



ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αξιοποίηση Αλεύρου από το Βρώσιμο Έντομο *Tenebrio molitor* ως
Εναλλακτική και Βιώσιμη Πηγή Θρεπτικών Συστατικών για την
Ανάπτυξη Βιολειτουργικού Τροφίμου: Αξιολόγηση Φυσικοχημικών
Χαρακτηριστικών, Διατροφικής Σύστασης, Βιολογικής Δράσης
και Οργανοληπτικών Χαρακτηριστικών**

**Utilization of Flour from the Edible Insect *Tenebrio molitor* as an
Alternative and Sustainable Source of Nutrients for the Development of
Biofunctional Food: Evaluation of Physicochemical Properties,
Nutritional Composition, Biological Activity
and Organoleptic Characteristics**

ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ ΕΥΦΡΟΣΥΝΗ-ΕΛΠΙΝΙΚΗ ΑΜ: 2819121

ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΘΩΜΑΣ ΑΜ: 2819139

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΤΖΗΜΗΤΑΚΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑ 2024-2025

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά τη χειμερινή περίοδο του Ακαδημαϊκού Έτους 2023 - 2024, στα πλαίσια των Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το αντικείμενο της μελέτης είναι η αξιοποίηση του αλεύρου *Tenebrio molitor* ως εναλλακτική και βιώσιμη πηγή θρεπτικών συστατικών για τον εμπλουτισμό chutney ντομάτας και αξιολόγηση της διατροφικής της αξίας.

Με την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ειλικρινή μας ευγνωμοσύνη σε όλους όσους μας στήριξαν κατά τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας. Πρώτα και κύρια, ευχαριστούμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας, κ. Θ. Χατζημητάκο και την συνεπιβλέπουσα υποψήφια διδάκτορα κα. Κ. Κωτσού για την αμέριστη καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και την εμπιστοσύνη που μας έδειξαν σε κάθε στάδιο της εργασίας μας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας, που υπήρξαν στήριγμα σε κάθε μας βήμα, παρέχοντάς μας πλήρη ηθική και υλική στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας. Η πίστη τους σε εμάς υπήρξε καταλυτική στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Τέλος, ευχαριστούμε ο ένας τον άλλον για την μεταξύ μας πολύτιμη συντροφικότητα, την άψογη συνεργασία και τη διαρκή κατανόηση που μοιραστήκαμε, κατά την περίοδο εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	viii
Abstract	x
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Η παγκόσμια διατροφική κρίση και οι νέες προκλήσεις του 21ου αιώνα.....	1
1.2 Ιστορική αναδρομή της εντομοφαγίας.....	4
1.3 Η σημασία εκτροφής εδώδιμων εντόμων στην προστασία του περιβάλλοντος	6
1.4 Τροφική νεοφοβία	10
1.5 Η αξία των θρεπτικών συστατικών στην διατροφή του ανθρώπου.....	12
1.5.1 Μακροθρεπτικά συστατικά	12
1.5.1.1 Πρωτεΐνες	12
1.5.1.2 Υδατάνθρακες	13
1.5.1.3 Λιπίδια	14
1.5.2 Μικροθρεπτικά συστατικά	15
1.5.2.1 Βιταμίνες.....	15
1.5.2.2 Ανόργανα στοιχεία	17
1.6 Διατροφικά οφέλη των εδώδιμων εντόμων.....	18
1.7 Κίτρινος αλευροσκώληκας- <i>Tenebrio molitor</i>	22
1.7.1 Ο βιολογικός κύκλος.....	22
1.7.2 Συνθήκες ανάπτυξης.....	23
1.7.3 Διατροφικές συνήθειες.....	25
1.7.4 Θρεπτική αξία.....	25
1.7.5 Αξιοποίηση του <i>Tenebrio molitor</i> σε ζωοτροφές και στην ανθρώπινη διατροφή.....	29
1.8 Νομοθεσία	31
1.9 Εμπλουτισμός τροφίμων με <i>Tenebrio molitor</i>	33
1.9.1 Αρτοσκευάσματα.....	34
1.9.1.1 Ψωμί	34
1.9.1.2 Μπισκότα.....	35
1.9.1.3 Κράκερ.....	37
1.9.1.4 Μπάρες	38
1.9.1.5 Κέικ-Παντεσπάνι.....	39
1.9.2 Κρέας	40
1.9.2.1 Μπιφτέκι.....	40
1.9.2.2 Λουκάνικα.....	40
1.9.3 Σάλτσα σόγιας.....	41

1.9.4 Γαλακτοκομικά προϊόντα.....	42
1.9.4.1 Γάλα.....	42
1.9.4.2 Αλειφόμενο τυρί.....	43
1.9.4.3 Παγωτό	45
1.9.5 Λάδι	45
1.9.6 Σούπες	46
2. Σκοπός.....	48
3. Πειραματικό μέρος.....	50
3.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός.....	50
3.2 Χημικές ουσίες και αντιδραστήρια	51
3.3 Προετοιμασία δειγμάτων	52
3.3.1 Παρασκευή αλεύρου εντόμου.....	52
3.3.2 Παρασκευή Chutney ντομάτας.....	53
3.4 Οργανοληπτικός Έλεγχος	56
3.5 Προσδιορισμός περιεκτικότητας πρωτεϊνών (Μέθοδος Bradford).....	57
3.6 Προσδιορισμός περιεκτικότητας υδατανθράκων (Μέθοδος φαινόλης/θεικού οξέος) .	58
3.7 Προσδιορισμός περιεκτικότητας τέφρας	59
3.8 Προσδιορισμός υγρασίας.....	60
3.9 Προσδιορισμός ολικού λίπους και επιμέρους λιπαρών οξέων.....	60
3.10 Προσδιορισμός περιεκτικότητας βιταμίνης C.....	63
3.11 Προσδιορισμός περιεκτικότητας β-καροτενίου	64
3.12 Προσδιορισμός ολικών πολυφαινόλων.....	65
3.13 Εκτίμηση της συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας (FRAP).....	66
4. Αποτελέσματα-Συζήτηση.....	67
4.1 Βελτιστοποίηση συνταγής και προκαταρκτικά αποτελέσματα	67
4.2 Αποτελέσματα προσδιορισμού πρωτεϊνών	73
4.3 Αποτελέσματα προσδιορισμού υδατανθράκων.....	74
4.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού υγρασίας- τέφρας	75
4.5 Αποτελέσματα προσδιορισμού ολικού λίπους και των επιμέρους λιπαρών οξέων.....	77
4.6 Αποτελέσματα προσδιορισμού βιταμίνης C	79
4.7 Αποτελέσματα προσδιορισμού β καροτενίου	81
4.8 Αποτελέσματα προσδιορισμού ολικών πολυφαινόλων	82
4.9 Αποτελέσματα προσδιορισμού συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας.....	83
4.10 Υπολογισμός ενεργειακού περιεχομένου.....	85
5. Συμπεράσματα	87

6. Βιβλιογραφία	88
-----------------------	----

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Καταγεγραμμένος αριθμός ειδών βρώσιμων εντόμων ανά χώρα [14].....	6
Εικόνα 2. Παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου ανά κιλό προστιθέμενης μάζας για τρία είδη εντόμων, χοίρους και βοοειδή[15].....	7
Εικόνα 3. Οι ελάχιστες απαιτούμενες ποσότητες γης, τροφής και νερού, καθώς και η μεγαλύτερη απόδοση μετατροπής της τροφής σε σωματική μάζα των εντόμων σε σχέση με τα παραγωγικά ζώα[2,24–28].	8
Εικόνα 4. Οι διαφορετικές οπτικές γωνίες των καταναλωτών αναφορικά με την κατανάλωση εδώδιμων εντόμων [58].....	11
Εικόνα 5. Η μοριακή δομή των εννέα απαραίτητων αμινοξέων για τον ανθρώπινο οργανισμό[62].	13
Εικόνα 6. Χημική δομή της χιτίνης [63]	14
Εικόνα 7. Χημική δομή του ελαϊκού οξέος (ω-9), λινελαϊκού οξέος (ω-6) και λινολενικού οξέος (ω-3) [64].....	15
Εικόνα 8. Χημική δομή των υδατοδιαλυτών και λιποδιαλυτών βιταμινών (A,D,E,K) [65]...	17
Εικόνα 9. Η κατανομή των ειδών εδώδιμων εντόμων σε παγκόσμιο επίπεδο, ανά ταξινομική σειρά. Το γκρι αντιπροσωπεύει >500 είδη, το μπλε 100-499 είδη, το πορτοκαλί 50-99 είδη και το πράσινο 1-49 είδη[73].	19
Εικόνα 10. Ο βιολογικός κύκλος του <i>Tenebrio molitor</i> [99].....	23
Εικόνα 11. Αξιοποίηση του <i>Tenebrio molitor</i> στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας για την προώθηση της βιωσιμότητας.....	31
Εικόνα 12. Φέτες ψωμί που προέκυψαν από συνθέσεις ζυμαριών με τη χρήση αλεύρου σίτου (w) ή διαφορετικών μειγμάτων αλεύρου σίτου και 5% ή 10% άλευρο <i>Tenebrio molitor</i> (M) αναμειγμένων με μαγιά αρτοποιού ως ζυμωτικά μέσα και προζύμι (S)[150].	35
Εικόνα 13. Μπισκότα που παρασκευάστηκαν με διαφορετικές αναλογίες αλεύρου <i>Tenebrio molitor</i> και αλεύρου σίτου (C-δείγμα ελέγχου-M3-προσθήκη 15g αλεύρου <i>Tenebrio molitor</i> -M2- προσθήκη 20g αλεύρου <i>Tenebrio molitor</i> -M1- προσθήκη 30g αλεύρου <i>Tenebrio molitor</i>)[152].....	36
Εικόνα 14. Κράκερ που περιείχαν 2 έως 20% άλευρο <i>Tenebrio molitor</i> (% w/w), καθώς και το δείγμα ελέγχου (απουσία άλευρο εντόμου)[154].	37
Εικόνα 15. Κέικ από αλεύρι σίτου (SC) και κέικ με 10% (TMC10) και 20% (TMC20) προσθήκη αλεύρου <i>Tenebrio molitor</i> A) γενική εμφάνιση, B) εικόνες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) της δομής των κέικ [157].....	39
Εικόνα 16. Σύγκριση μεταξύ γάλακτος εντόμων (A) και γάλακτος βοοειδών (B)[144].	43
Εικόνα 17. Τα δείγματα με ετικέτες από C1 έως C9, περιείχαν διαφορετικές αναλογίες πρωτεΐνης γάλακτος, συμπυκνωμένης πρωτεΐνης φασολιών faba και αλεύρου εντόμων (MPC/FBP/IF): C1 (100/0/0), C2 (50/50/0), C3 (0/50/50), C4 (50/0/50), C5 (75/0/25), C6 (75/25/0), C7 (25/50/25), C8 (25/25/50) και C9 (50/25/25)[166].....	44
Εικόνα 18. Λάδι από <i>Tenebrio molitor</i> εκχυλισμένο με n-εξάνιο[145].....	46
Εικόνα 19. Παρασκευή αλεύρου <i>Tenebrio molitor</i> A) Προζυγισμένες προνύμφες σε μεταλλικά δισκία, B) Τοποθέτηση των δισκίων με τις προνύμφες σε λυοφιλιωτή Biobase BK-FD10P C) Το άλευρο έπειτα από άλεσμα των αποξηραμένων προνυμφών.	52
Εικόνα 20. Στάδια παρασκευής chutney ντομάτας των αρχικών δειγμάτων control, 5,10,15% άλευρο εντόμου.	53
Εικόνα 21. Δείγματα chutney ντομάτας με αντικατάσταση του ξυδιού από βαλσάμικο, control (A), 2,5 (B), 5% (Γ) άλευρο εντόμου.	54

Εικόνα 22. Τελικά δείγματα chutney ντομάτας control (Α), 2,5 (Β), 5% (Γ) άλευρο εντόμου.	55
Εικόνα 23. Ποσοτικός προσδιορισμός πρωτεϊνών των τριών δειγμάτων με την μέθοδο Bradford.	57
Εικόνα 24. Στιγμιότυπο της αντίδρασης μεταξύ των δειγμάτων και μείγματος φαινόλης/θεικού οξέος, κατά την παραμονή τους σε υδατόλουτρο, για τον ποσοτικό προσδιορισμό των υδατανθράκων.	58
Εικόνα 25. Α) Δείγματα στο πυριατήριο πριν την καύση και Β) Τα δείγματα μετά την καύση για τον προσδιορισμό της τέφρας.	59
Εικόνα 26. Α) Δείγματα μετά από εκχύλιση και φυγοκέντριση, Β) Απολίπανση με περιστροφικό εξατμιστήρα (rotary evaporator), Γ) Τελικά δείγματα για τον προσδιορισμό των ολικών λιπών.	62
Εικόνα 27. Στάδια προσδιορισμού βιταμίνης C των τριών δειγμάτων με την μέθοδο Folin-Ciocalteu.	63
Εικόνα 28. Στάδια προσδιορισμού β-καροτενίου των τριών δειγμάτων.	64
Εικόνα 29. Στάδια προσδιορισμού των ολικών πολυφαινόλων των τριών δειγμάτων με την μέθοδο Folin-Ciocalteu.	65
Εικόνα 30. Στάδια προσδιορισμού αντιοξειδωτικής ικανότητας των τριών δειγμάτων με την μέθοδο FRAP.	66

Περίληψη

Η παρούσα εργασία διερευνά την αξιοποίηση του αλεύρου από τον κίτρινο αλευροσκώληκα (*Tenebrio molitor*) για τον εμπλουτισμό της chutney ντομάτας, με σκοπό την ενίσχυση της διατροφικής της αξίας και την προώθηση βιώσιμων εναλλακτικών στη βιομηχανία τροφίμων. Στην εισαγωγή αναλύεται η παγκόσμια διατροφική κρίση και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο πλανήτης, λόγω του υπερπληθυσμού και της κλιματικής αλλαγής, ενώ εξετάζεται και η ιστορική αναδρομή της εντομοφαγίας, η οποία αν και συνηθισμένη σε πολλές περιοχές του κόσμου, παραμένει προκατάληψη στη Δύση. Ακόμα, τονίζεται η σημασία της εκτροφής εδώδιμων εντόμων για τη διατροφική ασφάλεια και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος από την παραγωγή ζωικών τροφίμων. Στη συνέχεια, γίνεται λεπτομερής παρουσίαση του εντόμου, όπου αναλύεται ο βιολογικός κύκλος, οι συνθήκες ανάπτυξης και οι διατροφικές συνήθειές του, υπογραμμίζοντας τη θρεπτική του αξία σε μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά. Στην ενότητα της νομοθεσίας, εξετάζεται η ρυθμιστική κατάσταση της χρήσης εδώδιμων εντόμων στην ανθρώπινη διατροφή, με αναφορές σε ευρωπαϊκές κατευθυντήριες γραμμές. Αναγνωρίζοντας τις εν δυνάμει ιδιότητες του *Tenebrio molitor*, διερευνάται ο εμπλουτισμός τροφίμων, με αλεύρο αυτού, μέσω διαφόρων κατηγοριών βασικών προϊόντων, όπως αρτοσκευάσματα, κρέας, γαλακτοκομικά κ.ά., με την έρευνα όμως να εστιάζει στην προσθήκη του σε ένα μη διαδεδομένο προϊόν, όπως η chutney ντομάτας. Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε την παρασκευή του αλεύρου και της chutney, ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκε οργανοληπτικός έλεγχος για την αξιολόγηση των δειγμάτων, καθώς και χημική ανάλυση των θρεπτικών τους συστατικών. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική αύξηση των πρωτεϊνών και πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στα εμπλουτισμένα δείγματα chutney, σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες αυξήθηκε κατά 1900% και 3300% στα δείγματα TC2,5 και TC5, ενώ για τα ολικά λίπη κατά 18,8% και 64,6% αντίστοιχα. Επίσης, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης πολυφαινολών, με τα δείγματα TC2,5 και TC5 να εμφανίζουν αύξηση κατά 59,3% και 120,4% σε σχέση με το δείγμα ελέγχου. Η παραπάνω αύξηση, σε συνδυασμό με αυτές των β-καροτενίου και βιταμίνης C, συνέβαλε στη βελτίωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των τελικών προϊόντων κατά 43,1% και 66,2% αντίστοιχα. Καταλήγοντας, υπογραμμίζεται ότι η χρήση του αλεύρου *Tenebrio molitor* βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό τη διατροφική αξία της chutney ντομάτας, προσφέροντας μια πιο βιώσιμη και θρεπτική εναλλακτική λύση, η οποία μπορεί να συμβάλλει στην αντιμετώπιση των διατροφικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων της σύγχρονης εποχής.

Abstract

This paper investigates the utilization of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) flour for the enrichment of tomato chutney to enhance its nutritional value and promote sustainable alternatives in the food industry. The introduction analyses the global food crisis and the challenges facing the planet due to overpopulation and climate change, and discusses the history of insect eating, which, although common in many parts of the world, remains bias in the West. The importance of rearing edible insects for food security and reducing the environmental footprint of animal food production is also highlighted. A detailed presentation of the insect is then given, detailing its biological cycle, growth conditions and feeding habits, highlighting its nutritional value in terms of macronutrients and micronutrients. In the legislation section, the regulatory status of the use of edible insects in human nutrition is discussed, with references to European guidelines. Recognizing the potential properties of *Tenebrio molitor*, the enrichment of food, with its flour, through various categories of staple products, such as bakery products, meat, dairy products, etc. is explored, but the research focuses on its addition to a non-traditional product, such as tomato chutney. The experimental procedure included the preparation of flour and chutney, while at the same time an organoleptic test was carried out to evaluate the samples, as well as a chemical analysis of their nutrients. The results showed a significant increase in protein and polyunsaturated fatty acids in the enriched chutney samples, compared to the control sample. Specifically, protein content increased by 1900% and 3300% in TC2.5 and TC5 samples, while for total fats by 18,8% and 64,6% respectively. There was also a significant increase in polyphenol concentration, with samples TC2.5 and TC5 showing an increase of 59,3% and 120,4% compared to the control sample. The above increase, together with those of β -carotene and vitamin C, contributed to the improvement of the antioxidant capacity of the final products by 43,1% and 66,2%, respectively. In conclusion, it is highlighted that the use of *Tenebrio molitor* flour significantly improves the nutritional value of tomato chutney, offering a more sustainable and nutritious alternative that can contribute to addressing the nutritional and environmental challenges of modern times.

1. Εισαγωγή

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

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών, το 2020, 2,37 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν είχαν την δυνατότητα να ακολουθήσουν μια υγιεινή και ισορροπημένη διατροφή στην καθημερινότητά τους ή ακόμα χειρότερα βρίσκονταν υπό το φάσμα του υποσιτισμού. Αυτό το παγκόσμιο φαινόμενο, που επηρέασε κυρίως τις αναπτυσσόμενες χώρες ανά την υφήλιο, επιδεινώθηκε σε μεγάλο βαθμό από την εξάπλωση του Covid-19. Οι καταστροφικές επιπτώσεις που προκάλεσε η πανδημία στις οικονομίες των κρατών σε διεθνές επίπεδο, δεν άφησε ανεπηρέαστα τα συστήματα τροφίμων, με αποτέλεσμα ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού να έχει μειωμένη πρόσβαση σε επαρκή, θρεπτικά και ασφαλή τρόφιμα. Σε αυτό το πλαίσιο, που χαρακτηρίζεται από σοβαρά ζητήματα επισιτιστικής ανασφάλειας και έναν συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό, που εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 9,3 δισεκατομμύρια το 2050, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) υπογράμμισε την ανάγκη να αυξηθεί η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων και ζωοτροφών κατά 70%, σε σχέση με τις ανάγκες που υπήρχαν μέχρι σήμερα. Η σίτιση αυτού του τεράστιου πληθυσμού είναι μια πραγματική πρόκληση λόγω της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, των ολοένα και πιο περιορισμένων πόρων, όπως η αρόσιμη γη, αλλά και της τεράστιας σπατάλης και απώλειας τροφίμων.

Τα περιβαλλοντικά ζητήματα, που σχετίζονται με την παραγωγή τροφίμων, έχουν πολλαπλές συνέπειες. Τα αέρια του θερμοκηπίου, που προέρχονται από το σύστημα τροφίμων, ευθύνονται για το 21% έως 37% των ετήσιων παγκόσμιων εκπομπών, ενώ η αποψίλωση των δασών, η απώλεια της βιοποικιλότητας, η εξάντληση του εδάφους και του νερού, καθώς και η ρύπανση από την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, υπονομεύουν σοβαρά την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Παράλληλα, οι υψηλότερες θερμοκρασίες και οι μειωμένες βροχοπτώσεις επηρεάζουν αρνητικά την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και την ευημερία των ζώων, με συνέπειες στην παραγωγή γάλακτος και κρέατος. Από την άλλη, η παραγωγή τροφίμων συχνά συνοδεύεται από απώλειες κατά τη συγκομιδή, την αποθήκευση, τη μεταφορά και τη διανομή, ενώ η σπατάλη σε επίπεδο κατανάλωσης επιβαρύνει περαιτέρω το πρόβλημα.

Συνεπώς όλα τα παραπάνω ζητήματα επηρεάζουν άμεσα τη διατροφική ασφάλεια, καθώς μειώνουν τη διαθεσιμότητα των τροφίμων στην αγορά, αυξάνουν τις τιμές και περιορίζουν

την πρόσβαση ορισμένων κοινωνικών ομάδων σε θρεπτικά προϊόντα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεπάρκειες θρεπτικών συστατικών, υποσιτισμό, προβλήματα υγείας, καθώς και στην διατάραξη της εφοδιαστικής αλυσίδας, προκαλώντας αστάθεια στην πρόσβαση τροφίμων σε κάποιες περιοχές. Η εύρεση λύσεων αυτών των προβλημάτων είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση επαρκούς τροφής για τον παγκόσμιο πληθυσμό. Ωστόσο, τα παραπάνω δεν αποτελούν τους μοναδικούς παράγοντες που μπορούν να ασκήσουν πίεση στο παγκόσμιο σύστημα τροφίμων και να επηρεάσουν αρνητικά την επισιτιστική ασφάλεια[1].

Οι πόλεμοι, όπως αυτός στην Ουκρανία από το 2022 έως σήμερα, θέτουν σε κίνδυνο τις γεωργικές αγορές. Οι παγκόσμιες αγορές σιτηρών βρίσκονται σε αναταραχή, με άμεσες και ανησυχητικές επιπτώσεις στις τιμές των τροφίμων και στη διαθεσιμότητα σιταριού και καλαμποκιού, τόσο ως τρόφιμα όσο και ως ζωοτροφές. Αυτές οι συνέπειες, μαζί με τις ελλείψεις λιπασμάτων και τις ενεργειακές ανεπάρκειες, αποτελούν τη βάση σοβαρών παγκόσμιων ανησυχιών για την επισιτιστική ασφάλεια. Σε χώρες που εξαρτώνται από τις εισαγωγές δημητριακών, ειδικά στη Μέση Ανατολή, τη Βόρεια και Υποσαχάρια Αφρική και τη Νότια Ασία, οι τιμές των τροφίμων αυξάνονται δραματικά, επηρεάζοντας την ικανότητα των καταναλωτών χαμηλού εισοδήματος να έχουν πρόσβαση σε βασικά τρόφιμα [1]. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει πιθανότητα οι μεγάλες ζωικές πηγές τροφίμων, όπως το κρέας, το γάλα, τα αυγά κ.ά, οι οποίες συνδέονται με την πρόσληψη των πρωτεϊνών στην διατροφή του Δυτικού κόσμου, να μην παράγονται σε ποσότητες που να καλύπτουν τις ανάγκες του πληθυσμού. Παρά τις προσπάθειες για βελτίωση των πρακτικών παραγωγής, μέσω βιώσιμων μεθόδων, όπως η μειωμένη χρήση νερού και η βελτίωση της αποδοτικότητας των αγροτικών και κτηνοτροφικών συστημάτων, οι περιβαλλοντικές πιέσεις και οι μειωμένοι πόροι συνεχίζουν να περιορίζουν τις δυνατότητες αυτές. Ως αποτέλεσμα, είναι αναγκαίο να εξεταστούν νέες και βιώσιμες πηγές πρωτεϊνών, ώστε να διασφαλιστεί ότι επαρκείς, ασφαλείς και θρεπτικές τροφές θα είναι διαθέσιμες και προσβάσιμες σε όλους ανά πάσα στιγμή.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, ο FAO θεωρεί πως μία από αυτές θα μπορούσαν να είναι τα εδώδιμα έντομα. Ως τροφή αποτελούν μια θρεπτική εναλλακτική των συμβατικών πρωτεϊνούχων τροφίμων όπως το κοτόπουλο, το χοιρινό, το βοδινό κρέας, αλλά και τα ψάρια [2]. Τα έντομα, όντας πλούσια σε πρωτεΐνες, λιπαρά, βιταμίνες και ιχνοστοιχεία όπως ασβέστιο, σίδηρο και ψευδάργυρο, έχουν την δυνατότητα να βοηθήσουν τις αναπτυσσόμενες χώρες, να καλύψουν τις ανάγκες τους σε απαραίτητα θρεπτικά συστατικά [3] και παράλληλα θα μπορούσαν να αποτελέσουν συμπλήρωμα στη διατροφή του

πληθυσμού των αναπτυγμένων χωρών. Πέρα των θρεπτικών τους πλεονεκτημάτων, τα έντομα εκπέμπουν μικρότερη ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου και αμμωνίας σε αντίθεση με τα άλλα ζώα που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση [2]. Επιτελούν επίσης, ένα μείζον κομμάτι στην βιοαποικοδόμηση των οργανικών αποβλήτων προσφέροντας μια καινοτόμο και βιώσιμη λύση για τη διαχείρισή τους και την παραγωγή θρεπτικών προϊόντων. Τα έντομα, μέσω αυτής της διαδικασίας, μετατρέπουν διάφορους τύπους οργανικών αποβλήτων, όπως υπολείμματα τροφίμων, γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα, σε πολύτιμα προϊόντα όπως πρωτεΐνες για τροφή, λίπη για βιοκαύσιμα, βιομάζα για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εύφορο έδαφος για γεωργία κ.ά. Συγκεκριμένα, τα έντομα διαθέτουν μεγάλο συντελεστή μετατροπής της τροφής σε πρωτεΐνη, με την παραγωγή τους να απαιτεί μικρότερη έκταση γης και νερού. Συνεπώς, ενισχύουν την αειφορία και την ανακύκλωση των πόρων, προσφέροντας μια πολύτιμη εναλλακτική για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προκλήσεων, ενώ παράλληλα αυξάνουν τη διατροφική ασφάλεια και την ενεργειακή αυτάρκεια [4]. Τέλος, ένας ακόμη λόγος που καθιστά τα έντομα, ενδιαφέροντα είναι η ιδιαίτερη σχέση που παρουσιάζουν με το βιοπορισμό. Η συλλογή και η εκτροφή τους μπορούν να αποτελέσουν μια ελκυστική επιχειρηματική ιδέα, καθώς η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε χαμηλό είτε σε υψηλό τεχνολογικό επίπεδο, ανάλογα με το μέγεθος των επενδύμενων κεφαλαίων. Αυτό παρέχει τη δυνατότητα συμμετοχής ακόμα και για κοινωνικές ομάδες με περιορισμένα μέσα. Επιπλέον, τα έντομα μπορούν να αξιοποιηθούν ως τροφή, με πολλές εφαρμογές στη διατροφική αλυσίδα, είτε για ανθρώπινη κατανάλωση είτε για ζωοτροφές. Έτσι, η εκτροφή τους συνδυάζει επιχειρηματικές προοπτικές και πρακτική χρησιμότητα, προσφέροντας ευκαιρίες ανάπτυξης σε διάφορους τομείς [2].

Στη σύγχρονη εποχή, αν και τα έντομα αποτελούν μέρος της ανθρώπινης διατροφής σε πολλές χώρες και περιοχές του κόσμου, με βασικό επίκεντρο αυτές τις ασιατικές και αφρικανικές ηπείρους, η εντομοφαγία φαίνεται πως παραμένει προκατάληψη στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες παγκοσμίως [5], με τα δυτικά διατροφικά πρότυπα να την υπερνικούν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αποδοχή των καταναλωτών, αναφορικά με τα τρόφιμα, επηρεάζεται από ένα σύνολο παραγόντων, όπως είναι το πολιτισμικό και κοινωνικό περιβάλλον, οι προσωπικές πεποιθήσεις, αλλά και οι υγειονομικοί προβληματισμοί [6]. Στους περισσότερους λαούς της Δύσης συναντάται ένα αίσθημα αποστροφής, σχετικά με την αξιοποίηση των εντόμων ως μέρος της ανθρώπινης διατροφής, γεγονός που στηρίζεται στην ιδέα ότι τα συγκεκριμένα είδη, είναι ως επί το πλείστον μη

βρώσιμα για τους ανθρώπους, παρά μόνο σε περιστάσεις εξαθλίωσης [2]. Αν και οι λαοί των ανεπτυγμένων χωρών εμφανίζονται έντονα διστακτικοί, οι ταχείες εξελίξεις που σημειώνονται στις διατροφικές ανάγκες των ανθρώπων, καθώς και η ζήτηση για εναλλακτικές πηγές τροφίμων τα τελευταία χρόνια, φαίνεται πως σταδιακά κάμπτουν την στάση τους. Αυτές οι εξελίξεις δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την προώθηση και την εδραίωση της κατανάλωσης εντόμων ως μέρος της ανθρώπινης διατροφής στις δυτικές κοινωνίες [5]. Οι διατροφικές ανάγκες μεταβάλλονται ραγδαία εξαιτίας της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, που ασκεί πιέσεις στις διαθέσιμες πηγές τροφίμων, αλλά και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που καθιστούν μη βιώσιμες πολλές παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Παράλληλα, οι καταναλωτές αναζητούν πλέον τροφές που να είναι υγιεινές, βιώσιμες και προσαρμοσμένες στις σύγχρονες συνθήκες ζωής. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή και η αστικοποίηση ενισχύουν την ανάγκη για ευέλικτες και καινοτόμες λύσεις στον τομέα της διατροφής. Όλοι αυτοί οι παράγοντες οδηγούν στη σταδιακή αποδοχή εναλλακτικών, όπως τα έντομα, τα οποία υπόσχονται να καλύψουν τις σύγχρονες ανάγκες με βιώσιμο και πρακτικό τρόπο [5].

1.2 Ιστορική αναδρομή της εντομοφαγίας

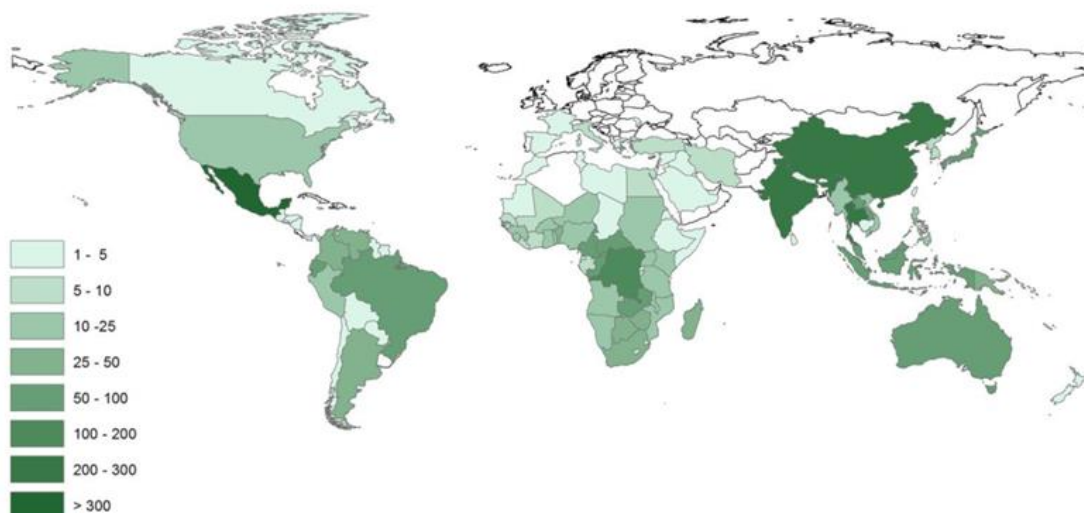
Η εντομοφαγία, χαρακτηρίζεται ως η πρακτική της κατανάλωσης εντόμων, κυρίως από τον άνθρωπο και προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις έντομον (έντομο) και φάγειν (το να τρως) [7]. Η κατανάλωση εντόμων βρίσκει τις ρίζες της ήδη από τα προϊστορικά χρόνια. Προτού οι προϊστορικοί άνθρωποι κατασκευάσουν εργαλεία για κυνήγι ή καλλιέργεια, τα έντομα αποτελούσαν ένα βασικό κομμάτι της ανθρώπινης διατροφής [7]. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις πρώτες καταγεγραμμένες ενδείξεις που εμφανίζονται σε τοιχογραφίες σπηλαίων, υποδηλώνοντας πως τα έντομα υπήρξαν πολύτιμη πηγή τροφής. Το γεγονός αυτό πιθανότατα οφειλόταν τόσο στην αφθονία τους και στην ευκολία συλλογής τους.

Στις ιστορικές περιόδους που ακολουθούν, η εντομοφαγία παραμένει μια συνήθεια, παρά την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους. Καθώς οι άνθρωποι περνούν από την πρωτόγονη εποχή της συλλογής και του κυνηγιού, στη γεωργία και αργότερα στην αστικοποίηση και την ανάπτυξη σύνθετων κοινωνιών, οι διατροφικές τους επιλογές διαφοροποιούνται σημαντικά. 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 άνθιση 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 αυτοκρατορίας υπάρχουν ιστορικά στοιχεία που σχετίζονται με την εντομοφαγία, η οποία συνδέεται με θρησκείες, όπως ο Χριστιανισμός, ο Ιουδαϊσμός και το Ισλάμ [2,8].

Κατά τον Μεσαίωνα, η κατανάλωση εντόμων αρχίζει σταδιακά να εξαφανίζεται 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 πρακτική διατηρήθηκε σε μεγάλο βαθμό. Αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι οι λαοί αυτοί κατανάλωναν τα έντομα κυρίως για τα ιατρικά οφέλη τους. Στα χρόνια που ακολούθησαν, το διατροφικό μοντέλο του Δυτικού κόσμου έπαψε να υποστηρίζει την εντομοφαγία, σε αντίθεση με τους Ασιατικούς λαούς όπου αποτελούσε αναπόσπαστο πολιτιστικό και διατροφικό κομμάτι [9]. 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 εμφανίζεται σε 113 χώρες παγκοσμίως και έχουν καταγραφεί περισσότερα από 2.000 είδη βρώσιμων εντόμων [10]. Στην Εικόνα 1, παρουσιάζονται τα κράτη που συναντάται καταγεγραμμένος αριθμός βρώσιμων εντόμων και παράλληλα η κατανάλωση τους. Πιο συγκεκριμένα, στην Ασία η πρακτική της εντομοφαγίας συναντάται στην Κίνα, την Ιαπωνία, την Ταϊλάνδη, τις Φιλιππίνες, την Ινδία, το Βιετνάμ κ.ά [11], ενώ στην Αφρική στη Νιγηρία, την Γκάνα, την Κένυα κ.ά. [12]. Αντίστοιχα στην Αμερική είναι η Βραζιλία, η Κολομβία, η Βενεζουέλα, ο Ισημερινός, το Περού και το Μεξικό [13] και όσον αφορά την Ωκεανία, η Αυστραλία, η Παπούα Νέα Γουινέα και η Νέα Ζηλανδία [11]. Τέλος, στην Ευρώπη καταναλώνονται εδώδιμα έντομα ή προϊόντα με βάση αυτά στην Ολλανδία, τη Γαλλία, το Βέλγιο κτλ. [12].



Εικόνα 1

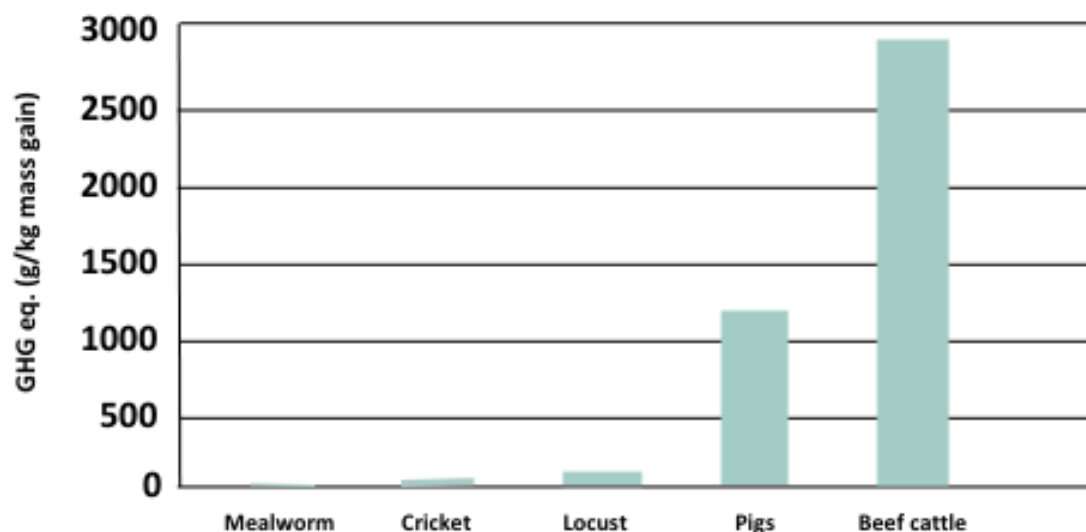
Εικόνα 1. Καταγεγραμμένος αριθμός ειδών βρώσιμων εντόμων και ταυτόχρονη κατανάλωση τους ανά χώρα παγκοσμίως[14].

1.3 Η σημασία εκτροφής εδώδιμων εντόμων στην προστασία του περιβάλλοντος

Οι πλέον περιορισμένοι φυσικοί πόροι, βρίσκονται υπό κατάσταση πίεσης, λόγω της ανάγκης σίτισης του διαρκώς αυξανόμενου πληθυσμού παγκοσμίως. Αυτή η ραγδαία αύξηση συνεπάγεται την μεγάλη ζήτηση τροφίμων, η οποία προκαλεί σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, κυρίως λόγω της ελάχιστης διαθέσιμης αρώσιμης γης και γης για εκτροφή ζώων. Η υπάρχουσα υψηλή απαίτηση για ζωικές πρωτεΐνες, καθιστά αναγκαία την εκτροφή υψηλού αριθμού ζώων σε μικρές εκτάσεις γης, το οποίο δεν είναι εφικτό και επομένως, πρέπει να βρεθούν άλλες βιώσιμες εναλλακτικές πρωτεΐνες πέρα από τις συμβατικές, ώστε να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα. Σύμφωνα μάλιστα με τους Van Huis et al. [2], η πιθανότητα αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος είναι ιδιαίτερα υψηλή, εάν δεν βρεθούν λύσεις σχετικά με την γεωργική παραγωγή. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τα παραπάνω ζητήματα να επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα και ακόμα περισσότερο στην επισιτιστική ασφάλεια, ιδίως στη διαθεσιμότητα των τροφίμων.

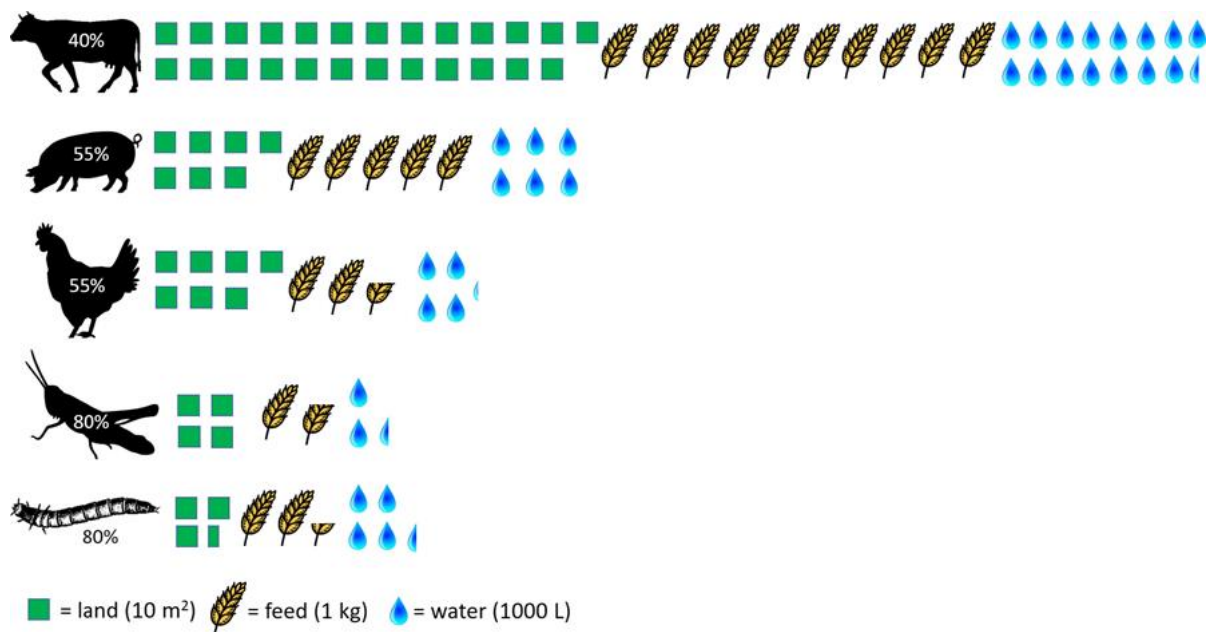
Μια εύστοχη προσέγγιση για να αποφευχθούν οι παραπάνω ανησυχίες αποτελεί η εκτροφή και η χρήση εδώδιμων εντόμων στην διατροφή του ανθρώπου. Σύμφωνα με τους Oonincx et al. [15], η εκτροφή βρώσιμων εντόμων σε σχέση με την εκτροφή ζώων έχει διαπιστωθεί ότι χαρακτηρίζεται από χαμηλή παραγωγή αμμωνίας και εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου,

όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2, όντας η βέλτιστη επιλογή για τη προστασία του περιβάλλοντος. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι οι συμβατικές πρακτικές εκτροφής ζώων μειονεκτούν σε μεγάλο βαθμό, καθώς συμβάλουν στην ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων με ακαθαρσίες, που μεταφέρουν παθογόνα μικρόβια και χημικούς ρύπους όπως βαρέα μέταλλα, αέρια και αμμωνία.



Εικόνα 2. Παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου ανά κιλό προστιθέμενης μάζας για τρία είδη εντόμων, χοίρους και βοοειδή[15].

Ένας ακόμα λόγος που τα έντομα πλεονεκτούν αναφορικά με την εκτροφή τους, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3, είναι ότι μπορούν να αναπτυχθούν σε μια μεγάλη ποικιλία οργανικών αποβλήτων, να καταλαμβάνουν ελάχιστες εκτάσεις παραγωγής και να καταναλώνουν μηδαμινές ποσότητες νερού [2]. Για παράδειγμα, σε σύγκριση με την παραγωγή βοείου κρέατος, οι Ros-Baró et al. [16] παρατήρησαν ότι η παραγωγή εντόμων απαιτεί περίπου 95% λιγότερη έκταση γης και νερού. Σύμφωνα με τους Veldkamp et al. [17], τα έντομα θα μπορούσαν να μετατρέψουν έως και 1,3 δισεκατομμύρια τόνους βιοαποβλήτων ετησίως σε χρήσιμα προϊόντα όπως αναφέρθηκαν στην ενότητα 1.1. Μια επιπρόσθετη ικανότητα των εντόμων, η οποία διαφέρει από είδος σε είδος, αποτελεί η υψηλή απόδοση μετατροπής της τροφής τους σε σωματική μάζα, γεγονός που καθιστά ένα μεγάλο ποσοστό του εντόμου βρώσιμο [18].



Εικόνα 3. Οι ελάχιστες απαιτούμενες ποσότητες γης, τροφής και νερού, καθώς και η μεγαλύτερη απόδοση μετατροπής της τροφής σε σωματική μάζα των εντόμων σε σχέση με τα παραγωγικά ζώα [2,19,20].

Κατά συνέπεια, η μαζική εκτροφή βρώσιμων εντόμων αρχίζει να αποκτά μεγάλη σημασία, με τις πρώτες ευρωπαϊκές εγκαταστάσεις να συναντώνται σε χώρες, όπως η Ολλανδία, το Βέλγιο κ.ά, αναφορικά με την αξιοποίησή τους ως τρόφιμα και ζωοτροφές. Γνωστά εκτρεφόμενα έντομα είναι τα ακόλουθα: *Musca domestica*, *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, *Zophobas atratus*, *Alphitobus diaperinus*, *Galleria mellonella*, *Achroia grisella*, *Bombyx mori*, *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Locusta migratoria* και *Schistocerca americana* [12]. Από τα παραπάνω, αναφορικά με την εκτροφή τους σε ευρωπαϊκό επίπεδο, μεγάλο ενδιαφέρον, εμφανίζουν ο κίτρινος αλευροσκώληκας (*Tenebrio molitor*) και ο γρύλος του σπιτιού (*Acheta domesticus*). Αν και τα δύο έντομα έχουν την δυνατότητα να εκτρέφονται για βιώσιμες πηγές πρωτεΐνης, η διαδικασία εκτροφής τους χαρακτηρίζεται από διαφορετικά επίπεδα δυσκολίας, συντήρησης και περιβαλλοντικών αναγκών όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Βασικές διαφορές μεταξύ του κίτρινου αλευροσκώληκα (*Tenebrio molitor*) και του γρύλου του σπιτιού (*Acheta domesticus*) αναφορικά με την θρεπτική τους αξία, τις συνθήκες εκτροφής και τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις [21–24].

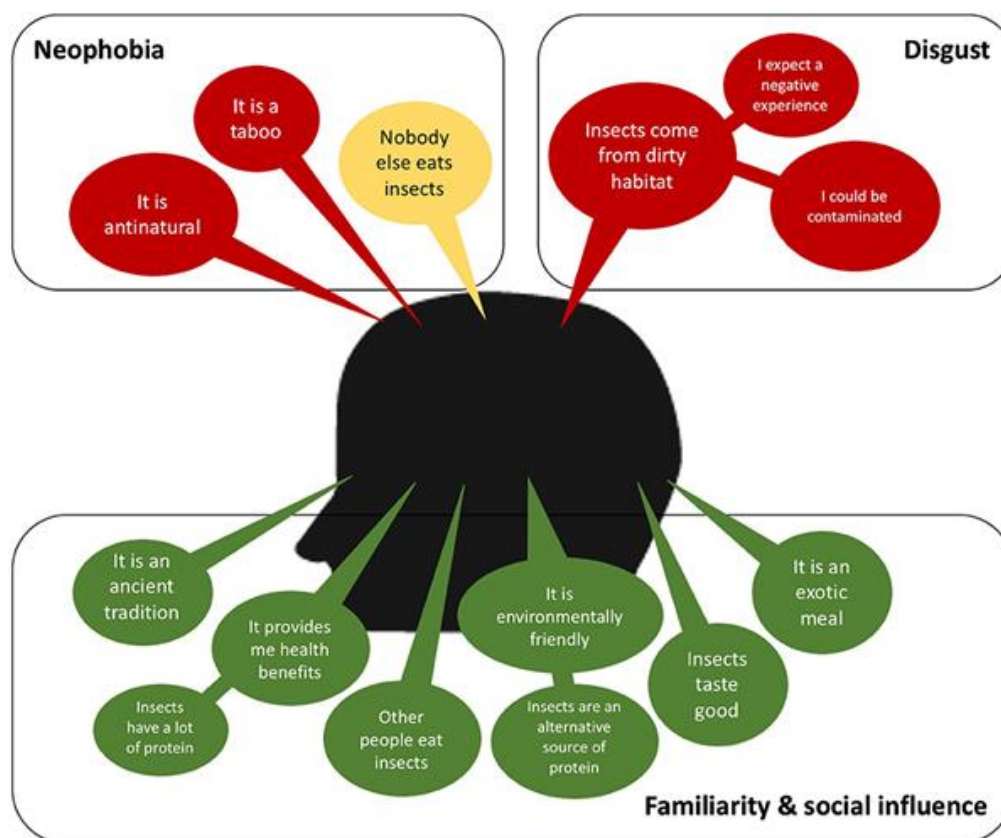
Κατηγορία	 <i>Κίτρινος αλευροσκώληκας</i> (<i>Tenebrio molitor</i>)	 <i>Γρύλος του σπιτιού</i> (<i>Acheta domesticus</i>)
Περιεκτικότητα Πρωτεϊνών	Υψηλό (~60% πρωτεΐνη ανά ξηρό βάρος)	Πολύ υψηλό (~65-70% πρωτεΐνη ανά ξηρό βάρος)
Περιεκτικότητα Λιπαρών	Μέτριο (~30% λίπος ανά ξηρό βάρος)	Lower (~18-22% λίπος ανά ξηρό βάρος)
Απαιτούμενοι πόροι	Ανθεκτικό σε περιβαλλοντικές αλλαγές	Πιο ευαίσθητο σε θερμοκρασία και υγρασία
Απαιτούμενοι πόροι (νερό και έδαφος)	Χαμηλές ανάγκες	Ελαφρώς υψηλότερες ανάγκες
Ευελιξία διατροφής	Ανάπτυξη σε διάφορα οργανικά απόβλητα	Ελεγχόμενες δίαιτες συμπεριλαμβανόμενων οργανικών αποβλήτων και εμπορικών τροφών

1.4 Τροφική νεοφοβία

Παρά τα πολλαπλά πλεονεκτήματα της εκτροφής και κατ' επέκταση της κατανάλωσης εδώδιμων εντόμων, η αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό συνεχίζει να αποτελεί έναν από τους μείζονες φραγμούς, αναφορικά με την αξιοποίησή τους ως εναλλακτική πρωτεϊνική πηγή στα τρόφιμα. Αν και σε μερικά κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι προαναφερθείσες δράσεις θεωρούνται ως ένα μέρος αποδεκτές [25], στην πραγματικότητα το μεγαλύτερο μέρος των ευρωπαίων εξισώνουν την εντομοφαγία με τριτοκοσμικά κράτη, έχοντας ένα αίσθημα αποστροφής προς τα έντομα [2,26,27]. Μάλιστα έρευνες που έγιναν έδειξαν, πως μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό ανθρώπων θα επέλεγε τα έντομα ως υποκατάστατο του κρέατος (6,3% γυναίκες και 12,8% άνδρες) και μονάχα το 19% θα το αντικαθιστούσε ολοκληρωτικά [27]. Οι Verbeke [27] και Gere [28], υποστηρίζουν, πως οι λόγοι που επιδρούν στη στάση των καταναλωτών, όσον αφορά την εντομοφαγία, περικλείουν την περιβαλλοντική συνείδηση και την τροφική νεοφοβία. Επιπλέον καταγραφές των Dobermann et al. [20] επιβεβαιώνουν τα παραπάνω, καθώς, οι άνθρωποι που δεν νοιάζονται για την προστασία του περιβάλλοντος, εμφανίζονται πιο νεοφοβικοί και λιγότερο δεκτικοί ως προς την κατανάλωση εντόμων.

Με τον όρο τροφική νεοφοβία, εννοείται το αίσθημα φόβου που διακατέχει κάποιον σχετικά με τα νέα τρόφιμα και συνεπώς απροθυμία να τα αποδεχτεί ως μέρος της καθημερινής του διατροφής [29]. Αν και πρόκειται για ένα καθαρά ατομικό γνώρισμα, υφίσταται αρκετές επιρροές από συντελεστές, οι οποίοι απεικονίζονται στην Εικόνα 4, που σχετίζονται με κοινωνικοοικονομικές καταστάσεις, εξωγενείς παράγοντες ή την πολιτιστική ταυτότητα του ατόμου, οι οποίοι το αποτρέπουν από το να έρθει σε επαφή με νέα τρόφιμα [30]. Παράλληλα, η νεοφοβία δείχνει να επηρεάζεται από χαρακτηριστικά, όπως το φύλο, η ηλικία, το εκπαιδευτικό και κοινωνικό επίπεδο, τα οποία διαφέρουν ανάμεσα στους καταναλωτές [31]. Συγκεκριμένα, μελέτες έδειξαν, ότι ορισμένες κοινωνικές ομάδες, όπως οι γυναίκες, οι ηλικιωμένοι αλλά και άτομα με χαμηλό επίπεδο εκπαίδευσης έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να είναι νεοφοβικοί [32]. Τέλος, στην προσπάθεια εκτίμησης του εύρους επιρροής της τροφικής νεοφοβίας στην πρόθεση κατανάλωσης τροφίμων που περιλαμβάνουν έντομα, έγινε εφαρμογή της Κλίμακα Νεοφοβίας Τροφίμων (FNS) των Pliner και Hobden [29]. Το αποτέλεσμα έδειξε, σε μεγάλη κλίμακα, τις αρνητικές επιπτώσεις της τροφικής νεοφοβίας στην στάση που κρατούν οι καταναλωτές ως προς τα τρόφιμα που περιέχουν έντομα [27].

Παρά την αρνητική επίδραση της νεοφοβίας, υπάρχουν έρευνες που παραθέτουν θετικά δεδομένα όσον αφορά την επιτυχή προώθηση της εντομοφαγίας. Δεδομένα δείχνουν, πως καταναλωτές του δυτικού κόσμου εμφανίζονται περισσότερο δεκτικοί στο να τραφούν με πρωτεΐνη εντόμων, όταν τα τρόφιμα περιείχαν το έντομο ενσωματωμένο σε μορφή που δεν γινόταν αντιληπτή (άλευρο) ή επικαλυπτόταν από μια γνωστή γεύση (π.χ. καλυμμένο με σοκολάτα) [33]. Αντίστοιχα, τρόφιμα που διέθεταν το ενσωματωμένο έντομο σε αντιληπτή μορφή, είχαν μηδαμινή ανταπόκριση από εκείνους [34]. Συμπεραίνεται λοιπόν, πως για να πετύχει το εγχείρημα της υιοθέτησης της εντομοφαγίας από τις ανεπτυγμένες χώρες, θα πρέπει στα τρόφιμα που θα παράγονται να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.



Εικόνα 4. Οι διαφορετικές οπτικές γωνίες των καταναλωτών αναφορικά με την κατανάλωση edódimων εντόμων[35].

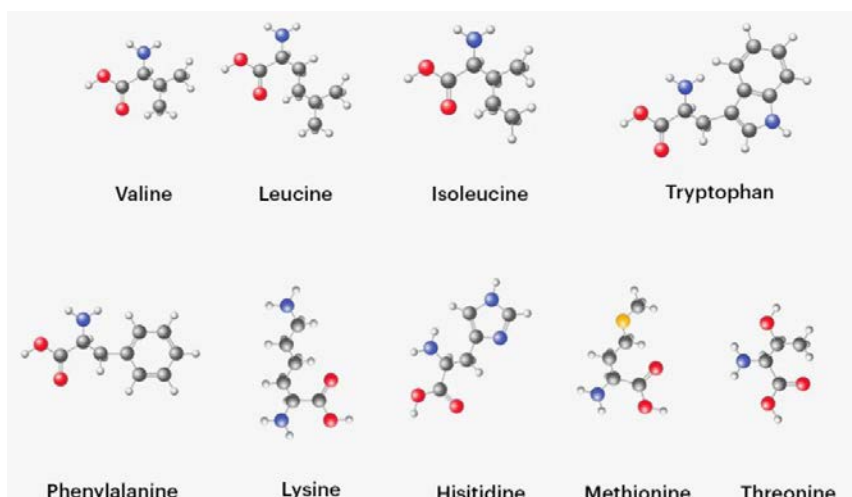
1.5 Η αξία των θρεπτικών συστατικών στην διατροφή του ανθρώπου

1.5.1 Μακροθρεπτικά συστατικά

1.5.1.1 Πρωτεΐνες

Η σημασία των πρωτεϊνών στη διατροφή και στην υγεία του ανθρώπου είναι πολύ μεγάλη. Πολύ εύστοχα επιλέχθηκε η Ελληνική λέξη πρωτεύον, για την ονομασία αυτού του θρεπτικού συστατικού, η οποία ερμηνεύεται ως “πρωταρχικό” ή “αυτό που παίζει τον αρχικό ρόλο”. Οι πρωτεΐνες βρίσκονται σε όλο το σώμα, με πάνω από 40% αυτών να εντοπίζεται στους σκελετικούς μύες, πάνω από 25% στα όργανα του σώματος ενώ η υπόλοιπη ποσότητα βρίσκεται κυρίως στο δέρμα και στο αίμα. Οι πρωτεΐνες είναι απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού και τη διατήρηση της κατάστασης της υγείας, καθώς αποτελούν τα δομικά στοιχεία για το σχηματισμό των ιστών στο ανθρώπινο σώμα με πολλές ρυθμιστικές ιδιότητες. Το δομικό υλικό των πρωτεϊνών αποτελούν τα αμινοξέα, τα οποία απαντώνται σε διατροφικά απαραίτητα και διατροφικά μη απαραίτητα. Ο ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να παράγει τα απαραίτητα αμινοξέα με αποτέλεσμα να τα λαμβάνει εξ’ ολοκλήρου από την τροφή ενώ τα μη απαραίτητα αμινοξέα να τα συνθέτει.

Η διατροφική αξία των πρωτεϊνών των τροφίμων μπορεί να χαρακτηριστεί από την ικανότητά τους να καλύπτουν τις ανάγκες σε απαραίτητα αμινοξέα για την ανάπτυξη και τη διατήρηση των ιστών. Τα απαραίτητα αμινοξέα, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5, είναι η λευκίνη, η ισολευκίνη, η βαλίνη, η λυσίνη, η τρυπτοφάνη, η θρεονίνη, η μεθειονίνη, η φαινυλαλανίνη και η ιστιδίνη, η οποία προστέθηκε αργότερα στην κατηγορία αυτή. Οι πρωτεΐνες των τροφών ή εξωγενείς πρωτεΐνες, αποτελούν τις πηγές των απαραίτητων αμινοξέων καθώς και την κύρια πηγή του επιπλέον αζώτου που απαιτείται για την σύνθεση των μη απαραίτητων αμινοξέων και των αζωτούχων ενώσεων. Αυτές οι πρωτεΐνες περιέχονται σε ζωικά προϊόντα όπως το κρέας, τα πουλερικά, το ψάρι και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, καθώς και σε φυτικά προϊόντα όπως τα δημητριακά και τα όσπρια. Η ενεργειακή απόδοση των πρωτεϊνών είναι 4 θερμίδες/γραμμάριο. Οι απαιτήσεις σε πρωτεΐνες και αμινοξέα για τον άνθρωπο εξαρτώνται από την ηλικία, το μέγεθος του σώματος, τη φυσική κατάσταση, όπως ακόμα και το επίπεδο της ενεργειακής πρόσληψης [36,37].



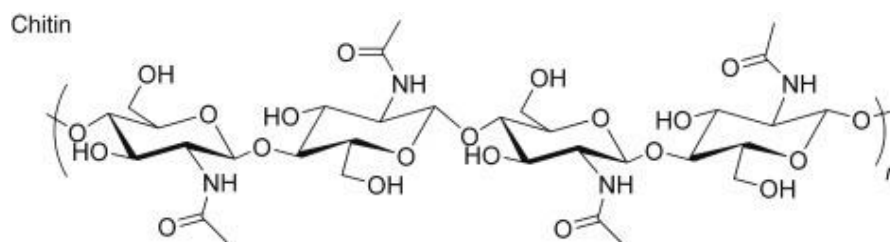
Εικόνα 5. Η μοριακή δομή των εννέα απαραίτητων αμινοξέων για τον ανθρώπινο οργανισμό[38].

1.5.1.2 Υδατάνθρακες

Η κυριότερη πηγή ενέργειας στη διατροφή ενός ανθρώπου είναι οι υδατάνθρακες, οι οποίοι παρέχουν σχεδόν το μισό της συνολικής θερμιδικής πρόσληψης. Οι μισοί περίπου από τους υδατάνθρακες της διατροφής έχουν τη μορφή πολυσακχαριτών, όπως το άμυλο και οι δεξτρίνες, και προέρχονται κυρίως από την κατανάλωση δημητριακών. Οι υπόλοιποι υδατάνθρακες προέρχονται από την κατανάλωση απλών σακχάρων, κυρίως σακχαρόζης και λακτόζης και σε μικρότερο βαθμό μαλτόζης, γλυκόζης και φρουκτόζης. Οι υδατάνθρακες είναι πολυ-υδροξυαλδεΐδες και κετόνες, ή ουσίες που όταν υδρολυθούν παράγουν τέτοια μόρια. Η δομή τους αποτελείται από άτομα άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες υδατανθράκων: οι μονοσακχαρίτες, οι ολιγοσακχαρίτες και οι πολυσακχαρίτες. Οι μονοσακχαρίτες είναι οι απλούστεροι δομικά υδατάνθρακες καθώς δεν μπορούν να διασπαστούν σε μικρότερα μέρη μέσω της υδρόλυσης και αναφέρονται ως απλά σάκχαρα ή μονοσακχαρικές μονάδες. Ο πιο διαδεδομένος μονοσακχαρίτης στη φύση είναι η γλυκόζη, ένα σάκχαρο με έξι άτομα άνθρακα. Οι ολιγοσακχαρίτες αποτελούνται από μικρές αλυσίδες μονοσακχαρικών μονάδων, συνδεδεμένες με ομοιοπολικούς δεσμούς. Ο πιο γνωστός δισακχαρίτης είναι η σακχαρόζη η οποία αποτελείται από ένα μόριο γλυκόζης και ένα μόριο φρουκτόζης. Τέλος, οι πολυσακχαρίτες είναι μακριές αλυσίδες μονοσακχαρικών μονάδων, οι οποίες μπορεί να αποτελούνται από μερικές έως και εκατοντάδες ή χιλιάδες μονάδες. Οι κυριότεροι πολυσακχαρίτες στη διατροφή του ανθρώπου είναι το γλυκογόνο, το οποίο συναντάται στους ζωικούς ιστούς, και το άμυλο που προέρχεται από φυτικούς ιστούς. Ένας ακόμα διαδεδομένος στη φύση πολυσακχαρίτης είναι η χιτίνη, με τη χημική της δομή να απεικονίζεται στην Εικόνα 6, η οποία αποτελεί συστατικό του εξωσκελετού των

εντομών σε ποσοστό 6,71-15,98% και βρίσκεται στο κέλυφος των μαλακόστρακων όπως το καβούρι και ο αστακός.



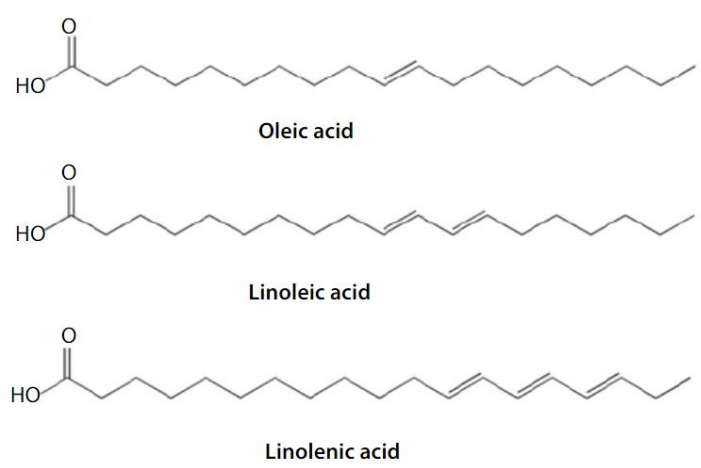
Εικόνα 6. Χημική δομή της χιτίνης[39]

Οι πολυσακχαρίτες, όπως η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη, η λιγνίνη και η χιτίνη αποτελούνται από άπεπτους υδατάνθρακες και φαίνεται να έχουν θετικές επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου γι' αυτό και αποκαλούνται λειτουργικές φυτικές ίνες. Η ενέργεια που αποδίδουν οι υδατάνθρακες στον οργανισμό είναι 4 θερμίδες/γραμμάριο. Οι πολυσακχαρίτες και οι δισακχαρίτες αποτελούν τους διαιτητικούς υδατάνθρακες με την υψηλότερη διατροφική αξία, καθώς οι ελεύθεροι μονοσακχαρίτες δεν συναντώνται συνήθως σε μεγάλες ποσότητες στην διατροφή. Παρόλο αυτά, μικρά ποσά ελεύθερης γλυκόζης και φρουκτόζης βρίσκονται στο μέλι, στα φρούτα και σε ορισμένα επεξεργασμένα τρόφιμα. Συνεπώς, οι υδατάνθρακες αντιπροσωπεύουν την κύρια πηγή φυτικών ινών και θερμίδων για τον άνθρωπο και για το λόγο αυτό αποτελούν τα βασικά συστατικά της διατροφής του ανθρώπου [36,37].

1.5.1.3 Λιπίδια

Τα λιπίδια ή λιποειδή είναι μια ομάδα χημικών ενώσεων που ταξινομούνται σε απλά λιπίδια (λιπαρά οξέα) και σύνθετα λιπίδια (εστέρες λιπαρών οξέων με αλκοόλες κ.ά.). Κατά κύριο λόγο, τα λιπίδια αποτελούνται από ένα μόριο γλυκερίνης ενωμένο με τρεις εστέρες λιπαρών οξέων. Τα λίπη κατηγοριοποιούνται σε στερεά ή ημιστερεά και σε λάδια (έλαια), ανάλογα με την φυσική τους κατάσταση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, καθώς ακόμα και σε φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Τα λιπαρά οξέα είναι άκυκλοι υδρογονάνθρακες που έχουν στην άκρη έναν οξειδωμένο άνθρακα με την μορφή υδροξυλίου (R-COOH). Σύμφωνα με αυτό, υπάρχουν τρεις κατηγορίες λιπαρών οξέων, τα κορεσμένα λιπαρά, που η αλειφατική τους αλυσίδα R- είναι κορεσμένη με υδρογόνο, τα ακόρεστα και τα πολυακόρεστα που περιέχουν έναν ή και περισσότερους διπλούς δεσμούς. Τα ευρύτερα διαδεδομένα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι το μονοακόρεστο ελαϊκό οξύ (ω -9) και το πολυακόρεστο λινελαϊκό οξύ (ω -6), με την χημική τους δομή να απεικονίζεται στην Εικόνα 7.

Στην κατηγορία των ακόρεστων λιπαρών οξέων ανήκουν επίσης και τα ω-3 λιπαρά, όπως το λινολενικό οξύ, που επίσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 7, τα οποία περιέχονται στα λιπαρά ψάρια, στα ιχθυέλαια, στα φυτικά τρόφιμα και λάδια. Τα ω-λιπαρά οξέα διακρίνονται σε μεγάλο βαθμό ως ευεργετικά για την υγεία, διότι έχουν αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Αυτό τα καθιστά σημαντικούς παράγοντες προστασίας από τις σύγχρονες ασθένειες όπως είναι ο σακχαρώδης διαβήτης, ο καρκίνος και τα καρδιαγγειακά προβλήματα. Επίσης, σύμφωνα με μελέτες, διαπιστώθηκε ότι μειώνουν την συνολική χοληστερίνη, αυξάνουν την παραγωγή της HDL, που χαρακτηρίζεται ως καλή χοληστερίνη και μειώνουν τα τριγλυκερίδια και την πίεση του αίματος. Τέλος, η ημερήσια συνιστώμενη πρόσληψη ω-3 λιπαρών οξέων είναι περίπου 1-2 g/ημέρα [36,37].



Εικόνα 7. Χημική δομή του ελαϊκού οξέος (ω-9), λινελαϊκού οξέος (ω-6) και λινολενικού οξέος (ω-3).

1.5.2 Μικροθρεπτικά συστατικά

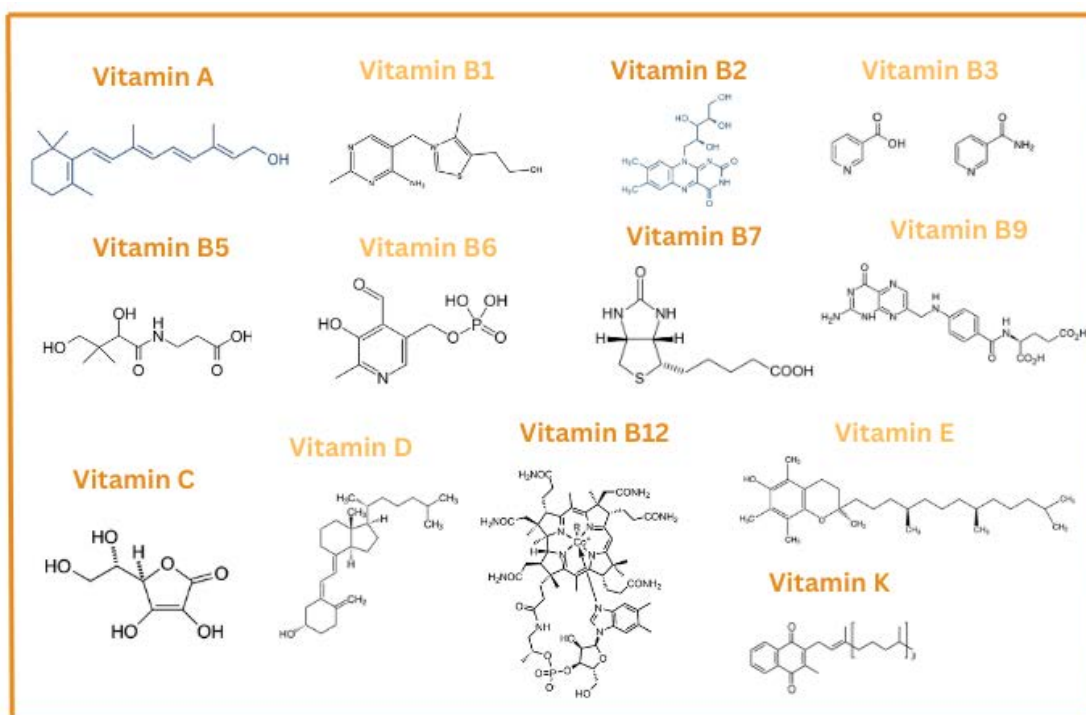
1.5.2.1 Βιταμίνες

Οι βιταμίνες είναι μια ετερογενής ομάδα συστατικών των τροφίμων, που αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην διατροφή του ανθρώπου, παρόλο που βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες στα τρόφιμα. Η προέλευση της λέξης βιταμίνης προκύπτει από τη λατινική λέξη *vita* (=ζωή) και την κατάληξη -αμίνη, διότι οι αρχικές βιταμίνες που βρέθηκαν είχαν στο μόριο τους άζωτο. Η παρουσία τους στην διατροφή είναι απαραίτητη καθώς συμβάλουν στην φυσιολογική ανάπτυξη, διατήρηση και σωστή λειτουργία του οργανισμού. Δεν υπάρχει κανένα τρόφιμο που να περιλαμβάνει όλες τις βιταμίνες στα απαραίτητα ποσά ημερήσιας πρόσληψης, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του οργανισμού, ο οποίος δεν μπορεί να τις συνθέσει ή τις συνθέτει σε μικρό ποσοστό. Η κατανάλωση βιταμινών μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπλοκές στην υγεία, εάν ξεπεραστούν σε υπερβολικό βαθμό τα

ποσά ημερήσιας πρόσληψης, γνωστή ως υπερβιταμίνωση αλλά και αν απουσιάζουν εξ' ολοκλήρου από την διατροφή, γνωστή ως αβιταμίνωση.

Οι βιταμίνες κατηγοριοποιούνται σε δύο μεγάλες ομάδες, ανάλογα με το μέσο στο οποίο διαλύονται εύκολα, τις υδατοδιαλυτές όπως είναι η θειαμίνη (B1), η ριβοφλαβίνη (B2), η κυανοκοβαλαμίνη (B12), η νιασίνη (B3), το φολικό οξύ (B9), η βιοτίνη (B7), το παντοθενικό οξύ (B5) κ.ά. και οι λιποδιαλυτές όπως είναι οι βιταμίνες A, D, E, K, με τη χημική τους δομή να απεικονίζεται στην Εικόνα 8. Κάποιες από τις διαφορές τους είναι ότι οι υδατοδιαλυτές αφομοιώνονται εύκολα από τον οργανισμό, ενώ οι λιποδιαλυτές χρειάζονται την ύπαρξη παγκρεατικού υγρού και χολής, τα οποία απελευθερώνονται μονάχα με την κατανάλωση λιπιδίων. Επίσης, οι υδατοδιαλυτές αν δεν χρησιμοποιηθούν από τον μεταβολισμό τότε απομακρύνονται με τα ούρα και δεν παραμένουν στον οργανισμό, ενώ αντίθετα ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των λιποδιαλυτών βιταμινών αποθηκεύεται στο λιπώδη ιστό και το ήπαρ. Ορισμένες από τις βιταμίνες λειτουργούν ως φυσικά αντιοξειδωτικά. Τέτοια παραδείγματα είναι η βιταμίνη E, γνωστή ως τοκοφερόλη, η βιταμίνη C ή ασκορβικό οξύ και το β-καροτένιο, ως πρόδρομη ένωση της βιταμίνης A. Οι βιταμίνες αυτές προστατεύουν τις κυτταρικές μεμβράνες του οργανισμού από διάφορα μόρια που προκύπτουν από την οξείδωση των λιπών, κυρίως από τις ελεύθερες ρίζες.

Οι βιταμίνες είναι ευαίσθητες σε διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το φως και το οξυγόνο, που μπορούν να επηρεάσουν την σταθερότητα και την αποτελεσματικότητά τους. Για παράδειγμα, οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες, ιδίως η βιταμίνη C και η θειαμίνη, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στη θερμότητα και την οξείδωση, ενώ οι λιποδιαλυτές βιταμίνες όπως η A και η E είναι επίσης επιρρεπείς υπό παρόμοιες συνθήκες. Τέλος, τρόφιμα πλούσια σε βιταμίνες είναι τα λαχανικά και τα φρούτα όπως ντομάτες, καρότα, σπανάκι, ροδάκινα, τα ψάρια όπως σαρδέλα, τόνος, τα φυτικά λάδια, τα γαλακτοκομικά, τα δημητριακά όπως το φύτρο του σιταριού, τα αυγά και το κρέας, ιδιαίτερα το συκώτι με κυρίαρχη βιταμίνη να αποτελεί η B12 [36].



Εικόνα 8. Χημική δομή των υδατοδιαλυτών και λιποδιαλυτών βιταμινών (A,D,E,K).

1.5.2.2 Ανόργανα στοιχεία

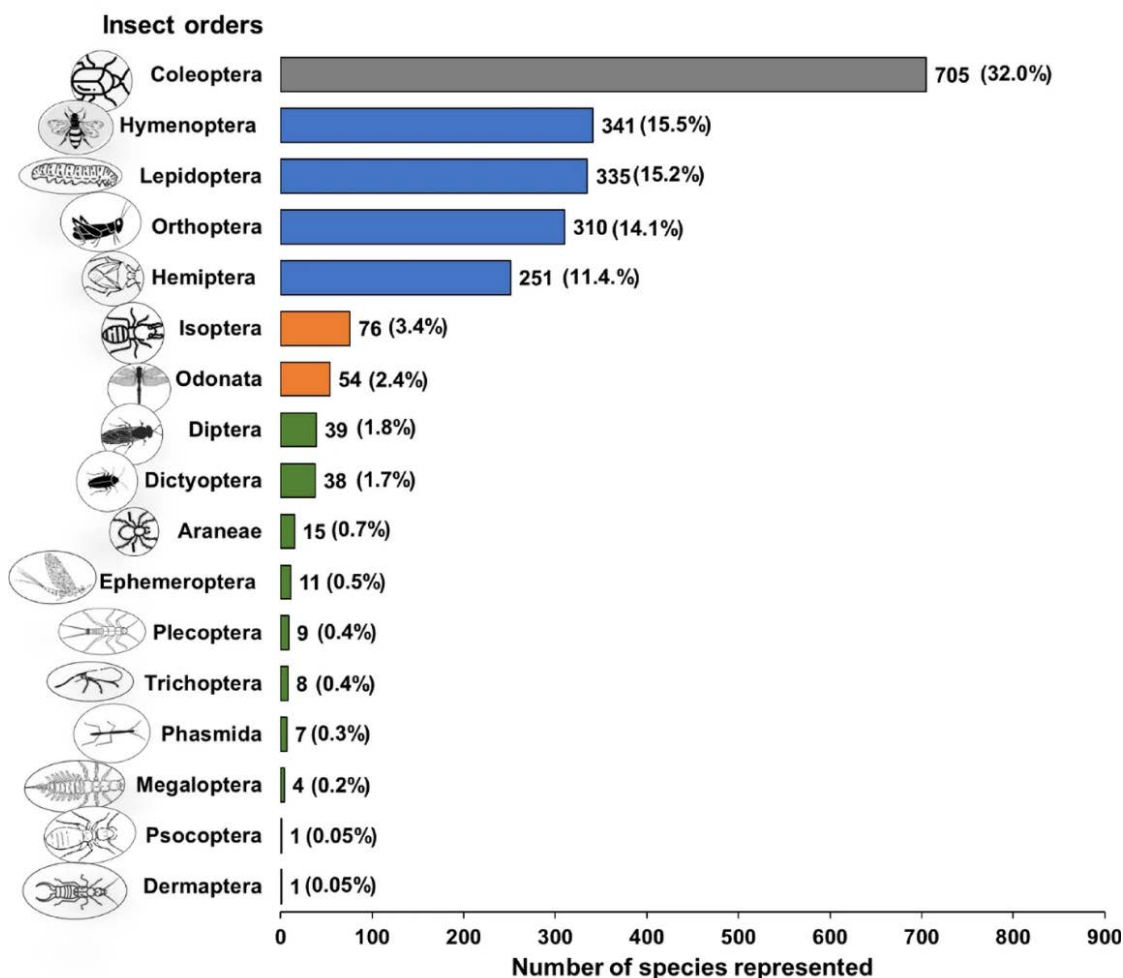
Πέρα από τον άνθρακα, το οξυγόνο, το υδρογόνο και το άζωτο, τα οποία αποτελούν τα δομικά συστατικά των παραπάνω θρεπτικών συστατικών, υπάρχουν και άλλα περίπου εξήντα ανόργανα στοιχεία που περιέχονται στα τρόφιμα. Αυτά τα στοιχεία δεν παράγονται από τον οργανισμό, αλλά προκύπτουν από την κατανάλωση τροφής και μπορεί να βρίσκονται στα τρόφιμα είτε μεμονωμένα, είτε με την μορφή ανόργανων αλάτων ή συμπλόκων. Τα ανόργανα στοιχεία κατηγοριοποιούνται, ανάλογα με την συγκέντρωσή τους στα τρόφιμα, σε μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία. Τα πιο σημαντικά μακροστοιχεία είναι το ασβέστιο, ο φώσφορος, το νάτριο, το χλώριο, το μαγνήσιο και τα θειικά, όξινα, φωσφορικά άλατα ενώ τα ιχνοστοιχεία που διακρίνονται είναι ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, το μαγγάνιο, το φθόριο, το ιώδιο, το σελήνιο, ο χαλκός κ.ά.

Η παρουσία αυτών στη διατροφή συμβάλλει στην καλή λειτουργία του οργανισμού, δεδομένου ότι έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν την ωσμωτική ισορροπία στα κύτταρα, την πήξη και την πίεση του αίματος, αλλά και αποτελούν βασικά συστατικά των οστών, των δοντιών και των μαλακών ιστών του οργανισμού. Ακόμα, εμπλέκονται στη λειτουργία του εγκεφάλου, καθώς μεταφέρουν τα νευρικά ερεθίσματα από και προς αυτόν και γενικότερα εκτελούν σημαντικές λειτουργίες που σχετίζονται με την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό. Η συγκέντρωσή τους στα διάφορα τρόφιμα εξαρτάται από γενετικούς και

κλιματολογικούς παράγοντες, τις διαδικασίες εκτροφής ζώων και λίπανσης φυτών και τις πρακτικές επεξεργασίας των πρώτων υλών. Τέλος, η πηγή των ιχνοστοιχείων παρατηρείται σε τρόφιμα τόσο ζωικής όσο και φυτικής προέλευσης [36].

1.6 Διατροφικά οφέλη των εδώδιμων εντόμων

Η ενσωμάτωση εδώδιμων εντόμων στην ανθρώπινη διατροφή έχει επιβεβαιωθεί πως συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας των τροφίμων, λόγω των σημαντικών συγκεντρώσεών τους σε μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά, οι οποίες είναι εφάμιλλες και ορισμένες φορές υψηλότερες από εκείνες των τροφίμων ζωικής προέλευσης. Σε παγκόσμιο επίπεδο, εκείνα που προτιμώνται για κατανάλωση και παρατίθενται στην Εικόνα 9, είναι κυρίως τα σκαθάρια (*Coleoptera*), οι μέλισσες, οι σφήκες και τα μυρμήγκια (*Hymenoptera*), καθώς και οι κάμπιες (*Lepidoptera*). Τα παραπάνω ακολουθούν, με μικρότερα ποσοστά, οι ακρίδες και οι γρύλοι (*Orthoptera*), τα τζίτζικια, τα σκαθάρια και οι κοριοί (*Hemiptera*), οι τερμίτες (*Isoptera*), οι λιβελούλες (*Odonata*), οι μύγες (*Diptera*) και άλλες τάξεις [40]. Στην Ευρώπη συγκεκριμένα, το *Tenebrio molitor*, το οποίο ανήκει στην τάξη *Coleoptera*, θεωρείται πολλά υποσχόμενο για τη βιομηχανία τροφίμων και ζωοτροφών [41]. Ιδιαίτερη έμφαση, δίνεται στα διατροφικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι προνύμφες του, λόγω της υψηλής συγκέντρωσής τους σε απαραίτητα αμινοξέα, λιπαρά, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία [42].



Εικόνα 9. Η κατανομή των ειδών εδωδιμων εντόμων σε παγκόσμιο επίπεδο, ανά ταξινομική σειρά. Το γκρι αντιπροσωπεύει >500 είδη, το μπλε 100-499 είδη, το πορτοκαλί 50-99 είδη και το πράσινο 1-49 είδη[43].

Το διατροφικό προφίλ των εντόμων επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, όπως ο τύπος του εντόμου, το στάδιο ανάπτυξης, η διατροφή, οι μέθοδοι επεξεργασίας και το φύλο, μεταξύ άλλων [10,44]. Αναφορικά με τα μακροθρεπτικά τους συστατικά, τα βρώσιμα έντομα παρουσιάζουν μέση περιεκτικότητα πρωτεΐνης 60 g/100g [45]. Η τιμή αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα πως αυτά έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν περισσότερη πρωτεΐνη στην διατροφή των ανθρώπων, σε αντίθεση με άριστες πηγές φυτικής πρωτεΐνης, όπως η σόγια [46]. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από την έρευνα των Finke et al. [47], κατά την οποία αξιολογήθηκε η ποιότητα της πρωτεΐνης γευμάτων με έντομα που ταΐστηκαν σε αρουραίους και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ποιότητά της ήταν ίδια ή ανώτερη με αυτή της σόγιας. Παράλληλα οι πρωτεΐνες των εντόμων μπορούν να χαρακτηριστούν ως υψηλής αξίας καθώς το 67-98% αυτών είναι εξαιρετικά εύπεπτες και εμφανίζουν βαθμολογία βασικών αμινοξέων από 46 έως 96% [48].

Το λίπος, αντιπροσωπεύει το δεύτερο μεγαλύτερο κλάσμα της διατροφικής σύνθεσης των βρώσιμων εντόμων και η περιεκτικότητά του κυμαίνεται από 10 έως 60% [49]. Στο στάδιο της προνύμφης, τα κυριότερα λιπαρά οξέα που συναντώνται είναι το παλμιτικό και το ελαϊκό οξύ, ενώ στα μεταγενέστερα στάδια το παλμιτικό και το λινελαϊκό οξύ [50]. Σε γενικές γραμμές τα εδώδιμα έντομα, περιέχουν ως επί των πλείστων πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, σε βαθμό μεγαλύτερο από αυτόν των ψαριών και των πουλερικών [51] και έχουν την δυνατότητα έτσι να παρέχουν περισσότερα υγιεινά λίπη στην ανθρώπινη διατροφή σε σύγκριση με τις συμβατικές τροφές. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Saboloná et al [52], μπορεί επίσης να περιέχουν φυτικές στερόλες, οι οποίες μειώνουν την χοληστερίνη (LDL), καθιστώντας τα μια πιο υγιεινή επιλογή τροφής.

Εκτός από πρωτεΐνες και λιπίδια, τα έντομα διαθέτουν και χιτίνη, η οποία αντιπροσωπεύει τουλάχιστον το 10% και χάρη σε αυτή, δύνανται να αποτελούν καλή πηγή φυτικών ινών για την διατροφή των ανθρώπων [53]. Σύμφωνα με μελέτες, η χιτίνη συνδέεται με την μικροβιολογία του ανθρώπινου εντέρου, όπου αναφέρεται ότι συμβάλει στην υγεία και ευεξία του γαστρεντερικού συστήματος, λόγω των πρεβιοτικών της δράσεων [54]. Η ανάπτυξη στο ανθρώπινο έντερο παθογόνων μικροοργανισμών όπως η *Escherichia coli*, μειώνεται με την ύπαρξη της χιτίνης και των παραγώγων της [55], ενώ ταυτόχρονα ενθαρρύνεται ο πολλαπλασιασμός και η ανάπτυξη χρήσιμων για το έντερο βακτηρίων, όπως *Bifidobacteria* και *Lactobacillus* [56]. Τέλος, σχετικά με την περιεκτικότητά τους σε μικροθρεπτικά συστατικά, τα έντομα παρουσιάζονται πλούσια σε βιταμίνη C και βιταμίνες του συμπλέγματος B, όπως ριβοφλαβίνη (B2) κ.ά. Επιπλέον τα περισσότερα από αυτά εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις καλίου, ασβεστίου κ.ά [21]. Στο Πίνακα 2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι διαφορές στην διατροφική αξία μεταξύ των εδωδιμων εντόμων και των συμβατικά εκτρεφόμενων ζώων και καλλιεργούμενων φυτών.

Πίνακας 2 . Ανάλυση της διατροφικής αξίας των εδώδιμων εντόμων συγκριτικά με εκείνη του βόειου κρέατος, του κοτόπουλου, του ψαριού και της σόγιας [21,57–61].

Ξηρό βάρος	Έντομα	Βοδινό	Κοτόπουλο	Ψάρι	Σόγια
Πρωτεΐνη (%)	10-70	17.2	22.5	19.1	36.5
Συνολικό Λίπος (%)	20-70	20	2.62	5.8	19.9
- Κορεσμένα λιπαρά οξέα (g/100g)	0-26	7.58	0,5	0.9	2.88
- Ακόρεστα λιπαρά οξέα (g/100g)	0-60	9	1	4.1	15.7
- Ωμέγα 3	1-60	< 0.1	< 1	1.3	0
Υδατάνθρακες (%)	6-15	0	0	0	30.2
- Φυτικές ινές	2-25	0	0	0	9.3
Βιταμίνες (mg/100g)					
- Βιταμίνη B12 (μg/100g)	0.84-13	2.14	0.21	1	0
- Βιταμίνη B2	1-11	0.1	0.17	0.12	0.87
- Βιταμίνη B3	0.9-12	4.2	9.6	3	1.62
- Βιταμίνη C	0.1-36	0	0	0	6
Ιχνοστοιχεία (mg/100g)					
- Σίδηρος	5-229	1.94	0.37	0.37	15.7
- Ασβέστιο	24-210	18	5	26	277
- Μαγνήσιο	33-1094	17	28	33	280
- Κάλιο	260-2200	270	334	317	1800

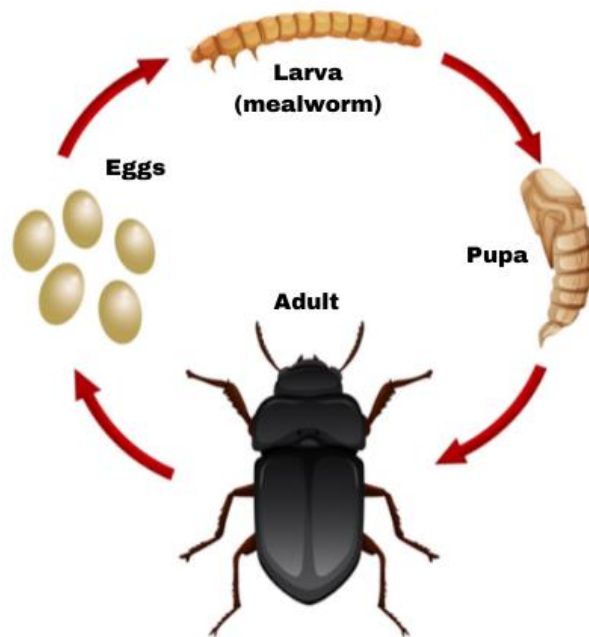
1.7 Κίτρινος αλευροσκώληκας-*Tenebrio molitor*

1.7.1 Ο βιολογικός κύκλος

Το *Tenebrio molitor*, γνωστό και ως «σκώληκας του αλεύρου» ή «yellow mealworm», είναι ένα αρθρόποδο που συγκαταλέγεται στην οικογένεια *Tenebrionidae* και πιο συγκεκριμένα στην τάξη *Coleoptera*. Ο κύκλος ανάπτυξής του, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 10, περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις, οι οποίες είναι το αυγό, η προνύμφη (larvae), η νύμφη (pupae) και το ενήλικο [62]. Το *Tenebrio molitor* χαρακτηρίζεται ως επιβλαβές, καθώς μορφές του εντόμου, όπως η προνύμφη και το ενήλικο, προσβάλλουν αποθηκευμένα άλευρα και σιτηρά, δημιουργώντας σημαντικές φθορές σε αλευροβιομηχανίες εύκρατων περιοχών [63].

Τα ενήλικα θηλυκά δύναται να γεννήσουν περίπου 400-500 αυγά, είτε το καθένα χωριστά, είτε ενωμένα με τη μορφή μικρών, λευκών, σφαιρικών και κολλωδών ομάδων [64]. Τα αυγά εκκολάπτονται εντός τεσσάρων ημερών στους 30 °C ή εντός τριαντατεσσάρων ημερών στους 15 °C, ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Το στάδιο ανάπτυξης του αυγού διαρκεί λιγότερο σε σχέση με τα άλλα, ύστερα από το οποίο επέρχεται αυτό της προνύμφης, που έχει διάρκεια από 57 ημέρες κάτω από ρυθμιζόμενες συνθήκες έως 629 ημέρες σε φυσικό περιβάλλον. Στο σημείο αυτό το *Tenebrio molitor* αποβάλλει τον εξωτερικό του σκελετό από εννιά έως εικοσιτρείς φορές, σχηματίζοντας κάθε φορά καινούριο, γεγονός που συμβολίζει την πρόοδο της ανάπτυξής του. Αρχικά, το χρώμα που επικρατεί στις προνύμφες είναι χρυσαφί και σταδιακά μετατρέπεται σε καφέ-κίτρινο. Όσον αφορά το μέγεθός τους, οι ώριμες προνύμφες δεν ξεπερνούν τα 30 mm, ενώ σχετικά με το βάρος τους τα 200 mg [62,63,65].

Μετά το στάδιο της προνύμφης, προκύπτει εκείνο της νύμφης, στα πλαίσια του οποίου πραγματοποιείται «μεταμόρφωση», καθώς η προνύμφη παύει να τρέφεται, παίρνοντας έτσι σχήμα «C» και αφαιρώντας τελικά τον εξωσκελετό της. Η νύμφη (pupae) διατηρείται σε αδράνεια από 7-9 ημέρες σε άριστες συνθήκες και έως 20 ημέρες σε μικρές θερμοκρασίες, με μοναδική κίνηση τη συστροφή του σώματός της [62,63,65]. Μετά από το παραπάνω χρονικό διάστημα, ξεπροβάλλει το νέο ενήλικο σκαθάρι, με μαλακό λευκό εξωτερικό περίβλημα, που σταδιακά γίνεται σκληρότερο και μεταβάλλεται το χρώμα του σε βαθύ μαύρο. Η τελική αυτή μορφή, που έχει προσδόκιμο ζωής 1-4 μήνες, γίνεται σεξουαλικά ώριμο άτομο και είναι πλέον σε θέση να ωοτοκήσει μέσα σε 3-4 ημέρες [62,63,65].



Εικόνα 10. Ο βιολογικός κύκλος του *Tenebrio molitor*.

1.7.2 Συνθήκες ανάπτυξης

Οι διάφορες φάσεις στον κύκλο ανάπτυξης του *Tenebrio molitor*, που αναλύθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τους εκάστοτε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το ποσοστό υγρασίας, η φωτοπερίοδος, καθώς και η διαθεσιμότητα της τροφής και η πληθυσμιακή πυκνότητα. [62,63]. Αναφορικά με την θερμοκρασία, το βέλτιστο εύρος τιμών, που απαιτείται για την εκτροφή του συγκεκριμένου είδους είναι μεταξύ 25 και 30 °C. Σε αυτό το εύρος θερμοκρασιών, η εκτροφή τους εξασφαλίζει υψηλή αποδοτικότητα στη μετατροπή της τροφής σε βιομάζα. Το έντομο έχει βέλτιστα επίπεδα πρωτεΐνης, λίπους και άλλων θρεπτικών συστατικών. Παρόλα αυτά η ανάπτυξη του *Tenebrio molitor* μπορεί να πραγματοποιηθεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, με κατώτερη τους 10 °C, απλά με μειωμένο ρυθμό, οδηγώντας σε μικρότερη βιομάζα και πιθανή μείωση των ποσοστών λίπους του εντόμου. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες ενδέχεται να είναι υψηλότερη, λόγω της χαμηλής συσσώρευσης λιπιδίων. Βέβαια η ανάπτυξη του μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τις βέλτιστες, αλλά ενδέχεται να παραχθούν λιγότερο σταθερά θρεπτικά συστατικά, λόγω αυξημένου στρες. Η θερμική καταπόνηση μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη περιεκτικότητα βιταμινών και λιπαρών οξέων. Ωστόσο, θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 40 °C μπορεί να οδηγήσουν σε θανάτωση [62,63].

Σχετικά με το ποσοστό υγρασίας του χώρου, στον οποίο αναπτύσσεται το *Tenebrio molitor*, η άριστη τιμή για την επιβίωσή του κυμαίνεται μεταξύ 60 και 75%, η οποία υποστηρίζει τη φυσιολογική ανάπτυξη και βιοσύνθεση πρωτεϊνών και λιπών, παρέχοντας ένα ισορροπημένο προφίλ θρεπτικών συστατικών. Κάτω από το 60%, και συγκεκριμένα μέχρι το 13%, το έντομο μπορεί να επιβιώσει και να τραφεί με αργό ρυθμό ανάπτυξης, οδηγώντας σε μειωμένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και εμφανίζοντας σημάδια κανιβαλισμού. Ο κανιβαλισμός αυξάνεται και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια θρεπτικής αξίας λόγω τραυματισμού ή θανάτου του εντόμου. Σε περίπτωση αύξησης της υγρασίας, πάνω από το 75%, οι συνθήκες ανάπτυξης παραμένουν ευνοϊκές, παράλληλα όμως η πιθανότητα παρουσίας μυκήτων στο υπόστρωμα αυξάνεται, θέτοντας σε κίνδυνο τη θρεπτική αξία του έντομο [62,63]. Οι μύκητες ενδέχεται να προσθέσουν τοξικές ουσίες στο έντομο ή να μειώσουν την ποιότητα της βιομάζας.

Ένα άλλος παράγοντας που επιδρά στην ανάπτυξη του *Tenebrio molitor* είναι η επικρατούσα φωτοπερίοδος. Κύριο χαρακτηριστικό του είδους αυτού, αποτελεί η φωτοευαισθησία του, συγκεκριμένα στα ενήλικα έντομα και τις προνύμφες, που προτιμούν να εισέρχονται εσωτερικά του υποστρώματος και να βγαίνουν στην επιφάνεια μόνο όταν επικρατεί σκοτάδι. Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού η ανάπτυξη είναι βέλτιστη, εξασφαλίζοντας καλή ισορροπία θρεπτικών συστατικών. Αντίθετα, αν διαταραχθεί ο κύκλος φωτός-σκότους, το έντομο μπορεί να παρουσιάσει στρες, επηρεάζοντας την παραγωγή πρωτεϊνών και λιπών. Εξίσου σημαντικός συντελεστής θεωρείται η ύπαρξη οξυγόνου, καθώς το *Tenebrio molitor* απαιτεί υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου για την επιβίωση και την φυσιολογική του ανάπτυξη [62,63]. Η ανεπαρκής παροχή οξυγόνου μειώνει τον ρυθμό ανάπτυξης και επηρεάζει την ποιότητα των θρεπτικών συστατικών, ειδικά της πρωτεΐνης και των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων.

Τέλος, για την αποφυγή του κανιβαλισμού, μεταξύ των προνυμφών ή/και μεταξύ των ενηλίκων, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο έλεγχος του πληθυσμού. Η διαδικασία αυτή υποστηρίζει την ομοιόμορφη ανάπτυξη των εντόμων, διατηρώντας σταθερή τη θρεπτική τους αξία. Η αδυναμία εφαρμογής αυτού του ελέγχου, μπορεί να οδηγήσει σε όξυνση του παραπάνω φαινομένου, μειώνοντας την παραγωγή μυϊκής μάζας και πρωτεϊνών. Παράλληλα, το στρες που προκύπτει επηρεάζει τη σύνθεση θρεπτικών συστατικών, όπως των λιπιδίων, και αυξάνει την πιθανότητα μολύνσεων. Ακόμα μπορεί να επηρεάσει την ωοτοκία των θηλυκών ενηλίκων, αλλά και να επιταχύνει τον ρυθμό σχηματισμού νυμφών [62,63].

1.7.3 Διατροφικές συνήθειες

Το *Tenebrio molitor*, αν και θεωρείται ως ένα παμφάγο έντομο, τρέφεται κατά κύριο λόγο με δημητριακά και συγκεκριμένα με πίτουρο καλαμποκιού ή σιταριού ή βρώμης. Παρόλο που το πίτουρο χρησιμοποιείται ευρέως ως ζωοτροφή, καθώς διαθέτει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται για την σωστή ανάπτυξη του, οι ποσότητες αυτών κρίνονται ανεπαρκείς. Επίσης, σχετικά με την πηγή υγρασίας, το συγκεκριμένο έντομο, έχει την ικανότητα να εκμεταλλεύεται τις ποσότητες νερού που περιέχονται στην ξηρή του τροφή ή αυτές που βρίσκονται στο περιβάλλον του. Για την παροχή της αναγκαίας ποσότητας νερού, θεωρείται αποδεκτό να παρέχονται στη διατροφή του εντόμου, διάφορα είδη λαχανικών όπως καρότο, πατάτα, λάχανο, μαρούλι κ.ά. Με την προσθήκη λαχανικών, το έντομο αποκτά μία πιο ισορροπημένη διατροφή και με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η παραγωγικότητά του και αποφεύγεται η πιθανότητα κανιβαλισμού. Θα πρέπει, όμως, να δίνεται μεγάλη προσοχή, αναφορικά με τον έλεγχο της κατάστασης των λαχανικών, καθώς είναι επιρρεπή στην ανάπτυξη μυκήτων. Τέλος, ακόμη μια ικανότητα του εντόμου, είναι η επιλογή της τροφής του, έτσι ώστε να εξισορροπεί τη διατροφή του με βάση τις ανάγκες του, ενώ παράλληλα μπορεί να μεταβολίσει τα φυτικά απόβλητα χαμηλής αξίας σε τροφή υψηλής ποιότητας [62,65].

1.7.4 Θρεπτική αξία

Από τα τέσσερα στάδια που συναντώνται κατά τον κύκλο ζωής του *Tenebrio molitor*, αυτό που λογίζεται ως κατάλληλο προς κατανάλωση είναι εκείνο της προνύμφης. Το στάδιο αυτό θεωρείται κατάλληλο, λόγω της υψηλής θρεπτικής αξίας του (πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα, βιταμίνες), της χαμηλής περιεκτικότητας σε χιτίνη, της εύκολης επεξεργασίας του και της ουδέτερης γεύσης του. Επίσης, παρέχει μέγιστη βιομάζα με εύπεπτη σύσταση, ενώ είναι πρακτικό για χρήση σε διάφορα τρόφιμα. Το 60% αυτής αποτελείται από νερό, με το υπόλοιπο 40% να εμφανίζει αξιοσημείωτη θρεπτική σημασία [66]. Συγκεκριμένα, χαρακτηρίζεται από μεγάλη συγκέντρωση πρωτεϊνών (19,1% επί νωπού βάρους και 30-60% επί ξηρού)[65–67], η οποία φαίνεται και στον Πίνακα 3. Οι πρωτεΐνες του εντόμου διακρίνονται για την πλούσια περιεκτικότητά τους σε απαραίτητα αμινοξέα [68]. Οι συγκεντρώσεις των αμινοξέων ποικίλλουν ανάλογα με τις συνθήκες εκτροφής των προνυμφών *Tenebrio molitor*, τη θερμοκρασία, την υγρασία, το υπόστρωμα και το περιβάλλον εκτροφής [69].

Πίνακας 3. Προφίλ πρωτεϊνών και αμινοξέων της προνύμφης *Tenebrio molitor* (g/100g ξηρού βάρους) [21,70,71].

	Ξηρό βάρος (g/100g)		Ξηρό βάρος (g/100g)
Συνολική πρωτεΐνη	60		
Απαραίτητα αμινοξέα		Μη απαραίτητα αμινοξέα	
Ιστιδίνη	2.79	Αλανίνη	5.21
Ισολευκίνη	2.61	Αργινίνη	3.86
Λευκίνη	3.51	Γλουταμινικό οξύ	7.02
Λυσίνη	3.61	Γλυκίνη	3.14
Μεθειονίνη	0.72	Κυστεΐνη	0.81
Φαινυλαλανίνη	2.39	Ασπαρτικό οξύ	5.39
Θρεονίνη	2.87	Προλίνη	5.01
Τρυπτοφάνη	0.39	Σερίνη	2.80
Βαλίνη	4.07	Τυροσίνη	4.31
Απαραίτητα αμινοξέα/ Μη απαραίτητα αμινοξέα	0.61		

Το δεύτερο πιο άφθονο θρεπτικό συστατικό στη σύνθεση των προνυμφών *Tenebrio molitor* είναι το λίπος (30-45% επί ξηρού, 9-20% επί νωπού βάρους) [72]. Όσον αφορά τα λιπαρά οξέα, το *Tenebrio molitor* περιέχει σημαντικές ποσότητες τόσο κορεσμένων όσο και ακόρεστων λιπαρών οξέων και ειδικότερα πολυακόρεστων. Τα λιπίδια του εντόμου, που διακρίνονται κατά κύριο λόγο, είναι το παλμιτικό (C16:0), το ελαϊκό (C18:1n-9) και το λινελαϊκό οξύ (C18:2n-6), τα οποία καταλαμβάνουν ποσοστό περίπου 84% του συνόλου. Επίσης, στο *Tenebrio molitor* εντοπίζονται μεγαλύτερες ποσότητες ωμέγα-6 σε σχέση με τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα. Ο λόγος αυτός βοηθά στη ρύθμιση της φλεγμονής, μειώνοντας τον κίνδυνο χρόνιων φλεγμονωδών νόσων, όπως η αρθρίτιδα και οι καρδιοπάθειες, ενώ ενισχύει την καρδιαγγειακή υγεία, μειώνοντας τη χοληστερόλη και την αρτηριακή πίεση [73]. Η ολική ποσότητα των λιπιδίων που βρίσκεται στο σώμα της προνύμφης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4, είναι ως επί των πλείστων σταθερή και ανεπηρέαστη από τη τροφή που λαμβάνει. Στην περίπτωση που η διατροφή της παρουσιάζει έλλειψη διατροφικών συστατικών, τότε

δύναται να χρησιμοποιεί το λίπος που είναι αποθηκευμένο, για την παραγωγή ενέργειας [42,74]. Με βάση τα παραπάνω, η προνύμφη *Tenebrio molitor* αναγνωρίζεται ως σημαντική εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών και λιπαρών οξέων.

Πίνακας 4. Σύνθεση λιπαρών οξέων της προνύμφης *Tenebrio molitor* (g/100g ξηρού βάρους)[21].

	Ξηρό βάρος (g/100g)
Συνολικό λίπος	28.2
Κορεσμένα λιπαρά οξέα	
Λαυρικό οξύ (C12:0)	0.23
Μυριστικό οξύ (C14:0)	3.11
Παλμιτικό οξύ (C16:0)	18.52
Στεαρικό οξύ (C18:0)	2.43
Μονοακόρεστα λιπαρά οξέα	
Παλμιτελαϊκό οξύ (C16:1)	2.09
Ελαϊκό οξύ (C18:1)	49.5
Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα	
Λινελαϊκό οξύ (C18:2) Ωμέγα-6	21.82
Α-Λινολενικό οξύ (C18:3) Ωμέγα-3	0.84

Όπως είναι γνωστό, όλα τα έντομα όπως και το *Tenebrio molitor*, έχουν στο σώμα τους μία αξιόλογη ποσότητα υδατανθράκων (περίπου 10%), όπως παρατίθεται στον Πίνακα 5 [75]. Στον εξωσκελετό της προνύμφης εντοπίζεται, ως κύριο συστατικό, η χιτίνη και τα παράγωγά της σε ποσοστό περίπου 50% επί ξηρού βάρους των συνολικών υδατανθράκων [75,76]. Οι πολυσακχαρίτες αυτοί μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγάλη έκταση στις βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων, λόγω των ευεργετικών τους ιδιοτήτων. Στη βιομηχανία τροφίμων, χρησιμοποιούνται ως φυτικές ίνες για την ενίσχυση της πεπτικής υγείας, στη μείωση των λιπαρών και της χοληστερόλης, καθώς και ως φυσικά συντηρητικά και επικαλύψεις για την παρατεταμένη διάρκεια ζωής των προϊόντων. Στη φαρμακευτική, αξιοποιούνται σε συμπληρώματα διατροφής για την υποστήριξη της καρδιαγγειακής υγείας και της απώλειας βάρους, ενώ χρησιμοποιούνται και ως φορείς φαρμάκων για βελτιωμένη απορρόφηση [77].

Πίνακας 5 . Σύνθεση των υδατανθράκων της προνύμφης *Tenebrio molitor* (g/100g ξηρού βάρους)[75].

Ξηρό βάρος (g/100g)	
Σύνολο Υδατανθράκων	11.45
Διαλυτά σάκχαρα	3.22
Αναγωγικά σάκχαρα	0.19
Ολική γλυκοζαμίνη	4.84
Ολικά ελεύθερα σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη, σουκρόζη)	0.12

Επιπρόσθετα, οι προνύμφες *Tenebrio molitor* διαθέτουν πληθώρα βιταμινών, με αυτές που ξεχωρίζουν να είναι η βιταμίνη C και οι βιταμίνες του συμπλέγματος B, όπως B3, B5 κ.ά [68]. Τέλος, ακόμη μια σημαντική πτυχή των προνυμφών *Tenebrio molitor*, αποτελεί η τέφρα. Αυτή ορίζεται ως το σύνολο όλων των ορυκτών στοιχείων όπως είναι ο φώσφορος, το ασβέστιο κ.ά., τα οποία βρίσκονται σε ποσοστό από 1,0 έως 4,2% [24,70] και είναι άμεσα εξαρτώμενα από τη σύνθεση των άλλων θρεπτικών συστατικών. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά, όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπαρά, τόσο μικρότερη η περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά και συνάμα εκείνη της τέφρας. Πιο αναλυτικά, η περιεκτικότητα της τέφρας του *Tenebrio molitor* έχει καταγεγραμμένες τιμές σε φώσφορο, ασβέστιο, μαγνήσιο κ.ά [70]. Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται αναλυτικά το προφίλ του εντόμου σε βιταμίνες και ιχνοστοιχεία.

Πίνακας 6. Σύνθεση βιταμινών και ιχνοστοιχείων της προνύμφης *Tenebrio molitor* (μονάδα/kg ξηρού βάρους)[68].

Ξηρό βάρος (μονάδα/kg)

Βιταμίνες		Ιχνοστοιχεία	
Βιταμίνη B1 (Θειαμίνη)	2.4 mg	Σίδηρος	20.6 mg
Βιταμίνη B2 (Ριβοφλαβίνη)	8.1 mg	Ψευδάργυρος	52 mg
Βιταμίνη B3 (Νιασίνη)	40.7 mg	Ασβέστιο	169 mg
Βιταμίνη B5 (Παντοθενικό οξύ)	26.2 mg	Μαγνήσιο	801 mg
Βιταμίνη B6 (Πυριδοξίνη)	8.1 mg	Κάλιο	3410 mg
Βιταμίνη B12	4.7 µg	Νάτριο	537 mg
Βιταμίνη C	12 mg	Φώσφορος	2850 mg
Βιταμίνη A	<1000 IU	Σελήνιο	0.25 mg
Βιταμίνη D	<256 IU	Χαλκός	6.1 mg
Βιταμίνη E	<5 IU	Μαγγάνιο	5.2 mg
		Ιώδιο	0.17 mg
		Χλώριο	1870 mg

IU (International Unit – Διεθνής Μονάδα) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της δραστηριότητας ή της ποσότητας διαφόρων ουσιών, όπως βιταμίνες, ένζυμα κ.ά, με βάση την βιολογική τους δραστηριότητα ή την επίδρασή τους στον οργανισμό, και όχι τη χημική τους ποσότητα. Η μονάδα IU προσφέρει έναν τρόπο συγκρίσιμης μέτρησης για ουσίες που μπορεί να έχουν διαφορετική χημική σύσταση ή καθαρότητα, αλλά η δραστηριότητά τους να είναι παρόμοια.

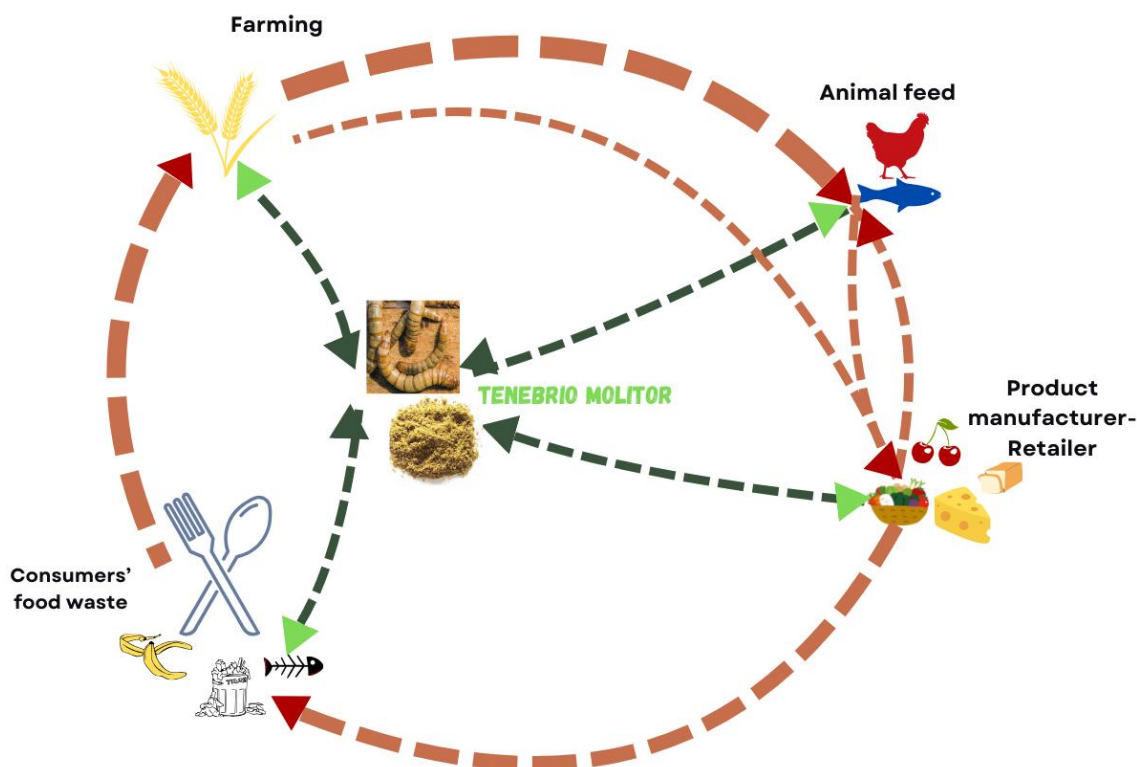
1.7.5 Αξιοποίηση του *Tenebrio molitor* σε ζωοτροφές και στην ανθρώπινη διατροφή

Από το 2017, σύμφωνα με την νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2017/893 [78], είναι δυνατή η χρήση πρωτεϊνών που προέρχονται από εδώδιμα έντομα, όπως το *Tenebrio molitor*, ως εναλλακτικός τρόπος κάλυψης των διατροφικών αναγκών, που υφίστανται στις ιχθυοκαλλιέργειες. Η λύση αυτή αποτελεί ζωτικής σημασίας για την στήριξη των ιχθυοκαλλιεργειών και της υδατοκαλλιέργειας γενικότερα [79]. Σύμφωνα με τους Gasco et al. [80], είναι δυνατόν να αντικατασταθεί το ιχθυάλευρο σε ποσοστό από 25% έως και κάτω

του 50% με άλευρο *Tenebrio molitor*, χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των ιχθύων ή την αύξηση του βάρους τους.

Από την άλλη στο κομμάτι της πτηνοτροφίας, οι προνύμφες *Tenebrio molitor*, μπορούν να αντικαταστήσουν τα σογιάλευρα και ιχθυάλευρα, που χρησιμοποιούνται συνήθως ως βασική τροφή, προσφέροντας τους έκτος από πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας και ασβέστιο, το οποίο απουσιάζει από τις τροφές των πτηνών. Ακόμα, έχει ερευνηθεί ότι το συγκεκριμένο άλευρο δεν επιδρά αρνητικά στην ομαλή ανάπτυξη, υγεία και αναπαραγωγική ικανότητά τους [81]. Τέλος, σύμφωνα με τους Jin et al. [82], η ενσωμάτωση αλεύρου από προνύμφες *Tenebrio molitor* σε ποσοστό μεγαλύτερο του 60% στο σιτηρέσιο μικρών χοίρων, κατά το στάδιο του απογαλακτισμού, θεωρείται ευεργετική για την ανάπτυξή τους.

Πέρα από την αξιοποίηση τους ως ζωοτροφές, οι προνύμφες *Tenebrio molitor*, αποκτούν τα τελευταία χρόνια, λόγω της υψηλής διατροφικής τους αξίας, ολοένα και περισσότερο ενδιαφέρον ως εναλλακτική πηγή τροφίμου για τον άνθρωπο. Σε πολλές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, οι λυοφυλιωμένες ή ξηρές προνύμφες υπό τη μορφή αλεύρου, προτείνονται ως κύριο συστατικό για την μερική αντικατάσταση φυτικών αλεύρων που χρησιμοποιούνται καθημερινά στην διατροφή των ανθρώπων. Οι ξηρές προνύμφες αποξηραίνονται συνήθως μέσω θέρμανσης, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει απώλεια βιταμινών και άλλων θρεπτικών συστατικών, ενώ η υφή τους είναι πιο σκληρή και τραγανή. Αντίθετα, οι λυοφυλιωμένες προνύμφες, λόγω της ήπιας διαδικασίας λυοφιλίωσης που περιλαμβάνει κατάψυξη και απομάκρυνση της υγρασίας, διατηρούν καλύτερα τα θρεπτικά τους συστατικά, έχουν καλύτερη υφή και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής χωρίς την ανάγκη ψύξης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, σύμφωνα με τους Aguilar-Miranda et al. [83], είναι η τортίγια από άλευρο καλαμποκιού με την προσθήκη αντίστοιχου από προνύμφες *Tenebrio molitor*. Το συγκεκριμένο τρόφιμο εμφάνισε ιδιαίτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπως εξαιρετική γεύση, χρώμα και υφή, ενώ πέρα από αυτά απέκτησε υψηλότερη διατροφική αξία, καθώς εμπλουτίστηκε με πρωτεΐνες, ω-3 λιπαρά οξέα κ.ά. Στην Εικόνα 11 απεικονίζονται οι βιώσιμες εφαρμογές του *Tenebrio molitor* σε διάφορους τομείς.



Εικόνα 11. Αξιοποίηση του Tenebrio molitor στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας για την προώθηση της βιωσιμότητας.

1.8 Νομοθεσία

Στην Ευρώπη, η νομοθεσία τροφίμων σχετικά με την ασφάλεια και την ποιότητά τους, είναι ιδιαίτερα αυστηρή και αφορά όχι μόνο τα εισερχόμενα και εξερχόμενα τρόφιμα, αλλά και τον τομέα παραγωγής και επεξεργασίας αυτών καθολικά. Παρόλα αυτά, μέχρι και πρόσφατα, υπήρχε έλλειψη συγκεκριμένου νομοθετικού πλαισίου σχετικά με την πρακτική της κατανάλωσης εντόμων, καθώς όπως ειπώθηκε προηγουμένως, δεν είχε υιοθετηθεί από τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, η εισαγωγή και προώθηση προϊόντων με βάση τα έντομα, να καθίσταται αδύνατη στο εμπόριο τροφίμων, καθώς λόγω απουσίας κατάλληλου κανονισμού, δεν θεωρούνταν αξιόπιστα για το καταναλωτικό κοινό. Πρόσφατα όμως, το ενδιαφέρον για το ζήτημα της ένταξης των εντόμων ως κομμάτι της ανθρώπινης τροφής, αυξήθηκε σε μεγάλο βαθμό, γεγονός που επέφερε πιέσεις και συνάμα τροποποιήσεις στον νόμο των τροφίμων.

Ημερομηνία ορόσημο αποτελεί η 1η Ιουλίου 2017, όπου ο νέος κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής με αριθμό 258/97 [84], αναφορικά με τα νέα τρόφιμα (novel foods), εφαρμόζεται για πρώτη φορά. Ως νέα τρόφιμα λογίζονται εκείνα που σύμφωνα με την επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δεν φαίνεται να εμφανίζουν μεγάλη κατανάλωση από τους ανθρώπους

πριν από τις 15 Μαΐου 1997, όταν και εφαρμόστηκε η αρχική νομοθεσία για τα νέα τρόφιμα. Μπορεί να πρόκειται για καινοτόμα τρόφιμα που δημιουργήθηκαν πρόσφατα, με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών και μεθόδων παραγωγής, καθώς και τρόφιμα που η κατανάλωση τους συναντάται εκτός της Ευρώπης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, οι χώρες να προσεγγίσουν το θέμα με διαφορετικό σκεπτικό, δημιουργώντας έτσι έναν προβληματισμό αναφορικά με το τι θεωρούνταν ως νέο τρόφιμο. Θέλοντας να εξαλείψει την οποιαδήποτε αμφιβολία, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο καταργεί τον κανονισμό 258/97 και τον αντικαθιστά με τον κανονισμό 2015/2283 [85], τον οποίο και θέτει σε εφαρμογή από την 1η Ιανουαρίου 2018.

Κύριος στόχος της συγκεκριμένης νομοθεσίας, αποτελεί η προστασία της υγείας των καταναλωτών, παρέχοντας τις απαραίτητες κατευθύνσεις για τα νέα τρόφιμα που θα διατεθούν στο εμπόριο, ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλειά τους. Σύμφωνα με την ΟJEU (Official Journal of European Union) [85], τα τρόφιμα αυτά για να έχουν την δυνατότητα να λάβουν έγκριση, θα πρέπει να τηρούν ορισμένους κανονισμούς, όπως να χαρακτηρίζονται ως ασφαλή προς κατανάλωση, να μην οδηγούν σε εξαπάτηση των καταναλωτών και να μην μειονεκτούν διατροφικά σε περίπτωση που προβλέπονται ως υποκατάστατα υπάρχοντων τροφίμων. Σήμερα σύμφωνα με τον 2015/2283 [85], στην λίστα της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τα εγκεκριμένα νέα τρόφιμα, συγκαταλέγονται αρκετές κατηγορίες, μία εκ των οποίων είναι και τα βρώσιμα έντομα. Τα βρώσιμα έντομα μπορεί να περιλαμβάνουν ολόκληρα έντομα, μεμονωμένα μέρη βρώσιμων εντόμων, καθώς και συστατικά που προέρχονται από αυτά, όπως αλεύρα, εκχυλίσματα, απομονωμένες πρωτεΐνες κ.ά. Επί του παρόντος, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δεχθεί περισσότερες από 20 αιτήσεις για νέα τρόφιμα με βάση τα έντομα [86] και έχει θέσει σε ισχύ τέσσερις εγκρίσεις.

Η πρώτη έγκριση, που δόθηκε, αφορούσε τον κίτρινο αλευροσκώληκα ή *Tenebrio molitor*. Συγκεκριμένα την 1η Ιουνίου 2021 δημοσιεύτηκε ο εκτελεστικός κανονισμός (ΕΕ) 2021/882 [87] για την έγκριση διάθεσης στην αγορά αποξηραμένης προνύμφης *Tenebrio molitor*, ως νέου τροφίμου, σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283 [85] του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου. Βάσει του κανονισμού, το νέο τρόφιμο μπορεί να είναι ολόκληρος ο θερμικώς αποξηραμένος αλευροσκώληκας, είτε σε ακέραιη μορφή (ζεματισμένη προνύμφη, αποξηραμένη σε φούρνο) είτε σε μορφή σκόνης (ζεματισμένη προνύμφη, αποξηραμένη σε φούρνο, αλεσμένη) και η ονομασία του στην επισήμανση των τροφίμων, που περιέχεται, είναι αποξηραμένη προνύμφη *Tenebrio molitor*. Παράλληλα την έγκριση του *Tenebrio molitor*, ακολούθησαν και αυτές για την κατεψυγμένη μεταναστευτική ακρίδα (*Locusta migratoria*) και τον αλεσμένο και κατεψυγμένο γρύλο (*Acheta domesticus*).

Στις αρχές του Ιανουαρίου 2023 [88], εγκρίθηκε και το μικρό σκαθάρι των αλεύρων (*Alphitobius diaperinus*) ως τροφή. Τέλος, εκτός της ισχύουσας νομοθεσίας, κάποιες χώρες, όπως η Γαλλία, το Βέλγιο, η Ολλανδία και η Αυστρία, έχουν δημιουργήσει τους δικούς τους κρατικούς νόμους για τον έλεγχο της εμπορίας τροφίμων με βάση τα έντομα, γεγονός που παραχωρεί το δικαίωμα στις επιχειρήσεις να παράγουν και να πωλούν, σύμφωνα με τους κανονισμούς που διέπουν την ασφάλεια των συμβατικών τροφίμων [89].

1.9 Εμπλουτισμός τροφίμων με *Tenebrio molitor*

Η επιστημονική γνωμοδότηση της Ευρωπαϊκής Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) σχετικά με την ασφάλεια των αποξηραμένων (ολόκληρων ή αλεσμένων) προνυμφών *Tenebrio molitor*, λαμβάνοντας υπόψη τις χρήσεις τους σε διάφορα τρόφιμα και η ακόλουθη έγκριση από τη Μόνιμη Επιτροπή Φυτών, Ζώων, Τροφίμων και Ζωοτροφών, έφερε στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος το *Tenebrio molitor* [41]. Παρατηρώντας το διατροφικό προφίλ του *Tenebrio molitor* και την ολοένα αυξανόμενη συνείδηση των καταναλωτών για καινοτόμα, βιώσιμα και αυξημένης θρεπτικής αξίας τρόφιμα, έχει ήδη ξεκινήσει η διερεύνηση αυτής της αναδυόμενης πηγής για την παραγωγή εμπλουτισμένων τροφίμων. Επιπρόσθετα, καταλυτικό ρόλο έπαιξε σε αυτό, η μεγαλύτερη προτίμηση των καταναλωτών σε προϊόντα παραγόμενα με άλευρο *Tenebrio molitor*, σε αντίθεση με εκείνα που περιείχαν άλευρο από τα υπόλοιπα ευρωπαϊκά εδώδιμα έντομα.

Πολλές εφαρμογές που χρησιμοποιούν το *Tenebrio molitor* σε τρόφιμα έχουν μελετηθεί από τις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. Η πιο διαδεδομένη χρήση του είναι σε αρτοσκευάσματα και προϊόντα δημητριακών, όπως ψωμί, μπισκότα, κράκερ κ.ά. Η κύρια εφαρμογή του σε αυτά τα τρόφιμα είναι υπό την μορφή αλεύρου, το οποίο αντικαθιστά συνήθως το αλεύρι σίτου [33]. Με την προσθήκη αλεύρου *Tenebrio molitor* στα διάφορα αρτοσκευάσματα παρατηρούνται αλλαγές τόσο στα οργανοληπτικά όσο και στα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά [90,91]. Πέρα από τα αρτοσκευάσματα, το *Tenebrio molitor* βρίσκει εφαρμογή και σε άλλες ομάδες τροφίμων όπως είναι το κρέας, τα γαλακτοκομικά προϊόντα, το λάδι κ.ά. [92–94]. Πρόσφατες μελέτες παρουσιάζουν την προσπάθεια των εταιριών στην εξαγωγή και αναδιάρθρωση των πρωτεϊνών, καθώς και των υπόλοιπων συστατικών του εντόμου, σε συστατικά τροφίμων, τα οποία έχουν την ικανότητα να τροποποιούνται και να προσαρμόζονται στο τελικό τρόφιμο. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν πρωτεΐνες με υφή παρόμοια του κρέατος και υποκατάστατα αυγών ή γαλακτοκομικών σε πρακτικές αρτοποιίας [95]. Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλο εύρος τροφίμων στα οποία μπορεί να ενσωματωθεί το έντομο και τελικά

αυτά τα τρόφιμα, τα οποία αναλύονται παρακάτω, να χαρακτηρίζονται για την υψηλότερη διατροφική τους αξία.

1.9.1 Αρτοσκευάσματα

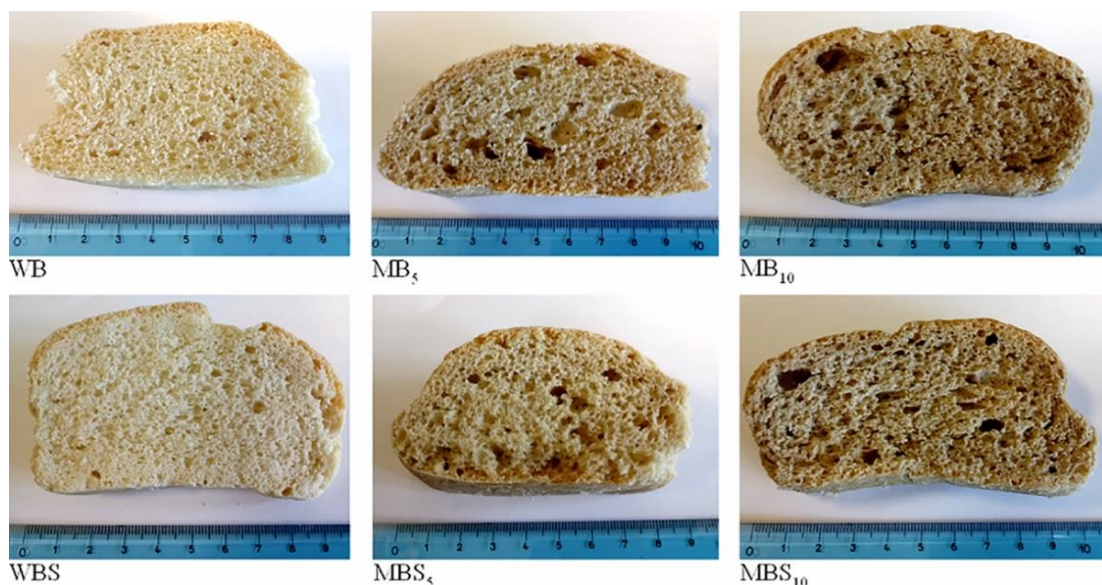
1.9.1.1 Ψωμί

Οι Kim et al. [96] ηγήθηκαν στην ενοποίηση αλευριού από προνύμφες *Tenebrio molitor* για την παραγωγή ψωμιού, καθιστώντας τον εν λόγω τομέα σημαντικό ορόσημο στην εύρεση εναλλακτικών συστατικών πλούσιων σε πρωτεΐνες για διάφορα προϊόντα αρτοποιίας. Η έρευνα τους είχε ως στόχο τη δημιουργία τριών διαφορετικών σκευασμάτων ψωμιού, όπου το καθένα περιείχε διάφορα ποσοστά σκόνης προνυμφών *Tenebrio molitor* (2, 4 και 6%). Ακολουθήθηκε μια πλήρη αξιολόγηση των βασικών παραμέτρων, οι οποίοι επηρεάζουν τόσο τα χαρακτηριστικά της ζύμωσης, όπως είναι το pH, η συνολική οξύτητα, ο ειδικός όγκος, όσο και τα χαρακτηριστικά του χρώματος και των αισθητηριακών αξιολογήσεων. Τα τρία δείγματα συγκρίθηκαν με ένα ψωμί ελέγχου, το οποίο περιείχε συμβατικό αλεύρι.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης αποκάλυψαν ενδιαφέρουσες πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που το άλευρο προνυμφών *Tenebrio molitor* επιδρά στις ιδιότητες του ψωμιού. Αρχικά, παρόλο που η προστιθέμενη ποσότητα του αλεύρου εντόμου ήταν μεγάλη στο ψωμί, παρατηρήθηκε μείωση σχετικά με την διόγκωση της ζύμης, κάτι το οποίο δικαιολογείται καθώς οι προνύμφες *Tenebrio molitor* δεν περιέχουν γλουτένη [97]. Με την αύξηση του αλεύρου εντόμων στο ψωμί, τα επίπεδα pH αυξήθηκαν ενώ η οξύτητα μειώθηκε, αφού το άλευρο του περιείχε πρωτεΐνες, λιπαρά και άλλες ενώσεις που δεν είναι ιδιαίτερα όξινες, με αποτέλεσμα το pH του να κυμαίνεται από 6,4 έως 7,5 (σχετικά ουδέτερο) [98]. Ένα επιπλέον αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης αυτής παρατηρείται στα χαρακτηριστικά του χρώματος του δείγματος του ψωμιού, του οποίου το χρώμα δεν επηρεάστηκε, παρόλο που το άλευρο προνύμφης *Tenebrio molitor* έχει σκούρο χρώμα, λόγω της σύνθεσης του. Μετά από την διεξαγωγή ενός οργανοληπτικού ελέγχου, το ψωμί με την προσθήκη 2% αλεύρου προνύμφης *Tenebrio molitor*, έλαβε τους μεγαλύτερους βαθμούς σε εμφάνιση, γεύση και συνολική αποδοχή, αναδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο τη μεγάλη προοπτική αυτού του αλεύρου ως ένα εναλλακτικό πρωτεϊνικό συστατικό σε προϊόντα αρτοποιίας.

Μετά από κάποια χρόνια, οι Roncolini et al. [99] παρασκεύασαν ψωμιά με την προσθήκη υψηλότερων ποσοστών αλεύρου προνυμφών *Tenebrio molitor* και συγκεκριμένα 5 και 10%, όπως φαίνονται στην Εικόνα 12. Η έρευνα αυτή εστίασε στην εκτίμηση της θρεπτικής αξίας

του ψωμιού και στην αντιμικροβιακή δράση αυτών των προϊόντων ψωμιού. Σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας, το ψωμί με αλεύρι σίτου περιείχε 8,9% ακατέργαστη πρωτεΐνη και με την προσθήκη αλεύρου προνυμφών *Tenebrio molitor* (5%), παρατηρήθηκε αύξηση του ποσοστού πρωτεΐνης, καταλήγοντας σε ποσοστό 11,6% και πάνω από 30% για το δείγμα 10% αλεύρου εντόμων. Ίδια αποτελέσματα προέκυψαν και για το λίπος.



Εικόνα 12. Φέτες ψωμί που προέκυψαν από συνθέσεις ζυμαριών με τη χρήση αλεύρου σίτου (w) ή διαφορετικών μειγμάτων αλεύρου σίτου και 5% ή 10% άλευρο *Tenebrio molitor* (M) αναμειγμένων με μαγιά αρτοποιού ως ζυμωτικά μέσα και προζύμι (S)[99].

Με αυτά τα αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι η προσθήκη θρεπτικών συστατικών σε συμβατικά τρόφιμα ενισχύει τη θρεπτική τους αξία χωρίς να δέχεται κάποια επιρροή η διαδικασία παρασκευής. Αναφορικά με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, το χρώμα σε αντίθεση με την προηγούμενη έρευνα των Kim et al. [96], το οποίο είχε παραμείνει ανεπηρέαστο, στην προκειμένη περίπτωση έγινε πιο σκούρο με την προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας αλευριού εντόμου. Τέλος, σχετικά με την προτίμηση κατανάλωσης, το ψωμί από λευκό αλεύρι αποδείχθηκε το πιο αρεστό και έτσι το συμπέρασμα της μελέτης που προέκυψε ήταν ότι η προσθήκη αλεύρου εντόμων άνω του 2% δεν επιλέγεται από τους καταναλωτές.

1.9.1.2 Μπισκότα

Τα μπισκότα αποτελούν το δεύτερο πιο γνωστό καταναλωτικό προϊόν αρτοποιίας μετά το ψωμί [100]. Αυτό αποτελεί μια καλή αφορμή για την ενίσχυση αυτών των φτωχών σε θρεπτικά συστατικά προϊόντων με αλεύρι *Tenebrio molitor*. Η πρώτη απόπειρα πραγματοποιήθηκε από τους Zielińska et al. [101] φτιάχνοντας τρία είδη μπισκότων ενισχυμένα με αλεύρι *Tenebrio molitor* και ένα μπισκότο με συμβατικό αλεύρι, που

αποτελέσει το δείγμα ελέγχου, όπως φαίνονται στην Εικόνα 13. Το δείγμα ελέγχου περιείχε 300 g αλεύρι (M0), ενώ τα τρία μπισκότα στα οποία προστέθηκε αλεύρι *Tenebrio molitor* περιείχαν 15 g (M15), 20 g (M20) και 30 g (M30). Όπως προαναφέρθηκε στο ενισχυμένο ψωμί, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση σε αλεύρι *Tenebrio molitor*, τόσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση σε ακατέργαστη πρωτεΐνη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μεταξύ των μπισκότων, δεν ταυτίζονται με εκείνα του ψωμιού, καθώς η αύξηση του αλευριού *Tenebrio molitor* στα δείγματα δεν προκάλεσε ανάλογη αύξηση των θρεπτικών συστατικών τους. Παρόλο αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι τα δείγματα M15, M20 και M30 ενισχύθηκαν σε σημαντικό επίπεδο σε σχέση με το δείγμα ελέγχου.

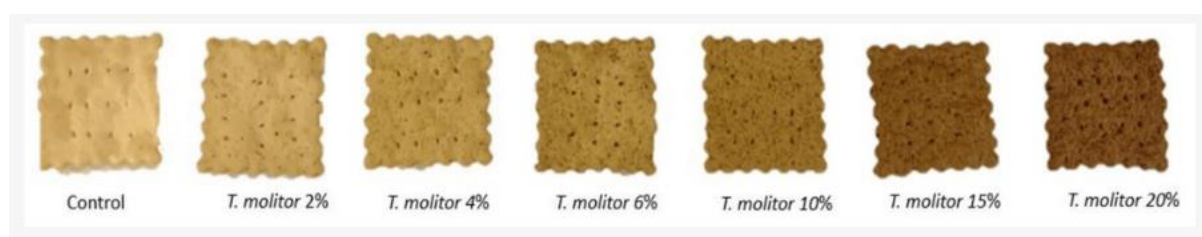


*Εικόνα 13. Μπισκότα που παρασκευάστηκαν με διαφορετικές αναλογίες αλεύρου *Tenebrio molitor* και αλεύρου σίτου (C-δείγμα ελέγχου-M3-προσθήκη 15g αλεύρου *Tenebrio molitor*-M2- προσθήκη 20g αλεύρου *Tenebrio molitor*-M1- προσθήκη 30g αλεύρου *Tenebrio molitor*)[101].*

Ακόμα μια έρευνα πραγματοποιήθηκε από τους Xie et al. [102], στην οποία παρασκευάστηκαν τέσσερα μπισκότα με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου *Tenebrio molitor* 5% (M5), 10% (M10), 15% (M15) και 20% (M20) και έγινε σύγκριση με δείγμα ελέγχου χωρίς έντομα (M0). Σχετικά με τη θρεπτική αξία των διαφόρων μπισκότων, ίσχυε ότι όσο μεγαλύτερο ήταν το επίπεδο υποκατάστασης του συμβατικού αλεύρου με αλεύρι *Tenebrio molitor*, τόσο υψηλότερη ήταν η συγκέντρωση των πρωτεϊνών, λιπιδίων και διαιτητικών ινών στα δείγματα. Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, η βαθμολογία που συγκέντρωσαν τα δείγματα για τις αισθητηριακές τους ιδιότητες έδειξε πως δεν υπήρχε καμία σημαντική διαφορά μέχρι το επίπεδο υποκατάστασης 15%. Ωστόσο, από πλευράς προτίμησης των καταναλωτών, το μπισκότο που επικράτησε περισσότερο ήταν αυτό με περιεκτικότητα 5% σε αλεύρι *Tenebrio molitor*.

1.9.1.3 Κράκερ

Η πρώτη προσπάθεια εμπλουτισμού ενός άλλου προϊόντος αμύλου, όπως το κράκερ, πραγματοποιήθηκε από τους Djouadi et al. [103]. Σε αυτή τη μελέτη, παρασκευάστηκαν κράκερ, στα οποία ενσωματώθηκαν ποικίλες αναλογίες αλεύρου προνυμφών *Tenebrio molitor* (0, 2, 4, 6, 10, 15 και 20%), όπου το 0% αποτέλεσε το δείγμα ελέγχου, όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 14. Το χρώμα των κράκερ γινόταν πιο σκούρο καθώς η συγκέντρωση σε αλεύρι προνύμφης *Tenebrio molitor* αυξανόταν, και ως εκ τούτου, οι καταναλωτές φαίνεται πως δεν προτίμησαν τα κράκερ που περιείχαν 10% ή περισσότερο από αυτό. Επομένως, οι ερευνητές αξιολόγησαν μόνο το κράκερ με 6% αλεύρι εντόμου και το σύγκριναν με το δείγμα ελέγχου. Σχετικά με τη θρεπτική αξία των δύο συγκρίσιμων κράκερ, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη κατέγραψε τιμές από 9,7 έως 13,9%, ενώ η περιεκτικότητα σε τέφρα από 1,9 έως 2,2%. Μελετώντας πιο αναλυτικά την θρεπτική αξία του κράκερ 6%, διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση του σε πολυφαινόλες αυξήθηκε σημαντικά σε αντίθεση με το δείγμα ελέγχου, κατά 148,8%. Αυτή η αύξηση των πολυφαινολών υποδηλώνει την ενίσχυση της αντιοξειδωτικής δράσης του συγκεκριμένου κράκερ [104].



Εικόνα 14. Κράκερ που περιείχαν 2 έως 20% αλεύρο *Tenebrio molitor* (% w/w), καθώς και το δείγμα ελέγχου (απουσία αλεύρο εντόμου)[103].

Σε μία άλλη έρευνα, ένα μέγιστο επίπεδο ενσωμάτωσης 6% αλεύρου *Tenebrio molitor* σε κράκερ, έγινε για μία ακόμα φορά αποδεκτό από τους καταναλωτές, μετά από οργανοληπτική αξιολόγηση. Σύμφωνα με τη υψηλή διατροφική αξία του *Tenebrio molitor*, το αλεύρο του θεωρείται πλούσιο σε πρωτεΐνες και ορισμένα μέταλλα και έτσι η ενσωμάτωσή του στα κράκερ επέτρεψε τον ισχυρισμό "πηγή πρωτεΐνης" και "πηγή καλίου, μαγνησίου, φωσφόρου, σιδήρου και ψευδαργύρου". Επίσης, παρατηρήθηκε στο συγκεκριμένο κράκερ, μείωση της σκληρότητας και αύξηση της τραγανότητας. Σχετικά με την εμφάνιση του κράκερ, φαίνεται πως το χρώμα άλλαξε σε πιο σκούρο, κάτι το οποίο υποδηλώνει μείωση κατά 20% περίπου των τιμών φωτεινότητας L*. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σχετικά ικανοποιητικά και καταλήγουν στο συμπέρασμα πως τα κράκερ, με βάση τα

έντομα, θα μπορούσαν στο μέλλον να εκτιμηθούν και να καταναλωθούν ευρέως ως λειτουργικά τρόφιμα.

1.9.1.4 Μπάρες

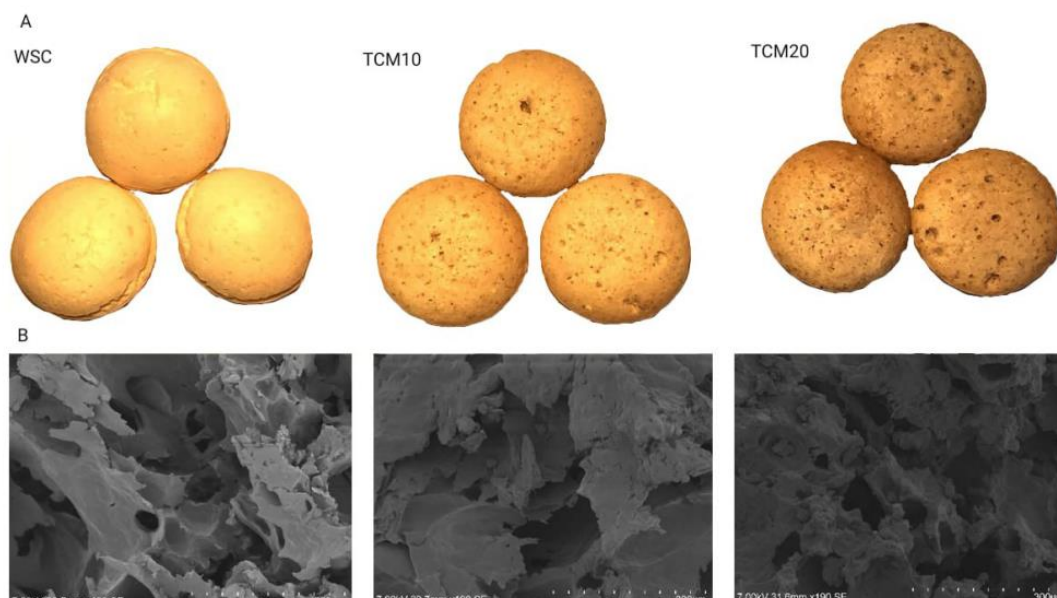
Ολόκληρες προνύμφες *Tenebrio molitor* αξιοποιήθηκαν, σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Πολωνία, για την παρασκευή ενός σνάκ, όπως είναι οι μπάρες [105]. Έτσι, παράχθηκαν τέσσερα διαφορετικά είδη σε σχήμα ράβδου, με το ένα να αποτελεί το δείγμα ελέγχου. Τα τρία δείγματα αποτελούνταν από μπάρες που περιείχαν 7,4% ολόκληρους κίτρινους αλευροσκώληκες (ήταν ορατοί στους καταναλωτές), μπάρες που περιείχαν 7,4% αλεσμένους αλευροσκώληκες και οι τελευταίες μπάρες που περιείχαν 7,4% αλεσμένους γρύλους. Η έρευνα αυτή, διεξήχθη για να αξιολογήσει την προτίμηση των καταναλωτών για το συγκεκριμένο σνακ, αλλά και για να διαπιστωθεί εάν η αποδοχή από τους καταναλωτές επηρεάζεται από την εμφάνιση του τροφίμου και όχι από την σύνθεση του.

Τα αποτελέσματα των καταναλωτών έφεραν στην επιφάνεια ενδιαφέρουσες αλλαγές ως προς την αποδοχή τέτοιων τροφίμων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως το δείγμα που δεν περιείχε έντομα ευνοήθηκε σε σύγκριση με τα ομόλογα εμπλουτισμένα με έντομα δείγματα. Ακόμα, οι δοκιμαστές διέκριναν ότι η εμφάνιση των ράβδων που αποτελούνταν από γρύλους δεν ήταν ελκυστική σε σχέση με τα υπόλοιπα, επισημαίνοντας τη σημασία της οπτικής ελκυστικότητας ως κριτήριο επιλογής των καταναλωτών. Η έρευνα υπογράμμισε πως η γεύση προτάθηκε ως καθοριστικός παράγοντας για την αποδοχή των ράβδων με έντομα. Η μπάρα με αλεύρι προνύμφης *Tenebrio molitor* αποτέλεσε το προτιμότερο σνακ σε αντίθεση με αυτή με ολόκληρες προνύμφες και σχετικά με την εμφάνιση και τη γεύση δεν είχε μεγάλες αποκλίσεις από την μπάρα ελέγχου. Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο αποδοχής, είναι η οσμή του τροφίμου, η οποία αναδείχθηκε στατιστικά ως δείκτης ποιότητας, με το δείγμα ελέγχου να έχει την πιο ελκυστική οσμή και ακολουθούμενο από το δείγμα χωρίς εμφανή έντομα και το δείγμα με εμφανή έντομα. Όσον αφορά τις μπάρες με προνύμφες *Tenebrio molitor*, η εμφάνιση των προνυμφών έδειξε ότι επηρέασε σημαντικά την οσμή του τροφίμου. Τέλος, φάνηκε πως οι διαφορές στην εμφάνιση και στη γεύση μεταξύ των ράβδων ελέγχου και εκείνων με εμφανώς ενσωματωμένα έντομα ήταν ελάχιστες.

1.9.1.5 Κέικ-Παντεσπάνι

Ένα ακόμα τρόφιμο, στο οποίο έγινε έρευνα [106] για τη προσθήκη εδωδιμων εντόμων, ήταν το κέικ-παντεσπάνι. Οι ερευνητές παρασκεύασαν ένα παντεσπάνι σίτου, το οποίο αποτέλεσε το δείγμα ελέγχου και ένα παντεσπάνι, όπου ένα μέρος του αλεύρου σίτου αντικαταστάθηκε από αλεύρι *Tenebrio molitor* σε ποσοστά 10% (TMC10) και 20% (TMC20), τα οποία απεικονίζονται στην Εικόνα 15. Στα παντεσπάνια χρησιμοποιήθηκαν υποκατάστατο αυγών χαμηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και ζάχαρη σε σκόνη. Η αντικατάσταση 10-20% του αλεύρου σίτου με αλεύρι από προνύμφες *Tenebrio molitor* είχε ως αποτέλεσμα την μείωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των κέικ.

Οι αλλαγές στην γεύση και την υφή των εμπλουτισμένων κέικ επηρέασαν την προτίμηση των καταναλωτών, αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό σε σχέση με το δείγμα ελέγχου. Επιπρόσθετα, η προσθήκη αλεύρου *Tenebrio molitor* προκάλεσε αύξηση της διατροφικής αξίας των τελικών προϊόντων, καθώς και μείωση της σκληρότητας και θραυστότητας, τόσο κατά την ημέρα ψησίματος όσο και σε όλη τη διάρκεια αποθήκευσης τους (30 ημερών). Η μικροβιολογική ποιότητα των παντεσπανιών δεν επηρεάστηκε από την προσθήκη αυτή, καθώς παρατηρήθηκε ότι μετά από 30 ημέρες αποθήκευσης, τα TMC10 και TMC20 εμφάνισαν μικρότερο αριθμό αμυλολυτικών βακτηρίων και συνολικών βακτηρίων σε σύγκριση με το κέικ ελέγχου.



Εικόνα 15. Κέικ από αλεύρι σίτου (SC) και κέικ με 10% (TMC10) και 20% (TMC20) προσθήκη αλεύρου *Tenebrio molitor* A) γενική εμφάνιση, B) εικόνες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) της δομής των κέικ[106].

1.9.2 Κρέας

1.9.2.1 Μπιφτέκι

Το έντομο *Tenebrio molitor*, πέρα από τα προϊόντα αρτοποιίας, χρησιμοποιήθηκε και σε προϊόντα με βάση το κρέας. Για αυτό το λόγο, παρασκευάστηκαν μεμονωμένα σκευάσματα μπιφτεκιού στο Πανεπιστήμιο της Λιέγης [107]. Πιο συγκεκριμένα, παράχθηκαν ένα μπιφτέκι από μοσχαρίσιο κιμά χωρίς γεύση, μια παραλλαγή με βάση τις φακές (που αποτελείται από 95% πράσινες φακές), ένα μπιφτέκι με 45% πράσινες φακές και 50% *Tenebrio molitor* και ένα μπιφτέκι που περιέχει 45% μοσχαρίσιο κιμά και 50% *Tenebrio molitor*. Σε κάθε περίπτωση από τις παραπάνω, ένα 5% από κάθε μπιφτέκι αποτελούνταν από ένα μείγμα αρωμάτων, το οποίο περιλάμβανε κρεμμύδια, καρότα, πελτέ ντομάτας, σκόρδο, αλάτι και πιπέρι. Τα συγκεκριμένα μπιφτέκια φτιάχτηκαν ώστε να εξεταστεί το επίπεδο της νεοφοβίας για την κατανάλωση εδώδιμων εντόμων στις δυτικές κοινωνίες.

Ύστερα από ανάλυση των αξιολογήσεων των συμμετεχόντων, προέκυψε πως το φύλο παίζει καθοριστικό ρόλο. Αναφορικά με τη γεύση του μπιφτεκιού, οι συμμετέχοντες προτίμησαν, όπως ήταν αναμενόμενο, το παραδοσιακό μοσχαρίσιο μπιφτέκι, ταξινομώντας το ως πρώτο. Αξίζει να επισημανθεί ότι το ανδρικό φύλο έδειξε ιδιαίτερη προτίμηση στα μπιφτέκια που περιείχαν βοδινό κρέας ή έντομο *Tenebrio molitor* παρά στα πλήρως φυτικά. Αντίθετα, το γυναικείο φύλο έδειξε αποκλειστικό ενδιαφέρον στα συμβατικά μπιφτέκια με βοδινό κρέας. Ένα σημαντικό αποτέλεσμα που πρέπει να αναφερθεί ήταν η θετική στάση των συμμετεχόντων, με το 70% αυτών να εκδηλώνει εμπιστοσύνη ως προς την ενσωμάτωση των εντόμων στις μελλοντικές διατροφικές τους συνήθειες.

1.9.2.2 Λουκάνικα

Οι Kim et al. [108], οι πρώτοι επιστήμονες που επιχείρησαν αυτή την έρευνα, αποφάσισαν να παρασκευάσουν λουκάνικα που περιλάμβαναν διάφορους τύπους αλευριού *Tenebrio molitor*. Αρχικά, έφτιαξαν ένα συμβατικό χοιρινό λουκάνικο που περιείχε 60% άπαχο χοιρινό, 20% λίπος και 20% πάγο, το οποίο αποτέλεσε και το δείγμα ελέγχου. Συγχρόνως, τα λουκάνικα που περιείχαν έντομα παράχθηκαν αντικαθιστώντας το 10% του άπαχου χοιρινού κρέατος με αλεύρι από προνύμφες *Tenebrio molitor*. Ουσιαστικά, χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά αλεύρια *Tenebrio molitor* για την παραγωγή τριών διαφορετικών λουκάνικων. Τα τρία είδη αλευριού προνυμφών *Tenebrio molitor*, που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν μη επεξεργασμένο αλεύρι, αλεύρι απολιπασμένο και αλεύρι υδρολυμένο με οξύ.

Τα ευρήματα, που προέκυψαν, έδειξαν ότι η υψηλή επεξεργασία του αλευριού *Tenebrio molitor*, είχε ως συνέπεια την αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη στα τελικά δείγματα. Πιο συγκεκριμένα, την μεγαλύτερη συγκέντρωση πρωτεϊνών, την είχαν το λουκάνικο με το απολιπασμένο και εκείνο με το υδρολυμένο αλεύρι από προνύμφες *Tenebrio molitor*, με αύξηση από 22,6 σε 31,3%. Πέρα από την πρωτεΐνη, έμφαση δόθηκε και στα μέταλλα που περιλαμβάνονταν στα τελικά δείγματα. Η ενσωμάτωση αλεύρου προνυμφών *Tenebrio molitor*, ανεξάρτητα από την επεξεργασία που δέχτηκε, αύξησε την συγκέντρωση όλων των μεταλλικών στοιχείων, όπως φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο κ.ά. Ωστόσο, τα δείγματα που περιείχαν απολιπασμένο και υδρολυμένο με οξύ αλεύρι εντόμου, εμφάνισαν τη χαμηλότερη συγκέντρωση σε μεταλλικά στοιχεία.

Με αυτό τον τρόπο, αποδεικνύεται ότι σε ένα θρεπτικό προϊόν, όπως το λουκάνικο, μπορεί να ενισχυθεί ακόμη περισσότερο η διατροφική του αξία και με την ενσωμάτωση 10% αλεύρου εντόμου. Ακόμα, γίνεται αντιληπτό ότι η μέθοδος επεξεργασίας του αλεύρου επιδρά στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών στο τελικό προϊόν, γι' αυτό ανάλογα με τα θρεπτικά συστατικά που πρόκειται να ενισχυθούν σε ένα προϊόν, το αλεύρι που χρησιμοποιείται θα πρέπει να δεχτεί την αντίστοιχη και κατάλληλη επεξεργασία.

1.9.3 Σάλτσα σόγιας

Στην Ασία, μία από τις κυριότερες τροφές πρωτεϊνικής φύσεως είναι η σάλτσα σόγιας [109], η οποία πέρα από την υψηλή συγκέντρωση της σε ακατέργαστη πρωτεΐνη, περιέχει σχεδόν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα όπως κυστεΐνη και μεθειονίνη που προσδίδουν την πικρή γεύση και τη λυσίνη, που προσδίδει τη γλυκιά [110,111]. Λόγω της ευρέως χρήσης της σάλτσας σόγιας, πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια παραγωγής ενισχυμένης σάλτσας σόγιας με αλεύρι από προνύμφες *Tenebrio molitor*. Οι Lee και Kim [112] παρασκεύασαν τέσσερις διαφορετικές συνθέσεις σάλτσας σόγιας. Αυτές οι συνθέσεις, περιλάμβαναν μια αλεσμένη σόγια, μια ανάμεικτη αλεσμένη σόγια με θερμαινόμενη okara, μια με απολιπασμένη σκόνη προνυμφών *Tenebrio molitor* και μια με θερμαινόμενη okara αλλά και απολιπασμένη προνύμφη *Tenebrio molitor*. Από τα παραπάνω, παράχθηκαν πέντε σάλτσες: μια με υψηλή συγκέντρωση σε αλάτι με αλεσμένη σόγια (δείγμα 1), μια με χαμηλή συγκέντρωση σε αλάτι με αλεσμένη σόγια (δείγμα 2), μια με χαμηλή συγκέντρωση σε αλάτι με ανάμεικτη αλεσμένη σόγια με θερμαινόμενη okara (δείγμα 3), μία με χαμηλή συγκέντρωση σε αλάτι με σκόνη προνυμφών *Tenebrio molitor* (δείγμα 4) και η τελευταία με χαμηλή συγκέντρωση σε αλάτι και με θερμαινόμενη okara και με απολιπασμένες προνύμφες *Tenebrio molitor* (δείγμα 5).

Οι σάλτσες εξετάστηκαν ως προς την περιεκτικότητά τους σε ελεύθερα αμινοξέα, την σταθερότητά τους στην οξείδωση, καθώς και για τις αισθητηριακές τους ιδιότητες. Τα απαραίτητα αμινοξέα, που είναι 20 στο σύνολο [113], βρέθηκαν στις σάλτσες σόγιας, με το δείγμα 4 να έχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε αυτά (28,6 mg/L), με ακόλουθα τα 5, 1, 2 και 3 σε συγκεντρώσεις 25,7 11,5 9,6 και 2,1 mg/L, αντίστοιχα. Το πιο άφθονο αμινοξύ, που εντοπίστηκε σε αυτές τις σάλτσες σόγιας ήταν το γλουταμινικό οξύ (593–5600 mg/L), με τα δείγματα 4 και 5 να εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές 4830 και 5600 mg/L, αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο, επιβεβαιώθηκε η υψηλή θρεπτική αξία των τροφίμων που εμπλουτίστηκαν με άλευρο προνύμφης *Tenebrio molitor*. Πέρα από την υψηλή περιεκτικότητα σε απαραίτητα αμινοξέα, τα δείγματα 4 και 5 έδειξαν μια σημαντική αύξηση της σταθερότητας τους κατά την διαδικασία της οξείδωσης. Τέλος, το δείγμα 5 εντυπωσίασε αρκετά τους καταναλωτές σε σχέση με τα άλλα δείγματα, διότι η γεύση και η συνολική του εικόνα ήταν αρκετά ελκυστική. Συνεπώς, το αλεύρι από προνύμφες *Tenebrio molitor* ήταν ιδιαίτερα κατάλληλο για την παραγωγή εμπλουτισμένων διατροφικά σαλτσών σόγιας και με χαμηλή περιεκτικότητα σε αλάτι.

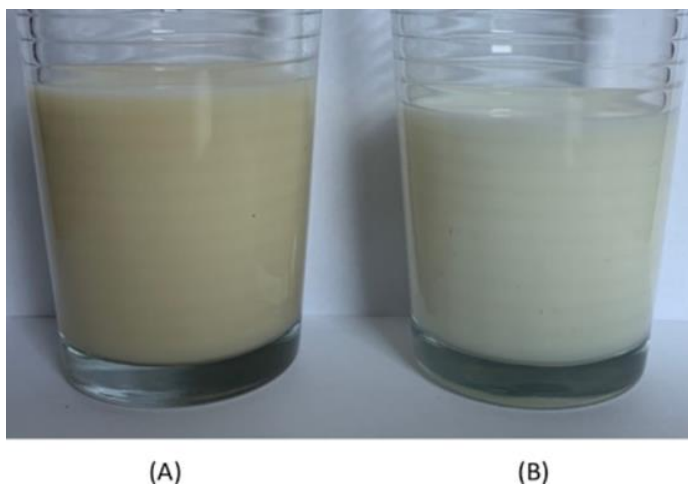
1.9.4 Γαλακτοκομικά προϊόντα

1.9.4.1 Γάλα

Το γάλα αποτελεί ένα από τα πιο κοινά οικιακά προϊόντα, που μπορεί να συναντήσει κανείς και διαθέτει εξαιρετικές λειτουργικές, θρεπτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες [114]. Πρόσφατα στο Πανεπιστήμιο του Μάαστριχτ πραγματοποιήθηκαν έρευνες, οι οποίες έδειξαν πως η πρωτεΐνη των προνυμφών *Tenebrio molitor* ταυτίζεται με εκείνη του γάλακτος, λόγω του πλήρους προφίλ των απαραίτητων αμινοξέων (EAA) και της πέψης [115]. Τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων ερευνών, έδωσαν το έναυσμα στους Tello et al. [93] να παρασκευάσουν ένα καινοτόμο προϊόν, δηλαδή γάλα από προνύμφες *Tenebrio molitor*, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16, με σκοπό να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν σχέση με την παραγωγή συμβατικού βόειου γάλακτος.

Το προϊόν αυτό που παρασκευάστηκε αποτελούνταν από 1,19% ακατέργαστη πρωτεΐνη, 5,76% λίπος και ποσοστό μικρότερο του 1% υδατάνθρακες. Η παραγωγή γάλακτος εντόμων φαίνεται να έχει σημαντικά χαμηλότερο αντίκτυπο στο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη σε σύγκριση με το βόειο γάλα. Ειδικότερα, το γάλα εντόμων έχει 0,76 kg ισοδύναμα CO₂, ενώ το βόειο γάλα αντιπροσωπεύει 1,6 10¹² kg ισοδύναμα CO₂ ετησίως [93]. Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι κρίσιμη για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και η αλλαγή στις πηγές παραγωγής γάλακτος μπορεί να συμβάλει

σημαντικά σε αυτό. Ωστόσο, το συγκεκριμένο γάλα βρίσκεται ακόμα σε πιλοτικό στάδιο και είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν κατάλληλες διαδικασίες, ώστε να παραχθεί ένα τελικό προϊόν που θα είναι τόσο βρώσιμο, όσο και εμπορεύσιμο. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη προσπάθεια ανοίγει το δρόμο για ένα ακόμη ευρέως καταναλώσιμο προϊόν, που θα περιορίσει σε μεγάλο βαθμό την αρνητική επίδραση της παραγωγής βόειου γάλακτος.



Εικόνα 16. Σύγκριση μεταξύ γάλακτος εντόμων (Α) και γάλακτος βοοειδών (Β)[93].

1.9.4.2 Αλειφόμενο τυρί

Μια από τις πιο πρόσφατες μελέτες [116] που πραγματοποιήθηκαν για την παρασκευή εμπλουτισμένης τροφής με προνύμφες *Tenebrio molitor*, αφορούσε την παρασκευή ενός αλειφόμενου τυριού. Το συγκεκριμένο προϊόν παρήχθη, χρησιμοποιώντας εννέα διαφορετικούς συνδυασμούς από τρία διακριτά συστατικά, τα οποία ήταν συμπύκνωμα πρωτεΐνης γάλακτος, αλεύρια φασολιών και αλεύρι *Tenebrio molitor*, σε συνολικό ποσοστό 7,1%. Τα δείγματα είχαν τις ακόλουθες αναλογίες συστατικών: 100/0/0 (δείγμα ελέγχου)—C1, 50/50/0—C2, 0/50/50—C3, 50/0/50—C4, 75/0/25—C5, 75/25/0—C6, 25/50/25—C7, 25/25/50—C8 και 50/25/25—C9. Τα παραπάνω δείγματα, τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 17, αξιολογήθηκαν τόσο για την θρεπτική τους αξία, όσο και για τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.



Εικόνα 17. Τα δείγματα με ετικέτες από C1 έως C9, περιείχαν διαφορετικές αναλογίες πρωτεΐνης γάλακτος, συμπυκνωμένης πρωτεΐνης φασολιών *faba* και αλεύρου εντόμων (MPC/FBP/IF): C1 (100/0/0), C2 (50/50/0), C3 (0/50/50), C4 (50/0/50), C5 (75/0/25), C6 (75/25/0), C7 (25/50/25), C8 (25/25/50) και C9 (50/25/25)[116].

Όσον αφορά το προφίλ των πρωτεϊνών τους, η προσθήκη δύο πρωτεϊνικών συστατικών, του αλεύρου *Tenebrio molitor* και του αλεύρου *faba faba* [117], δεν αύξησε την συγκέντρωση πρωτεΐνης των εκάστοτε δειγμάτων. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη που σημειώθηκε στα δείγματα C1–C9 ήταν 5,2%, 4,8%, 4,2%, 4,6%, 4,9%, 5,0%, 4,5%, 4,4% και 4,7% αντίστοιχα, με την αμέσως υψηλότερη τιμή από το δείγμα ελέγχου να συναντάται στο δείγμα C6 με 5%. Όσον αφορά τα λιπαρά το δείγμα C1, που διέθετε την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, είχε τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά, 30,1%, ενώ το δείγμα C3, που εμφάνιζε χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, είχε την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λίπος, 31,9%. Επιπλέον, σχετικά με τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά, τα δείγματα C2, C7 και C9 παρουσίασαν την πιο επιθυμητή γεύση, καθώς διέθεταν μια πιο χαρακτηριστική τυρώδη γεύση σε σύγκριση με τα άλλα δείγματα, ενώ τέλος εκείνα που περιείχαν αλεύρι *Tenebrio molitor* εμφάνισαν προφίλ γεύσης προτιμότερο σε σύγκριση με τα δείγματα που δεν το περιείχαν.

1.9.4.3 Παγωτό

Το παγωτό είναι ένα γαλακτοκομικό προϊόν κατεψυγμένης μορφής, με συστατικά του να αποτελούν η κρέμα ή το λίπος βουτύρου, το γάλα, η ζάχαρη και τα αρώματα [118]. Ως γλυκό, το παγωτό, κατατάσσεται στην κατηγορία των παχυντικών επιδορπίων, χωρίς να διαθέτει κάποια θρεπτική αξία. Για αυτό το λόγο, στην προσπάθεια εμπλουτισμού της θρεπτικής αξίας του παγωτού [119], αναπτύχθηκε ένα νέο προϊόν και συγκεκριμένα ένα παγωτό με γεύση φράουλα-cranberry που περιέχει προνύμφες *Tenebrio molitor* [120]. Αναλυτικότερα, παρασκευάστηκαν τέσσερα διαφορετικά δείγματα, με ένα εξ' αυτών να λογίζεται ως δείγμα ελέγχου (HCOo). Το πρώτο ήταν με προσθήκη προνυμφών *Tenebrio molitor* (HT), το δεύτερο με μείγμα προνυμφών *Tenebrio molitor* και chia (HTC), και το τελευταίο με την προσθήκη ενός μείγματος προνυμφών και κινόας (HTQ).

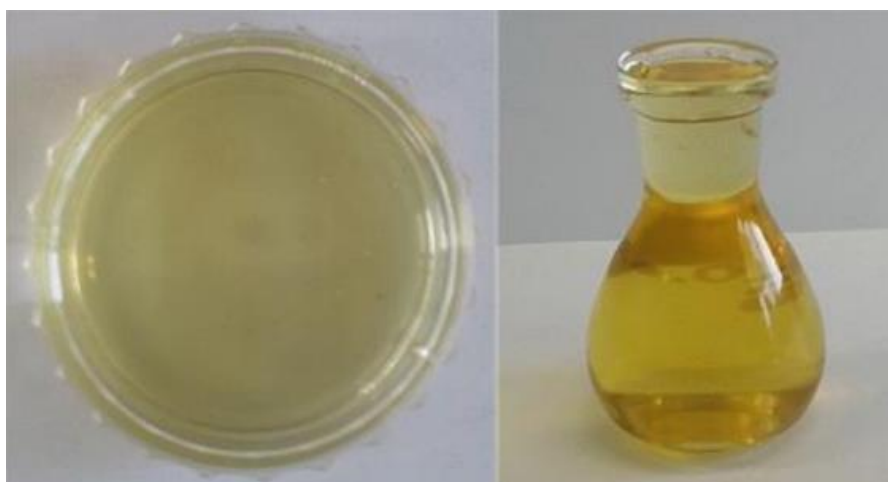
Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η προσθήκη εντόμου συντέλεσε στην αύξηση της ακατέργαστης πρωτεΐνης, των βιταμινών και των μετάλλων του προϊόντος, αυξάνοντας σημαντικά τη θρεπτική αξία του παγωτού. Το υψηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης βρέθηκε στο δείγμα HT, 11,8%, ενώ το δεύτερο πιο πλούσιο σε πρωτεΐνη παγωτό ήταν το δείγμα HTC με ποσοστό 11,4%. Τα συγκεκριμένα δείγματα, πέρα από την υψηλή συγκέντρωσή τους σε πρωτεΐνη, παρουσίασαν υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα, καθώς και σε λιποδιαλυτές βιταμίνες (A,D,E,K) και βιταμίνες του συμπλέγματος B (B1, B2, B3, B9, B12). Με την παραπάνω έρευνα, έγινε γνωστή μια επιπλέον χρήση του αλεύρου προνυμφών *Tenebrio molitor*, δρομολογώντας έτσι τις εξελίξεις και για άλλα τρόφιμα στα οποία μπορεί να προστεθεί το αλεύρο αυτού και να ενισχύσει τη θρεπτική τους αξία.

1.9.5 Λάδι

Οι Son et al. [94] πραγματοποίησαν μια μελέτη αναφορικά με την καταλληλότητα του λαδιού προνυμφών *Tenebrio molitor* για κατανάλωση ή ως συστατικό σε διάφορα τρόφιμα. Στην έρευνα, το λάδι προνυμφών, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 18, εμφανίστηκε ως ανοιχτό κίτρινο υγρό, όπως τα βρώσιμα έλαια που χρησιμοποιούνται ως συνήθως από τους καταναλωτές. Οι υπολογισμοί έδειξαν πως τα βρώσιμα έλαια του εμπορίου έδιναν ως τιμή υπεροξειδίου λιγότερο από 2 ισοδύναμα/κιλό ελαίου [121], ενώ το έλαιο *Tenebrio molitor* έδινε τιμή της τάξης των 3,5 ισοδύναμα/κιλό ελαίου. Η τιμή αυτή, αν και υποδήλωνε πως το έλαιο *Tenebrio molitor* δεν διέθετε την ίδια σταθερότητα με τα συμβατικά έλαια, βρισκόταν κάτω από τα επιτρεπτά όρια (10 ισοδύναμα οξυγόνου/κιλό ελαίου) [122] και έτσι μπορούσε να θεωρηθεί γενικά αρκετά σταθερό και κατάλληλο για βρώση. Η σταθερότητά του επιβεβαιώθηκε και μέσω του προσδιορισμού δεικτών δευτερογενής οξείδωσης

(TBARS) που πραγματοποιήθηκε, όπου σε αυτή την περίπτωση το λάδι έδειξε τιμή 1,8 mg MDA/kg λαδιού [123].

Επιπροσθέτως, μελετήθηκε η συγκέντρωση του ελαίου σε τοκοφερόλη (βιταμίνη E), η οποία είναι ένα από τα γνωστότερα φυσικά αντιοξειδωτικά και η λειτουργία της είναι να εμποδίζει την οξείδωση των λιπιδίων από τις ελεύθερες ρίζες [124]. Το έλαιο από προνύμφες *Tenebrio molitor* βρέθηκε πλούσιο σε βιταμίνη E, με περιεκτικότητα 144,3 mg/kg ελαίου. Από την παρούσα μελέτη συντάσσεται το συμπέρασμα, ότι το συγκεκριμένο έλαιο μπορεί εύκολα να συγκριθεί με τα αντίστοιχα συμβατικά, όπως το ελαιόλαδο και το σογιέλαιο, που αναφορικά με την συγκέντρωσή τους κυμαίνονταν από 80,0 έως 1360,0 mg/kg βιταμίνης E [125].



Εικόνα 18. Λάδι από *Tenebrio molitor* εκχυλισμένο με *n*-εξάνιο[94].

1.9.6 Σούπες

Οι σούπες αποτελούν ένα από τα πιο διαδεδομένα τρόφιμα παγκοσμίως. Είναι κατάλληλο για κάθε ηλικιακή ομάδα και μπορεί ως προϊόν να θεωρηθεί βάση για την παρασκευή τροφίμων εμπλουτισμένων με έντομα [126]. Επιπλέον, σούπες στις οποίες έχει γίνει προσθήκη εντόμων, δύναται να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς υπό τη μορφή ψυχρής αποξήρανσης και σκόνης, καθιστώντας τις εύχρηστες και λειτουργικές τροφές [127]. Παράλληλα, η ενσωμάτωση εντόμων σε σούπες σε μορφή σκόνης, είναι δυνατόν να γίνει ευκολότερα αποδεκτή από ορισμένους καταναλωτές.

Σύμφωνα με μελέτες, μεταξύ των βρώσιμων εντόμων που είναι ευρέως γνωστά, το υψηλότερο επίπεδο αποδοχής, τόσο στη σούπα ντομάτας όσο και στην σούπα λαχανικών, σχετίζεται με τους κίτρινους αλευροσκώληκες (*Tenebrio molitor*). Η αποδοχή αυτή, όπως υποδεικνύει η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης που πραγματοποιήθηκε στην παραπάνω μελέτη [126], έδειξε ότι οφειλόταν κατά κύριο λόγο στη γεύση και την υφή των προϊόντων.

Παρά τα παραπάνω στοιχεία, δεν έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες αναφορικά με την αποδοχή των εντόμων στις σούπες, ειδικότερα μεταξύ των Ευρωπαίων καταναλωτών.

2. Σκοπός

Τα τελευταία χρόνια, η εύρεση εναλλακτικών πηγών πρωτεϊνών, έχει κεντρίσει σε μεγάλο βαθμό το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας στο τομέα των τροφίμων. Η ολοένα και ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και τα προβλήματα που συνεπάγονται, όπως είναι η επισιτιστική κρίση, θα οδηγήσουν σε αύξηση ζήτησης των τροφίμων, καθώς και εναλλακτικών πηγών πρωτεϊνών. Η αξιοποίηση εντόμων, ως εναλλακτική λύση, ακολουθεί ένα κυκλικό σύστημα παραγωγής, το οποίο έχει προσελκύσει ιδιαίτερα την προσοχή των κρατών σήμερα, καθώς τα έντομα έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν ένα εκτενές φάσμα υποπροϊόντων και οργανικών αποβλήτων σε θρεπτικά προϊόντα και ζωοτροφές.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο σκοπό τη διερεύνηση της αξιοποίησης του *Tenebrio molitor* ως εναλλακτικής και βιώσιμης πηγής πρωτεϊνών για την ανθρώπινη διατροφή, με ιδιαίτερη έμφαση στην ενσωμάτωσή του σε τρόφιμα υψηλής θρεπτικής αξίας. Η εργασία εστιάζει στην ανάπτυξη και αξιολόγηση ενός μη συμβατικού προϊόντος, συγκεκριμένα μιας γλυκόξινης σάλτσας ντομάτας (chutney), εμπλουτισμένης με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου από *Tenebrio molitor*.

Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται η μελέτη της επίδρασης της προσθήκης αλεύρου σε συγκεντρώσεις 0%, 2,5% και 5% στις φυσικοχημικές, θρεπτικές, αντιοξειδωτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζεται η αλλαγή στη σύνθεση των μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών συστατικών, όπως πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία, καθώς και η ενίσχυση της αντιοξειδωτικής ικανότητας του προϊόντος μέσω της προσθήκης αλεύρου εντόμου. Ειδική έμφαση δίνεται στη χρήση σύγχρονων ενόργανων τεχνικών για την ακριβή ανάλυση των δειγμάτων, διασφαλίζοντας την επιστημονική τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων.

Παράλληλα, μέσω γευσιγνωστικών δοκιμών, αξιολογείται η αποδοχή των εμπλουτισμένων προϊόντων από καταναλωτές, με στόχο την κατανόηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμβατότητά τους με τις προτιμήσεις του δυτικού κόσμου. Αυτή η ανάλυση αποσκοπεί στην καλύτερη κατανόηση της καταναλωτικής στάσης απέναντι στα έντομα ως τρόφιμα και στη διαμόρφωση στρατηγικών που θα συμβάλουν στη μείωση της τροφικής νεοφοβίας.

Η εργασία επιδιώκει επίσης να αναδείξει τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη από την ενσωμάτωση εντόμων στη διατροφική αλυσίδα, υπογραμμίζοντας τη σημασία τους για τη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων και την αντιμετώπιση της επισιτιστικής κρίσης. Ειδικότερα, εξετάζεται ο ρόλος του *Tenebrio molitor* ως μέρος ενός κυκλικού συστήματος παραγωγής, όπου τα έντομα μετατρέπουν οργανικά υποπροϊόντα και απόβλητα σε τρόφιμα υψηλής θρεπτικής αξίας.

Συνολικά, η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει να προωθήσει τη χρήση του *Tenebrio molitor* ως ένα καινοτόμο, βιώσιμο και λειτουργικό συστατικό στη βιομηχανία τροφίμων, να εμπλουτίσει τη βιβλιογραφία γύρω από τη διατροφική του αξία και να συμβάλει στην αντιμετώπιση της προκατάληψης που συνοδεύει την εντομοφαγία, ανοίγοντας νέες προοπτικές για τη διατροφή του μέλλοντος.

3. Πειραματικό μέρος

3.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός

- ✓ Γυάλινα Duran
- ✓ Γυάλινα ποτήρια ζέσεως
- ✓ Αυτόματες Πιπέτες
- ✓ Πλαστικά Erppendorf
- ✓ Σιφώνια πλήρωσης και αρίθμησης- πουάρ
- ✓ Falcon
- ✓ Πιπέτες Pasteur
- ✓ Αναλυτικός ζυγός ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων
- ✓ Λυοφιλωτής Biobase BK-FD10P
- ✓ Θερμαντικός αναδευτήρας
- ✓ Περιστροφικός εξατμιστήρας (rotary evaporator)
- ✓ Μαγνήτης ανάδευσης
- ✓ Πεχάμετρο
- ✓ Φυγόκεντρος
- ✓ Υδατόλουτρο
- ✓ Vortex
- ✓ Φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης (Shimadzu UV-1700 Pharma)
- ✓ Κάψες πορσελάνης
- ✓ Πυριατήριο

3.2 Χημικές ουσίες και αντιδραστήρια

- ✓ Αντιδραστήριο Bradford
- ✓ Απεσταγμένο νερό με pH 12 (ρυθμισμένο με 1M NaOH)
- ✓ Διάλυμα φαινόλης/θεικού οξέος
- ✓ Απεσταγμένο νερό
- ✓ n-εξάνιο
- ✓ Διάλυμα απεσταγμένο νερό: μεθανόλης (60:40 v/v)
- ✓ Διάλυμα τριχλωροξικού οξέος (10% w/v)
- ✓ Αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu (10% v/v)
- ✓ Μετουσιωμένη αιθανόλη (99,8%)
- ✓ Διάλυμα FeCl_3 (4mM σε 0,05M HCl)
- ✓ Διάλυμα TPTZ (1mM σε 0,05M HCl)
- ✓ Διάλυμα Na_2CO_3 (5% w/v)

3.3 Προετοιμασία δειγμάτων

3.3.1 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. Η παραπάνω διαδικασία απεικονίζεται στην Εικόνα 19.



Εικόνα 19. Παρασκευή αλεύρου *Tenebrio molitor* A) Προζυγισμένες προνύμφες σε μεταλλικά δισκία, B) Τοποθέτηση των δισκίων με τις προνύμφες σε λυοφιλιωτή Biobase BK-FD10P C) Το άλευρο έπειτα από άλεσμα των αποξηραμένων προνυμφών.

3.3.2 Παρασκευή Chutney ντομάτας

1^η Συνταγή

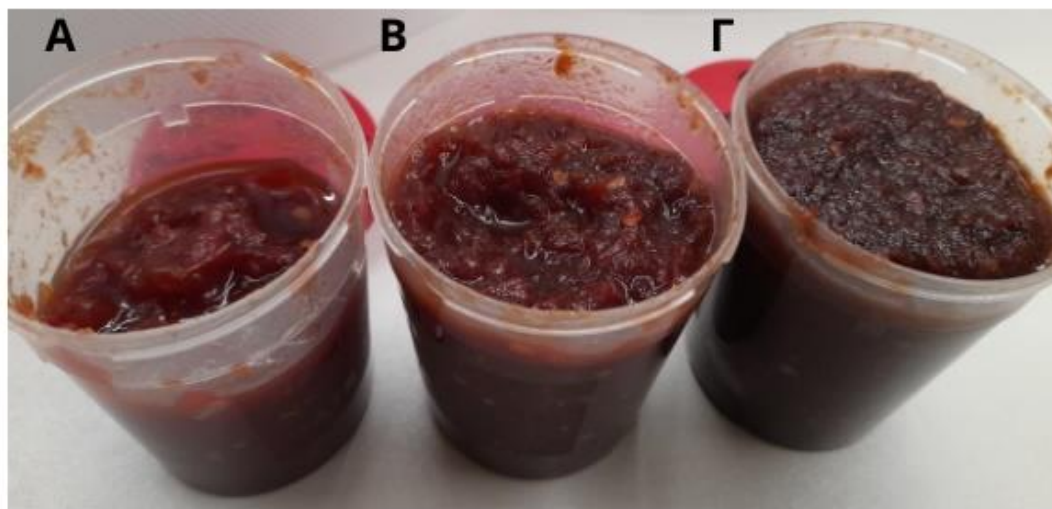
Αρχικά, προστέθηκαν 33 γραμμάρια (g) λευκού ξυδιού στην κατσαρόλα, ώστε να εξατμιστεί μερική ποσότητα οξικού οξέος. Στην συνέχεια, προστέθηκαν 250g ντομάτας διαφόρων σταδίων ωρίμανσης, κομμένη σε μικρά κομμάτια, μαζί με 133g λευκής ζάχαρης και 3g αλάτι. Τα υλικά ανακατεύθηκαν σχολαστικά για τη δημιουργία ενός μείγματος. Το μείγμα αφέθηκε σε μέτρια φωτιά να σιγοβράσει για περίπου 15-20 λεπτά (min), ανακατεύοντας το σε τακτά χρονικά διαστήματα, μέχρι η chutney να αποκτήσει μια πιο παχύρρευστη υφή. Όταν το μείγμα άρχισε να πήζει, καθώς και οι ντομάτες να διαλύονται, αποσύρθηκε η κατσαρόλα από τη φωτιά και αφέθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για 5 min. Κρίθηκε απαραίτητο, η μείωση της θερμοκρασίας του μείγματος σε θερμοκρασία δωματίου για την μετέπειτα προσθήκη του αλεύρου εντόμου, ώστε να αποφευχθεί η μετουσίωση των πρωτεϊνών καθώς και η καταστροφή των βιταμινών-ιχνοστοιχείων του. Τέλος, προστέθηκε υπό ανάδευση, η επιθυμητή ποσότητα αλεύρου και μεταφέρθηκε απευθείας σε αποστειρωμένο αεροστεγές δοχείο. Η εκτέλεση αυτή, που απεικονίζεται στην Εικόνα 20, πραγματοποιήθηκε τρεις φορές καθώς οι ποσότητες αλεύρου *Tenebrio molitor*, που προστέθηκαν στο τέλος σε καθεμιά εκτέλεση, ήταν 5, 10 και 15% αντίστοιχα. Ακόμα, παρασκευάστηκε μια επιπλέον chutney ντομάτας, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, στην οποία δεν προστέθηκε άλευρο εντόμου, ώστε να αποτελέσει το δείγμα ελέγχου (C).



Εικόνα 20. Στάδια παρασκευής chutney ντομάτας των αρχικών δειγμάτων control, 5,10,15% άλευρο εντόμου.

2^η Συνταγή

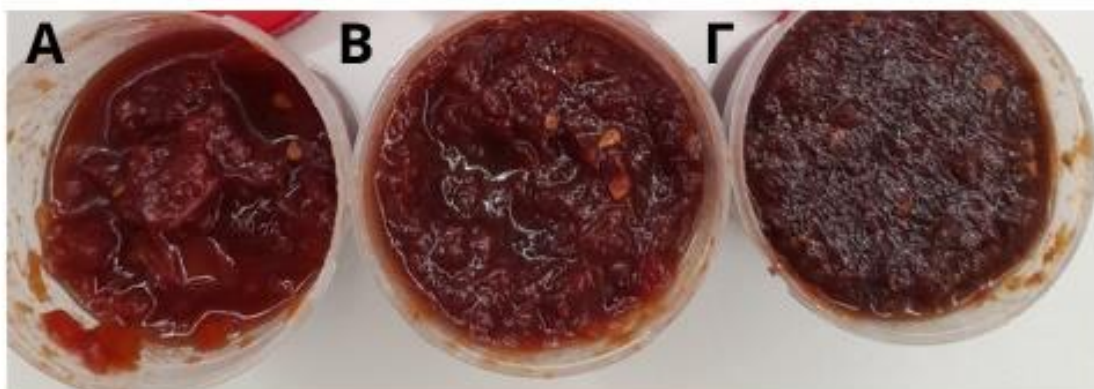
Αρχικά, στην κατσαρόλα προστέθηκαν 33g ξύδι βαλσάμικο για να εξατμιστεί μερική ποσότητα οξικού οξέος. Στην συνέχεια, προστέθηκαν 250g ντομάτας διαφόρων σταδίων ωρίμανσης, κομμένη σε μικρά κομμάτια, μαζί με 133g λευκής ζάχαρης και 3g αλάτι. Τα υλικά ανακατεύθηκαν σχολαστικά για τη δημιουργία ενός μείγματος. Το μείγμα αφέθηκε σε μέτρια φωτιά να σιγοβράσει για περίπου 15-20 min, ανακατεύοντας το τακτικά, μέχρι η chutney να αποκτήσει μια πιο παχύρρευστη υφή. Όταν το μείγμα άρχισε να πήζει, καθώς και οι ντομάτες να διαλύονται, αποσύρθηκε η κατσαρόλα από τη φωτιά και αφέθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για 5min. Τέλος, προστέθηκε υπό ανάδευση, η επιθυμητή ποσότητα αλεύρου και μεταφέρθηκε απευθείας σε αποστειρωμένο αεροστεγές δοχείο. Η εκτέλεση αυτή πραγματοποιήθηκε δύο φορές καθώς οι ποσότητες αλεύρου *Tenebrio molitor*, που προστέθηκαν στο τέλος σε καθεμιά εκτέλεση, ήταν 2,5 και 5% αντίστοιχα. Ακόμα, παρασκευάστηκε μια επιπλέον chutney ντομάτας, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, στην οποία δεν προστέθηκε άλευρο εντόμου, ώστε να αποτελέσει το δείγμα ελέγχου (C). Τα τρία δείγματα που παρασκευάστηκαν αποτυπώνονται στην Εικόνα 21.



Εικόνα 21. Δείγματα chutney ντομάτας με αντικατάσταση του ξυδιού από βαλσάμικο, control (A), 2,5 (B), 5% (Γ) άλευρο εντόμου.

3^η Συνταγή

Αρχικά, προστέθηκαν 23g ξύδι βαλσάμικο στην κατσαρόλα, ώστε να εξατμιστεί μερική ποσότητα οξικού οξέος. Στην συνέχεια, προστέθηκαν 250g ντομάτας διαφόρων σταδίων ωρίμανσης, κομμένη σε μικρά κομμάτια, μαζί με 123g λευκής ζάχαρης και 3g αλάτι. Τα υλικά ανακατεύθηκαν σχολαστικά για τη δημιουργία ενός μείγματος. Το μείγμα αφέθηκε σε μέτρια φωτιά να σιγοβράσει για περίπου 20-25min, ανακατεύοντας το τακτικά, μέχρι η chutney να αποκτήσει μια πιο παχύρρευστη υφή. Όταν το μείγμα άρχισε να πήζει, καθώς και οι ντομάτες να διαλύονται, αποσύρθηκε η κατσαρόλα από τη φωτιά και αφέθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για 5min. Τέλος, προστέθηκε υπό ανάδευση, η επιθυμητή ποσότητα αλεύρου και μεταφέρθηκε απευθείας σε αποστειρωμένο αεροστεγές δοχείο. Η εκτέλεση αυτή πραγματοποιήθηκε δύο φορές καθώς οι ποσότητες αλεύρου *Tenebrio molitor*, που προστέθηκαν στο τέλος σε καθεμιά εκτέλεση, ήταν 2,5 και 5% αντίστοιχα. Ακόμα, παρασκευάστηκε μια επιπλέον chutney ντομάτας, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, στην οποία δεν προστέθηκε αλεύρο εντόμου, ώστε να αποτελέσει το δείγμα ελέγχου (C). Τα τελικά δείγματα που παρασκευάστηκαν αποτυπώνονται στην Εικόνα 22.



Εικόνα 22. Τελικά δείγματα chutney ντομάτας control (A), 2,5 (B), 5% (Γ) αλεύρο εντόμου.

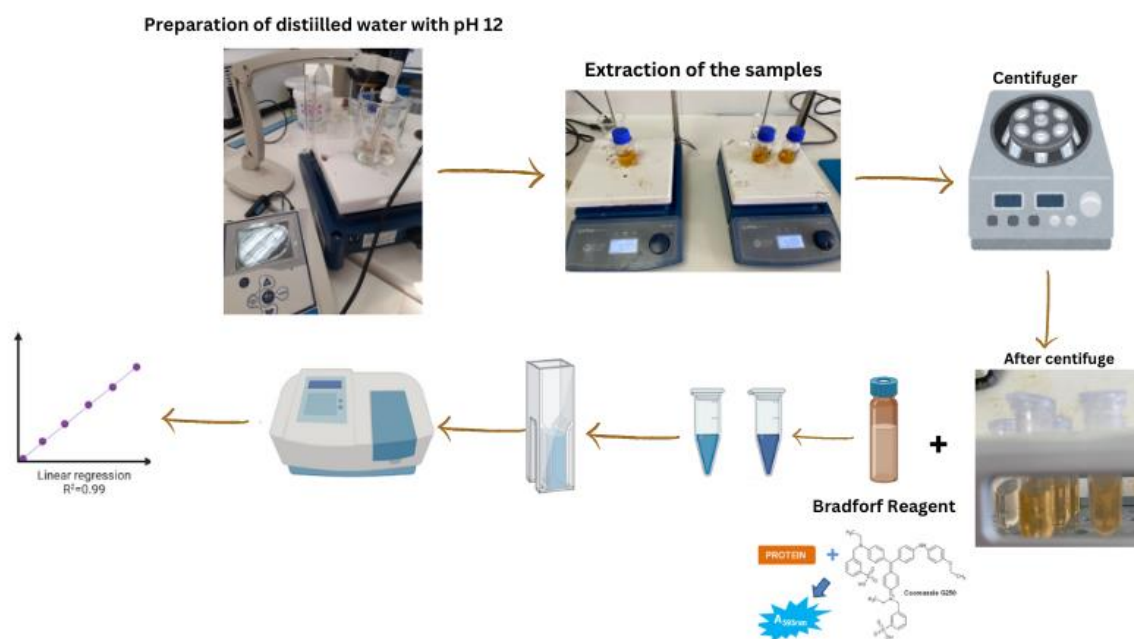
3.4 Οργανοληπτικός Έλεγχος

Για την αξιολόγηση των δειγμάτων που προκύπτουν μετά από κάθε μια από τις τρεις συνταγές, πραγματοποιούνται οργανοληπτικός έλεγχος, με τη συμμετοχή εθελοντών, οι οποίοι καλούνταν να συμπληρώσουν την παρακάτω φόρμα. Η φόρμα αυτή είχε κλίμακα από το 0 έως το 5 για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά όπως την εμφάνιση, την υφή, την οσμή, την γεύση, την επίγευση καθώς και αξιολόγηση της συνολικής εικόνας του προϊόντος.

ΕΝΤΥΠΟ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ						
ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ: CHUTNEY ΝΤΟΜΑΤΑ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΛΕΥΡΟΥ ΕΝΤΟΜΟΥ (TENEBRIO MOLITOR)						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ:						
Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	A	B	Γ	Δ	E	Z
Εμφάνιση Ένταση Χρώματος Χαμηλή Υψηλή 0 —————> 5						
Υφή Συνεκτικότητα Λίγο Πολύ 0 —————> 5						
Οσμή Δυσάρεστη Ευχάριστη 0 —————> 5						
Γεύση Οξύτητα Χαμηλή Υψηλή (Αρνητικό) 0 —————> 5 Γλυκιά Γεύση Λίγο Πολύ (Αρνητικό) 0 —————> 5						
Επίγευση Ασχημη Πολύ καλή 0 —————> 5						
Συνολική εκτίμηση 0 —————> 5						
Σύνολο						
Παρατηρήσεις						

3.5 Προσδιορισμός περιεκτικότητας πρωτεϊνών (Μέθοδος Bradford)

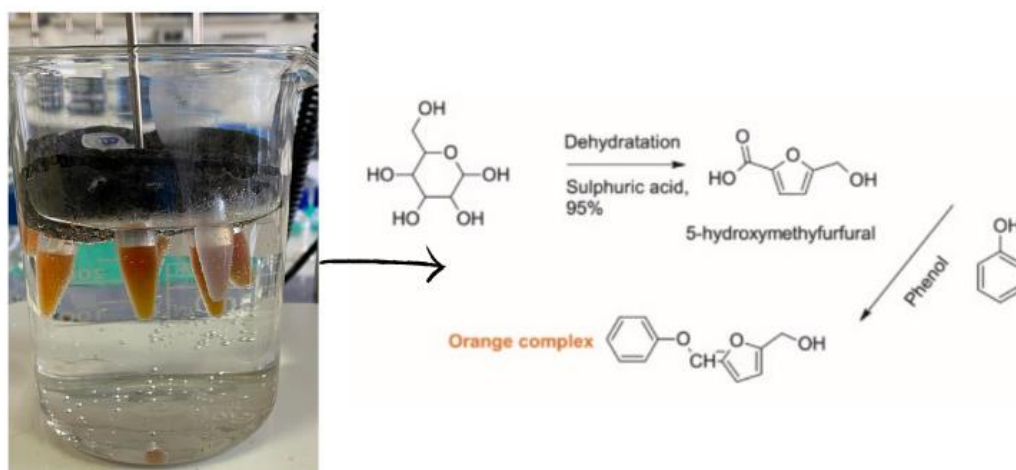
Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε πρωτεΐνες αξιολογήθηκε με τη μέθοδο Bradford που τα στάδια της απεικονίζονται αναλυτικά στην Εικόνα 23. Αρχικά, για την παρασκευή απεσταγμένου νερού με pH 12 προστέθηκε σε ποτήρι ζέσεως απεσταγμένο νερό, το οποίο ρυθμίστηκε με την προσθήκη 1M NaOH. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με την χρήση πεχάμετρου υπό συνεχή ανάδευση. Ακολούθως, ζυγίστηκε 1g δείγματος σε duran των 25mL και προστέθηκαν 10ml απεσταγμένου νερού με pH 12. Τα διαλύματα εκχυλίστηκαν για 60min στις 500 rpm σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά το τέλος της εκχύλισης, τα μίγματα μεταφέρθηκαν σε falcon και φυγοκεντρήθηκαν για 5min στις 4.500 rpm. Από το υπερκείμενο υγρό κάθε δείγματος μεταφέρθηκαν, σε erpendorf, 100μl και προστέθηκαν 900μl αντιδραστηρίου Bradford. Έπειτα, έγινε καλή ανάμειξη των δειγμάτων με vortex και αφέθηκαν σε σκοτεινό μέρος για 30min. Τέλος, μετρήθηκε η απορρόφηση των δειγμάτων στα 595nm με φασματοφωτόμετρο (Shimadzu UV-1700 Pharma Spectrophotometer, Kyoto, Japan) και η ποσοτικοποίηση των πρωτεϊνών βασίστηκε σε καμπύλη αναφοράς πρότυπων διαλυμάτων αλβουμίνης [128].



Εικόνα 23. Ποσοτικός προσδιορισμός πρωτεϊνών των τριών δειγμάτων με την μέθοδο Bradford.

3.6 Προσδιορισμός περιεκτικότητας υδατανθράκων (Μέθοδος φαινόλης/θεικού οξέος)

Για τον προσδιορισμό των υδατανθράκων πραγματοποιήθηκε εκχύλιση ζυγίζοντας 1g, σε *durant* των 25mL, δείγματος με προσθήκη 10mL απεσταγμένου νερού. Η εκχύλιση διεξάχθηκε υπό ανάδευση στις 500 rpm για 1h στους 50°C. Με το πέρας της εκχύλισης, το μίγμα φυγοκεντρήθηκε στις 4.500 rpm για 5min και το υπερκείμενο που απομονώθηκε, χρησιμοποιήθηκε για περαιτέρω ανάλυση. Στην συνέχεια ακολουθήθηκε η μέθοδος φαινόλης/θεικού οξέος, όπου 0,22mL κατάλληλα αραιωμένου υπερκείμενου υγρού εισάχθηκαν σε *erpendorf* και απευθείας προστέθηκαν 0,65mL πυκνού θεικού οξέος και 0,13mL υδατικού διαλύματος φαινόλης 5% w/v. Ύστερα, τα μίγματα τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 90°C για 5min, με το στιγμιότυπο της αντίδρασης μεταξύ του μείγματος φαινόλης/θεικού οξέος και των δειγμάτων να φαίνεται στην Εικόνα 24. Έπειτα παρέμειναν για άλλα 5min σε θερμοκρασία δωματίου ώστε να ψυχθούν. Τέλος, μετρήθηκε η απορρόφηση του μίγματος στα 495nm σε φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης. Η άγνωστη συγκέντρωση σακχάρων προσδιορίστηκε με την παρασκευή μιας πρότυπης καμπύλης βαθμονόμησης D(+) γλυκόζης [128,129].



Εικόνα 24. Στιγμιότυπο της αντίδρασης μεταξύ των δειγμάτων και μείγματος φαινόλης/θεικού οξέος, κατά την παραμονή τους σε υδατόλουτρο, για τον ποσοτικό προσδιορισμό των υδατανθράκων.

3.7 Προσδιορισμός περιεκτικότητας τέφρας

Αρχικά, για τον προσδιορισμό της τέφρας [129] καταγράφηκαν τα απόβαρα από τις κάψες και ζυγίστηκε ποσότητα 2g από τα δείγματα. Στην συνέχεια, οι κάψες τοποθετήθηκαν σε πυριατήριο στους 500°C ωσότου να μην υπάρχει παρουσία μαύρων προϊόντων καύσης. Μετά το τέλος της αποτέφρωσης, αφέθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι να ψυχθούν και πραγματοποιήθηκε ξανά ζύγιση των καψών, έτσι ώστε να υπολογιστεί το ποσοστό τέφρας [128]. Στην Εικόνα 25 παρουσιάζονται τα δείγματα στις κάψες πριν και μετά την καύση.



Εικόνα 25. Α) Δείγματα στο πυριατήριο πριν την καύση και Β) Τα δείγματα μετά την καύση για τον προσδιορισμό της τέφρας.

3.8 Προσδιορισμός υγρασίας

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε υγρασία των δειγμάτων υπολογίστηκε βαρυμετρικά όπως και στην τέφρα [129]. Ποσότητα 2g από τα δείγματα ζυγίστηκε σε κάψες και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πυριατήριο για 1h στους 100°C. Με το πέρας της 1h, παρέμειναν στο χώρο μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ξανά ζύγιση των καψών, έτσι ώστε να προσδιοριστεί το ποσοστό υγρασίας.

3.9 Προσδιορισμός ολικού λίπους και επιμέρους λιπαρών οξέων

Για να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα του δείγματος σε λίπος ακολουθήθηκε η διαδικασία της απολίπανσης. Αρχικά ζυγίστηκε 1g δείγματος, το οποίο αναμείχθηκε με 10mL n-εξανίου ως διαλύτη, σε duran των 25ml. Οι συνθήκες εκχύλισης του μίγματος ήταν υπό ανάδευση στις 600rpm για 60min στους 40°C. Στην συνέχεια, απομονώθηκε και φυγοκεντρήθηκε το υπερκείμενο υγρό για 10min στις 4000 rpm. Έπειτα, ζυγίστηκε μια γυάλινη φιάλη, στην οποία προστέθηκε το υπερκείμενο υγρό. Η διαδικασία επαναλήφθηκε ακόμα δύο φορές ώστε να γίνει πλήρης εκχύλιση του ιζήματος και τα υπερκείμενα υγρά αναμείχθηκαν. Ακολούθως, η φιάλη με το υγρό τοποθετήθηκε στον περιστροφικό εξατμιστήρα (rotary evaporator) και ξεκίνησε η εξάτμιση του διαλύτη στους 47°C, εμβαπτίζοντας την σε υδατόλουτρο υπό συνεχή ανάδευση. Τέλος, για τον ποσοτικό προσδιορισμό του λίπους, ζυγίστηκε η φιάλη με το έλαιο, αφαιρέθηκε το απόβαρό της και έτσι προέκυψε η ποσότητα του λίπους του δείγματος που υπήρχε εξ' αρχής στην φιάλη [128]. Στην Εικόνα 26 απεικονίζονται μερικά από τα στάδια της μεθόδου προσδιορισμού του ολικού λίπους.

Η διαδικασία για την εύρεση των λιπαρών οξέων και της συγκέντρωσής τους στα δείγματα της chutney ντομάτας πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους Athanasiadis et al. [130]. Ειδικότερα, οι μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων παρασκευάστηκαν με αντίδραση του ελαίου του εντόμου (200μL) με μικρή ποσότητα μεθοξειδίου του νατρίου σε μεθανόλη, σε θερμοκρασία δωματίου. Ο απαιτούμενος χρόνος για την αντίδραση ήταν περίπου 5min με το μίγμα να αναδεύεται ήπια ανά μικρά χρονικά διαστήματα. Μετά την ολοκλήρωση της αντίδρασης, προστέθηκαν 10mL διαιθυλαιθέρα και το οργανικό στρώμα πλύθηκε τρεις φορές με νερό, ξηράνθηκε με Na_2SO_4 και έγινε αναγωγή σε 1mL με θέρμανση, σε υδατόλουτρο (40°C). Το τελικό διάλυμα υποβλήθηκε έπειτα σε ανάλυση αέριας χρωματογραφίας (GC). Χρησιμοποιήθηκε αέριος χρωματογράφος Agilent Technologies (Santa Clara, CA, USA) μοντέλο 7890A, εξοπλισμένος με τριχοειδή στήλη Omegawax (30m $\times$ 320μm $\times$ 0,25μm) (Supelco, Bellefonte, PA, USA). Το φέρον αέριο ήταν το ήλιο, με ρυθμό

ροής 1,4ml/min. Το πρόγραμμα θερμοκρασίας της στήλης ήταν: αρχικά ισοθερμικό για 5min στους 70°C, αυξήθηκε στους 160 °C με ρυθμό 20°C/min, στη συνέχεια ακολούθησε αύξηση στους 200°C με ρυθμό 4°C/min και τέλος έφτασε έως τους 240°C με ρυθμό 5°C/min. Οι τιμές των θερμοκρασιών του εγχυτήρα και του ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (FID) παρέμειναν στους 240 και 250 °C, αντίστοιχα.

Ο ρυθμός ροής για το υδρογόνο ήταν 50mL/min, για τον αέρα 450mL/min και η συμπληρωματική ροή ηλίου 50mL/min. Δείγματα των 1,0μL εγχύθηκαν σε λειτουργία διαχωρισμού (1:100). Οι μεμονωμένες κορυφές ταυτοποιήθηκαν με σύγκριση με πρότυπα αναφοράς από το FAME Mix C8-C24 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Εκτός από τα λιπαρά οξέα και τις αναλογίες πολυακόρεστων:κορεσμένων (PUFA:SFA), μονοακόρεστων:πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFA:PUFA) και την υπολογισμένη τιμή αντιοξειδωτικής ικανότητας (COX), υπολογίστηκαν τέσσερις πρόσθετοι τύποι γνωστοί ως δείκτης αθηρογένεσης (IA), δείκτης θρομβογένεσης (IT), δείκτης υποχοληστερολαιμίας/υπερχοληστερολαιμίας (HH) και δείκτης προαγωγής της υγείας (HPI). Αναλυτικότερα, ο δείκτης IA χαρακτηρίζει την ικανότητα πρόκλησης αθηρογένεσης των λιπαρών οξέων, ενώ ο IT χαρακτηρίζει την ικανότητα σχηματισμού θρόμβων στα αιμοφόρα αγγεία των λιπαρών οξέων, υποδεικνύοντας τη σχέση μεταξύ των προθρομβογόνων λιπαρών οξέων (C12:0, C14:0 και C16:0) και των αντιθρομβογόνων λιπαρών οξέων (MUFAs, ω-3 και ω-6). Ο δείκτης HH είναι ο λόγος υποχοληστερολαιμίας/υπερχοληστερολαιμίας και θεωρείται δείκτης προαγωγής της υγείας για την αξιολόγηση της διατροφικής αξίας των διαιτητικών λιπαρών. Οι δείκτες αυτοί υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις (1-5):

$$COX = \frac{1 (18:1, \%) + 10.3 (18:2, \%) + 21.6 (18:3, \%)}{100} \quad (1)$$

$$IA = \frac{[C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0]}{\sum UFA} \quad (2)$$

$$IT = \frac{(C14:0 + C16:0 + C18:0)}{[(0.5 \times \sum MUFA) + (0.5 \times \sum \omega - 6) + (3 \times \sum \omega - 3) + (\omega - 3 / \omega - 6)]} \quad (3)$$

$$HH = \frac{(C18:1 + \sum PUFA)}{(C12:0 + C14:0 + C16:0)} \quad (4)$$

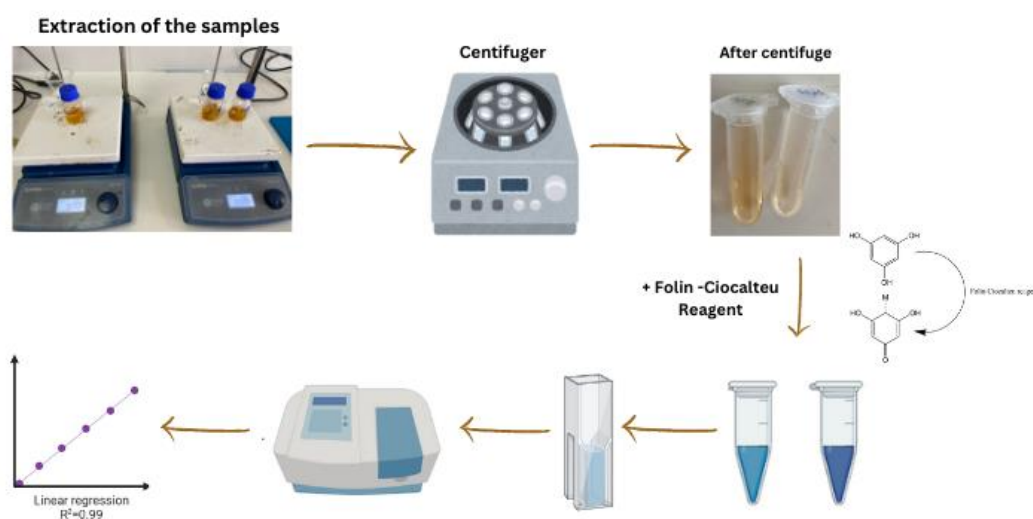
$$HPI = \frac{\sum UFA}{[C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0]} \quad (5)$$



Εικόνα 26. Α) Δείγματα μετά από εκχύλιση και φυγοκέντριση, Β) Απολίπανση με περιστροφικό εξάτμιστήρα (rotary evaporator), Γ) Τελικά δείγματα για τον προσδιορισμό των ολικών λιπών.

3.10 Προσδιορισμός περιεκτικότητας βιταμίνης C

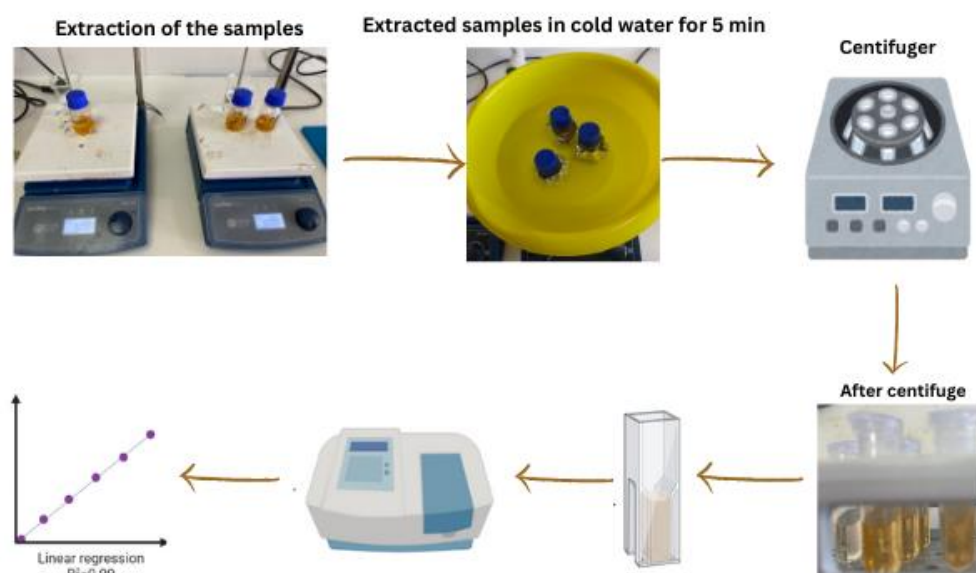
Αρχικά, ζυγίστηκε ποσότητα 5g από τα δείγματα, σε duran των 50mL. Στην συνέχεια, σε κάθε γυάλινο φιαλίδιο προστέθηκαν 27mL μίγματος απεσταγμένου νερού-αιθανόλης (60:40 v/v) και 3mL διαλύματος τριγλωροξικού οξέος 10% w/v. Ακολούθησε έντονη ανάδευση των δειγμάτων για 1min και έπειτα προστέθηκαν 20mL n-εξανίου. Έπειτα τα δείγματα εκχύλίστηκαν στις 500rpm για 30min σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά το τέλος της εκχύλισης, τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε falcon και φυγοκεντρήθηκαν για 5min στις 4.500rpm. Από το υπερκείμενο υγρό κάθε φυγοκεντρημένου δείγματος, λήφθηκε ποσότητα 1mL, η οποία αναμίχθηκε με 0,5mL αντιδραστηρίου Folin Ciocalteu (10% v/v) και τα μίγματα επώαστηκαν για 10min σε σημείο με απουσία φωτός. Τέλος, μετρήθηκε η απορρόφηση των δειγμάτων στα 760nm και η ποσοτικοποίηση των δειγμάτων έγινε μέσω πρότυπης καμπύλης ασκορβικού οξέος [128]. Η παραπάνω διαδικασία αποτυπώνεται αναλυτικά στην Εικόνα 27.



Εικόνα 27. Στάδια προσδιορισμού βιταμίνης C των τριών δειγμάτων με την μέθοδο Folin-Ciocalteu.

3.11 Προσδιορισμός περιεκτικότητας β-καροτενίου

Αρχικά, ζυγίστηκε 1g των δειγμάτων σε duran των 25mL και προστέθηκαν 10mL μετουσιωμένης αιθανόλης (99,8%) σε κάθε γυάλινο φιαλίδιο. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου στις 500rpm για 30min. Έστερα τα εκχυλίσματα τοποθετήθηκαν, υπό ανάδευση, σε παγωμένο νερό για 5min. Ακολούθησε φυγοκέντριση για 5min στις 4.500rpm. Με το τέλος της φυγοκέντρισης, το υπερκείμενο υγρό από κάθε δείγμα αποσύρθηκε και μετρήθηκε η απορρόφησή του στα 450nm. Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης καροτενοειδών χρησιμοποιήθηκε τυπική καμπύλη β-καροτίνης [128]. Στην Εικόνα 28 φαίνονται λεπτομερώς τα βήματα για τον προσδιορισμό του β-καροτενίου.



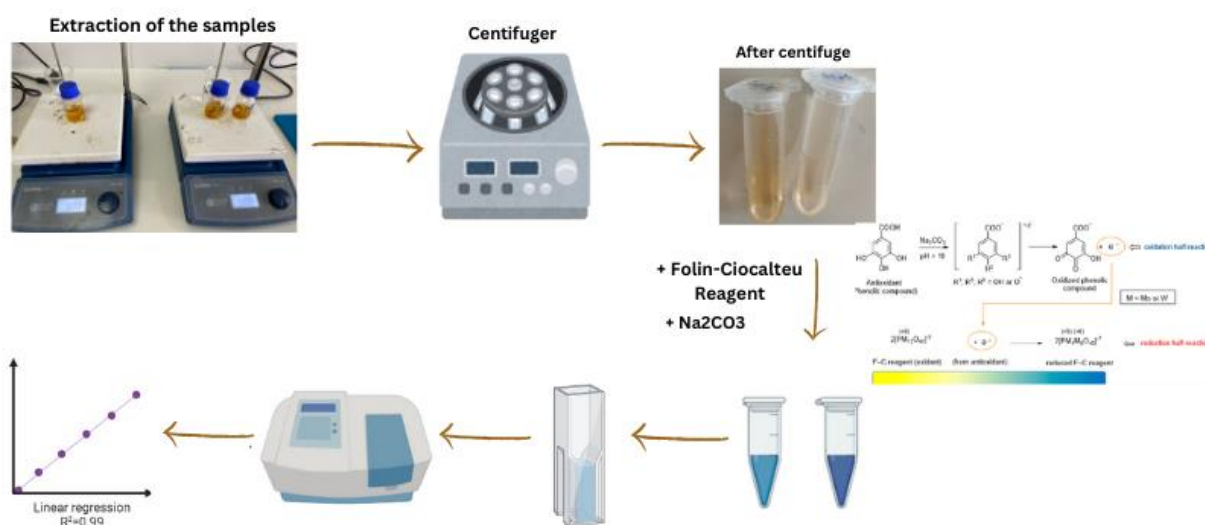
Εικόνα 28. Στάδια προσδιορισμού β-καροτενίου των τριών δειγμάτων.

3.12 Προσδιορισμός ολικών πολυφαινολών

Η συγκέντρωση ολικών πολυφαινολών προσδιορίστηκε με τη χρήση των εκχυλισμάτων από την παράγραφο 3.10. Ποσότητα 100μL από το υπερκείμενο υγρό αναμίχθηκε με αντίστοιχη ποσότητα αντιδραστηρίου Folin Ciocalteu και αφέθηκε για 2min. Στη συνέχεια έγινε προσθήκη 80μL διαλύματος Na_2CO_3 (5% w/v) και ακολούθησε επώαση για 20min στους 40°C απουσία φωτός. Μετά το πέρας της επώασης, μετρήθηκε η απορρόφηση των δειγμάτων στα 740nm. Τέλος για τον υπολογισμό της ολικής συγκέντρωσης πολυφαινολών χρησιμοποιήθηκε πρότυπη καμπύλη γαλλικού οξέος [128]. Στην Εικόνα 29 παρουσιάζονται τα στάδια προσδιορισμού των ολικών πολυφαινολών. Η απόδοση εκχύλισης σε ολικές πολυφαινόλες (YTP) εκφράστηκε ως mg GAE/g ξηρού βάρους, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (6):

$$Y_{TP} \text{ (mg GAE/g dw)} = \frac{C_{TP} \times V}{w} \quad (6)$$

όπου V είναι ο όγκος του μέσου εκχύλισης (σε L) και w είναι το ξηρό βάρος του δείγματος (σε g).



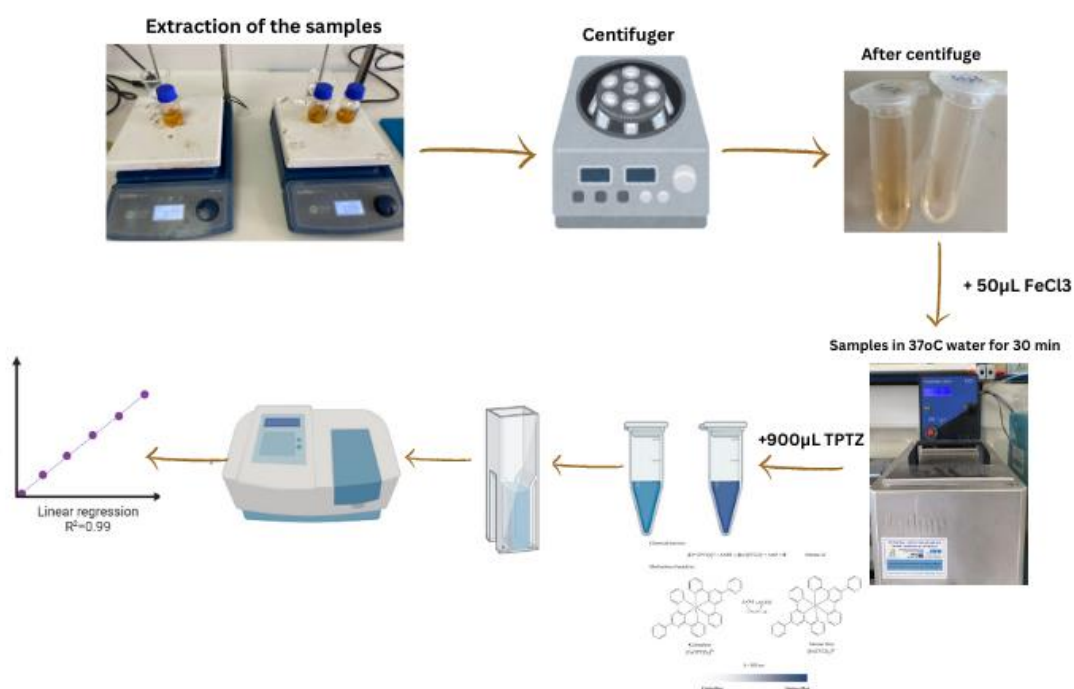
Εικόνα 29. Στάδια προσδιορισμού των ολικών πολυφαινολών των τριών δειγμάτων με την μέθοδο Folin-Ciocalteu.

3.13 Εκτίμηση της συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας (FRAP)

Η αντιοξειδωτική ικανότητα του δείγματος προσδιορίστηκε με την μέθοδο FRAP [131] χρησιμοποιώντας τα εκχυλίσματα όπως αναφέρθηκαν στη παράγραφο 3.10. Έπειτα από κατάλληλη αραιώση, 50μL υπερκείμενου υγρού αναμίχθηκαν με 50μL διαλύματος FeCl₃ (4mM σε 0,05M HCl). Το μίγμα επώαστηκε για 30min στους 37°C σε λουτρό νερού και αμέσως μετά προστέθηκαν 900μL διαλύματος TPTZ (1mM σε 0,05M HCl). Η απορρόφηση του δείγματος λήφθηκε στα 620nm και με την βοήθεια μιας πρότυπης καμπύλης βαθμονόμησης ασκορβικού οξέος υπολογίστηκε η αντιοξειδωτική ικανότητα του δείγματος [128]. Στην Εικόνα 30 απεικονίζεται λεπτομερώς η διαδικασία προσδιορισμού της αντιοξειδωτικής ικανότητας με την μέθοδο FRAP. Η αντιοξειδωτική ισχύς προσδιορίστηκε ως μmol ισοδύναμα ασκορβικού οξέος (AAE)/g, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (7):

$$P_R (\mu\text{mol AAE/g dw}) = \frac{C_{AA} \times V}{w} \quad (7)$$

όπου V είναι ο όγκος του μέσου εκχύλισης (σε L) και w είναι το ξηρό βάρος του δείγματος (σε g).



Εικόνα 30. Στάδια προσδιορισμού αντιοξειδωτικής ικανότητας των τριών δειγμάτων με την μέθοδο FRAP.

4. Αποτελέσματα-Συζήτηση

Κατά τη διαδικασία της λυοφιώσεως, τα έντομα *Tenebrio molitor* παρουσίασαν απώλεια υγρασίας περίπου 67%, τιμή που βρίσκεται εντός των αναμενόμενων ορίων, δεδομένου ότι το συγκεκριμένο είδος αποτελείται κατά 60-72% από νερό [132]. Το παραγόμενο άλευρο πληρούσε τα απαιτούμενα πρότυπα υγρασίας (<7%) [133], καθιστώντας το κατάλληλο για χρήση στην παρασκευή chutney ντομάτας. Η μείωση της υγρασίας σε αυτά τα επίπεδα διασφαλίζει τη σταθερότητα του προϊόντος αλεύρου, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο μικροβιακής αλλοίωσης και επιμηκύνοντας τη διάρκεια ζωής του.

4.1 Βελτιστοποίηση συνταγής και προκαταρκτικά αποτελέσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρασκευάστηκαν δείγματα chutney ντομάτας με τρεις διαφορετικές συνταγές, με στόχο τη σταδιακή βελτιστοποίηση της σύνθεσης και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Η προσέγγιση αυτή βασίστηκε σε προκαταρκτικούς οργανοληπτικούς ελέγχους, οι οποίοι πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της αποδοχής και των αισθητηριακών χαρακτηριστικών των δειγμάτων από εθελοντές. Η διαδικασία σχεδιάστηκε ώστε να εντοπιστούν και να διορθωθούν τυχόν αδυναμίες στις αρχικές συνταγές, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Αρχικά, παρασκευάστηκε μια βασική συνταγή chutney ντομάτας, η οποία λειτούργησε ως πρωτότυπο. Τα αποτελέσματα των πρώτων οργανοληπτικών δοκιμών έδειξαν ότι υπήρχαν περιθώρια βελτίωσης, κυρίως όσον αφορά την ισορροπία γεύσεων, και τη συνολική αποδοχή από τους καταναλωτές. Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές, τροποποιήθηκαν συγκεκριμένες παράμετροι της συνταγής, όπως η συγκέντρωση αλεύρου *Tenebrio molitor*, η αναλογία των συστατικών και η διάρκεια θερμικής επεξεργασίας. Η δεύτερη συνταγή προέκυψε από τις βελτιώσεις που εισήχθησαν, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα αποτελέσματα των οργανοληπτικών δοκιμών όσο και τη βιβλιογραφία σχετικά με την ανάπτυξη τροφίμων εμπλουτισμένων με αλεύρι εντόμων. Ακολούθησαν νέες δοκιμές, οι οποίες εντόπισαν περαιτέρω σημεία προς βελτίωση. Η τελική, τρίτη συνταγή, χαρακτηρίστηκε από βελτιστοποιημένη ισορροπία γεύσεων. Η σταδιακή αυτή προσέγγιση επέτρεψε την ανάπτυξη ενός τελικού προϊόντος που συνδυάζει υψηλή θρεπτική αξία, ευχάριστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και σημαντική αντιοξειδωτική δράση, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα ενσωμάτωσης του αλεύρου *Tenebrio molitor* σε τρόφιμα ευρείας κατανάλωσης. Επιπλέον, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αναδεικνύει τη σημασία της δυναμικής αξιολόγησης κατά τη διαδικασία ανάπτυξης καινοτόμων τροφίμων, διασφαλίζοντας ότι το

τελικό προϊόν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες των καταναλωτών και στα απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας. Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα για κάθε μια από τις συνταγές που ακολουθήθηκαν.

1^{ος} Οργανοληπτικός έλεγχος

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε, περιελάμβανε την παρασκευή τεσσέρων ξεχωριστών δειγμάτων chutney ντομάτας, καθένα από τα οποία περιείχε διαφορετικές αναλογίες αλεύρου προνυμφών *Tenebrio molitor*; 0%, 5%, 10% και 15%, με σκοπό την αναγνώριση του επιπέδου αρεστότητας των καταναλωτών. Ακολούθησε μια πλήρη αξιολόγηση των βασικών τους παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένων της έντασης του χρώματος, της υφής, της οσμής, της γεύσης και της επίγευσης, οι οποίες συγκρίθηκαν με αυτές του δείγματος ελέγχου (0%), που παρήχθη χωρίς την προσθήκη αλεύρου. Στην διαδικασία αυτή συμμετείχαν πέντε εθελοντές, οι οποίοι δοκίμασαν και βαθμολόγησαν, με βάση το έντυπο αξιολόγησης που δημιουργήθηκε για αυτό το σκοπό, τα δείγματα αυτά, έχοντας επίγνωση ότι επρόκειτο για τρόφιμο εμπλουτισμένο με άλευρο εντόμου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε πως το δείγμα ελέγχου υπερείχε, σε σχέση με τα υπόλοιπα, καθώς 3 στους 5 (60%) το βαθμολόγησαν υψηλά. Αυτό οφείλονταν στο γεγονός ότι παρουσίασε τα καλύτερα αισθητηριακά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, οι δοκιμαστές επισήμαναν, μέσω σχολίων, την ανάγκη μείωσης της οξύτητας, προς βελτίωση του προϊόντος. Το δείγμα που σημείωσε την αμέσως καλύτερη βαθμολογία, ήταν εκείνο με περιεκτικότητα 5% αλεύρου *Tenebrio molitor*. Αν και τα χαρακτηριστικά του δεν ήταν όμοια με εκείνα του δείγματος 0%, εκτός της οξύτητας, καθώς παρουσίασε πιο σκούρο χρώμα και έντονη γλυκύτητα, 2 στους 5 (40%) έδειξαν να το προτιμούν έναντι των υπολοίπων. Όσον αφορά τα δείγματα 10 και 15% κρίθηκαν αρνητικά και από τους 5, διότι τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά είχαν σημαντική απόκλιση, ιδιαίτερα στην υφή λόγω της προσθήκης του αλεύρου, από το δείγμα ελέγχου. Τέλος, αναφορικά με την αποδοχή των καταναλωτών, προέκυψε ότι η προσθήκη αλεύρου εντόμων πάνω από 5% δεν θεωρείται ελκυστική.

2^{ος} Οργανοληπτικός έλεγχος

Σύμφωνα με τα όρια ανοχής των καταναλωτών που προέκυψαν από τον προηγούμενο οργανοληπτικό έλεγχο, τα οποία δεν ξεπερνούν το 5%, παρασκευάστηκαν νέα δείγματα chutney ντομάτας με άλευρο *Tenebrio molitor* 0, 2,5 και 5%. Παράλληλα, για την βελτίωση των δειγμάτων, αναφορικά με την οξύτητα, κρίθηκε σκόπιμη η αντικατάσταση του κοινού ξυδιού με ξύδι βαλσάμικο. Όπως και στην παραπάνω μελέτη, ακολούθησε αξιολόγηση των

βασικών τους κριτηρίων, από 10 εθελοντές, σε σχέση με αυτές του δείγματος ελέγχου (0%), που παράχθηκε χωρίς την προσθήκη αλεύρου εντόμου.

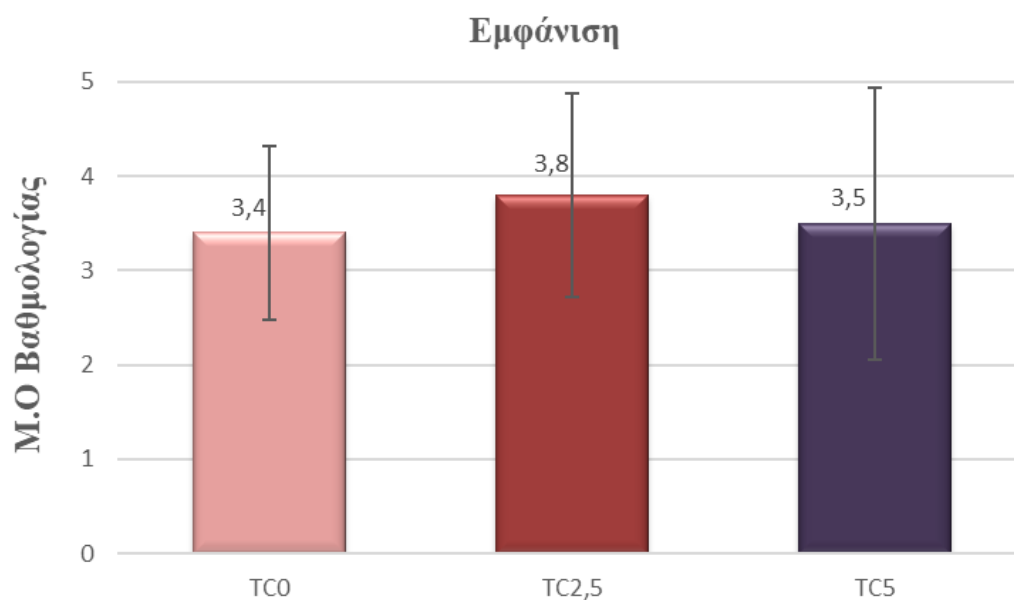
Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν πως 6 στους 10 (60%) επέλεξαν το δείγμα 2,5%, ως κορυφαίο, διότι είχε ελκυστικό χρώμα, πολύ καλή συνεκτικότητα και γενικά ήταν το πιο ισορροπημένο γευστικά, μεταξύ των τριών. Από την άλλη πλευρά, τα δείγματα 0 και 5% σημείωσαν την ίδια βαθμολογία, αλλά χαμηλότερη του 2,5%, αφού εκατέρωθεν οι δοκιμαστές εντόπισαν υψηλή οξύτητα στην γεύση και την επίγευσή τους. Ωστόσο, σύμφωνα με τους δοκιμαστές, η ένταση της γλυκύτητας σε όλα τα δείγματα, αλλά και η υψηλή οξύτητα στα δείγματα 0 και 5% ήταν ιδιαίτερα έντονες. Για αυτό τον λόγο υπήρξε αίτημα μείωσης των παραπάνω παραμέτρων στα εκάστοτε δείγματα.

3^{ος} Οργανοληπτικός έλεγχος

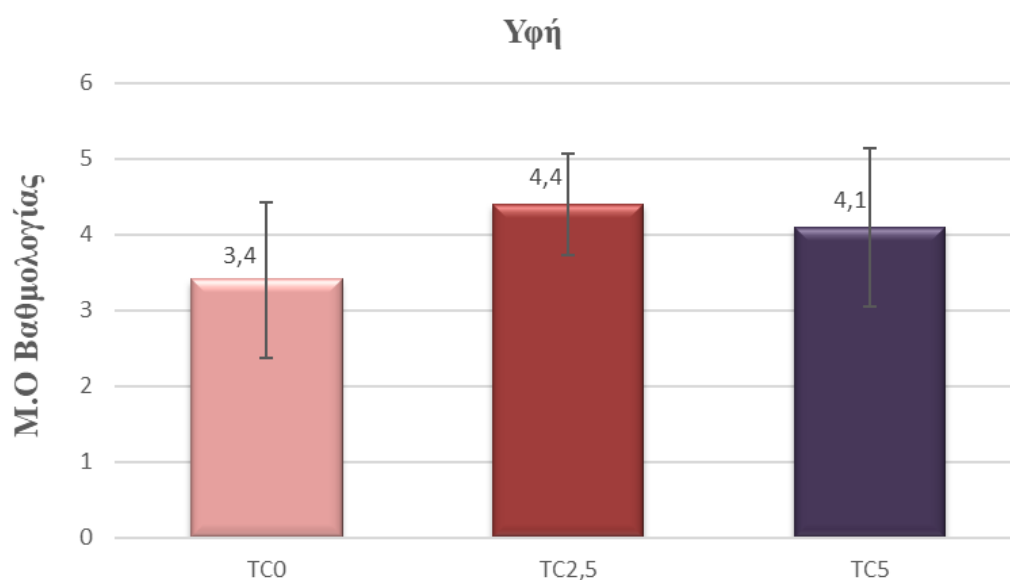
Με βάση τα αποτελέσματα του δεύτερου οργανοληπτικού, τα νέα δείγματα 0 (TC0), 2,5 (TC2,5), 5 (TC5), που παρασκευάστηκαν, έφεραν αλλαγές αναφορικά με την οξύτητα καθώς και την γλυκιά γεύση. Συγκεκριμένα, για την βελτίωση των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε μείωση των ποσοτήτων τόσο της ζάχαρης όσο και του βαλσάμικου, κατά 10g. Όπως και προηγουμένως, ακολούθησε αξιολόγηση των βασικών κριτηρίων των δειγμάτων, αυτή την φορά από 11 εθελοντές, σε σύγκριση με αυτές του δείγματος ελέγχου (TC0).

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν πως 6 στους 11 (55%) επέλεξαν το δείγμα TC2,5, ως το πιο αρεστό, καθώς μεταξύ των δειγμάτων υπερείχε στα επιμέρους οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και έτσι συγκέντρωσε τον υψηλότερο μέσο όρο συνολικής βαθμολογίας (25,6). Επιπρόσθετα, οι δοκιμαστές σχολίασαν πως η βελτίωση του προϊόντος ήταν ιδιαίτερα αισθητή και πως ο στόχος εξισορρόπησης της οξύτητας και της γλυκιάς γεύσης επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό. Συγκεκριμένα η πλειοψηφία αυτών δήλωσε ότι " Το TC2,5 ήταν σχεδόν άριστο σαν προϊόν". Ακόλουθο στη σειρά αποτέλεσε το TC5, το οποίο προτιμήθηκε από 3 δοκιμαστές (27%), διότι υπήρχε σχετικά καλή ισορροπία μεταξύ του όξινου και του γλυκού και γενικότερα παρουσίασε μια αξιοπρεπή εμφάνιση. Παρόλο αυτά, τα σχόλια που προέκυψαν έδειξαν μια μικρή δυσαρέσκεια των δοκιμαστών σχετικά με την οσμή και την επίγευση. Ένα από τα επικρατέστερα σχόλια μεταξύ των δοκιμαστών ήταν το "Γενικά το μόνο που με ενόχλησε ήταν η επίγευση. Μέχρι εκείνο το σημείο μου φαινόταν καλό". Τέλος, μόνο 2 δοκιμαστές έδειξαν ενδιαφέρον για το TC0, γεγονός που επηρέασε την βαθμολογία του, κατατάσσοντας το τελευταίο. Ένα από τα αρνητικά σχόλια που δέχτηκε το TC0 ήταν το "Το TC0 ήταν, ως προς τη συνολική του εικόνα, ένα αρκετά κακό προϊόν". Αν

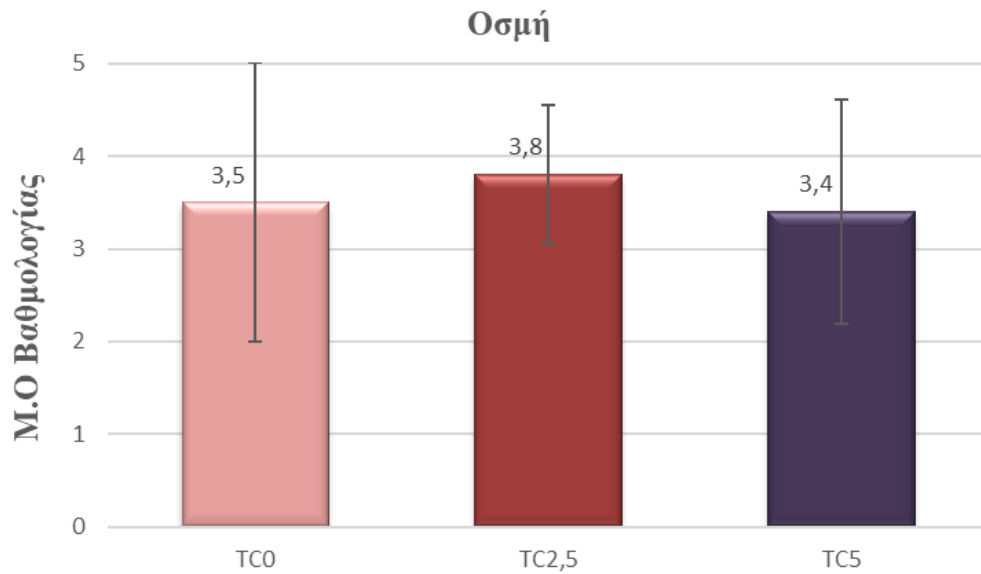
και επικράτησε του TC5, σχετικά με τα κριτήρια της οσμής και της επίγευσης, εμφάνισε γενικότερη εικόνα κάτω του μετρίου, καθώς οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν, όχι μόνο δεν το βελτίωσαν αλλά το υποβάθμισαν οργανοληπτικά. Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού με την βοήθεια των Διαγραμμάτων 1-6.



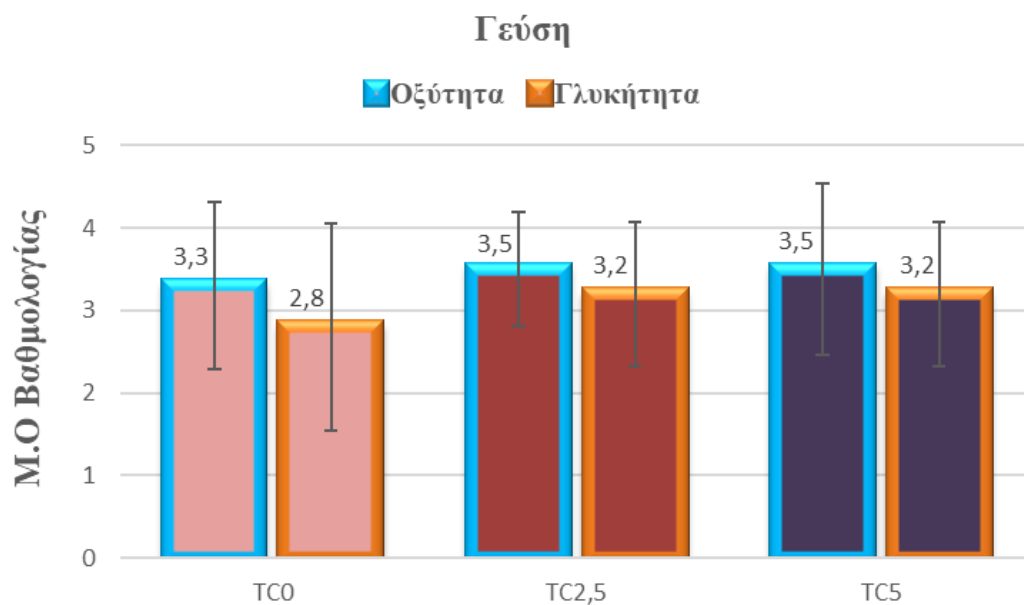
***Διάγραμμα 1.** Μέσος όρος τιμών αξιολόγησης των 11 εθελοντών για την εμφάνιση των δειγμάτων TC0, TC2,5, TC5.*



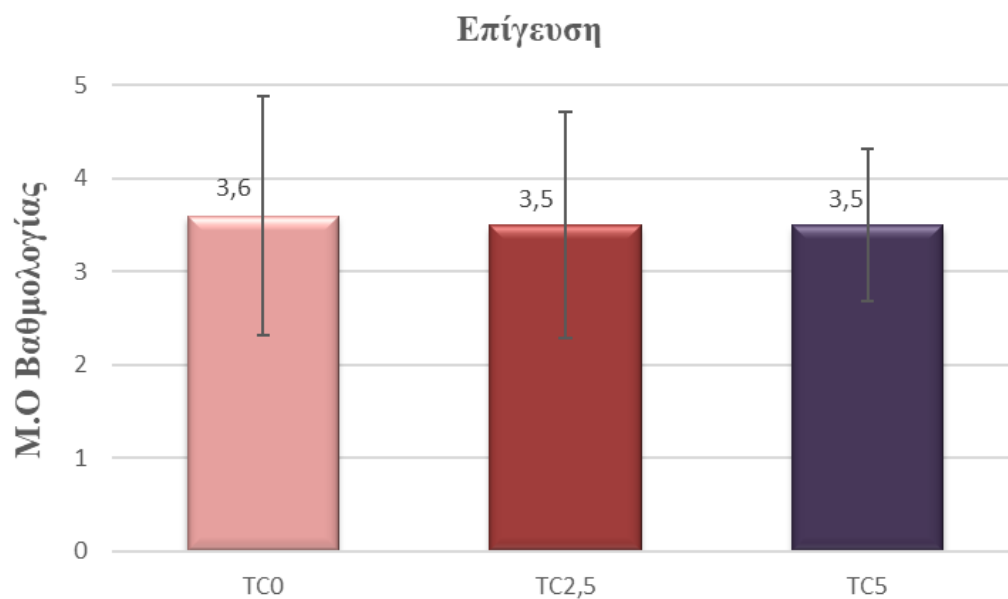
***Διάγραμμα 2.** Μέσος όρος τιμών αξιολόγησης των 11 εθελοντών για την υφή των δειγμάτων TC0, TC2,5, TC5.*



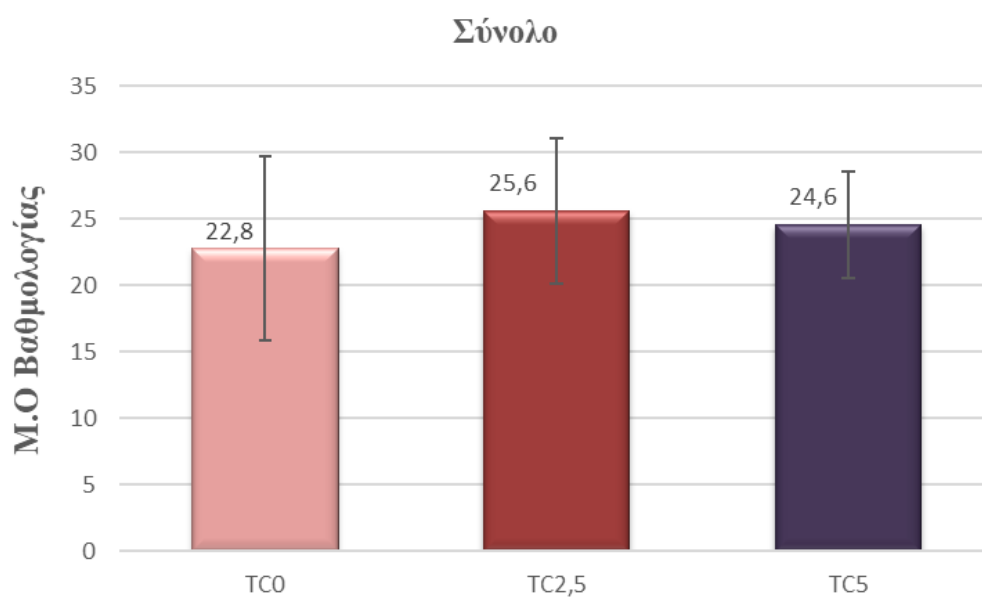
Διάγραμμα 3. Μέσος όρος τιμών αξιολόγησης των 11 εθελοντών για την οσμή των δειγμάτων TC0, TC2,5, TC5.



Διάγραμμα 4. Μέσος όρος τιμών αξιολόγησης των 11 εθελοντών για την γεύση των δειγμάτων TC0, TC2,5, TC5.



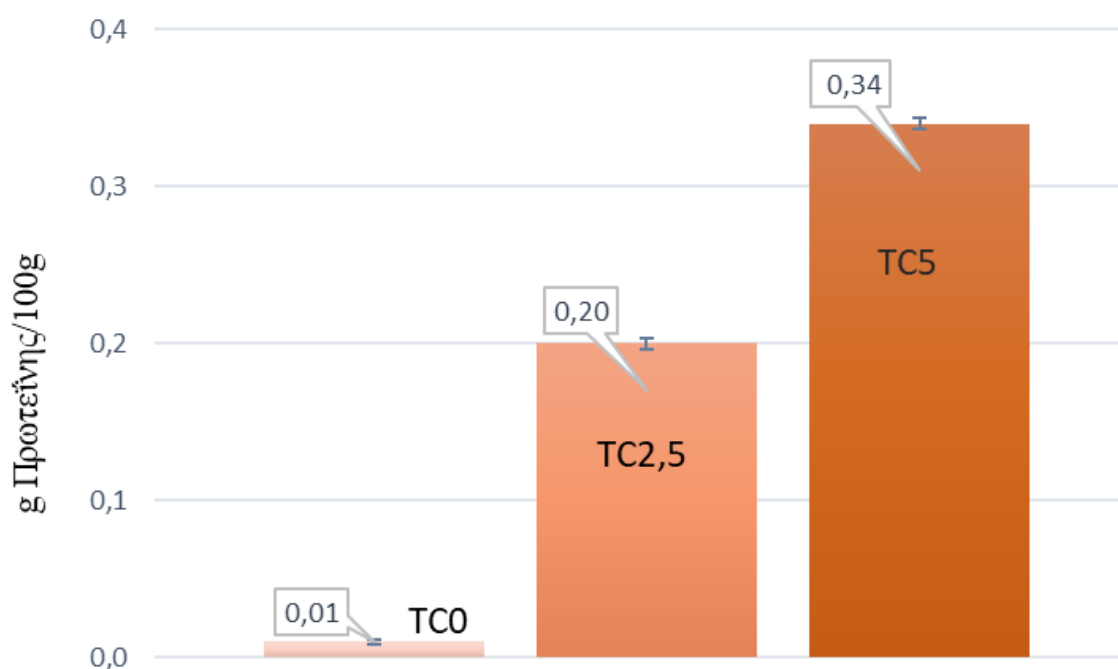
***Διάγραμμα 5.** Μέσος όρος τιμών αξιολόγησης των 11 εθελοντών για την επίγευση των δειγμάτων TC0, TC2,5, TC5.*



***Διάγραμμα 6.** Μέσος όρος τιμών συνολικής βαθμολογίας των 11 εθελοντών για τα δείγματα TC0, TC2,5, TC5.*

4.2 Αποτελέσματα προσδιορισμού πρωτεϊνών

Η επαρκής πρόσληψη πρωτεϊνών είναι ιδιαίτερα σημαντική, όπως προαναφέρθηκε στην υποενότητα 1.5.1.1., καθώς οι πρωτεΐνες εμπλέκονται σε πολλές από τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού. Η ντομάτα, ως γνωστόν, είναι ένα τρόφιμο που δεν θεωρείται πηγή πρωτεϊνών ενώ το έντομο *Tenebrio molitor*, σύμφωνα με έρευνες, αποτελεί μια υψηλά πρωτεϊνούχα πηγή [65–67,134]. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της μεθόδου Bradford, καθώς η τιμή που αφορούσε τις πρωτεΐνες του δείγματος TC0 ήταν μηδενική. Από την άλλη, η προσθήκη αλεύρου *Tenebrio molitor* στα δύο δείγματα αύξησε σημαντικά τη ποσότητα των πρωτεϊνών σε σχέση με το δείγμα TC0. Συγκεκριμένα, οι τιμές των πρωτεϊνών που καταγράφηκαν για το δείγμα TC2,5 ήταν 0,20 g/100g και για το TC5 ήταν 0,34 g/100g. Στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της μεθόδου Bradford, αναφορικά με την συγκέντρωση πρωτεϊνών στα δείγματα chutney ντομάτας.



Διάγραμμα 7. Αποτελέσματα μετρήσεων πρωτεϊνών των δειγμάτων chutney ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

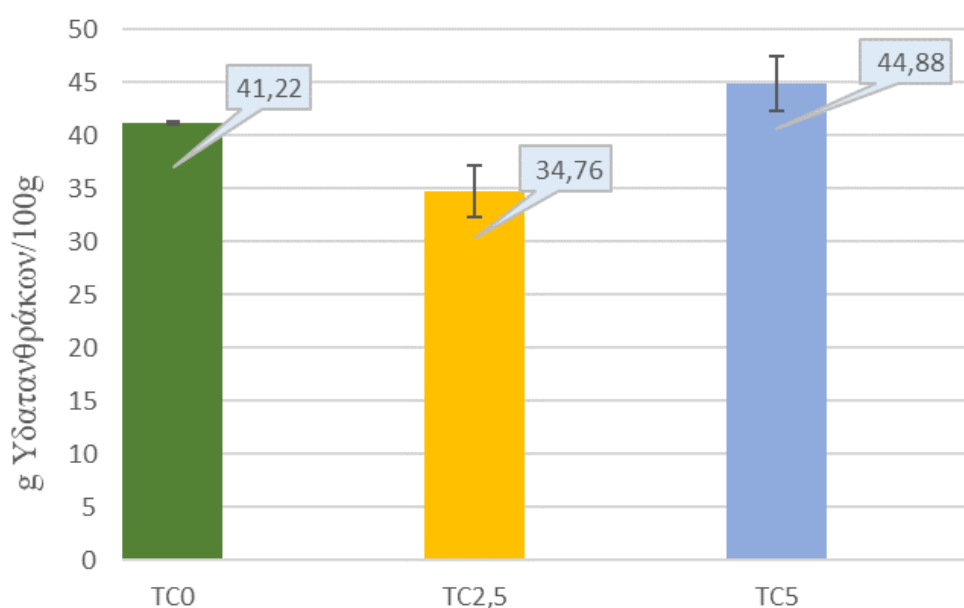
Οι τιμές αυτές είναι μικρότερες του 1% της συνολικής ενεργειακής αξίας της chutney ντομάτας και έτσι δεν μπορεί να θεωρηθεί ως «πηγή πρωτεϊνών» ή «υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες». Σύμφωνα με τον κανονισμό 1924/2006 [135], ένα τρόφιμο για να θεωρείται πηγή πρωτεϊνών θα πρέπει οι πρωτεΐνες του να αποτελούν τουλάχιστον το

12% της συνολικής ενεργειακής του αξίας ενώ αντίστοιχα για να λογίζεται ως υψηλής πρωτεϊνικής περιεκτικότητας να αποτελούν τουλάχιστο το 20%. Παρόλο αυτά, τα παραπάνω ευρήματα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ένταξη του αλεύρου *Tenebrio molitor*, ως μέρος του τροφίμου, προσέδωσε σημαντική ποσότητα πρωτεϊνών στα δυο δείγματα, με αύξηση 1900 και 3300% αντίστοιχα, σε σχέση με το δείγμα ελέγχου. Συνεπώς, τα δύο δείγματα θεωρούνται εμπλουτισμένα με πρωτεΐνες.

4.3 Αποτελέσματα προσδιορισμού υδατανθράκων

Οι υδατάνθρακες, όπως προαναφέρθηκε και στην υποενότητα 1.5.1.2, αποτελούν σημαντικό μέρος της ανθρώπινης διατροφής, καθώς είναι η βασικότερη πηγή ενέργειας. Ευρήματα μελετών έχουν δείξει πως η ντομάτα, ως φρούτο, διαθέτει αυξημένα ποσά σακχάρων στη σύνθεσή της. Γενικότερα, η περιεκτικότητα της σε υδατάνθρακες κυμαίνεται περίπου στα 3-4 g/100g νωπού βάρους, με κυριότερα σάκχαρα να αποτελούν η γλυκόζη και η φρουκτόζη [134]. Οι ποσότητες των επιμέρους σακχάρων μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με την ποικιλία της ντομάτας, την ωριμότητά της και τις συνθήκες καλλιέργειας.

Παρόμοιες έρευνες που έχουν διεξαχθεί και για την διατροφική σύσταση του *Tenebrio molitor*, κάνουν λόγο για την ικανοποιητική περιεκτικότητα του εντόμου σε υδατάνθρακες, όπως αναφέρεται και στην ενότητα 1.7.4. Στο Διάγραμμα 8 παρατίθενται οι τιμές της συγκέντρωσης των υδατανθράκων για τα δείγματα TC0, TC2,5 και TC5, που προκύψαν με τη μέθοδο φαινόλης/θειικού οξέος, εκπεφρασμένες ως γλυκόζη.

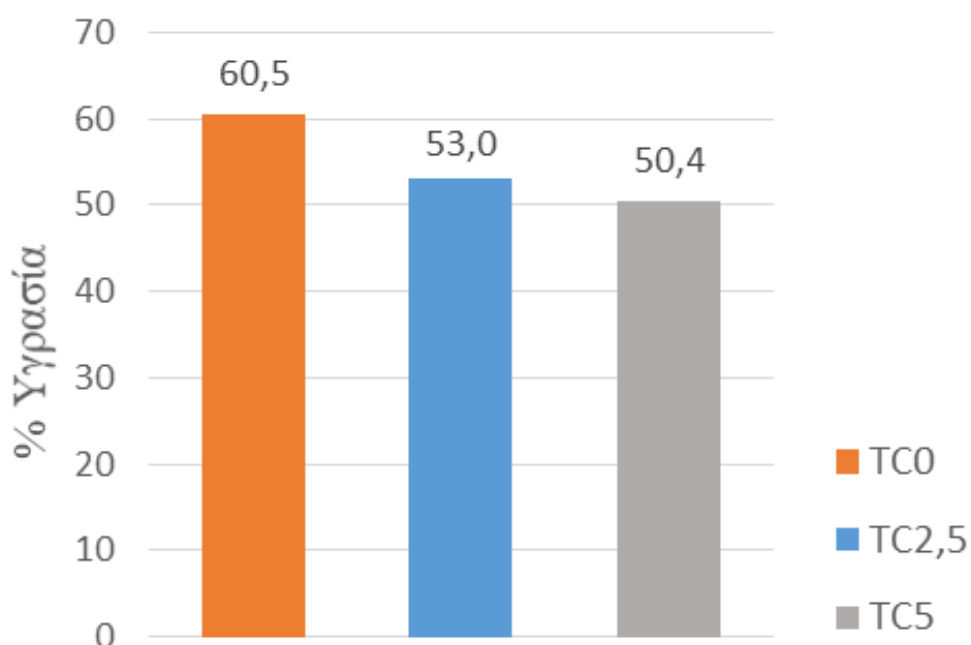


Διάγραμμα 8. Οι τιμές των μετρήσεων υδατανθράκων των δειγμάτων *chutney* ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

Το δείγμα TC0, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, κατέγραψε μια υψηλή τιμή υδατανθράκων, δεδομένου ότι η ντομάτα, όπως προαναφέρθηκε, είναι πλούσια σε σάκχαρα. Βέβαια στη συγκεκριμένη τιμή συνέβαλλαν και τα υπόλοιπα υλικά της chutney, όπως η ζάχαρη και το ξύδι βαλσάμικο [136]. Κανονικά το TC0, θα έπρεπε να έχει την μεγαλύτερη τιμή μεταξύ των τριών, καθώς η προσθήκη αλεύρου εντόμου, λόγω του πρωτεϊνικού περιεχομένου του, στα TC2,5 και TC5, θα οδηγούσε θεωρητικά στην αραίωση και συνάμα στην ελάττωση της ποσότητας των υδατανθράκων [137]. Αυτή η μείωση όμως, φάνηκε μόνο στο TC2,5, καθώς το TC5 κατέγραψε τιμή μεγαλύτερη του δείγματος ελέγχου. Εξήγηση σε αυτό μπορεί να αποτελεί η χρησιμοποίηση ντοματών διαφορετικού σταδίου ωρίμανσης [138], καθώς κατά την παρασκευή των δειγμάτων chutney δεν δημιουργήθηκε ένα κοινό μείγμα. Πιθανότατα για την παραγωγή του TC5, να χρησιμοποιήθηκαν ωριμότερες ντομάτες, που συνεπάγεται με μεγαλύτερη συγκέντρωση σακχάρων στο τελικό δείγμα [139].

4.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού υγρασίας- τέφρας

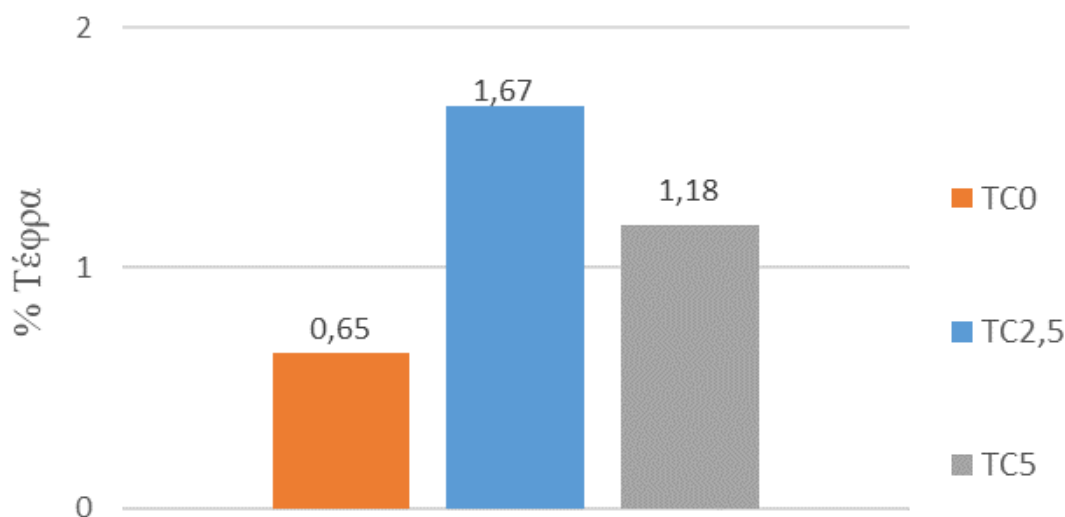
Σύμφωνα με τα βαρυμετρικά αποτελέσματα, το δείγμα ελέγχου παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό τελικής υγρασίας (60,5%) σε σχέση με τα δείγματα TC2,5 (53%) και TC5 (50,4%). Στο Διάγραμμα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της τελικής υγρασίας των δειγμάτων chutney ντομάτας.



Διάγραμμα 9. Τα ποσοστά των μετρήσεων της τελικής υγρασίας των δειγμάτων chutney ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

Αυτό οφείλονταν στο γεγονός ότι το TC0 είχε εξ'αρχής μεγαλύτερη ποσότητα νερού, λόγω της ντομάτας [140]. Στα άλλα δύο δείγματα, λόγω της προσθήκης του αλεύρου, μειώθηκε το τελικό ποσοστό υγρασίας, καθώς αυξήθηκαν τα στερεά συστατικά τους (πρωτεΐνες, λίπος, υδατάνθρακες κ.ά.) [141]. Γενικότερα, η τελική υγρασία των δειγμάτων επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό και από την επιλογή της πρώτης ύλης, καθώς για την παρασκευή των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν ντομάτες διαφορετικού σταδίου ωρίμανσης.

Από την άλλη, η περιεκτικότητα του δείγματος ελέγχου σε τέφρα, επί νωπού βάρους, ήταν η μικρότερη με ποσοστό 0,65%. Τα δείγματα στα οποία προστέθηκε αλεύρο εντόμου, περιείχαν ανόργανα συστατικά σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα 1,67 και 1,18% αντίστοιχα. Στο Διάγραμμα 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της τέφρας των δειγμάτων chutney ντομάτας.

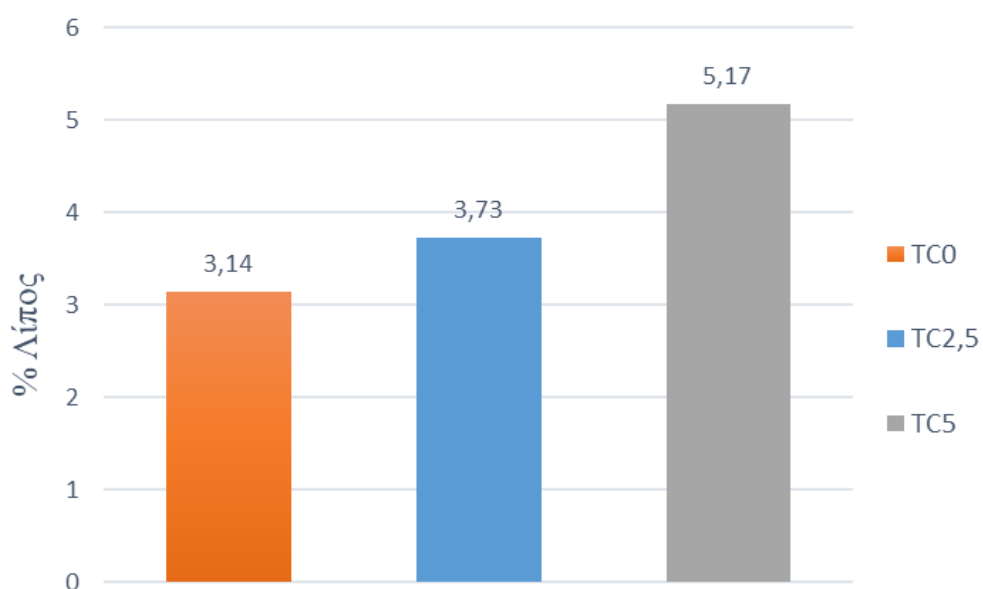


Διάγραμμα 10. Τα ποσοστά των μετρήσεων της τέφρας των δειγμάτων chutney ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

Η αύξηση αυτή οφείλονταν στην προσθήκη αλεύρου *Tenebrio molitor*, υποδηλώνοντας την μεγάλη συγκέντρωση αυτού σε ανόργανα συστατικά, τα οποία σύμφωνα με την βιβλιογραφία κυμαίνονται από 1,0 έως 4,2% [24,42,70]. Όπως παρατηρείται, οι τιμές της τέφρας των δειγμάτων δεν ακολούθησαν μια αύξουσα σειρά, καθώς το δείγμα TC5 εμφάνισε μικρότερο ποσοστό από ότι το δείγμα TC2,5. Πιθανή εξήγηση σε αυτό, μπορεί να είναι η αύξηση των οργανικών συστατικών (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπαρά κ.ά) τόσο λόγω της διπλάσιας περιεκτικότητας σε αλεύρο εντόμου όσο και η υψηλή συγκέντρωση σακχάρων προερχόμενη από ώριμες ντομάτες. Αυτοί οι δύο παράγοντες μπορεί να οδήγησαν στην μείωση του ποσοστού τέφρας στο δείγμα TC5.

4.5 Αποτελέσματα προσδιορισμού ολικού λίπους και των επιμέρους λιπαρών οξέων

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την διαδικασία απολίπανσης κατά τον προσδιορισμό των ολικών λιπών, στα δείγματα chutney ντομάτας, έδειξαν υψηλά ποσοστά λίπους. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [134], η ντομάτα περιέχει, αυτούσια, ποσοστό λιπαρών οξέων, τα οποία συνέβαλλαν στο τελικό ολικό ποσοστό. Αυτό επιβεβαιώθηκε άμεσα από το δείγμα που δεν περιείχε άλευρο εντόμου, δεδομένου ότι τα λιπαρά του προέρχονταν εξ' ολοκλήρου από τη ντομάτα (3,14%). Από την άλλη, έρευνες έχουν αποδείξει πως και το άλευρο *Tenebrio molitor*, περιέχει σημαντικό ποσοστό λίπους [42,72,74]. Έτσι, η προσθήκη του οδήγησε στην αύξηση του ποσοστού λίπους κατά 18,8% στο TC2,5 και 64,6% στο TC5, από το δείγμα ελέγχου. Στο Διάγραμμα 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ποσοστού των ολικών λιπών των δειγμάτων chutney ντομάτας.



Διάγραμμα 11. Οι τιμές των μετρήσεων του % ολικού λίπους των δειγμάτων chutney ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

Εκτός από τον προσδιορισμό της % περιεκτικότητας ολικών λιπών, πραγματοποιήθηκε ταυτοποίηση των επιμέρους λιπαρών οξέων στα τρία διαφορετικά δείγματα chutney ντομάτας, με αέρια χρωματογραφία. Συνολικά εννέα λιπαρά οξέα ταυτοποιήθηκαν στα δείγματα (TC0, TC2,5 και TC5), συμπεριλαμβανομένων κυρίως του λινελαϊκού (C18:2n-6), του ελαϊκού (C18:1n-9) και του παλμιτικού (C16:0). Στον Πίνακα 7 παρατίθενται αναλυτικά οι τιμές των εκάστοτε λιπαρών οξέων σε κάθε δείγμα. Εκτός από τα λιπαρά οξέα παρουσιάζονται και οι αναλογίες PUFA:SFA, MUFA:PUFA, ο βαθμός οξειδωσης (COX),

καθώς και τέσσερις πρόσθετοι δείκτες υγείας, γνωστοί ως δείκτης αθηρογένεσης (ΙΑ), δείκτης θρομβογένεσης (ΙΤ), δείκτης υποχοληστερολαιμίας/υπερχοληστερολαιμίας (ΗΗ) και δείκτης προαγωγής της υγείας (ΗΡΙ).

Πίνακας 7. Σύσταση λιπαρών οξέων στα δείγματα *chutney* ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

Λιπαρά οξέα (%)	Δείγματα		
	TC0	TC2,5	TC5
C12:0	nd *	0.03 ± 0 ^b	0.07 ± 0 ^a
C14:0	nd	2.19 ± 0.06 ^a	2.32 ± 0.16 ^a
C16:0	50.88 ± 2.7 ^a	16.27 ± 1.01 ^b	15.01 ± 0.63 ^b
C16:1	nd	0.73 ± 0.04 ^a	0.73 ± 0.03 ^a
C18:0	nd	0.13 ± 0.01 ^a	0.13 ± 0.01 ^a
C18:1	41.41 ± 0.87 ^a	20.06 ± 0.96 ^b	19.25 ± 0.9 ^b
C18:2 (ω-6)	2.36 ± 0.13 ^b	60.28 ± 1.81 ^a	62.15 ± 1.43 ^a
C20:0	5.34 ± 0.3 ^a	Nd	0.07 ± 0 ^b
C18:3 (ω-3)	nd	0.31 ± 0.01 ^a	0.26 ± 0.02 ^b
Σ SFA ¹	56.22 ± 3 ^a	18.62 ± 1.08 ^b	17.6 ± 0.8 ^b
Σ MUFA ²	41.41 ± 0.87 ^a	20.79 ± 1.01 ^b	19.98 ± 0.93 ^b
Σ PUFA ³	2.36 ± 0.13 ^b	60.59 ± 1.82 ^a	62.41 ± 1.45 ^a
Σ UFA ⁴	43.78 ± 1 ^b	81.38 ± 2.83 ^a	82.4 ± 2.38 ^a
PUFA:SFA ratio	0.04 ± 0 ^c	3.26 ± 0.09 ^b	3.55 ± 0.08 ^a
MUFA:PUFA ratio	17.55 ± 0.6 ^a	0.34 ± 0.01 ^b	0.32 ± 0.01 ^b
COX ⁵	0.66 ± 0.02 ^b	6.48 ± 0.2 ^a	6.65 ± 0.16 ^a
ΙΑ ⁶	1.16 ± 0.04 ^a	0.31 ± 0 ^b	0.3 ± 0.01 ^b
ΙΤ ⁷	2.32 ± 0.07 ^a	0.45 ± 0.01 ^b	0.42 ± 0.01 ^b
ΗΗ ⁸	0.86 ± 0.03 ^c	4.37 ± 0.1 ^b	4.7 ± 0.08 ^a
ΗΡΙ ⁹	0.86 ± 0.03 ^b	3.25 ± 0.05 ^a	3.38 ± 0.08 ^a

Μέσα σε κάθε γραμμή, οι στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$) υποδηλώνονται με διαφορετικά υπερθετικά γράμματα (π.χ., α-γ). * nd: δεν ανιχνεύεται. ¹SFAs, κορεσμένα λιπαρά οξέα (%): Άθροισμα C12:0, λινωτικό οξύ- C14:0, μυριστικό οξύ- C16:0, παλμιτικό οξύ- C18:0, στεατικό οξύ- C20:0, αραχιδικό οξύ. ²MUFAs, μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (%): Άθροισμα C16:1, παλμιτολεϊκό οξύ- C18:1, ελαϊκό οξύ. ³PUFAs, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (%): C18:2, ω-6, λινολεϊκό οξύ- C18:3, ω-3, λινολενικό οξύ. ⁴UFAs, ακόρεστα λιπαρά οξέα (%): Άθροισμα MUFAs και PUFAs. ⁵COX, υπολογιζόμενη τιμή οξειδωσιμότητας. ⁶ΙΑ, δείκτης αθηρογένεσης. ⁷ΙΤ, δείκτης θρομβογονικότητας. ⁸ΗΗ, λόγος υποχοληστερολαιμίας/υπερχοληστερολαιμίας. ⁹ΗΡΙ, δείκτης προαγωγής της υγείας.

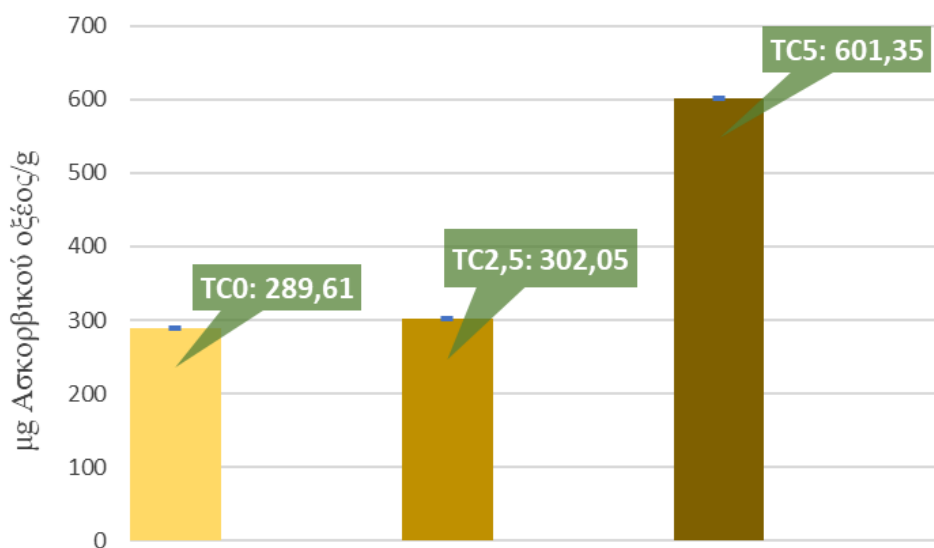
Βιβλιογραφικά [142], η ντομάτα, αναφορικά με τα λιπαρά που συνθέτουν το προφίλ της, αποτελείται κατά κύριο λόγο από λινελαϊκό (50%), ελαϊκό (20%) και παλμιτικό οξύ (15%) και δευτερευόντως από άλλα λιπαρά οξέα που βρίσκονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις, όπως το αραχιδικό, το στεατικό κ.ά. Στην ντομάτα το σύνολο των ακόρεστων λιπαρών οξέων κυμαίνεται από 75 έως 80%, που αντιστοιχεί περίπου σε 53% πολυακόρεστα (PUFA) και 23% μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA). Τα ποσοστά αυτά φάνηκε να μην ταυτίζονται με εκείνα που καταγράφηκαν για το δείγμα ελέγχου, καθώς λόγω της θερμικής επεξεργασίας που δέχθηκε, προκλήθηκε αύξηση των κορεσμένων λιπαρών οξέων έναντι των ακόρεστων.

Η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στο βαθμό ακορεστότητας, ο οποίος θεωρείται κύριος παράγοντας για τη σταθερότητα των λιπιδίων στο φυτό [143]. Από την άλλη τα TC2,5 και TC5 διαφοροποιήθηκαν αισθητά από το TC0, λόγω της προσθήκης αλεύρου εντόμου. Βάση ερευνών [42,72,74], στο *Tenebrio molitor* εμπεριέχονται μεγάλες ποσότητες ακόρεστων λιπαρών οξέων, όπως το λινολεϊκό οξύ (ω -6) και το ελαϊκό οξύ. Αυτό επιβεβαιώνεται από την εμφανή αύξηση του ποσοστού ακόρεστων και ειδικότερα των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (58,23% για το TC2,5 και 60,05% για το TC5), με παράλληλη μείωση των κορεσμένων, στα δύο δείγματα.

Σχετικά με τους δείκτες που παρατίθενται στον παραπάνω πίνακα, ο λόγος PUFA: SFA είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης για την αξιολόγηση της διατροφικής αξίας των τροφίμων. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο υψηλότερη είναι η διατροφική τους αξία. Με βάση τις παραπάνω τιμές, ο λόγος PUFA: SFA αυξήθηκε με την αύξηση του ποσοστού ενσωμάτωσης αλεύρου εντόμου, ο οποίος κυμάνθηκε από 0,04 (TC0) έως 3,55 (TC5). Παρόμοια και η τιμή του βαθμού αντίστασης στην οξείδωση (COX) εμφάνισε ένα θετικό αποτέλεσμα, καθώς αυξήθηκε μεταξύ των δειγμάτων TC0 (0,66) και TC5 (6,65). Το TC0 λόγω του αυξημένου σε κορεσμένα λιπαρά οξέα προφίλ του, εμφάνισε χαμηλή ικανότητα οξείδωσης, ενώ τα δείγματα TC2,5 και TC5, όντας πλούσια σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, λόγω της προσθήκης του εντόμου, ήταν σε μεγαλύτερο βαθμό επιρρεπή στην οξείδωση, το οποίο συνεπάγεται με μικρότερη διάρκεια ζωής του τροφίμου. Επιπλέον τα δείγματα TC2,5 και TC5 παρουσίασαν θετικά αποτελέσματα αναφορικά και με τους τέσσερις δείκτες υγείας, σε σχέση με το δείγμα ελέγχου. Συγκεκριμένα για τους δείκτες IA και IT ισχύει, ότι όσο χαμηλότερες είναι οι τιμές τους στα τρόφιμα, τόσο πιο ευνοϊκά θεωρούνται για την ανθρώπινη υγεία. Από την άλλη, για τους δείκτες HH και HPI, ισχύει το αντίστροφο από ότι στους δείκτες IA και IT [24,144]. Σύμφωνα λοιπόν με τον παραπάνω πίνακα, οι τιμές που προέκυψαν στα δυο δείγματα ακολουθούν τις προηγούμενες αρχές, με αυτό να συνεπάγεται άμεση συσχέτισή τους με θετικές επιδράσεις ως προς την υγεία.

4.6 Αποτελέσματα προσδιορισμού βιταμίνης C

Η βιταμίνη C, γνωστή και ως ασκορβικό οξύ, είναι μια υδατοδιαλυτή βιταμίνη με σημαντικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες [36]. Οι τιμές της βιταμίνης C, εκφρασμένες ως ασκορβικό οξύ, που προέκυψαν για το TC0 ήταν 289,61 $\mu\text{g/g}$, για το TC2,5 ήταν 302,05 $\mu\text{g/g}$ και για το TC5 ήταν 601,35 $\mu\text{g/g}$. Στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της βιταμίνης C των δειγμάτων chutney ντομάτας.



Διάγραμμα 12. Οι τιμές των μετρήσεων ασκορβικού οξέος των δειγμάτων *chutney* ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

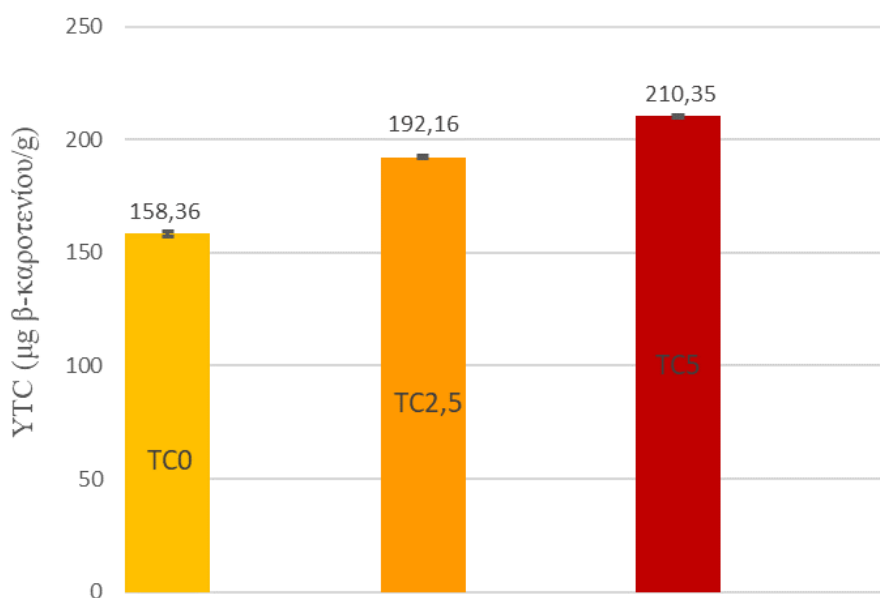
Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, το δείγμα ελέγχου, αν και είχε τη μικρότερη συγκέντρωση βιταμίνης C, μεταξύ των δειγμάτων, παρουσίασε αρκετά υψηλή τιμή. Αυτό συνέβη διότι η ντομάτα, καθώς και ο πολτός της, αποτελούν μια πλούσια πηγή βιταμίνης C. Σύμφωνα με διάφορες πηγές, η φρέσκια ντομάτα, μπορεί να περιέχει περίπου 14mg βιταμίνης C/100 g [134], ενώ ο θερμικά επεξεργασμένος ντοματοπολτός μπορεί να περιέχει περίπου 7mg βιταμίνης C/100 g [145], καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας, κατά την επεξεργασία του, οδηγεί στην μείωση της συγκέντρωσης της βιταμίνης C. Ωστόσο, οι παραπάνω τιμές μπορεί να διαφέρουν, λόγω διαφόρων παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν την περιεκτικότητα της βιταμίνης C, πριν και μετά την συγκομιδή της ντομάτας [146].

Από την άλλη, τα δείγματα TC2,5 και TC5, κατέγραψαν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μεταξύ των τριών, γεγονός που οφείλονταν στην προσθήκη αλεύρου *Tenebrio molitor*, το οποίο σύμφωνα με την βιβλιογραφία έχει περιεκτικότητα σε βιταμίνη C περίπου 200-400 μg/g [21,24]. Συγκεκριμένα στα δείγματα TC2,5 και TC5 παρατηρήθηκε αύξηση της βιταμίνης C κατά 4.3 και 107.6% αντίστοιχα, σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί πως στα δείγματα TC2,5 και TC5 μπορεί να αποδοθεί ο ισχυρισμός "πηγή βιταμίνης C", του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 1924/2006 [135], καθώς οι τιμές τους ξεπερνούν το 15% της συνιστάμενης ημερήσιας πρόσληψης ανά 100g. Τέλος στο TC5

μπορεί να αποδοθεί και ο ισχυρισμός "υψηλή περιεκτικότητα σε βιταμίνη C", καθώς η τιμή του είναι διπλάσια από την ποσότητα της «πηγή βιταμίνης C".

4.7 Αποτελέσματα προσδιορισμού β καροτενίου

Τα καροτενοειδή, ως φυτικές ουσίες που υπάρχουν σε πολλά φρούτα και λαχανικά, αποδίδοντας το χαρακτηριστικό κόκκινο, κίτρινο ή πορτοκαλί χρώμα, αποτελούν προ-βιταμίνες Α με ιδιαίτερη αντιοξειδωτική δράση. Τα πιο γνωστά καροτενοειδή είναι το άλφα και βήτα καροτένιο, το λυκοπένιο, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη [36]. Μελέτες έχουν δείξει πως η ντομάτα, χαρακτηρίζεται για την πλούσια περιεκτικότητά της στις παραπάνω ενώσεις. Πιο συγκεκριμένα, η ντομάτα αποτελείται κατά κύριο λόγο από λυκοπένιο (90%) και β-καροτένιο (10%) [147,148]. Από την άλλη, το *Tenebrio molitor* χαρακτηρίζεται, από έρευνες, ως χαμηλή πηγή καροτενοειδών, σε αντίθεση με την ντομάτα [24]. Στο Διάγραμμα 13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ολικών καροτενοειδών, εκπεφρασμένα ως β-καροτένιο, των δειγμάτων chutney ντομάτας.



Διάγραμμα 13. Οι τιμές των μετρήσεων ολικών καροτενοειδών των δειγμάτων chutney ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

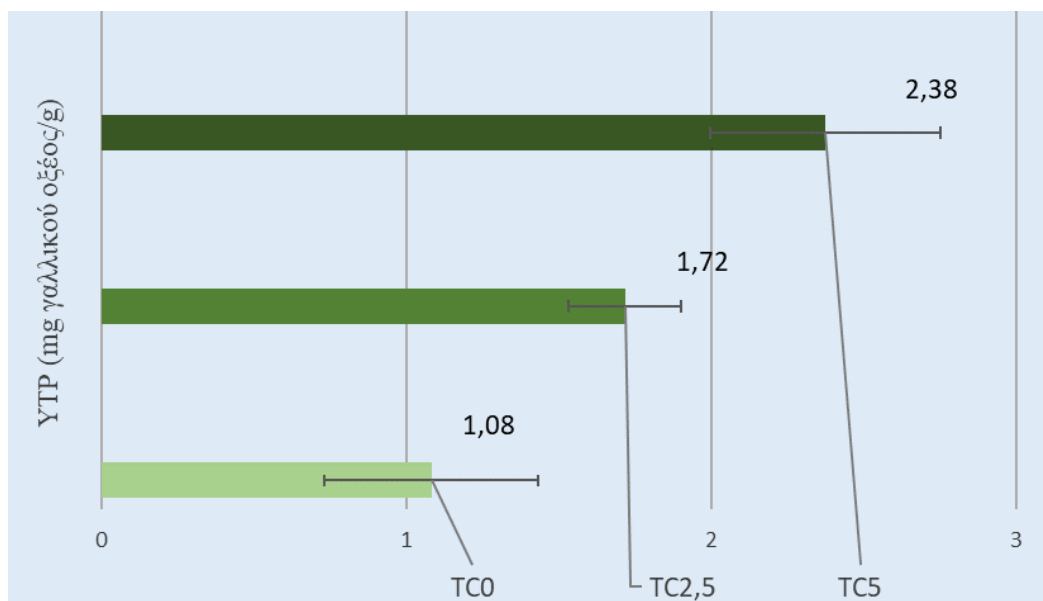
Από το διάγραμμα γίνεται εμφανές πως η τιμή του TC0 ήταν αρκετά υψηλή, γεγονός που οφείλεται τόσο στην πλούσια περιεκτικότητα της ντομάτας σε καροτενοειδή, όσο και στην θερμική της επεξεργασία. Αν και τα καροτενοειδή θεωρούνται γενικά θερμοευαίσθητες ενώσεις, έρευνες έχουν δείξει ότι η θερμική επεξεργασία, μπορεί να διεγείρει την παραγωγή ορισμένων από αυτών, όπως το β-καροτένιο [149,150]. Στα δείγματα TC2,5 και TC5

παρατηρήθηκε επιπρόσθετη αύξηση των ολικών καροτενοειδών κατά 21,3 και 32,8% αντίστοιχα σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Σε αυτό συνέβαλε, σε μεγάλο βαθμό, η παρουσία του εντόμου, το οποίο παρά την χαμηλή περιεκτικότητά του σε καροτενοειδή, ενίσχυσε την συγκέντρωση αυτών στα δύο δείγματα.

4.8 Αποτελέσματα προσδιορισμού ολικών πολυφαινολών

Οι πολυφαινόλες είναι μια κατηγορία φυσικών ενώσεων, με κύριο γνώρισμά τους να αποτελούν οι αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες, οι οποίες συμβάλλουν στην εξουδετέρωση των επιβλαβών ελεύθερων ριζών στον οργανισμό, μειώνοντας δυνητικά τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών, όπως οι καρδιακές παθήσεις, ο διαβήτης και ορισμένοι τύποι καρκίνου. Πέρα από την αντιοξειδωτική τους δράση, διαθέτουν ακόμα αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και γενικότερα θεωρούνται ωφέλιμες για την υγεία ενώσεις [151,152]. Οι γνωστότεροι τύποι πολυφαινολών, μεταξύ άλλων, είναι τα φλαβονοειδή, όπως οι ανθοκυανίνες, τα οποία αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος του συνόλου των πολυφαινολών και ακολουθούν τα φαινολικά οξέα, όπως το γαλλικό οξύ [147,153]. Σύμφωνα με μελέτες [147], κατά τις οποίες έχει διερευνηθεί η σύσταση των θρεπτικών συστατικών της ντομάτας, έχουν καταγραφεί σημαντικές ποσότητες πολυφαινολών. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [154], η περιεκτικότητά της σε πολυφαινόλες κυμαίνεται περίπου στα 30mg ισοδυνάμων γαλλικού οξέος (GAE) ανά 100 g νωπού βάρους.

Από την άλλη, παρόμοιες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για το *Tenebrio molitor*, έχουν δείξει ότι και αυτό αποτελεί σημαντική πηγή πολυφαινολών, με την περιεκτικότητά του μάλιστα να ξεπερνά αυτή της ντομάτας σε πολλές περιπτώσεις. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών η τυπική περιεκτικότητα των πολυφαινολών σε αποξηραμένους αλευρώδεις μπορεί να κυμαίνεται γύρω στα 50 mg GAE / g ξηρού βάρους [24]. Στο Διάγραμμα 14 που ακολουθεί παρατίθενται οι τιμές της συγκέντρωσης των ολικών πολυφαινολών για τα δείγματα TC0, TC2,5 και TC5, που προκύψαν με τη μέθοδο Folin Ciocalteu, εκπεφρασμένες ως ισοδύναμα γαλλικού οξέος.



Διάγραμμα 14. Οι τιμές των ολικών πολυφαινολών, εκπεφρασμένες ως ισοδύναμα γαλλικού οξέος, των δειγμάτων *chutney* ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

Το δείγμα TC0, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, κατέγραψε τιμή ολικών πολυφαινολών 1,08mg/g. Στην περίπτωση, των TC2,5 και TC5, που περιείχαν αλεύρο εντόμου, σημειώθηκαν υψηλότερες τιμές (1,72mg/g και 2,38mg/g), που ξεπέρασαν αυτή του δείγματος ελέγχου, καθώς η συγκέντρωση ολικών πολυφαινολών τους αυξήθηκε κατά 59,3 και 120,4% αντίστοιχα. Η αύξηση αυτή συνδεόταν άμεσα με το γεγονός, ότι εκτός των πολυφαινολών της ντομάτας, τα δείγματα αυτά διέθεταν και εκείνες που τους προσέφερε το αλεύρο με την ενσωμάτωσή του.

Ωστόσο, σύμφωνα με τις παραπάνω βιβλιογραφίες, οι συγκεντρώσεις των ολικών πολυφαινολών στα τρία δείγματα φάνηκαν μειωμένες σε σχέση με τα αποτελέσματα αυτών. Ο λόγος που μπορεί αυτό να προκλήθηκε, πιθανότατα να οφείλεται σε διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμότητα, το φως και το οξυγόνο, καθώς οι πολυφαινόλες εμφανίζουν μεγάλο βαθμό ευαισθησίας σε αυτούς. Παρόλο αυτά, από τις τιμές που προέκυψαν, ήταν αντιληπτή μια ικανοποιητική αύξηση στα TC2,5 και TC5, η οποία βασιζόταν κυρίως στην ενσωμάτωση του αλεύρου.

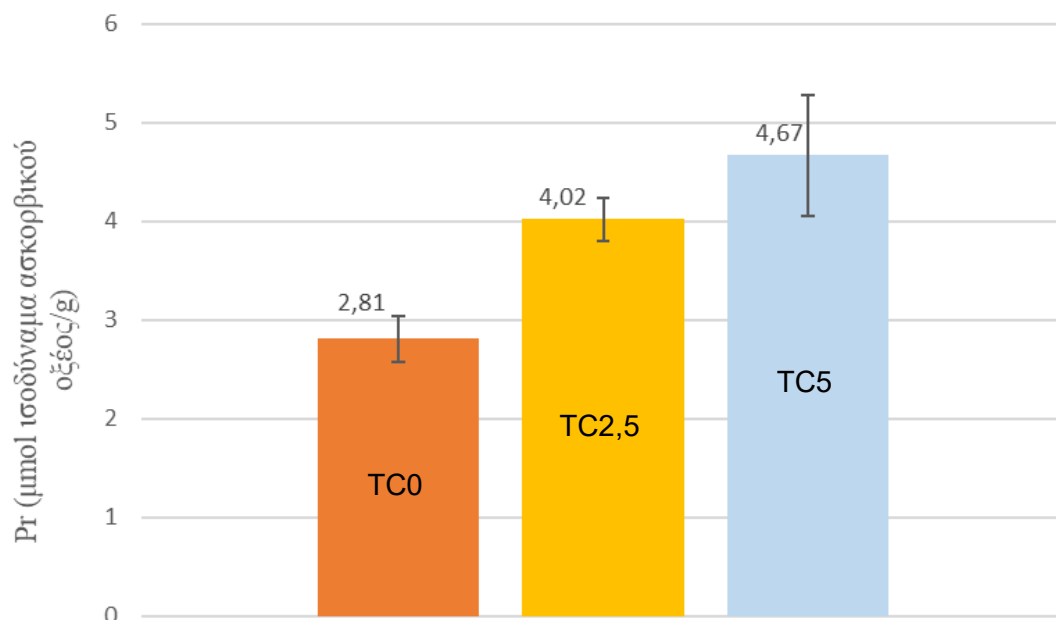
4.9 Αποτελέσματα προσδιορισμού συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας

Η αντιοξειδωτική δράση αναφέρεται στην ικανότητα των ουσιών να αποτρέπουν ή να επιβραδύνουν τη διαδικασία οξείδωσης στον ανθρώπινο οργανισμό, μέσω της δέσμευσης τους. Η οξείδωση μπορεί να παράγει ελεύθερες ρίζες, οι οποίες είναι ασταθή μόρια που μπορούν να προκαλέσουν κυτταρικές βλάβες και έτσι να συμβάλουν σε διάφορες ασθένειες,

όπως ο καρκίνος και οι καρδιαγγειακές παθήσεις [155]. Ισχυρά αντιοξειδωτικά αποτελούν το ασκορβικό οξύ ή βιταμίνη C, η βιταμίνη A (β-καροτένιο) και οι πολυφαινόλες (φλαβονοειδή) [152].

Οι ντομάτες αναγνωρίζονται για τη σημαντική αντιοξειδωτική τους δράση, η οποία αποδίδεται κυρίως στην περιεκτικότητά τους στις προαναφερθείσες βιοδραστικές ενώσεις. Οι έρευνες δείχνουν ότι τα διάφορα μέρη της ντομάτας (φλούδα, σπόροι και πολτός) παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα αντιοξειδωτικής δράσης. Η φλούδα, ειδικότερα, περιέχει υψηλότερες συγκεντρώσεις ολικών φαινολικών, φλαβονοειδών και λυκοπενίου, συμβάλλοντας έτσι πιο σημαντικά στη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα σε σύγκριση με τον πολτό και τους σπόρους [156]. Η αντιοξειδωτική δράση των φρέσκων ντοματών μπορεί να κυμαίνεται περίπου από 2 έως 5 $\mu\text{mol AAE/g}$ [157], με την τιμή της να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως ποικιλία, στάδιο ωρίμανσης κ.α.

Επίσης, σύμφωνα με έρευνες, το *Tenebrio molitor* διακρίνεται και αυτό για την ισχυρή αντιοξειδωτική του ικανότητα, η οποία μπορεί να κυμαίνεται από 120 έως 130 $\mu\text{mol AAE/g}$ [24,128], καθώς εμπεριέχει στην διατροφική του σύσταση ποικίλα αντιοξειδωτικά. Στο Διάγραμμα 15 που ακολουθεί παρατίθενται οι τιμές της αντιοξειδωτικής ικανότητας των δειγμάτων TC0, TC2,5 και TC5, που προκύψαν με τη μέθοδο αναγωγής του σιδήρου (FRAP), εκπεφρασμένες ως ισοδύναμα ασκορβικού οξέος.



Διάγραμμα 15. Οι τιμές της αντιοξειδωτικής ικανότητας, εκπεφρασμένες ως ισοδύναμα ασκορβικό οξύ, των δειγμάτων chutney ντομάτας TC0, TC2,5 και TC5.

Σχετικά με το δείγμα TC0, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, τα αντιοξειδωτικά του συμμετείχαν σε μεγάλο βαθμό στην αναγωγή του σιδήρου, με αποτέλεσμα την καταγραφή μιας αξιόλογης τιμής αντιοξειδωτικής ικανότητας. Αυτό ήταν αναμενόμενο, διότι η ντομάτα, όπως προαναφέρθηκε, είναι πλούσια σε βιταμίνες και φαινολικές ενώσεις. Στην περίπτωση των TC2,5 και TC5, τα οποία ενισχύθηκαν με άλευρο εντόμου, καταγράφηκαν υψηλότερες τιμές από το δείγμα ελέγχου, καθώς η αντιοξειδωτική τους δύναμη αυξήθηκε κατά 43,1 και 66,2% αντίστοιχα. Η άνοδος αυτή συνδεόταν άμεσα με το γεγονός, ότι πέρα από την παρουσία των δραστικών ενώσεων της ντομάτας, τα δείγματα αυτά περιείχαν και εκείνες του εντόμου.

Ωστόσο, σύμφωνα με τις παραπάνω βιβλιογραφίες, η αντιοξειδωτική ικανότητα των TC2,5 και TC5, φάνηκε μειωμένη σε σχέση με τα αποτελέσματα αυτών. Ο λόγος που μπορεί αυτό να προκλήθηκε, πιθανότατα να οφείλεται σε διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμότητα, το φως και το οξυγόνο, καθώς οι αντιοξειδωτικές ενώσεις εμφανίζουν μεγάλο βαθμό ευαισθησίας σε αυτούς. Παρόλο αυτά, από τις τιμές που προέκυψαν, ήταν αντιληπτή μια ικανοποιητική αύξηση της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας, η οποία βασιζόταν κυρίως στην ενσωμάτωση του αλεύρου.

4.10 Υπολογισμός ενεργειακού περιεχομένου

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους προσδιορισμούς των πρωτεϊνών, των λιπών και των υδατανθράκων, υπολογίστηκε η ενέργεια των τριών δειγμάτων με τη βοήθεια της παρακάτω τυπικής εξίσωσης (8) [128]:

$$\text{Ενέργεια (kcal/100g)} = (9 \cdot \% \text{ ακατέργαστο λίπος}) + (4 \cdot \% \text{ ακατέργαστη πρωτεΐνη}) + (4 \cdot \% \text{ υδατάνθρακες}) \quad (8)$$

Το 4 αντιστοιχεί στην ενεργειακή απόδοση των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων, ενώ το 9 σε εκείνη των λιπών.

Στον Πίνακα 8 που ακολουθεί, παρατίθενται οι τιμές των μακροθρεπτικών συστατικών των τριών δειγμάτων που συνέβαλαν στην παραπάνω εξίσωση, καθώς και εκείνες της συνολικής ενέργειας τους.

Πίνακας 8. Διατροφική αξία των δειγμάτων TC0, TC2,5, TC5.

	ΔΕΙΓΜΑΤΑ		
	TC0	TC2,5	TC5
ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ (g/100g)	0	0,2	0,34
ΛΙΠΗ (g/100g)	3,14	3,73	5,17
ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ (g/100g)	41,22	34,76	44,88
ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kcal/100g)	193	174	229

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα επιβεβαιώνει τη δυνατότητα αξιοποίησης των εντόμων ως βιώσιμης και καινοτόμου λύσης για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών σε εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών και θρεπτικών συστατικών, ιδίως σε ένα πλαίσιο παγκόσμιας διατροφικής ανασφάλειας και περιβαλλοντικής πίεσης. Τα ευρήματα αναδεικνύουν τη συμβολή του αλεύρου *Tenebrio molitor* στην ενίσχυση της θρεπτικής αξίας τροφίμων, όπως η chutney ντομάτας, μέσω της σημαντικής αύξησης της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και πολυφαινόλες. Παράλληλα, η ουσιαστική ενίσχυση της αντιοξειδωτικής ικανότητας του τελικού προϊόντος υποδεικνύει την προστατευτική δράση του κατά της οξείδωσης, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του τροφίμου και ενισχύοντας τις ιδιότητες πρόληψης χρόνιων ασθενειών.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ενσωμάτωση του αλεύρου εντόμου δεν επηρέασε αρνητικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Αντίθετα, διατήρησε την αποδεκτή υφή, γεύση και άρωμα, διευκολύνοντας την αποδοχή του από τους καταναλωτές. Σημαντική παράμετρος για την επιτυχία της προσέγγισης αυτής ήταν η αόρατη μορφή του εντόμου στο τελικό προϊόν, γεγονός που συνέβαλε στη μείωση της τροφικής νεοφοβίας που επικρατεί στις δυτικές κοινωνίες. Αυτή η διαπίστωση αναδεικνύει τη δυνατότητα των εντόμων να ενσωματωθούν στη διατροφική αλυσίδα χωρίς πολιτισμικούς ή ψυχολογικούς φραγμούς, εφόσον γίνει σωστός σχεδιασμός και επεξεργασία.

Η έρευνα καταδεικνύει ότι η χρήση του *Tenebrio molitor* μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην ανάπτυξη καινοτόμων τροφίμων, τα οποία είναι προσαρμοσμένα στις σύγχρονες απαιτήσεις για βιώσιμη παραγωγή και υψηλή θρεπτική αξία. Τέτοιες πρακτικές μπορούν να μειώσουν την εξάρτηση από συμβατικές ζωικές πηγές πρωτεϊνών, να ελαττώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανίας τροφίμων και να προωθήσουν πιο βιώσιμες διατροφικές συνήθειες σε παγκόσμιο επίπεδο. Συνολικά, τα ευρήματα της παρούσας εργασίας ανοίγουν νέους ορίζοντες για την ενσωμάτωση των εντόμων στη διατροφή του μέλλοντος, συμβάλλοντας στην επίλυση πολυδιάστατων ζητημάτων που σχετίζονται με τη διατροφική ασφάλεια και τη βιωσιμότητα.

6. Βιβλιογραφία

1. Scaffardi, L.; Formici, G. Novel Foods and Edible Insects in the European Union An Interdisciplinary Analysis. In; 2022.
2. Huis, A. van.; Van Itterbeeck, Joost.; Klunder, Harmke. *Edible Insects : Future Prospects for Food and Feed Security*; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014; ISBN 9789251075951.
3. Ramos-Elorduy, J. Insects: A Sustainable Source of Food? *Ecol Food Nutr* **1997**, *36*, 247–276, doi:10.1080/03670244.1997.9991519.
4. Nowak, V.; Persijn, D.; Rittenschober, D.; Charrondiere, U.R. Review of Food Composition Data for Edible Insects. *Food Chem* **2016**, *193*, 39–46, doi:10.1016/J.FOODCHEM.2014.10.114.
5. Shelomi, M. Why We Still Don't Eat Insects: Assessing Entomophagy Promotion through a Diffusion of Innovations Framework. *Trends Food Sci Technol* **2015**, *45*, 311–318, doi:10.1016/J.TIFS.2015.06.008.
6. Menozzi, D.; Sogari, G.; Veneziani, M.; Simoni, E.; Mora, C. Eating Novel Foods: An Application of the Theory of Planned Behaviour to Predict the Consumption of an Insect-Based Product. *Food Qual Prefer* **2017**, *59*, 27–34, doi:10.1016/J.FOODQUAL.2017.02.001.
7. Kouřimská, L.; Adámková, A. Nutritional and Sensory Quality of Edible Insects. *NFS Journal* **2016**, *4*, 22–26, doi:10.1016/J.NFS.2016.07.001.
8. Payne, C.; Megido, R.C.; Dobermann, D.; Frédéric, F.; Shockley, M.; Sogari, G. Insects as Food in the Global North – The Evolution of the Entomophagy Movement. *Edible Insects in the Food Sector: Methods, Current Applications and Perspectives* **2019**, 11–26, doi:10.1007/978-3-030-22522-3_2.
9. Li, M.; Liang, Y. Li Shizhen and The Grand Compendium of Materia Medica. *Journal of Traditional Chinese Medical Sciences* **2015**, *2*, 215–216, doi:10.1016/J.JTCMS.2016.01.015.
10. Rumpold, B.A.; Schlüter, O.K. Nutritional Composition and Safety Aspects of Edible Insects. *Mol Nutr Food Res* **2013**, *57*, 802–823, doi:10.1002/MNFR.201200735.
11. Durst, P.B.; Johnson, D. V; Leslie, R.N.; Shono, K. Forest Insects as Food: Humans Bite Back Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development. **2010**.
12. Raheem, D.; Carrascosa, C.; Oluwole, O.B.; Nieuwland, M.; Saraiva, A.; Millán, R.; Raposo, A. Traditional Consumption of and Rearing Edible Insects in Africa, Asia and Europe. *Crit Rev Food Sci Nutr* **2019**, *59*, 2169–2188, doi:10.1080/10408398.2018.1440191.

13. Costa-Neto, E.M. Anthro-Entomophagy in Latin America: An Overview of the Importance of Edible Insects to Local Communities. *J Insects Food Feed* **2015**, *1*, 17–24, doi:10.3920/JIFF2014.0015.
14. Jongema Yde List of Edible Insects of the World (April 1, 2017) - WUR Available online: <https://www.wur.nl/en/research-results/chair-groups/plant-sciences/laboratory-of-entomology/edible-insects/worldwide-species-list.htm> (accessed on 20 October 2024).
15. Oonincx, D.G.A.B.; van Itterbeeck, J.; Heetkamp, M.J.W.; van den Brand, H.; van Loon, J.J.A.; van Huis, A. An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *PLoS One* **2010**, *5*, e14445, doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0014445.
16. Ros-Baró, M.; Sánchez-Socarrás, V.; Santos-Pagès, M.; Bach-Faig, A.; Aguilar-Martínez, A. Consumers' Acceptability and Perception of Edible Insects as an Emerging Protein Source. *Int J Environ Res Public Health* **2022**, *19*, 15756, doi:10.3390/IJERPH192315756/S1.
17. Veldkamp, T.; van Duinkerken, G.; van Huis, A.; lakemond, C.; Ottevanger, E.; Bosch, G.; van Boekel, M. Insects as a Sustainable Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets - a Feasibility Study. **2012**.
18. Nakagaki, B.J.; Defoliart, G.R. Comparison of Diets for Mass-Rearing Acheta Domesticus (Orthoptera: Gryllidae) as a Novelty Food, and Comparison of Food Conversion Efficiency with Values Reported for Livestock. *J Econ Entomol* **1991**, *84*, 891–896, doi:10.1093/JEE/84.3.891.
19. Hoekstra, A.Y. The Hidden Water Resource Use behind Meat and Dairy. *Animal Frontiers* **2012**, *2*, 3–8, doi:10.2527/AF.2012-0038.
20. Dobermann, D.; Swift, J.A.; Field, L.M. Opportunities and Hurdles of Edible Insects for Food and Feed. *Nutr Bull* **2017**, *42*, 293–308, doi:10.1111/NBU.12291.
21. Jantzen da Silva Lucas, A.; Menegon de Oliveira, L.; da Rocha, M.; Prentice, C. Edible Insects: An Alternative of Nutritional, Functional and Bioactive Compounds. *Food Chem* **2020**, *311*, 126022, doi:10.1016/J.FOODCHEM.2019.126022.
22. Pilco-Romero, G.; Chisaguano-Tonato, A.M.; Herrera-Fontana, M.E.; Chimbo-Gándara, L.F.; Sharifi-Rad, M.; Giampieri, F.; Battino, M.; Vernaza, M.G.; Álvarez-Suárez, J.M. House Cricket (Acheta Domesticus): A Review Based on Its Nutritional Composition, Quality, and Potential Uses in the Food Industry. *Trends Food Sci Technol* **2023**, *142*, 104226, doi:10.1016/J.TIFS.2023.104226.
23. Murray, D.R.P. The Importance of Water in the Normal Growth of Larvae of Tenebrio Molitor. *Entomol Exp Appl* **1968**, *11*, 149–168, doi:10.1111/J.1570-7458.1968.TB02041.X.
24. Kotsou, K.; Chatzimitakos, T.; Athanasiadis, V.; Bozinou, E.; Rumbos, C.I.; Athanassiou, C.G.; Lalas, S.I. Enhancing the Nutritional Profile of Tenebrio Molitor Using the Leaves of Moringa Oleifera. *Foods* **2023**, *Vol. 12*, Page 2612 **2023**, *12*, 2612, doi:10.3390/FOODS12132612.

25. van Huis, A. Edible Insects Contributing to Food Security? *Agric Food Secur* **2015**, *4*, 1–9, doi:10.1186/S40066-015-0041-5/METRICS.
26. Mlcek, J.; Rop, O.; Borkovcova, M.; Bednarova, M. A Comprehensive Look at the Possibilities of Edible Insects as Food in Europe - A Review. *Pol J Food Nutr Sci* **2014**, *64*, 147–157, doi:10.2478/V10222-012-0099-8.
27. Verbeke, W. Profiling Consumers Who Are Ready to Adopt Insects as a Meat Substitute in a Western Society. *Food Qual Prefer* **2015**, *39*, 147–155, doi:10.1016/J.FOODQUAL.2014.07.008.
28. Gere, A.; Székely, G.; Kovács, S.; Kókai, Z.; Sipos, L. Readiness to Adopt Insects in Hungary: A Case Study. *Food Qual Prefer* **2017**, *59*, 81–86, doi:10.1016/J.FOODQUAL.2017.02.005.
29. Pliner, P.; Hobden, K. Development of a Scale to Measure the Trait of Food Neophobia in Humans. *Appetite* **1992**, *19*, 105–120, doi:10.1016/0195-6663(92)90014-W.
30. Flight, I.; Leppard, P.; Cox, D.N. Food Neophobia and Associations with Cultural Diversity and Socio-Economic Status amongst Rural and Urban Australian Adolescents. *Appetite* **2003**, *41*, 51–59, doi:10.1016/S0195-6663(03)00039-4.
31. Tuorila, H.; Lähteenmäki, L.; Pohjalainen, L.; Lotti, L. Food Neophobia among the Finns and Related Responses to Familiar and Unfamiliar Foods. *Food Qual Prefer* **2001**, *12*, 29–37, doi:10.1016/S0950-3293(00)00025-2.
32. Cattaneo, C.; Lavelli, V.; Proserpio, C.; Laureati, M.; Pagliarini, E. Consumers' Attitude towards Food by-Products: The Influence of Food Technology Neophobia, Education and Information. *Int J Food Sci Technol* **2019**, *54*, 679–687, doi:10.1111/IJFS.13978.
33. Liceaga, A.M. Edible Insects, a Valuable Protein Source from Ancient to Modern Times. In *Advances in Food and Nutrition Research*; Academic Press Inc., 2022; Vol. 101, pp. 129–152 ISBN 9780323983808.
34. Baker, M.A.; Shin, J.T.; Kim, Y.W. An Exploration and Investigation of Edible Insect Consumption: The Impacts of Image and Description on Risk Perceptions and Purchase Intent. *Psychol Mark* **2016**, *33*, 94–112, doi:10.1002/MAR.20847.
35. Acosta-Estrada, B.A.; Reyes, A.; Rosell, C.M.; Rodrigo, D.; Ibarra-Herrera, C.C. Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products. *Front Nutr* **2021**, *8*, doi:10.3389/FNUT.2021.687712.
36. Κυρανάς Ευστράτιος Σύσταση, Προέλευση, Αλλοιώσεις, Επεξεργασία, Ποιότητα Και Συσκευασία. In *ΤΡΟΦΙΜΑ, 2η Έκδοση- Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ*; 2019; pp. 1–408.
37. Institute of Medicine Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients). In *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients)*; National Academies Press: Washington, 2005; pp. 1–1358 ISBN 030908525X.

38. 9 Essential Amino Acids That Must Be In Your Diet | DMoose Available online: <https://www.dmoose.com/blogs/nutrition/9-essential-amino-acids-must-be-in-diet> (accessed on 20 October 2024).
39. Song, E.H.; Shang, J.; Ratner, D.M. Polysaccharides. *Polymer Science: a Comprehensive Reference: Volume 1-10* **2012**, 1–10, 137–155, doi:10.1016/B978-0-444-53349-4.00246-6.
40. Zielińska, E.; Baraniak, B.; Karaś, M.; Rybczyńska, K.; Jakubczyk, A. Selected Species of Edible Insects as a Source of Nutrient Composition. *Food Research International* **2015**, 77, 460–466, doi:10.1016/J.FOODRES.2015.09.008.
41. Turck, D.; Castenmiller, J.; De Henauw, S.; Hirsch-Ernst, K.I.; Kearney, J.; Maciuk, A.; Mangelsdorf, I.; McArdle, H.J.; Naska, A.; Pelaez, C.; et al. Safety of Dried Yellow Mealworm (*Tenebrio Molitor* Larva) as a Novel Food Pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal* **2021**, 19, doi:10.2903/J.EFSA.2021.6343.
42. Ravzanaadii, N.; Kim, S.-H.; Choi, W.-H.; Hong, S.-J.; Kim, N.-J. Nutritional Value of Mealworm, *Tenebrio Molitor* as Food Source. *Int J Indust Entomol* **2012**, 25, doi:10.7852/ijie.2012.25.1.093.
43. Omuse, E.R.; Tonnang, H.E.Z.; Yusuf, A.A.; Machekano, H.; Egonyu, J.P.; Kimathi, E.; Mohamed, S.F.; Kassie, M.; Subramanian, S.; Onditi, J.; et al. The Global Atlas of Edible Insects: Analysis of Diversity and Commonality Contributing to Food Systems and Sustainability. *Scientific Reports 2024 14:1* **2024**, 14, 1–17, doi:10.1038/s41598-024-55603-7.
44. Kulma, M.; Kouřimská, L.; Plachý, V.; Božik, M.; Adámková, A.; Vrabec, V. Effect of Sex on the Nutritional Value of House Cricket, *Acheta Domestica* L. *Food Chem* **2019**, 272, 267–272, doi:10.1016/J.FOODCHEM.2018.08.049.
45. Belluco, S.; Losasso, C.; Maggioletti, M.; Alonzi, C.C.; Paoletti, M.G.; Ricci, A. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* **2013**, 12, 296–313, doi:10.1111/1541-4337.12014.
46. Imathiu, S. Benefits and Food Safety Concerns Associated with Consumption of Edible Insects. *NFS Journal* 2020, 18.
47. Finke, M.D.; DeFoliart, G.R.; Benevenga, N.J. Use of a Four-Parameter Logistic Model to Evaluate the Quality of the Protein from Three Insect Species When Fed to Rats. *J Nutr* **1989**, 119, 864–871, doi:10.1093/JN/119.6.864.
48. Ramos-Elorduy, J.; Moreno, J.M.P.; Prado, E.E.; Perez, M.A.; Otero, J.L.; De Guevara, O.L. Nutritional Value of Edible Insects from the State of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis* **1997**, 10, 142–157, doi:10.1006/JFCA.1997.0530.
49. Kouřimská, L.; Adámková, A. Nutritional and Sensory Quality of Edible Insects. *NFS Journal* **2016**, 4, 22–26, doi:10.1016/J.NFS.2016.07.001.

50. Ekpo, O.A. Pharmaceutical Potentials of the Oils of Some Popular Insects Consumed in Southern Nigeria. **2009**.
51. DeFoliart Insect Fatty Acids : Similar to Those of Poultry and Fish in Their Degree of Unsaturation, but Higher in the Polyunsaturates. *The Food Insects Newsletter* **1991**.
52. Sabolová, M.; Adámková, A.; Kouřimská, L.; Chrpová, D.; Pánek, J. Minor Lipophilic Compounds in Edible Insects. *Potravinarstvo* **2016**, *10*, 400, doi:10.5219/605.
53. Belluco, S.; Losasso, C.; Maggioletti, M.; Alonzi, C.C.; Paoletti, M.G.; Ricci, A. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* **2013**, *12*, 296–313, doi:10.1111/1541-4337.12014.
54. Selenius, O.V.O.; Korpela, J.; Salminen, S.; Gallego, C.G. Effect of Chitin and Chitooligosaccharide on In Vitro Growth of Lactobacillus Rhamnosus GG and Escherichia Coli TG. *Applied Food Biotechnology* **2018**, *5*, 163–172, doi:10.22037/AFB.V5I3.20468.
55. Fernandes, J.C.; Tavaría, F.K.; Soares, J.C.; Ramos, Ó.S.; João Monteiro, M.; Pintado, M.E.; Xavier Malcata, F. Antimicrobial Effects of Chitosans and Chitooligosaccharides, upon Staphylococcus Aureus and Escherichia Coli, in Food Model Systems. *Food Microbiol* **2008**, *25*, 922–928, doi:10.1016/J.FM.2008.05.003.
56. Steer, T.; Carpenter, H.; Tuohy, K.; Gibson, G.R. Perspectives on the Role of the Human Gut Microbiota and Its Modulation by Pro- and Prebiotics. *Nutr Res Rev* **2000**, *13*, 229–254, doi:10.1079/095442200108729089.
57. Schmidt, A.; Call, L.M.; Macheiner, L.; Mayer, H.K. Determination of Vitamin B12 in Four Edible Insect Species by Immunoaffinity and Ultra-High Performance Liquid Chromatography. *Food Chem* **2019**, *281*, 124–129, doi:10.1016/J.FOODCHEM.2018.12.039.
58. FoodData Central Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174036/nutrients> (accessed on 20 October 2024).
59. FoodData Central Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171077/nutrients> (accessed on 20 October 2024).
60. FoodData Central Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/173711/nutrients> (accessed on 20 October 2024).
61. FoodData Central Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174270/nutrients> (accessed on 20 October 2024).
62. Ribeiro, N.T.G.M. Tenebrio Molitor for Food or Feed: Rearing Conditions and the Effects of Pesticides on Its Performance. **2017**.
63. Spang, B. *Insects as Food: Assessing the Food Conversion Efficiency of the Mealworm (Tenebrio Molitor)*; 2013;

64. Ghaly, A.E.; Alkoaik, F.N. The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein. *American Journal of Agricultural and Biological Science* **2009**, *4*, 319–331, doi:10.3844/AJABSSP.2009.319.331.
65. Makkar, H.P.S.; Tran, G.; Heuzé, V.; Ankers, P. State-of-the-Art on Use of Insects as Animal Feed. *Anim Feed Sci Technol* **2014**, *197*, 1–33, doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2014.07.008.
66. Yi, L. A Study on the Potential of Insect Protein and Lipid as a Food Source 2015.
67. Siemianowska, E.; Kosewska, A.; Aljewicz, M.; Skibniewska, K.A.; Polak-Juszczak, L.; Jarocki, A.; Jędras, M.; Siemianowska, E.; Kosewska, A.; Aljewicz, M.; et al. Larvae of Mealworm (*Tenebrio Molitor* L.) as European Novel Food. *Agricultural Sciences* **2013**, *4*, 287–291, doi:10.4236/AS.2013.46041.
68. Finke, M.D. Complete Nutrient Composition of Commercially Raised Invertebrates Used as Food for Insectivores. *Zoo Biol* **2002**, *21*, 269–285, doi:10.1002/ZOO.10031.
69. Adámková, A.; Mlček, J.; Adámek, M.; Borkovcová, M.; Bednářová, M.; Hlobilová, V.; Knížková, I.; Juríková, T. *Tenebrio Molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)—Optimization of Rearing Conditions to Obtain Desired Nutritional Values. *Journal of Insect Science* **2020**, *20*, 1–10, doi:10.1093/JISESA/IEAA100.
70. Heidari-Parsa, S.; Imani, S.; Fathipour, Y.; Kheiri, F.; Chamani, M. Determination of Yellow Mealworm (*Tenebrio Molitor*) Nutritional Value as an Animal and Human Food Supplementation. **2018**, *7*, 94–102.
71. Yu, X.; He, Q.; Wang, D. Dynamic Analysis of Major Components in the Different Developmental Stages of *Tenebrio Molitor*. *Front Nutr* **2021**, *8*, 689746, doi:10.3389/FNUT.2021.689746/BIBTEX.
72. Dreassi, E.; Cito, A.; Zanfini, A.; Materozzi, L.; Botta, M.; Francardi, V. Dietary Fatty Acids Influence the Growth and Fatty Acid Composition of the Yellow Mealworm *Tenebrio Molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Lipids* **2017**, *52*, 285–294, doi:10.1007/S11745-016-4220-3/TABLES/6.
73. Simopoulos, A.P. The Importance of the Ratio of Omega-6/Omega-3 Essential Fatty Acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy* **2002**, *56*, 365–379, doi:10.1016/S0753-3322(02)00253-6.
74. Tenebrio, M.; Bragd, U. The Yellow Mealworm *Tenebrio Molitor*, a Potential Source of Food Lipids.
75. Son, Y.J.; Hwang, I.K.; Nho, C.W.; Kim, S.M.; Kim, S.H. Determination of Carbohydrate Composition in Mealworm (*Tenebrio Molitor* L.) Larvae and Characterization of Mealworm Chitin and Chitosan. *Foods* **2021**, *10*, Page 640 **2021**, *10*, 640, doi:10.3390/FOODS10030640.
76. Song, Y.S.; Kim, M.W.; Moon, C.; Seo, D.J.; Han, Y.S.; Jo, Y.H.; Noh, M.Y.; Park, Y.K.; Kim, S.A.; Kim, Y.W.; et al. Extraction of Chitin and Chitosan from Larval

- Exuvium and Whole Body of Edible Mealworm, *Tenebrio Molitor*. *Entomol Res* **2018**, 48, 227–233, doi:10.1111/1748-5967.12304.
77. Rinaudo, M. Chitin and Chitosan: Properties and Applications. *Prog Polym Sci* **2006**, 31, 603–632, doi:10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2006.06.001.
 78. Κανονισμός - 2017/893 - EN - EUR-Lex Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0893> (accessed on 17 October 2024).
 79. Yan Loh, J. Effects of Food Wastes on Yellow Mealworm *Tenebriomolitor* Larval Nutritional Profiles and Growth Performances. *Examines in Marine Biology & Oceanography* **2018**, 2, doi:10.31031/EIMBO.2018.02.000530.
 80. Gasco, L.; Henry, M.; Piccolo, G.; Marono, S.; Gai, F.; Renna, M.; Lussiana, C.; Antonopoulou, E.; Mola, P.; Chatzifotis, S. *Tenebrio Molitor* Meal in Diets for European Sea Bass (*Dicentrarchus Labrax* L.) Juveniles: Growth Performance, Whole Body Composition and in Vivo Apparent Digestibility. *Anim Feed Sci Technol* **2016**, 220, 34–45, doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2016.07.003.
 81. Bovera, F.; Piccolo, G.; Gasco, L.; Marono, S.; Loponte, R.; Vassalotti, G.; Mastellone, V.; Lombardi, P.; Attia, Y.A.; Nizza, A. Yellow Mealworm Larvae (*Tenebrio Molitor*, L.) as a Possible Alternative to Soybean Meal in Broiler Diets. *Br Poult Sci* **2015**, 56, 569–575, doi:10.1080/00071668.2015.1080815.
 82. Jin, X.H.; Heo, P.S.; Hong, J.S.; Kim, N.J.; Kim, Y.Y. Supplementation of Dried Mealworm (*Tenebrio Molitor* Larva) on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Blood Profiles in Weaning Pigs. *Asian-Australas J Anim Sci* **2016**, 29, 979–986, doi:10.5713/AJAS.15.0535.
 83. Aguilar-Miranda, E.D.; Lopez, M.G.; Escamilla-Santana, C.; Barba de la Rosa, A.P. Characteristics of Maize Flour Tortilla Supplemented with Ground *Tenebrio Molitor* Larvae. *J Agric Food Chem* **2002**, 50, 192–195, doi:10.1021/JF010691Y.
 84. Κανονισμός - 258/97 - EN - EUR-Lex Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX%3A31997R0258> (accessed on 17 October 2024).
 85. Regulation - 2015/2283 - EN - EUR-Lex Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32015R2283> (accessed on 17 October 2024).
 86. Promoting Insects for Human Consumption & Animal Feed – IPIFF Available online: <https://ipiff.org/> (accessed on 17 October 2024).
 87. Εκτελεστικός Κανονισμός - 2021/882 - EN - EUR-Lex Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:32021R0882> (accessed on 17 October 2024).
 88. Implementing Regulation - 2023/58 - EN - EUR-Lex Available online: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/58/oj (accessed on 17 October 2024).

89. Mancini, S.; Moruzzo, R.; Riccioli, F.; Paci, G. European Consumers' Readiness to Adopt Insects as Food. A Review. *Food Res Int* **2019**, *122*, 661–678, doi:10.1016/J.FOODRES.2019.01.041.
90. Amoah, I.; Cobbinah, J.C.; Yeboah, J.A.; Essiam, F.A.; Lim, J.J.; Tandoh, M.A.; Rush, E. Edible Insect Powder for Enrichment of Bakery Products— A Review of Nutritional, Physical Characteristics and Acceptability of Bakery Products to Consumers. *Future Foods* **2023**, *8*, 100251, doi:10.1016/J.FUFO.2023.100251.
91. Çabuk, B. Influence of Grasshopper (*Locusta Migratoria*) and Mealworm (*Tenebrio Molitor*) Powders on the Quality Characteristics of Protein Rich Muffins: Nutritional, Physicochemical, Textural and Sensory Aspects. *Journal of Food Measurement and Characterization* **2021**, *15*, 3862–3872, doi:10.1007/S11694-021-00967-X/FIGURES/4.
92. Borges, M.M.; da Costa, D.V.; Trombete, F.M.; Câmara, A.K.F.I. Edible Insects as a Sustainable Alternative to Food Products: An Insight into Quality Aspects of Reformulated Bakery and Meat Products. *Curr Opin Food Sci* **2022**, *46*, 100864, doi:10.1016/J.COFS.2022.100864.
93. Tello, A.; Aganovic, K.; Parniakov, O.; Carter, A.; Heinz, V.; Smetana, S. Product Development and Environmental Impact of an Insect-Based Milk Alternative. *Future Foods* **2021**, *4*, 100080, doi:10.1016/J.FUFO.2021.100080.
94. Son, Y.J.; Choi, S.Y.; Hwang, I.K.; Nho, C.W.; Kim, S.H. Could Defatted Mealworm (*Tenebrio Molitor*) and Mealworm Oil Be Used as Food Ingredients? *Foods* **2020**, *Vol. 9, Page 40* **2020**, *9*, 40, doi:10.3390/FOODS9010040.
95. Shockley, M.; Lesnik, J.; Allen, R.N.; Muñoz, A.F. Edible Insects and Their Uses in North America: Past, Present and Future. *Edible Insects in Sustainable Food Systems* **2018**, 55–79, doi:10.1007/978-3-319-74011-9_4/FIGURES/4.
96. 식품영양과광주보건대학교; Kim, Y.-M. Quality Characteristics of White Bread with *Tenebrio Molitor* Linne Powder. *The Korean Journal of Food And Nutrition* **2017**, *30*, 1164–1175, doi:10.9799/KSFAN.2017.30.6.1164.
97. Mancini, S.; Fratini, F.; Tuccinardi, T.; Degl'Innocenti, C.; Paci, G. *Tenebrio Molitor* Reared on Different Substrates: Is It Gluten Free? *Food Control* **2020**, *110*, 107014, doi:10.1016/J.FOODCONT.2019.107014.
98. Harrison, J.F. Insect Acid-Base Physiology. *Annu Rev Entomol* **2001**, *46*, 221–250, doi:10.1146/ANNUREV.ENTO.46.1.221/CITE/REFWORKS.
99. Roncolini, A.; Milanović, V.; Cardinali, F.; Osimani, A.; Garofalo, C.; Sabbatini, R.; Clementi, F.; Pasquini, M.; Mozzon, M.; Foligni, R.; et al. Protein Fortification with Mealworm (*Tenebrio Molitor* L.) Powder: Effect on Textural, Microbiological, Nutritional and Sensory Features of Bread. *PLoS One* **2019**, *14*, e0211747, doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0211747.

100. Ahmad, S.; Naz, A.; Usman, M.; Amjad, A.; Pasha, I.; Farooq, U. Impediment Effect of Chemical Agents (Additives) on Gluten Development in Cookie Dough. *J Food Sci Technol* **2022**, *59*, 1396–1406, doi:10.1007/S13197-021-05149-7/TABLES/5.
101. Zieli, E.; Pankiewicz, U.; Kowalczewski, P.L.; Singh, A.P.; Kitts, D. Nutritional, Physiochemical, and Antioxidative Characteristics of Shortcake Biscuits Enriched with Tenebrio Molitor Flour. *Molecules* **2020**, *Vol. 25*, Page 5629 **2020**, *25*, 5629, doi:10.3390/MOLECULES25235629.
102. Xie, X.; Yuan, Z.; Fu, K.; An, J.; Deng, L. Effect of Partial Substitution of Flour with Mealworm (*Tenebrio Molitor* L.) Powder on Dough and Biscuit Properties. *Foods* **2022**, *Vol. 11*, Page 2156 **2022**, *11*, 2156, doi:10.3390/FOODS11142156.
103. Djouadi, A.; Sales, J.R.; Carvalho, M.O.; Raymundo, A. Development of Healthy Protein-Rich Crackers Using *Tenebrio Molitor* Flour. *Foods* **2022**, *Vol. 11*, Page 702 **2022**, *11*, 702, doi:10.3390/FOODS11050702.
104. Tsao, R. Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients* **2010**, *Vol. 2*, Pages 1231–1246 **2010**, *2*, 1231–1246, doi:10.3390/NU2121231.
105. Bartkowicz, J.; Babicz-Zielińska, E. Acceptance of Bars with Edible Insects by a Selected Group of Students from Tri-City, Poland., doi:10.17221/236/2019-CJFS.
106. Kowalski, S.; Mikulec, A.; Skotnicka, M.; Mickowska, B.; Makarewicz, M.; Sabat, R.; Wywrocka-Gurgul, A.; Mazurek, A. Effect of the Addition of Edible Insect Flour from Yellow Mealworm (*Tenebrio Molitor*) on the Sensory Acceptance, and the Physicochemical and Textural Properties of Sponge Cake. *Pol J Food Nutr Sci* **2022**, *72*, 393–405, doi:10.31883/PJFNS/155405.
107. Caparros Megido, R.; Gierts, C.; Blecker, C.; Brostaux, Y.; Haubruge, É.; Alabi, T.; Francis, F. Consumer Acceptance of Insect-Based Alternative Meat Products in Western Countries. *Food Qual Prefer* **2016**, *52*, 237–243, doi:10.1016/J.FOODQUAL.2016.05.004.
108. Kim, H.W.; Setyabrata, D.; Lee, Y.J.; Jones, O.G.; Kim, Y.H.B. Pre-Treated Mealworm Larvae and Silkworm Pupae as a Novel Protein Ingredient in Emulsion Sausages. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2016**, *38*, 116–123, doi:10.1016/J.IFSET.2016.09.023.
109. Quality Characteristics of Soy Sauces Containing Shiitake Mushroom (*Lentinus Edodes*) -Applied Biological Chemistry | Korea Science Available online: <https://koreascience.kr/article/JAKO200303043043506.page> (accessed on 17 October 2024).
110. Nelson, G.; Chandrashekar, J.; Hoon, M.A.; Feng, L.; Zhao, G.; Ryba, N.J.P.; Zuker, C.S. An Amino-Acid Taste Receptor. *Nature* **2002**, *416*:6877 **2002**, *416*, 199–202, doi:10.1038/nature726.
111. Quality Characteristics of Soy Sauces by Various Manufacturing Methods -Culinary Science and Hospitality Research | Korea Science Available online: <https://koreascience.kr/article/JAKO201611758626848.page> (accessed on 17 October 2024).

112. Lee, H.; Kim, Y. Development of a Low-Salt Soy Sauce with Enhanced Flavor and Functionality with Soy Residue and Tenebrio Molitor Larvae Powder. *J Food Process Preserv* **2022**, *46*, e16546, doi:10.1111/JFPP.16546.
113. Doig, A.J. Frozen, but No Accident – Why the 20 Standard Amino Acids Were Selected. *FEBS J* **2017**, *284*, 1296–1305, doi:10.1111/FEBS.13982.
114. Smith, T.J.; Campbell, R.E.; Drake, M.A. Sensory Properties of Milk Protein Ingredients. *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1B: Proteins: Applied Aspects: Fourth Edition* **2016**, 197–223, doi:10.1007/978-1-4939-2800-2_8/TABLES/19.
115. Maastricht University Research Finds That Mealworm Protein Is as Beneficial as Milk Protein - Ynsect Available online: <https://www.ynsect.com/2021/06/01/maastricht-university-research-finds-that-mealworm-protein-is-as-beneficial-as-milk-protein/> (accessed on 17 October 2024).
116. Garcia-Fontanals, L.; Llorente, R.; Valderrama, J.; Bravo, S.; Talens, C. Hybrid Spreadable Cheese Analogues with Faba Bean and Mealworm (Tenebrio Molitor) Flours: Optimisation Using Desirability-Based Mixture Design. *Foods* **2023**, *Vol. 12*, Page 1522 **2023**, *12*, 1522, doi:10.3390/FOODS12071522.
117. Martineau-Côté, D.; Achouri, A.; Karboune, S.; L'Hocine, L. Faba Bean: An Untapped Source of Quality Plant Proteins and Bioactives. *Nutrients* **2022**, *Vol. 14*, Page 1541 **2022**, *14*, 1541, doi:10.3390/NU14081541.
118. Alvarez, V.B. Ice Cream and Frozen Desserts. *The Sensory Evaluation of Dairy Products, Third Edition* **2023**, 281–344, doi:10.1007/978-3-031-30019-6_10/TABLES/10.
119. P., B.; N., S.; M., S.; A., V. Consumer Choice of Ice Creams : A Binary Logit Model of Analysis. *Madras Agricultural Journal* **2021**, *108*, 1, doi:10.29321/MAJ.10.000526.
120. Hernández Toxqui, A.G.; Ramírez Ramírez, J.; Pino Moreno, J.M.; Talamantes Gómez, J.M.; Angeles Campos, S.C.; Ramírez Orejel, J.C. Development of Nutraceutical Ice Creams Using Flour Yellow Worm Larvae (Tenebrio Molitor), Chia (Salvia Hispanica), and Quinoa (Chenopodium Quinoa). *Front Vet Sci* **2021**, *8*, 629180, doi:10.3389/FVETS.2021.629180/BIBTEX.
121. Kamal-Eldin, A. Effect of Fatty Acids and Tocopherols on the Oxidative Stability of Vegetable Oils. *European Journal of Lipid Science and Technology* **2006**, *108*, 1051–1061, doi:10.1002/EJLT.200600090.
122. Duduzile Buthelezi, N.M.; Tesfay, S.Z.; Ncama, K.; Magwaza, L.S. Destructive and Non-Destructive Techniques Used for Quality Evaluation of Nuts: A Review. *Sci Hort* **2019**, *247*, 138–146, doi:10.1016/j.scienta.2018.12.008.
123. Kalompatsios, D.; Athanasiadis, V.; Chatzimitakos, T.; Palaiogiannis, D.; Lalas, S.I.; Makris, D.P. Sustainable Exploitation of Waste Orange Peels: Enrichment of Commercial Seed Oils and the Effect on Their Oxidative Stability. *Waste* **2023**, *Vol. 1*, Pages 761–774 **2023**, *1*, 761–774, doi:10.3390/WASTE1030045.

124. Rizvi, S.; Raza, S.T.; Ahmed, F.; Ahmad, A.; Abbas, S.; Mahdi, F. The Role of Vitamin E in Human Health and Some Diseases. *Sultan Qaboos Univ Med J* **2014**, *14*, e157.
125. Okogeri, O.; Tasioula-Margari, M. Changes Occurring in Phenolic Compounds and α -Tocopherol of Virgin Olive Oil during Storage. *J Agric Food Chem* **2002**, *50*, 1077–1080, doi:10.1021/JF010895E/ASSET/IMAGES/LARGE/JF010895EF00003.JPEG.
126. Skotnicka, M.; Mazurek, A.; Kowalski, S. The Acceptance of Cream Soups with the Addition of Edible Insects (Mealworm, *T. Molitor*; House Cricket, *A. Domesticus*; Buffalo Worm, *A. Diaperinus*; Grasshopper, *R. Differens*) among Young People and Seniors in Poland. *Nutrients* **2023**, *Vol. 15*, Page 5047 **2023**, *15*, 5047, doi:10.3390/NU15245047.
127. Stojanova, M.; Pantic, M.; Klaus, A.; Mihajlovic, D.; Miletic, D.; Sobajic, S.; Stojanova, M.T.; Niksic, M. Bio Soups – New Functional Dehydrated Soups Enriched with Lyophilised *Fuscoporia Torulosa* Extracts. *Int J Food Sci Technol* **2023**, *58*, 3628–3636, doi:10.1111/IJFS.16462.
128. Kotsou, K.; Chatzimitakos, T.; Athanasiadis, V.; Bozinou, E.; Athanassiou, C.G.; Lalas, S.I. Utilization of Spent Coffee Grounds as a Feed Additive for Enhancing the Nutritional Value of *Tenebrio Molitor* Larvae. *Sustainability* **2023**, *Vol. 15*, Page 16224 **2023**, *15*, 16224, doi:10.3390/SU152316224.
129. Kotsou, K.; Chatzimitakos, T.; Athanasiadis, V.; Bozinou, E.; Adamaki-Sotiraki, C.; Rumbos, C.I.; Athanassiou, C.G.; Lalas, S.I. Waste Orange Peels as a Feed Additive for the Enhancement of the Nutritional Value of *Tenebrio Molitor*. *Foods* **2023**, *Vol. 12*, Page 783 **2023**, *12*, 783, doi:10.3390/FOODS12040783.
130. Athanasiadis, V.; Chatzimitakos, T.; Kalompatsios, D.; Palaiogiannis, D.; Makrygiannis, I.; Bozinou, E.; Lalas, S.I. Evaluation of the Efficacy and Synergistic Effect of α - and δ -Tocopherol as Natural Antioxidants in the Stabilization of Sunflower Oil and Olive Pomace Oil during Storage Conditions. *International Journal of Molecular Sciences* **2023**, *Vol. 24*, Page 1113 **2023**, *24*, 1113, doi:10.3390/IJMS24021113.
131. Makris, D.P.; Kefalas, P. Characterization of Polyphenolic Phytochemicals in Red Grape Pomace. *Int J Waste Resour* **2013**, *03*, doi:10.4172/2252-5211.1000126.
132. Kröncke, N.; Benning, R. Determination of Moisture and Protein Content in Living Mealworm Larvae (*Tenebrio Molitor* L.) Using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). *Insects* **2022**, *13*, 560, doi:10.3390/INSECTS13060560/S1.
133. Kröncke, N.; Bösch, V.; Woyzichowski, J.; Demtröder, S.; Benning, R. Comparison of Suitable Drying Processes for Mealworms (*Tenebrio Molitor*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2018**, *50*, 20–25, doi:10.1016/J.IFSET.2018.10.009.
134. FoodData Central Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170457/nutrients> (accessed on 17 October 2024).

135. Regulation - 1924/2006 - EN - EUR-Lex Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1924> (accessed on 19 October 2024).
136. FoodData Central Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172241/nutrients> (accessed on 17 October 2024).
137. Kotsou, K.; Chatzimitakos, T.; Athanasiadis, V.; Bozinou, E.; Athanassiou, C.G.; Lalas, S.I. Innovative Applications of *Tenebrio Molitor* Larvae in Food Product Development: A Comprehensive Review. *Foods* **2023**, *12*.
138. Chen, J.; Vercambre, G.; Kang, S.; Bertin, N.; Gautier, H.; Génard, M. Fruit Water Content as an Indication of Sugar Metabolism Improves Simulation of Carbohydrate Accumulation in Tomato Fruit. *J Exp Bot* **2020**, *71*, 5010–5026, doi:10.1093/JXB/ERAA225.
139. Beckles, D.M.; Hong, N.; Stamova, L.; Luengwilai, K. Biochemical Factors Contributing to Tomato Fruit Sugar Content: A Review. *Fruits* **2012**, *67*, 49–64, doi:10.1051/FRUITS/2011066.
140. Hou, X.; Zhang, W.; Du, T.; Kang, S.; Davies, W.J. Responses of Water Accumulation and Solute Metabolism in Tomato Fruit to Water Scarcity and Implications for Main Fruit Quality Variables. *J Exp Bot* **2020**, *71*, 1249–1264, doi:10.1093/JXB/ERZ526.
141. Mariod, A.A. Nutrient Composition of Mealworm (*Tenebrio Molitor*). In *African Edible Insects As Alternative Source of Food, Oil, Protein and Bioactive Components*; 2020.
142. Ali, M.Y.; Sina, A.A.I.; Khandker, S.S.; Neesa, L.; Tanvir, E.M.; Kabir, A.; Khalil, M.I.; Gan, S.H. Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Tomatoes and Their Impact on Human Health and Disease: A Review. *Foods* **2020**, *10*, doi:10.3390/FOODS10010045.
143. Zhuang, Y.; Dong, J.; He, X.; Wang, J.; Li, C.; Dong, L.; Zhang, Y.; Zhou, X.; Wang, H.; Yi, Y.; et al. Impact of Heating Temperature and Fatty Acid Type on the Formation of Lipid Oxidation Products During Thermal Processing. *Front Nutr* **2022**, *9*, 913297, doi:10.3389/FNUT.2022.913297/FULL.
144. Chen, J.; Liu, H. Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International Journal of Molecular Sciences* **2020**, *Vol. 21*, Page 5695 **2020**, *21*, 5695, doi:10.3390/IJMS21165695.
145. FoodData Central Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169074/nutrients> (accessed on 19 October 2024).
146. Lee, S.K.; Kader, A.A. Preharvest and Postharvest Factors Influencing Vitamin C Content of Horticultural Crops. *Postharvest Biol Technol* **2000**, *20*, 207–220, doi:10.1016/S0925-5214(00)00133-2.

147. Martí, R.; Roselló, S.; Cebolla-Cornejo, J. Tomato as a Source of Carotenoids and Polyphenols Targeted to Cancer Prevention. *Cancers (Basel)* **2016**, *8*, 58, doi:10.3390/CANCERS8060058.
148. Inbaraj, B.S.; Chen, B.H. Carotenoids in Tomato Plants. *Tomatoes and Tomato Products* **2019**, 133–164, doi:10.1201/9781439843390-7.
149. D’evoli, L.; Lombardi-Boccia, G.; Lucarini, M. Influence of Heat Treatments on Carotenoid Content of Cherry Tomatoes. *Foods* **2013**, *2*, 352, doi:10.3390/FOODS2030352.
150. Dutta, D.; Dutta, A.; Raychaudhuri, U.; Chakraborty, R. Rheological Characteristics and Thermal Degradation Kinetics of Beta-Carotene in Pumpkin Puree. *J Food Eng* **2006**, *76*, 538–546, doi:10.1016/J.JFOODENG.2005.05.056.
151. Del Rio, D.; Rodriguez-Mateos, A.; Spencer, J.P.E.; Tognolini, M.; Borges, G.; Crozier, A. Dietary (Poly)Phenolics in Human Health: Structures, Bioavailability, and Evidence of Protective Effects Against Chronic Diseases. *Antioxid Redox Signal* **2013**, *18*, 1818, doi:10.1089/ARS.2012.4581.
152. Pandey, K.B.; Rizvi, S.I. Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxid Med Cell Longev* **2009**, *2*, 270, doi:10.4161/OXIM.2.5.9498.
153. Lang, Y.; Gao, N.; Zang, Z.; Meng, X.; Lin, Y.; Yang, S.; Yang, Y.; Jin, Z.; Li, B. Classification and Antioxidant Assays of Polyphenols: A Review. *Journal of Future Foods* **2024**, *4*, 193–204, doi:10.1016/J.JFUTFO.2023.07.002.
154. Fuentes, E.; Carle, R.; Astudillo, L.; Guzmán, L.; Gutiérrez, M.; Carrasco, G.; Palomo, I. Antioxidant and Antiplatelet Activities in Extracts from Green and Fully Ripe Tomato Fruits (*Solanum Lycopersicum*) and Pomace from Industrial Tomato Processing. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* **2013**, *2013*, doi:10.1155/2013/867578.
155. Maurya, P.K. Animal Biotechnology as a Tool to Understand and Fight Aging. *Animal Biotechnology: Models in Discovery and Translation* **2013**, 177–191, doi:10.1016/B978-0-12-416002-6.00010-9.
156. Total Phenolic Contents from Green and Fully Ripe Tomato Fruits and... | Download Scientific Diagram Available online: https://www.researchgate.net/figure/Total-phenolic-contents-from-green-and-fully-ripe-tomato-fruits-and-pomace-from_fig3_235897173 (accessed on 19 October 2024).
157. Kaur, C.; Walia, S.; Nagal, S.; Walia, S.; Singh, J.; Singh, B.B.; Saha, S.; Singh, B.; Kalia, P.; Jaggi, S.; et al. Functional Quality and Antioxidant Composition of Selected Tomato (*Solanum Lycopersicon* L) Cultivars Grown in Northern India. *LWT - Food Science and Technology* **2013**, *50*, 139–145, doi:10.1016/J.LWT.2012.06.013.

