

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



"Αξιολόγηση της επίδρασης διαφόρων βιοτικών κι αβιοτικών παραγόντων στην ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου *Alphitobius diaperinus*."

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: Κωνσταντίνα Γ. Κωτσού

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αθανασίου Χρήστος, Καθηγητής
(Εντομολογία), Π.Θ**

Ιούλιος 2021

Περίληψη

Η αυξανόμενη τάση που παρουσιάζει ο ανθρώπινος πληθυσμός οδηγεί σε αύξηση των αναγκών για τροφή και κατά συνέπεια σε αυξανόμενη ζήτηση για ορισμένα μακροθρεπτικά συστατικά, όπως οι πρωτεΐνες.

Οι πρωτεΐνες αποτελούν βασικό μακροθρεπτικό στοιχείο για την ανθρώπινη διατροφή καθώς είναι υπεύθυνες για την κάλυψη ενός μεγάλου τμήματος των ενεργειακών αναγκών ενώ αποτελούν απαραίτητο δομικό συστατικό για τον ανθρώπινο οργανισμό. Η κύρια πηγή πρωτεϊνών είναι οι ζωικές πηγές πρωτεΐνης και σε μικρότερο βαθμό οι φυτικές, οι οποίες, όμως, δεν μπορούν να καλύψουν επαρκώς την αυξανόμενη ζήτηση σε αυτές, χωρίς να οδηγήσουν σε σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Παρόλο που έχουν εντοπιστεί αρκετές εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών, αυτές δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τις ζωικές πρωτεΐνες πλήρως. Μια εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών που παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα και μπορεί να ανταγωνιστεί ή να συμπληρώσει τις παραδοσιακές ζωικές πρωτεΐνες είναι τα έντομα.

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκαν οι βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα, την ανάπτυξη (εκφρασμένη σαν μέσο βάρος), το συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής και το ρυθμό ανάπτυξης των προνυμφών του εντόμου *Alphitobius diaperinus* στα πλαίσια της εκτροφής του για παραγωγή πρωτεϊνών.

Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές βιοδοκιμών. Στην πρώτη σειρά βιοδοκιμών αξιολογήθηκε η επίδραση της παρουσίας ή της απουσίας υγρασίας στην ανάπτυξη των προνυμφών, ενώ στο επόμενο πείραμα εξετάστηκε η επίδραση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στην ανάπτυξη των εντόμων. Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν τρεις θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και δύο επίπεδα σχετικής υγρασίας (55 και 75%). Τέλος, σε μια τρίτη σειρά βιοδοκιμών μελετήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών του *A. diaperinus* σε υποστρώματα με βάση πίτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά ξηρής μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης βιοδοκιμής η υγρασία επηρεάζει καθοριστικά την ανάπτυξη των προνυμφών του *A. diaperinus*, αφού οι προνύμφες αναπτύχθηκαν καλύτερα παρουσία μιας πηγής υγρασίας. Απουσία αυτής, η θνησιμότητα των προνυμφών έφτασε το 100 % μέσα σε πέντε εβδομάδες. Εξίσου σημαντική αποδείχθηκε και η επίδραση της θερμοκρασίας αφού όσο υψηλότερη ήταν αυτή τόσο καλύτερη ήταν η

ανάπτυξη των εντόμων, με το συνδυασμό υψηλής υγρασίας και θερμοκρασίας (32 °C και 75 %) να δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα όσον αφορά την επιβίωση, την ανάπτυξη και τη μετατρεψιμότητα της τροφής (FCR). Όσον αφορά στο υπόστρωμα εκτροφής, διαπιστώθηκε ότι όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα του σιτηρεσίου σε μαγιά, τόσο καλύτερη ήταν η ανάπτυξη των προνυμφών, αφού η καλύτερη ανάπτυξη καταγράφηκε στα υποστρώματα με 75% πίτουρο και 32,5% μαγιά, καθώς και στο υπόστρωμα με 60% πίτουρο και 40% μαγιά.

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας, προκειμένου να εξασφαλίσουμε τις ιδανικότερες συνθήκες για την ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου *A. diaperinus* θα πρέπει να εξασφαλίσουμε υψηλή θερμοκρασία της τάξης των 30 – 32 °C, υψηλή υγρασία 75 % και αμυλούχο υπόστρωμα που να περιέχει υψηλά ποσοστά μαγιάς.

Abstract

The human population is rapidly growing, leading subsequently to an increase in food and protein demand. Therefore, alternative protein sources have to be evaluated as food and feed. One of the most promising alternative protein sources that has significant advantages are insects. However, insect rearing conditions have to be optimized prior to insect mass production.

In this context, in the present study I evaluated the effect of several biotic and abiotic factors on the development of the larvae of the *Alphitobius diaperinus*. Three series of bioassays were performed in total. In a first set of bioassays, the impact of the presence or absence of a moisture source was studied on the growth of *A. diaperinus* larvae, whereas in a second series of trials, I evaluated the effect of temperature and relative humidity on larval development. Particularly, I tested three temperatures (25, 30 and 32 °C) and two relative humidity levels (55 and 75%). Finally, in a third set of experiments the larval growth on wheat bran-based substrates with different percentages of yeast (0, 10, 17.5, 25, 32.5 and 40%) was assessed.

According to the results of the first bioassay, the presence of a moisture source has a decisive effect on larval growth, as better results were recorded in the presence of carrot slices. Instead, in the absence of a moisture source, larval mortality reached 100% within five weeks. Temperature was shown to be highly important for larval development, as the higher the temperature the faster and better the growth of *A. diaperinus* larvae. The best results, in terms of survival, larval growth and Feed Conversion Ratio (FCR), were recorded under the higher humidity and temperature levels tested, i.e. 32 °C and 75%. Regarding the substrate, it was found that the higher the percentage of yeast and subsequently the protein content of the diet, the better the growth and development of larvae. Briefly, the best growth was recorded when larvae were fed the diets consisting of 75% bran and 32.5% yeast, as well as the diet with 60% bran and 40% yeast.

To conclude, based on the results of my research study, the best growth of larvae of *A. diaperinus* can be achieved under high temperature of (30 - 32 °C) and high humidity levels (75%) and a starchy high protein-content substrate.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή εντομολογίας του Π.Θ. κύριο Αθανασίου Χρήστο για την πολύτιμη ευκαιρία να ασχοληθώ με τον κλάδο της εντομολογίας αλλά και με ένα τόσο ενδιαφέρον και σημαντικό θέμα καθώς, και για τη βοήθεια του με στόχο την ορθή περάτωση των πειραμάτων και τη συγγραφή της πτυχιακής διατριβής μου αλλά και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στη χρήση των χώρων του εργαστηρίου.

Τις θερμές μου ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στον κύριο Ρούμπο Χρήστο, μεταδιδακτορικό ερευνητή του εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Π.Θ. καθώς τόσο η βοήθεια του όσο και οι συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής και συγγραφικής διαδικασίας ήταν ανεκτίμητες. Επίσης, θα ήταν παράληψη να μη συμπεριλάβω την κύρια Γκουργκούτα Μαρίνα, μεταπτυχιακή ερευνήτρια του εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Π.Θ. για την πολύτιμη βοήθειά της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κύριο Καρκάνη Ανέστη και κύριο Παπαδόπουλο Νικόλαο για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή της πτυχιακής διατριβής μου και τις καθοριστικές παρατηρήσεις τους.

Τέλος, θα ήθελα, με πολλή αγάπη, να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αγαπημένη μου αδερφή Χρύσα για τη μοναδική στήριξή τους σε κάθε βήμα μου, αλλά και να τους αφιερώσω τη διατριβή μου.

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|------------------|
| <u>1 Εισαγωγή</u> | <u>7</u> |
| <u>1.1 Σημασία και αίτια αύξησης ζήτησης των πρωτεϊνών</u> | <u>7</u> |
| <u>1.1.1 Αξία πρωτεϊνών</u> | <u>7</u> |
| <u>1.1.2 Ζωικές και φυτικές πρωτεΐνες</u> | <u>7</u> |
| <u>1.1.3 Αίτια αύξησης ζήτησης</u> | <u>8</u> |
| <u>1.2 Ζωική πρωτεΐνη και υπεροχή της έναντι της φυτικής</u> | <u>8</u> |
| <u>1.2.1 Λόγοι εύρεσης εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης</u> | <u>10</u> |
| <u>1.3 Εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης</u> | <u>12</u> |
| <u>1.3.1 Γενικά</u> | <u>12</u> |
| <u>1.3.2 Μειονεκτήματα</u> | <u>12</u> |
| <u>1.4 Έντομα σαν εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών</u> | <u>13</u> |
| <u>1.4.1 Γενικά</u> | <u>13</u> |
| <u>1.4.2 Ιστορικά στοιχεία</u> | <u>14</u> |
| <u>1.4.3 Πρωτεϊνικό περιεχόμενο</u> | <u>14</u> |
| <u>1.4.4 Πλεονεκτήματα</u> | <u>15</u> |
| <u>1.4.5 Μειονεκτήματα</u> | <u>16</u> |
| <u>1.4.6 Ασφάλεια</u> | <u>17</u> |
| <u>1.5 <i>Alphitobius diaperinus</i></u> | <u>17</u> |
| <u>1.5.1 Γενικά</u> | <u>17</u> |
| <u>1.5.2 Στοιχεία βιολογίας και μορφολογικά χαρακτηριστικά</u> | <u>18</u> |
| <u>1.5.3 Συνθήκες εκτροφής</u> | <u>21</u> |
| <u>1.5.4 Σημασία του σαν εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών</u> | <u>22</u> |
| <u>Υλικά & Μέθοδοι</u> | <u>23</u> |
| <u>Αποτελέσματα</u> | <u>27</u> |
| <u>Συμπεράσματα και συζήτηση</u> | <u>43</u> |
| <u>Βιβλιογραφία</u> | <u>46</u> |

1. Εισαγωγή

1.1 Σημασία και αίτια αύξησης ζήτησης των πρωτεϊνών

1.1.1 Αξία πρωτεϊνών

Οι πρωτεΐνες είναι αζωτούχα μακρομόρια που σχηματίζονται από τη σύνδεση αμινοξέων μέσω πεπτιδικού δεσμού και χρησιμεύουν ως το κύριο δομικό συστατικό των μυών και άλλων ιστών στο ανθρώπινο σώμα. Αποτελούν συστατικό για την παραγωγή ορμονών - που ρυθμίζουν τη δράση διάφορων κυττάρων ή οργάνων του σώματος, ενζύμων - καταλυτών διάφορων χημικών αντιδράσεων και αιμοσφαιρίνης - που συμβάλλει στη μεταφορά οξυγόνου, ενώ μαζί με τους υδατάνθρακες, το άμυλο και τα σάκχαρα, οι πρωτεΐνες αποτελούν και μία από τις κύριες πηγές ενέργειας του ανθρώπου. Είκοσι (20) είναι τα αμινοξέα που συμβάλλουν στην ανθρώπινη ανάπτυξη και μεταβολισμό. Δώδεκα από αυτά (έντεκα στις νεαρές ηλικίες) χαρακτηρίζονται ως μη απαραίτητα, δηλαδή μπορούν να συντεθούν από τον ανθρώπινο οργανισμό και δεν χρειάζεται να καταναλώνονται στη διατροφή. Τα υπόλοιπα, που δε μπορούν να συντεθούν στο σώμα, και περιγράφονται ως απαραίτητα, είναι η λυσίνη, η τρυπτοφάνη, η μεθειονίνη, η λευκίνη, η ισολευκίνη, η φαινυλαλανίνη, η βαλίνη και η θρεονίνη (Hoffman & Falvo, 2004).

1.1.2 Ζωικές και φυτικές πρωτεΐνες

Είναι γνωστό πως πρωτεΐνη μπορεί να ληφθεί από ζωικές αλλά και φυτικές πηγές με την κάθε πηγή να διαθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά και να επιδρά διαφορετικά στην φυσιολογική λειτουργία του ανθρώπινου σώματος.

Οι ζωικής προέλευσης πρωτεΐνες είναι οι πιο διαδεδομένες και οι κύριες πηγές προέλευσής τους είναι το κρέας, τα θαλασσινά, τα αυγά και τα γαλακτοκομικά. Είναι γνωστό πως τα παραπάνω περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα στην σωστή αναλογία που τα χρειάζεται το σώμα, γι' αυτό και είναι γνωστές ως πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας (Hoffman & Falvo, 2004). Από την άλλη μεριά, οι φυτικές πρωτεΐνες, όταν συνδυάζονται για να παρέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα, αποτελούν μία εξαιρετική πηγή πρωτεΐνης, δεδομένου ότι πιθανότατα θα οδηγήσουν σε μείωση της πρόσληψης κορεσμένου λίπους και χοληστερόλης. Οι δημοφιλείς πηγές φυτικών πρωτεϊνών περιλαμβάνουν όσπρια, ξηρούς καρπούς και σόγια. Εκτός από αυτά τα προϊόντα, φυτική

πρωτεΐνη μπορεί επίσης να βρεθεί σε ινώδη μορφή που ονομάζεται φυτική πρωτεΐνη με υφή (TVP) - παράγωγο από αλεύρι σόγιας. Οι φυτικές πηγές πρωτεΐνης παρέχουν πολλά ακόμα θρεπτικά συστατικά, όπως φυτοχημικά και φυτικές ίνες που θεωρούνται σημαντικά για την διατροφή (Hoffman & Falvo, 2004).

1.1.3 Αίτια αύξησης ζήτησης

Έως και το 2050, ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να φτάσει ή να υπερβεί τα εννιά (9) δισεκατομμύρια και η παγκόσμια ζήτηση σε τρόφιμα αναμένεται να αυξηθεί κατά 60% (FAO, 2009). Υπερπληθυσμός σε απλή μετάφραση είναι η συνεχόμενη αύξηση ενός πληθυσμού, στην πραγματικότητα, όμως, πρόκειται για μία πιο περίπλοκη έννοια αφού αφορά την ισορροπία μεταξύ ενός αυξανόμενου πληθυσμού και της διαθεσιμότητας αγαθών της κοινωνίας, προκειμένου να καταστεί εφικτή η βιωσιμότητα των ανθρώπων. Επομένως, η αύξηση του πληθυσμού πρόκειται να οδηγήσει σε αύξηση της ζήτησης σε τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες, με σκοπό την κάλυψη των βιώσιμων αναγκών, σε ανάγκη ύπαρξης περισσότερων εκτάσεων που χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια και για εγκατάσταση μονάδων επεξεργασίας τροφίμων ενώ, αναμένεται να ενταθεί και ο ανταγωνισμός για γλυκό νερό μεταξύ των αστικών οικισμών και των συστημάτων παραγωγής τροφίμων.

Ο πλούτος είναι ένας καθοριστικός παράγοντας της αύξησης στην παγκόσμια κατανάλωση κρέατος αφού η κατά κεφαλή κατανάλωση κρέατος σε χώρες με υψηλό εισόδημα αναμένεται να αυξηθεί κατά 9% το 2030. Παράλληλα, η απαίτηση για ζωική πρωτεΐνη αυξάνει και την ανάγκη για σιτηρά αφού για κάθε κιλό ζωικής πρωτεΐνης υψηλής ποιότητας που παράγεται, τα ζώα τρέφονται με περίπου έξι (6) κιλά φυτικής πρωτεΐνης. Οπότε, με γνώμονα την απερχόμενη αύξηση της ζήτησης των τροφίμων και των ζωοτροφών, αναζητούνται εναλλακτικές και περισσότερες πηγές πρωτεΐνης.

1.2 Ζωική πρωτεΐνη και υπεροχή της έναντι της φυτικής

Οι πρωτεΐνες από ζωικές πηγές παρέχουν την υψηλότερη βαθμολογία ποιότητας μεταξύ των τροφίμων. Αυτό οφείλεται κυρίως στην «πληρότητα» των πρωτεϊνών που προσφέρουν, αν και η πληρότητα αυτή σχετίζεται με την υψηλή πρόσληψη κορεσμένων λιπών και χοληστερόλης, υπήρξαν αρκετές μελέτες που έχουν δείξει θετικά οφέλη από ζωικές πρωτεΐνες σε διάφορες ομάδες πληθυσμού (Hoffman & Falvo, 2004).

Γενικά, οι περισσότερες πηγές ζωικής πρωτεΐνης, όπως γάλα, ορός γάλακτος, καζεΐνη, αυγά και βόειο κρέας, έχουν τιμές PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) στο 1,00 ή πολύ κοντά στο 1,00 (Hoffman & Falvo, 2004), εξασφαλίζοντας την

υψηλότερη τιμή. Θεωρούνται πλήρεις πρωτεϊνικές πηγές για την κάλυψη των απαιτήσεων σε απαραίτητα αμινοξέα για την ανθρώπινη ανάπτυξη ενώ, είναι πλούσιες σε πληθώρα βιταμινών του συμπλέγματος Β (B₁, B₃, B₆), με σημαντικότερη τη βιταμίνη B₁₂. Παράλληλα, η πρωτεΐνη που προέρχεται από τα ψάρια θεωρείται ευεργετική τροφή διότι είναι πλούσια σε ω-3 λιπαρά οξέα, λιπαρά που δε διατίθενται από τις φυτικές πρωτεΐνες, και παρατηρείται έντονα τα τελευταία χρόνια η τεχνητή προσθήκη τους σε διάφορα τρόφιμα.

Οι φυτικές πρωτεΐνες, ωστόσο, μπορεί να έχουν ανεπαρκή επίπεδα ενός ή περισσότερων απαραίτητων αμινοξέων. Τα όσπρια διαθέτουν χαμηλά ποσοστά αμινοξέων που περιέχουν θείο, μεθειονίνη και κυστεΐνη, ενώ η λυσίνη είναι συνήθως περιορισμένη στους κόκκους φυτικών πρωτεϊνών (Hoffman & Falvo, 2004). Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι φυτικές πρωτεΐνες διαφέρουν ως προς τις ποσότητες περιοριστικών αμινοξέων που υπάρχουν. Σε αρκετές περιπτώσεις, παρόλο που οι φυτικές πηγές πρωτεϊνών μπορεί να περιέχουν σημαντικές ποσότητες πρωτεϊνών αυτές δεν είναι άμεσα διαθέσιμες κατά την κατανάλωσή τους λόγω της παρουσίας περιοριστικών παραγόντων όπως τα αντιθρεπτικά που περιέχονται στις φυτικές τροφές (και δεν περιέχονται στις ζωικές πηγές). Τα αντιθρεπτικά συστατικά είναι φυσικές ουσίες που παράγονται από φυτά και μπορούν να επηρεάσουν την πέψη, την απορρόφηση ή τη χρήση θρεπτικών ουσιών από τρόφιμα ενώ, μπορεί να παρουσιάσουν και άλλες δυσμενείς επιπτώσεις. Τέτοιες ουσίες είναι οι πολυφαινόλες, φυτικές ίνες, λεκτίνες και μερικές σαπωνίνες (αναστολείς τρυψίνης και πρωτεάσης, φυτικές τανίνες και οξαλικά καθώς και αναστολείς αμυλασών) που παρεμποδίζουν την πέψη των πρωτεϊνών καθώς και των συστατικών των φυτικών τροφών, μειώνοντας περαιτέρω την διαθεσιμότητα των πρωτεϊνών και των αμινοξέων (Hertzler et al., 2020).

Παράλληλα το γεγονός πως οι φυτικές πρωτεΐνες είναι λιγότερο εύπεπτες από τις ζωικές θα μπορούσε να οφείλεται στη διαφορετική δομή των φυτικών έναντι των ζωικών πρωτεϊνών. Η δευτερογενής δομή των φυτικών πρωτεϊνών χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε διαμόρφωση β-έλικα, συγκριτικά με την α-έλικα δομή των ζωικών πρωτεϊνών, γεγονός που οδηγεί στην μειωμένη ικανότητα πέψης της δομής των φυτικών πρωτεϊνών. Ως εκ τούτου, η υδρόφοβη δομή β-έλικα των φυτικών πρωτεϊνών που διευκολύνει τη συσσώρευση πρωτεϊνών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πεπτικότητας (Carbonaro et al., 2012).

Παρόλο που και οι δύο αποτελούν σημαντικές πηγές πρωτεϊνών για τη διατροφή, τα χαρακτηριστικά των φυτικών πρωτεϊνών, η αμινική τους σύσταση καθώς και η

διαθεσιμότητα της πρωτεΐνης ανά κιλό μάζας, τις καθιστούν σαφώς κατώτερη πηγή πρωτεΐνης συγκριτικά με τις ζωικές πηγές πρωτεϊνών.

1.2.1 Λόγοι εύρεσης εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης

Υπήρξαν ορισμένες ανησυχίες για την υγεία σχετικά με τους κινδύνους που συνδέονται με πρωτεΐνες που προέρχονται κυρίως από ζωικές πηγές, και συγκεκριμένα αυτές που προσλαμβάνονται από το κρέας. Κατά κύριο λόγο, αυτοί οι κίνδυνοι για την υγεία έχουν επικεντρωθεί σε καρδιαγγειακές παθήσεις (λόγω της υψηλής κατανάλωσης κορεσμένου λίπους και χοληστερόλης), στην υγεία των οστών (από την απορρόφηση αμινοξέων που περιέχουν θείο) και σε άλλες ασθένειες του φυσιολογικού συστήματος που θα αντιμετωπιστούν στο τμήμα για τις δίαιτες με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Ενώ ακόμα το επεξεργασμένο κρέας ταξινομήθηκε το 2015 από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.), στους καρκινογόνους παράγοντες της ομάδας 1. Δηλαδή, υπάρχουν αρκετές αποδείξεις που συνδέουν το επεξεργασμένο κρέας με τον καρκίνο του παχέος εντέρου (Richi et al., 2015).

Παράλληλα η μείωση της κατανάλωσης ζωικών πρωτεϊνών κυρίως, αλλά και στη συνέχεια φυτικών πρωτεϊνών, σχετίζεται με την αρνητική επίδρασή τους στο περιβάλλον. Οι Mekonnen και Hoekstra (2010) μελέτησαν το αποτύπωμα νερού των ζωικών πρωτεϊνών και υπολόγισαν το μέσο αποτύπωμα νερού για το κρέας ως 15400 l / kg βοείου κρέατος, 6000 l / kg χοιρινού και 3400 l / kg για 1 κιλό κρέας κοτόπουλου. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το αποτύπωμα νερού της παραγωγής κρέατος έχει το υψηλότερο μερίδιο στο αποτύπωμα νερού παραγωγής οποιουδήποτε άλλου τροφίμου, ιδιαίτερα στην περίπτωση των βοοειδών, αναπτύσσεται το συμπέρασμα πως το κρέας είναι μία ασύμφορη πηγή πρωτεϊνών. Αφού, για την παραγωγή 1 κιλού πρωτεΐνης, απαιτούνται 7,7 kg από βόειο κρέας, 6,3 kg από πρόβιο, 3,6 kg από χοιρινό και 2,2 kg από κοτόπουλο (Van Huis, 2010).

Εκτός από την κατανάλωση νερού στην παραγωγή τροφίμων και ζωοτροφών, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της στην παραγωγή αερίων θερμοκηπίου. Όσον αφορά την παγκόσμια συμβολή του ζωικού κεφαλαίου στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου γενικά, τα ζώα βρέθηκαν υπεύθυνα για το 9% του CO₂, το 35-40% του CH₄, το 65% του N₂O και το 64% των NH₃ παραγωγών όλων των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Steinfeld et al., 2006).

Μείζονος σημασίας είναι και το περιβαλλοντικό ζήτημα που προκύπτει σχετικά με τη σπατάλη των τροφίμων, που σύμφωνα με το Boston Consulting Group (BCG), είναι τόσο μεγάλη που το 2030, τα απορρίμματα που αφορούν τρόφιμα θα υπολογίζονται στους δύο

δισεκατομμύρια τόνους ετησίως. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρεται από το Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση (WWF), κάθε χρόνο 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι τροφίμων καταλήγουν στα απορρίμματα, για την παραγωγή των οποίων καταναλώθηκαν τεράστιες ποσότητες νερού, δεδομένου πως μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, το 50% του αρδευόμενου νερού χρησιμοποιείται για την παραγωγή τροφίμων με αποτέλεσμα, το συγκεκριμένο οικολογικό πρόβλημα έχει και οικονομικές προεκτάσεις.

Τέλος, ένα έμμεσο ζήτημα που προκύπτει από την αύξηση της παραγωγής κρέατος είναι και η μείωση της βιοποικιλότητας. Συγκεκριμένα, η αύξηση των αναγκών για πρωτεΐνη θα παρουσιάσει θετική συσχέτιση με την αύξηση των καλλιεργειών όπως σιτηρά, που χρησιμοποιούνται τόσο για την δημιουργία ζωοτροφών όσο και για την δημιουργία περιζήτητων τροφίμων (ψωμί, δημητριακά) άρα και την εκμετάλλευση περισσότερων εκτάσεων για καλλιέργεια και επεξεργασία τροφίμων. Μέσω αυτού ελλοχεύει κίνδυνος καταπάτησης φυσικών ενδιαιτημάτων, λόγω έλλειψης του απαιτούμενου χώρου, με απόρροια τη μετανάστευση ειδών που διέμεναν σ' αυτό και ίσως, την εξαφάνιση από τον Ελλαδικό χώρο.

Επιπροσθέτως, σύμφωνα με το Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση (WWF) το 2012 καταναλώθηκαν περίπου είκοσι (20) κιλά θαλασσινών ανά άτομο παγκοσμίως. Η υπερκατανάλωση ψαριών οδηγεί στη συνεχή και ασύδοτη αλίευση. Η υπεραλίευση είναι μία επιπλέον μάστιγα που ταλανίζει το σύγχρονο κόσμο και διαταράσσει την υγεία των θαλασσών και των οργανισμών της. Σε κλίμακα 50ετίας έχει μειωθεί η βιομάζα των ψαριών κατά 1/3, ενώ των θαλάσσιων θηλαστικών κατά 40%, ενώ ανησυχίες προκαλεί και η σημαντική μείωση των ιχθυαποθεμάτων στη Μεσόγειο (<https://www.kathimerini.gr/society/561264130/to-megalo-psari-troei-ola-t-alla/>). Η παράνομη αλιεία αφορά και στην χρήση επιβλαβών μεθόδων που έχουν αρνητική επίδραση στο θαλάσσιο οικοσύστημα αφού χρησιμοποιούνται εργαλεία που προκαλούν καταστροφές και την αλίευση ειδών που δεν αποτελούν στόχο. Με την τρέχουσα κατάσταση, το απόθεμα θαλάσσιας ζωής είναι εξαντλημένο ή σε κίνδυνο εξάντλησης ενώ, τα αρπακτικά ψάρια έχουν σχεδόν εξαφανιστεί, με απειλή κατάρρευσης ολόκληρων θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Όσον αφορά τις φυτικές πρωτεΐνες, ο κύριος περιοριστικός παράγοντας έγκειται στο γεγονός πως η περιεκτικότητα πρωτεΐνης ανά κιλό προϊόντος είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή των ζωικών πηγών. Ενώ, παράλληλα, ο συνδυασμός του με την μειωμένη πεπτικότητα των φυτικών πρωτεϊνών οδηγεί στην ανάγκη για παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας πρωτεϊνών ώστε να ληφθεί η ίδια ποσότητα πρωτεΐνης με αποτέλεσμα τη

δημιουργία σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως, η επιβάρυνση του περιβάλλοντος λόγω εκροών από την καλλιέργεια, καθώς και η μονοκαλλιέργεια με όλες τις αρνητικές επιπτώσεις της.

Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, πως τόσο οι φυτικές όσο και οι ζωικές πηγές πρωτεϊνών, παρότι είναι οι πιο διαδεδομένες, παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα όσον αφορά την αποκλειστικότητα που έχουν ως πηγές πρωτεϊνών στα σημερινά δεδομένα της κοινωνίας και του περιβάλλοντος.

1.3 Εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης

1.3.1 Γενικά

Λόγω της υπερβολικής κατανάλωσης ζωικών πρωτεϊνών και των αρνητικών επιδράσεων τους στο περιβάλλον σε συνδυασμό με την μη αποτελεσματική παροχή πρωτεϊνών από φυτικές πηγές, έχουν πραγματοποιηθεί προσπάθειες για την αναζήτηση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης .

Οι εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών περιλαμβάνουν τα φύκια, έντομα και τα υποκατάστατα του κρέατος που θεωρούνται πιο υγιεινά κι φιλικά για το περιβάλλον (Hartmann & Siegrist, 2017). Λόγω του ότι οι εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών θεωρούνται πιο υγιεινές και φιλικές προς το περιβάλλον συγκριτικά με παραδοσιακές πηγές πρωτεϊνών, έχει προταθεί να παράγονται κι αυτές, έστω και συμπληρωματικά, με τις συμβατικές πηγές πρωτεϊνών.

Παρόλο που οι εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών αποτελούν μία σημαντική εναλλακτική, μοιράζονται μικρό μερίδιο της αγοράς και παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα κατά την αξιοποίησή τους (Gravelly & Fraser, 2018).

1.3.2 Μειονεκτήματα

Κατά την πρόσληψη πρωτεϊνών από εναλλακτικές πηγές εντοπίζονται ζητήματα που αφορούν κυρίως το κόστος και την δυσπιστία, με ταυτόχρονη αποδοχή τους από τους καταναλωτές που έχουν συνηθίσει να εντάσσουν στη διατροφή τους μόνο τετριμμένα τρόφιμα, ανεξαρτήτου ποιότητας και προέλευσης.

Σε αρκετές περιπτώσεις οι εναλλακτικές πηγές, όπως τα φύκια και τα υποκατάστατα, πρωτεϊνών έχουν σαν περιοριστικό παράγοντα τη διαθεσιμότητα πρωτεϊνών και τη μη ύπαρξη πλήρων αμινοξέων στην αμινική τους σύνθεση. Πιο συγκεκριμένα, σε αρκετές περιπτώσεις οι εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών δεν μπορούν να προσεγγίσουν την πρωτεϊνική αλλά και αμινική σύνθεση των ζωικών και φυτικών πηγών με αποτέλεσμα να απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία. Επομένως, η λήψη πρωτεϊνών από αυτές τις πηγές

απαιτεί την εγκατάσταση μεγάλων κι εξειδικευμένων μονάδων παραγωγής, που απαιτούν την ύπαρξη κεφαλαίου και οδηγούν σε υψηλό κόστος παραγωγής και μεταφράζεται σε αύξηση του κόστους ανά μονάδα πρωτεΐνης (Sha & Xiong, 2020).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί η παραγωγή και χρήση μικροοργανισμών και μικροφυκών. Τα οποία λόγω των συνθηκών ανάπτυξης που απαιτούν, χρειάζονται πλήρως εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και υποδομές που αυξάνουν αρκετά τόσο το κόστος προμήθειας όσο και το κόστος ανά μονάδα πρωτεΐνης.

1.4 Έντομα σαν εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών

1.4.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια τα έντομα λαμβάνουν ολοένα και περισσότερη προσοχή ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης όπως αποδεικνύεται από τον αυξανόμενο αριθμό επιστημονικών δημοσιεύσεων και επενδύσεων πάνω στην παραγωγή προϊόντων από έντομα.

Η εντομοφαγία, η κατανάλωση δηλαδή εντόμων ως τροφή, ήταν μια κοινή πρακτική για πολλούς πολιτισμούς για αιώνες. Στις μέρες μας, τα έντομα καταναλώνονται σε διάφορες μορφές από περίπου δύο (2) δισεκατομμύρια ανθρώπους σε Αφρική, Ασία, Κεντρική και Νότια Αμερική και Αυστραλία όχι μόνο λόγω της γεύσης τους αλλά και λόγω του ότι αποτελούν μία φθηνή πηγή θρεπτικών συστατικών.

Περισσότερα από 2.000 είδη καταναλώνονται από ανθρώπους (Jongema, 2017), κυρίως σε τροπικές χώρες που αποτελεί ένα απλό μέρος μόνο των 1.000.000 ειδών εντόμων που περιγράφονται σήμερα. Τα έντομα αυτά είναι: (1) σκαθάρια, όπως ο σκώληκας των αλεύρων (*Tenebrio molitor*), το μικρό σκουλήκι των αλεύρων (*Alphitobius diaperinus*), το superworm (*Zophobas morio*), (2) γρύλοι, κυρίως ο γρύλος ο οικοδίαιτος (*Acheta domesticus*) αλλά και ο σικτός μαύρος γρύλλος (*Gryllodes sigillatus*) και το είδος *Gryllus bimaculatus*, (3) διάφορα είδη ακριδών όπως η *Locusta migratoria* και η *Schistocerca gregaria* και (4) πούπες του μεταξοσκώληκα *Bombyx mori* (Ambühl, 2017).

Για την εκτεταμένη προώθηση των εντόμων σαν εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών πρέπει να αναπτυχθούν διαδικασίες για την εκτροφή μεγάλης κλίμακας. Αυτή είναι μια πρόκληση για τις βιομηχανίες που ειδικεύονται στη μαζική εκτροφή και χρήση τους για παραγωγή εντόμων. Τα κύρια ζητήματα στη μαζική εκτροφή είναι η ποιότητα, η αξιοπιστία, και αποδοτικότητα κόστους.

1.4.2 Ιστορικά στοιχεία

Τα έντομα δεν αποτελούν καινούριο τρόφιμο για την ανθρώπινη διατροφή. Είναι πολύ πιθανό ότι οι πρώτοι άνθρωποι να τρεφόντουσαν με έντομα ώστε να καλύψουν τις διατροφικές τους ανάγκες (Van Huis, 2016). Πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι πριν από 1,8 εκατομμύρια χρόνια τα έντομα στην Τανζανία αποτελούσαν σημαντική πηγή της διατροφής (Heriot-Watt, University, 2018). Ενδεικτικά, σε αρκετές περιπτώσεις η εντομοφαγία απεικονίζεται σε ζωγραφιές, όπως στις σπηλιές Artamila στο βόρειο τμήμα της Ισπανίας (3000–9000 π.Χ.) που απεικονίζει την συλλογή μίας φωλιάς μελισσών ή ακόμα και την συλλογή των προνυμφών (Mitsuhashi, 2008).

1.4.3 Πρωτεϊνικό περιεχόμενο

Οι πρωτεΐνες είναι βασικά θρεπτικά συστατικά που παρέχουν τόσο απαραίτητα όσο και μη απαραίτητα αμινοξέα. Δεδομένου ότι τα απαραίτητα αμινοξέα (EAAs) δεν μπορούν να συντεθούν σε μεγάλες ποσότητες από το ανθρώπινο σώμα, η παροχή τους εξαρτάται από τη διατροφή (Millward et al., 2008). Υπάρχουν αναφορές που αφορούν την περιεκτικότητα των εντόμων τόσο σε επίπεδο αμινοξέων, όσο και το ποσοστό περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνη.

Συγκεκριμένα, η ανάλυση σχεδόν εκατό βρώσιμων ειδών εντόμων έδειξε ότι το περιεχόμενο των EAAs αντιπροσωπεύει το 46% - 96% της συνολικής ποσότητας αμινοξέων (Xiao et al., 2010). Υψηλές τιμές για τα αμινοξέα ισολευκίνη, λευκίνη, φαινυλαλανίνη, θρεονίνη, τυροσίνη και βαλίνη έχουν εντοπιστεί στα είδη *A. diaperinus*, *T. molitor*, *Z. morio* και *A. domesticus* (Yi et al., 2013). Μάλιστα οι προνύμφες των *A. diaperinus*, *T. molitor* και *Z. morio* περιείχαν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα σε ποσότητες που είναι απαραίτητες για τον άνθρωπο (FAO / WHO / UNU, 1985) ενώ η μετρούμενη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των προαναφερθέντων εντόμων (περίπου 20%) (Yi et al., 2013) είναι συγκρίσιμη με εκείνη του βοείου κρέατος (18,4%), του κοτόπουλου (22,0%) και των ψαριών (18,3%) (Ghaly, 2009b). Επιπλέον, η μετρούμενη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες τους ήταν υψηλότερη από εκείνη του αρνιού (15,4%), του χοιρινού κρέατος (14,6%) (Ghaly, 2009a), των αυγών (13%) και του γάλακτος (3,5%), αλλά χαμηλότερη σε σύγκριση με τη σόγια (36,5%) (Young & Pellett, 1994).

Όσον αφορά το πρωτεϊνικό περιεχόμενο, ανατρέχοντας στο 2005, ο Bukkens αναφέρει πως τα είδη της οικογένειας Saturniidae διαθέτουν περιεκτικότητα πρωτεΐνης 52-80% επί ξηράς ουσίας. Τέσσερα χρόνια αργότερα, το 2009, οι Srivastava et al. αναφέρουν ότι μερικά έντομα όπως οι τερμίτες (Isoptera), ακρίδες (Orthoptera), κάμπιες (Lepidoptera) και μύγες (Diptera) αποτελούν τις καλύτερες πηγές πρωτεϊνών συγκριτικά με τις συμβατικές

πηγές πρωτεϊνών από κρέας. Παράλληλα, οι Xiaoiming et al. (2010) αναφέρουν ότι σε αρκετά είδη των τάξεων Orthoptera και Hymenoptera η περιεκτικότητα των εντόμων σε πρωτεΐνη μπορεί να φτάσει έως και το 77% (σε ξηρή ουσία). Οι Bednářová et al. (2013) αξιολογώντας τη συνολική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες με βάση την ξηρή ύλη, αναγράφουν πως η *Galleria mellonella* (Lepidoptera) περιέχει 38,4% ενώ η ακρίδα, *L. migratoria* (Orthoptera) περιέχει 62,2%. Το 2014, οι Makkar et al. αναφέρουν ότι οι προνύμφες της *Hermetia illucens* (Diptera) είναι μια πηγή τροφής υψηλής αξίας, πλούσια σε πρωτεΐνες και λίπη αφού περιέχουν περίπου 40-44% ακατέργαστη πρωτεΐνη (CP) ενώ ποσότητα του λίπους είναι εξαιρετικά μεταβλητή και εξαρτάται από τον τύπο της διατροφής. Επιπλέον, αναφέρουν πως οι προνύμφες του *T. molitor* (Coleoptera) περιέχουν υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης της τάξης των 47–60%.

Γίνεται αντιληπτό, επομένως, ότι τα έντομα προς κατανάλωση παρέχουν ικανοποιητική περιεκτικότητα σε βασικά αμινοξέα καλύπτοντας τις καθημερινές απαιτήσεις και ανάγκες τόσο των ενήλικων όσο και των ανήλικων ατόμων. Παράλληλα όμως, επαρκούν, πλήρως, για την κάλυψη των αναγκών των ψαριών, με τη χρήση ως ιχθυοτροφή, αφού τα έντομα αποτελούν πολύτιμες πηγές πρωτεΐνης στη διατροφή των ψαριών λόγω της περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνες, που μπορεί να κυμαίνονται μεταξύ 9,3% και 76% (Barker et al., 1998, Finke, 2015, Meneguz et al., 2018) και λιπαρά που μπορεί να κυμαίνονται από 7,9% έως 40% (Barker et al., 1998, Finke, 2015, Meneguz et al., 2018).

1.4.4 Πλεονεκτήματα

Παρότι η κατανάλωση των εντόμων πραγματοποιείται μόνο περιστασιακά σήμερα, έχουν ξεκινήσει να υλοποιούνται και να προωθούνται διαδικασίες εκτροφής και παραγωγής διαφόρων ειδών εντόμων που είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Αφού, ο εμπλουτισμός των τροφίμων με πρωτεΐνες και τα υπόλοιπα θρεπτικά συστατικά που περιέχουν τα έντομα αποτελεί μία πρόκληση για την βιομηχανία τροφίμων.

Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκε πως πολλά είδη εντόμων διαθέτουν υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο αλλά και σε ψευδάργυρο. Ενώ παράλληλα, οι ελλείψεις σιδήρου και ψευδαργύρου είναι ευρέως διαδεδομένες στις αναπτυσσόμενες χώρες, ιδίως σε παιδιά και γυναίκες αναπαραγωγικής ηλικίας, αφού περίπου δύο (2) δισεκατομμύρια άνθρωποι έχουν έλλειψη ψευδαργύρου και ένα (1) δισεκατομμύριο έχουν αναιμία έλλειψης σιδήρου. Επομένως, ο συνδυασμός της παρουσίας θρεπτικών συστατικών με την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες καθιστούν τα έντομα σημαντική πηγή πολυάριθμων θρεπτικών συστατικών. Επιπρόσθετα, αποδείχθηκε πως η προσθήκη εκχυλισμάτων εντόμων στα τρόφιμα σε

αρκετές περιπτώσεις δεν επηρεάζει τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των τροφίμων ενώ οργανοληπτικά δεν παρουσιάζει αντιληπτές διαφορές (Yi et al., 2013).

Η κατανάλωση εντόμων σαν πηγή πρωτεϊνών προσφέρει και σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον. Εκτός των προαναφερθέντων, λόγω του γεγονότος πως τα έντομα είναι ψυχρόαιμα έχουν πολύ μεγαλύτερη απόδοση τροφής σε ενέργεια ενώ είναι σε θέση να αντλήσουν την απαιτούμενη ενέργεια από τα τρόφιμα και ως εκ τούτου δεν απαιτούν απαραίτητα πόσιμο νερό, έχοντας την ικανότητα να αναπτυχθούν σε οργανικά απόβλητα, μειώνοντας επίσης το αποτύπωμα νερού της τροφής συγκριτικά με τις υπόλοιπες πηγές πρωτεϊνών. Πρέπει ωστόσο να ληφθεί υπόψη ότι η αποτελεσματικότητα της μετατροπής της τροφής των εντόμων εξαρτάται από τη θερμοκρασία (Roe et al., 1985). Για παράδειγμα, στους 25 και 35°C, αντίστοιχα, ανακαλύφθηκε ότι η προνύμφη του *A. domesticus* παρουσίασε υψηλότερη πρόσληψη τροφής και ελαφρώς χαμηλότερη αύξηση βάρους στους 25°C, κατά το προνυμφικό στάδιο, και επιπλέον καταναλώθηκε περισσότερο οξυγόνο και παρήχθη περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα στους 25°C από ότι στους 35°C (Booth & Kiddell, 2007).

Τέλος, η εκτροφή εντόμων σαν πηγή πρωτεϊνών μειώνει την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Σε έρευνες που μελετήθηκε η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου κατά την εκτροφή εντόμων αποδείχθηκε πως τα έντομα που παρήγαγαν συγκρίσιμη ή χαμηλότερη ποσότητα αερίων θερμοκηπίου γενικά, και ιδιαίτερα CO₂ ανά kg. Ταυτόχρονα η εκπομπή NH₃ ήταν αρκετά χαμηλότερη από ότι στα συμβατικά ζώα. Εκπομπές μεθανίου παρατηρήθηκαν μόνο στα έντομα *Pachnoda marginata* και *Blaptica dubia*. Η παραγωγή μεθανίου των προνυμφών των σκαθαριών και της κατσαρίδας ήταν συγκρίσιμη ή ελαφρώς χαμηλότερη από εκείνη των χοίρων και περισσότερο από είκοσι (20) φορές χαμηλότερη από τα βοοειδή (Oonincx et al., 2010). Ωστόσο, περαιτέρω μελέτες πρέπει να γίνουν καθώς η εκπομπή των αερίων μελετήθηκε για ορισμένο χρονικό διάστημα και όχι για την πλήρη διάρκεια ζωής των εντόμων.

1.4.5 Μειονεκτήματα

Παρόλο, που η χρήση εντόμων σαν πηγή πρωτεϊνών προσφέρει σημαντικά οφέλη, έχει συσχετιστεί και με σημαντικά μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο μειονέκτημα στην χρήση σαν πηγή πρωτεϊνών είναι η αποδοχή του από τους ανθρώπους για προσωπική τους κατανάλωση, αφού η χρήση των εντόμων σε ζωοτροφές παρουσιάζει μεγάλη απήχηση.

Τα έντομα, εν μέρει, σε αρκετές χώρες είναι ένα αποδεκτό τρόφιμο στις περισσότερες, όμως, κουλτούρες του κόσμου υπάρχει ένα μεγάλο ταμπού σχετικά με την κατανάλωση

εντόμων. Η αποδοχή του φαγητού ελέγχεται από συναισθηματικούς, προσωπικούς, πολιτιστικούς και περιστασιακούς παράγοντες, αλλά τα κίνητρα βασίζονται κυρίως στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου καθώς και στα οφέλη για την υγεία. Οι άνθρωποι τείνουν να αποφεύγουν άγνωστα τρόφιμα (νεοφοβία), ιδιαίτερα όταν είναι ζωικής προέλευσης. Η απροθυμία αυτή οφείλεται στην πιθανότητα αυτά τα τρόφιμα να είναι επιβλαβή ή τοξικά. Όμως, αυτό μπορεί να αλλάξει με το πέρασμα του χρόνου όπως π.χ. στην περίπτωση του σούσι όπου αρχικά δεν ήταν αποδεκτό στις δυτικές κοινωνίες λόγω απέχθειας και καχυποψίας για την ασφάλειά του αλλά πλέον είναι ευρέως αποδεκτό και καταναλώσιμο.

1.4.6 Ασφάλεια

Όπως ισχύει για φυτικά και ζωικά προϊόντα, ορισμένα έντομα προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις (Yen, 2010). Για παράδειγμα, οι πούμπες του μεταξοσκώληκα (*Anaphe venata*) περιέχουν μια θειαμινάση και μπορούν να προκαλέσουν ανεπάρκεια θειαμίνης. Στη Νιγηρία, το *Anaphe venata* είναι υπεύθυνο για ένα εποχιακό αταξικό σύνδρομο που εμφανίζεται κάθε χρόνο τα τελευταία σαράντα (40) χρόνια (Nishimune, Watanabe, Okazaki, & Akai, 2000). Ορισμένα έντομα περιέχουν ακόμη και απωθητικά ή τοξικά χημικά ως αμυντικό μηχανισμό αλλά παράλληλα, χημικές ουσίες που παράγονται από έντομα για αυτοάμυνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αντιβακτηριδιακά και αντικαρκινικά φάρμακα (Srivastava et al., 2009). Είναι σημαντικό, λοιπόν, οι συνθήκες εκτροφής τους, να γίνονται με προσοχή και σύμφωνα με την καθοδήγηση ειδικών, διότι αποφεύγεται κάθε κίνδυνος και η επεξεργασία τους για παραγωγή ζωοτροφών ή για κατανάλωση είναι ασφαλής.

1.5 *Alphitobius diaperinus*

1.5.1 Γενικά

Η πολυπληθέστερη και με μεγαλύτερη ποικιλομορφία ομάδα κολεοπτέρων, είναι τα κολεόπτερα εδάφους, στην ομάδα αυτή ανήκει και το γένος *Alphitobius* (Stephens, 1832), της οικογένειας *Tenebrionidae*. Υπάρχουν περίπου έντεκα γνωστά είδη του γένους *Alphitobius* παγκοσμίως, ενώ κάποια από αυτά τα είδη προσβάλλουν τα αποθηκευμένα προϊόντα (Green, 1980). Ένα από τα είδη αυτά είναι το *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797), γνωστό και ως “μικρό σκουλήκι των αλεύρων”.

Το *A. diaperinus* (Coleoptera : Tenebrionidae) εντοπίζεται συχνά σε χώρους αποθήκευσης, σιλό, μύλους (Buchelos and Athanassiou 1993, 1998, 1999, Athanassiou and Buchelos 2000a, 2000b, 2001) και προσβάλλει πολλά προϊόντα σιτηρών, όπως αλεύρι, (Spilman, 1991) αλλά και σπόρους λιναριού, βαμβακιού, ελαιούχους σπόρους και

καπνό (Hosen et al., 2004). Επίσης, απαντάται σε άφθονο βαθμό σε πτηνοτροφίες και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, τόσο στην ενήλικη όσο και στην προνυμφική τους ηλικία (Francisco & Prado, 2001), με τις προνύμφες να τρέφονται με φτερά και περιπτώματα πτηνών, μούχλα (Falomo, 1986) ενώ έχουν παρατηρηθεί και φαινόμενα κανιβαλισμού με άλλα κολεόπτερα.

Επιπλέον, τα σκαθάρια αυτά μπορούν να μολύνουν με ιούς τα πουλερικά, όπως τον ιό της λεύκωσης (Falomo 1986) και τον κοροναϊό της γαλοπούλας (Calibeo 2002, Watson et al. 2000) αλλά και να μεταφέρουν βακτήρια σ' αυτά όπως *Salmonella*, *Aspergillus spp.* και *Staphylococcus spp.* (Chernaki-Leffer 2002, De Las Casas et al., 1968, Harein et al., 1970; McAllister et al.; 1996). Τέλος, πρόσφατα ανακαλύφθηκε πως στο στάδιο μετατροπής τους σε νύμφη, στην προσπάθεια αναζήτησης τροφής, προκαλούν ζημιές και στην ξυλεία αλλά και στη μόνωση των πτηνοτροφείων (Rumbos et al., 2019).

Σύμφωνα με τον κανονισμό που τέθηκε σε ισχύ στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ΕΕ 2017/893 (2017), το σκαθάρι αυτό αποτελεί ένα από τα επτά έντομα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικό των ιχθυοτροφών, αποτελώντας υψηλής ποιότητας πηγή πρωτεϊνών για τα εκτρεφόμενα ψάρια καθώς και ένα υποκατάστατο του ιχθυάλευρου και του ιχθυελαίου (Barroso et al. 2014; Gasco et al. 2018, Henry et al. 2015).

1.5.2 Στοιχεία βιολογίας και μορφολογικά χαρακτηριστικά

Ο κύκλος ζωής του *A. diaperinus* ολοκληρώνεται, κατά μέσο όρο, σε 5 έως 8 εβδομάδες (Rueda & Axtell, 1996), με την ανάπτυξη να ευνοείται σε υψηλές θερμοκρασίες (Bjørge et al., 2018). Η ανάπτυξη καθώς κι επιβίωση των εντόμων εξαρτάται από την θερμοκρασία κυρίως και όχι τόσο από την υγρασία, με αποτέλεσμα να μπορεί να ανεχτεί ένα ευρύ φάσμα και να μπορεί να αναπτυχθεί και σε σχετικά ξηρά ενδιαιτήματα.

Το ενήλικο θηλυκό γεννάει τα ωά του σε προστατευόμενες περιοχές ενώ μπορεί να παράγει από 1.000-1.800 γόνιμα αυγά κατά την διάρκεια της ζωής του (Geden & Axtell, 1987). Πιο συγκεκριμένα, γεννούν τα ωά τους σε συστάδες στις φάρμες εκτροφής πουλερικών ή σε αποθηκευμένα τρόφιμα 6-10 ημέρες έπειτα από το ζευγάρωμα (Axtell, 1994). Οι προνύμφες εκκολάπτονται εντός 3–10 ημερών, σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 15 και 38 °C, ενώ η εκκόλαψη δεν μπορεί να συμβεί σε θερμοκρασίες πέρα των ορίων αυτών (Axtell, 1994, Rueda & Axtell, 1996).

Το στάδιο των προνυμφών διαρκεί μεταξύ 1 και 7 μηνών (Axtell, 1994, Francisco & Prado, 2001). Η διάρκεια εκκόλαψης των προνυμφών εξαρτάται από την θερμοκρασία και διαρκεί από 4 έως και 14 ημέρες. Οι ώριμες πια προνύμφες μετακινούνται σε προστατευμένα

μέρη όπου σχηματίζουν κοιλότητες. Τα απορρίμματα, η κοπριά καθώς και η μόνωση των κτηρίων έχουν αποτελέσει σημεία αναπαραγωγής των εντόμων αυτών. Στη συνέχεια, τα ενήλικα μπορούν να επιβιώσουν για αρκετούς μήνες έως και έναν χρόνο - σε εργαστηριακές συνθήκες και με συνεχή τροφοδοσία υποστρωμάτων για την διατροφή τους (Esquivel et al., 2012).

Όσον αφορά τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, το νεαρό ενήλικο είναι ωοειδές, ελαφρώς κυρτό, καστανό-μαύρο και, συνήθως, λαμπερό. Το χρώμα σκουραίνει όσο το ίδιο μεγαλώνει ηλικιακά. Το μήκος του δεν ξεπερνά τα 5,8 έως 6,3 cm ενώ οι κεραίες διαθέτουν κοντές τρίχες κιτρινωπού χρώματος, με το τερματικό τμήμα τους πιο ανοιχτόχρωμο. Η κεφαλή ξεχωρίζει έντονα μπροστά και το πρόνωτο τους έχει μεγάλο μήκος και στενεύει, ελαφρώς, από τη βάση στην κορυφή ενώ τα έλυτρα έχουν έντονες ραβδώσεις σε όλο το μήκος τους.



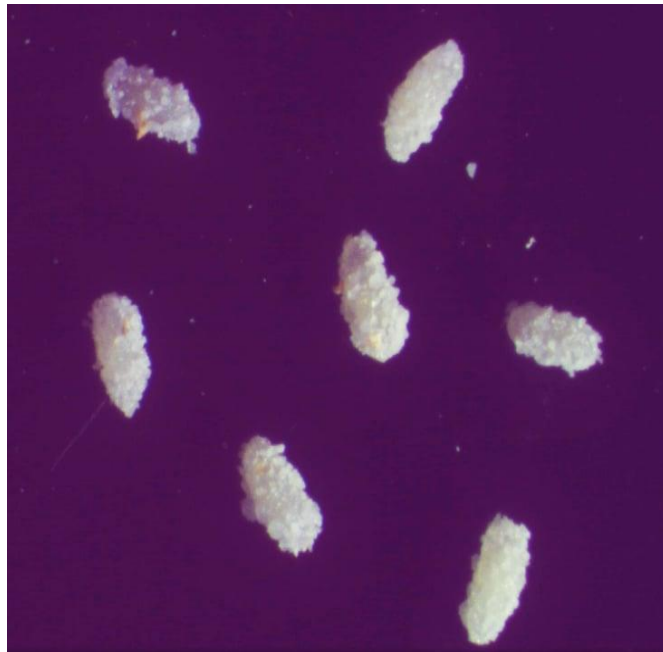
Εικόνα 1: Ακμαίο *A. diaperinus* - «προσωπικό αρχείο συγγραφέα»

Οι προνύμφες είναι μήκους 9 έως 19 cm, έχουν έντονη μεταμέρεια με το οπίσθιο μέρος τους να είναι κωνικό ενώ, ο εξωσκελετός είναι λείος και λαμπερός, με έντονη την απουσία τριχών (Axtell, 1994). Χαρακτηριστικό είναι πως διαθέτουν τρία ζευγάρια θωρακικών ποδιών που τα βοηθάει να κινούνται γρήγορα (Axtell, 1994, Francisco & Prado, 2001). Οι νεοεκολαφθείσες προνύμφες έχουν γαλακτώδες χρώμα, το οποίο μετατρέπεται από λευκό σε κιτρινό-καφέ (Francisco & Prado, 2001) έως ότου εξελιχθούν σε πούμπες, που είναι κυρτές, λευκού έως ελαφριά καφέ χρώματος και δεν έχουν ικανότητα κίνησης (Rumbos et al., 2019). Το μήκος τους κυμαίνεται από 6 έως 8 cm. Τέλος, σε ότι αφορά τα

ωά είναι ωοειδή, ανοιχτόχρωμα – λευκά, σχεδόν – και το μήκος τους αγγίζει το 1 mm (Rumbos et al., 2019).



Εικόνα 2: Προνύμφη τελευταίου σταδίου (επάνω) & ακίνητη μορφή (κάτω) του είδους *A. diaperinus* - «προσωπικό αρχείο συγγραφέα»



Εικόνα 3: Ωά *Alphitobius diaperinus* - «προσωπικό αρχείο συγγραφέα»

1.5.3 Συνθήκες εκτροφής

Σε αντίθεση με άλλα έντομα όπως, το σκαθάρι *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera : Dermestidae), που είναι γνωστό πως μπορεί να αναπτυχθεί σε άθικτους κόκκους δημητριακών (π.χ. σιτάρι, κριθάρι, ρύζι) και σε σχετικά αμυλώδη προϊόντα (π.χ., αλεύρι, ζυμαρικά και σιμιγδάλι) (Athanasios et al., 2016) μέχρι το 2020, εκτός από διάσπαρτες αναφορές σχετικά με την εμφάνιση του *A. diaperinus* σε διάφορους χώρους, οι αναφορές σχετικά με την παρουσία και ανάπτυξη του σε διάφορα υποστρώματα ήταν περιορισμένη (Rumbos et al., 2020).

Με βάση, λοιπόν, πρόσφατες μελέτες έγιναν γνωστά τα κυριότερα υποστρώματα που ευνοούν την ανάπτυξη και εξέλιξη του *A. diaperinus* κι αυτά είναι διάφοροι τύποι αλεύρων και αμυλούχων προϊόντων, όπως πίτουρο, αλεύρι καλαμποκιού, καθώς και νιφάδες βρώμης και σίκαλης. Μάλιστα, στα τελευταία τρία καταγράφηκε θετική επίδραση των υποστρωμάτων στη γονιμότητα και την παραγωγή ωών. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας πίτουρο βρώμης, λευκό αλεύρι, νιφάδες σίκαλης και νιφάδες κριθαριού, παρουσιάστηκε ταχύτερος χρόνος ανάπτυξης των εντόμων. Αντιθέτως, το σιμιγδάλι, θεωρήθηκε ακατάλληλη διατροφή για παραγωγή απογόνων (Rumbos et al., 2020).

Παράλληλα η θερμοκρασία αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη ποικιλόθερμων οργανισμών όπως τα έντομα. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως αυξάνει την ανάπτυξη, και συνεπώς την παραγωγή αλλά η σχέση δεν είναι γραμμική και όταν η θερμοκρασία γίνεται πολύ υψηλή μπορεί να καταστεί επιζήμια (Kingslover et al., 2015). Επομένως, εντοπίζεται ένα βέλτιστο θερμοκρασιακό εύρος.

Έχει αποδειχθεί ότι το σκουλήκι των αλεύρων αναπτύχθηκε σε αργούς ρυθμούς όταν επικρατούσαν χαμηλές θερμοκρασίες και ταχύτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες με βέλτιστη θερμοκρασία κοντά στους 31°C με την θερμοκρασία αυτή να σχετίζεται με πολύ υψηλό δυναμικό ανάπτυξης (Bjørge et al., 2018). Παράλληλα, ανάπτυξη του εντόμου σε θερμοκρασίες κοντά στο βέλτιστο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με υψηλότερο ρυθμό συσσώρευσης πρωτεϊνών. Σε θερμοκρασίες άνω της βέλτιστης, η θερμοκρασία του σώματος επηρεάζεται σημαντικά και παράγονται άτομα με λιγότερα λιπίδια και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη.

Συμπερασματικά, γίνεται αντιληπτό πως το *A. diaperinus* για την εκτροφή του και την ταχύτερη ανάπτυξή του απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες κοντά στους 31°C και την ύπαρξη

αμυλούχων κυρίως προϊόντων. Η υγρασία αποτελεί παράγοντα που φαίνεται να επηρεάζει ελάχιστα την ανάπτυξη των εντόμων αυτών.

1.5.4 Σημασία του σαν εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών

Σύμφωνα με την EFSA, (EFSA 2015) το *A. diaperinus* ανήκει σε εκείνα τα είδη που έχουν τη μεγαλύτερη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως τρόφιμα και ζωοτροφές στην ΕΕ, καθώς η πρωτεϊνική αλλά και αμινική του σύσταση σε συνδυασμό με την περιεκτικότητα του σε ανόργανα συστατικά και αποδεκτά οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά το καθιστούν σημαντικό έντομο για την παραγωγή πρωτεϊνών. Ταυτόχρονα, επίσης, οι περιβαλλοντικές αλλά και θρεπτικές του απαιτήσεις το καθιστούν ένα έντομο που μπορεί να εκτραφεί σχετικά εύκολα χωρίς την χρήση κάποιου εξειδικευμένου εξοπλισμού.

Πιο συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί πως το έντομο αυτό διαθέτει μεγάλα ποσοστά λυσίνης, μεθειονίνης και λευκίνης, βασικών, δηλαδή απαραίτητων αμινοξέων για τη διατροφή του ανθρώπου, όπου κάθε πηγή φυτικής πρωτεΐνης βρέθηκε «φτωχή» στα προϊόντα αυτά (Sánchez-Muros et al., 2014) αποτελώντας, παράλληλα, καλή πηγή λιπιδίων, μετάλλων και βιταμινών (Finke, 2004, Rumpold & Schlüter, 2013, Zielińska et al., 2015). Επιπλέον, σε πιο πρόσφατες μελέτες βρέθηκε πως διαθέτει μεγάλα ποσοστά κι άλλων απαραίτητων αμινοξέων, συμπεριλαμβανομένων αργινίνης, ιστιδίνης, ισολευκίνης, θρεονίνης και βαλίνης (Janssen et al., 2017) αλλά και μη απαραίτητων αμινοξέων, υπερβαίνοντας σε αρκετές περιπτώσεις και τα αντίστοιχα επίπεδα αμινοξέων άλλων ειδών εντόμων, όπως οι προνύμφες του *T. molitor* και *H. illucens*. Τέλος, το *A. diaperinus*, εκτός των άλλων, μπορεί να παρέχει και ανόργανα συστατικά όπως κάλιο, σίδηρο, μαγνήσιο, ψευδάργυρο και σελήνιο (Schabel, 2010).

Εμβαθύνοντας, η περιεκτικότητα του *A. diaperinus* σε πρωτεΐνες (580 και 650 g kg⁻¹ ξηράς ουσίας) είναι τόσο υψηλή που ξεπερνά τους περισσότερους ελαιούχους σπόρους (σόγια, ελαιοκράμβη) (Yi et al., 2013, Bosch et al., 2014, Van Broekhoven et al., 2015) αλλά και θεωρείται από τις υψηλότερες μεταξύ των εντόμων που χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό. Δεδομένου πως τα αμινοξέα αυτά που περιέχονται στις προνύμφες του *A. diaperinus* αντιστοιχούν σε αυτά που πρέπει να περιλαμβάνονται στις δίαιτες των ψαριών, το έντομο αυτό καθίσταται σημαντικό προϊόν εκτροφής τους. Κλείνοντας, τα λιπίδια που περιλαμβάνονται στο σκουλήκι των αλεύρων ποικίλλει από 13 έως 29% με μέση και συνήθη τιμή το 24% (Vrabec et al., 2015). Παρόλα αυτά έχει βρεθεί πως δεν είναι η καταλληλότερη πηγή λιπιδίων για ιχθυοτροφή αλλά αν οι βασικές απαιτήσεις λιπαρών οξέων των θαλάσσιων ψαριών καλύπτονται από άλλα διατροφικά συστατικά, το λίπος του

A. diaperinus θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως αποτελεσματική πηγή ενέργειας στη διατροφή τους.

Άξια, λοιπόν, το *A. diaperinus*, λόγω της υπεροχής του αμινικού προφίλ του και του χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος της εκτροφής του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών στην διατροφή τόσο των ανθρώπων όσο και των εκτρεφόμενων ζώων.

1.6 Σκοπός: Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να αξιολογηθεί η επίδραση διαφόρων βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, παρουσία πηγής υγρασίας, περιεκτικότητα σιτηρεσίου σε πρωτεΐνη) στην ανάπτυξη και εξέλιξη των προνυμφών *A. diaperinus*

2. Υλικά & Μέθοδοι

Έντομα

Σε όλες τις βιοδοκιμές χρησιμοποιήθηκαν προνύμφες του *A. diaperinus* από τις εκτροφές που διατηρούνται στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για την εκτροφή των εντόμων χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κουτιά (μήκος 48 cm x 28 cm πλάτος 10 cm ύψος) με ορθογώνιο άνοιγμα (19 cm x 27 cm) στο πάνω κάλυμμα για να επιτρέπεται η κυκλοφορία του αέρα και ο αερισμός της εκτροφής.

Το διατροφικό υπόστρωμα αποτελούνταν από πύουρο σίτου (90%) και ξηρή μαγιά αρτοποιίας (10%). Δύο φορές την εβδομάδα προσφέρονταν φέτες φρέσκιας πατάτας στα έντομα προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες τους σε υγρασία. Για την απόκτηση ωών και πρόσφατα εκκολαφθείσων προνυμφών, περίπου πεντακόσια (500) ενήλικα άτομα μικτού φύλου (ηλικίας <1 μηνός) μεταφέρθηκαν από την εκτροφή σε ένα πλαστικό δοχείο με εκατό (100) γραμμάρια προ-κοσκινισμένου λευκού αλευριού, προκειμένου να ζευγαρώσουν και να ωοτοκήσουν. Όπως και στην περίπτωση των προνυμφών, προσφέρθηκαν φέτες φρέσκιας πατάτας στα ενήλικα σαν πηγή υγρασίας.



Εικόνα 4: Ακμαία προς ζευγάρωμα και ωτοκία.

Μετά από τρεις (3) ημέρες, το αλεύρι κοσκινίστηκε με δύο διαφορετικά κόσκινα: ένα κόσκινο ανοίγματος 2 mm και ένα κόσκινο ανοίγματος 250 μm . Τα ενήλικα έντομα παρέμειναν στο πρώτο κόσκινο, ενώ τα ωά συλλέχθηκαν στο δεύτερο κόσκινο. Οι νεοσυσταθείσες προνύμφες (ηλικίας < 5 ημερών) που εκκολάφθηκαν από τα συλλεγμένα ωά χρησιμοποιήθηκαν για πειραματισμό. Όλες οι εκτροφές του *A. diaperinus* διατηρούνταν σε σταθερές συνθήκες, συγκεκριμένα 26 °C, 55 \pm 5% σχετική υγρασία (r.h.) και συνεχές σκοτάδι.

Βιοδοκιμή I : Αξιολόγηση της παρουσίας μιας πηγής υγρασίας στην ανάπτυξη των προνυμφών *A. diaperinus*

Σε μια πρώτη σειρά βιοδοκιμών, αξιολογήθηκε η επίδραση της παρουσίας μιας πηγής υγρασίας στην ανάπτυξη και εξέλιξη των προνυμφών του *A. diaperinus*. Σε πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια (7,5 cm σε διάμετρο, 8,8 cm σε ύψος) τοποθετήθηκε 1 g πίτουρου σίτου. Στη συνέχεια, μια ομάδα πενήντα (50) πρόσφατα εκκολαφθείσων προνυμφών, που συλλέχθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, μεταφέρθηκε σε κάθε φιαλίδιο. Κάθε ομάδα προνυμφών ζυγίστηκε στην αρχή του πειράματος και καταγράφηκε το αρχικό τους βάρος. Υπήρχαν δύο μεταχειρίσεις: στα μισά φιαλίδια προσφέρονταν στις προνύμφες φρέσκες φέτες καρότου (0,6 \pm 0,1 g) σαν πηγή υγρασίας τρεις φορές την εβδομάδα, ενώ κάθε φορά αφαιρούνταν τα παλιά κομμάτια καρότου.

Στα υπόλοιπα φιαλίδια δεν προσφέρθηκε καρότο στις προνύμφες. Οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν αδιατάρακτα για τέσσερις (4) εβδομάδων. Τα φιαλίδια ελέγχονταν

τρεις φορές την εβδομάδα για την κατανάλωση της τροφής ώστε να αποτραπεί η εξάντληση της από τις προνύμφες. Εάν η τροφή εξαντλούνταν, προστίθονταν νέα ποσότητα τροφής, αφού πρώτα είχε καταγραφεί το βάρος της. Μετά το διάστημα των τεσσάρων εβδομάδων, οι προνύμφες διαχωρίζονταν από το υπόστρωμα εκτροφής τους και καταγράφονταν το συνολικό τους βάρος σαν ομάδα αλλά και η επιβίωση τους. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνονταν κάθε δύο εβδομάδες μέχρι την εμφάνιση της πρώτης πούπας.

Για κάθε μεταχείριση υπήρχαν 6 επαναλήψεις. Ο χρόνος ανάπτυξης υπολογίστηκε, ως ο αριθμός ημερών μεταξύ της έναρξης του πειράματος και της ημέρας δημιουργίας - εμφάνισης της πρώτης πούπας σε κάθε φιαλίδιο. Τα δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση τροφής και το βάρος των προνυφών χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων αξιοποίησης της τροφής, όπως αυτές περιγράφονται από τον Waldbauer (1968). Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (Feed Conversion Ratio, FCR), δηλαδή η ποσότητα τροφής που απαιτείται (σε kg) για την επίτευξη αύξησης βάρους ενός κιλού του εκτρεφόμενου εντόμου, σύμφωνα με τον τύπο (Εξίσωση 1):

$$1) \text{ Feed conversion ration (FCR)} = \frac{\text{Ποσότητα τροφής που καταναλώθηκε}}{\text{Αύξηση βάρους εντόμου}}$$

Επίσης, υπολογίστηκε ο συντελεστής μετατροπής της προσληφθείσας τροφής [Efficiency of Conversion of Ingested food (ECI)], σύμφωνα με τον τύπο (Εξίσωση 2):

$$2) \text{ Efficiency of Conversion of Ingested food (ECI)} = \frac{\text{Αύξηση βάρους εντόμου}}{\text{Ποσότητα τροφής}} \times 100\%$$

Βιοδοκιμή II: Επίδραση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στην ανάπτυξη των προνυμφών *A. diaperinus*

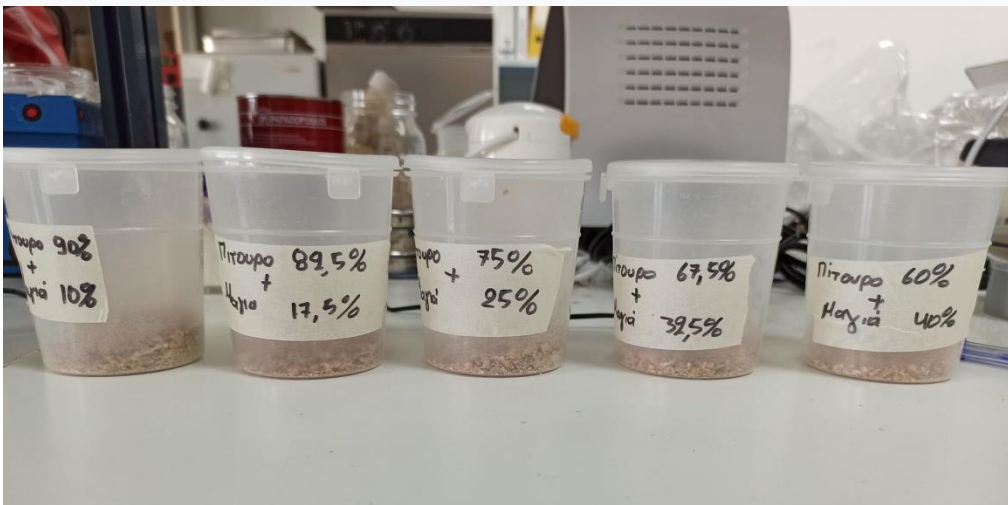
Σε μια δεύτερη σειρά βιοδοκιμών, αξιολογήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στην ανάπτυξη και εξέλιξη των προνυμφών *A. diaperinus*. Συγκεκριμένα, δοκιμάστηκαν τρεις θερμοκρασίες (25, 30 και 32 ° C) και δύο επίπεδα σχετικής υγρασίας (55 και 75%). Ο πειραματικός σχεδιασμός που περιγράφεται στη Βιοδοκιμή I ακολουθήθηκε και σε αυτήν τη σειρά βιοδοκιμών, με τη διαφορά ότι σε όλες τις

μεταχειρίσεις προσφέρονταν φρέσκες φέτες καρότου ($0,6 \pm 0,1$ g) σαν πηγή υγρασίας τρεις φορές την εβδομάδα.

Βιοδοκιμή III: Επίδραση της περιεκτικότητας του τροφικού υποστρώματος σε πρωτεΐνη στην ανάπτυξη των προνυμφών *A. diaperinus*

Σε αυτήν τη σειρά βιοδοκιμών, σχεδιάστηκαν και αξιολογήθηκαν δίαιτες με διαφορετικά ποσοστά περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη. Σαν πηγή πρωτεΐνης χρησιμοποιήθηκε ξηρή μαγιά αρτοποιίας (Dry Instant Yeast Angel Yeast Co., Ltd.). Η περιεκτικότητα της συγκεκριμένης μαγιάς σε πρωτεΐνη, λίπος και τέφρα ήταν 50, 1,7 και 6,7% αντίστοιχα, ενώ η ενέργεια της ήταν 19.9 KJ/g. Οι δίαιτες που σχεδιάστηκαν περιείχαν πίτουρου σίτου και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%). Με βάση την περιεκτικότητα του πίτουρου και της μαγιάς σε πρωτεΐνη υπολογίστηκε η περιεκτικότητα των διαίτων σε πρωτεΐνη, η οποία ήταν 16,7, 20,0, 22,5, 25,0, 27,5 και 30%, αντίστοιχα.

Ο ίδιος πειραματικός σχεδιασμός που περιγράφηκε στην Βιοδοκιμή I χρησιμοποιήθηκε και σε αυτή τη σειρά βιοδοκιμών με τη διαφορά ότι σε όλες τις μεταχειρίσεις γίνονταν προσθήκη καρότου.

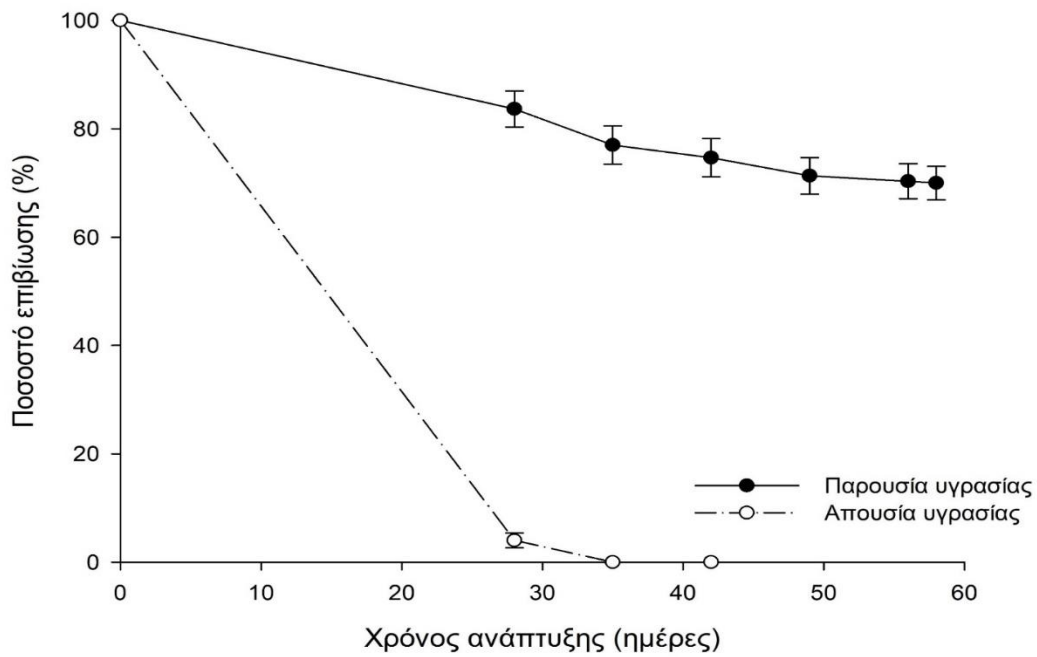


Εικόνα 6: Φιαλίδια Βιοδοκιμής III

3. Αποτελέσματα

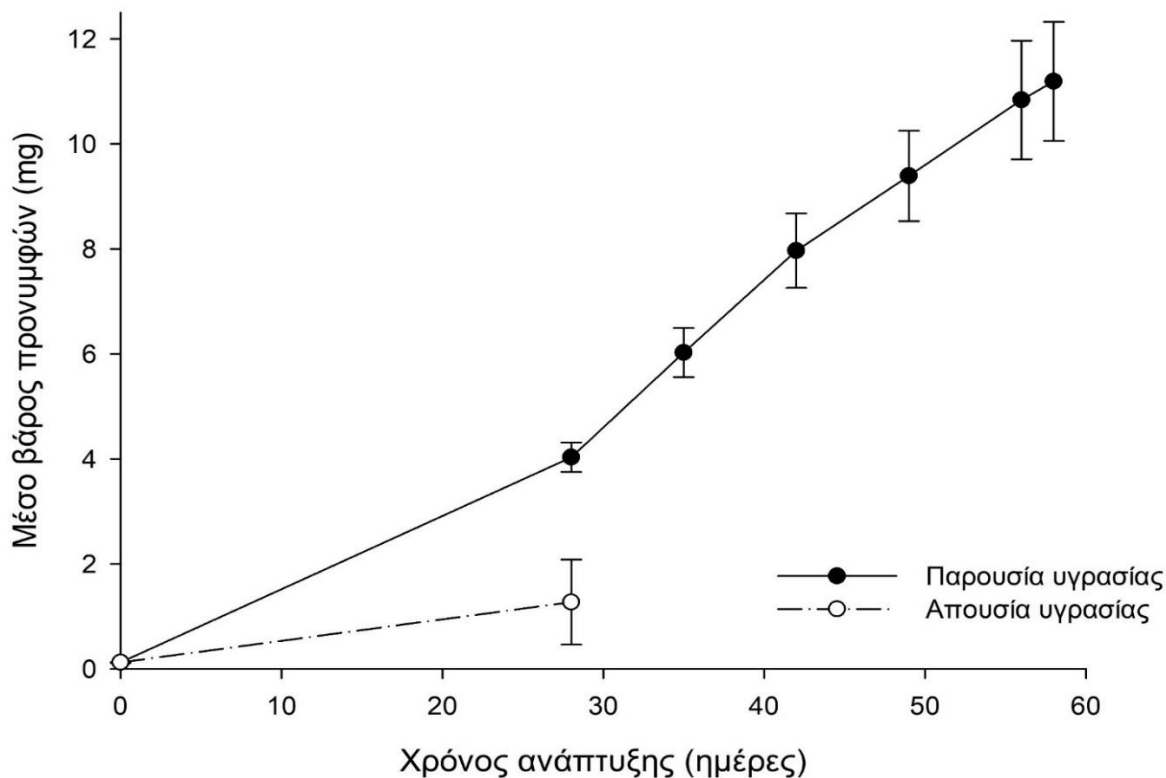
3.1. Βιοδοκιμή I: Αξιολόγηση της παρουσίας ή απουσίας μιας πηγής υγρασίας στην ανάπτυξη των προνυμφών *A. diaperinus*

Τα ποσοστά επιβίωσης (%) των προνυμφών του *A. diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε πίτουρο σιταριού παρουσία ή απουσία υγρασίας παρουσιάζονται γραφικά στο Γράφημα 1. Απουσία υγρασίας μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό προνυμφών (4%) επιβίωσε 4 εβδομάδες μετά την έναρξη της βιοδοκιμής, ενώ όλες οι προνύμφες ήταν νεκρές μετά από 5 εβδομάδες. Αντίθετα, η παρουσία υγρασίας με τη μορφή των φετών καρότου επέδρασε θετικά στην επιβίωση των προνυμφών του *A. diaperinus*, καθώς ακόμα και στο τέλος της βιοδοκιμής μετά από 10 εβδομάδες το ποσοστό επιβίωσης ήταν 70%. Η ανάπτυξη των προνυμφών και η αύξηση του βάρους τους παρουσιάζεται στο Γράφημα 2. Παρουσία καρότου το μέσο βάρος των προνυμφών αυξανόταν σταδιακά με το χρόνο για να φθάσει τα 11,2 (\pm 1,1) mg κατά το τέλος της βιοδοκιμής. Απουσία υγρασία οι λιγοστές προνύμφες που επιβίωσαν 4 εβδομάδες μετά την έναρξη της βιοδοκιμής είχαν μέσο βάρος 1,3 (\pm 0,8) mg. Κατά την επόμενη όμως αξιολόγηση (5 εβδομάδες) όλες οι προνύμφες ήταν νεκρές. Ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών, ο χρόνος δηλαδή από την έναρξη της βιοδοκιμής μέχρι την εμφάνιση της πρώτης πούπας, ήταν 58,3 (\pm 3,6) ημέρες παρουσία υγρασίας, ενώ απουσία υγρασίας καμία προνύμφη δεν κατάφερε να νυμφωθεί.



Γράφημα 1. Ποσοστό επιβίωσης (%) των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε πίτουρο σιταριού παρουσία ή απουσία υγρασίας (n = 6).

Παρουσία υγρασίας ο Δείκτης Μετατρεψιμότητας της Τροφής (FCR) ήταν 2,9 (\pm 0,4) και ο Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR) ήταν 7,8% (\pm 0,6).



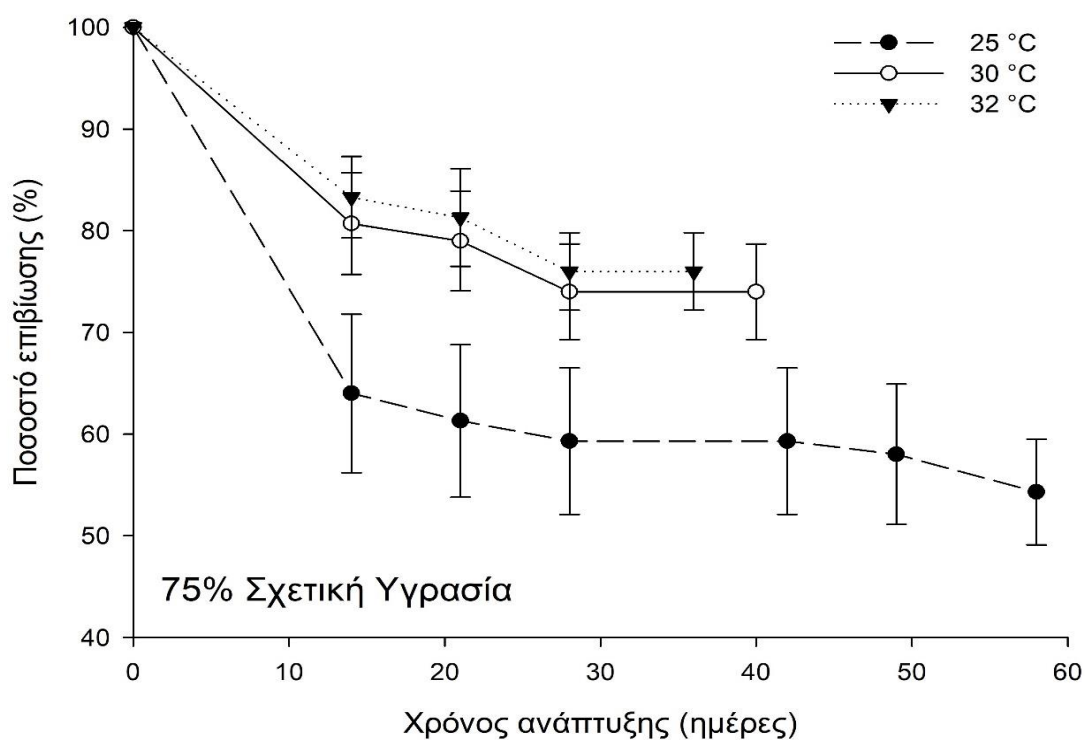
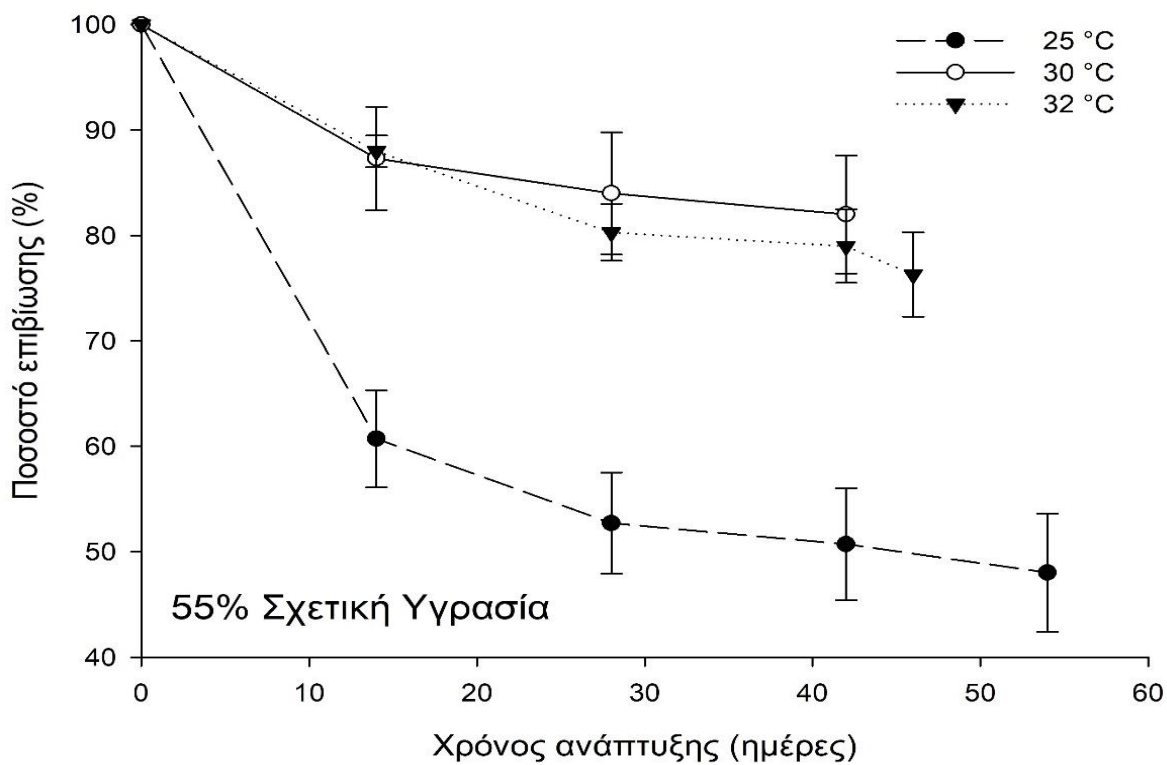
Γράφημα 2. Μέσο βάρος (mg) των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε πίτουρο σιταριού παρουσία ή απουσία υγρασίας (n = 6).

3.2. Βιοδοκιμή II: Επίδραση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στην ανάπτυξη των προνυμφών *A. diaperinus*

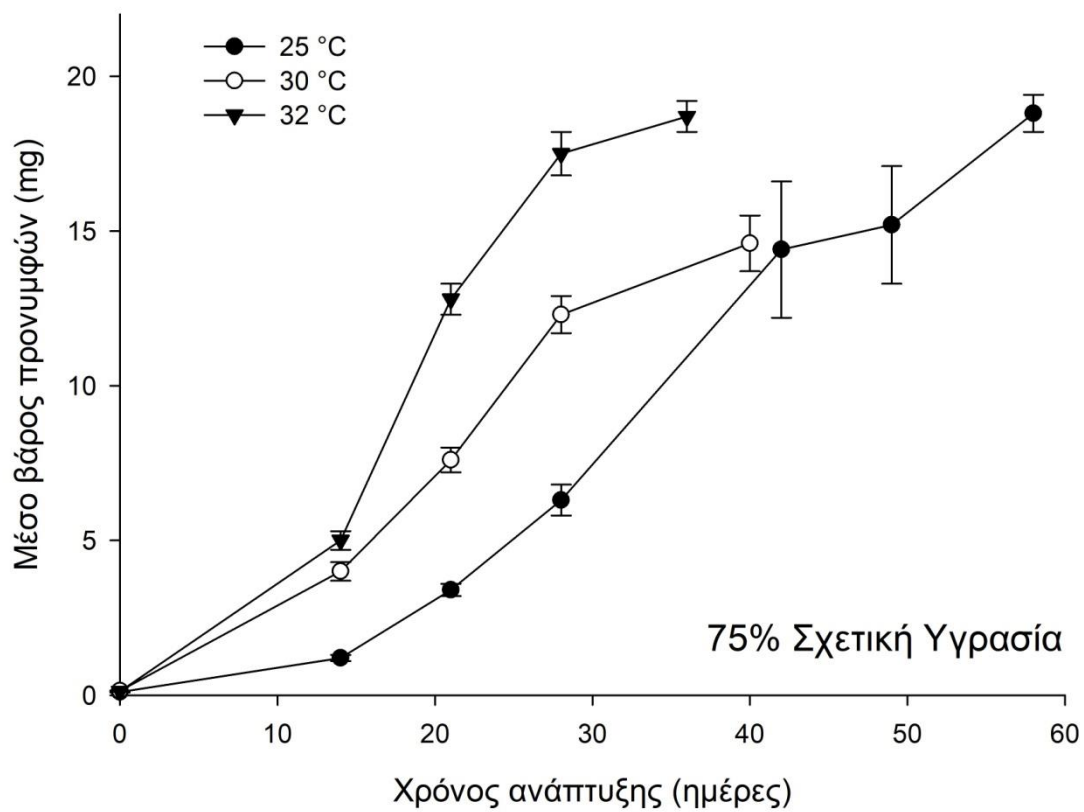
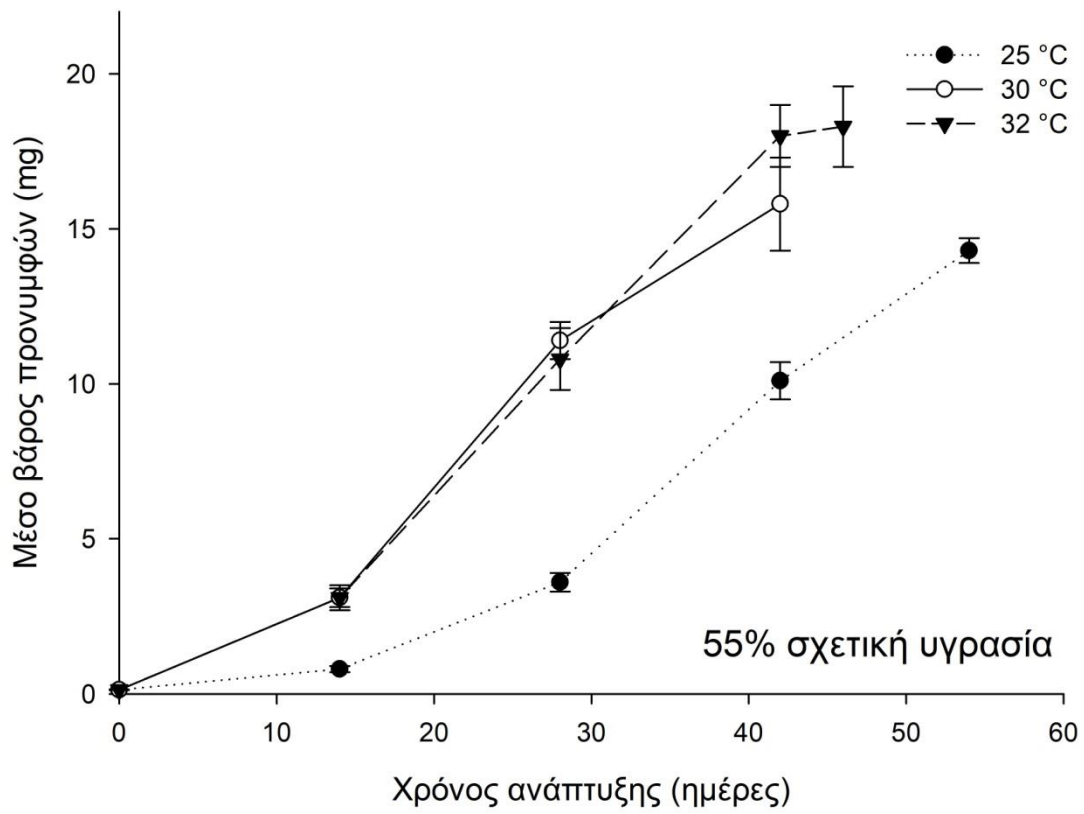
Τα ποσοστά επιβίωσης (%) των προνυμφών του *A. diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και σε 55 και 75% σχετική υγρασία σε πίτουρο σιταριού παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 3 και στο Γράφημα 3. Σε 55% σχετική υγρασία τα μεγαλύτερα ποσοστά επιβίωσης των προνυμφών καταγράφηκαν στους 30 και 32 °C, καθώς ακόμα και στο τέλος της βιοδοκιμής τα ποσοστά επιβίωσης ήταν 80 και 76%, αντίστοιχα. Αντίθετα, στους 25 °C καταγράφηκαν μικρότερα ποσοστά επιβίωσης, καθώς ακόμα και 4 εβδομάδες μετά την έναρξη της βιοδοκιμής μόνο το 60% των προνυμφών ήταν ζωντανό, ενώ στο τέλος της βιοδοκιμής το ποσοστό επιβίωσης έπεσε στο 48%. Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και σε 75% σχετική υγρασία,

όπου καταγράφηκαν ποσοστά επιβίωσης 74 και 76% στο τέλος της βιοδοκιμής στους 30 και 32 °C, αντίστοιχα, ενώ μόλις 54% των προνυμφών ήταν ζωντανό στους 25 °C.

Το μέσο βάρος των προνυμφών του *A. diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και σε 55 και 75% σχετική υγρασία σε πίτουρο σιπarioύ παρουσιάζονται στους Πίνακες 2 και 4 και στο Γράφημα 4. Σε 55% σχετική υγρασία το μεγαλύτερο βάρος των προνυμφών κατά την ολοκλήρωση της βιοδοκιμής καταγράφηκε στους 32 °C ($18,3 \pm 1,3$ mg), ενώ στους 25 και 30 °C, το τελικό μέσο βάρος των προνυμφών ήταν $14,3 (\pm 0,4)$ και $15,8 (\pm 1,5)$ mg, αντίστοιχα. Σε 75% σχετική υγρασία, το μέσο βάρος των προνυμφών ήταν $18,8 (\pm 0,6)$, $14,6 (\pm 0,9)$ και $18,7 (\pm 0,5)$ mg στους 25, 30 και 32 °C, αντίστοιχα.



Γράφημα 3. Ποσοστό επιβίωσης (% , ± Τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και σε 55% (επάνω γράφημα) και 75% σχετική υγρασία (κάτω γράφημα) σε πίτουρο σιταριού (n = 6).



Γράφημα 4. Μέσο βάρος (mg, \pm Τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και σε 55% (πάνω γράφημα) και 75% σχετική υγρασία (κάτω γράφημα) σε πίτουρο σιταριού (n = 6)

Πίνακας 1. Ποσοστό επιβίωσης (% , \pm τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και 55% σχετική υγρασία σε πίτουρο σιταριού.

| Θερμοκρασία – Σχετική υγρασία | Έναρξη | Εβδομάδα 2 | Εβδομάδα 4 | Εβδομάδα 6 | Εβδομάδα 8 | Εβδομάδα 10 |
|----------------------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 25 °C – 55% | 100,0 \pm 0,0 | 60,7 \pm 4,6 b | 52,7 \pm 4,8 b | 50,7 \pm 5,3 b | 48,7 \pm 5,6 b | 48,0 \pm 5,8 b |
| 30 °C – 55% | 100,0 \pm 0,0 | 87,3 \pm 4,9 a | 84,0 \pm 5,8 a | 82,0 \pm 5,6 a | 80,0 \pm 5,3 a | 80,0 \pm 5,3 a |
| 32 °C – 55% | 100,0 \pm 0,0 | 88,0 \pm 1,5 a | 80,3 \pm 2,7 a | 79,0 \pm 3,5 a | 76,3 \pm 4,0 a | 76,0 \pm 4,3 a |

Για κάθε διάστημα αξιολόγησης (Εβδομάδα 2, 4, 6, 8 και 10) μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (n = 6; df = 2; P = 0.05).

Πίνακας 2. Μέσο βάρος (mg, \pm τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και 55% σχετική υγρασία σε πίτουρο σιταριού (n = 6).

| Θερμοκρασία – Σχετική υγρασία | Ένα ρξη | Εβδομ άδα 2 | Εβδομ άδα 4 | Εβδομ άδα 6 | Εβδομ άδα 8 | Εβδομ άδα 10 |
|-------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 25 °C – 55% | 0,13 ± 0,01 | 0,8 ± 0,1 a | 3,6 ± 0,3 b | 10,1 ± 0,6 b | 13,5 ± 0,7 b | 14,3 ± 0,4 |
| 30 °C – 55% | 0,13 ± 0,01 | 3,1 ± 0,3 b | 11,4 ± 0,6 a | 16,3 ± 1,6 a | 15,8 ± 1,5 ab | 15,8 ± 1,5 |
| 32 °C – 55% | 0,13 ± 0,01 | 3,1 ± 0,4 b | 10,8 ± 1,0 a | 18,0 ± 1,0 a | 18,1 ± 1,3 a | 18,3 ± 1,3 |

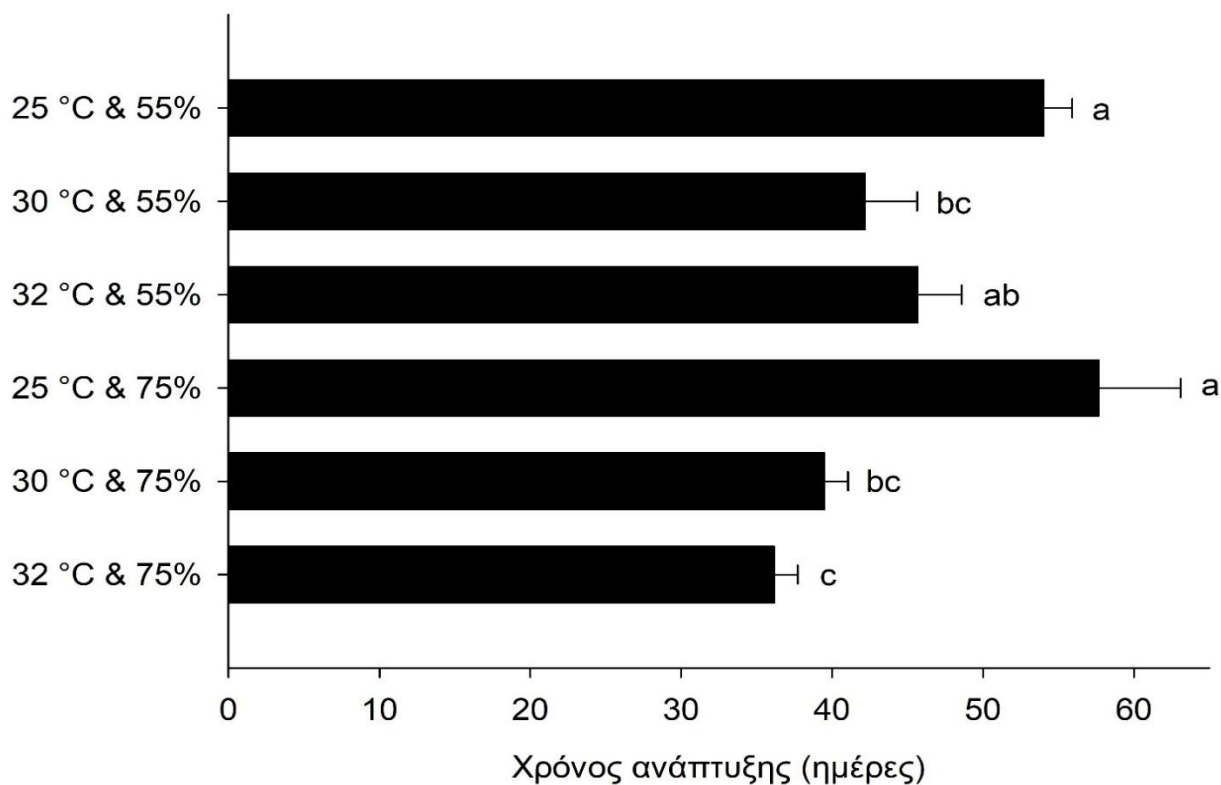
Για κάθε διάστημα αξιολόγησης (Εβδομάδα 2, 4, 6, 8 και 10) μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους ($n = 6$; $df = 2$; $P = 0.05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Πίνακας 3. Ποσοστό επιβίωσης (% , ± τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και 75% σχετική υγρασία σε πίτουρο σιταριού ($n = 6$).

| Θερμοκρασία – Σχετική υγρασία | Έναρξη | Εβδομάδα 2 | Εβδομάδα 3 | Εβδομάδα 4 | Εβδομάδα 6 | Εβδομάδα 7 | Εβδομάδα 8 | Εβδομάδα 10 |
|--|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 25 °C – 75% | 100,0 ± 0,0 | 64,0 ± 7,8 | 61,3 ± 7,5 | 59,3 ± 7,2 | 59,3 ± 7,2 | 58,0 ± 6,9 | 56,0 ± 6,3 | 54,3 ± 5,2 |
| 30 °C – 75% | 100,0 ± 0,0 | 80,7 ± 5,0 | 79,0 ± 4,9 | 74,0 ± 4,7 | 74,0 ± 4,7 | | | |
| 32 °C – 75% | 100,0 ± 0,0 | 83,3 ± 4,0 | 81,3 ± 4,8 | 76,0 ± 3,8 | 76,0 ± 3,8 | | | |

Για κάθε διάστημα αξιολόγησης (Εβδομάδα 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 και 10) δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($n = 6$; $df = 2$; $P = 0.05$).

Οι χρόνοι ανάπτυξης, εκφρασμένοι σε ημέρες, των προνυμφών του *A. diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και σε 55 και 75% σχετική υγρασία σε πίτουρο σιταριού παρουσιάζονται στο Γράφημα 4.



Γράφημα 4. Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες, \pm τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και σε δύο επίπεδα σχετικής υγρασίας [55% (αριστερό γράφημα) και 75% (δεξιό γράφημα)] (σε πίτουρο σιταριού (n = 6).

Ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών επηρεάστηκε στατιστικώς σημαντικά από τις συνθήκες ανάπτυξης (θερμοκρασία, σχετική υγρασία) (Mantel–Cox $\chi^2 = 31.1$, df = 5, P<0.001) και κυμάνθηκε μεταξύ 36 and 57 ημερών μεταξύ των μεταχειρίσεων (Γράφημα 4). Και στα δύο επίπεδα σχετικής υγρασίας που αξιολογήθηκαν ο μεγαλύτερος χρόνος ανάπτυξης καταγράφηκε στους 25 °C και ανήλθε σε 54 και 57 ημέρες σε 55 και 75% σχετική υγρασία, αντίστοιχα. Αντίθετα, ο μικρότερος χρόνος ανάπτυξης καταγράφηκε στους 32 °C και 75% σχετική υγρασία.

Ο Δείκτης Μετατρεψιμότητας της Τροφής (FCR), ο Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR) και η συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου στις διάφορες μεταχειρίσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Δείκτης Μετατρεψιμότητας της Τροφής (FCR), ο Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR, %) και η Συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου (mg) (\pm τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C) και σε δύο επίπεδα σχετικής υγρασίας [55% (αριστερό γράφημα) και 75% (δεξιό γράφημα)] (σε πίτουρο σιταριού (n = 6).

| Θερμοκρασία / Σχετική υγρασία | Δείκτης Μετατρεψιμότητας της Τροφής(FCR) | Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR) | Συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου (mg) |
|----------------------------------|--|------------------------|--|
| 25 °C – 55% | 4,3 \pm 0,6 a | 8,8 \pm 0,3 c | 317,8 \pm 37,9 b |
| 30 °C – 55% | 2,2 \pm 0,2 b | 11,6 \pm 1,0 abc | 589,3 \pm 58,1 a |
| 32 °C – 55% | 2,0 \pm 0,2 b | 11,0 \pm 0,8 bc | 654,4 \pm 55,0 a |
| 25 °C – 75% | 3,9 \pm 0,5 a | 9,4 \pm 0,8 bc | 483,7 \pm 58,3 ab |

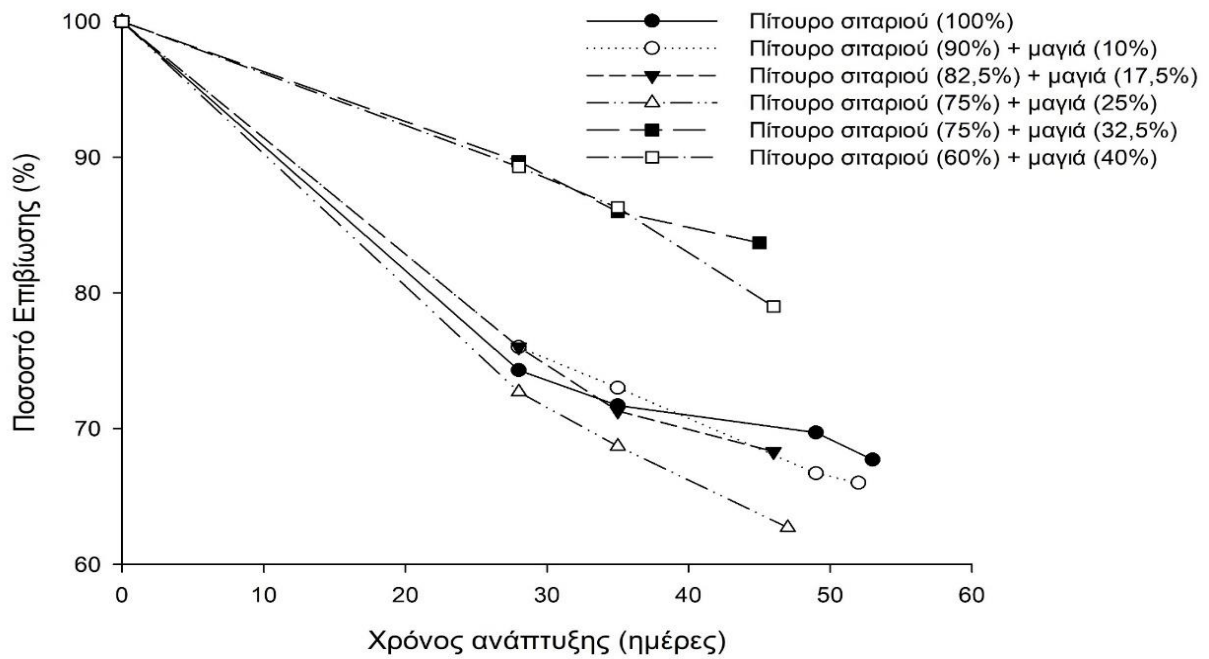
| | | | |
|-------------|--------------|---------------|-----------------|
| 30 °C – 75% | 3,1 ± 0,3 ab | 11,9 ± 0,4 ab | 513,0 ± 46,1 ab |
| 32 °C – 75% | 2,2 ± 0,1 b | 14,2 ± 0,7 a | 688,8 ± 38,2 a |

Για κάθε στήλη (FCR, SGR, Συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου), μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα ή αστερίσκοι, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

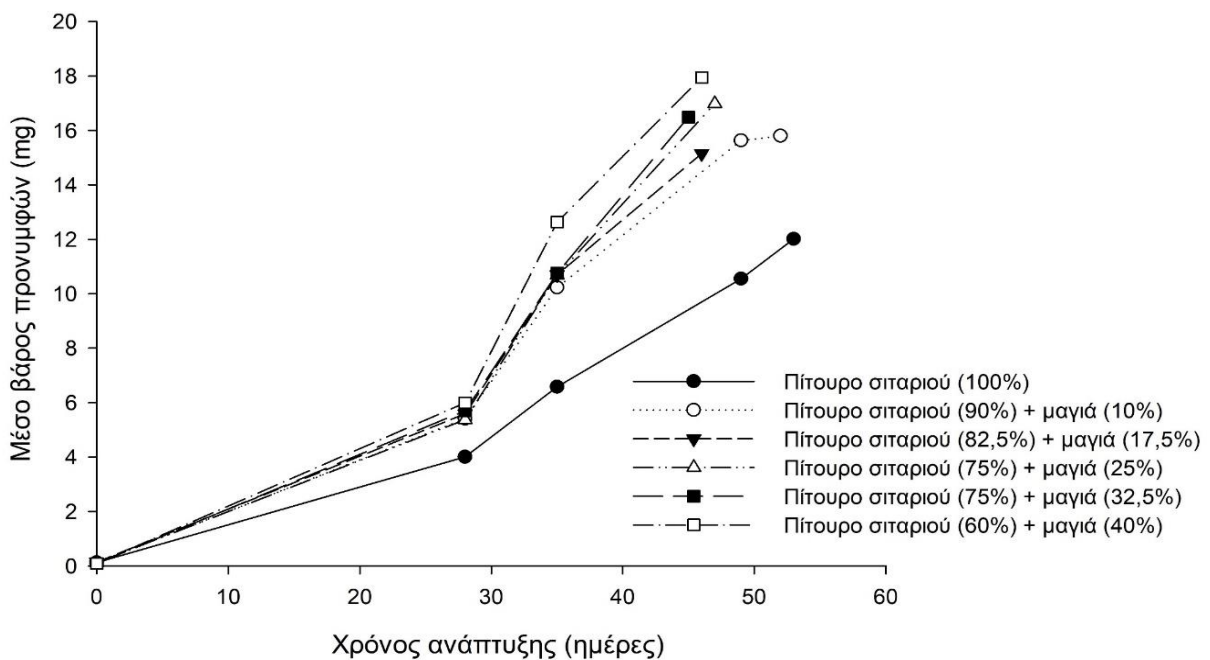
Και στα δύο επίπεδα υγρασίας, ο Δείκτης FCR πήρε τη μέγιστη τιμή τους στους 25 °C (4,3 και 3,9 σε 55 και 75% σχετική υγρασία, αντίστοιχα), που υποδηλώνει την λιγότερο αποτελεσματική μετατρεψιμότητα της τροφής στη θερμοκρασία αυτή. Ομοίως, ο Ρυθμός Ανάπτυξης SGR πήρε τη χαμηλότερη τιμή τους στους 25 °C και στα δύο επίπεδα υγρασίας (8,8 και 9,4% σε 55 και 75% σχετική υγρασία, αντίστοιχα) και την υψηλότερη τιμή του (14,2%) στους 32 °C και 75% σχετική υγρασία. Τέλος, αναφορικά με τη συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου, αυτή ήταν μέγιστη στους 32 °C και 75% σχετική υγρασία (689 mg) και ελάχιστη στους 25 °C και 75% σχετική υγρασία (318 mg).

3.3. Βιοδοκιμή III: Επίδραση της περιεκτικότητας του τροφικού υποστρώματος σε πρωτεΐνη στην ανάπτυξη των προνυμφών *A. diaperinus*

Τα ποσοστά επιβίωσης (%) και το μέσο βάρος των προνυμφών του *A. diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε διαφορετικά διατροφικά μίγματα με βάση το πύτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%) παρουσιάζονται γραφικά στα Γραφήματα 5 και 6 και αναλυτικά στους Πίνακες 7 και 8. Με βάση τα αποτελέσματα η προσθήκη μαγιάς στο σιτηρέσιο βελτίωσε σε γενικές γραμμές την επιβίωση και ανάπτυξη των προνυμφών. Συγκεκριμένα, τα μεγαλύτερα ποσοστά επιβίωσης των προνυμφών καταγράφηκαν στα σιτηρέσια με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μαγιά (32,5 και 40%), τα οποία αντιστοιχούσαν και στην μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, δηλαδή 27,5 και 30%, αντίστοιχα. Στα δύο αυτά σιτηρέσια η επιβίωση στο τέλος της βιοδοκιμής ήταν της τάξης του 80%, ενώ στα υπόλοιπα σιτηρέσια το ποσοστό επιβίωσης κυμάνθηκε μεταξύ 62 και 68%. Αντίστοιχα, το μικρότερο και μεγαλύτερο μέσο τελικό βάρος των προνυμφών καταγράφηκε στο σιτηρέσιο με το μικρότερο (πίτουρο σιταριού 100%) και το μεγαλύτερο ποσοστό πρωτεΐνης (πίτουρο σιταριού 60% + μαγιά 40%) και ήταν 12,0 και 17,9 mg, αντίστοιχα.

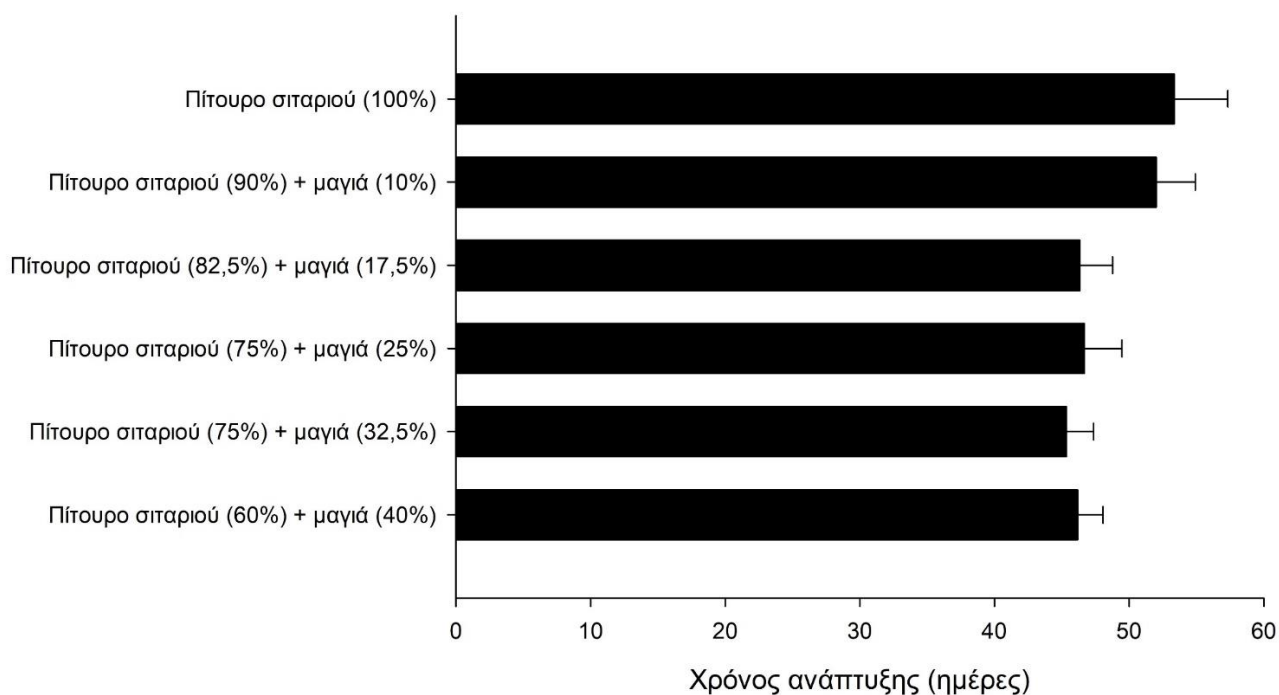


Γράφημα 5. Ποσοστό επιβίωσης (%) των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε διατροφικά μίγματα με βάση το πύτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%) (n = 6).



Γράφημα 6. Μέσο βάρος (mg) των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε διατροφικά μίγματα με βάση το πύτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%) (n = 6).

Ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών δεν επηρεάστηκε στατιστικώς σημαντικά αλλά επηρεάστηκε από την περιεκτικότητα του σιτηρεσίου σε πρωτεΐνη (Mantel–Cox $\chi^2 = 6,2$; $df = 5$; $P=0,285$) και κυμάνθηκε μεταξύ 45 και 53 ημερών για τις διάφορες μεταχειρίσεις (Γράφημα 7).



Γράφημα 7. Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες) των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε διατροφικά μίγματα με βάση το πίτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%) ($n = 6$).

Ο Δείκτης Μετατρεψιμότητας της Τροφής (FCR), ο Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR) και η Συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου στα διατροφικά μίγματα με βάση το πίτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%) παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Ο δείκτης FCR πήρε τις μικρότερες τιμές του στα υποστρώματα με 32,5 και 40% μαγιά (1,6 και 1,5, αντίστοιχα) και ήταν στατιστικά σημαντικά μικρότερος από τον δείκτη στη μεταχείριση μόνο με πίτουρο (3,1). Ομοίως, η σταδιακή αύξηση της μαγιάς στο υπόστρωμα βελτίωσε και το Ρυθμό Ανάπτυξης, ο οποίος πήρε τη μεγαλύτερη τιμή του στα υποστρώματα με 32,5 και 40% μαγιά. Στα δύο αυτά υποστρώματα παράχθηκε και η μεγαλύτερη ποσότητα εντόμων, η οποία ήταν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερη από την βιομάζα εντόμων που παράχθηκε στο πίτουρο.

Πίνακας 6. Δείκτης Μετατρεψιμότητας της Τροφής (FCR), ο Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR, %) και η Συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου (mg) (\pm τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε διατροφικά μίγματα με βάση το πύτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%) (n = 6).

| Θερμοκρασία / Σχετική υγρασία | Δείκτης Μετατρεψιμότητας της Τροφής(FCR) | Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR) | Συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου |
|----------------------------------|--|------------------------------|---|
| Πύτουρο σιταριού (100%) | 3,1 \pm 0,7 a | 14,7 \pm 0,5 c | 384,4 \pm 58,6 b |
| Πύτουρο (90%) + μαγιά (10%) | 2,1 \pm 0,2 ab | 15,5 \pm 0,7 bc | 491,5 \pm 49,4 ab |
| Πύτουρο (82,5%) + μαγιά (17,5%) | 2,2 \pm 0,3 ab | 16,8 \pm 0,7 abc | 493,8 \pm 54,5 ab |
| Πύτουρο (75%) + μαγιά (25%) | 2,3 \pm 0,4 ab | 17,5 \pm 0,5 ab | 503,3 \pm 75,9 ab |
| Πύτουρο (75%) + μαγιά (32,5%) | 1,6 \pm 0,1 b | 18,5 \pm 0,4 a | 660,1 \pm 43,7 a |
| Πύτουρο (60%) + μαγιά (40%) | 1,5 \pm 0,1 b | 18,3 \pm 0,5 a | 683,1 \pm 38,3 a |

Για κάθε στήλη (FCR, SGR, Συνολικά παραγόμενη βιομάζα εντόμου), μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα ή αστερίσκοι, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 7. Ποσοστό επιβίωσης (%), \pm Τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε διατροφικά μίγματα με βάση το πύτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%) (n = 6).

| Υπόστρωμα | Έναρξη | Εβδομάδα 4 | Εβδομάδα 5 | Εβδομάδα 7 | Εβδομάδα 8 | Εβδομάδα 9 |
|---|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| Πίτουρο σπαριού (100%) | 100,0 ± 0,0 | 74,3 ± 8,0 | 71,7 ± 7,9 | 69,7 ± 8,7 | 68,3 ± 8,3 | 67,7 ± 8,1 |
| Πίτουρο σπαριού (90%) + μαγιά (10%) | 100,0 ± 0,0 | 76,0 ± 5,2 | 73,0 ± 6,6 | 66,7 ± 7,2 | 66,7 ± 7,2 | 66,0 ± 6,9 |
| Πίτουρο σπαριού (82,5%) + μαγιά (17,5%) | 100,0 ± 0,0 | 76,0 ± 6,9 | 71,3 ± 7,5 | 68,3 ± 6,9 | 68,3 ± 6,9 | |
| Πίτουρο σπαριού (75%) + μαγιά (25%) | 100,0 ± 0,0 | 72,7 ± 9,8 | 68,7 ± 10,4 | 63,3 ± 9,5 | 62,7 ± 9,4 | |
| Πίτουρο σπαριού (75%) + μαγιά (32,5%) | 100,0 ± 0,0 | 89,7 ± 4,3 | 86,0 ± 4,9 | 83,7 ± 6,0 | | |
| Πίτουρο σπαριού (60%) + μαγιά (40%) | 100,0 ± 0,0 | 89,3 ± 5,3 | 86,3 ± 4,6 | 79,0 ± 4,4 | | |

Πίνακας 8. Μέσο βάρος (mg, \pm Τυπικό Σφάλμα) των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* που αναπτύχθηκαν σε διατροφικά μίγματα με βάση το πίτουρο σιταριού και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς (0, 10, 17,5, 25, 32,5 και 40%) (n = 6).

| Υπόστρωμα | Έναρξη | Εβδομάδα 4 | Εβδομάδα 5 | Εβδομάδα 7 | Εβδομάδα 8 | Εβδομάδα 9 |
|--|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Πίτουρο σιταριού (100%) | 0,13 \pm 0,03 | 4,0 \pm 0,3 | 6,6 \pm 0,6 | 10,6 \pm 0,9 | 11,6 \pm 0,9 | 12,0 \pm 0,9 |
| Πίτουρο σιταριού (90%) + μαγιά (10%) | 0,11 \pm 0,01 | 5,4 \pm 0,2 | 10,2 \pm 0,6 | 15,6 \pm 0,7 | 15,7 \pm 0,7 | 15,8 \pm 0,7 |
| Πίτουρο σιταριού (82,5%) + μαγιά (17,5%) | 0,14 \pm 0,2 | 5,6 \pm 0,4 | 10,7 \pm 1,2 | 15,4 \pm 0,7 | 15,2 \pm 0,6 | |
| Πίτουρο σιταριού (75%) + μαγιά (25%) | 0,12 \pm 0,03 | 5,4 \pm 0,6 | 10,7 \pm 1,6 | 16,8 \pm 0,6 | 17,0 \pm 0,7 | |
| Πίτουρο σιταριού (75%) + μαγιά (32,5%) | 0,09 \pm 0,02 | 5,7 \pm 0,5 | 10,8 \pm 1,1 | 16,5 \pm 0,8 | | |
| Πίτουρο σιταριού (60%) + μαγιά (40%) | 0,09 \pm 0,01 | 6,0 \pm 0,7 | 12,6 \pm 1,5 | 17,9 \pm 0,3 | | |

4. Συμπεράσματα και συζήτηση

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε κι αξιολογήθηκε η επίδραση διαφόρων βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων στην ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου *A. diaperinus*. Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκε η επίδραση της παρουσίας ή απουσίας υγρασίας, της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, καθώς και της περιεκτικότητας του υποστρώματος εκτροφής σε πρωτεΐνη.

Με βάση τα αποτελέσματα, η παρουσία μιας πηγής υγρασίας κατά την εκτροφή επηρεάζει σημαντικά τη βιωσιμότητα και την ανάπτυξη των προνυμφών. Συγκεκριμένα, η απουσία μιας πηγής υγρασίας αποδείχθηκε ολέθρια για τις προνύμφες, οι οποίες ήταν όλες νεκρές μόλις πέντε (5) εβδομάδες μετά την έναρξη της βιοδοκιμής. Αντίθετα, παρουσία καρότου σαν πηγή υγρασίας, η ανάπτυξη των προνυμφών του *A. diaperinus* ήταν ικανοποιητική, με βάση τα ποσοστά επιβίωσης τους, την ταχύτητα ανάπτυξης τους και το συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με αυτά άλλων μελετών με το συγγενές είδος της οικογένειας Tenebrionidae, το *T. molitor*. Συγκεκριμένα, η προσθήκη καρότου κατά την εκτροφή του *T. molitor* βελτίωσε την ανάπτυξη των προνυμφών και αποδόθηκε στην λειτουργία του καρότου σαν πηγή υγρασίας (Fraenkel, 1950, Urs and Hopkins, 1973, Oonincx et al., 2015). Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για συγκεκριμένων πρωτοκόλλων εκτροφής του *A. diaperinus*, όπως έχει γίνει ήδη για τη μύγα *H. illucens* (Bosch et al., 2019), θα μπορούσαμε να συστήσουμε την προσθήκη απαραίτητα μιας πηγής υγρασίας, για παράδειγμα καρότο, πατάτα ή και άγαρ, κατά την εκτροφή των προνυμφών του *A. diaperinus*.

Η θερμοκρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους αβιοτικούς παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη των ποικιλόθερμων οργανισμών, όπως τα έντομα (Cossins and Bowler, 1987). Ο μεταβολικός ρυθμός των εντόμων εξαρτάται επίσης καθοριστικά από την θερμοκρασία (Vannote and Sweeny, 1985, Gillooly et al., 2001). Συγκεκριμένα για το *A. diaperinus*, η ταχύτητα ανάπτυξης του εντόμου έχει δειχθεί ότι είναι εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία (Rueda and Axtell, 1996). Η θερμοκρασία είναι από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του εντόμου *A. diaperinus* στα

ανώριμα στάδια της ζωής του (Rueda & Axtell, 1996). Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης στην οποία αξιολογήθηκαν τρία επίπεδα θερμοκρασίας (25, 30 και 32 °C), οι δύο τελευταίες αποδείχθηκαν ευνοϊκότερες τόσο για την επιβίωσή και την ταχύτερη ανάπτυξη των προνυμφών όσο και για την συνολικά παραγόμενη βιομάζα των εντόμων αλλά και την μετατρεψιμότητα της τροφής. Στο ίδιο συμπέρασμα είχε καταλήξει και προηγούμενη έρευνα, στην οποία αναφέρθηκε ως βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης των προνυμφών *A. diaperinus* οι 31°C, με την θερμοκρασία αυτή να σχετίζεται με πολύ υψηλό δυναμικό ανάπτυξης (Bjørge et al., 2018).

Παράλληλα με τη θερμοκρασία, και η σχετική υγρασία επηρεάζει σημαντικά τη γενική ανάπτυξη και εξέλιξη των εντόμων αφού όσο αυξάνεται το ποσοστό υγρασίας τόσο θελκτικότερο είναι το περιβάλλον για τις προνύμφες του *A. diaperinus*. Στην παρούσα έρευνα ανάμεσα στα ποσοστά 55 και 75 % καλύτερα αποτελέσματα σε επίπεδο ανάπτυξης των εντόμων επιτεύχθηκαν στο υψηλότερο ποσοστό υγρασίας σε συνδυασμό με τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Αξίζει να αναφερθεί πως παρότι δεν υπάρχουν αναφορές που να σχετίζονται με την ακριβή υγρασία που πρέπει να επικρατεί σε ένα θάλαμο εκτροφής εντόμων του είδους *A. diaperinus*, γνωρίζουμε ότι αποτελεί ένα από τα συνήθη παράσιτα των πτηνοτροφικών μονάδων, όπου αναπτύσσεται και πολλαπλασιάζεται στην στρωμνή των πτηνοτροφείων (Rumbos et al. 2018a). Η ιδανική τιμή της υγρασίας (RH) στο θάλαμο εκτροφής πτηνών πρέπει να ξεκινάει από το 70% τις πρώτες ημέρες και σταδιακά να κατεβαίνει στο 50-60%. Όταν παραμένει πάνω από το 80% για κάποιες ημέρες οδηγεί σε υγρή στρωμνή. Εφόσον, λοιπόν, το μικρό σκουλήκι των αλεύρων, ανεξαρτήτου ηλικιακού σταδίου, εντοπίζεται σε αυτές τις συνθήκες, προκύπτει πως όσο πιο υψηλή η υγρασία τόσο θελκτικότερο το περιβάλλον γι' αυτό, δικαιολογώντας την αδυναμία επιβίωσης τους σε έλλειψη υγρασίας αλλά και την ευνοϊκότερη ανάπτυξή τους στις υψηλότερες τιμές υγρασίας.

Αναφορικά με την ανάπτυξη των προνυμφών *A. diaperinus* σε υποστρώματα με βάση το πύτουρο και διαφορετικά ποσοστά μαγιάς διαπιστώθηκε ότι όσο περισσότερη ποσότητα μαγιάς είχε το υπόστρωμα τόσο καλύτερα αναπτύσσονταν οι προνύμφες. Συγκεκριμένα, στα υποστρώματα με 32.5 και

40% μαγιά, τόσο η επιβίωση όσο και η ταχύτητα ανάπτυξης ήταν εμφανώς μεγαλύτερη από αυτή στα μικρότερα ποσοστά 0, 10, 17.5, 25% μαγιάς. Αξιοσημείωτο, επίσης, είναι πως στα δύο αυτά υποστρώματα παράχθηκε και η μεγαλύτερη ποσότητα εντόμων, η οποία ήταν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ποσότητα που παράχθηκε στο πίτουρο σίτου..

Όσον αφορά στις διατροφικές προτιμήσεις, το *A. diaperinus* σχετίζεται με 89 διαφορετικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των ζωικών (π.χ. αποξηραμένα ψάρια, δέρμα και κόκκαλα ζώων) και φυτικών αποθηκευμένων προϊόντων, κυρίως σπόρους (π.χ. σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι και ρύζι) και σχετικά αμυλώδη προϊόντα (π.χ. αλεύρι και πίτουρο) (Hagstrum et al. 2013). Παρόλα αυτά σε έρευνα των Mozaffar et al. το 2004 βρέθηκε ότι το αλεύρι δημητριακών δεν ευνοεί την ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε κανένα από τα στάδια ανάπτυξης, δηλαδή την προνύμφη, την πούπα και το ακμαίο.

Λαμβάνοντας όλα τα αποτελέσματα υπόψη, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως το ιδανικότερο περιβάλλον για τη γενική ανάπτυξη κι εξέλιξη των εντόμων του είδους *A. diaperinus*, προϋποθέτει την ύπαρξη υψηλής θερμοκρασίας, της τάξεως των 30 - 32 °C καθώς και αρκετά υψηλής σχετικής υγρασίας, 75 %. Ενώ, η προσθήκη μίας επιπλέον πηγής υγρασίας, όπως το καρότο, κρίνεται σχεδόν απαραίτητη αφού ευνοεί κι ενισχύει την γρήγορη ανάπτυξη τους, τη βιωσιμότητα τους, την παραγόμενη βιομάζα τους αλλά και τη μετατρεψιμότητα της τροφής τους. Κλείνοντας, μείζονος σημασίας είναι και η προσθήκη υποστρώματος που να περιέχει υψηλά ποσοστά μαγιάς σε συνδυασμό με πίτουρο σίτου. Τα αποτελέσματα αυτά είναι πολύτιμα για τη δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος για την ταχύτερη και αποτελεσματικότερη εκτροφή προνυμφών *A. diaperinus*.

Βιβλιογραφία

- Ambühl, D., 2017. Beezza? The honeybee cook-book: an introduction to harvesting and cooking drones of the honeybee. *Skyfood Publishing, Unterterzen, Switzerland*, 136 pp.
- Athanassiou and Buchelos, 2000a. Comparison of four methods for the detection of Coleoptera adults infesting stored wheat: efficiency and detection sensitivity. *J Pest Sci* 73, 129-133.
- Athanassiou and Buchelos, 2000b. Assessment of three killing agents' impact on the capturing of Coleoptera species infesting stored wheat. *J Pest Sci* 73, 148-151.
- Athanassiou and Buchelos, 2001. Detection of stored-wheat beetle species and estimation of population density using unbaited probe traps and grain trier samples. *Entomol Exp Appl* 98, 67-78.
- Athanassiou C. G., Kavallieratos N. G., and Boukouvala M. C., 2016. Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on different commodities. *J. Stored Prod. Res.* 69: 72–77.
- Axtell R.C., 1994. Biology and economic importance of the darkling beetle in poultry houses. *Proceedings of the North Carolina State University Poultry Supervisors' Short Course*, pp. 8–17.
- Barker D., Fitzpatrick M.P., Dierenfeld E.S., 1998. Nutrient composition of selected whole invertebrates. *Zoo Biology* 17: 123–134.
- Barroso F.G., de Haro C., Sánchez-Muros M-J., Venegas E., Martínez-Sánchez A. and Pérez-Bañón C., 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422-423, 193-301.
- Bednářová M., Borkovcová M., Mlček J., Rop O. and Zeman L., 2013. Edible insects-species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*.

- Booth D.T. and Kiddell K., 2007. Temperature and the energetics of development in the house cricket (*Acheta domesticus*). *Journal of insect physiology*, 53(9), pp.950-953.
- Bosch G., Zhang S., Oonincx D.G. and Hendriks W.H., 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *Journal of nutritional science*, 3.
- Bosch G., Oonincx D.G.A.B., Jordan H.R., Zhang J., van Loon J.J.A., van Huis A., Tomberlin J.K. 2019. Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed* 6, 95 – 109.
- Bjørge J., Overgaard J., Malte H., Gianotte N., Heckmann L-H., 2018. Role of temperature on growth and metabolic rate in the tenebrionid beetles *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology*.
- Buchelos and Athanassiou, 1993. Dominance and frequency of Coleoptera found on stored cereals and cereal products in Central Greece. *Entomol Hell* 11, 17-22.
- Buchelos and Athanassiou, 1998. Beetle species in storerooms of Central and Southern Greece containing grain, flour, bran and hay: a survey of 44 species. *Ann Inst Phytopathol Benaki* 18, 129-133.
- Buchelos and Athanassiou, 1999. Unbaited probe traps and grain trier: a comparison of the two methods for sampling Coleoptera in stored barley. *J Stored Prod Res* 35, 397-404.
- Bukkens S.G., 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects. *Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails*, pp.545-577.
- Calibeo DR., 2002. Role and mitigation of two vectors of turkey coronavirus, *Musca domestica* L. and *Alphitobius diaperinus* (Panzer). *Thesis, North Carolina State University*
- Carbonaro M., Maselli P. and Nucara, A., 2012. Relationship between digestibility and secondary structure of raw and thermally treated legume proteins: a Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopic study. *Amino acids*, 43(2), pp.911-921.

- Chernaki-Leffer A.M., Biesdorf S.M., de Almeida L.M., Leffer EVB, Vigne P., 2002. Isolation of enteric and litter organisms from *Alphitobius diaperinus* in brooder chicken houses in West of Parana State, Brazil. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola* 4: 243-247.
- Cossins A.R., Bowler K., 1987. *Temperature Biology of Animals*. Springer, NL.
- De Las Casas E, Pomeroy BH, Harein P.K., 1968. Infection and quantitative recovery of *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* from within the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. *Poultry Science* 48: 1871-75.
- Esquivel J.F., Crippen T.L. and Ward L.A., 2012. Improved visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer)(Coleoptera: Tenebrionidae)—Part I: Morphological features for sex determination of multiple stadia. *Psyche*, 2012.
- FAO. 2009. How to feed the world in 2050. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf.
- FAO/WHO/UNU, 1985 FAO/WHO/UNU. (1985). Energy and protein requirements. In Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation (pp. 206). Geneva, Switzerland: Food and Agriculture Organization, World Health Organization and the United Nations University.
- Falomo A.A., 1986. The Pheromone Biology of the Lesser Mealworm *Alphitobius diaperinus* (Panzer), (Coleoptera: Tenebrionidae). *Thesis, University of Wisconsin-Madison*.
- Finke M.D., 2015. Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo Biology* 34: 554–564.
- Finke M.D. and Oonincx D.G.A.B., 2017. Nutrient content of insects. In *Insects as food and feed: from production to consumption* (pp. 290-316). Wageningen Academic Publishers.
- Food and Agriculture Organization/World Health Organization 1990. Protein quality evaluation; report of the joint FAO/WHO expert consultation. *FAO Food and Nutrition Paper 52*, Rome, Italy.

- Fraenkel G. 1950. The nutrition of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae, Coleoptera). *Physiological Zoology* 23, 92–108.
- Francisco O. and Prado A.P., 2001. Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. *Revista Brasileira de Biologia* 61: 125-131
- Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T. and Caruso G., 2018. Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. *Springer International Publishing A.G.*, p. 1-28.
- Ghaly A.E., 2009a. The black cutworm as a potential human food, *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, pp. 210-220.
- Ghaly A.E., 2009b. The use of insects as human food in Zambia, *OnLine Journal of Biological Sciences*, pp. 93-104.
- Geden C. J. and Axtell R. C., 1987. Factors affecting climbing and tunneling behavior of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology*, vol. 80, no. 6, pp. 1197–1204,.
- Gillooly J.F., Brown J.H., West G.B., Savage V.M., Charnov E.L., 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293, 2248–2251.
- Gravely E. and Fraser E., 2018. Transitions on the shopping floor: Investigating the role of Canadian supermarkets in alternative protein consumption. *Appetite*, 130, pp.146-156.
- Green M., 1980. *Alphitobius viator* Mulsant & Godart in stored products and its identification (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research* 16: 67-70
- Harein P.K., De Las Casas E., Pomeroy B.S., York M.D., 1970. Salmonella spp. and serotypes of *Escherichia coli* isolated from the lesser mealworm collected in poultry brooder houses. *Journal of Economic Entomology* 63: 80-81.
- Hartmann C. and Siegrist M., 2017. Consumer perception and behaviour regarding sustainable protein consumption: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 61, pp.11-25.

- Henry M., Gasco L., Piccolo G., Fountoulaki E., 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology* 203, 1–22.
- Hertzler S.R., Lieblein-Boff J.C., Weiler M. and Allgeier C., 2020. Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*, 12(12), p.3704.
- Hoffman J.R., Falvo M.J., 2004. Protein - Which is Best?, *J Sports Sci Med.* 3(3):118-30.
- Hosen M., Khan A.R., Hossain M., 2004. Growth and development of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera:Tenebrionidae) on cereal flours. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7: 1505-1508.
- Janssen R.H., Vincken J.P., van den Broek L.A., Fogliano V. and Lakemond, C.M., 2017. Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), pp.2275-2278.
- Jongema, Y., 2017. List of edible insect species of the world. Laboratory of Entomology, Wageningen UR, Wageningen, the Netherlands.
- Kingsolver J.G., Higgins J.K. and Augustine K.E., 2015. Fluctuating temperatures and ectotherm growth: distinguishing non-linear and time-dependent effects. *Journal of Experimental Biology*, 218(14), pp.2218-2225.
- Makkar H., Tran G., Heuzé V., Ankers P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*.
- McAllister J.C., Steelman C.D., Skeeles J.K., Newberry L.A., Gbur E.E., 1996. Reservoir competence of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Escherichia coli* (Eubacteriales: Enterobacteriaceae). *Journal of Medical Entomology* 33: 983-987.
- Mekonnen M.M. and Hoekstra A.Y., 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 2: Appendices.
- Meneguz M, Schiavone A, Gai F, Dama A, Lussiana C, Renna M, et al., 2018, Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction

efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

- Millward D.J., Layman D.K., Tomé D. and Schaafsma G., 2008. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *The American journal of clinical nutrition*, 87(5), pp.1576S-1581S.
- Mitsuhashi J., 2008. Entomophagy: human consumption of insects. *Encyclopedia of entomology*, pp.1341-1343.
- Mozaffar et al., 2004. Growth and Development of the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera:Tenebrionidae) on Cereal Flours. *Article in Pakistan Journal of Biological Sciences*.
- Nishimune T., Watanabe Y., Okazaki H. and Akai H., 2000. Thiamin is decomposed due to *Anopheles* spp. entomophagy in seasonal ataxia patients in Nigeria. *The Journal of nutrition*, 130(6), pp.1625-1628.
- Oonincx D.G., Van Isterbeeck J., Heetkamp M.J., Van Den Brand H., Van Loon J.J. and Van Huis A., 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS one*, 5(12), p.e14445.
- Oonincx D.G.A.B., Van Broekhoven S., Van Huis A., Van Loon, J.J.A. 2015. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One* 10, e0144601.
- Panzer GWF. 1797. Faunae Insectorum Germanicae initia oder Deutschlands Insecten. *Nürnberg*. Volume 37: 1-60.
- Ramos-Elorduy J., Moreno J.M.P., Prado E.E., Perez M.A., Otero J.L. and De Guevara O.L., 1997. Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of food composition and analysis*, 10(2), pp.142-157.
- Richi E.B., Baumer B., Conrad B., Darioli R., Schmid A., Keller U., 2015. Health risks associated with meat consumption: A review of epidemiological studies. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, pp. 70-78.

- Roe R.M., Clifford C.W., Woodring J.P., 1985. The effect of temperature on energy distribution during the last-larval stadium of the female house cricket, *Acheta domesticus*. *Journal of Insect Physiology*.
- Rueda L. M. and Axtell R. C., 1996. Temperature-dependent development and survival of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. *Medical and Veterinary Entomology*, vol. 10, no. 1, pp. 80–86.
- Rumbos et al., 2018. The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source? *Rev Aquacult*, doi: 10.1111/raq.12300.
- Rumbos C.I., Karapanagiotidis T.I., Mente E. and Athanassiou, C.G., 2019. The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source? *Reviews in Aquaculture*, 11, pp.1418–1437.
- Rumbos C.I., Pantazis I. and Athanassiou C.G., 2020. Population growth of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) on various commodities. *Journal of economic entomology*, 113(2), pp.1001-1007.
- Sha L. and Xiong Y.L., 2020. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*.
- Srivastava S.K., Babu N. and Pandey H., 2009. Traditional insect bioprospecting—As human food and medicine.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T.D., Castel V., Rosales M., Rosale, M. and de Haan C., 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. *Food & Agriculture Org.*
- Spilman T.J., 1991. Darkling Beetles (Tenebrionidae, Coleoptera). In *Insect and Mite Pests in Food*. (Gorham JR, ed). *United States Department of Agriculture, Agricultural Handbook 655*: 185-214, 589-598.
- Urs K.C.D., Hopkins T.L. 1973. Effect of moisture on growth rate and development of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research* 8, 291–297.
- Van Huis A., 2010. Opinion: *Bugs can solve food crisis*. The Scientist. <http://www.The-scientist.com>.

- Vannote R.L., Sweeney, B.W., 1985. Larval feeding and growth rate of the stream crane fly *Tipula abdominalis* in gradients of temperature and nutrition. Proc. Acad. Nat. Sci. Philadel. 137, 119–128.