mg/100 g), Na (913,7 mg/100 g), Fe (9,9 mg/100 g), Cu (0,3 mg/100 g) και Mn (0,4 mg/100 g) παρατηρήθηκε στο δείγμα με 10% ακατέργαστο αλεύρι προνυμφών. Αντίθετα, η υψηλότερη συγκέντρωση σε P (202,1 mg/100 g), K (325,2 mg/100 g), Mg (47,7 mg/100 g) και Zn (2,5 mg/100 g) εντοπίστηκε στο δείγμα με 10% απολιπασμένο αλεύρι. Για λόγους σύγκρισης, το δείγμα ελέγχου εμφάνισε τις ακόλουθες τιμές: P—145,5 mg/100 g, K—245,7 mg/100 g, Ca—9,3 mg/100 g, Mg—20,9 mg/100 g, Na—799,5 mg/100 g, Zn—1,2 mg/100 g, Fe—3,8 mg/100 g, Cu—0,04 mg/100 g και Mn—0,1 mg/100 g.

Συνεπώς, αποδεικνύεται ότι ακόμη και η προσθήκη 10% αλεύρου εντόμων μπορεί να αναβαθμίσει σημαντικά τη θρεπτική αξία ενός προϊόντος. Παράλληλα, καταδεικνύεται πως το είδος της επεξεργασίας του αλεύρου επηρεάζει τα τελικά χαρακτηριστικά. Έτσι, ανάλογα με τα θρεπτικά συστατικά που επιδιώκεται να ενισχυθούν, θα πρέπει να επιλέγεται και η κατάλληλη μορφή αλεύρου *T. molitor*.

Τα λουκάνικα Φρανκφούρτης είναι διεθνώς αναγνωρισμένα λόγω της χρήσης τους στο δημοφιλέ «hot dog». Οι Choi et al. [99] δοκίμασαν να ενισχύσουν το συγκεκριμένο λουκάνικο με διάφορες ποσότητες αλεύρου εντόμων, ώστε να εκτιμήσουν τόσο τη θρεπτική του αξία όσο και την αποδοχή του από τους καταναλωτές. Η προσθήκη αυτή εφαρμόστηκε επίσης με σκοπό να μειωθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που συνδέεται με την παραγωγή χοιρινού κρέατος, το οποίο αποτελεί τη βασική πρώτη ύλη για την παρασκευή των λουκάνικων Φρανκφούρτης. Ως ομάδα ελέγχου παρασκευάστηκαν λουκάνικα με 50% χοιρινό ζαμπόν, 25% ραχιαίο λίπος και 25% πάγο. Τα υπόλοιπα δείγματα διαμορφώθηκαν ως εξής: T1, 45% χοιρινό ζαμπόν + 5% αλεύρι προνυμφών *T. molitor*· T2, 40% χοιρινό ζαμπόν + 10% αλεύρι προνυμφών *T. molitor*· T3, 35% χοιρινό ζαμπόν + 15% αλεύρι προνυμφών *T. molitor*· T4, 30% χοιρινό ζαμπόν + 20% αλεύρι προνυμφών *T. molitor*· T5, 25% χοιρινό ζαμπόν + 25% αλεύρι προνυμφών *T. molitor*· και T6, 20% χοιρινό ζαμπόν + 30% αλεύρι προνυμφών *T. molitor*. Η περιεκτικότητα σε λίπος πλάτης και πάγο παρέμεινε ίδια με εκείνη του δείγματος ελέγχου. Όπως είχε παρατηρηθεί και σε άλλες μελέτες, η αύξηση της ποσότητας αλεύρου *T. molitor* οδήγησε σε υψηλότερα ποσοστά πρωτεΐνης στα λουκάνικα. Αναλυτικότερα, η περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη υπολογίστηκε στο 10,0% για το δείγμα ελέγχου, 13,9% για το T1, 14,3% για το T2, 15,6% για το T3, 17,5% για το T4, 21,1% για το T5 και 24,0% για το T6. Παράλληλα, καταγράφηκε αντίστοιχη αύξηση στη συνολική περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα (τέφρα), η οποία έφτασε στο 2,1% στο δείγμα ελέγχου, 2,3% στα T1, T2 και T3, 2,6% στο T4 και περίπου 2,9% στα T5 και T6. Κατά συνέπεια, η ενσωμάτωση αλεύρου από προνύμφες *T. molitor* δεν περιορίζεται μόνο στα αρτοσκευάσματα, αλλά μπορεί να αναβαθμίσει τη θρεπτική αξία και άλλων ειδών τροφίμων. Στην οργανοληπτική αξιολόγηση, τα λουκάνικα με *T. molitor* παρουσίασαν χαμηλότερες επιδόσεις ως προς το χρώμα, τη γεύση, την επίγευση και την υφή. Ωστόσο, οι καταναλωτές επισήμαναν ότι μέχρι και το δείγμα T2 οι διαφορές σε σχέση με το δείγμα ελέγχου δεν ήταν αισθητές. Συνεπώς, ένα ακόμη τρόφιμο ευρείας κατανάλωσης μπορεί να εμπλουτιστεί και να καταστεί πιο φιλικό προς το περιβάλλον, χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά η αποδοχή του από τους καταναλωτές.

1.7.3. Σάλτσα σόγιας

Η σάλτσα σόγιας αποτελεί βασική πηγή πρωτεΐνης στην ασιατική διατροφή, παρέχοντας όλα τα απαραίτητα αμινοξέα. Για την αύξηση της θρεπτικής της αξίας, διεξήχθησαν πρόσφατες μελέτες που εξέτασαν την προσθήκη αλευριού από προνύμφες *Tenebrio molitor*. Στην αρχική μελέτη των Cho et al. (2023), αξιολογήθηκαν έξι

διαφορετικοί τύποι σάλτσας, με ορισμένους εμπλουτισμένους με *T. molitor* – τόσο με ολόκληρες προνύμφες όσο και αποβουτυρωμένες εκδοχές. Αν και η αύξηση στα αμινοξέα δεν ήταν ομοιόμορφη, παρατηρήθηκε ενίσχυση σε αργινίνη και φαινυλαλανίνη. Επιπλέον, τα δείγματα με έντομα υπερέβησαν τα διεθνή όρια συνολικού αζώτου, υποδεικνύοντας υψηλή θρεπτική αξία, ενώ η αποδοχή τους από τους καταναλωτές δεν διέφερε σημαντικά από τις συμβατικές σάλτσες, αποδεικνύοντας ότι η ενσωμάτωση αλευριού εντόμου μπορεί να γίνει χωρίς αισθητή αλλαγή σε γεύση ή υφή.

Παράλληλα, η μελέτη των Lee και Kim ανέδειξε ότι ο συνδυασμός αλευριού *T. molitor* με σόγια και οκάρα παράγει σάλτσες με αυξημένα επίπεδα ελεύθερων αμινοξέων και βελτιωμένη αντιοξειδωτική δράση. Το δείγμα 4, με αποκλειστικά αποβουτυρωμένο αλεύρι εντόμου, παρουσίασε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ελεύθερων αμινοξέων (28,6 mg/L), ενώ το δείγμα 5 σημείωσε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλουταμινικό οξύ (5600 mg/L), στοιχείο που συνδέεται με τη χαρακτηριστική γεύση *umami*. Τα ίδια δείγματα εμφάνισαν και την υψηλότερη αντιοξειδωτική δραστηριότητα. Η αξιολόγηση από τους καταναλωτές έδειξε ότι το δείγμα 5 ήταν το πιο προτιμητέο όσον αφορά τη γεύση και τη συνολική αποδοχή. Συνολικά, τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν ότι η προσθήκη αλευριού *T. molitor* μπορεί να ενισχύσει τόσο τη θρεπτική όσο και τη γευστική αξία της σάλτσας σόγιας, δημιουργώντας πιο λειτουργικά προϊόντα ακόμη και σε εκδοχές με μειωμένο αλάτι (Kotsou et al., 2023).

1.7.4. Γαλακτοκομικά προϊόντα

1.7.4.1. Γάλα

Το γάλα αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα τρόφιμα στο σπίτι μας, γνωστό για τις ιδιαίτερες λειτουργικές, θρεπτικές και αισθητηριακές του ιδιότητες. Πρόσφατη μελέτη από το Πανεπιστήμιο του Μάαστριχτ έδειξε ότι η πρωτεΐνη από προνύμφες *T. molitor* μπορεί να συγκριθεί με την πρωτεΐνη του αγελαδινού γάλακτος, καθώς διαθέτει πλήρες προφίλ απαραίτητων αμινοξέων (EAA) και καλή πεπτικότητα. Με βάση αυτό, οι Tello et al. προχώρησαν στην ανάπτυξη ενός καινοτόμου προϊόντος: γάλα από προνύμφες *T. molitor*, με στόχο να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί η παραγωγή συμβατικού αγελαδινού γάλακτος.

Το συγκεκριμένο «γάλα εντόμων» περιείχε 1,19% ακατέργαστη πρωτεΐνη, 5,76% λίπος και λιγότερο από 1% υδατάνθρακες. Σε ό,τι αφορά το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα, η παραγωγή του αντιστοιχούσε σε 0,76 kg ισοδύναμα CO₂ ανά kg FPCM, ενώ η βιομηχανία του αγελαδινού γάλακτος ευθύνεται συνολικά για περίπου 1,6 γιγατόνους ισοδύναμα CO₂ τον χρόνο. Φυσικά, το προϊόν αυτό βρίσκεται ακόμη σε πιλοτικό στάδιο, και χρειάζονται επιπλέον διαδικασίες ώστε να φτάσει να είναι ασφαλές για κατανάλωση και πιθανόν διαθέσιμο στο εμπόριο. Παρ' όλα αυτά, το συγκεκριμένο εγχείρημα ανοίγει τον δρόμο για μια ριζοσπαστική αλλαγή σε ένα τρόφιμο που καταναλώνεται ευρέως. Αν πράγματι εξελιχθεί, θα μπορούσε να μειώσει αισθητά τις αρνητικές συνέπειες της παραγωγής αγελαδινού γάλακτος. Προσωπικά, βρίσκω ιδιαίτερα ενδιαφέρον το γεγονός ότι ένα τόσο «παράξενο» για εμάς υλικό, όπως οι

προνύμφες, μπορεί να μετατραπεί σε κάτι τόσο γνώριμο όπως το γάλα. Με κάνει να αναρωτιέμαι αν στο μέλλον θα φτάσουμε στο σημείο να βλέπουμε στο σούπερ μάρκετ «γάλα εντόμων» δίπλα στο αγελαδινό ή το φυτικό.

1.7.4.2. Αλειφόμενο τυρί

Το 2023 πραγματοποιήθηκε μια μελέτη με σκοπό την ανάπτυξη τροφίμων εμπλουτισμένων με προνύμφες *T. molitor*. Στο πλαίσιο αυτό, παρασκευάστηκε ένα υβριδικό τυρί για επάλειψη, βασισμένο σε εννέα διαφορετικούς συνδυασμούς τριών συστατικών: συμπυκνωμένης πρωτεΐνης γάλακτος, αλεύρου από φασόλια *fabas* και αλεύρου *T. molitor*, τα οποία συνολικά αντιστοιχούσαν στο 7,1% της συνταγής.

Κάθε παραλλαγή εξετάστηκε τόσο ως προς τη θρεπτική της σύσταση όσο και ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη αλεύρου εντόμων και φασολιών δεν οδήγησε σε σημαντική αύξηση της πρωτεΐνης, η οποία κυμάνθηκε από 4,2% έως 5,2% στα εννέα δείγματα (C1–C9). Το δείγμα C6 εμφάνισε τη μεγαλύτερη τιμή, αν και ήταν περίπου 3,9% χαμηλότερη σε σχέση με το δείγμα ελέγχου. Παράλληλα, φάνηκε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη σχετιζόταν με χαμηλότερα λιπαρά. Ενδεικτικά, το C1 περιείχε 30,1% λιπαρά, ενώ το C3, που είχε λιγότερη πρωτεΐνη, έφτανε στο 31,9%. Στη γευστική αξιολόγηση, τα δείγματα C2, C7 και C9 ξεχώρισαν για την πιο έντονη τυρένια αίσθηση. Επιπλέον, η ενσωμάτωση αλεύρου *T. molitor* φάνηκε να επηρεάζει θετικά την προτίμηση των δοκιμαστών, αφού τα δείγματα με το συγκεκριμένο συστατικό έλαβαν καλύτερες αξιολογήσεις σε σχέση με εκείνα χωρίς αυτό.

Συνολικά, τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι το αλεύρο *T. molitor* μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της γεύσης τέτοιων προϊόντων, παρότι η αύξηση της πρωτεΐνης παραμένει περιορισμένη. Η μελέτη αυτή ανοίγει προοπτικές για την περαιτέρω αξιοποίηση αλεύρου εντόμων σε άλλα τρόφιμα, με στόχο την ενίσχυση της θρεπτικής τους αξίας.

1.7.4.3. Παγωτό

Το παγωτό είναι ένα από τα πιο αγαπημένα γαλακτοκομικά επιδόρπια, παρασκευασμένο παραδοσιακά από κρέμα γάλακτος ή βούτυρο, γάλα, ζάχαρη και διάφορα αρωματικά συστατικά [108, 109]. Παρά τις αμέτρητες γεύσεις που έχουν δημιουργηθεί μέχρι σήμερα, οι πιο διαδεδομένες παραμένουν η βανίλια, η σοκολάτα και η φράουλα. Ωστόσο, αν και ιδιαίτερα δημοφιλές, το παγωτό θεωρείται συνήθως ένα τρόφιμο πλούσιο σε θερμίδες, αλλά με σχετικά χαμηλή θρεπτική αξία. Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες εμπλουτισμού του με επιπλέον θρεπτικά συστατικά. Στο πλαίσιο αυτών των ερευνών, αναπτύχθηκε ένα καινοτόμο προϊόν: παγωτό φράουλα–κράνμπερι με την προσθήκη προνυμφών *T. molitor*. Συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν τέσσερις εκδοχές: ένα δείγμα ελέγχου (HCO), ένα με προνύμφες *T. molitor* (HT), ένα μείγμα προνυμφών και σπόρων chia (HTC), καθώς και ένα μείγμα προνυμφών και κινόα (HTQ). Η διαδικασία παρασκευής περιλάμβανε ζύγισμα και ανάμειξη των υλικών, παστερίωση στους 68 °C για 30 λεπτά, προσθήκη του πολτού φράουλας–κράνμπερι, των σπόρων και των προνυμφών,

ωρίμανση του μείγματος στους 4 °C για 24 ώρες και, τέλος, χτύπημα επί 10 λεπτά πριν την κατάψυξη στους -4 °C.

Η προσθήκη εντόμων ενίσχυσε αισθητά την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, βιταμίνες και μέταλλα, βελτιώνοντας σημαντικά τη θρεπτική αξία του προϊόντος. Το υψηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης παρατηρήθηκε στο δείγμα HT (11,8%), ενώ ακολούθησε το HTC με 11,4%, δηλαδή 26,2% και 21,4% αντίστοιχα υψηλότερα σε σχέση με το δείγμα ελέγχου. Τα πιο θρεπτικά παγωτά ήταν το HT και το HTC, με το τελευταίο να ξεχωρίζει συνολικά χάρη στη μεγαλύτερη συγκέντρωση ανόργανων στοιχείων. Συγκεκριμένα, το HTC παρουσίασε υψηλότερα επίπεδα ασβεστίου, φωσφόρου, νατρίου, καλίου, μαγνησίου και σιδήρου (332,0, 224,5, 232,8, 408,2, 50,0 και 1,6 mg/100 g αντίστοιχα), σε σχέση με το HT (265,4, 185,1, 215,3, 403,9, 32,1 και 1,5 mg/100 g). Αντίστοιχα σημαντική ήταν και η αύξηση στις βιταμίνες. Στο δείγμα HTC οι συγκεντρώσεις βιταμινών A, D, E, K, B1, B2, B3, B9 και B12 έφτασαν στα 1,9, 949,2, 9,7, 997,0, 27,3, 33,4, 102,9, 40,0 και 4,7 mg/100 g αντίστοιχα, σημαντικά υψηλότερες σε σχέση τόσο με το HT (1,0, 584,3, 5,9, 0,0, 22,6, 33,7, 86,7, 36,8 και 4,4 mg/100 g) όσο και με το δείγμα ελέγχου (0,9, 479,7, 4,8, 0,0, 21,5, 30,6, 74,6, 17,5 και 4,4 mg/100 g).

1.7.5. Λάδι

Μια μελέτη των Son et al. αξιολόγησε την καταλληλότητα του ελαίου από προνύμφες *Tenebrio molitor* για ανθρώπινη κατανάλωση και ως συστατικό τροφίμων. Το έλαιο παρουσίαζε ανοιχτό κίτρινο χρώμα, παρόμοιο με κοινά βρώσιμα έλαια. Ωστόσο, ο αριθμός υπεροξειδίου – ένας δείκτης πρωτογενούς οξείδωσης – ήταν υψηλότερος (3,5 meq/kg) σε σύγκριση με τα εμπορικά έλαια, που συνήθως εμφανίζουν τιμές κάτω από 2 meq/kg.

Για την εκτίμηση της σταθερότητάς του, υπολογίστηκαν δευτερογενείς δείκτες οξείδωσης (TBARS), με το έλαιο *T. molitor* να εμφανίζει τιμή 1,8 mg MDA/kg. Η χαμηλή αυτή τιμή υποδηλώνει καλή σταθερότητα και αποδεκτή ποιότητα του ελαίου.

Η ανάλυση της περιεκτικότητας σε τοκοφερόλες (βιταμίνη E), που λειτουργούν ως φυσικά αντιοξειδωτικά, έδειξε ότι το έλαιο περιείχε 144,3 mg/kg βιταμίνης E, ποσότητα συγκρίσιμη ή και υψηλότερη από εκείνη του ελαιολάδου και του σογιελαίου (80–1360 mg/kg), καθώς και σημαντικά ανώτερη από αντίστοιχες ζωικές πηγές (2,7–100 mg/kg).

Για την αξιολόγηση της ασφάλειας, διεξήχθη τοξικολογική δοκιμή 28 ημερών σε αρουραίους. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν μείωση των επιπέδων χοληστερόλης και γλυκόζης, χωρίς ανεπιθύμητες αιματολογικές ή τοξικές επιπτώσεις. Επιπλέον, η σταθερότητα του ελαίου διατηρήθηκε ακόμη και μετά από ένα έτος αποθήκευσης, ενισχύοντας την εμπορική του αξιοποίηση ως συστατικού τροφίμων.

2. Σκοπός

Η παρούσα πειραματική πτυχιακή εργασία έχει ως βασικό σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας εμπλουτισμού ζυμαρικών με βρώσιμο αλεύρι εντόμων, και συγκεκριμένα με αλεύρι από *Tenebrio molitor*, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα προϊόν υψηλής θρεπτικής αξίας και βιώσιμου χαρακτήρα. Η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την επισιτιστική ασφάλεια καθιστούν επιτακτική την αναζήτηση νέων, εναλλακτικών και περιβαλλοντικά φιλικών πηγών πρωτεΐνης. Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση βρώσιμων εντόμων, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, απαραίτητα λιπαρά οξέα, βιταμίνες και μέταλλα, προσφέρει σημαντικές προοπτικές για τη βιομηχανία τροφίμων και την ανθρώπινη διατροφή.

Η εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και αξιολόγηση ζυμαρικών που εμπλουτίζονται με διαφορετικά ποσοστά αντικατάστασης συμβατικού αλεύρου από αλεύρι *Tenebrio molitor*. Στόχος είναι η μελέτη της επίδρασης της ενσωμάτωσης του αλεύρου στις φυσικοχημικές, θρεπτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Παράλληλα, διερευνάται η αποδοχή των εμπλουτισμένων ζυμαρικών από τους καταναλωτές, ώστε να αποτυπωθεί ο βαθμός αποδοχής του νέου προϊόντος και να κατανοηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τη στάση απέναντι στην κατανάλωση εντόμων στον δυτικό κόσμο. Με τον τρόπο αυτό, επιχειρείται να αναδειχθούν όχι μόνο οι διατροφικές αλλά και οι κοινωνικές πτυχές που σχετίζονται με την ενσωμάτωση εντόμων στη διατροφική αλυσίδα.

Τέλος, η εργασία αποσκοπεί να τονίσει τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη της χρήσης βρώσιμων εντόμων, καθώς η εκτροφή τους εντάσσεται σε ένα κυκλικό μοντέλο παραγωγής, αξιοποιώντας υποπροϊόντα και οργανικά απόβλητα, μειώνοντας έτσι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της τροφικής αλυσίδας. Συνολικά, η μελέτη αυτή στοχεύει να συμβάλει στην προώθηση της χρήσης του *Tenebrio molitor* ως καινοτόμου, βιώσιμης και λειτουργικής πρώτης ύλης για τη δημιουργία νέων τροφίμων, να εμπλουτίσει τη βιβλιογραφία σχετικά με τη διατροφική του αξία και να συμβάλει στην υπέρβαση των προκαταλήψεων που συνοδεύουν την εντομοφαγία, ανοίγοντας νέους ορίζοντες για τη διατροφή του μέλλοντος.

3. Πειραματικό μέρος

3.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός/ Υλικά μέθοδοι

- ✓ Αναλυτικός ζυγός ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων
- ✓ freeze dryer
- ✓ μίξερ
- ✓ πλαστικοί περιέκτες/ ουροσυλλέκτες

3.2 Προετοιμασία δειγμάτων

3.2.1 Παρασκευή αλεύρου εντόμου

Για την παραγωγή αλεύρου από το *Tenebrio molitor*, χρησιμοποιήθηκαν προνύμφες του συγκεκριμένου εντόμου, οι οποίες είχαν καταψυχθεί με σκοπό την θανάτωσή τους, καθώς και την διευκόλυνση της μετέπειτα επεξεργασίας τους. Στη συνέχεια αφού απομακρύνθηκαν υπολείμματα τροφών και ακαθαρσίες, ζυγίστηκαν σε μεταλλικά δισκία και τοποθετήθηκαν στο freeze dryer, όπου και παρέμειναν για 24 ώρες (h), υπό συνθήκες κενού, ώστε να αφαιρεθεί η υγρασία τους μέσω της εξάχνωσης. Με το πέρας των 24h οι προνύμφες ζυγίστηκαν και αλέσθηκαν με τη βοήθεια ενός μίξερ. Τέλος, το άλευρο που προέκυψε τοποθετήθηκε σε πλαστικούς περιέκτες και αποθηκεύτηκε στο ψυγείο για τη σωστή διατήρησή του.



Εικόνα 4 Διαδικασία παραγωγής αλεύρου *Tenebrio molitor*

3.3 Επιλογή βασικής συνταγής

3.3.1 Βασικός διαχωρισμός

Στο αρχικό στάδιο της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές με στόχο την επιλογή της καταλληλότερης βασικής συνταγής για την μελλοντική παρασκευή των εμπλουτισμένων ζυμαρικών. Να σημειωθεί ότι τα παραγόμενα δείγματα βράστηκαν απευθείας για 10 λεπτά χωρίς προηγούμενη ξήρανση, ώστε να αξιολογηθεί η συμπεριφορά της ζύμης κατά το μαγείρεμα.

Η πρώτη δοκιμή έγινε με χρήση 100 gr σκληρού αλευριού και 53 gr αυγού. Η ζύμη που προέκυψε ήταν πιο σφιχτή και απαιτούσε περισσότερο χρόνο ζυμώματος, ενώ παρουσίαζε λιγότερη κολλώδη υφή. Η επεξεργασία της στο άνοιγμα ήταν πιο απαιτητική, καθώς το φύλλο παρουσίαζε μικρότερη ευκαμψία και απαιτούσε μεγαλύτερη πίεση για να διαμορφωθεί ομοιόμορφα. Μετά το βράσιμο, τα ζυμαρικά παρουσίασαν ελαφρώς ωχρό χρώμα. Η γεύση ήταν σχετικά ουδέτερη, χωρίς ιδιαίτερη ένταση, ενώ η υφή στο στόμα χαρακτηρίστηκε πιο σταθερή και λιγότερο απαλή, προσφέροντας μια αίσθηση συμπαγούς δαγκώματος, που δεν ταίριαζε με το προφίλ του τελικού προϊόντος που επιδιώκαμε.

Επειτα, δοκιμάστηκε η χρήση μαλακού αλεύρου για όλες τις χρήσεις και συγκεκριμένα 100 gr σε συνδυασμό με αυγό (περίπου 53-56 gr). Η παρασκευή της ζύμης αποδείχθηκε ιδιαίτερα εύκολη, με το μείγμα να ομογενοποιείται γρήγορα και να αποκτά ελαστική και εύπλαστη υφή. Το άνοιγμα της ζύμης πραγματοποιήθηκε χωρίς δυσκολία, με το φύλλο να διατηρεί ομοιογενές πάχος και να παρουσιάζει καλή αντοχή κατά τη διαμόρφωση σε μακαρόνια. Το τελικό προϊόν, μετά από βράσιμο, παρουσίασε ομοιόμορφο, απαλό χρυσαφένιο χρώμα. Η γεύση του ζυμαρικού χαρακτηρίστηκε ως ευχάριστη και ισορροπημένη, χωρίς ανεπιθύμητα αρώματα, ενώ η υφή στο στόμα ήταν μαλακή και λεπτή.

Στη συνέχεια, η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε με χρήση σιμιγδαλιού, το οποίο προσφέρει μεγαλύτερη αντοχή και σταθερότητα στη ζύμη λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε πρωτεΐνες γλουτένης. Η ζύμη δεν ήταν τόσο εύπλαστη όσο με το μαλακό αλεύρι, αλλά το άνοιγμα της ζύμης έγινε ομαλά. Κατά το βράσιμο, τα ζυμαρικά διατήρησαν πολύ καλά το σχήμα τους και παρουσίασαν ελαφρώς πιο τραχιά υφή στην επιφάνεια, χαρακτηριστικό του σιμιγδαλιού, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί αντιαισθητικό στοιχείο. Το τελικό προϊόν είχε ζεστό, έντονο χρώμα, με ελαφρώς “ψωμένα” επίγευση, που προσέδιδε χαρακτήρα και θύμιζε παραδοσιακά ζυμαρικά. Η υφή στο στόμα ήταν συμπαγής αλλά ισορροπημένη.

Με βάση λοιπόν τις παρατηρήσεις αυτές, αποκλείστηκε η χρήση του σκληρού αλευριού ως βάση για τα ζυμαρικά και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δύο ακόμα δοκιμές, με το αλεύρι για όλες τις χρήσεις και σιμιγδάλι αντίστοιχα, προκειμένου να διαπιστωθεί ποιο από τα δύο υλικά είναι καταλληλότερο για τη δημιουργία ζυμαρικών εμπλουτισμένων με εντομοπρωτεΐνη, τόσο από τεχνολογική όσο και από οργανοληπτική άποψη.

3.3.2 Επιλογή βάσης

Σε συνέχεια των δοκιμών, παρασκευάστηκε ζύμη με 5% αλεύρι από *Tenebrio molitor* και 95% αλεύρι για όλες τις χρήσεις, με την προσθήκη αυγού ως υγρό συστατικό. Η ζύμη ήταν εύπλαστη και επεξεργάσιμη, χωρίς δυσκολίες στο άνοιγμα ή τη διαμόρφωση. Το τελικό προϊόν μετά από απευθείας βράσιμο για 10 λεπτά διατήρησε τη δομή του χωρίς να διαλυθεί ή να χάσει το σχήμα του. Το χρώμα του ζυμαρικού ήταν ελαφρώς καφετί, θυμίζοντας αισθητικά τα προϊόντα ολικής άλεσης, ενώ στην επιφάνεια διακρίνονταν μικρά στίγματα από το εντομάλευρο, τα οποία δεν ήταν όμως

εύκολα αντιληπτά στο μάτι. Η γεύση του δείγματος διέφερε ελαφρώς από τα συμβατικά ζυμαρικά, χωρίς όμως να είναι δυσάρεστη.

Στην τελευταία δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε 5% αλεύρι από *Tenebrio molitor* και 95% σιμιγδάλι, η ζύμη εμφάνισε πιο κοκκώδη υφή και μεγαλύτερη δυσκολία στη ζύμωση λόγω της τραχύτητας του σιμιγδαλιού. Τελικά όμως η ζύμη ήταν επαρκώς συνεκτική και διαμορφώθηκε με σχετική ευκολία σε φύλλο και μορφή μακαρονιών. Τα ζυμαρικά που προέκυψαν είχαν θελκτικό, θερμό χρώμα με υποτόνους καφέ, παρόμοιο με εκείνο προϊόντων ολικής άλεσης. Τα στίγματα του εντομοαλεύρου ήταν ελαφρώς πιο εμφανή σε σχέση με τη δοκιμή με μαλακό αλεύρι, αλλά εξακολουθούσαν να μην δημιουργούν οπτική ενόχληση. Κατά το βράσιμο (10 λεπτά), τα ζυμαρικά διατηρήθηκαν σταθερά, χωρίς να κολλήσουν ή να διαλυθούν. Η γεύση τους ήταν πιο έντονη σε σχέση με την προηγούμενη δοκιμή, με ελαφρώς γεμάτη και «ψωμένια» επίγευση, χαρακτηριστική του σιμιγδαλιού, σε συνδυασμό με τη διακριτική παρουσία της πρωτεΐνης εντόμων. Η συνολική εντύπωση ήταν ικανοποιητική, με καλό δέσιμο υφής και γεύσης.

Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές, αποφασίστηκε η συνέχιση των δοκιμών με χρήση σιμιγδαλιού ως βασικό συστατικό της συνταγής, καθώς προσφέρει τεχνολογική σταθερότητα, καλύτερη συμπεριφορά κατά το μαγείρεμα, και γευστικό αποτέλεσμα πιο κοντά στα χαρακτηριστικά του παραδοσιακού ζυμαρικού. Επιπλέον, η υφή και η όψη των προϊόντων κρίθηκαν ιδιαίτερα ικανοποιητικές, υποστηρίζοντας την επιλογή του σιμιγδαλιού ως την καταλληλότερη βάση για την ανάπτυξη των εμπλουτισμένων ζυμαρικών.

3.3.3. Δοκιμή σιμιγδάλι 7%

Για τη δεύτερη δοκιμή με βάση το σιμιγδάλι, παρασκευάστηκε μίγμα που περιείχε 7% αλεύρι από *Tenebrio molitor* και 93% σιμιγδάλι. Προστέθηκε σταθερή ποσότητα αυγού (~53 g). Ακολούθησε ανάμιξη μέχρι να σχηματιστεί ζύμη, η οποία ελέγχθηκε ως προς την ευπλαστότητα και τη σταθερότητά της κατά το άνοιγμα του φύλλου.

3.3.4. Δοκιμή σιμιγδάλι 10%

Για την τρίτη δοκιμή, παρασκευάστηκε μίγμα που περιείχε 10% αλεύρι από *Tenebrio molitor* και 90% σιμιγδάλι. Διαμορφώθηκαν τα ζυμαρικά και αξιολογήθηκε η συμπεριφορά τους στο βράσιμο. Η προσθήκη αυτή είχε εμφανή επίδραση τόσο στη δομή της ζύμης όσο και στα τελικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των ζυμαρικών όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

3.3.5. Τελική πειραματική δοκιμή 8,5%

Έπειτα από τις προκαταρκτικές δοκιμές με 5%, 7% και 10% περιεκτικότητα σε εντομάλευρο, πραγματοποιήθηκε ενδιάμεση δοκιμή με 8,5% αλεύρι από *Tenebrio molitor* και 91,5% σιμιγδάλι, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της συνταγής. Η ζύμη αναμίχθηκε, ανοίχθηκε σε φύλλο και διαμορφώθηκαν ζυμαρικά.

3.4 Οργανοληπτικός Έλεγχος

Προκειμένου να αξιολογηθεί η καταλληλότητα και αποδοτικότητα της 8,5% προσθήκης εντομάλευρου, πραγματοποιήθηκε οργανοληπτικός έλεγχος με τη συμμετοχή εθελοντών, οι οποίοι καλούνταν να συμπληρώσουν την παρακάτω φόρμα. Οι συμμετέχοντες καλούνταν να δοκιμάσουν τα δείγματα και να συμπληρώσουν ένα τυποποιημένο ερωτηματολόγιο, το οποίο σχεδιάστηκε με σκοπό την αποτίμηση της καταναλωτικής αποδοχής των ζυμαρικών εμπλουτισμένων με αλεύρι *Tenebrio molitor*.

Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με χρήση της κλίμακας του 10 (1 = πολύ κακή/αρνητική – 10 = εξαιρετική/θετική) για κάθε χαρακτηριστικό. Τα επιμέρους κριτήρια που εξετάστηκαν ήταν:

- ✓ Εμφάνιση (γενική, ένταση και αποδοχή χρώματος, ομοιομορφία μορφής/σχήματος)
- ✓ Οσμή (ένταση και ποιότητα)
- ✓ Γεύση (γενική αποδοχή, ισορροπία ή ύπαρξη ανεπιθύμητων γεύσεων)
- ✓ Υφή (ευχάριστη υφή στο στόμα, βαθμός κολλητικότητας/γλιστρήματος)
- ✓ Συνολική προτίμηση σε σύγκριση με άλλα ζυμαρικά

Το ερωτηματολόγιο περιλάμβανε επίσης γενικές ερωτήσεις καταναλωτικού ενδιαφέροντος, όπως:

- ✓ Προτίμηση σε προϊόντα με αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη
- ✓ Δεκτικότητα ως προς τη χρήση εντομοπρωτεϊνών στη διατροφή
- ✓ Ενδεχόμενο ένταξης του προϊόντος σε διατροφή ατόμων που αθλούνται
- ✓ Πρόθεση κατανάλωσης και αγοράς

Τέλος, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να επιλέξουν έναν από τους βαθμούς συνολικής αποδοχής (μη αποδεκτό προϊόν / επιδέχεται βελτίωση / αποδεκτό προϊόν), καθώς και να καταγράψουν τυχόν σχόλια ή προτάσεις βελτίωσης.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν καταχωρήθηκαν ανώνυμα και αναλύθηκαν στατιστικά, με υπολογισμό μέσων όρων για κάθε κριτήριο.

Ερωτηματολόγιο οργανοληπτικής αξιολόγησης μακαρονιών	
<u>Οδηγίες:</u> Για κάθε ερώτηση, σημειώστε την αξιολόγησή σας σε μια κλίμακα από το 1 έως το 10.	
1. Φύλο	2. Ηλικία
☐ Άντρας ☐ Γυναίκα	☐ 18-22 ☐ 22-25 ☐ 25+
Εμφάνιση	
3. Πώς θα αξιολογούσατε την εμφάνιση του εμπλουτισμένου μακαρονιού σε σχέση με το συμβατικό;	
☐ 1 (πολύ κακή) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (μέτρια) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (άριστη)	
4. Πόσο έντονο σας φαίνεται το χρώμα;	
☐ 1 (πολύ αχνά) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (κανονικά) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (άριστο)	
5. Σας αρέσει το χρώμα;	
☐ 1 (αποκρουστικό) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (κανονικό) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (πολύ ελκυστικό)	
6. Η μορφή και το σχήμα των μακαρονιών είναι σωστά;	
☐ 1 (πολύ κακή) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (κανονικό) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (άψογα)	
Οσμή	
7. Πώς αξιολογείτε την μυρωδιά των ζυμαρικών;	
☐ 1 (καθόλου ευχάριστη) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (κανονική) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (άριστη)	
Γεύση	
8. Πώς σας φαίνεται η γενική γεύση των μακαρονιών;	
☐ 1 (άγευστα) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (κανονική) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (πολύ νόστιμα)	
9. Έχουν ισορροπημένη γεύση ή παραμένει κάτι πιο έντονο;	
☐ 1 (ανεπιθύμητη γεύση) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (αδιάφορη) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (άριστη)	
Υφή	
10. Πόσο ευχάριστη είναι η υφή των μακαρονιών όταν τα καταναλώνετε;	
☐ 1 (πολύ μαλακή) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (μέτρια) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (ιδανική)	
11. Είναι τα μακαρόνια κολλώδη ή γλιστερά;	
☐ 1 (πολύ κολλώδη) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (κανονικά) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (άψογα)	
12. Σε τι βαθμό θα το προτιμούσατε σε σχέση με άλλα ζυμαρικά;	
☐ 1 (δεν θα τα προτιμούσα) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (ίσως) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (σίγουρα)	
Γενικές ερωτήσεις	
13. Προτιμάτε προϊόντα με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη στην καθημερινότητά σας;	
☐ 1 (όχι) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (που και που) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (κάθε μέρα)	
14. Θα προτιμούσατε ζυμαρικά με αυξημένη πρωτεΐνη;	
☐ 1 (όχι) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (θα το σκεφτόμουν) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (σίγουρα ναι)	
15. Γυμνάζεστε; Εάν ναι, θα εντάσσατε το συγκεκριμένο ζυμαρικό (εμπλουτισμένο με εντομόλευρο) στο διατροφολόγιό σας; (Αν δεν γυμνάζεστε παραλείψτε αυτήν την ερώτηση και προχωρήστε στην επόμενη)	
☐ 1 (όχι) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (θα το σκεφτόμουν) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (σίγουρα ναι)	
16. Πόσο δεκτικοί είστε γενικά στην εισαγωγή ενός τέτοιου προϊόντος στην αγορά;	
☐ 1 (καθόλου) ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 (αδιάφορο) ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 (πάρα πολύ)	
17. Συνολική Αποδοχή	
☐ μη αποδεκτό προϊόν	
☐ επιδέχεται βελτίωση	
☐ αποδεκτό προϊόν	
Σχόλια ή προτάσεις για βελτίωση:	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	

Εικόνα 5 Ερωτηματολόγιο

Για την αξιολόγηση της τελικής συνταγής πραγματοποιήθηκε οργανοληπτικός έλεγχος με τη συμμετοχή 30 εθελοντών ηλικίας 18 έως 25+ ετών, ανδρών και γυναικών. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να συμπληρώσουν ανώνυμο ερωτηματολόγιο, βασισμένο σε κλίμακα 10 σημείων, μέσω της οποίας αξιολογήθηκαν επιμέρους οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των μαγειρεμένων ζυμαρικών.

Οι ερωτήσεις, πέρα από την οργανοληπτική αξιολόγηση, αφορούσαν και την αξιολόγηση χαρακτηριστικών όπως η προτίμηση σε πρωτεϊνούχα προϊόντα, η πρόθεση κατανάλωσης, η δεκτικότητα εισαγωγής στην αγορά και η πιθανή ένταξη στο διατροφολόγιο ατόμων που γυμνάζονται. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η αποδοχή του προϊόντος και η αντίδραση των καταναλωτών.

Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλή προτίμηση σε πρωτεϊνούχα προϊόντα (**M.O. = 7,14**), ενώ η πρόθεση κατανάλωσης των εμπλουτισμένων ζυμαρικών ήταν ακόμη υψηλότερη (**M.O. = 7,81**), υποδηλώνοντας ότι το προϊόν είναι ελκυστικό για τους καταναλωτές. Η δεκτικότητα για εισαγωγή στην αγορά παρουσίασε τον υψηλότερο μέσο όρο (**M.O. = 8,24**), γεγονός που δείχνει ότι η εμπορική επιτυχία θεωρείται εφικτή, ενώ η πρόθεση ένταξης στο διατροφολόγιο ατόμων που γυμνάζονται ήταν επίσης σημαντική (**M.O. = 7,79**), υπογραμμίζοντας την ελκυστικότητα του προϊόντος για καταναλωτές με ενεργό τρόπο ζωής.

Συνολικά, το 90% των συμμετεχόντων χαρακτήρισε το προϊόν ως «αποδεκτό», ενώ οι υπόλοιποι έκριναν ότι «επιδέχεται βελτίωση». Κανείς δεν το χαρακτήρισε ως «μη αποδεκτό». Τα δεδομένα αυτά υποδηλώνουν ότι το εμπλουτισμένο ζυμαρικό είναι γενικά αποδεκτό, παρουσιάζει υψηλή πρόθεση κατανάλωσης και εισαγωγής στην αγορά και είναι κατάλληλο για το κοινό στόχο των ατόμων που ενδιαφέρονται για διατροφή και άσκηση. Οι μικρές παρατηρήσεις για βελτίωση μπορούν να καθοδηγήσουν μελλοντικές τροποποιήσεις, όπως η λεπτομερέστερη προσαρμογή της υφής ή της έντασης γεύσης, ώστε να αυξηθεί ακόμα περισσότερο η αποδοχή.

4. Αποτελέσματα συζήτηση

4.1.1. Αποτελέσματα δοκιμή 7%

Το χρώμα του τελικού προϊόντος ήταν πιο σκούρο, με πιο έντονες καφέ αποχρώσεις και ορατά στίγματα από το εντομοαλεύρο. Χρειάστηκε μαγείρεμα για 10 λεπτά που απέδωσε σταθερά και καλοσχηματισμένα ζυμαρικά, με καλή συνοχή και χωρίς διαλυτοποίηση στο νερό, παρά μόνο διακριτό αφρισμό κατά το βράσιμο.

Η γεύση τους ήταν πιο χαρακτηριστική σε σχέση με τα δείγματα χαμηλότερης περιεκτικότητας· διατηρούσε την ευχάριστη βάση του σιμιγδαλιού, με απαλή, αλλά πιο αναγνωρίσιμη επίγευση εντόμων. Η υφή και γεύση ήταν συμπαγής αλλά ισορροπημένη, χωρίς πικράδα, με μια ελαφριά αίσθηση στυφότητας κατά την κατάποση.

4.1.2. Αποτελέσματα δοκιμής 10%

Το δείγμα με 10% εντομάλευρο παρουσίασε σημαντικές τεχνολογικές δυσκολίες και περιορισμένη αισθητική και γευστική αποδοχή, γεγονός που οδήγησε στην απόρριψη αυτού του ποσοστού για την τελική συνταγή.

Η ζύμη ήταν αισθητά πιο μαλακή και υγρή, με έντονη κολλητικότητα, γεγονός που δυσκόλεψε ιδιαίτερα την πλάση. Χρειάστηκε προσεκτικός χειρισμός και υπήρχαν αρκετές αστοχίες. Το χρώμα των ζυμαρικών ήταν πιο σκούρο και θολό, με ορατά στίγματα και έναν εντονότερο καφέ τόνο, λιγότερο ελκυστικό αισθητικά σε σχέση με τα προηγούμενα δείγματα. Κατά το βράσιμο, τα ζυμαρικά είχαν τάση να χάνουν το διακριτό σχήμα τους και παρατηρήθηκε πως το νερό στο οποίο έβραζαν έγινε θολό-καφετί. Η γεύση ήταν πλέον σαφώς διαφοροποιημένη από τα κλασικά ζυμαρικά. Η παρουσία του εντομοαλεύρου έγινε αισθητή τόσο αρωματικά όσο και γευστικά· θα μπορούσε κανείς να την χαρακτηρίσει και «μεταλλική».

4.1.3. Αποτελέσματα τελικής δοκιμής 8,5%

Το τελικό προϊόν εμφάνιζε, καφέ-χρυσωπό χρώμα, διακριτικά στίγματα από το εντομάλευρο και συνολική αισθητική παρόμοια με προϊόντα ολικής άλεσης. Η γεύση είχε ήπια διαφοροποίηση σε σχέση με τα συμβατικά ζυμαρικά, αλλά ταυτόχρονα αρμονική και ισορροπημένη, χωρίς ενόχληση ή ανεπιθύμητες νότες.

Η ζύμη που προέκυψε ήταν αρκετά εύπλαστη, με ελαφρά κολλώδη υφή αλλά χωρίς να υπάρχει ιδιαίτερη δυσκολία στη διαμόρφωσή της. Κατά την επεξεργασία της, το φύλλο άνοιγε με σχετική ευκολία και η μορφοποίηση των ζυμαρικών πραγματοποιήθηκε χωρίς προβλήματα.

Η συγκεκριμένη δοκιμή συγκέντρωσε τις θετικότερες εντυπώσεις σε επίπεδο γεύσης, εμφάνισης και υφής και επιλέχθηκε ως η τελική βέλτιστη συνταγή για τη συνέχιση του πειραματικού μέρους και την εφαρμογή του οργανοληπτικού ελέγχου.



Εικόνα 6 Τελικό προϊόν δοκιμής

4.2. Υπολογισμός θρεπτικής αξίας τελικού προϊόντος

❖ Τελική Σύνθεση Συνταγών

✓ Απλό μακαρόνι:

- 100% σιμιγδάλι σκληρού σίτου
- ~56 g αυγό ανά 100 g σιμιγδαλιού

✓ Εμπλουτισμένο μακαρόνι:

- 8,5% αλεύρι *Tenebrio molitor*
- 91,5% σιμιγδάλι (με βάση την αντικατάσταση)
- ~56 g αυγό (σταθερό όπως στην απλή συνταγή)

❖ Διατροφικές Τιμές βάσει Βιβλιογραφίας

Σιμιγδάλι (ανά 100 g)	Αυγό (ολόκληρο, ωμό, ανά 100 g)	Αλεύρι <i>Tenebrio molitor</i> (ανά 100 g ξηρής ουσίας)
- Ενέργεια: ~360 kcal - Πρωτεΐνη: 12–13 g - Λίπος: 1,0–1,5 g - Υδατάνθρακες: ~72–73 g	- Ενέργεια: 143 kcal - Πρωτεΐνη: 12,6 g - Λίπος: 9,5–10 g - Υδατάνθρακες: 1,1 g	- Ενέργεια: 500–535 kcal - Πρωτεΐνη: 50–55 g - Λίπος: 25–30 g - Υδατάνθρακες: 6–8 g

❖ Υπολογισμοί (αναγωγή ανά 100 g τελικού προϊόντος “ξηρής συνταγής”)

1. Απλό Μακαρόνι (100 g σιμιγδάλι + 56 g αυγό)

- Ενέργεια: $(100 \times 360 / 100) + (56 \times 143 / 100) = 440 \text{ kcal περίπου}$
- Πρωτεΐνη: $(100 \times 12,5 / 100) + (56 \times 12,6 / 100) = 19,5 \text{ g}$
- Λίπος: $(100 \times 1,3 / 100) + (56 \times 10 / 100) = 6,9 \text{ g}$
- Υδατάνθρακες: $(100 \times 72 / 100) + (56 \times 1,1 / 100) = 72,6 \text{ g}$

\

2. Εμπλουτισμένο Μακαρόνι (91,5 g σιμιγδάλι + 8,5 g *T. molitor* + 56 g αυγό)

- Ενέργεια:
 - Σιμιγδάλι: $91,5 \times 360 / 100 = 329 \text{ kcal}$
 - Εντομοαλεύρι: $8,5 \times 520 / 100 = 44 \text{ kcal}$
 - Αυγό: $56 \times 143 / 100 = 80 \text{ kcal}$
 - Σύνολο: 453 kcal περίπου**
- Πρωτεΐνη:
 - Σιμιγδάλι: $91,5 \times 12,5 / 100 = 11,4 \text{ g}$
 - Εντομοαλεύρι: $8,5 \times 52 / 100 = 4,4 \text{ g}$
 - Αυγό: $56 \times 12,6 / 100 = 7,1 \text{ g}$
 - Σύνολο: 22,9 g**
- Λίπος:
 - Σιμιγδάλι: $91,5 \times 1,3 / 100 = 1,2 \text{ g}$
 - Εντομοαλεύρι: $8,5 \times 27 / 100 = 2,3 \text{ g}$
 - Αυγό: $56 \times 10 / 100 = 5,6 \text{ g}$

- **Σύνολο: 9,1 g**
- Υδατάνθρακες:
 - Σιμιγδάλι: $91,5 \times 72 / 100 = 65,9 \text{ g}$
 - Εντομοαλεύρι: $8,5 \times 7 / 100 = 0,6 \text{ g}$
 - Αυγό: $56 \times 1,1 / 100 = 0,6 \text{ g}$
 - **Σύνολο: 67,1 g**

❖ **Συγκριτικός Πίνακας (ανά ~156 g συνταγής → αναγωγή σε 100 g τελικού προϊόντος θα δώσει περίπου τα ίδια ποσοστά)**

Σύνθεση (ανά 156 g ζύμης)	Ενέργεια (kcal)	Πρωτεΐνη (g)	Λίπος (g)	Υδατάνθρακες (g)
Απλό μακαρόνι	~440	~19,5	~6,9	~72,6
Εμπλουτισμένο (8,5%)	~453	~22,9	~9,1	~67,1

Παρατηρούμε ότι το εμπλουτισμένο έχει:

- **+3,4 g πρωτεΐνη**
- **+2,2 g λίπος** (κυρίως από το έντομο)
- **-5,5 g υδατάνθρακες**
- **+13 kcal συνολικά**

❖ **Τιμές ανά 100gr προϊόντος**

- Ενέργεια: **290 kcal**
- Πρωτεΐνη: **14,68 g**
- Λίπος: **5,83 g**
- Υδατάνθρακες: **43,01 g**

❖ **Υπολογισμός ενέργειας από κάθε μακροθρεπτικό**

- Πρωτεΐνη: $14,68 \times 4 = \mathbf{58,72 \text{ kcal}}$
- Υδατάνθρακες: $43,01 \times 4 = 172,04 \text{ kcal}$
- Λίπος: $5,83 \times 9 = 52,47 \text{ kcal}$

Άθροισμα = $283,23 \text{ kcal} \approx \mathbf{290 \text{ kcal}}$

Ποσοστό = $58,7/290 \times 100 = 20,2\%$ → υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη

❖ **Για το απλό ζυμαρικό, αντίστοιχα:**

- Πρωτεΐνη: $12,5 \text{ g} \times 4 = 50 \text{ kcal}$
- Ενέργεια: 282 kcal

Ποσοστό = $50 / 282 \times 100 = 17,7\%$ → άρα μόνο «πηγή πρωτεΐνης», όχι «υψηλή περιεκτικότητα».

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως στόχο τη μελέτη της ενσωμάτωσης αλεύρου από το έντομο *Tenebrio molitor* σε ζυμαρικά και την αξιολόγηση της επίδρασής του στη διατροφική τους αξία. Στο πλαίσιο των πειραματικών δοκιμών πραγματοποιήθηκαν εμπλουτισμοί με διαφορετικά ποσοστά εντομοαλεύρου (5%, 7% και 10%), με στόχο να διερευνηθεί η τεχνολογική συμπεριφορά για να καταλήξουμε σε ένα καταναλωτικά αποδεκτό προϊόν. Από τις δοκιμές αυτές προέκυψε ότι η προσθήκη αλεύρου από το βρώσιμο έντομο *Tenebrio molitor* στο 8,5% αποτέλεσε τη βέλτιστη επιλογή, καθώς εξασφάλισε ικανοποιητική υφή, εμφάνιση και διαχειρισιμότητα του προϊόντος, χωρίς να παρουσιάζονται σοβαρά προβλήματα στη διαδικασία παραγωγής.

Η σύγκριση ανάμεσα στο απλό ζυμαρικό, που παρασκευάστηκε με σιμιγδάλι και αυγό, και στο εμπλουτισμένο ζυμαρικό, ανέδειξε ουσιαστικές διαφορές. Συγκεκριμένα, το εμπλουτισμένο προϊόν παρουσίασε αύξηση της πρωτεϊνικής περιεκτικότητας κατά περίπου 17% σε σχέση με το απλό ζυμαρικό, γεγονός που το καθιστά πιο ελκυστικό από διατροφική σκοπιά. Παράλληλα, καταγράφηκε αύξηση της περιεκτικότητας σε λιπίδια, η οποία οφείλεται κυρίως στα ωφέλιμα ακόρεστα λιπαρά οξέα των εντόμων (Rumpold & Schlüter, 2013), ενώ παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση των υδατανθράκων λόγω της μερικής αντικατάστασης του σιμιγδαλιού. Η θερμιδική αξία διαφοροποιήθηκε ελάχιστα, παρουσιάζοντας μια οριακή αύξηση περίπου 8 kcal ανά 100 g προϊόντος, τιμή που δεν θεωρείται διατροφικά σημαντική.

Από τη συνολική ανάλυση προκύπτει ότι το εμπλουτισμένο ζυμαρικό διαθέτει βελτιωμένο διατροφικό προφίλ, με αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και ευεργετικά λιπαρά, χωρίς να διαφοροποιείται αισθητά ως προς την ενεργειακή του αξία. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αναδεικνύει τον ρόλο των βρώσιμων εντόμων ως εναλλακτικής και βιώσιμης πηγής πρωτεΐνης, με προοπτικές αξιοποίησης σε καινοτόμα τρόφιμα που ανταποκρίνονται στις ανάγκες του σύγχρονου καταναλωτή. Η ενσωμάτωση εντομοαλεύρου σε ζυμαρικά συμβάλλει όχι μόνο στη διατροφική ενίσχυση του προϊόντος αλλά και στην προώθηση βιώσιμων λύσεων, καθώς η εκτροφή εντόμων εμφανίζει σημαντικά χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σχέση με τις παραδοσιακές ζωικές πρωτεΐνες.

Επιπλέον, η αξιολόγηση βάσει της ισχύουσας ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τους ισχυρισμούς διατροφής (Κανονισμός (ΕΚ) 1924/2006) έδειξε ότι το εμπλουτισμένο ζυμαρικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως «υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη», καθώς το 20,2% της συνολικής του ενέργειας προέρχεται από πρωτεΐνη. Αντιθέτως, το απλό ζυμαρικό πληροί τα κριτήρια μόνο για τον ισχυρισμό «πηγή πρωτεΐνης», καθώς το ποσοστό ενέργειας από πρωτεΐνες ανέρχεται σε 17,7%. Το εύρημα αυτό ενισχύει την εμπορική αξία του εμπλουτισμένου προϊόντος, καθώς η χρήση του σχετικού ισχυρισμού μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πλεονέκτημα στην αγορά λειτουργικών και υγιεινών τροφίμων.

Εκτός από την πειραματική διαδικασία, η εργασία περιλάμβανε και μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, στην οποία εξετάστηκαν η διατροφική αξία του *Tenebrio molitor*, η σχέση του με την αντιμετώπιση της παγκόσμιας διατροφικής κρίσης, προηγούμενες εφαρμογές του σε τρόφιμα, καθώς και η ισχύουσα νομοθεσία που διέπει τη χρήση βρώσιμων εντόμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η συνδυαστική αυτή προσέγγιση προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα γύρω από τις δυνατότητες και τις προοπτικές αξιοποίησης του *Tenebrio molitor* στη βιομηχανία τροφίμων, αναδεικνύοντας τόσο τα οφέλη όσο και τις προκλήσεις που παραμένουν ανοιχτές για μελλοντική έρευνα.

Συνολικά, η παρούσα εργασία καταδεικνύει ότι η ενσωμάτωση *Tenebrio molitor* σε ζυμαρικά, ακόμη και σε διαφορετικά επίπεδα εμπλουτισμού, αποτελεί μια ρεαλιστική και καινοτόμα επιλογή για την ανάπτυξη τροφίμων με υψηλότερη θρεπτική αξία. Τα αποτελέσματα ενισχύουν την άποψη ότι τα βρώσιμα έντομα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον της ανθρώπινης διατροφής, τόσο από άποψη υγείας όσο και από πλευράς βιωσιμότητας του συστήματος τροφίμων.

6. Βιβλιογραφία

- A. van Huis, J. V. I. H. K. E. M. A. H. G. M. P. V. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security*.
- Caparros Megido, R., Gierts, C., Blecker, C., Brostaux, Y., Haubruge, É., Alabi, T., & Francis, F. (2016). Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference*, 52, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>
- Carolyn Opio. (2016). *FAO's work on climate change: Livestock and climate change*.
- Delvendahl, N., Rumpold, B. A., & Langen, N. (2022). Edible Insects as Food–Insect Welfare and Ethical Aspects from a Consumer Perspective. *Insects*, 13(2), 121. <https://doi.org/10.3390/insects13020121>
- Gahukar, R. T. (2011). Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science*, 31(3), 129–144. <https://doi.org/10.1017/S1742758411000257>
- Ghosh et al., 2017 (Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 57: 1297–1308)
- Gkinali, A. A., Matsakidou, A., Vasileiou, E., & Paraskevopoulou, A. (2022). Potentiality of *Tenebrio molitor* larva-based ingredients for the food industry: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 119, pp. 495–507). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.024>
- Grau, T., Vilcinskis, A. & Joop, G. (2017). Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9-10), 337-349. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0033>
- Hong, J., Han, T., & Kim, Y. Y. (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor* larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: A review. In *Animals* (Vol. 10, pp. 1–20). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ani10112068>
- IPIFF. (2024). International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF). (n.d.). Promoting insects for human consumption & animal feed. IPIFF. Retrieved October 17, 2024, from <https://ipiff.org/>.
- Jankauskienė, A., Kiseliovienė, S., Aleknavičius, D., Miliūnaitė, I., Kerzienė, S., Gaižauskaitė, Ž., Juknienė, I., Zavitzanavičiūtė, P., & Kabašinskienė, A. (2025). Correction: Jankauskienė et al. Innovative Applications of *Tenebrio molitor* Larvae in the Production of Sustainable Meat Sausages: Quality and Safety Aspects. *Foods* 2024, 13, 1451. *Foods*, 14(8), 1376. <https://doi.org/10.3390/foods14081376>
- Kelemu, S., Niassy, S., Torto, B., Fiaboe, K., Affognon, H., Tonnang, H., Maniania, N. K., & Ekesi, S. (2015). African edible insects for food and feed: inventory,

- diversity, commonalities and contribution to food security. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(2), 103–119. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0016>
- Klobučar, T., & Fisher, D. N. (2023). When Do We Start Caring About Insect Welfare? *Neotropical Entomology*, 52(1), 5–10. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-01023-z>
- Mihaly Cozmuta, A., Uivarasan, A., Peter, A., Nicula, C., Kovacs, D. E., & Mihaly Cozmuta, L. (2023). Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Powder Promotes a High Bioaccessible Protein Fraction and Low Glycaemic Index in Biscuits. *Nutrients*, 15. <https://doi.org/10.3390/nu15040997>
- Muñoz-Seijas, N., Fernandes, H., López-Periago, J. E., Outeiriño, D., Morán-Aguilar, M. G., Domínguez, J. M., & Salgado, J. M. (2024). Characterization of all life stages of *Tenebrio molitor*: Envisioning innovative applications for this edible insect. *Future Foods*, 10, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100404>
- Roncolini, A., Milanović, V., Cardinali, F., Osimani, A., Garofalo, C., Sabbatini, R., Clementi, F., Pasquini, M., Mozzon, M., Foligni, R., Raffaelli, N., Zamporlini, F., Minazzato, G., Trombetta, M. F., Van Buitenen, A., Van Campenhout, L., & Aquilanti, L. (2019). Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. *PLOS ONE*, 14(2), e0211747. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211747>
- Rumpold & Schlüter, 2013 (Food Res. Int. 50: 450–471)
- Syahrulawal, L., Torske, M. O., Sapkota, R., Næss, G., & Khanal, P. (2023). Improving the nutritional values of yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae as an animal feed ingredient: a review. In *Journal of Animal Science and Biotechnology* (Vol. 14). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00945-x>
- Tian, J. (Jingxin), Bryksa, B. C., & Yada, R. Y. (2016). Feeding the world into the future – food and nutrition security: the role of food science and technology. *Frontiers in Life Science*, 9(3), 155–166. <https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1174958>
- van Broekhoven, S. (2015). *Quality and safety aspects of mealworms as human food* [Wageningen University]. <https://doi.org/10.18174/363193>
- van Huis, A. (2016). Edible insects are the future? *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 294–305. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000069>
- Xie, X., Yuan, Z., Fu, K., An, J., & Deng, L. (2022). Effect of Partial Substitution of Flour with Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Powder on Dough and Biscuit Properties. *Foods*, 11. <https://doi.org/10.3390/foods11142156>

Zielińska, E., & Pankiewicz, U. (2020). Nutritional, physiochemical, and antioxidative characteristics of shortcake biscuits enriched with *Tenebrio molitor* flour. *Molecules*, 25. <https://doi.org/10.3390/molecules25235629>

Τζανακάκης. (1995). *Εντομολογία*.

https://ikee.lib.auth.gr/record/309223/files/GRI-2019-26136.pdf?fbclid=IwY2xjawMqexJleHRuA2FlbQIxMABicmlkETByb0k4RWYxbzFZOFBidEdVAR7aWvpZ2YbIaEll_fPbpiqsdgh8pZG1G31f55ZomUR1DGZdLHVIj8s-KutEPw_aem_UAU2iEqGdJQNC-7fVyRNYQ

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666833524001102>

<http://www.sugarglider.com/gliderpedia/index.asp?MealWorm>