



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ**

**Διδακτορική Διατριβή**

*Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae):  
μελέτη βιολογικών παραμέτρων και του ανταγωνισμού του  
με άλλα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα είδη εντόμων  
των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων

**Εριφίλη Π. Νίκα**

Επιβλέπων Καθηγητής

Νικόλαος Γ. Καβαλλιεράτος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Νικόλαος Γ. Καβαλλιεράτος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Γεώργιος Παπαδούλης, Καθηγητής ΓΠΑ

Ιωάννης Γιαννακού, Καθηγητής ΓΠΑ



**ΑΘΗΝΑ  
2022**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ**

**Διδακτορική Διατριβή**

*Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae):  
μελέτη βιολογικών παραμέτρων και του ανταγωνισμού του  
με άλλα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα είδη εντόμων  
των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων

*Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae):  
studying the biological parameters and competition  
with other primary and secondary stored-product insects

**Εριφίλη Π. Νίκα**

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Νικόλαος Γ. Καβαλλιεράτος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Γεώργιος Παπαδούλης, Καθηγητής ΓΠΑ

Ιωάννης Γιαννακού, Καθηγητής ΓΠΑ

Γεώργιος Κολιόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Αντώνιος Τσαγκαράκης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Χρυσοβαλάντης Μαλέσιος, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Γεώργιος Μπρούφας, Καθηγητής Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

***Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae): μελέτη βιολογικών παραμέτρων και του ανταγωνισμού του με άλλα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα είδη εντόμων των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων**

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής  
Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας & Εντομολογίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αξιολογήθηκε η επίδραση του σιμιγδαλιού, του σπασμένου σίτου, του αλεύρου αραβοσίτου, του σπασμένου αραβοσίτου, των νιφάδων βρώμης, του αλεύρου κριθής ολικής αλέσεως και της σπασμένης κριθής, στην αναπτυξιακή και αναπαραγωγική βιολογία του οδοντωτού σκαθαριού των σπόρων, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae). Το έντομο ολοκλήρωσε την ανάπτυξή του σε όλες τις προαναφερθείσες τροφές, εκτός από το σιμιγδάλι και τον σπασμένο σίτο, ενώ τα τέλεια θήλεα άτομα δεν ωτοόκησαν στο αλεύρι αραβοσίτου και την σπασμένη κριθή. Η διάρκεια αναπτύξεως των προνυμφών διήρκησε σημαντικώς περισσότερο όταν το *O. surinamensis* εξετράφη με νιφάδες βρώμης (20,3 ημέρες) και με αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως (19,2 ημέρες) σε σύγκριση με το αλεύρι αραβοσίτου (16,6 ημέρες) ή με τον σπασμένο αραβόσιτο (17,2 ημέρες). Η διάρκεια αναπτύξεως των προνυμφών όταν εξετράφησαν με την σπασμένη κριθή (18,3 ημέρες) δεν διέφερε σημαντικώς σε σχέση με τον σπασμένο αραβόσιτο ή με το αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως, αλλά διήρκησε σημαντικώς περισσότερο σε σύγκριση με το αλεύρι αραβοσίτου και σημαντικώς λιγότερο σε σύγκριση με τις νιφάδες βρώμης. Οι εξετασθείσες τροφές δεν επηρέασαν την διάρκεια αναπτύξεως των νυμφών, η οποία διήρκησε από 4,6 έως 4,7 ημέρες. Η υψηλότερη γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων σημειώθηκε όταν το *O. surinamensis* εξετράφη με τον σπασμένο αραβόσιτο (4,8 ωά/θήλυ) και τις νιφάδες βρώμης (0,3 ωά/θήλυ). Οι εξετασθείσες τροφές επηρέασαν επίσης την πιθανότητα της θνησιμότητας του *O. surinamensis* και τον μέσο χρόνο επιβίωσής του. Ο μικρότερος χρόνος επιβίωσης σημειώθηκε όταν το έντομο εξετράφη με τον σπασμένο σίτο (11,1 ημέρες) ενώ ο μεγαλύτερος χρόνος επιβίωσης σημειώθηκε όταν εξετράφη με τον σπασμένο αραβόσιτο και με τις νιφάδες βρώμης (37,8 και 42,2 ημέρες αντιστοίχως). Ο υπολογισμός των δημογραφικών παραμέτρων ήταν εφικτός μόνο στον σπασμένο αραβόσιτο. Ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός, η ενδογενής ταχύτητα αυξήσεως, ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως και ο μέσος χρόνος γενεάς ήσαν 1,48 θήλεα/θήλυ, 0,01 θήλεα/θήλυ/ημέρα, 1,01 και 37,1 ημέρες αντιστοίχως. Τα προαναθερθέντα αποτελέσματα μπορεί να χρησιμεύσουν στην βελτίωση της γνώσεως περί της βιολογίας του *O. surinamensis* και της πιθανής εξάπλωσής του.

Εξετάστηκε η επίδραση πέντε σταθερών θερμοκρασιών (20 °C, 25 °C, 30 °C, 32.5 °C και 35 °C) στην ανάπτυξη, την διάρκεια ζωής, την γονιμότητα και την επιβίωση του *O. surinamensis* επί του λευκού μαλακού αλεύρου σίτου. Τα ευρήματα της μελέτης καταδεικνύουν ότι η θερμοκρασία επιδρά ισχυρώς στην ανάπτυξη των ατελών σταδίων του εντόμου και την διάρκεια επιβιώσεως των τελείων ατόμων. Η εκκόλαψη των προνυμφών στους 20 °C έγινε μετά από

13,58 ημέρες, ενώ μειώθηκε στις 3,26 ημέρες στους 35 °C. Η διάρκεια της αναπτύξεως των προνυμφών μειώθηκε κατά 40,47 ημέρες από τους 20 °C στους 35 °C ενώ δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους 32,5 °C και τους 35 °C. Η διάρκεια αναπτύξεως των νυμφών μειώθηκε από τις 17,18 ημέρες στους 20 °C, στις 4,48 ημέρες στους 35 °C, ενώ δεν υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη των νυμφών ανάμεσα στους 32,5 °C και τους 35 °C. Η διάρκεια της ζωής των θηλέων και των αρρένων τελείων ατόμων αυξήθηκε κατά 164,12 και 156,42 ημέρες αντιστοίχως, όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε από τους 20 °C στους 25 °C, ακολουθούμενη από μείωση της διάρκειας ζωής και στα δύο φύλα στους 35 °C. Η γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων ήταν χαμηλότερη στους 20 °C (1,09 ωά/θήλυ) και υψηλότερη στους 25 °C (64,82 ωά/θήλυ). Χρησιμοποιήθηκε το μη γραμμικό πρότυπο του Briere και υπολογίστηκε το χαμηλότερο αναπτυξιακό όριο του *O. surinamensis* (16,9 °C), το ανώτερο αναπτυξιακό (36,3 °C) και η θερμοκρασία κατά την οποία σημειώνεται ο μέγιστος ρυθμός αναπτύξεως (31,3 °C). Το πρότυπο των Ikemoto and Takai υπέδειξε ότι χρειάζονται 313,3 βαθμοημέρες πάνω από το όριο των 16,3 °C για την ολοκλήρωση της αναπτύξεως των ατελών σταδίων του εντόμου. Η εξαρτώμενη θερμοκρασιακά επιβίωση από το ωό στο τέλειο άτομο του *O. surinamensis* χαρακτηρίστηκε από μια εξίσωση ακραίας τιμής, υποδεικνύοντας ότι η επιβίωση μειώθηκε στα δύο άκρα του εύρους των θερμοκρασιών, αλλά στις υψηλότερες θερμοκρασίες είχε πιο επιβλαβή επίδραση στην επιβίωση των ατελών σταδίων από ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες. Σύμφωνα με τις υπολογισθείσες παραμέτρους, η υψηλότερη επιβίωση των ατελών σταδίων (93,6%) υπολογίστηκε ότι λαμβάνει χώρα στους 28,3 °C. Η υψηλότερη τιμή του καθαρού αναπαραγωγικού ρυθμού (20,10 θήλεα/θήλυ), παρατηρήθηκε στους 25 °C. Αναμένεται ότι τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης θα φανούν χρήσιμα για την πρόβλεψη του φαινολογίας και της πιθανής εξαπλώσεως του *O. surinamensis*, μέσω της εφαρμογής προτύπων με γνώμονα την θερμοκρασία και ως τελικό στόχο τις ακριβείς στρατηγικές αντιμετώπισης του εντόμου.

Η παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί και συγκρίνει τα αποτελέσματα των προτύπων παλινδρομώσεως, τα οποία βασίζονται στην υπόθεση της κανονικής (Gaussian) και της Poisson κατανομής για την εξαρτημένη μεταβλητή της εξισώσεως παλινδρομώσεως, ώστε να εξεταστούν οι σχέσεις των *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) και *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) κατά μόνας και σε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς με το *O. surinamensis*, στους 25 °C, 30 °C και 35 °C, σε 55% και 75% σχετική υγρασία, μετά από 65, 130 και 195 ημέρες αποθηκεύσεως στον αραβόσιτο. Η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 25 °C στους 30 °C αύξησε τον αριθμό των ζώντων εντόμων και των κατεστραμμένων σπόρων, ενώ από τους 30 °C στους 35 °C μείωσε τις προαναφερθείσες παραμέτρους. Η αύξηση της σχετικής υγρασίας από το 55% στο 75% προκάλεσε αύξηση στον αριθμό των ζώντων εντόμων και των κατεστραμμένων σπόρων. Όταν το *O. surinamensis* εξετάστηκε κατά μόνας ήταν υπεράριθμο σε σχέση με όλα τα άλλα έντομα και τους συνδυασμούς τους, με εξαίρεση την περίπτωση του *P. truncatus* όταν εξετάστηκε κατά μόνας. Όσον αφορά τους κατεστραμμένους σπόρους, ο συνδυασμός *O. surinamensis* - *P. truncatus* ήταν ο πιο ζημιογόνος, ενώ ο συνδυασμός *O. surinamensis* - *T. confusum* ήταν ο λιγότερο ζημιογόνος. Το πρότυπο παλινδρομώσεως Poisson παρουσίασε καλύτερη επίδοση με βάση την

προσαρμογή των δεδομένων σε σχέση με το γραμμικό πρότυπο παλινδρομήσεως (Gaussian). Συνεπώς, μελλοντικές αναλύσεις για σχετικά δεδομένα θα μπορούσαν να βασιστούν στο πρότυπο Poisson. Σχετικώς με την παραγωγή της σκόνης από την δράση των εντόμων, οι συνδυασμοί *P. truncatus* κατά μόνας, *O. surinamensis* - *P. truncatus* και *O. surinamensis* - *T. confusum* - *P. truncatus*, ήσαν οι πιο ζημιογόνοι. Τα αποτελέσματά της παρούσας μελέτης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της ζημιάς όταν διαφορετικά είδη εντόμων αποθηκών προσβάλλουν ταυτοχρόνως το ίδιο προϊόν. Περαιτέρω, η καταγραφή και η αποκάλυψη των συνδυασμών των εντόμων οι οποίοι οδηγούν σε εκτεταμένη καταστροφή, μπορεί να διαφοροποιήσει την αντιμετώπιση της εκάστοτε προσβολής στους αποθηκευτικούς χώρους.

**Επιστημονική περιοχή:** Εντομολογία

**Λέξεις κλειδιά:** βιολογικές παράμετροι, δημογραφία, ανταγωνισμός, Coleoptera, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium confusum*, *Prostephanus truncatus*

***Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae): studying the biological parameters and competition with other primary and secondary stored-product insects**

*Department of Crop Science  
Laboratory of Agricultural Zoology & Entomology*

**ABSTRACT**

This study examines the effect of semolina, cracked wheat, maize flour, cracked maize, whole oat flakes, whole barley flour and cracked barley on the developmental and reproductive biology of the sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae). The pest completed its development at all tested commodities except semolina and cracked wheat, while females did not produce eggs on maize flour and cracked barley. The developmental time of larvae was significantly longer when *O. surinamensis* fed on whole oat flakes (20.3 days) and whole barley flour (19.2 days) compared with maize flour (16.6 days) or cracked maize (17.2 days). The developmental duration of larvae fed on cracked barley (18.3 days) did not differ significantly when fed on cracked maize or whole barley flour, but it was significantly longer compared to maize flour and significantly shorter compared to whole oat flakes. The tested commodities did not affect the pupal development, which ranged between 4.6 and 4.7 days. The highest fecundity was recorded when *O. surinamensis* fed on cracked maize (4.8 eggs/female) and whole oat flakes (0.3 eggs/female). The tested commodities also affected the risk of death of *O. surinamensis* and its mean survival time. The shortest survival time was recorded on cracked wheat (11.1 days) while the longest was on cracked maize and whole oat flakes (37.8 and 42.2 days, respectively). The calculation of demographic parameters was feasible only on cracked maize. The net reproductive rate, the intrinsic rate of increase, the finite rate of increase and the mean generation time were 1.48 females/female, 0.01 females/female/day, 1.01 and 37.1 days, respectively. These results may be useful for improving the knowledge on the biology of this species and its potential spread.

Furthermore, this study deals with the effect of five constant temperatures (20 °C, 25 °C, 30 °C, 32.5 °C and 35 °C) on development, longevity, fecundity and survival of *O. surinamensis* infesting white soft wheat flour. Temperature showed profound effects on immature development, and adult longevity. Egg hatching at 20 °C took 13.58 d that is decreased to 3.26 d at 35 °C. Larval developmental time decreased by 40.47 d from 20 °C to 32.5 °C with no significant difference between 32.5 °C and 35°C. Pupal developmental time was shortened from 17.18 d at 20°C to 4.48 d at 35°C, while no significant differences were observed in pupal development between 32.5 and 35°C. Female and male longevity increased by 164.12 and 156.42 d, respectively when temperature was increased from 20 to 25 °C followed by a decrease in longevity for both sexes at 35 °C. Female fecundity was lowest at 20 °C (1.09 eggs/female) and highest at 25 °C (64.82 eggs/ female). Using the non-linear

Briere model, the lower developmental threshold of *O. surinamensis* was estimated as 16.9 °C, the upper threshold as 36.3 °C, and the temperature for maximum developmental rate close to 31.3 °C. Ikemoto and Takai linear model indicated that 313.3 degree-d above a threshold of 16.3 °C were needed for the completion of immature development. Temperature-dependent egg to adult survival of *O. surinamensis* was described by an extreme value equation, indicating that survival decreased at both ends of the temperature range, but higher temperatures had more detrimental impact on immature survival than lower temperatures. According to the estimated parameters, the highest immature survival (93.6%) was estimated to occur at 28.3 °C. The highest value of the net reproductive rate (20.10 females/female), was observed at 25 °C. We expect these results to be useful for the prediction of the phenology and potential expansion of *O. surinamensis*, through the implementation of temperature-driven models, leading to accurate management strategies.

This study utilizes and compares the performance of Gaussian and Poisson regression models to examine the associations of *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) alone and in all possible combinations with *O. surinamensis*, at 25 °C, 30 °C and 35 °C, 55% and 75% relative humidity (RH), after 65 days, 130 days and 195 days of storage on maize. The increase of temperature from 25 °C to 30 °C increased the emergence of insects alive and of damaged kernels, while from 30 °C to 35 °C decreased the aforementioned parameters. The increase of RH from 55% to 75% increased both the emerged insects alive and the damaged kernels. When *O. surinamensis* was examined alone it outnumbered all the other insect species and their combinations except *P. truncatus* alone. Regarding damaged kernels, the combination of *O. surinamensis* - *P. truncatus* was the most damaging, while the combination of *O. surinamensis* - *T. confusum* was the least damaging. The Poisson model demonstrated better performance, hence future analyses could be based upon this model to analyze this type of data. Concerning the production of frass, the combinations of *P. truncatus* alone, *O. surinamensis* - *P. truncatus*, and *O. surinamensis* - *T. confusum* - *P. truncatus* were the most damaging. Our results could be useful for the prediction of damage when different species co-infest the same commodity. Furthermore, the reveal and recording of combinations that lead to elevated damage potential may differentiate the management strategies in storage facilities.

**Scientific area:**Entomology

**Keywords:** biological parameters, demography, competition, Coleoptera, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium confusum*, *Prostephanus truncatus*

*Στον Παναγιώτη, την Παναγιώτα  
και τον Χρήστο*



*"Life finds a way"*

Dr Ian Malcolm  
Jurassic Park (1993)

## Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	13
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
1.1 Βιολογικοί παράμετροι .....	15
1.2 Βιβλιογραφία .....	33
1.3 Ανταγωνισμός .....	44
1.4 Βιβλιογραφία .....	57
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	69
2.1 Αναπτυξιακή και αναπαραγωγική βιολογία του <i>Oryzaephilus surinamensis</i> (L.) (Coleoptera: Silvanidae) σε επτά τροφές.....	70
2.1.1 Εισαγωγή.....	70
2.1.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	72
2.1.2.1 Έντομα .....	72
2.1.2.2 Προϊόντα.....	73
2.1.2.3 Βιοδοκιμές .....	73
2.1.2.4 Στατιστική Ανάλυση .....	74
2.1.3 Αποτελέσματα.....	76
2.1.4 Συζήτηση .....	77
2.1.5 Πίνακες .....	83
2.1.6 Διαγράμματα.....	86
2.1.7 Βιβλιογραφία.....	87
2.2 Γραμμικά και μη-γραμμικά πρότυπα για την ερμηνεία της επιδράσεως της θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά της ιστορίας ζωής του <i>Oryzaephilus surinamensis</i> (L.) .....	93

2.2.1 Εισαγωγή.....	93
2.2.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	97
2.2.2.1 Έντομα .....	97
2.2.2.2 Προϊόντα.....	97
2.2.2.3 Βιοδοκιμές .....	98
2.2.2.4 Στατιστική Ανάλυση .....	99
2.2.3 Αποτελέσματα.....	101
2.2.3.1 Διάρκεια αναπτύξεως, διάρκεια ζωής και γονιμότητα .....	101
2.2.3.2 Θερμικά όρια και θερμικό άθροισμα .....	102
2.2.3.3 Επιβίωση.....	103
2.2.4 Συζήτηση .....	103
2.2.5 Πίνακες .....	108
2.2.6 Διαγράμματα.....	111
2.2.7 Βιβλιογραφία.....	115
2.3 Αλληλεπιδράσεις του <i>Oryzaephilus surinamensis</i> (L.) (Coleoptera: Silvanidae) με δύο είδη εντόμων αποθηκών υπό ποικίλες αβιοτικές συνθήκες .....	123
2.3.1 Εισαγωγή.....	123
2.3.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	127
2.3.2.1 Έντομα .....	127
2.3.2.2 Προϊόντα.....	128
2.3.2.3 Βιοδοκιμές .....	128
2.3.2.4 Στατιστική Ανάλυση .....	130

2.3.2.5 Σύγκριση των προτύπων και επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών .....	132
2.3.2.6 Προσαρμογή προτύπων παλινδρόμησης.....	133
2.3.3 Αποτελέσματα.....	133
2.3.4 Συζήτηση .....	136
2.3.5 Πίνακες .....	142
2.3.6 Διαγράμματα.....	150
2.3.7 Βιβλιογραφία.....	154
3. ΕΙΚΟΝΕΣ .....	160
4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	183
5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	186
5.1 Δημοσιεύσεις.....	187
5.1.1 Δημοσιεύσεις σε έγκριτα διεθνή περιοδικά .....	187
5.1.2 Συμμετοχές σε συνέδρια.....	187
5.2 Κατάλογος Πινάκων .....	188
5.3 Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	189
5.4 Κατάλογος Εικονών .....	190

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικόλαο Γ. Καβαλλιεράτο ο οποίος μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με την επιστήμη της εντομολογίας μέσα από την παρούσα διδακτορική διατριβή. Ως ακούραστος καθοδηγητής από την αρχή έως το πέρας της διδακτορικής διατριβής, με ζήλο για την επιστήμη και με υπομονή, με καθόρισε ως επιστήμονα στα πρώτα βήματα μου στον χώρο της εντομολογίας.

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Θ. Παπαδούλη και τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Γιαννακού για τις συμβουλές τους κατά την διάρκεια της εκπονήσεως της διδακτορικής διατριβής και για την διόρθωσή της.

Οφείλω ευχαριστίες στα μέλη της επταμελούς επιτροπής τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικόλαο Γ. Καβαλλιεράτο, τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Θ. Παπαδούλη, τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Γιαννακού, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Κολιόπουλο, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Αντώνιο Τσαγκαράκη, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Χρυσοβαλάντη Μαλέσιο και τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Μπρούφα για τις διορθώσεις τους κατά την ανάγνωση της παρούσης διδακτορικής διατριβής.

Καταλυτική υπήρξε η συνεργασία μου με τον Επίκουρο Καθηγητή, κ. Χρυσοβαλάντη Μαλέσιο και τον αείμνηστο Νικόλαο Παπανικολάου οι οποίοι με βοήθησαν σε ζητήματα στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων της διδακτορικής διατριβής μου.

Στην διάρκεια της παρούσης διδακτορικής διατριβής είχα για συνοδοιπόρο την κ. Άννα-Νικολέτα Σκούρτη η οποία εκπονούσε τη διδακτορική διατριβή της την ίδια χρονική περίοδο με εμένα. Η βοήθεια της και η αφοσίωσή της στην έρευνα συνέβαλαν στην επιστημονική πορεία μου.

Οφείλω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στους γονείς μου Παναγιώτη και Παναγιώτα και τον αδερφό μου Χρήστο για την συναισθηματική και την οικονομική υποστήριξή τους καθ' όλη την διάρκεια της εκπονήσεως της διδακτορικής διατριβής. Η ακλόνητη πίστη τους στις δυνατότητές μου με συντρόφευσε και με στήριξε στο απαιτητικό εγχείρημά μου. Τους είμαι ευγνώμων.

---

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της

# **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## 1.1 Βιολογικοί παράμετροι

Με τον όρο βιολογική παράμετρος εννοείται ο κάθε παράγοντας ο οποίος σχετίζεται με την βιολογία, την ανάπτυξη, τα σωματικά χαρακτηριστικά και την γονιμότητα ενός οργανισμού (Kher et al., 2006, Mota et al. 2007, Aksglaede et al., 2008, Auad et al., 2014, Carretero et al., 2018, Cheng et al., 2018, Papanikolaou et al., 2018, Pires et al., 2019, Skourti et al., 2019, 2020, Kavallieratos et al., 2020, 2022, Cossio-Bolaño et al., 2021, Jaramillo and Machado, 2021). Χρησιμοποιούνται δε στις διάφορες επιστήμες, προσφέροντας πολύτιμες γνώσεις μέσα από την μελέτη και την αξιολόγησή τους. Για παράδειγμα, στην επιστήμη της Παλαιοντολογίας, ο υπολογισμός της μάζας του σώματος και της ημερήσιας ενεργειακής δαπάνης (μέσα από εξισώσεις που συνδέουν την μάζα του σώματος με την ανάγκη του σώματος για ενέργεια) από το βάρος του απολιθωμένου ανθρωπίνου σκελετού και η σύγκρισή τους με τα σημερινά δεδομένα, αποκαλύπτει την ανάπτυξη του ανθρωπίνου σκελετού, του σώματος, του εγκεφάλου και παρέχει πληροφορίες σχετικές με την εγκυμοσύνη, τον τοκετό και την ανάπτυξη του πληθυσμού των παλαιολιθικών ανθρώπων σε σχέση με των σημερινών (Carretero et al., 2018). Η μελέτη των βιολογικών παραμέτρων του ανθρωπίνου είδους, όπως η μέγιστη ταχύτητα αύξησης του ύψους και η ανάπτυξη κατά την εφηβεία, αποκαλύπτει διαφορές στην διάρκεια της εφηβείας ανάμεσα στα δύο φύλα και την ηλικία κατά την οποία παρουσιάζεται η σεξουαλική ωρίμανση (Aksglaede et al., 2008). Άλλες βιολογικές παράμετροι οι οποίες διερευνώνται στον άνθρωπο είναι η αναπαραγωγή, η φυσική κατάσταση, το βάρος κατά την γέννηση, οι ψυχικές ασθένειες και η ανάπτυξη (Koziet et al., 1998, Fieder et al., 2006, Kociuba et al., 2016).

Οι βιολογικοί παράμετροι διαφέρουν ανάμεσα στις κατηγορίες των οργανισμών. Στα θηλαστικά αναφέρονται στη διάρκεια ζωής των ατόμων, την αναλογία φύλου, την ηλικία κατά την οποία αναπαράγονται για πρώτη φορά, το χρονικό διάστημα το οποίο μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο κυήσεις, τη διάρκεια της κυήσεως, το μέγεθος των ατόμων σε μήκος, το πάχος και το ύψος στις διάφορες φάσεις τις ζωής του ατόμου (νεαρό ή ενήλικο άτομο), (van Vliet and Nasi, 2019, Sanaee et al., 2020). Στους ιχθύες, οι βιολογικές παράμετροι είναι

το μήκος του σώματος, το βάρος του σώματος, του συκωτιού και των σπερματικών αδένων, η γονιμότητα και η μέγιστη ηλικία (Frisk et al., 2001, Quiroz-Jara et al., 2021). Αντιστοίχως, στα πτηνά οι σημαντικές βιολογικές παράμετροι είναι η επιβίωση, η ηλικία, η αποδημία αναλόγως της εποχής του έτους, η ποιότητα του σπέρματος και το σωματικό βάρος (Rauber et al., 2014, Iolchiev et al., 2018, Delgado et al., 2020). Για τα φυτά, οι βιολογικές παράμετροι είναι το ύψος του φυτού, το πάχος του ηθμού και του ξύλου, η διάμετρος των αγγείων, η βλαστικότητα των σπόρων, το μήκος των ριζών, ο αριθμός των φύλλων και το βάρος του σπόρου (Desai και Chauha, 2021, Muniswami et al., 2021, Mousa et al., 2022).

Στα έντομα δε, οι βιολογικές παράμετροι είναι ποικίλες και αναφέρονται ως ακολούθως:

- Η χρονική διάρκεια αναπτύξεως του κάθε σταδίου του εντόμου.

Είναι οι μέρες κατά τις οποίες το έντομο βρίσκεται στο στάδιο του ωού, της προνύμφης και της νύμφης, μέχρι την στιγμή που θα μεταμορφωθεί σε τέλειο άτομο (για τα ολομετάβολα έντομα). Οι μετρήσεις συνήθως είναι καθημερινές ώστε να διαφυλάξουν την έγκαιρη και ακριβή παρατήρηση των αλλαγών των σταδίων του κάθε εντόμου (Ofuya and Credland, 1995, Mehrnejad and Jalali, 2004, Zhang et al., 2012, Auad et al., 2014, Pires et al., 2019, Jaramillo and Machado, 2021).

- Η χρονική διάρκεια της κάθε προνυμφικής ηλικίας.

Είναι οι μέρες κατά τις οποίες το έντομο βρίσκεται σε κάθε προνυμφική ηλικία. Η κάθε ηλικία διαχωρίζεται από την στιγμή κατά την οποία το έντομο εκδύεται και παρατηρείται το έκδυμα στο τρυβλίο στην ημερήσια εξέταση των προνυμφών (Zheng et al., 2008, Zhang et al., 2012, Pires et al., 2019).

- Η χρονική διάρκεια πριν από την εναπόθεση των ωών.

Είναι οι ημέρες όπου τα θήλεα τέλεια άτομα δεν ωοτοκούν ενώ έχουν συζευχθεί με ένα άρρεν τέλειο άτομο (Mota et al. 2007, Zhang et al., 2012, Cheng et al., 2018, Pires et al., 2019).



- Η χρονική διάρκεια εναποθέσεως των ωών.

Είναι η χρονική διάρκεια σε ημέρες από την στιγμή κατά την οποία ένα θήλυ θα ωοτοκήσει για πρώτη φορά μέχρι την τελευταία ημέρα που θα παραγάγει ωά. Η εξέταση διεξάγεται καθημερινώς και τα ωά απορρίπτονται μετά την καταμέτρησή τους (Yamamura, 1986, Mota et al. 2007, Zheng et al., 2008, Zhang et al., 2012, Pires et al., 2019, Souza et al., 2023).

- Η ολική διάρκεια ζωής των ατελών σταδίων του εντόμου.

Είναι το άθροισμα των ημερών από την εναπόθεση του ωού μέχρι την εμφάνιση του τελείου ατόμου (Ofuya and Credland, 1995, Mehrnejad and Jalali, 2004, Majd-Marani et al., 2017).

- Η θνησιμότητα του κάθε σταδίου του εντόμου.

Είναι το ποσοστό ή ο αριθμός των ατόμων τα οποία δεν κατάφεραν να μεταβούν στο επόμενο στάδιο της ζωής τους, δηλαδή από το στάδιο του ωού στο στάδιο της προνύμφης, από το στάδιο της προνύμφης στο στάδιο της νύμφης και από το στάδιο της νύμφης στο στάδιο του τελείου ατόμου (για τα ολομετάβολα έντομα) (Mehrnejad and Jalali, 2004, Auad et al., 2014, Jaramillo and Machado, 2021). Στο στάδιο των προνυμφών η θνησιμότητα μπορεί να εκτιμηθεί και σε επίπεδο προνυμφικής ηλικίας (Auad et al., 2014).

- Η ολική θνησιμότητα των ατελών σταδίων του εντόμου.

Είναι το ποσοστό ή ο αριθμός των ατόμων τα οποία δεν εξελίχθηκαν ως τέλεια έντομα, δηλαδή από το στάδιο του ωού στο στάδιο του τελείου ατόμου (Mehrnejad and Jalali, 2004, Skourti et al., 2019).

- Η διάρκεια της επιβιώσεως των εντόμων.

Είναι η συνολική διάρκεια ζωής του εντόμου από την εναπόθεση του ωού μέχρι τον θάνατό του, ανεξαρτήτως του σταδίου στο οποίο θανατώθηκε (Papanikolaou et al., 2018, Kavallieratos et al., 2020, Skourti et al., 2020).

- Η γονιμότητα των θήλεων τελείων ατόμων.

Είναι το πλήθος των ωών τα οποία εναποθέτει ένα θηλυκό τέλειο άτομο κατά την διάρκεια της ζωής του (Wang et al., 2002, Mehrnejad and Jalali, 2004, Kher et al., 2006, Mota et al. 2007, Jaramillo and Machado, 2021).

- Η διάρκεια ζωής ως τέλειο άτομο.

Είναι η διάρκεια κατά την οποία το έντομο ζει ως τέλειο άτομο. Μπορεί να είναι συνολική, δηλαδή ανεξαρτήτως του φύλου ή να είναι ξεχωριστή διάρκεια για τα θήλεα και τα άρρενα άτομα (Wang et al., 2002, Mota et al. 2007, Zhang et al., 2012, Cheng et al., 2018, Pires et al., 2019).

- Το σωματικό βάρος.

Είναι το βάρος του εντόμου σε κάποιο στάδιο ζωής του (ωό, προνύμφη, νύμφη, τέλειο άτομο) (Ofuya and Credland, 1995, Mehrnejad and Jalali, 2004, Majd-Marani et al., 2017, Cheng et al., 2018, Shaurub et al., 2022). Στο στάδιο της προνύμφης, το σωματικό βάρος μπορεί να καταγραφεί σε κάθε προνυμφική ηλικία (Keena and Richards, 2022). Στο στάδιο του τελείου ατόμου, το βάρος του εντόμου μπορεί να μετρηθεί στο σύνολο (χωρίς διαχωρισμό του φύλου) ή ξεχωριστά για τα θήλεα και τα άρρενα άτομα (Wang et al., 2002, Zhang et al., 2012, Cheng et al., 2018).

- Η κατανάλωση της τροφής.

Είναι το βάρος της τροφής ή ο αριθμός των εντόμων (στην περίπτωση των θηρευτών) η οποία καταναλώνει το έντομο ως προνύμφη ή ως τέλειο άτομο (για τα ολομετάβολα έντομα). Στο στάδιο της προνύμφης, η κατανάλωση τροφής μπορεί να μετρηθεί στο σύνολο ή σε κάθε προνυμφική ηλικία (Ofuya and Credland, 1995, Iftikhar et al., 2018). Στο στάδιο του τελείου ατόμου, η κατανάλωση της τροφής μπορεί να μετρηθεί στο σύνολο (χωρίς τον διαχωρισμό του φύλου) ή ξεχωριστά για τα θήλεα και τα άρρενα άτομα (Iftikhar et al., 2018).

- Οι σωματικές διαστάσεις.

Είναι οι σωματικές διαστάσεις του κάθε ατόμου (μήκος, πλάτος και πάχος) σε ένα στάδιο ζωής του (ωό, προνύμφη, νύμφη και τέλειο άτομο, για τα ολομετάβολα έντομα) (Wu et al., 2012, Qureshi et al., 2021). Σε αυτή την κατηγορία εμπίπτουν οι διαστάσεις διαφόρων τμημάτων του σώματος των εντόμων όπως τα γεννητικά όργανα (Zheng et al., 2008), οι κεραίες, οι πόδες και η κεφαλή (Wu et al., 2012, Keena and Richards, 2022).

Οι βιολογικοί παράμετροι είναι δυνατόν να διαφέρουν ανάμεσα στους διαφορετικούς πληθυσμούς του ίδιου είδους εντόμου. Για παράδειγμα, ο γεωγραφικός πληθυσμός του *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) από την Αμερική, παρουσίασε μεγαλύτερη διάρκεια στα προνυμφικά στάδια, της νύμφης και του τελείου ατόμου σε σχέση με τον γεωγραφικό πληθυσμό από την Νιγηρία (Oyeniya et al., 2021). Παρομοίως, η εκκολαψιμότητα των προνυμφών διέφερε στατιστικώς ανάμεσα τέσσερις διαφορετικούς γεωγραφικούς πληθυσμούς του *Xylotrechus arvicola* (Olivier) (Coleoptera: Cerambycidae) (Rodríguez-González et al., 2018). Παρατηρήθηκε δε διαφορετικό σωματικό μέγεθος και χρόνος επιβίωσης των τελείων ατόμων ανάμεσα στους εξετασθέντες πληθυσμούς (Rodríguez-González et al., 2018). Τρεις γεωγραφικοί πληθυσμοί του *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) από την Μπουρκίνα Φάσο, το Καμερούν και την Βραζιλία, παρουσίασαν διαφορετική διάρκεια αναπτύξεως, βάρος του τελείου ατόμου, αριθμού των εναποθέντων ωών, ποσοστού των εκκολαφθεισών προνυμφών, μέση διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων, ποσοστού των ωών τα οποία εξελίχθηκαν σε τέλεια άτομα και ικανότητα ζημίας στους σπόρους του *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabales: Fabaceae) (Ofuya and Credland, 1995). Οι συγγραφείς παρατήρησαν διαφορές στους παραπάνω βιολογικούς παράγοντες, που διέφεραν σημαντικώς μεταξύ τους, ακόμα και μέσα σε κάθε γεωγραφικό πληθυσμό, όταν αυτοί αναπτύχθηκαν σε διαφορετικές ποικιλίες του *V. unguiculata* (Ofuya and Credland, 1995). Εννέα ποικιλίες του *Trifolium pratense* L. (Fabales: Fabaceae) ήσαν λιγότερο ή περισσότερο κατάλληλες για την ανάπτυξη του πληθυσμού του *Hylastinus*

*obscurus* (Marsham) (Coleoptera: Scolytidae) (Alarcón et al., 2010). Το *Oulema melanopus* (L.) (Coleoptera: Chrysomelidae) παρουσίασε σημαντικώς διαφορετικές διάρκειες αναπτύξεως όταν εξετράφη σε τριτικάλε (*Triticosecale* Wittm. (Poales: Poaceae) ποικιλίας Pronghorn), σίκαλη (*Secale cereale* L. (Poales: Poaceae) ποικιλίας AC Remington), αραβόσιτο (*Zea mays* L. (Poales: Poaceae) ποικιλίας UT 12813), μαλακό χειμερινό και ανοιξιότικο σίτο (*Triticum aestivum* L. (Poales: Poaceae) ποικιλιών AC Radiant και CDC GO αντιστοίχως), κριθή (*Hordeum vulgare* L. (Poales: Poaceae) ποικιλίας Champion) και βρώμη (*Avena sativa* L. (Poales: Poaceae) ποικιλιών Morgan και Waldern) (Kher et al., 2016). Το έντομο παρουσίασε την συντομότερη ανάπτυξη (από το ωό στο τέλειο άτομο), διάρκειας 42,76 ημερών, όταν εξετράφη με *T. aestivum* ποικιλίας CDC GO και την μεγαλύτερη όταν εξετράφη με *Z. mays* (Kher et al., 2016). Επίσης, ευρέθησαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις ποικιλίες του σίτου και της βρώμης ως προς την παραγωγή ωών: η ωοτοκία επί του εαρινού σίτου διαμορφώθηκε στα 275,45 ωά/12 εβδομάδες, επί του χειμερινού σίτου στα 198,50 ωά/12 εβδομάδες και επί της βρώμης στα 263,20 ωά/12 εβδομάδες (ποικιλία Morgan) ή στα 180,50 ωά/12 εβδομάδες (ποικιλία Waldern) (Kher et al., 2016). Παρά το γεγονός ότι επτά ποικιλίες σίτου ήσαν κατάλληλες για την πλήρη ανάπτυξη του *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae), η ποικιλία HPW-236 υπερείχε μακράν της ποικιλίας HPW-360 ως προς την διάρκεια της αναπτύξεως, την μηνιαία αύξηση του πληθυσμού, την ωοτοκία και την εμφάνιση τελείων ατόμων (Mehta and Kumar, 2020). Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν για *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) όταν αναπτύχθηκε σε εννέα ποικιλίες αραβοσίτου (Majd-Marani et al., 2017). Η διάρκεια αναπτύξεως του *T. granarium* από το ωό έως το τέλειο άτομο κυμάνθηκε από τις 39,90 ημέρες στην ποικιλία αραβοσίτου PL 472 έως τις 56,79 ημέρες για την ποικιλία αραβοσίτου BC 678 (Majd-Marani et al., 2017). Μεγάλη διακύμανση παρουσιάστηκε στο βάρος των νυμφών (από 49,17 mg έως 59,73 mg), στον αριθμό των εναποτεθέντων ωών (από 40,00 έως 67,95 ωά), στην εκκολαψιμότητα των προνυμφών (από 48,24% έως 74,81%) και στην διάρκεια της επιβιώσεως των τελείων ατόμων (από 4,93 ημέρες έως 11,81 ημέρες για τα θήλεα τέλεια άτομα και από 4,00 ημέρες έως 12,10 ημέρες για τα αρρενα τέλεια άτομα), παράμετροι οι οποίες διέφεραν σημαντικώς μεταξύ

τους (Majd-Marani et al., 2017). Σε μία πρόσφατη μελέτη, οι Awadalla et al. (2021) παρατήρησαν ότι το οδοντωτό σκαθάρι των σπόρων, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae), παρουσίασε διαφορετικές βιολογικές παραμέτρους όταν αναπτύχθηκε σε δεκαέξι διαφορετικές τροφές (φακές, φάβα, μπιζέλια, φασόλια, σουσάμι, ηλίανθος, ελαιοκράμβη, σόγια, καρύδια, κάσιους, αμύγδαλα, φουντούκια, σταφίδες, αποξηραμένα σύκα, ημιαποξηραμένους και αποξηραμένους χουρμάδες). Αναλυτικότερα, όταν το έντομο αναπτύχθηκε στα όσπρια, παρουσίασε την μεγαλύτερη διάρκεια προνυμφικού σταδίου σε σχέση με τις άλλες τροφές, ενώ το ποσοστό των προνυμφών, νυμφών και τελείων ατόμων τα οποία επιβίωσαν ήταν το μικρότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα εξετασθέντα υποστρώματα (Awadalla et al., 2021). Εξίσου σημαντικό ήταν το ποσοστό της απωλείας του προϊόντος από την δράση των εντόμων (Awadalla et al., 2021). Η μεγαλύτερη ζημία προκλήθηκε στους αποξηραμένους χουρμάδες, τα φουντούκια, τα κάσιους και τα αμύγδαλα, ενώ η μικρότερη ζημία έγινε στις φακές και την φάβα. Σε μια παρόμοια μελέτη, βρέθηκε ότι όταν το *T. castaneum* αναπτύχθηκε με καρύδια Βραζιλίας ως τροφή, μειώθηκε ο χρόνος επιβιώσεως των τελείων ατόμων, αυξήθηκε η διάρκεια του προνυμφικού σταδίου του και εναπόθεσε λιγότερα ωά (Pires et al., 2019) σε σχέση με το σιμιγδάλι, τον σπασμένο σίτο και τον σπασμένο αραβόσιτο (Skourti et al., 2020). Πιο αναλυτικά, το προνυμφικό στάδιο του εντόμου διήρκησε 85,9 ημέρες όταν αναπτύχθηκε σε καρύδια Βραζιλίας (Pires et al., 2019), ενώ στο σιμιγδάλι, τον σπασμένο σίτο και τον σπασμένο αραβόσιτο η διάρκεια ήταν 72,8, 59,6 και 54,6 ημέρες αντιστοίχως (Skourti et al., 2020). Ο χρόνος επιβιώσεως των τελείων ατόμων του εντόμου ήταν παρόμοιος όταν το υπόστρωμα ήταν τα καρύδια Βραζιλίας (40,8 ημέρες) ή ο σπασμένος σίτος (41,8 ημέρες), αλλά όταν το έντομο εξετράφη με σιμιγδάλι και σπασμένο αραβόσιτο, η επιβίωση των τελείων ατόμων ήταν σημαντικώς μεγαλύτερη σε διάρκεια (83,9 και 97,6 ημέρες αντιστοίχως) (Pires et al., 2019, Skourti et al., 2020). Το *Propylaea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae) παρουσίασε διαφορετική διάρκεια προνυμφικών ηλικιών, διάρκεια νυμφικού σταδίου και βάρους των θηλέων και των αρρένων τελείων ατόμων, όταν εξετράφη με το *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae), το *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), το *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae), το *Acyrtosiphon pisum* (Harris)

(Hemiptera: Aphididae) και το *Chaitophorus populeti* (Panzer) (Hemiptera: Aphididae) (Zhang et al., 2012). Η διατροφή του *P. japonica* με τις προαναφερθείσες αφίδες επηρέασε επίσης το ποσοστό επιβιώσεως των ατόμων τα οποία εξετάστηκαν, την διάρκεια της ζωής των γονικών ατόμων και την παραγωγή των απογόνων τους. Αποδείχθηκε δε ότι το *A. gossypii* ήταν η καταλληλότερη τροφή από τις υπόλοιπες αφίδες για το *P. japonica* (Zhang et al., 2012). Οι Cheng et al. (2018) βρήκαν ότι η διατροφή του *Coccinella septempunctata* (Linnaeus) (Coleoptera: Coccinellidae) με τεχνητή διαίτα παρουσίασε μεγαλύτερη αναλογία φύλου (θήλεα ♀: άρρενα ♂) στους απογόνους του σε σχέση με την διατροφή του εντόμου με αφίδες. Παρομοίως, οι de Lima et al. (2018) χρησιμοποίησαν τα ωά του *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) και του *Ferrisia dasyliirii* (Cockerell) (Hemiptera: Pseudococcidae) ως τροφή του *Brumoides foudrasii* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ωά του *E. kuehniella* συντόμευσαν τον βιολογικό κύκλο του *B. foudrasii*. Η εναπόθεση των ωών και η γονιμότητα του *B. foudrasii* ήταν μεγαλύτερες όταν εξετράφη με τα ωά του *F. dasyliirii* σε σχέση με την διατροφή του εντόμου έχοντας βάση τα ωά του *E. kuehniella* (de Lima et al., 2018). Επιπλέον, προνύμφες των *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae), *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) και *Musca domestica* Linnaeus (Diptera: Muscidae) έχουν χρησιμοποιηθεί ως τροφή για το *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae) (De Bortoli et al., 2016). Το *D. saccharalis* κρίθηκε ως το καταλληλότερο είδος διότι ο αριθμός των εναποτεθέντων ωών και του ποσοστού της εκκολάψεώς τους ήταν ο υψηλότερος σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη (De Bortoli et al., 2016). Άλλοι βιολογικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάστηκαν από την ποικιλία της τροφής ήταν το βάρος των νυμφών και των θηλέων και αρρένων τελείων ατόμων, η διάρκεια επιβιώσεως των τελείων ατόμων και ο χρόνος πριν την εκκόλαψη των προνυμφών (De Bortoli et al., 2016). Όταν το *Sycanus annulicornis* Dohrn (Hemiptera: Reduviidae) εξετράφη με προνύμφες του *Crociodolomia pavonana* F. (Lepidoptera: Crambidae), παρουσίασε συντομότερη νυμφική ανάπτυξη και μεγαλύτερο χρόνο επιβιώσεως των τελείων ατόμων σε σχέση με την εκτροφή του με προνύμφες *T. molitor* (Sahid

et al., 2018). Η τεχνητή διατροφή αποτελούμενη από φρέσκο χοιρινό συκώτι, μέλι και απεσταγμένο ύδωρ επιμήκυνε την διάρκεια του βιολογικού κύκλου του *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae), επηρέασε αρνητικώς τον χρόνο επιβίωσης των τελείων ατόμων και δεν υποστήριξε την εναπόθεση των ωών του εντόμου (Huang et al., 2022). Αντιθέτως, όταν το έντομο εξετράφη έχοντας ως τροφή τέλεια άτομα των *A. pisum* και *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Sternorrhyncha) ολοκλήρωσε συντομότερα τον βιολογικό κύκλο του, τα τέλεια άτομα έζησαν περισσότερο και τα θήλεα άτομα εναπόθεσαν ωά (279,80 και 193,27 ωά/θήλυ αντιστοίχως) (Huang et al., 2022). Σε σχετική εργασία, όταν το *H. axyridis* εξετράφη με τεχνητή διατροφή χρειάστηκε περισσότερο χρόνο ώστε να ολοκληρώσει την ανάπτυξή του, το βάρος των τελείων ατόμων ήταν λιγότερο και το ποσοστό των ωών τα οποία εξελίχθηκαν στο στάδιο του τελείου ατόμου ήταν μικρότερο σε σχέση με την διατροφή του εντόμου με ωά του *E. kuehniella* (Sighinolfi et al., 2013). Επιπλέον, ανιχνεύθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην εναπόθεση των ωών, την γονιμότητα, τον αριθμό των εναποτεθέντων ωών, την χρονική διάρκεια πριν την έναρξη της εναποθέσεως των ωών και του χρόνου επιβίωσης των θηλέων και των αρρένων τελείων ατόμων (Sighinolfi et al., 2013). Το *Oemona hirta* (F.) (Coleoptera: Cerambycidae) παρουσίασε σημαντικώς διαφορετική διάρκεια αναπτύξεως των προνυμφών και των νυμφών, της αναλογίας φύλου και του ποσοστού επιβίωσης όταν εξετράφη με διαφορετικά υποστρώματα (τεχνητή δίαιτα αποτελούμενη από καζεΐνη, πριονίδι από *Pinus radiata* D.Don (Pinales: Pinaceae), άγαρ και φυτόρ σίτου, κλαδιά λεύκας εμποτισμένα σε ύδωρ) (Wang et al., 2002). Το καταλληλότερο υπόστρωμα ήταν η τεχνητή δίαιτα για την ανάπτυξη, το σωματικό βάρος και τον χρόνο επιβίωσης των τελείων ατόμων (Wang et al., 2002). Αντιθέτως, ο συνολικός αριθμός των εναποτεθέντων ωών ήταν μεγαλύτερος όταν τα άτομα ευρίσκοντο στον αγρό (83,1 ωά) σε σχέση με την παραμονή τους στα κλαδιά της λεύκας (42,9 ωά) ή στην τεχνητή δίαιτα (33,5 ωά) (Wang et al., 2002). Η χρήση ημιτεχνητής διαίτας για το *Zygogramma bicolorata* (Pallister) (Coleoptera: Chrysomelidae) είχε ως αποτέλεσμα να μειώσει σημαντικώς την γονιμότητα και την εκκολαψιμότητα των προνυμφών του σε σχέση με την διατροφή του από το φύλλωμα του *Parthenium hysterophorus* L. (Asterales: Asteraceae) (Murthy et al., 2009).

Η θερμοκρασία επηρεάζει τις βιολογικές παραμέτρους των εντόμων. Σε προηγούμενη μελέτη, οι Mehrnejad and Jalali (2004) ανακάλυψαν ότι το *Oenopia conglobata contaminata* (Menetries) (Coleoptera: Coccinellidae) παρουσιάζει μείωση της διάρκειας της ανάπτυξεώς του από το ωό στο τέλειο άτομο από τους 17,5 °C (42,7 ημέρες) στους 30 °C (13,1 ημέρες), περαιτέρω μείωση όταν η θερμοκρασία αυξηθεί στους 32,5 °C (13,9 ημέρες), ενώ στους 35 °C δεν αναπτύσσεται. Παρά το γεγονός ότι στους 32,5 °C η διάρκεια αναπτύξεως του εντόμου ήταν σύντομη, η θνησιμότητα των ατελών σταδίων του ήταν αυξημένη (48,8%) και δεν κατάφερε να ωοτοκήσει (Mehrnejad and Jalali, 2004). Παρουσίασε δε μεγαλύτερη γονιμότητα στους 27,5 °C (387 ωά) σε σχέση με τους 30 °C (361 ωά) (Mehrnejad and Jalali, 2004). Ακολούθως, οι Mota et al. (2007) μελέτησαν το *Clitostethus arcuatus* (Rossi) (Coleoptera: Coccinellidae) στους 15 °C, 20 °C, 25 °C και 30 °C καταγράφοντας την διάρκεια αναπτύξεως του εντόμου η οποία μειώθηκε από τις 44,3 ημέρες στους 15 °C στις 13,2 ημέρες στους 30 °C. Επίσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώθηκε ο χρόνος επιβιώσεως των τελείων ατόμων, η περίοδος πριν από την ωοτοκία και η διάρκειά της (Mota et al., 2007). Αξίζει να αναφερθεί ότι το υψηλότερο ποσοστό της εκκολαψιμότητας των προνυμφών *C. arcuatus* σημειώθηκε στους 25 °C ακολουθούμενο από τα ποσοστά στους 20 °C και τους 30 °C (Mota et al., 2007). Αργότερα, οι Escobar et al. (2011) παρατήρησαν διαφορετική διάρκεια και ποσοστό της εκκολάψεως των προνυμφών του *Clavipalpus ursinus* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae). Ουδεμία προνύμφη εκκολάφθηκε στους 7,17 °C και τους 25,3 °C, επομένως το είδος δεν δύναται να αναπτυχθεί στις συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Από τους 13,0 °C μέχρι και τους 22,0 °C η διάρκεια εκκολάψεως μειώθηκε από τις 44,7 ημέρες στις 23,2 ημέρες, ενώ το ποσοστό της εκκολαψιμότητας μειώθηκε από το 51,3% στους 20,6 °C στο 10,8% στους 22,0 °C. Η θερμοκρασία επηρέασε επίσης την διάρκεια της αναπτύξεως, την θνησιμότητα των σταδίων και την κατανάλωση της τροφής του *Rhizobius lophanthae* (Blaisdell) (Coleoptera: Coccinellidae) (Abu Alloush, 2019). Ο συγγραφέας παρατήρησε μείωση του χρόνου αναπτύξεως, αύξηση της θνησιμότητας των σταδίων του εντόμου και αύξηση της καταναλώσεως της τροφής, όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε από τους 25 °C στους 30 °C. Η διάρκεια της προνυμφικής αναπτύξεως του ήταν 16,43 ημέρες στους 20 °C



(Auad et al., 2014). Όταν αυξήθηκε η θερμοκρασία στους 24 °C και στους 28 °C, η προνυμφική διάρκεια μειώθηκε στις 11,09 και τις 8,14 ημέρες αντιστοίχως, ενώ στους 32 °C αυξήθηκε στις 10,85 ημέρες (Auad et al., 2014). Παρόμοιο μοτίβο παρατηρήθηκε για την επιβίωση των προνυμφών στις προαναφερθείσες θερμοκρασίες, όπου ήταν αυξημένη στους 20 °C και τους 28 °C (80 και 93,3% αντιστοίχως) και μειωμένη στους 32 °C (56,66%) (Auad et al., 2014). Οι 32 °C ήσαν ζημιογόνοι για τις νύμφες του *H. axyridis*, όπου η επιβίωση τους ήταν 69,00%, σε αντίθεση με τις άλλες θερμοκρασίες όπου ήταν 100,00% (Auad et al., 2014). Το *Stethorus punctillum* (Weise) (Coleoptera: Coccinellidae) ολοκλήρωσε την ανάπτυξή του από το ωό στο τέλειο άτομο εντός 68,5 ημερών στους 14 °C, ενώ στους 30 °C παρουσίασε την μικρότερη διάρκεια αναπτύξεως (11,5 ημέρες) (Roy et al., 2002). Όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε στους 32 °C και τους 34 °C, η διάρκεια αναπτύξεως αυξήθηκε στις 11,8 και τις 12,1 ημέρες αντιστοίχως (Roy et al., 2002). Η ανάπτυξη του *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) στους 16 °C είχε ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση του βιολογικού κύκλου του, την μείωση της γονιμότητάς και του ποσοστού της επιβιώσεως των σταδίων του σε σχέση με υψηλότερες θερμοκρασίες (18–28 °C) (Jaramillo and Machado, 2021). Παρομοίως, το *Callosobruchus chinensis* L. (Coleoptera: Bruchidae) παρουσίασε τον επιμηκέστερο βιολογικό κύκλο στους 16 °C, ο οποίος ήταν 76,8 ημέρες (Omar and Mahmoud, 2020). Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας οδήγησε στην μείωση της διάρκειας της αναπτύξεως σταδιακά μέχρι τους 32 °C στους οποίους έλαβε την μικρότερη τιμή της (24,7 ημέρες) (Omar and Mahmoud, 2020). Οι Qureshi et al. (2021) μελέτησαν το *Xylosandrus crassiusculus* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) στους 27 °C, 29 °C, 31 °C και 35 °C και παρατήρησαν ότι η μεγαλύτερη εναπόθεση ωών έγινε στους 29 °C. Περαιτέρω, στην ίδια θερμοκρασία εμφάνισε μεγαλύτερο μέγεθος σε πλάτος και σε μήκος σε σχέση με τους 35 °C (Qureshi et al., 2021). Σε μία πρόσφατη μελέτη, οι Benoufella-Kitous et al. (2021) παρατήρησαν ότι η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία επηρέασαν τις βιολογικές παραμέτρους του *Coccinella algerica* Kovar (Coleoptera, Coccinellidae). Πιο συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, η περίοδος της αναπτύξεως των ωών μειώθηκε και αυξήθηκε αντιστοίχως (Benoufella-Kitous et al., 2021).

Η ερμηνεία και η ανάλυση των βιολογικών παραμέτρων των εντόμων όπως η επιβίωση των ατόμων ενός πληθυσμού, η γονιμότητα τους και η ηλικία τους εντός ορισμένης χρονικής περιόδου ονομάζεται δημογραφία (Boyce et al., 2006, Frederiksen, 2014). Εκμεταλλευόμενοι των δεδομένων τα οποία προσφέρει η μελέτη της δημογραφίας, είναι εφικτό να προβλεφθεί η δυναμική ενός πληθυσμού, δηλαδή η διακύμανσή του μέσα στον χρόνο, αναλόγως των περιβαλλοντικών συνθηκών (Boyce et al., 2006, Frederiksen, 2014). Σε παγκόσμιο επίπεδο, η δημογραφία παίζει σημαντικό ρόλο στην λήψη αποφάσεων από τις κυβερνήσεις σχετικά με την διάθεση των κεφαλαίων, την φορολογία, την σύνταξη και την επιστράτευση (Alho and Spencer, 2005). Επιπλέον, η δημογραφία αποκαλύπτει τις διαφορές ανάμεσα στα έτη και τους διαφορετικούς πληθυσμούς. Για παράδειγμα, μία δημογραφική μελέτη η οποία έλαβε χώρα στον Καναδά σύγκρινε το ποσοστό των γυναικών και των ανδρών που είχαν εγγόνια το 1985 και το 2011 παρατηρώντας καθυστέρηση στην ηλικία των ατόμων να αποκτήσουν εγγόνια (Margolis, 2016). Τούτο μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι ο πληθυσμός του 2011 καθυστέρησε να αποκτήσει απογόνους οι οποίοι απόγονοι καθυστέρησαν να αποκτήσουν απογόνους (Margolis, 2016). Η ανάλυση δημογραφικών δεδομένων προερχομένων από την Ευρώπη και την Αμερική έδειξε ότι στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης οι πληθυσμοί αποκτούν συντομότερα τέκνα σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη και την Αμερική, επηρεάζοντας την δυνατότητα παροχής βοήθειας από τους παππούδες στα παιδιά τους λόγω των επικαλυπτόμενων ρόλων των ατόμων ως παππούδες και ως εργαζόμενοι (Leopold and Skorek, 2015). Όσον αφορά τα ζώα και τα φυτά, η δημογραφία μπορεί να προβλέψει και να ερμηνεύσει τους λόγους για τους οποίους ένα είδος μπορεί να εξαφανιστεί (Hernández-Yáñez et al., 2022). Η σύνδεση των δημογραφικών παραμέτρων ενός πληθυσμού σε συνδυασμό με τον ρυθμό της αναπαραγωγής του και τις διακυμάνσεις των συνθηκών του περιβάλλοντος στο οποίο εκτίθεται, αποκαλύπτουν τον κίνδυνο της εξαφάνισης που διατρέχει (Hernández-Yáñez et al., 2022, Pande and Shnerb, 2022). Για παράδειγμα, οι Hernández-Yáñez et al. (2022) ανακάλυψαν ότι τα θηλαστικά τα οποία έχουν μεγαλύτερη διάρκεια γενεάς, τα πολυετή βότανα τα οποία ωριμάζουν νωρίς και τα πτηνά τα οποία έχουν προοδευτική αναπαραγωγή και ανάπτυξη είναι πιο ευαίσθητα στον κίνδυνο

της εξαφάνισης. Επίσης, οι δημογραφικοί παράμετροι του εξαφανισμένου πτηνού *Todiramphus cinnamominus* (Swainson) (Coraciiformes: Alcedinidae), αποκάλυψαν ότι η μειωμένη επιβίωση και γονιμότητα των απογόνων λόγω της αιμομιξίας των γονικών ατόμων προκάλεσε την οριστική εξαφάνιση του είδους (Trask et al., 2021).

Οι δημογραφικές παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως για την ερμηνεία και την κατανόηση των πληθυσμών είναι οι ακόλουθες:

- Ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός.

Αντιστοιχεί στην κατά κεφαλή τιμή της παραγωγής των απογόνων σε μια χρονική περίοδο η οποία ισούται με την περίοδο της υπό μελέτη σειράς (Carey, 1993, Arshad et al., 2020, Boopathi et al., 2020, Wang et al., 2020, García-Robledo and Baer, 2021, Kavallieratos et al., 2022, Skourti et al., 2022).

- Ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως.

Είναι ο ρυθμός της φυσικής αυξήσεως ενός πληθυσμού, ο οποίος είναι κλειστός και υπόκειται σε σταθερά χρονικά βήματα θνησιμότητας και γονιμότητας για μεγάλη χρονική περίοδο (Carey, 1993, Arshad et al., 2020, Wang et al., 2020, Kavallieratos et al., 2022, Skourti et al., 2022).

- Ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως.

Είναι ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται ο πληθυσμός σε ένα ορισμένο χρονικό βήμα (Carey, 1993, Arshad et al., 2020, Wang et al., 2020, Kavallieratos et al., 2022, Skourti et al., 2022).

- Η μέση διάρκεια γενεάς.

Είναι η χρονική περίοδος η οποία απαιτείται για την αύξηση του πληθυσμού κατά συντελεστή που ισούται με τον καθαρό αναπαραγωγικό ρυθμό (Carey, 1993, Arshad et al., 2020, Wang et al., 2020, Ramezani et al., 2021, Kavallieratos et al., 2022, Skourti et al., 2022).

- Ο χρόνος διπλασιασμού του πληθυσμού.

Είναι η χρονική περίοδος η οποία απαιτείται ώστε να διπλασιαστεί ο πληθυσμός των εντόμων (Carey, 1993, Wang et al., 2021, Kavallieratos et al., 2022, Skourti et al., 2022).

Η δημογραφία στα έντομα έχει ποικίλες χρήσεις και μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, οι Rahmani and Bandani (2013) μελέτησαν τις δημογραφικές παραμέτρους του *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae) όταν εξετράφη με *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae), στους 27 °C και 70% σχετική υγρασία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εφαρμοσθείσες συνθήκες ήταν ευνοϊκές για την ανάπτυξη του πληθυσμού του εντόμου διότι οι τιμές του ενδογενούς ρυθμού αυξήσεως, του καθαρού αναπαραγωγικού ρυθμού και του πεπερασμένου ρυθμού αναπτύξεως ήταν υψηλές, σε αντίθεση με την μέση διάρκεια γενεάς η οποία είχε μικρή διάρκεια (Rahmani and Bandani 2013). Το *Agasicles hygrophila* Selman and Vogt (Coleoptera: Chrysomelidae) είχε μεγαλύτερο καθαρό αναπαραγωγικό ρυθμό, ενδογενή ρυθμό αυξήσεως, πεπερασμένο ρυθμό αυξήσεως και μικρότερη μέση διάρκεια γενεάς όταν αναπτύχθηκε με 420  $\mu\text{L CO}_2$  σε σύγκριση με τα 750  $\mu\text{L CO}_2$  (Fu et al., 2016). Η φωτοπερίοδος 14 ώρες φως: 10 ώρες σκότος ευνόησε όλες τις δημογραφικές παραμέτρους (καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός, ενδογενής ρυθμός αυξήσεως, πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως, μέση διάρκεια γενεάς και χρόνος διπλασιασμού) τις οποίες εξέτασαν οι Omkar et al. (2013) για το *Z. bicolorata*. Ενδιαφέρον εύρημα αποτέλεσε το γεγονός ότι όσο αυξήθηκε η διάρκεια του σκότους οι προαναφερθείσες παράμετροι έχασαν την βέλτιστη τιμή τους, ενώ ανάμεσα στο μόνιμο σκότος και στο μόνιμο φως, το τελευταίο αποδείχθηκε ευνοϊκότερο για την ανάπτυξη του εντόμου (Omkar et al., 2013). Επιπλέον, στην ίδια εργασία, εξετάστηκαν τα διαφορετικά φάσματα του φωτός με το λευκό φως (ευρύ φάσμα) να παρέχει τις καλύτερες επιδόσεις των προαναφερθεισών δημογραφικών παραμέτρων του πληθυσμού, ακολουθούμενο από το κίτρινο (~570 nm), το κυανό (~475 nm) και το ερυθρό (~650 nm) φως (Omkar et al., 2013). Άλλος ένας

παράγοντας ο οποίος δύναται να μεταβάλλει την δημογραφία ενός εντόμου είναι το υψόμετρο. Οι García-Robledo and Baer (2021) μελέτησαν δύο πληθυσμούς του *Cephaloleia belti* Baly (Coleoptera: Chrysomelidae) οι οποίοι αναπτύχθηκαν σε υψόμετρο 2.000 μέτρων και 50 μέτρων από την επιφάνεια της θαλάσσης. Όταν οι δύο πληθυσμοί εξετάστηκαν στους 20 °C, ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός του πληθυσμού ο οποίος αναπτύχθηκε στα 2.000 μέτρα ήταν 5,09 (θήλεα/θήλυ) ενώ του πληθυσμού ο οποίος αναπτύχθηκε στα 50 μέτρα ήταν 30,13 (θήλεα/θήλυ). Το μέγεθος των γεννητικών οργάνων των θήλεων και των αρρένων ατόμων *Carabus insulicola* Chaudoir (Coleoptera: Carabidae) επηρεάζει την γονιμότητα των θήλεων ατόμων, γεγονός το οποίο επηρέασε τις καταγραφείσες δημογραφικές παραμέτρους (Takami et al., 2018).

Η διατροφή ενός πληθυσμού επηρεάζει τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του, όπως στην περίπτωση του *Harmonia dimidiata* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae), στον οποίο η μέση διάρκεια γενεάς ήταν μικρότερη όταν οι προνύμφες και τα τέλεια άτομα του εντόμου εξετράφησαν με το *A. gossypii*, σε σχέση με την κατανάλωση ωών του *Bactrocera dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae) ή με τον συνδυασμό *A. gossypii* και ωών (Yu et al., 2018). Αντιθέτως, ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως, ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως και ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός αυξήθηκαν όταν το *H. dimidiata* εξετράφη με το *A. gossypii*, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες δίαιτες (Yu et al., 2018). Οι Mariño et al., (2021) παρατήρησαν ότι ο ρυθμός αναπτύξεως του πληθυσμού, η μέση διάρκεια γενεάς και ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως του *H. hampei* ήσαν υψηλότεροι όταν τα έντομα εξετράφησαν σε τεχνητή δίαιτα σε σχέση με την κατανάλωση *Coffea arabica* L. (Gentianales: Rubiceae), ενώ ο χρόνος διπλασιασμού του πληθυσμού μειώθηκε. Διαφορές στις δημογραφικές παραμέτρους ενός είδους εντόμου μπορεί να παρατηρηθούν όταν καταναλώνει διαφορετικές ποικιλίες ενός φυτού. Για παράδειγμα, όταν το *T. castaneum* αναπτύχθηκε στην ποικιλία κριθής Lout, ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός, ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως και ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως ήσαν σημαντικώς μεγαλύτερα σε σχέση με την διατροφή του με κριθή της ποικιλίας Makuyi (Namin et al., 2018). Αντιθέτως, η μέση διάρκεια γενεάς και ο χρόνος διπλασιασμού του

πληθυσμού ήταν σημαντικώς μικρότερα όταν το έντομο εξετράφη με κριθή της ποικιλίας Lout σε σχέση με την ποικιλία Makuyi (Namin et al., 2018). Επιπροσθέτως, η διακύμανση του ενδογενούς ρυθμού αυξήσεως, του πεπερασμένου ρυθμού αυξήσεως, του καθαρού αναπαραγωγικού ρυθμού και του χρόνου γενεάς του *T. granarium* ήταν στατιστικώς σημαντικές όταν το έντομο αναπτύχθηκε σε εννέα διαφορετικές ποικιλίες αραβοσίτου (Majid-Marani et al., 2017).

Η θερμοκρασία επηρεάζει τους δημογραφικούς παράγοντες. Οι Liu et al. (2018) κατέγραψαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 21 °C στους 36 °C προκάλεσε μείωση της μέσης διάρκειας γενεάς του *Epicauta impressicorins* (Pic) (Coleoptera: Meloidae) κατά 155,9 ημέρες. Οι 36 °C δεν ήταν οι καταλληλότεροι για το έντομο διότι η γονιμότητα, ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως, ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως και ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός παρουσίασαν τις βέλτιστες τιμές τους σε άλλες θερμοκρασίες (27 °C, 33 °C, 33 °C και 30 °C αντιστοίχως) (Liu et al., 2018). Το *Monochamus leuconotus* (Pascoe) (Coleoptera: Cerambycidae) μείωσε την μέση διάρκεια γενεάς κατά 139,11 ημέρες όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε από τους 20 °C στους 32 °C (Azrag et al., 2020). Στην ίδια μελέτη, ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός και ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως αυξήθηκαν από τους 20 °C έως τους 26 °C, ενώ από τους 27 °C έως τους 32 °C οι τιμές μειώθηκαν (Azrag et al., 2020). Οι διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας είχαν επιπτώσεις στις δημογραφικές παραμέτρους του *Z. bicolorata* (Omkar et al., 2013). Στους 30 °C σημειώθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές του ενδογενούς ρυθμού αυξήσεως, του πεπερασμένου ρυθμού αναπτύξεως και η μικρότερη τιμή του χρόνου διπλασιασμού (Omkar et al., 2013). Στους 35 °C, η μέση διάρκεια γενεάς έλαβε την μικρότερη τιμή ενώ στους 27 °C ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός ήταν ο μεγαλύτερος σε σχέση με τις υπόλοιπες εξετασθείσες θερμοκρασίες (Omkar et al., 2013). Μελετώντας το *Z. bicolorata*, οι Hasan and Ansari (2016) διαπίστωσαν ότι ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός, ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως, ο πεπερασμένος ρυθμός αναπτύξεως και ο χρόνος διπλασιασμού έλαβαν τις βέλτιστες τιμές τους στους 27 °C. Εξίσου σημαντικό ήταν το γεγονός ότι δεν καταγράφηκε ανάπτυξη του πληθυσμού στους 38 °C (Hasan and Ansari, 2016). Τούτες οι διαφορές

μπορούν να αποδοθούν στους διαφορετικούς πληθυσμούς του εντόμου οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές και τις διαφορετικές ποικιλίες του *Parthenium hysterophorus* L. (Asterales: Asteraceae) που χρησιμοποιήθηκαν ως τροφή στις βιοδοκιμές (Omkar et al., 2013, Hasan and Ansari, 2016). Από το εύρος θερμοκρασιών μεταξύ των 22 °C και των 34 °C, οι 31 °C αποδείχθηκαν ιδανικοί για την ανάπτυξη του *Galerucella birmanica* Jacoby (Coleoptera: Chrysomelidae) βάσει των δημογραφικών παραμέτρων (ενδογενής ρυθμός αυξήσεως, καθарός αναπαραγωγικός ρυθμός, μέση διάρκεια γενεάς και πεπερασμένος ρυθμός αναπτύξεως) (Zheng et al., 2008). Σε πρόσφατη έρευνα, παρατηρήθηκε ότι ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως και ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως του *Adalia decempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) αυξήθηκαν με την αύξηση της θερμοκρασίας από τους 16 °C στους 28 °C. Περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας στους 32 °C μείωσε τις προαναφερθείσες παραμέτρους (Mojib-Haghghadam et al., 2019). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο καθарός αναπαραγωγικός ρυθμός έλαβε την μεγαλύτερη τιμή του στους 24 °C σε αντίθεση με τον ενδογενή ρυθμό αυξήσεως, τον πεπερασμένο ρυθμό αυξήσεως και την μέση διάρκεια γενεάς που έλαβαν τις βέλτιστες τιμές τους στους 28 °C. Αντιστοίχως, οι Papanikolaou et al. (2019) εστίασαν την έρευνα τους στο γεγονός ότι η θερμοκρασία είχε θετική επίδραση στις δημογραφικές παραμέτρους του *T. granarium* από τους 30 °C στους 35 °C, ενώ περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας από τους 35 °C στους 40 °C, είχε αρνητικές επιπτώσεις για την ανάπτυξη του πληθυσμού του εντόμου. Παρομοίως, οι Skourti et al. (2022) ανακάλυψαν ότι ο καθарός αναπαραγωγικός ρυθμός, ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως και ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως αυξήθηκαν με την άνοδο της θερμοκρασίας από τους 20 °C στους 30 °C, ενώ μειώθηκαν όταν η θερμοκρασία ανήλθε στους 32,5 °C.

Πέραν των αβιοτικών παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν τις δημογραφικές παραμέτρους ενός είδους εντόμου, διαφορετικοί πληθυσμοί του δύναται να παρουσιάζουν ποικίλα δημογραφικά χαρακτηριστικά. Πρόσφατα, οι Kavallieratos et al. (2020) μελέτησαν δύο γεωγραφικούς πληθυσμούς του *T. confusum* (από την Ελλάδα και την Σερβία) όταν αναπτύχθηκαν σε σπασμένη κριθή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο πληθυσμός από την Σερβία

είχε καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με τον ελληνικό πληθυσμό του εντόμου όσον αφορά τον καθαρό αναπαραγωγικό ρυθμό, τον ενδογενή ρυθμό αυξήσεως, τον πεπερασμένο ρυθμό αυξήσεως, τη μέση διάρκεια γενεάς και τον χρόνο διπλασιασμού (Kavallieratos et al., 2020). Οι ίδιοι πληθυσμοί παρουσίασαν διαφορές στις δημογραφικές παραμέτρους τους όταν αναπτύχθηκαν στους 25 °C, 30 °C και 32,5 °C με τον σερβικό πληθυσμό να καταγράφει καλλίτερες επιδόσεις σε σχέση με τον ελληνικό πληθυσμό (Kavallieratos et al., 2022).

Συνεπώς, καθίσταται φανερό ότι οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της φωτοπεριόδου, του μήκους της ακτινοβολίας, της διατροφής και της γεωγραφικής προελεύσεως αποτελούν σημαντικούς παράγοντες οι οποίοι ρυθμίζουν την ανάπτυξη και την εξάπλωση επιζημίων εντόμων, γνώση η οποία κρίνεται αξία ενδελεχούς μελέτης προκειμένου να σχεδιάζονται με ακρίβεια οι επεμβάσεις διαχειρίσεώς τους.



## 1.2 Βιβλιογραφία

- Abu Alloush, A.H., 2019. Developmental duration and predation rate of the coccidophagous coccinellid *Rhyzobius lophanthae* (Blaisdell) (Coleoptera: Coccinellidae) on *Aspidiotus nerii* Bouche. Bull. Entomol. Res. 109, 612–616.
- Aksglaede, L., Olsen, L.W., Sørensen, T.I.A., Juul, A., 2008. Forty years trends in timing of pubertal growth spurt in 157,000 danish school children. PLoS ONE 3, e2728.
- Alarcón, D., Ortega, F., Perich, F., Pardo, F., Parra, L., Quiroz, A., 2010. Relationship between radical infestation of *Hylastinus obscurus* (Marsham) and the yield of cultivars and experimental lines of red clover (*Trifolium pratense* L.). Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal 10, 115–125.
- Alho, J.M., Spencer, B.D., 2005. Statistical Demography and Forecasting. Springer Science+Business Media, Inc., New York.
- Arshad, M., Ullah, M.I., Shahid, U. Tahir, M., Khan, M.I., Rizwan, M., Abrar, M., Niaz, M.M., 2020. Life table and demographic parameters of the coccinellid predatory species, *Hippodamia convergens* Guérin-Méneville (Coleoptera: Coccinellidae) when fed on two aphid species. Egypt. J. Biol. Pest Control 30, 79.
- Awadalla, H.S., Guedes, R.N.C., Hashem, A.S., 2021. Feeding and egg-laying preferences of the sawtoothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis*: Beyond cereals and cereal products. J. Stored Prod. Res. 93, 101841.
- Auad, A.M., Santos, J.C., Fonseca, M.G., 2014. Effects of temperature on development and survival of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) fed on *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae). Fla. Entomol. 97, 1353–1363.

- Azrag, A.G.A., Yusuf, A.A., Pirk, C.W.W., Niassy, S., Guandaru, E.K., David, G., Babin, R., 2020. Modelling the effect of temperature on the biology and demographic parameters of the African coffee white stem borer, *Monochamus leuconotus* (Pascoe) (Coleoptera: Cerambycidae). J. Therm. Biol. 89, 102534.
- Benoufella-Kitous, K., Mehalli-Ouldkadi, N., Temzi, K., 2021. A life cycle study of *Coccinella algerica* Kovar, 1977 (Coleoptera, Coccinellidae): Census of a new larval stage in this lady beetle from Béni-Douala area (Tizi-Ouzou). J. Plant Prot. Res. 61, 41–46.
- Boopathi, T., Singh, S.B., Dutta, S.K., Dayal, V., Singh, A.R., Chowdhury, S., Ramakrishna, Y., Aravintharaj, R., Shakuntala, I., Lalhruaipuii, K., 2020. *Harmonia sedecimnotata* (F.): Predatory potential, biology, life table, molecular characterization, and field evaluation against *Aphis gossypii* Glover. Sci. Rep. 10, 3079.
- Boyce, M.S., Haridas, C.V., Lee, C.T., NCEAS Stochastic Demography Working Group, (2006). Demography in an increasingly variable world. Trends Ecol. Evol. 21, 141–148.
- Carey, J.R., 1993. Applied demography for biologists with special emphasis on insects. Oxford University Press, New York.
- Carretero, J.M., Rodríguez, L., García-González, Quam, R.M., Arsuaga, J.L., 2018. Exploring bone volume and skeletal weight in the Middle Pleistocene humans from the Sima de los Huesos site (Sierra de Atapuerca, Spain). J. Anat. 233, 740–754.
- Cheng, Y., Zhi, J., Li, F., Jin, J., Zhou, Y., 2018. An artificial diet for continuous maintenance of *Coccinella septempunctata* adults (Coleoptera: Coccinellidae). Biocontrol Sci. Technol. 28, 242–252.
- Cossio-Bolaños, M.A., Vidal-Espinoza, R., Minango-Negrete, J., Olivares, P.R., Urzua-Alul, L, de Campos, L.F.C.C., Fuentes-López, J., Sanchez-Macedo, L., Diaz-Bonilla, E., Torres-Galvis, C., Gomez-Campos, R., 2021. Estimation of pubertal growth spurt parameters in children and

- adolescents living at moderate altitude in Colombia. *Front. Endocrinol.* 12, 718292.
- De Bortoli, S.A., Vacari, A.M., Laurentis, V.L., De Bortoli, C.P., Santos, R.F., Otuka, A.K., 2016. Selection of prey to improve biological parameters of the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) in laboratory conditions. *Braz. J. Biol.* 76, 307–314.
- de Lima, M.S., Melo, J.W.S., Barros, R., 2018. Alternative food sources for the ladybird *Brumoides foudrasii* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) *Braz. J. Biol.* 78, 211–216.
- Delgado, S., Aldalur, A., Herrero, A., Arizaga, J., 2020. No evidence supporting sex-dependent differential movements and survival in yellow-legged gulls. *Ardea* 108, 183–190.
- Desai, H.S., Chauhan, B.S., 2021. Differential germination characteristics of glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible *Chloris virgata* populations under different temperature and moisture stress regimes. *PLoS ONE* 16, e0253346.
- Escobar, A., Gil, R., Bojacá, C.R., Jiménez, J., 2011. Modeling egg development of the pest *Clavipalpus ursinus* (Coleoptera: Melolonthidae) using a temperature-dependent approach. *Insect Sci.* 19, 657–665.
- Fieder, M., Prossinger, H., Iber, K., Schaefer, K., Wallner, B., Huber, S., 2006. Season of birth contributes to variation in university examination outcomes. *Am. J. Hum. Biol.* 18, 714–717.
- Frederiksen, M., 2014. Environmental demography: exploring the links between vital rates and a fluctuating environment. Doctor's dissertation, Aarhus University, Denmark.
- Frisk, M.G., Miller, T.J., Fogarty, M.J., 2001. Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58, 969–981.

- Fu, J.W., Shi, M.Z., Wang, T., Li, J.Y., Zheng, L.Z., Wu, G., 2016. Demography and population projection of flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae), fed on alligator weed under elevated CO<sub>2</sub>. J. Econ. Entomol. 109, 1116–1124.
- García-Robledo, C., Baer, C.S., 2021. Demographic attritions, elevational refugia, and the resilience of insect populations to projected global warming. Am. Nat. 198, 1.
- Hasan, F., Ansari, M.S., 2016. Temperature-dependent development and demography of *Zygogramma bicolorata* (Coleoptera: Chrysomelidae) on *Parthenium hysterophorus*. Ann. Appl. Biol. 168, 81–92.
- Hernández-Yáñez, H., Kim, S.Y., Che-Castaldo, J.P., 2022. Demographic and life history traits explain patterns in species vulnerability to extinction. PLoS ONE 17, e0263504.
- Huang, Z., Zhu, L., Lv, J., Pu, Z., Zhang, L., Chen, G., Hu, X., Zhang, Z., Zhang, H., 2022. Dietary effects on biological parameters and gut microbiota of *Harmonia axyridis*. Front. Microbiol. 12, 818787.
- Iftikhar, A., Aziz, M.A., Naeem, M., Ahmad, M., Mukhtar, T., 2018. Effect of temperature on demography and predation rate of *Menochilus sexmaculatus* (Coleoptera: Coccinellidae) reared on *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). Pakistan J. Zool., 50, 1885-1893.
- Iolchiev, B.S., Bagirov, Zhilinskiy, M.A., Volkova, N.A., Zinovieva, N.A., 2018. Change of biological parameters of poultry semen at cryopreservation. Sel'skokhozyaistvennaya Biol. 53, 1230–1237.
- Jaramillo, M.G., Machado, P.B., 2021. Biology and fertility of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) at 16 °C under laboratory conditions. Coffee Sci. 16, e161834.
- Kavallieratos, N.G., Andrić, G., Pražić Golić, M., Nika, E.P., Skourti, A., Kljajić, P., Papanikolaou, N.E., 2020. Biological Features and Population

- Growth of Two Southeastern European *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) Strains. *Insects* 11, 218.
- Kavallieratos, N.G., Nika, E.P., Pražić Golić, M., Andrić, G., Skourti, A., Papanikolaou, N.E., 2022. Impact of temperature on life history of two long-term laboratory strains of *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) from Greece and Serbia. *J. Stored Prod. Res.* 96, 101937.
- Keena, M.A., Richards, J.Y., 2022. Effects of temperature on *Anoplophora chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae and pupae. *Environ. Entomol.* 51, 153–166.
- Kher, S.V., Dossall, L.M., Cárcano, H.A., 2016. Biology, host preferences and fitness of *Oulema melanopus* (Coleoptera: Chrysomelidae), a recent invasive pest in Western Canada. *Arthropod Plant Interact.* 10, 365–376.
- Kociuba, M., Koziel, S., Chakraborty, R., 2016. Sex differences in digit ration (2D:4D) among military and civil cohorts at a military academy in Wrocław, Poland. *J. Biosoc. Sci.* 48, 658–671.
- Koziel, S.M., 1998. Effect of disparities in birth weight on differences in postnatal growth of monozygotic and dizygotic twins, *Ann. Hum. Biol.* 25, 159–168.
- Leopold, T., Skopek, J., 2015. The demography of grandparenthood: An international profile. *Soc. Forces* 94, 801–832.
- Liu, Y.Y., Li, G.Y., Yang, L., Chi, H., Chen, X.S., 2018. Demography and mass rearing of the medicinal blister beetle *Epicauta impressicornis* (Pic) (Coleoptera: Meloidae) at different temperatures. *J. Econ. Entomol.* 111, 2364–2374.
- Majd-Marani, S., Naseri, B., Nouri-Ganbalani, G., Borzoui, E., 2017. The effect of maize hybrid on biology and life table parameters of the *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae). *J. Econ. Entomol.* 110, 1916–1922.

- Margolis, R., 2016. The changing demography of grandparenthood. *J. Marriage Fam.* 78, 610–622.
- Mariño, Y.A., Bayman, P., Sabat, A.M., 2021. Demography and perturbation analyses of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): Implications for management. *PLoS ONE* 16, e0260499.
- Mehrnejad, M.R., Jalali, M.A., 2004. Life history parameters of the coccinellid beetle, *Oenopia conglobata contaminata*, an important predator of the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Psylloidea). *Biocontrol Sci. Technol.* 14, 701–711.
- Mehta, V., Kumar, S., 2020. Relative susceptibility and influence of different wheat cultivars on biological parameters of *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Int. J. Trop. Insect Sci.* 41, 653–661.
- Mojib-Haghighadam, Z., Sendi, J.J., Zibae, A., Mohaghegh, J., Karimi-Malati, A., 2019. Modeling temperature-dependent development and demography of *Adalia decempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) reared on *Aphis gossypii* (Glover) (Homoptera: Aphididae). *J. Plant Prot. Res.* 59, 229–243.
- Mota, J.A., Soares, A.O., Garcia, P.V., 2007. Temperature dependence for development of the whitefly predator *Clitostethus arcuatus* (Rossi). *BioControl* 53, 603–613.
- Mousa, K.M., Metwaly, M.M.S., Alshehri, M.A., Sayed, S.M., Rakha, O.M., 2022. Soil pH alters the biological parameters of cowpea aphid *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae) on its host plant *Vicia faba*. *Saudi J. Biol. Sci.* 29, 2926–2932.
- Muniswami, D.M., Buvaneshwari, K., Mystica, F.R.L., Naveena, T., Pabitha, B., Reshma, S., Rangila, D., Santhiya, P., Devi, S.N., Rasheeq, A.A., Sampathkumar, P., Dineshkumar, R., 2021. Comparative assessment of different biofertilizers in maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Biomass Convers. Biorefin.* <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01543-5>

- Murthy, K.S., Jalali, S.K., Venkatesan, T., Rajeswari, R., 2009. Rearing the Mexican beetle *Zygogramma bicolorata* (Chrysomelidae: Coleoptera) on a semi-synthetic diet. *Biocontrol Sci. Technol.* 19, 773–777.
- Namin, F.R., Naseri, B., Nouri-Ganbalani, G., Razmjou, J., 2018. Demographic studies of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) on various barley cultivars. *J. Stored Prod. Res.* 79, 60–65.
- Ofuya, T.I., Credland, P.F., 1995. Responses of three populations of the seed beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae), to seed resistance in selected varieties of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *J. Stored Prod. Res.* 31, 17–27.
- Omar, Y.M., Mahmoud, M.A., 2020. Effects of three constant temperature ranges to control *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae): a serious pest of pulses in Egypt. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 40, 1013–1020.
- Omkar, Rastogi, S., Pervez, A., 2013. Demographic attributes of the parthenium beetle *Zygogramma bicolorata* (Coleoptera: Chrysomelidae) under different variables. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 33, 170–177.
- Oyeniya, E.A., Adeyemi, J.A., Omotoso, O.T., 2021. The interaction between strain and food type influences biological parameters of *Tribolium castaneum* and its susceptibility to *Dennettia tripetala* extract. *Entomol. Exp. Appl.* 169, 899–910.
- Pande, J., Shnerb, N.M., 2022. How temporal environmental stochasticity affects species richness: Destabilization, neutralization and the storage effect. *J. Theor. Biol.* 539, 111053.
- Papanikolaou, N.E., Kavallieratos, N.G., Kondakis, M., Boukouvala, M.C., Nika, E.P., Demiris, N., 2019. Elucidating fitness components of the invasive dermestid beetle *Trogoderma granarium* combining deterministic and stochastic demography. *PLoS ONE* 14, e0212182.

- Pires, E.M., Nogueira, R.M., Faroni, L.R.D.A., Soares, M.A., Oliveira, M.A., 2019. Biological and reproductive parameters of *Tribolium castaneum* in Brazil nut. Fla. Entomol. 102, 76–78.
- Quiroz-Jara, M., Casini, S., Fossi, M.C., Orrego, R., Gavilán, J.F., Barra, R., 2021. Integrated physiological biomarkers responses in wild fish exposed to the anthropogenic gradient in the Biobío River, South-Central Chile. Environ. Manage. 67, 1145–1157.
- Qureshi, K.H., Solangi, A.W., Lanjar, A.G., Marri, J.M., Khuhro, S.A., Bukero, A., 2021. Biological parameters of the bark beetle, *Xylosandrus crassiusculus* (Motschulsky) under controlled laboratory conditions. Arab J. Plant Prot. 39, 146–151.
- Rahmani, S., Bandani, A.R., 2013. Demographic traits of *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae) reared on *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae). Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz 46, 1393–1402.
- Ramezani, L., Torfi, E.T., Zarghami, S., Rezai, N., 2021. Effect of temperature on development time and life table parameters of *Nephus hiekei* Fürsch, the important predator of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. J. Asia Pac. Entomol. 24, 266–271.
- Rauber, R.H., Perlin, V.J., Fin, C.D., Mallmann, A.L., Miranda, D.P., Giacomini, L.Z., do Nascimento, V.P., 2014. Interference of *Salmonella typhimurium* lipopolysaccharide on performance and biological parameters of broiler chickens. Rev. Bras. Cienc. Avic. 16, 77–81.
- Rodríguez-González, Á., Peláez, H.J., González-López, Ó., Mayo, S., Casquero, P.A., 2018. Effects of adults body size and larvae diet on the fecundity and percent fertility of eggs laid by *Xylotrechus arvicola* (Coleoptera: Cerambycidae) females, insect pest in Spanish vineyards. Entomol. Res. 48, 83–91.
- Roy, M., Brodeur, J., Cloutier, C., 2002. Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera:



- Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Tetranychidae). *Environ. Entomol.* 31, 177–187.
- Sahid, A., Natawigena, W.D., Hersanti, Sudarjat, 2018. Laboratory rearing of *Sycanus annulicornis* (Hemiptera: Reduviidae) on two species of prey: Differences in its biology and efficiency as a predator of the nettle caterpillar pest *Setothosea asigna* (Lepidoptera: Limacodidae). *Eur. J. Entomol.* 115, 208–216.
- Sanaee, S., Omidzahir, Sh., Shirazi, A.S., Akhoundian, M., 2020. Seasonal distribution and some biological parameters of the Caspian seal (*Pusa caspica*) in the southeastern region of the Caspian Sea. *Iran. J. Fish. Sci.* 19, 2464–2474.
- Shaurut, E.S.H., Abou Gharsa, G.M., Sabbour, M.M., 2022. Sustainability of development, survivability, and biomass are a function of temperature and diet: implications in *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) with benefits for its management strategy. *Invertebr. Reprod. Dev.* 66, 50–58.
- Sighinolfi, L., Febvay, G., Dindo, M.L., Rey, M., Pageaux, J.F., Grenier, S., 2013. Biochemical content in fatty acids and biological parameters of *Harmonia axyridis* reared on artificial diet. *Bull. Insectol.* 66, 283–290.
- Skourti, A., Kavallieratos, N.G., Papanikolaou, N.E., 2020. Suitability of semolina, cracked wheat and cracked maize as feeding commodities for *Tribolium castaneum* (Herbst; Coleoptera: Tenebrionidae). *Insects* 11, 99.
- Skourti, A., Kavallieratos, N.G., Papanikolaou, N.E., 2022. Demographic responses of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) to different temperatures in soft wheat flour. *J. Therm. Biol.* 103, 103162.
- Souza, J.R., Silva, C.G., Barrigossi, J.A.F., Matos Junior, J.B., Conceição, Sousa, G.O., 2023. Biology of *Glypheapomis dubia* Campos & Souza, 2016 (Hemiptera: Pentatomidae) and the parasitoids *Telenomus podisi*

- Ashmead, 1893 and *Trissolcus basalis* (Wollaston, 1858) (Hymenoptera: Platygasteridae) on rice. *Braz. J. Biol.* 83, e247433.
- Takami, Y., Fukuhara, T., Yokoyama, J., Kawata, M., 2018. Impact of sexually antagonistic genital morphologies on female reproduction and wild population demography. *Evolution* 72, 2449–2461.
- Trask, A.E., Ferrie, G.M., Wang, J., Newland, S., Canessa, S., Moehrensclager, A., Laut, M., Barnhart Duenas, L., Ewen, J.G., 2021. Multiple life-stage inbreeding depression impacts demography and extinction risk in an extinct-in-the-wild species. *Sci. Rep.* 11, 682.
- van Vliet, N., Nasi, R., 2019. What do we know about the life-history traits of widely hunted tropical mammals? *Oryx*, 53, 670–676.
- Wang, X., Deng, H., Du, C., Shaukat, A., 2020. Development, biology, and life table parameters of the predatory species, *Clitostethus brachylobus* Peng, Ren & Pang 1998 (Coleoptera: Coccinellidae), when fed on the whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.). *Egypt. J. Biol. Pest Control* 30, 115.
- Wang, Y.L., Jin, Q.N., Wang, X.P., 2021. Effects of delayed mating on the reproductive performance of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae). *Insects* 12, 629.
- Wang, Q., Shi, G., Song, D., Rogers, D.J., Davis, L.K., Chen, X., 2002. Development, survival, body weight, longevity, and reproductive potential of *Oemena hirta* (Coleoptera: Cerambycidae) under different rearing conditions. *J. Econ. Entomol.* 95, 563–569.
- Wu, L.H., Wang, C.P., Wu, W.J., 2012. Description and differentiation of the four larval instars of *Acanthoscelides macrophthalmus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 105, 259–267.
- Yamamura, N., 1986. An evolutionarily stable strategy (ESS) model of postcopulatory guarding in insects. *Theor. Popul. Biol.* 29, 438–455.
- Yu, J.Z., Chen, B.H., Günçan, A., Atlıhan, R., Gökçe, A., Smith, C.L., Gümüş, E., Chi, H., 2018. Demography and mass-rearing *Harmonia dimidiata*

(Coleoptera: Coccinellidae) using *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) and eggs of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 111, 595–602.

Zhang, S.Z., Li, J.J., Shan, H.W., Zhang, F., Liu, T.X., 2012. Influence of five aphid species on development and reproduction of *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). Biol. Control 62, 135–139.

Zheng, F.S., Du, Y.Z., Wang, Z.J., Xu, J.J., 2008. Effect of temperature on the demography of *Galerucella birmanica* (Coleoptera: Chrysomelidae). Insect Sci. 15, 375–380.

### 1.3 Ανταγωνισμός

Με τον όρο ανταγωνισμός περιγράφεται η σχέση μεταξύ δύο ατόμων ή δύο πληθυσμών που βρίσκονται στον ίδιο χώρο και αξιοποιούν τους ίδιους πόρους, οι οποίοι είναι περιορισμένοι (Nicholson, 1954). Οι ζωικοί οργανισμοί ανταγωνίζονται για την πληθώρα των αγαθών όπως η τροφή, το ύδωρ, η ευκαιρία της αναπαραγωγής, η επιβίωση και η δυνατότητα της δημιουργίας καταφυγίου-φωλιάς (Johnson and Hubbell, 1974, Bonesi et al., 2004, Alabi et al., 2008, Furini, 2020, Takei et al., 2021, Cunningham et al., 2022, Liu et al., 2022, Ohba et al., 2022, Tsujii et al., 2022). Τα φυτά ανταγωνίζονται για τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, τον χώρο, την αγωγιμότητα του εδάφους (το άλας του εδάφους), το ύδωρ και το φως (Teste and Simard, 2008, Swieter et al., 2021, Peng et al., 2022, Singh et al., 2022, Wang et al., 2022, Zhang et al., 2022). Οι μύκητες, τα βακτήρια και το φυτοπλαγκτόν ανταγωνίζονται για τον χώρο, τα θρεπτικά συστατικά, το ύδωρ και το φως (O'Neil and Roman, 1992, Sheridan et al., 2002, Daufresne et al., 2008, Bleiker and Six, 2009, Leigh et al., 2011, Liu et al., 2011, Moore και Six, 2015, Boddy and Hiscox, 2016, Edwards et al., 2016, Serra-Pompei et al., 2019, Sörenson et al., 2020, Jin et al., 2022). Ο Nicholson (1954) περιέγραψε δύο τύπους ανταγωνισμού, οι οποίοι παρατηρούνται είτε ανάμεσα σε άτομα του ίδιου είδους είτε ανάμεσα σε άτομα διαφορετικών ειδών. Στον πρώτο τύπο ανταγωνισμού (contest competition) διακρίνονται δύο κατηγορίες οργανισμών, ο νικητής και ο ηττημένος, στον οποίο ο νικητής αποκτά όσους πόρους χρειάζεται για την αναπαραγωγή του και την επιβίωσή του, ενώ ο ηττημένος παραχωρεί όσους πόρους χρειαστεί στον νικητή (Nicholson, 1954, Benenson and Abadzi, 2020). Σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να υπάρξει εμφάνιση βιαίων συμπεριφορών για την διεκδίκηση των πόρων (Benenson and Abadzi, 2020). Στον δεύτερο τύπο ανταγωνισμού (scramble competition) όλα τα άτομα έχουν ίση πρόσβαση στους πόρους, οι οποίοι είναι περιορισμένοι και διασκορπισμένοι (Nicholson, 1954, Benenson and Abadzi, 2020). Ένα άτομο χρησιμοποιεί τους περιορισμένους και τους διασκορπισμένους πόρους πριν κάποιο άλλο άτομο τους χρησιμοποιήσει (Nicholson, 1954). Σε τούτη την περίπτωση, τα άτομα τα οποία δεν έλαβαν τον πόρο, αντί να βιαιοπραγήσουν συνεχίζουν την αναζήτηση του επιθυμητού πόρου (Benenson and Abadzi, 2020). Ο τύπος

του ανταγωνισμού ο οποίος χαρακτηρίζει έναν πληθυσμό επηρεάζει άρδην την δυναμική του (Sharpe and Avilés, 2016). Πιο συγκεκριμένα, η περιορισμένη τροφή μπορεί να προκαλέσει την ξαφνική εξαφάνιση μεγάλων πληθυσμών του *Anelosimus eximius* Keyserling (Arachnida: Araneae), δεδομένου ότι ο τύπος ανταγωνισμού scramble επικρατεί σε μεγάλους πληθυσμούς της αράχνης (Sharpe and Avilés, 2016). Ο ανταγωνισμός ανάμεσα στα είδη και τα άτομα του κάθε είδους είναι διαχρονικός. Ήδη από την Ύστερη Κρητιδική περίοδο (~ πριν από 85 εκατομμύρια χρόνια) τα ζώα της εποχής ανταγωνίζονταν μεταξύ τους κυρίως για την τροφή (Neubauer and Harzhauser, 2022). Τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια της Κρητιδικής περιόδου, η θερμοκρασία αυξήθηκε με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης της θαλάσσης και την δημιουργία μιας υφάλμυρης ζώνης όπου τα θαλάσσια ζώα και τα ζώα της ξηράς χρησιμοποιούσαν τους ίδιους πόρους (Jenkyns et al., 2004, Ósi et al., 2021, Neubauer and Harzhauser, 2022).

Ο ανταγωνισμός για την τροφή είναι μείζων θέμα το οποίο απασχολεί το ανθρώπινο είδος διότι η διαρκής αύξηση του πληθυσμού της γης (υπερπληθυσμός) και η κλιματική κρίση συγκεντρώνει περισσότερους ανθρώπους σε ευνοϊκά σημεία του πλανήτη οι οποίοι ανταγωνίζονται μεταξύ τους για τους εκάστοτε πόρους (Wu et al., 2013, Behnassi, 2017, Ali et al., 2018, Sharma et al., 2020). Το 2020 υπολογίστηκε ότι 720-811 εκατομμύρια άνθρωποι υποσιτίζονται (FAO, 2020). Μία ακόμα κρίση είναι η του ύδατος, όπου σε περιοχές με λειψυδρία ή με κακής ποιότητας ύδωρ (π.χ. αγροτικές περιοχές χωρών της Αφρικής) αυξάνεται η πιθανότητα των βιαιών συγκρούσεων μεταξύ των ανθρώπων για την απόκτηση τούτου του αγαθού (Flörke et al., 2018, Furini, 2020, Huang et al., 2021). Σε περίοδο ξηρασίας, αυξήθηκαν κατά 46,4% οι θάνατοι από τις βιαιοπραγίες (1833 απώλειες) σε σύγκριση με την περίοδο κατά την οποία δεν υφίστατο ξηρασία (1252 απώλειες) στην Νιγηρία (Furini, 2020). Τα Ηνωμένα Έθνη, στην αναφορά τους για το ύδωρ (United Nations World Water Development Report), εκτιμούν ότι περί τα 6 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν θα έχουν πρόσβαση σε πόσιμο ύδωρ το 2050, επομένως το ήδη μείζων πρόβλημα της λειψυδρίας θα προκαλέσει βιαιότερες αντιδράσεις για την απόκτηση του αγαθού (Boretti and Rosa, 2019). Εξαιτίας της γρήγορης αυξήσεως του ανθρωπίνου πληθυσμού

και της καταστροφής του φυσικού ενδιαίτηματος των αγρίων ζώων, οι άνθρωποι έρχονται σε διαμάχες με τα ζώα διότι τα ζώα αναζητούν όχι μόνο την τροφή και το ύδωρ αλλά και τον χώρο ώστε να δημιουργήσουν τις φωλιές τους, με αποτέλεσμα πολλά είδη να απειλούνται με εξαφάνιση (Kreyling, 2001).

Πέραν από τους ανθρώπους, τα είδη του ζωικού βασιλείου αγωνίζονται μεταξύ τους καθημερινώς για την επιβίωσή τους. Για να υπάρξει ανταγωνισμός μεταξύ δύο διαφορετικών ειδών θα πρέπει τα δύο είδη να χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους και η χρήση του πόρου από το ένα είδος να προκαλέσει την μείωση του πόρου για το άλλο είδος (Wiens, 1989, Keddy, 2001). Το *Lacerta viridis* (Laurenti) (Squamata: Lacertidae) και το *Podarcis tauricus* (Pallas) (Squamata: Lacertidae) είναι δύο είδη τα οποία απαντώνται χωροταξικώς στη φύση και επομένως ανταγωνίζονται για την τροφή τους η οποία αποτελείται από έντομα των τάξεων Orthoptera και Coleoptera (Molloy et al., 2012). Το *Martes martes* Fischer de Waldheim (Carnivora: Mustelidae) προσαρμόζει την διατροφή του και τον χώρο τον οποίο χρησιμοποιεί για να αποφύγει άλλα ζώα όπως το *Vulpes vulpes* L. (Carnivora: Canidae) και το *Meles meles* (Linnaeus) (Carnivora: Mustelidae), στοχεύοντας τον περιορισμό των συναντήσεών του με τα ανταγωνιστικά είδη (Zalewska et al., 2021). Όταν ένα εξωτικό είδος εισάγεται σε νέο οικοσύστημα, ενδέχεται να τροποποιήσει την διατροφή του παρουσία άλλων ανταγωνιστικών ειδών (Bonesi et al., 2004). Μία τέτοια περίπτωση ανταγωνισμού έλαβε χώρα όταν το *Neogale vison* (Schreber) (Carnivora: Mustelidae) εισήχθη στην Ευρώπη (Bonesi et al., 2004). Όταν το *Lutra lutra* (Linnaeus) (Carnivora: Mustelidae) αύξησε τους πληθυσμούς της, το *N. vison* άλλαξε τις διατροφικές συνήθειές του και θήρευε περισσότερα ζώα της ξηράς, μειώνοντας την θήρευση των ζώων του ύδατος (Bonesi et al., 2004). Σε αντίθεση με το *N. vison*, η διατροφή του *L. lutra* παρέμεινε πρακτικώς η ίδια ενώ παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση του πληθυσμού του *L. lutra* και την αλλαγή της διατροφής του *N. vison*, η αλληλοεπικάλυψη των διαθεσίμων πόρων μειώθηκε, άρα και ο ανταγωνισμός μεταξύ των δύο ειδών (Bonesi et al., 2004). Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των γνάθων (μέγεθος και σχήμα) μεταξύ του *N. vison* και του *Mustela lutreola* (Linnaeus) (Carnivora: Mustelidae) διαφέρουν, έχοντας ως αποτέλεσμα την

διαφοροποίηση των ικανοτήτων τους ως προς την κατανάλωση τροφής (Gálvez-López and Cox, 2022).

Η εισαγωγή εισβλητικών φυτικών ειδών στα οικοσυστήματα επιφέρει αλλαγές στις σχέσεις των αναπτυσσομένων φυτοφάγων εντόμων. Για παράδειγμα, το *Quercus rubra* L. (Fagales: Fagaceae) εξαπλώνεται σε περιοχές της Ευρώπης όπου αναπτύσσεται το *Quercus robur* L. (Fagales: Fagaceae), προσφέροντας επιπλέον τροφή στα *Curculio* spp. Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae), *Cydia splendana* (Hübner) (Lepidoptera: Tortricidae) και *Cydia fagiglandana* (Zeller) (Lepidoptera: Tortricidae), με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ανταγωνισμός τους προς εύρεση τροφής (Myczko et al., 2017). Ωστόσο, δεν επηρεάζονται όλα τα αυτόχθονα είδη από τον ανταγωνισμό τους με τα εξωτικά είδη στον ίδιο βαθμό. Το *H. axyridis*, το οποίο είναι εξωτικό είδος για πολλά μέρη του κόσμου (μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η Ευρώπη), έχει διαφορετικές πιθανότητες να ανταγωνιστεί για την τροφή του με τριάντα (30) διαφορετικά είδη Coccinellidae (Kenis et al., 2017). Το έντομο είναι αφιδοφάγο, επομένως υπάρχει αλληλοεπικάλυψη πόρων με τα αυτόχθονα αφιδοφάγα είδη, ενώ τα είδη Coccinellidae τα οποία καταναλώνουν γύρη, φυτά και μούχλα έχουν λιγότερες πιθανότητες να ανταγωνιστούν το *H. axyridis* (Kenis et al., 2017). Παρομοίως, οι Turnipseed et al. (2014) παρατήρησαν ότι οι προνύμφες του *Coccinella novemnotata* Herbst (Coleoptera: Coccinellidae) παρουσίασαν μικρότερη επιβίωση όταν εξετράφησαν με προνύμφες του *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). Η μελέτη περιλάμβανε δύο γεωγραφικούς πληθυσμούς του *C. novemnotata*, τον δυτικό (Νέα Υόρκη) και τον ανατολικό (Όρεγκον και Νότιος Ντακότα) πληθυσμό, όπου ο ανατολικός πληθυσμός ήταν πιο ανθεκτικός στον ανταγωνισμό με το *C. septempunctata* από ότι ο δυτικό πληθυσμός (Turnipseed et al., 2014). Επιπλέον, ο ανταγωνισμός με το *C. septempunctata* είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του βάρους τόσο των θηλέων όσο και των αρρένων τελείων ατόμων του *C. novemnotata* (Turnipseed et al., 2014). Η χρήση των ιδίων πόρων τροφής από τα *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae), *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera: Noctuidae) και *Chilo partellus* (C. Swinhoe) (Lepidoptera: Noctuidae) είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του ανταγωνισμού ανάμεσα στα άτομα των δύο ειδών και ανάμεσα

στα άτομα του ίδιου είδους, ο οποίος επηρεάστηκε από την πυκνότητα των προνυμφών (Sokame et al., 2022). Οι ανταγωνιστικές σχέσεις επηρεάζουν την επιβίωση των ειδών και την ανάπτυξή τους (Sokame et al., 2022). Ο παρόμοιος βιολογικός κύκλος και η χωροταξική αλληλοεπικάλυψη της εξαπλώσεως των *Carabus scheidleri* Panzer (Coleoptera: Carabidae) και *Carabus ulrichii* Germar (Coleoptera: Carabidae) πιθανόν να οδηγήσει τα δύο είδη σε ανταγωνιστικές συμπεριφορές (Bérces et al., 2022).

Το φαινόμενο του ανταγωνισμού παρατηρείται επίσης για τον χώρο της διαβίωσης των οργανισμών. Η απόκτηση εδάφους για το *Castor fiber* (Linnaeus) (Rodentia: Castoridae) εξαρτάται από την οικειότητα του είδους με την περιοχή σε συνάρτηση με την μάζα του σώματός του (Nimje et al., 2021). Όσο μεγαλύτερη ήταν η ηλικία του ατόμου, τόσο αυξήθηκε η πιθανότητα να αποκτήσει την κυριαρχία μιας περιοχής (Nimje et al., 2021). Σε κορεσμένους πληθυσμούς, η κυριαρχία σε μια περιοχή είναι πολύ σημαντική καθώς χάρη σε αυτή το είδος παρουσιάζει μεγαλύτερη επιτυχία αναπαραγωγής καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του (Mayer et al., 2017, Nimje et al., 2021). Η κυριαρχία του *Sceloporus minor* Cope (Squamata: Phrynosomatidae) για μια περιοχή αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό της αναπαραγωγικής επιλογής του είδους (Puga y Colmenares et al., 2019). Προς αποφυγή του ανταγωνισμού ανάμεσα σε διαφορετικά είδη, το *Hieraaetus fasciatus* Vieillot (Accipitriformes: Accipitridae) διατηρεί εναλλακτικές φωλιές (Ontiveros et al., 2008). Στην περίπτωση των εντόμων, το αυτόχθον *Anterhynchium flavomarginatum* Smith (Hymenoptera: Vespidae) στην Ιαπωνία και το εξωτικό *Anterhynchium gibbifrons* Yamane & Murota (Hymenoptera: Vespidae), δεν ανταγωνίζονται μεταξύ τους για την τροφή αλλά για την δυνατότητα δημιουργίας ενδονημάτων. Επιπροσθέτως, το *A. gibbifrons* επηρεάζει την αναπαραγωγική συμπεριφορά του *A. flavomarginatum* (Tsuji et al., 2022). Οι οπίσθιοι πόδες των αρρένων τελείων ατόμων του *Sagra femorata* (Drury) (Coleoptera: Chrysomelidae) χρησιμεύουν για να αρπάζουν και να απωθούν τα αντίπαλα άρρενα άτομα στις διαμάχες οι οποίες αφορούν την περιοχή και την αναπαραγωγή (Katsuki et al., 2014). Ο ανταγωνισμός προκύπτει για την υπεράσπιση των θηλέων ατόμων και τις περιοχές τις οποίες εκμεταλλεύονται κυρίως για τροφή (Katsuki et al., 2014). Το *Apis mellifera* (Linnaeus)



(Hymenoptera: Apidae) ανταγωνίζεται την εκάστοτε αυτόχθονα εντομοπανίδα στις περιοχές στις οποίες εξαπλώνεται, ως προς την ανεύρεση του καταλλήλου ενδαιτημάτων και της τροφής (Cunningham et al., 2022). Ειδικώς στις περιοχές υψηλής αποψίλωσης των δέντρων, άρα περιορισμένων πόρων, ο ανταγωνισμός τους είναι πιο έντονος (Cunningham et al., 2022). Πιο συγκεκριμένα, οι μη κεντροφόρες μέλισσες (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) ανταγωνίζονται το *A. mellifera* και μεταξύ τους (Johnson and Hubbell, 1974, Toledo-Hernández et al., 2022). Τα *Trigona silvestriana* Vachal (Hymenoptera: Apidae), *Trigona corvina* Cockerell (Hymenoptera: Apidae), *Trigona testacea* Spinola (Hymenoptera: Apidae), *Trigona mexicana* (Guérin-Méneville) (Hymenoptera: Apidae) και *Trigona latitarsus* Friese (Hymenoptera: Apidae) παρουσίασαν εντονότερη επιθετική συμπεριφορά για να τραφούν από το δόλωμα το οποίο περιείχε την υψηλότερη συγκέντρωση σουκρόζης (Johnson and Hubbell, 1974). Οι διαμάχες δε ανάμεσα στα *T. corvina* και *T. silvestriana* οδήγησαν πολλές φορές σε θάνατο των συμμετεχόντων ατόμων (Johnson and Hubbell, 1974). Όλα τα είδη των μη κεντροφόρων μελισσών διατρέχουν τον κίνδυνο της πληθυσμιακής μειώσεως λόγω του ανταγωνισμού για τους διαθέσιμους πόρους (Toledo-Hernández et al., 2022).

Η συμπεριφορά των εντόμων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιβίωσή τους όταν βρεθούν σε ανταγωνιστικό περιβάλλον. Το εξωτικό είδος *Cybister tripunctatus lateralis* (Fabricius) (Coleoptera: Dytiscidae) καταναλώνει περισσότερη τροφή από τα αυτόχθονα είδη *Cybister brevis* Aubé (Coleoptera: Dytiscidae) και *Cybister chinensis* Motschulsky (Coleoptera: Dytiscidae) εξαιτίας της συνήθειάς του να κολυμπάει πιο συχνά και επομένως να ανευρίσκει περισσότερη τροφή προς κατανάλωση (Ohba et al., 2022). Ανεξαρτήτως είδους, τα άρρενα άτομα είναι σε θέση να βρίσκουν περισσότερη τροφή από τα θήλεα (Ohba et al., 2022). Οι Johnson and Hubbell (1974) παρατήρησαν ότι τα άτομα του ίδιου είδους τα οποία ανήκουν σε διαφορετικές αποικίες δεν μπορούν να αποφύγουν τον ανταγωνισμό, αλλά μπορούν να τον περιορίσουν επιλέγοντας να αναζητούν την τροφή τους πλησίον των ενδαιτημάτων τους. Αντιστοίχως, τα *Acanthoscelides quadridentatus* (Schaeffer) (Coleoptera: Chrysomelidae) και *Acanthoscelides winderi*

Kingsolver (Coleoptera: Chrysomelidae) εναποθέτουν τα ωά τους σε μεγάλα φρούτα του *Mimosa setosa* var. *paludosa* (Fabaceae: Mimosoideae) ώστε να εξασφαλίσουν αρκετή τροφή για τους απογόνους τους αποφεύγοντας μελλοντικώς τον ανταγωνισμό (de Sousa-Lopes et al., 2019). Τα *Formica montana* Wheeler, W.M. (Hymenoptera: Formicidae) απέφυγαν να πλησιάσουν το *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) παρουσία του *Coleomegilla maculata* De Geer (Coleoptera: Coccinellidae) (Layman and Lundgren, 2016). Αξίζει να σημειωθεί ότι πιθανή σύγκρουση των επιθετικών *F. montana* και *C. maculata* μπορεί να καταλήξει στην θανάτωση και την ακόλουθη κατανάλωση του *C. maculata* από το *F. montana* (Majerus et al., 2007, Layman and Lundgren, 2016).

Στις αποθήκες τροφίμων πολλά είδη εντόμων ζουν ταυτοχρόνως στα αποθηκευμένα προϊόντα, αξιοποιώντας τους ίδιους πόρους (Nansen et al., 2004, 2009, Athanassiou et al., 2009). Ανάμεσα στα *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (Psocoptera: Liposcelidae), *Liposcelis decolor* (Pearman) (Psocoptera: Liposcelidae) και *Liposcelis paeta* Pearman (Psocoptera: Liposcelidae), η παρουσία του *L. bostrychophila* ανέστειλε την ανάπτυξη των άλλων δύο πληθυσμών (Athanassiou et al., 2014). Παρά το γεγονός ότι η θερμοκρασία επηρέασε τους πληθυσμούς των προαναφερθέντων ειδών, το *L. bostrychophila* διατήρησε την κυριαρχία του επί των άλλων ειδών ανεξαρτήτως του δοκιμασθέντος επιπέδου της (Athanassiou et al., 2014). Επίσης, το *L. bostrychophila* κυριάρχησε επί του *Lepinotus reticulatus* Enderlein (Psocoptera: Trogiidae) όταν τα δύο είδη ευρέθησαν στην ίδια τροφή (Athanassiou et al., 2014). Σημαντική είναι η στιγμή κατά την οποία τα άτομα ενός πληθυσμού προσβάλλουν ένα προϊόν. Πιο συγκεκριμένα, όταν το *T. confusum* ή το *T. castaneum* ξεκίνησε πρώτο την προσβολή και ακολούθησε το *T. castaneum* ή το *T. confusum*, κυριάρχησε το *T. confusum* ή το *T. castaneum*, αντιστοίχως (Holditch and Smith, 2020). Στην ίδια μελέτη, όταν τα δύο είδη ξεκινούσαν ταυτοχρόνως την προσβολή στο προϊόν, το *T. confusum* κυριάρχησε επί του *T. castaneum*, αλλά σημείωσαν μειωμένη επιβίωση λόγω της ελαττώσεως της διαθέσιμης τροφής (Holditch and Smith, 2020). Όταν το *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) και το *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) βρέθηκαν

στον ίδιο χώρο, ανταγωνίστηκαν μεταξύ τους για την τροφή (Quellhorst et al., 2020). Η θερμοκρασία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην έκβαση της συμβιώσεως των δύο ειδών, καθώς το *S. zeamais* κυριάρχησε του *P. truncatus* στις χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε συνέβη το αντίθετο (Quellhorst et al., 2020). Ο συνδυασμός των δύο ειδών προκάλεσε μεγαλύτερη ζημία στους σπόρους αραβοσίτου σε σχέση με την κατά μόνας παρουσία τους. Η κατά μόνας παρουσία του *P. truncatus* είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή περισσότερων σπόρων σε σχέση με την κατά μόνας παρουσία του *S. zeamais* σε όλα τα εξετασθέντα επίπεδα θερμοκρασίας (Quellhorst et al., 2020). Επιπροσθέτως, η παρουσία των δύο ειδών ενίσχυσε την ανάπτυξη μυκήτων στο προϊόν (Quellhorst et al., 2020).

Εκτός από τον ανταγωνισμό ο οποίος παρατηρείται ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα είδη, άτομα του ίδιου πληθυσμού μπορούν να ανταγωνιστούν για την τροφή, τον χώρο και την αναπαραγωγή (Duan et al., 2013, Horwood et al., 2013, Wu et al., 2018, Szenczi et al., 2021). Τα άτομα του *Colobus angolensis ruwenzorii* Thomas (Primates: Cercopithecidae) ανταγωνίζονται για κάποιες κατηγορίες τροφής όπως τα νεαρά φύλλα, ενώ ο ανταγωνισμός για τα ώριμα φύλλα είναι μειωμένος (Miller et al., 2020). Η μείωση του ανταγωνισμού για την τροφή τους επιτρέπει να συνυπάρχουν σε μεγάλες ομάδες ακόμα και εκατοντάδων ατόμων (Miller et al., 2020). Σε περιόδους ελλείψεως τροφής, διαφορετικές ομάδες ατόμων και άτομα εντός της ίδιας ομάδας ανήκοντα στο είδος *Colobus vellerosus* (L. Geoffroy) (Primates: Cercopithecidae) ανταγωνίζονται μεταξύ τους για τους διαθέσιμους πόρους (Teichroeb and Sicotte, 2018). Ο ανταγωνισμός ανάμεσα στα άτομα *Orcinus orca* (Linnaeus) (Cetacea: Delphinidae) για την τροφή ή την αρχηγία είναι ικανός να προκαλέσει σχίσμα της ομάδας τους (Stredulinsky et al., 2021). Σε μελέτη η οποία διεξήχθη ανάμεσα σε νεογνά αδέρφια *Felis silvestris catus* Linnaeus (Carnivora: Felidae), παρατηρήθηκε ότι τα πιο αδύνατα νεογνά ανταγωνίστηκαν εντονότερα τα παχύτερα για την τροφή (Szenczi et al., 2021). Όταν η πυκνότητα των ατόμων *Bufo japonicus formosus* Temminck & Schlegel (Anura: Bufonidae) αυξήθηκε, επιμηκύνθηκε η διάρκεια της αναπτύξεώς τους, μειώθηκε το ποσοστό της επιβιώσεώς τους και μειώθηκε η μάζα τους (Haramura et al., 2022). Στα έντομα, η υψηλή πυκνότητα των

προνυμφών *Dastarcus helophoroides* Fairmaire (Coleoptera: Bothrideridae) βλάπτει την φυσική κατάσταση των τελείων ατόμων και επιμηκύνει την περίοδο αναπτύξεως των ατελών σταδίων του εντόμου (Gao et al., 2019). Η γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων, η επιβίωση των προνυμφών, το ποσοστό των προνυμφών οι οποίες εξελίσσονται στο στάδιο του τελείου ατόμου και το μέγεθος των προνυμφών του *Acanthoscelides macropthalmus* (Schaeffer) (Coleoptera: Chrysomelidae) μειώνονται όταν τα έντομα αναπτύχθηκαν παρουσία ανταγωνισμού (Iano et al., 2022). Οι προνύμφες *Hypera postica* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) έρχονταν σε σύγκρουση μέχρι θανάτου, με αυξανόμενη επιθετικότητα όσο μειωνόταν η διαθέσιμη τροφή (Skuhrovec et al., 2015). Όσο μεγαλύτερη ήταν η πυκνότητα της εκτροφής του *Nicrophorus vespilloides* Herbst (Coleoptera: Silphidae), οι προνύμφες του εντόμου είχαν χαμηλότερα ποσοστά επιβιώσεως και μικρότερο μέγεθος σε σχέση με τις προνύμφες οι οποίες βρίσκονταν σε εκτροφές με μικρότερη πυκνότητα (Pilakouta et al., 2016). Παρομοίως, οι προνύμφες του *Zygogramma bicolorata* Pallister (Coleoptera: Chrysomelidae) αναπτύχθηκαν πιο αργά όταν η πυκνότητα τους ήταν μεγάλη (Omkar and Afaq, 2009). Περαιτέρω, η αύξηση της πυκνότητας του πληθυσμού του *Ips sexdentatus* (Boerner & I.C.H.) (Coleoptera: Curculionidae) μείωσε τον αριθμό των απογόνων που γέννησε ένα θήλυ άτομο (Pineau et al., 2017). Ακόμα και σε χαμηλές πυκνότητες, ο ανταγωνισμός ανάμεσα στα άτομα *I. sexdentatus* είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του βάρους και του μεγέθους τους (Pineau et al., 2017). Οι Pineau et al. (2017) παρατήρησαν ότι ο ανταγωνισμός ήταν εντονότερος στο *I. sexdentatus* σε σχέση με το *Ips tyrographus* (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae), ο οποίος αποδόθηκε στο μεγαλύτερο μέγεθος του πρώτου είδους σε σχέση με το δεύτερο είδος. Το ποσοστό επιβιώσεως, η διάρκεια αναπτύξεως των ατελών σταδίων και το βάρος των θηλέων και των αρρένων τελείων ατόμων *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) και *Adalia bipunctata* (Linnaeus) (Coleoptera: Coccinellidae) διέφεραν όταν ευρέθησαν ταυτοχρόνως σε δέντρα *Citrus × aurantiifolia* (Christm.) Swingle (Sapindales: Rutaceae) λόγου του ανταγωνισμού για την περιορισμένη τροφή (Raak-van den Berg et al., 2018). Οι προνύμφες του *Aethina tumida* Murray (Coleoptera: Nitidulidae) ελαττώθηκαν σε βάρος όταν αυξήθηκε το πλήθος των προνυμφών οι οποίες εξετράφησαν σε περιορισμένη

ποσότητα μελιού (Meikle et al., 2012). Οι Duan et al. (2013), μελετώντας τον ανταγωνισμό στο *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae), βρήκαν ότι όσο αυξανόταν η πυκνότητα των ωών, τόσο μειωνόταν η θνησιμότητα των προνυμφών, είτε λόγω της ελλείψεως τροφής είτε λόγω κανιβαλισμού. Η έλλειψη της τροφής επιφέρει την σύγκρουση μεταξύ των τελείων ατόμων του *Nicrophorus vespilloides* Herbst (Coleoptera: Silphidae) (Horwood et al., 2013). Τα τέλεια άτομα *N. vespilloides* τα οποία εξετράφησαν με καθυστέρηση λήψεως τροφής έχασαν 37 από τις 40 συγκρούσεις με τέλεια άτομα *N. vespilloides* τα οποία εξετράφησαν άνευ καθυστερήσεως λήψεως τροφής (Horwood et al., 2013). Ο κανιβαλισμός στα έντομα αποτελεί μία λύση στο πρόβλημα του ανταγωνισμού διότι τα άτομα του ίδιου είδους χρησιμεύουν ως τροφή, αυξάνεται ο διαθέσιμος χώρος και η τροφή για τις ανάγκες των εναπομεινάντων ατόμων και μειώνεται ο μελλοντικός κανιβαλισμός, γεγονός το οποίο προάγει την αναπαραγωγή (Bayoumy et al., 2015). Οι Bayoumy et al. (2015) κατέληξαν ότι ο κανιβαλισμός είναι μια μορφή αναπαραγωγικού ανταγωνισμού των θήλεων ατόμων βάσει του γεγονότος ότι τα θήλεα άτομα δεν κατανάλωσαν τα ωά τους, αλλά τα ωά των άλλων θηλέων τελείων ατόμων *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville (Coleoptera: Coccinellidae). Ο ανταγωνισμός ανάμεσα στα άτομα του *H. axyridis* αυξήθηκε λόγω του περιορισμένου χώρου και είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του κανιβαλισμού (Wu et al., 2018). Κάθε στάδιο του εντόμου, και τα δύο φύλα των τελείων ατόμων, είχαν διαφορετική πιθανότητα να εμφανίσουν κανιβαλιστικές συμπεριφορές σε διάφορες πληθυσμιακές πυκνότητες (Wu et al., 2018).

Προς αποφυγή του ανταγωνισμού ανάμεσα στα άτομα του ίδιου είδους, τα τέλεια άτομα του *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Scolytinae) αποφεύγουν τις υφιστάμενες οπές στον κορμό των δέντρων (Takei et al., 2021). Ωστόσο, όταν οι αριθμοί του εντόμου είναι μεγάλοι, τα έντομα ανταγωνίζονται για τα θρεπτικά συστατικά του ηθμού (Takei et al., 2021). Παρομοίως, το *Tomicus brevipilosus* Wood & Bright (Coleoptera: Curculionidae) προσβάλλει αρχικώς το ανώτερο κομμάτι του κορμού του *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (Pinales: Pinaceae), ενώ τα έντομα τα οποία κατέφθασαν αργότερα χρησιμοποίησαν τα χαμηλότερα σημεία του κορμού,

προς αρτιότερη αξιοποίηση των περιορισμένων πόρων και προς αποφυγή του ανταγωνισμού ανάμεσα στα άτομα του ίδιου είδους (Liu et al., 2019). Μία ακόμα συμπεριφορά η οποία μειώνει τον ανταγωνισμό για την τροφή είναι η συλλογή της τροφής χωρίς την ενεργή μετακίνηση του ατόμου μέθοδος «sit-and-wait» κατά την οποία ο θηρευτής ενεδρεύει το θήραμά του και το αιχμαλωτίζει (Schoener, 1971, Scharf and Ovadia, 2006, Pruitt, 2010). Οι Noriega et al. (2020) αναφέρουν ότι 21 είδη τροπικών κολεοπτέρων ακολουθούν τούτη την συμπεριφορά με αποτέλεσμα να μειώνεται δραστηρικώς ο ανταγωνισμός και να εξασφαλίζεται η απαραίτητη τροφή στα έντομα.

Εκτός από την τροφή και το ενδιαίτημα, οι οργανισμοί ανταγωνίζονται μεταξύ τους για την ευκαιρία της αναπαραγωγής. Για παράδειγμα τα άρρενα *Sus scrofa* Linnaeus (Artiodactyla: Suidae) παρουσίασαν αυξημένη επιθετική συμπεριφορά όσο αυξήθηκε η ηλικία τους μεταξύ 8 και 13 εβδομάδων για την ευκαιρία της αναπαραγωγής με τα θήλεα άτομα (Camerlink et al., 2022). Τα άρρενα *Rhinopithecus bieti* (Milne-Edwards) (Primates: Cercopithecidae) περιόρισαν τις κοινωνικές συναναστροφές τους σε μια προσπάθεια αποφυγής των συγκρούσεων κατά την περίοδο της αναπαραγωγής, ώστε να διαφυλάξουν τις σχέσεις μεταξύ τους, οι οποίες τους παρέχουν σταθερότητα, ασφάλεια, ενότητα και εδαφική κυριαρχία σε μια περιοχή, εφ' όσον είναι στην ίδια ομάδα (Zhu et al., 2018). Στην περίπτωση των εντόμων, η προσπάθεια των αρρένων ατόμων *Tetrastichus brontispae* Ferrière (Hymenoptera: Eulophidae) να συζευχθούν με το ίδιο θήλυ κατέληξε σε έντονο ανταγωνισμό μεταξύ τους (Liu et al., 2022). Τα ώριμα άρρενα *Drosophila melanogaster* Meigen (Diptera: Drosophilidae) είχαν πλεονέκτημα στις διαμάχες για την ευκαιρία της αναπαραγωγής σε σχέση με τα νεαρά άρρενα άτομα (Baxter et al., 2018). Γενικώς, τα άρρενα άτομα δέκοπταν την ερωτοτροπία άλλων αρρένων ατόμων με επιτυχία και έπαιρναν την θέση τους (Baxter et al., 2018). Σε παρόμοια μελέτη, οι Okada et al. (2020) παρατήρησαν τα γηραιότερα άτομα *Gnatoceus cornutus* (Fabricius) (Coleoptera: Tenebrionidae) ήσαν πιο επιθετικά έναντι των νεαρών τελείων αρρένων και θηλέων ατόμων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη σύζευξη των νεαρότερων ατόμων μεταξύ τους και την μειωμένη γονιμότητα και διάρκεια ζωής των θηλέων ατόμων όταν συζεύχθηκαν με τα γηραιότερα άρρενα έντομα (Okada et al., 2020). Νικητές

στις διαμάχες ήσαν τα άτομα με το μεγαλύτερο μέγεθος και με τις δυνατότερες γνώθους, ανεξαρτήτως ηλικίας (Okada et al., 2006). Η άμυνα του ανοσοποιητικού συστήματος (ως προς την ανοσολογική δραστηριότητα της φαινολοοξειδάσης) και η φυσική κατάσταση των αρρένων *Canthon cyanellus* Leconte (Coleoptera: Scarabaeidae) επηρέασε τον ανταγωνισμό μεταξύ τους για την αναπαραγωγή και την εξασφάλιση της τροφής (Salomão et al., 2019). Οι βιολογικές παράμετροι όπως η μυϊκή μάζα, το σωματικό μέγεθος, η μάζα του λίπους και η ξηρή σωματική μάζα καθόρισαν την έκβαση της διαμάχης ανάμεσα σε δύο τέλεια άρρενα άτομα (Salomão et al., 2019). Όταν δύο άτομα *Nicrophorus orbicollis* Say (Coleoptera: Silphidae) του ίδιου φύλλου ανταγωνίστηκαν για την ευκαιρία της συζεύξεως παρουσία ενός ατόμου του αντιθέτου φύλου, το μεγαλύτερο σε μέγεθος άτομο ανάμεσα στο ίδιο φύλλο (άρρεν ή θήλυ) κυριάρχησε έναντι του μικρότερου σε μέγεθος ατόμου του ίδιου φύλλου (Steiger et al., 2012). Οι διαμάχες είχαν ως αποτέλεσμα την αφαίρεση των άκρων ή τον θάνατο του μικρότερου σε μέγεθος εντόμου (Steiger et al., 2012). Μετά την ολοκλήρωση της αναπαραγωγής, τα έντομα χρειάζονται χώρο προκειμένου να εναποθέσουν τα ωά τους. Τα θήλεα *Cupido minimus* (Fuessley) (Lepidoptera: Lycaenidae) ανταγωνίζονται μεταξύ τους για τις θέσεις ωοτοκίας επί των ταξιανθιών του *Anthyllis vulneraria* L. (Fabales: Fabaceae). Όσο πιο περιορισμένες είναι οι θέσεις ωοτοκίας, τόσο πιο έντονος είναι ο ανταγωνισμός ο οποίος έχει αρνητικό αντίκτυπο στην επιβίωση των εκκολαφθεισών προνυμφών λόγω της μειωμένης τροφής και του επακόλουθου κανιβαλισμού μεταξύ των προνυμφών ευρισκόμενες επί της ίδιας ταξιανθίας (Ashe-Jepson et al., 2021).

Όσον αφορά τα έντομα αποθηκών, ο ανταγωνισμός ανάμεσα στα άτομα του ίδιου είδους έπαιξε σημαντικό ρόλο στην πληθυσμιακή ανάπτυξή τους. Ο αυξημένος αριθμός θηλέων ατόμων *L. bostrychophila*, *L. decolor* και *L. paeta* οδήγησε στην παραγωγή πολλών ωών με αποτέλεσμα την εμφάνιση εντόνου ανταγωνισμού και την μείωση της διαθέσιμης τροφής σε σύντομο χρονικό διάστημα (Athanassiou et al., 2014). Το *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) και το *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) είναι δύο οργανισμοί πρότυπα για την μελέτη του ανταγωνισμού ανάμεσα σε διαφορετικά είδη εντόμων και σε άτομα του ίδιου

είδους (Bullock et al., 2021). Τα δύο είδη κανιβαλίζουν τα ωά και τις νύμφες τους σε ποικίλες συχνότητες αναλόγως του φύλου, του αναπτυξιακού σταδίου (προνύμφες ή τέλεια άτομα) και της προελεύσεως των απογόνων (δηλαδή εάν προέρχονταν ή όχι από το άτομο το οποίο τους κατανάλωσε) (Alabi et al., 2008, Flinn and Campbell, 2012, Parsons et al., 2013, Bullock et al., 2021). Τούτη η συμπεριφορά παρατηρείται σε άλλα είδη εντόμων όπως τα *Callosobruchus* spp. και τα *Drosophila* spp. ως αποτέλεσμα των υψηλών πληθυσμιακών πυκνοτήτων τους, επομένως του αναπτυσσομένου ανταγωνισμού ανάμεσα στα άτομα του ίδιου είδους για τους διαθέσιμους πόρους (Kishi, 2015). Ο ανταγωνισμός ανάμεσα σε διαφορετικά είδη εντόμων ή ανάμεσα στα άτομα του ίδιου είδους εντόμου έχει ποικίλες εκβάσεις στην ζωή, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους (Hopwood et al., 2013, Athanassiou et al., 2014, Turnipseed et al., 2014, Holditch and Smith, 2020, Quellhorst et al., 2020, Bullock et al., 2021, Sokame et al., 2022). Η μελέτη των αλληλεπιδράσεων μπορεί να αποκαλύψει την πληθυσμιακή εξέλιξη ενός είδους όταν αναπτύσσεται με περιορισμένους πόρους, παρουσία ή μη άλλων ειδών. Καθώς στους αποθηκευτικούς χώρους μπορεί να συνυπάρξει πληθώρα διαφορετικών ειδών (Nansen et al., 2004, 2009, Athanassiou et al., 2009), η μελέτη των αλληλεπιδράσεών τους παρουσιάζει εξαιρετική σημασία. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή εξετάστηκαν οι αλληλεπιδράσεις τριών ειδών εντόμων αποθηκών υπό διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και εκθέσεως. Οι γνώσεις οι οποίες αποκτήθηκαν αναμένεται να βοηθήσουν στην κατανόηση των πολύπλοκων αναπτυσσομένων σχέσεων κατά την συνύπαρξή τους.



## 1.4 Βιβλιογραφία

- Alabi, T., Michaud, J.P., Arnaud, L., Haubruge, E., 2008. A comparative study of cannibalism and predation in seven species of flour beetle. *Ecol. Entomol.* 33, 716–726.
- Ali, F., Khan, T.A., Alamgir, A., Khan, M.A., 2018. Climate change-induced conflicts in Pakistan: From national to individual level. *Earth Syst. Environ.* 2, 573–599.
- Ashe-Jepson, E., Bladon, A.J., Herbert, G., Hitchcock, G.E., Knock, R., Lucas, C.B.H., Luke, S.H., Turner, E.C., 2021. Oviposition behaviour and emergence through time of the small blue butterfly (*Cupido minimus*) in a nature reserve in Bedfordshire, UK. *J. Insect Conserv.* 26, 43–58.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Throne, J.E., Nakas, C.T., 2014. Competition among species of stored-product psocids (Psocoptera) in stored grain. *PLoS ONE* 9, e102867.
- Athanassiou, C.G., Nansen, C., Vayias, B.J., 2009. Spatial and non-spatial analyses of insect counts in bulk-stored barley. *Bull. Entomol. Res.* 100, 395–403.
- Baxter, C., Mentlik, J., Shams, I., Dukas, R., 2018. Mating success in fruit flies: courtship interference versus female choice. *Anim. Behav.* 138, 101–108.
- Bayoumy, M.H., Michaud, J.P., 2015. Egg cannibalism and its life history consequences vary with life stage, sex, and reproductive status in *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *J. Econ. Entomol.* 108, 1665–1674.
- Behnassi, M., 2017. Climate Security as a Framework for Climate Policy and Governance. In: Behnassi, M., and McGlade, K. (Eds.), *Environmental Change and Human Security in Africa and the Middle East*. Springer Nature, Cham, pp. 3–24.

- Benenson, J.F., Abadzi, H., 2020. Contest versus scramble competition: Sex differences in the quest for status. *Curr. Opin. Psychol.* 33, 62–68.
- Bérces, S., Fülöp, D., Samu, F., 2022. Life history adaptations of *Carabus* populations in a suburban park: A capture-recapture case study. *Glob. Ecol. Conserv.* 35, e02086.
- Bleiker, K.P., Six, D.L., 2009. Effects of water potential and solute on the growth and interactions of two fungal symbionts of the mountain pine beetle. *Mycol. Res.* 113, 3–15.
- Boddy, L., Hiscox, J., 2016. Fungal ecology: Principles and mechanisms of colonization and competition by saprotrophic fungi. *Microbiol. Spectr.* 4, FUNK-0019-2016.
- Bonesi, L., Chanin, P., Macdonald, D.W., 2004. Competition between Eurasian otter *Lutra lutra* and American mink *Mustela vison* probed by niche shift. *Oikos* 106, 19–26.
- Boretti, A., Rosa, L., 2019. Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water* 2, 15.
- Bullock, M., Legault, G., Melbourne, B.A., 2021. Interspecific chemical competition between *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) reduces fecundity and hastens development time. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 113, 216–222.
- Camerlink, I., Farish, M., Arnott, G., Turner, S.P., 2022. Sexual dimorphism in ritualized agonistic behaviour, fighting ability and contest costs of *Sus scrofa*. *Front. Zool.* 19, 13.
- Cunningham, S.A., Crane, M.J., Evans, M.J., Hingee, K.L., Lindenmayer, D.B., 2022. Density of invasive western honey bee (*Apis mellifera*) colonies in fragmented woodlands indicates potential for large impacts on native species. *Sci. Rep.* 12, 3603.

- Daufresne, T., Lacroix, G., Benhaim, D., Loreau, M., 2008. Coexistence of algae and bacteria: a test of the carbon hypothesis. *Aquat. Microb. Ecol.* 53, 323–332.
- de Sousa-Lopes, B., Alves-da-Silva, N., Ribeiro-Costa, C.S., Del-Claro, K., 2019. Temporal distribution, seed damage and notes on the natural history of *Acanthoscelides quadridentatus* and *Acanthoscelides winderi* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) on their host plant, *Mimosa setosa* var. *paludosa* (Fabaceae: Mimosoideae), in the Brazilian Cerrado. *J. Nat. Hist.* 53, 611–623.
- Duan, J.J., Larson, K., Watt, T., Gould, J., Lelito, J.P., 2013. Effects of host plant and larval density on intraspecific competition in larvae of the emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae). *Environ. Entomol.* 42, 1193–1200.
- Edwards, K.F., Thomas, M.K., Klausmeier, C.A., Litchman, R., 2016. Phytoplankton growth and the interaction of light and temperature: A synthesis at the species and community level. *Limnol. Oceanogr.* 61, 1232–1244.
- FAO, (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Hunger and food insecurity. <https://www.fao.org/hunger/en>.
- Flinn, P.W., Campbell, J.F., 2012. Effects of flour conditioning on cannibalism of *T. castaneum* eggs and pupae. *Environ. Entomol.* 41, 1501–1504.
- Flörke, M., Schneider, C., McDonald, R.I., 2018. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nat. Sustain.* 1, 51–58.
- Furini, G., 2020. The influence of climate change on the escalating communal conflict between herdsmen and farmers: the case of the Fulani ethnic group in Nigeria. *Janus.net* 10, 33–52.
- Gálvez-López, E., Cox, P.G., 2022. Mandible shape variation and feeding biomechanics in minks. *Sci. Rep.* 12, 4997.

- Gao, S.K., Geng, C.C., Ji, Y.C., Li, Z.K., Zhou, C.G., 2019. Density-dependent growth and fitness in *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae). *Insects* 10, 386.
- Haramura, T., Eto, K., Crossland, M.R., Nishikawa, K., Shine, R., 2022. Competition between the tadpoles of Japanese toads versus frogs. *Sci. Rep.* 12, 1627.
- Holditch, Z., Smith, A.D., 2020. Priority determines *Tribolium* competitive outcome in a food-limited environment. *PLoS ONE* 15, e0235289.
- Hopwood, P.E., Moore, A.J., Royle, N.J., 2013. Nutrition during sexual maturation affects competitive ability but not reproductive productivity in burying beetles. *Funct. Ecol.* 27, 1350–1357.
- Iano, D.M., Araújo, B.L., Rossi, M.N., 2022. Intraspecific competition and persistence in *Acanthoscelides macrophthalmus* (Coleoptera: Chrysomelidae): an experimental analysis in a stage-structured population. *Austral Entomol.* 61, 86–96.
- Jenkyns, H.C., Forster, A., Schouten, S., Damsté, J.S.S., 2004. High temperatures in the late Cretaceous Arctic ocean. *Nature* 432, 888–892.
- Jin, J., Krohn, C., Franks, A.E., Wang, X., Wood, J.L., Petrovski, S., McCaskill, M., Batinovic, S., Xie, Z., Tang, C., 2022. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> alters the microbial community composition and metabolic potential to mineralize organic phosphorus in the rhizosphere of wheat. *Microbiome* 10, 12.
- Johnson, L.K., Hubbell, S.P., 1974. Aggression and competition among stingless bees: Field studies. *Ecology* 55, 120–127.
- Katsuki, M., Yokoi, T., Funakoshi, K., Oota, N., 2014. Enlarged hind legs and sexual behavior with male-male interaction in *Sagra femorata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Entomol. News* 124, 211–220.
- Keddy, P.A. 2001. *Competition*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.

- Kenis, M., Adriaens, T., Brown, P.M.J., Katsanis, A., Martin, G.S., Branquart, E., Maes, D., Eschen, R., Zindel, R., Vlaenderen, J.V., Babendreier, D., Roy, H.E., Hautier, L., Poland, R.L., 2017. Assessing the ecological risk posed by a recently established invasive alien predator: *Harmonia axyridis* as a case study. *BioControl* 62, 341–354.
- Kishi, S., 2015. Reproductive interference in laboratory experiments of interspecific competition. *Popul. Ecol.* 57, 283–292.
- Kreyling, C., 2001. Not-so-wild things: Coping with wild animals-and vice versa. *Planning* 67, 18–23.
- Layman, M.L., Lundgren, J.G., 2016. Increasing trophic complexity influences aphid attendance by ants (Hymenoptera: Formicidae) and predation. *J. Entomol. Sci.* 51, 151–164.
- Leigh, J., Fitter, A.H., Hodge, A., 2011. Growth and symbiotic effectiveness of an arbuscular mycorrhizal fungus in organic matter in competition with soil bacteria. *FEMS Microbiol. Ecol.* 76, 428–438.
- Liu, F., Wu, C., Zhang, S., Kong, X., Zhang, Z., Wang, P., 2019. Initial location preference together with aggregation pheromones regulate the attack pattern of *Tomicus brevipilosus* (Coleoptera: Curculionidae) on *Pinus kesiya*. *Forests* 10, 156.
- Liu, H.W., Li, F., Li, C.X., Yan, W., Zheng, Z.L., Qin, W.Q., Wu, S.Y., 2022. Reproductive behaviour of *Tetrastichus brontispae* Ferrière (Hymenoptera: Eulophidae). *Biocontrol Sci. Technol.* 32, 47–59.
- Liu, Q., Parsons, A.J., Xue, H., Fraser, K., Ryan, G.D., Newman, J.A., Rasmussen, S., 2011. Competition between foliar *Neotyphodium lolii* endophytes and mycorrhizal *Glomus* spp. fungi in *Lolium perenne* depends on resource supply and host carbohydrate content. *Funct. Ecol.* 25, 910–920.
- Majerus, M.E.N., Sloggett, J.J., Godeau, J.F., Hemptinne., J.L., 2007. Interactions between ants and aphidophagous and coccidophagous lady birds. *Popul. Ecol.* 49, 15–27.

- Mayer, M., Zedrosser, A., Rosell, F., 2017. Couch potatoes do better: Delayed dispersal and territory size affect the duration of territory occupancy in a monogamous mammal. *Ecol. Evol.* 7, 4347–4356.
- Meikle, W.G., Patt, J.M., Sammataro, D., 2012. Intraspecific competition effects on *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae). *J. Econ. Entomol.* 105, 26–33.
- Miller, A., Judge, D.S., Uwingeneye, G., Ndayishimiye, D., Kaplin, B.A., Grueter, C.C., 2020. Feeding competition inferred from patch depletion in a supergroup of Rwenzori black-and-white colobus monkeys (*Colobus angolensis ruwenzorii*) in Rwanda. *Behaviour* 157, 731–760.
- Mollov, I., Boyadzhiev, P., Donev, A., 2012. Trophic niche breadth and niche overlap between two lacertid lizards (Reptilia: Lacertidae) from south Bulgaria. *Acta Zool. Burg.* 4, 133–140.
- Moore, M.L., Six, D.L., 2015. Effects of temperature on growth, sporulation, and competition of mountain pine beetle fungal symbionts. *Microb. Ecol.* 70, 336–347.
- Myczko, Ł., Dylewski, Ł., Chrzanowski, A., Sparks, T.H., 2017. Acorns of invasive northern red oak (*Quercus rubra*) in Europe are larval hosts for moths and beetles. *Biol. Invasions* 19, 2419–2425.
- Nansen, C., Flinn, P., Hagstrum, D., Toews, M.D., Meikle, W.G., 2009. Interspecific associations among stored-grain beetles. *J. Stored Prod. Res.* 45, 254–260.
- Nansen, C., Phillips, T.W., Palmer, M.W., 2004. Analysis of the insect community in a stored-maize facility. *Ecol. Res.* 19, 197–207.
- Neubauer, T.A., Harzhauser, M., 2022. Onset of late Cretaceous diversification in Europe's freshwater gastropod fauna links to global climatic and biotic events. *Sci. Rep.* 12, 2684.
- Nicholson, A.J., 1954. An outline of the dynamics of animal populations. *Austr. J. Zool.* 2, 9–65.

- Nimje, P.S., Mayer, M., Zedrosser, A., Sæbø, M., Rosell, F., 2021. Territory acquisition and mate choice in a monogamous mammal, the Eurasian beaver. *Anim. Behav.* 178, 165–173.
- Noriega, J.A., March-Salas, M., Pertierra, L.R., Vulinec, K., 2020. Spatial partitioning of perching on plants by tropical dung beetles depends on body size and leaf characteristics: a sit-and-wait strategy for food location. *Ecol. Entomol.* 45, 1108–1120.
- Ohba, S.Y., Terazono, Y., Takada, S., 2022. Interspecific competition amongst three species of large-bodied diving beetles: is the species with expanded distribution an active swimmer and a better forager? *Hydrobiologia* 849, 1149–1160.
- Okada, K., Katsuki, M., Kiyose, K., Okada, Y., 2020. Older males are more competitive in male fights and more aggressive toward females in the broad-horned flour beetle *Gnatocerus cornutus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 74, 36.
- Okada, K., Miyanoshita, A., Miyatake, T., 2006. Intra-sexual dimorphism in male mandibles and male aggressive behavior in the broad-horned flour beetle *Gnatocerus cornutus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Insect Behav.* 19, 457–467.
- Omkar, Afaq, U., 2009. Intraspecific competition in the parthenium beetle *Zygogramma bicolorata* (Coleoptera: Chrysomelidae): effect of larval crowding on life-history traits. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 29, 40–47.
- O’Neil, J.M., Roman, M.R., 1992. Grazers and associated organisms of *Trichodesmium*. In: Carpenter, E.J., Capone, D.G. Rueter, J.G. (Eds.), *Marine Pelagic Cyanobacteria: Trichodesmium and other Diazotrophs*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, pp. 61–73.
- Ontiveros, D., Caro, J., Pleguezuelos, J.M., 2008. Possible functions of alternative nests in raptors: the case of Bonelli’s eagle. *J. Ornithol.* 149, 253–259.

- Ósi, A., Szabó, M., Tóth, E., Bodor, E., Lobitzer, H., Kvaček, J., Svobodová, M., Szente, I., Wareich, M., Trabelsi, K., Sames, B., Magyar, J., Maádi, L., Berning, N., Botfalvai, G., 2021. A brackish to non-marine aquatic and terrestrial fossil assemblage with vertebrates from the lower Coniacian (Upper Cretaceous) Gosau Group of the Tiefengraben locality near St. Wolfgang im Salzkammergut, Austria. *Cretac. Res.* 127, 104938.
- Parsons, W., Zhong, W., Rudolf, V.H.W., 2013. Mating status and kin recognition influence the strength of cannibalism. *Anim. Behav.* 85, 365–369.
- Peng, D., Zhang, Y., Wang, J., Pennings, S.C., 2022. The opposite of biotic resistance: Herbivory and competition suppress regeneration of native but not introduced mangroves in southern China. *Forests* 13, 192.
- Pilakouta, N., Sieber, D.J., Smiseth, P.T., 2016. Sibling competition does not exacerbate inbreeding depression in the burying beetle *Nicrophorus vespilloides*. *J. Evol. Biol.* 29, 704–710.
- Pineau, X., Bourguignon, M., Jactel, H., Lieutier, F., Sallé, A., 2017. Pyrrhic victory for bark beetles: Successful standing tree colonization triggers strong intraspecific competition for offspring of *Ips sexdentatus*. *For. Ecol. Manag.* 399, 188–196.
- Pruitt, J.N., 2010. Differential selection on sprint speed and *ad libitum* feeding behaviour in active vs. sit-and-wait foraging spiders. *Funct. Ecol.* 24, 392–399.
- Puga y Colmenares, M.C., Ramírez-Bautista, A., Cruz-Elizalde, R., García-Rosales, A., Hernández-Salinas, U., 2019. Feeding ecology and its relationship with head structures in two populations of the lizard *Sceloporus minor* (Squamata: Phrynosomatidae) from northern Mexico. *Copeia* 107, 542–549.
- Quellhorst, H., Athanassiou, C.G., Bruce, A., Schully, E.D., Morrison, W.R., 2020. Temperature-mediated competition between the invasive larger



- grain borer (Coleoptera: Bostrichidae) and the cosmopolitan maize weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Environ. Entomol.* 49, 255–264.
- Raak-van den Berg, C.L., de Jong, P.W., Gort, G., Manly, B.F.J., van Lenteren, J.C., 2018. Life histories of an invasive and native ladybird under field experimental conditions in a temperate climate. *Entomol. Exp. Appl.* 166, 151–161.
- Salomão, R.P., Favila, M.E., González-Tokman, D., Chamorro-Florescano, I.A., 2019. Contest dynamics for food and reproductive resources are defined by health condition in a dung beetle. *Ethology* 125, 343–350.
- Scharf, I., Ovadia, O., 2006. Factors influencing site abandonment and site selection in a sit-and-wait predator: A review of pit-building antlion larvae. *J. Insect Behav.* 19, 197–218.
- Schoener, T.W., 1971. Theory of feeding strategies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 2, 369–404.
- Serra-Pompei, C., Hagstrom, G.I., Visser, A.W., Andersen, K.H., 2019. Resource limitation determines temperature response of unicellular plankton communities. *Limnol. Oceanogr.* 64, 1627–1640.
- Sharma, R., Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Kumar, V., Kumar, A., 2020. A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Comput. Oper. Res.* 119, 104926.
- Sharpe, R.V., Avilés, L., 2016. Prey size and scramble vs. contest competition in a social spider: implications for population dynamics. *J. Anim. Ecol.* 85, 1401–1410.
- Sheridan, C.C., Steinberg, D.K., Kling, G.W., 2002. The microbial and metazoan community associated with colonies of *Trichodesmium* spp.: a quantitative survey. *J. Plankton Res.* 24, 913–922.

- Singh, M., Kukal, M.S., Irmak, S., Jhala, A.J., 2022. Water use characteristics of weeds: A global review, best practices, and future directions. *Front. Plant Sci.* 12, 794090.
- Skuhrovec, J., Štys, P., Exnerová, A., 2015. Intraspecific larval aggression in two species of Hyperini (Coleoptera: Curculionidae). *J. Nat. Hist.* 49, 19–20.
- Sokame, B.M., Malusi, P., Subramanian, S., Kilalo, D.C., Juma, G., Calatayud, P.A., 2022. Do the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), and the maize lepidopteran stemborers compete when sharing the same food? *Phytoparasitica* 50, 21–34.
- Sörenson, E., Farnelid, H., Lindehoff, E. Legrand, C., 2020. Resource partitioning between phytoplankton and bacteria in the coastal Baltic sea. *Front. Mar. Sci.* 7, 608244.
- Steiger, S., Gershman, S.N., Pettinger, A.M., Eggert, A.K., Sakaluk, S.K., 2012. Dominance status and sex influence nutritional state and immunity in burying beetles *Nicrophorus orbicollis*. *Behav. Ecol.* 23, 1126–1132.
- Stredulinsky, E.H., Darimont, C.T., Barrett-Lennard, L., Ellis, G.M., Ford, J.K.B., 2021. Family feud: permanent group splitting in a highly philopatric mammal, the killer whale (*Orcinus orca*). *Behav. Ecol. Sociobiol.* 75, 56.
- Swieter, A., Langhof, M., Lamerre, J., 2021. Competition, stress and benefits: Trees and crops in the transition zone of a temperate short rotation alley cropping agroforestry system. *J. Agron. Crop Sci.* 208, 209–224.
- Szenczi, P., Golzález, D., Martínez-Byer, Rödel, H.G., Hudson, R., Bánszegi, O., 2021. Motivation matters: lighter littermates of the domestic cat compete more successfully for meat at weaning. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 75, 139.

- Takei, S.Y., Köbayashi, K., Takagi, E., 2021. Distribution pattern of entry holes of the tree-killing bark beetle *Polygraphus proximus*. PLoS ONE 16, e0246812.
- Teichroeb, J.A., Sicotte, P., 2018. Cascading competition: the seasonal strength of scramble influences between-group contest in a folivorous primate. Behav. Ecol. Sociobiol. 72, 6.
- Teste, F.P., Simard, S.W., 2008. Mycorrhizal networks and distance from mature trees alter patterns of competition and facilitation in dry Douglas-fir forests. Oecologia 158, 193–203.
- Toledo-Hernández, E., Peña-Chora, G., Hernández-Velázquez, V.M., Lormendez, C.C., Toribio-Jiménez, J., Romero-Ramírez, Y., León-Rodríguez, R., 2022. The stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini): a review of the current threats to their survival. Apidologie 53, 8.
- Tsujii, M., Endo, T., Matsui, Y., Sugiyama S., 2022. Indirect interactions between a native and a supposedly non-native wasp species (Hymenoptera: Vespidae: Eumeninae: Anterhynchium). Eur. J. Entomol. 119, 122–132.
- Turnipseed, R.K., Ugine, T.A., Losey, J.E., 2014. Effect of prey limitation on competitive interactions between a native lady beetle, *Coccinella novemnotata*, and an invasive lady beetle, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Environ. Entomol. 43, 969–976.
- Wang, C.S., Wang, H.Q., Wang, W., Liang, C.Z., Liu, H.M., Wang, L.X., 2022. The salt secretion of leaves promotes the competitiveness of *Reaumuria soongarica* in a desert grassland. BMC Plant Biol. 22, 85.
- Wiens, J.A., 1989. The ecology of bird communities: processes and variations. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wu, P., Zhang, J., Haseeb, M., Yan, S., Kanga, L., Zhang, R., 2018. Functional responses and intraspecific competition in the ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) provided with

- Melanaphis sacchari* (Homoptera: Aphididae) as prey. Eur. J. Entomol. 115, 232–241.
- Wu, S.H., Ho, C.T., Nah, S.L., Chau, C.F., 2013. Global hunger: A challenge to agricultural, food, and nutritional sciences. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 54, 151–162.
- Zalewska, K., Wiggershauser, C.N., Kortland, K., Lambin, X., 2021. The best defence is not being there: avoidance of larger carnivores is not driven by risk intensity. J. Zool. 315, 110–122.
- Zhang, Y., Sun, Z., Su, Z., Du, G., Bai, W., Wang, Q., Wang, R., Nie, J., Sun, T., Feng, C., Zhang, Z., Yang, N., Zhang, X., Evers, J.B., van der Werf, W., Zhang, L., 2022. Root plasticity and interspecific complementarity improve yields and water use efficiency of maize/soybean intercropping in a water-limited condition. Field Crops Res. 282, 108523.
- Zhu, P., Grueter, C.C., Garber, P.A., Li, D., Xiang, Z., Ren, B., Li, M., 2018. Seasonal changes in social cohesion among males in a same-sex primate group. Am. J. Primatol. 80, e22914.

## **2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## **2.1 Αναπτυξιακή και αναπαραγωγική βιολογία του *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) σε επτά τροφές**

### **2.1.1 Εισαγωγή**

Το οδοντωτό σκαθάρι των σπόρων, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) είναι σημαντικό έντομο αποθηκών το οποίο προσβάλλει τα δημητριακά και τα αμυλούχα προϊόντα τους, και μια μεγάλη ποικιλία άλλων προϊόντων όπως οι ξηροί καρποί, η ζύμη, η ζάχαρη, τα καπνά, τα αποξηραμένα φρούτα, οι σπόροι και οι ελαιούχοι σπόροι (Hill, 2003, Mahroof and Hagstrum, 2012, Klys and Przystupińska, 2015, Kumar, 2017). Είναι μικρότερο από τα περισσότερα έντομα αποθηκών (το μήκος της προνύμφης και των τελείων ατόμων κυμαίνεται μεταξύ 4,0 έως 5,0 mm και 2,5 έως 3,0 mm αντιστοίχως) (Hill, 2003). Επίσης είναι εξαιρετικά κινητικό, συναντάται εντός και εκτός αποθηκών, και η ανίχνευσή του είναι δύσκολη διότι αφ' ενός μεν συνήθως προσβάλλει τα κατώτερα στρώματα των αποθηκευμένων τροφών αφ' ετέρου δε κρύβεται σε ρωγμές και σχισμές στους αποθηκευτικούς χώρους (Arthur, 2001, Hill, 2003, Mahroof and Hagstrum, 2012). Το *O. surinamensis* διακινείται σε παγκόσμια κλίμακα μέσω του διεθνούς εμπορίου (Rees, 2004, CABI, 2019). Ως δευτερεύον εχθρός, τρέφεται με κατεστραμμένους σπόρους δημιουργώντας σκόνη (Throne et al., 2003, Hötling et al., 2014) και με το φύτρο ολοκλήρων σπόρων (Hill, 2003). Επιπροσθέτως, το έντομο μπορεί να αποτελέσει πιθανή απειλή της δημόσιας υγείας διότι προκαλεί αλλεργίες στους ανθρώπους. Τα αντιγόνα από τα διάφορα μέρη των σταδίων ζωής του *O. surinamensis* έχουν ταυτοποιηθεί να προκαλούν θετική αλλεργική αντίδραση στους ανθρώπους, και για αυτό μπορεί να γίνουν επικίνδυνα όταν βρεθούν στα αποθηκευμένα προϊόντα (Jakubas Zawalska et al., 2016).

Η αναπτυξιακή και η αναπαραγωγική ικανότητα των εντόμων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, ένας εκ των οποίων είναι η ποσότητα και η ποιότητα της τροφής τους (Obrycki and Orr, 1990, Papachristos et al.,

2015, Kavallieratos et al., 2019a,b). Είναι ευρέως γνωστό ότι η θρεπτικότητα των τροφών επηρεάζει την ιστορία της ζωής των εντόμων (Kalushkov and Hodek, 2005, Jalali et al., 2010, Papachristos et al., 2015). Διαφορετικά είδη τροφής επηρεάζουν την ανάπτυξη και την επιβίωση των ατελών σταδίων (Kalushkov and Hodek, 2005, Papachristos et al., 2015), την διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων ή την αναπαραγωγική ικανότητά τους (Jalali et al., 2009) και την αύξηση του πληθυσμού τους (Athanassiou et al., 2016, 2017, Kavallieratos et al., 2017, 2019a).

Η δημογραφία αποτελεί θεμελιώδες εργαλείο το οποίο ποσοτικοποιεί την ανάπτυξη των εντόμων, την επιβίωση και την αναπαραγωγή τους (Carey, 1993, 2001, Papanikolaou et al., 2014, 2019). Η κατάταξη σε πίνακα των δεδομένων της γέννησης και της θνησιμότητας των εντόμων διευκολύνει τον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων της ζωής τους όπως ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός, ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως και ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως. Τούτες οι παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να εκτιμηθεί εάν οι διάφοροι τύποι προϊόντων είναι κατάλληλοι για την ανάπτυξη των εντόμων αποθηκών (Kavallieratos et al., 2019).

Η δημογραφία του *O. surinamensis* έχει εξερευνηθεί ελάχιστα. Οι Beckett and Evans (1994), μελετώντας την ανάπτυξη του *O. surinamensis* σε σπασμένο σίτο (ποικιλία Corella) υπό διαφορετικούς συνδυασμούς θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (π.χ. 20 °C, 30 °C, 35 °C και 30%, 50%, 70% σχετική υγρασία), βρήκαν ότι οι καταλληλότερες συνθήκες για την ανάπτυξη του εντόμου από το ωό έως το τέλειο άτομο είναι οι 30 °C και 70% σχετική υγρασία ακολουθούμενες από τους 35 °C και 70% σχετική υγρασία, παρουσιάζοντας 15% και 16% θνησιμότητα στα ατελή στάδια του εντόμου αντιστοίχως. Οι χείριστες συνθήκες για την ανάπτυξη του ήσαν οι 20 °C και 30% σχετική υγρασία ακολουθούμενες από τους 35 °C και 30% σχετική υγρασία με θνησιμότητα 99% και 98% στα ατελή στάδια του εντόμου αντιστοίχως. Οι συγγραφείς έδειξαν επίσης ότι το θεωρητικό κατώφλι αναπτύξεως είναι οι 19,0-19,4 °C έως 30 °C και 70% σχετική υγρασία. Αργότερα οι Beckett et al. (1996) ερεύνησαν την ανάπτυξη έξι πληθυσμών του *O. surinamensis* οι οποίοι εμφάνιζαν διαφορετικά επίπεδα ανθεκτικότητας

και ευαισθησίας στις δραστικές ουσίες fenitrothion, pirimiphos-methyl, και chlorpyrifos-methyl στους 22,5 °C, 30 °C και 30%, 50% σχετική υγρασία σε σίτο ανήκων στην ποικιλία Corella. Παρά το γεγονός ότι τα επίπεδα ανθεκτικότητας του *O. surinamensis* σε διαφορετικά εντομοκτόνα επηρέασαν την βιολογία του με διαφορετικούς τρόπους, κάποια φυσικά μέτρα διαχείρισης (π.χ. ρύθμιση του εξαερισμού στις αποθήκες) υπεισέρχονται.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την οικονομική σημασία του *O. surinamensis*, τίθεται το ζήτημα της εκτιμήσεως περισσοτέρων προϊόντων ως διατροφή του εντόμου, όσον αφορά την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και την επιβίωσή του, προκειμένου να εκτιμηθεί η πιθανή εξάπλωση του και η ζημιά την οποία δύναται να προκαλέσει. Παρά το γεγονός ότι το *O. surinamensis* θεωρείται έντομο εισβολέας (CABI, 2019), δεν υπάρχουν δεδομένα για την ανάπτυξή του σε ευρύ φάσμα σπόρων δημητριακών και αμυλούχων προϊόντων. Επομένως στο παρόν κεφάλαιο της Διδακτορικής Διατριβής παρουσιάζονται λεπτομερείς πληροφορίες για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή του *O. surinamensis* σε σιμιγδάλι, σπασμένο σίτο, αλεύρι αραβοσίτου, σπασμένο αραβόσιτο, νιφάδες βρώμης, αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως και σπασμένη κριθή, στοχεύοντας στην διερεύνηση της αναπτύξεώς του και της πιθανής εξαπλώσεώς του.

## **2.1.2 Υλικά και Μέθοδοι**

### **2.1.2.1 Έντομα**

Το *O. surinamensis* εξετράφη σε σπασμένο σίτο, νιφάδες βρώμης και ζύμη σε σκόνη (αναλογία 5: 5: 1), στους 30 °C, 65% σχετική υγρασία υπό συνεχές σκότος. Η ιδρυτική αποικία του *O. surinamensis* εστάλη από το Crop Research Institute (Πράγα, Τσεχία) το 2017. Έκτοτε διατηρείται στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Εικ. 1, 2). Ο πληθυσμός είναι εργαστηριακός, ευαίσθητος στα εντομοκτόνα και συλλέχθηκε αρχικά από την τοπική πανίδα της Τσεχίας (Aulicky et al., 2017).



### 2.1.2.2 Προϊόντα

Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν σιμιγδάλι (από σκληρό σίτο), σπασμένος σίτος (ποικιλία Claudio), αλεύρι αραβοσίτου (μίγμα ποικιλιών, είχε χρησιμοποιηθεί μόνον το ενδοσπέρμιο), σπασμένος αραβόσιτος (ποικιλία Dias), νιφάδες βρώμης (μίγμα ποικιλιών, είχαν χρησιμοποιηθεί ολόκληροι σπόροι), αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως (μίγμα ποικιλιών, είχαν χρησιμοποιηθεί ολόκληροι σπόροι) και σπασμένη κριθή (ποικιλία Persephone). Όλες οι τροφές ήσαν απαλλαγμένες από προσβολές και εντομοκτόνα. Η υγρασία των προϊόντων ρυθμίστηκε στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας στο 13,5% σχετική υγρασία, θερμαίνοντας τα προϊόντα σε κλίβανο στους 50 °C (Athanassiou et al., 2016, 2017) (Εικ. 22, 23, 35, 36). Η υγρασία καταγράφηκε με ρυθμισμένο υγρασιόμετρο (mini GAC plus, Dickey-John Europe S.A.S., Colombes, France).

### 2.1.2.3 Βιοδοκιμές

Ο σίτος, η κριθή και ο αραβόσιτος θραύτηκαν σε μύλο χειρός. Μετά την θραύση, καθένα από τα προϊόντα κοσκινίστηκαν με δύο διαφορετικά κόσκινα: No. 8 (2,36 mm ανοίγματα) US standard testing sieve (Advantech Manufacturing, Inc., New Berlin, WI) και No. 10 (2,00 mm ανοίγματα) US standard testing sieve (Retsch GmbH, Haan, Germany). Το προϊόν το οποίο παρέμεινε στο πλέγμα του κοσκίνου No. 10 χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα. Οι βιοδοκιμές έγιναν σε τρυβλία Petri (5,5 cm διάμετρος και 1 cm ύψος). Τα εσωτερικά τοιχία κάθε τρυβλίου καλύφθηκαν με polytetrafluoroethylen (60 wt % κατά βάρος διασπορά σε ύδωρ) (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Germany) ώστε να αποτραπεί η διαφυγή των εντόμων από τα τρυβλία (Εικ. 13-15). Κατόπιν, ποσότητες 1 g από το κάθε εξεταζόμενο προϊόν τοποθετήθηκαν στα τρυβλία ένα προς ένα. Όλες οι ποσότητες του 1 g ζυγίστηκαν σε ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας (Precisa XB3200D compact balance, Alpha Analytical Instruments, Gerakas, Greece) (Εικ. 24). Προκειμένου να ληφθούν τα ωά του *O. surinamensis*, 50 τυχαίου φύλου τέλεια άτομα, ηλικίας περίπου 5 ημερών, μεταφέρθηκαν από την εκτροφή για 1 ημέρα σε έναν γυάλινο περιέκτη 250 ml, περιέχων 125 ml λευκού μαλακού

αλεύρου στους 32,5 °C (Εικ. 16). Την επόμενη ημέρα, τα τέλεια άτομα διαχωρίστηκαν από το αλεύρι με ένα No. 20 U.S. standard testing sieve (Advantech Manufacturing, Inc., New Berlin, WI). Ακολούθως, με ένα No. 60 U.S. standard testing sieve (Advantech Manufacturing, Inc., New Berlin, WI) τα ωά διαχωρίστηκαν από το αλεύρι παραμένοντας στα ανοίγματα του κοσκίνου (Εικ. 17). Τα ωά τοποθετήθηκαν σε ένα τρυβλίο και παρακολουθούνταν καθημερινώς με την βοήθεια στερεοσκοπίου (Olympus SZX9, Bacacos S.A., Athens, Greece) υπό 57x τελική μεγέθυνση (Εικ. 18). Συνολικώς, παρελήφθησαν 1050 ωά, δηλαδή 150 για κάθε προϊόν. Κατά την καθημερινή επίβλεψη, όλες οι νεοεκκολαφθείσες προνύμφες *O. surinamensis* μεταφέρθηκαν με προσοχή σε ξεχωριστά τρυβλία τα οποία είχαν προετοιμάσει ως προαναφέρθηκε, με την βοήθεια πινέλου (Cotman 111 No. 000, Winsor and Newton, London, UK). Τα τρυβλία με τις προνύμφες τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών στους 32,5 °C και 65% σχετική υγρασία (Εικ. 19-22). Τα τρυβλία παρέμειναν στις ίδιες τις συνθήκες καθ' όλη την διάρκεια των βιοδοκιμών. Η διάρκεια του σταδίου και η θνησιμότητα των προνυμφών και των νυμφών καταγραφόταν καθημερινά (Εικ. 5-8, 37-39). Η διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων και η γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων καταγραφόταν επίσης κάθε 24 ώρες μέχρι τον θάνατο του τελευταίου εντόμου: 38 στο σιμιγδάλι, 52 στο αλεύρι αραβοσίτου, 79 στον σπασμένο αραβόσιτο, 104 στις νιφάδες βρώμης, 64 στο αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως, 49 στη σπασμένη κριθή και 39 στον σπασμένο σίτος. Όταν τα έντομα έφθαναν στο στάδιο του τελείου ατόμου, σχηματίζονταν ζεύγη τα οποία διατηρούνταν σε τρυβλία (ζεύγος/ τρυβλίο). Τα έντομα τα οποία αναπτύχθηκαν στο σιμιγδάλι και τον σπασμένο σίτο δεν κατάφεραν να γίνουν τέλεια άτομα, οπότε δεν σχηματίστηκαν ζεύγη. Ο καθορισμός του φύλου των ατόμων βασίστηκε στον Bousquet (1990) (Εικ. 11, 12).

#### **2.1.2.4 Στατιστική Ανάλυση**

Για να προσδιοριστεί η επίδραση των προϊόντων (σιμιγδάλι, σπασμένος σίτος, αλεύρι αραβοσίτου, σπασμένος αραβόσιτος, νιφάδες βρώμης, αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως και σπασμένη κριθή) επί της διάρκειας της

αναπτύξεως των προνυμφών και νυμφών, της διάρκειας της ζωής των θηλέων και των αρρένων τελείων ατόμων και της γονιμότητας των θηλέων τελείων ατόμων, υποβλήθηκαν τα δεδομένα στην ανάλυση διασποράς Kruskal-Wallis (δοκιμή Dunn με  $\alpha = 0,05$ ) λόγω του γεγονότος ότι η δοκιμή κανονικότητας των Shapiro-Wilk, έδειξε απόκλιση από την κανονική κατανομή. Η μέθοδος Kaplan-Meier χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί ο μέσος χρόνος της επιβιώσεως και το 95% διάστημα εμπιστοσύνης. Η ανάλυση όλων των δεδομένων έγινε με το λογισμικό SigmaPlot (Systat Software, 2008).

Εκτιμήθηκαν οι ακόλουθοι βιολογικοί παράμετροι για το *O. surinamensis* (Carey, 1993; Papanikolaou et al., 2014, 2019; Kavallieratos et al., 2019b):

- Ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός:

$$R_0 = \sum (l_x \times m_x) = 1,$$

Περιγράφει την κατά κεφαλή τιμή της παραγωγής απογόνων σε μια χρονική περίοδο ίση με την περίοδο της μελέτης σειράς (το  $l_x$  δηλώνει την επιβίωση της σειράς στην ηλικία  $x$  και το  $m_x$  την γονιμότητα σε συγκεκριμένη ηλικία).

- Ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως ( $r_m$ ):

$$\sum (e^{r_m \times x} \times l_x \times m_x) = 1$$

Περιγράφει τον ρυθμό της φυσικής αυξήσεως ενός κλειστού πληθυσμού (ο οποίος έχει υποβληθεί σε σταθερά ηλικιακά χρονοδιαγράμματα γονιμότητος και θνησιμότητος για μεγάλο χρονικό διάστημα).

- Ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως:

$$\lambda = e^{r_m}$$

Περιγράφει τον ρυθμό κατά τον οποίο ένας πληθυσμός θα αυξηθεί σε κάθε χρονικό βήμα.

- Ο μέσος χρόνος γενεάς:

$$T = \frac{\ln R_0}{r_m}$$

Περιγράφει τον χρόνο τον οποίο χρειάζεται ένας πληθυσμός να αυξηθεί από έναν παράγοντα ίσο με τον καθαρό αναπαραγωγικό ρυθμό.

### 2.1.3 Αποτελέσματα

Το *O. surinamensis* ολοκλήρωσε την ανάπτυξη του σε όλα τα εξετασθέντα προϊόντα εκτός από το σιμιγδάλι και τον σπασμένο σίτο (Πίνακας 2.1.5.1). Η διάρκεια αναπτύξεως των προνυμφών ήταν σημαντικώς μεγαλύτερη όταν το *O. surinamensis* εξετράφη με νιφάδες βρώμης (20,3 ημέρες) και με αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως (19,2 ημέρες) σε σχέση με το αλεύρι αραβοσίτου (16,6 ημέρες) ή με τον σπασμένο αραβόσιτο (17,2 ημέρες). Η διάρκεια αναπτύξεως των προνυμφών οι οποίες εξετράφησαν με σπασμένη κριθή δεν διέφερε σημαντικώς από την διάρκεια αναπτύξεως όσων προνυμφών εξετράφησαν με τον σπασμένο αραβόσιτο ή με το αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως, αλλά ήταν σημαντικώς μεγαλύτερη όταν τα έντομα εξετράφησαν με αλεύρι αραβοσίτου και σημαντικώς μικρότερη όταν τα έντομα εξετράφησαν με νιφάδες βρώμης. Όσον αφορά την νυμφική ανάπτυξη, δεν υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα εξετασθέντα προϊόντα. Ο χρόνος αναπτύξεως των νυμφών κυμάνθηκε ανάμεσα στις 4,6 και 4,7 ημέρες.

Η διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων επηρεάστηκε από τα εξετασθέντα προϊόντα (Πίνακας 2.1.5.1). Η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των θηλέων τελείων ατόμων ήταν 28,4 ημέρες στον σπασμένο αραβόσιτο και 24,4 ημέρες στις νιφάδες βρώμης. Οι χαμηλότερες τιμές της διάρκειας ζωής των θηλέων και των

αρρένων τελείων ατόμων ήσαν 12,1, 15,9 ή 7,8 ημέρες, και 8,7, 13,9, ή 6,1 ημέρες όταν το *O. surinamensis* εξετράφη με αλεύρι αραβοσίτου, αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως και σπασμένη κριθή αντιστοίχως. Τα θήλεα τέλεια άτομα δεν παρήγαγαν ωά όταν εξετράφησαν με αλεύρι αραβοσίτου και με σπασμένη κριθή. Η υψηλότερη γονιμότητα παρατηρήθηκε όταν το *O. surinamensis* εξετράφη με σπασμένο αραβόσιτο (4,8 ωά/θήλυ) και με νιφάδες βρώμης (0,3 ωά/θήλυ) (Πίνακας 2.1.5.1).

Τα εξετασθέντα προϊόντα επηρέασαν επίσης την πιθανότητα της θνησιμότητας του *O. surinamensis* ( $\chi^2$  [log rank] = 453,842; df = 6; p-value < 0,001] (Διάγραμμα 2.1.6.1), όπως επίσης και τον μέσο χρόνο της επιβίωσής του (Πίνακας 2.1.5.2). Ως εκ τούτου, ο μικρότερος χρόνος επιβίωσης καταγράφηκε στον σπασμένο σίτο (11,1 ημέρες) ενώ ο μεγαλύτερος χρόνος επιβίωσης καταγράφηκε στον σπασμένο αραβόσιτο και στις νιφάδες βρώμης (37,8 και 42,2 ημέρες αντιστοίχως).

Ο υπολογισμός των δημογραφικών παραμέτρων ήταν εφικτός μόνο στον σπασμένο αραβόσιτο διότι το *O. surinamensis* δεν ολοκλήρωσε την ανάπτυξή του στο σιμιγδάλι και τον σπασμένο σίτο, δεν υπήρχε παραγωγή απογόνων στο αλεύρι αραβοσίτου και την σπασμένη κριθή, ενώ η παραγωγή ωών ήταν χαμηλή στις νιφάδες βρώμης και το αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως. Επομένως, ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός, ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως, ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως και η μέση διάρκεια γενεάς ήσαν 1,48 θήλεα/θήλυ, 0,01 θήλεα/θήλυ/ημέρα, 1,01 και 37,1 ημέρες αντιστοίχως.

#### 2.1.4 Συζήτηση

Οι προηγούμενες εργασίες οι οποίες αφορούν στην αύξηση του πληθυσμού του *O. surinamensis* υποστηρίζουν την ικανότητά του να επιβιώνει και να αναπτύσσεται σε μεγάλο εύρος προϊόντων, υπό συγκεκριμένες αβιοτικές συνθήκες, π.χ. σε γεύμα καρύδας στους 30 °C και 70% σχετική υγρασία και σε ζωοτροφές με βάση τον σίτο σε διάφορες

συνθήκες, με τους 32,5 °C και 90% σχετική υγρασία να προσφέρονται για την συντομότερη διάρκεια αναπτύξεως (Howe, 1956), σε ακατέργαστη και κίτρινη κρυσταλλική ζάχαρη στους 25 °C και 75% σχετική υγρασία (Breese, 1961), σε βρώμη στους 30 °C και 20%, 50%, 80% σχετική υγρασία, σε ολόκληρα ή σπασμένα αμύγδαλα, σταφίδες και δαμάσκηνα στους 30 °C και 50%, 80% σχετική υγρασία (Curtis and Clark, 1974), σε αλεσμένο αραβόσιτο στους 30 °C και 70% σχετική υγρασία (Sousa et al., 2009).

Η παρούσα εργασία προσφέρει μια λεπτομερή περιγραφή της επίδρασης των επτά προϊόντων (σιμιγδάλι, σπασμένος σίτος, αλεύρι αραβόσιτου, σπασμένος αραβόσιτος, νιφάδες βρώμης, αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως και σπασμένη κριθή) στην θνησιμότητα και την διάρκεια αναπτύξεως των ατελών σταδίων, στην διάρκεια ζωής των θηλέων και αρρένων τελείων ατόμων και την αναπαραγωγική ικανότητα του *O. surinamensis*. Επίσης παρέχει ξεκάθαρα ευρήματα σχετικά με την ανάπτυξη και την βιολογία της αναπαραγωγής του εντόμου. Το *O. surinamensis* ολοκλήρωσε την ανάπτυξη του στο αλεύρι αραβόσιτου, τον σπασμένο αραβόσιτο, τις νιφάδες βρώμης, το αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως και τη σπασμένη κριθή. Ωστόσο, τα θήλεα τέλεια άτομα του είδους παρήγαγαν ωά μόνο στον σπασμένο αραβόσιτο, τις νιφάδες βρώμης και το αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως. Τα ευρήματά αποκάλυψαν ότι ο σπασμένος αραβόσιτος απετέλεσε την κατάλληλη τροφή για το *O. surinamensis*, με βάση την επιβίωση, την ανάπτυξη των προνυμφών και των νυμφών και την γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων. Ωστόσο, οι τιμές του ενδογενούς ρυθμού αυξήσεως και ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως ήσαν χαμηλές, υποδεικνύοντας ότι ο σπασμένος αραβόσιτος δεν ευνοεί την ταχεία εξάπλωση του εντόμου. Αυτό είναι ένα σημαντικό εύρημα επειδή οι προαναφερθέντες παράμετροι είναι ενδεικτικές για την πιθανή αύξηση του πληθυσμού των εντόμων (Carey, 2001, Papanikolaou et al., 2014, Zeki et al., 2015). Για παράδειγμα, οι Papanikolaou et al. (2019) και οι Kavallieratos et al. (2019b) έδειξαν ότι όταν το *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) κατανάλωσε τις κατάλληλες τροφές, υπό ευνοϊκές αβιοτικές συνθήκες, ο ενδογενής ρυθμός αυξήσεως (από 0,03 έως 0,07 θήλεα/θήλυ/ημέρα) και ο πεπερασμένος ρυθμός αυξήσεως (από 1,03 έως

1,07) ήσαν υψηλότεροι από τις αντίστοιχες τιμές για το *O. surinamensis* στην παρούσα εργασία. Το ίδιο μοτίβο παρατηρήθηκε για τον κατά κεφαλήν ρυθμό παραγωγής απογόνων, που απεικονίζεται από τις τιμές του καθαρού αναπαραγωγικού ρυθμού. Το *T. granarium* χαρακτηρίζεται από υψηλότερο ρυθμό παραγωγής απογόνων (από 6,6 έως 14,6 θήλεα/θήλυ) (Paranikolaou et al., 2019, Kavallieratos et al., 2019b) σε σύγκριση με το *O. surinamensis*, υποδεικνύοντας την μεγαλύτερη ικανότητα του *T. granarium* να αυξήσει τον πληθυσμό του και να προκαλέσει γρήγορες προσβολές. Αν και οι συνθήκες αποθηκεύσεως μπορεί να οδηγήσουν τις δημογραφικές παραμέτρους του *O. surinamensis* σε αρκετές διακυμάνσεις, τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας είναι ενδεικτικά της χαμηλής επίδοσης του εντόμου στον σπασμένο αραβόσιτο.

Το αλεύρι αραβοσίτου και η σπασμένη κριθή αποδείχθηκαν ακατάλληλες ως τροφές για το *O. surinamensis* διότι κανένα ωό παράχθηκε όταν τα τέλεια άτομα αναπτύχθηκαν επ' αυτών. Έτσι αναμένεται ότι το αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως και η σπασμένη κριθή λειτουργούν ως εναλλακτικές ή οριακές τροφές για το *O. surinamensis*. Αυτό είναι ένα σημαντικό εύρημα καθώς τα παραπάνω προϊόντα μπορούν να φιλοξενήσουν το *O. surinamensis* ως οχήματα, κατά την μεταφορά τους από και προς τους αποθηκευτικούς χώρους. Πρόσφατες μελέτες κατέγραψαν τούτο το φαινόμενο για άλλα έντομα αποθηκών. Για παράδειγμα, οι Athanassiou et al. (2017) αναγνώρισαν ζώντα τέλεια άτομα του *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) σε αποφλοιωμένη όρυζα, τριτικάλε, νιφάδες βρώμης, αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως, μαλακό άσπρο αλεύρι σίτου, μαλακό αλεύρι σίτου ολικής αλέσεως, σκληρό άσπρο αλεύρι σίτου, αλεύρι σικάλεως ολικής αλέσεως, ενώ ζώντα ατελή στάδια του εντόμου βρέθηκαν σε αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως και μαλακό άσπρο αλεύρι σίτου. Παρομοίως, οι Kavallieratos et al. (2019) ανέφεραν ότι το *T. granarium* επιβίωσε σε πολυάριθμα προϊόντα τα οποία ήσαν σπόροι όπως η ροβίτσα, τα ψημένα ρεβίθια (στραγάλια), η βαμβακόπιτα, τα φουντούκια, τα ρεβίθια, η σκυλοτροφή, οι φακές, τα κουκιά, το πεπόνι, το σύκο, τα φασόλια λίμα, τα φασόλια, η κορινθιακή σταφίδα, η ζελατίνη χοιρινού και το αλεύρι πατάτας. Προφανώς, διαφορετικά προϊόντα δεν υποστηρίζουν επαρκώς την ανάπτυξη των εντόμων των αποθηκευμένων

προϊόντων, γεγονός το οποίο μπορεί να βοηθήσει στην περαιτέρω εξάπλωσή τους καθώς τα υπάρχοντα έντομα παραμένουν μη ανιχνεύσιμα εξαιτίας των χαμηλών αριθμών τους και του μικρού μεγέθους τους, υπό τον κίνδυνο, ενδεχομένως, να μεταφερθούν πλησίον προϊόντων τα οποία ευνοούν την ανάπτυξή τους (Dunkel et al., 1982, Myers and Hagstrum, 2012, Athanassiou et al., 2017, Kavallieratos et al., 2019). Επιπροσθέτως, συγκεκριμένα προϊόντα προσφέρουν κατάλληλο υπόστρωμα για την διατροφή των εντόμων των αποθηκευμένων τροφίμων, ανεξαρτήτως της προσαρμογής τους, οδηγώντας σε υψηλούς αριθμούς και συνακόλουθες καταστροφές των προσβεβλημένων σπόρων. Οι Athanassiou et al. (2018) κατέγραψαν ότι η διατροφή των αρρένων τελείων ατόμων του *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) και ο πολλαπλασιασμός του είναι υψηλότερος στον σίτο σε σχέση με την κριθή.

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα ευρήματα της παρούσης εργασίας ήταν το γεγονός ότι το *O. surinamensis* δεν ήταν ικανό να αναπτυχθεί στο σιμιγδάλι και στον σπασμένο σίτο. Αυτό το εύρημα είναι αντίθετο σε σχέση με τα αποτελέσματα προηγούμενων εργασιών. Για παράδειγμα, οι Beckett και Evans (1994) ανέφεραν ότι το *O. surinamensis* ολοκλήρωσε την ανάπτυξή του από το ωό στο τέλειο άτομο σε σπασμένο σίτο, σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και σχετικής υγρασίας. Παρομοίως, οι Beckett et al. (1996) ανέφεραν ότι έξι διαφορετικοί πληθυσμοί του εντόμου οι οποίοι ολοκλήρωσαν την ανάπτυξή των ατελών σταδίων τους και έφτασαν στο στάδιο του τελείου ατόμου στον σπασμένο σίτο, υπό διαφορετικούς συνδυασμούς θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Ωστόσο, οι Govindaraj et al. (2014) βρήκαν ότι το *O. surinamensis* ήταν ικανό να ολοκληρώσει την ανάπτυξή του από το ωό στο τέλειο άτομο στον σίτο και σε ακεραίους σπόρους όρουζας μέσα σε 39,1 και 37,5 ημέρες αντιστοίχως. Αντιθέτως, οι Jacob and Fleming (1990) έδειξαν ότι δύο από τους τρεις πληθυσμούς του εντόμου δεν μπορούσαν να επιβιώσουν σε σπασμένο σίτο στους 20 °C και 30% σχετική υγρασία, ενώ μόνο το 4% των αρχικά εκτεθειμένων προνυμφών από τον τρίτο πληθυσμό έγιναν τέλεια άτομα. Όλες οι προαναφερθείσες διαφορές μπορούν μερικώς να εξηγηθούν από τον τύπο ή/και το επίπεδο της επεξεργασίας των σπόρων, που επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των εντόμων. Σύμφωνα με τους LeCato and McCray



(1973) οι σπόροι σίτου μεγέθους  $> 2,36$  mm υποστηρίζουν κατά 3,85 φορές περισσότερο την γονιμότητα του *O. surinamensis*. Οι Beckel et al. (2007) ανέφεραν ότι διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας-άλεσης των σπόρων του σίτου, επιδρούν στην παραγωγή ωών και απογόνων του *O. surinamensis*. Όταν οι συγγραφείς έσπασαν τους σπόρους σίτου στα επίπεδα 5, 9 και 11, δεν παρήχθησαν ωά για πέντε ημέρες στους 25 °C και 65% σχετική υγρασία. Αν και το *O. surinamensis* μπορεί να αναπτυχθεί εύκολα σε σπασμένους σπόρους (Weston and Rattlingour, 2000), υπάρχει το βέλτιστο μέγεθος των σπασμένων σπόρων σίτου, το οποίο μπορεί να καταστείλλει την ανάπτυξη του πληθυσμού του εντόμου όπως προτείνουμε στην παρούσα διατριβή (από 2 έως 2,36 mm). Ο Fleming (1988) πρότεινε ότι τα τμήματα του σπασμένου σίτου θα πρέπει να είναι  $< 2,68$  mm (επίπεδο 8) ώστε να μειώσουν τις προσβολές του *O. surinamensis*. Περαιτέρω πειραματισμός είναι αναγκαίος προκειμένου να ρίξει φως σε τούτο το ζήτημα. Με βάση τα ευρήματα στην παρούσα και των προηγηθεισών εργασιών, η ανάπτυξη του *O. surinamensis* είναι ένα πολύπλοκο θέμα λόγω της υπάρξεως πολλών παραγόντων, όπως το είδος του φυτού, η ποικιλία του φυτού, η επεξεργασία του προϊόντος, ο πληθυσμός του εντόμου, οι διατροφικές ανάγκες και οι αβιοτικές συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία) (Sinha, 1971, Davis, 1973, LeCato and McCray, 1973, Beckett and Evans, 1994, Throne et al., 2003, Sousa et al., 2009).

Συμπερασματικά, αναμένουμε τα αποτελέσματα των ευρημάτων της παρούσης εργασίας να βοηθήσουν στην φυσική αντιμετώπιση του *O. surinamensis*. Η μελέτη της αναπαραγωγικής απόδοσης των εντόμων των αποθηκευμένων τροφίμων σε συγκεκριμένα προϊόντα παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την πρόβλεψη της αναπτύξεως των πυκνοτήτων των πληθυσμών και του επιπέδου της ζημιάς την οποία προκαλούν. Τούτες οι έρευνες μπορούν να αποκαλύψουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των προϊόντων όταν είναι κατεργασμένα (π.χ. αλεσμένο, σπασμένο) ή όχι, όπως στην παρούσα εργασία, ή σε επίπεδα κάτω του είδους (π.χ. ποικιλία, υβρίδιο) (Golizadeh and Abedi, 2017, Majd Marani et al., 2017, Nemat Kalkhoran et al., 2018, Kavallieratos et al., 2019b). Επιπλέον, συγκεκριμένα προϊόντα, τα οποία ενισχύουν την ανάπτυξη του *O. surinamensis*, πρέπει να τονιστούν ως

προϊόντα αυξημένου ρίσκου προσβολής από το έντομο. Αντιστρόφως, τα προϊόντα τα οποία καταστέλλουν την ανάπτυξη του θα πρέπει να επιλεγθούν με προσοχή και να ελεγχθούν περαιτέρω με εργαστηριακούς και φυσικούς πληθυσμούς του είδους, υπό διαφορετικούς συνδυασμούς θερμοκρασιών και σχετικής υγρασίας πριν προταθούν ευρέως με την ένδειξη ότι είναι ανθεκτικά στις προσβολές του *O. surinamensis*.

## 2.1.5 Πίνακες

### Πίνακας 2.1.5.1

Διάρκεια αναπτύξεως των προνυμφών και των νυμφών, διάρκειας ζωής των τελείων ατόμων και γονιμότητα των θηλέων ατόμων (μέσος όρος  $\pm$  SE, διάμεσος) του *O. surinamensis* όταν εξετράφη σε επτά διαφορετικά προϊόντα. Οι διάμεσοι εντός των στηλών οι οποίοι ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς. Μη παραμετρική ANOVA Kruskal-Wallis, δοκιμή Dunn σε  $P = 0,05$ . Οι αριθμοί στις παρενθέσεις αντιστοιχούν στον αριθμό των δειγμάτων. Όπου υπάρχουν παύλες δεν καταγράφηκαν τιμές ή δεν πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση.

Προϊόν	Προνύμφη (ημέρες)	Νύμφη (ημέρες)	Θήλυ (ημέρες)	Άρρεν (ημέρες)	Γονιμότητα (ωά/θήλυ)
Σιμιγδάλι	-	-	-	-	-
Σπασμένος σίτος	-	-	-	-	-
Αλεύρι	16,6 $\pm$ 0,4	4,7 $\pm$ 0,1	12,1 $\pm$ 2,1	8,7 $\pm$ 1,5	0
αραβοσίτου	16,5 <sup>a</sup> (54)	5,0 <sup>a</sup> (48)	11,0 <sup>a</sup> (22)	9,0 <sup>a</sup> (26)	0 <sup>a</sup>
Σπασμένος	17,2 $\pm$ 0,3	4,6 $\pm$ 0,1	28,4 $\pm$ 1,8	24,8 $\pm$ 1,8	4,8 $\pm$ 1,5
αραβόσιτος	16,5 <sup>ab</sup> (104)	5,0 <sup>a</sup> (94)	28,0 <sup>b</sup> (44)	27,0 <sup>b</sup> (50)	0 <sup>b</sup>
Νιφάδες βρώμης	20,3 $\pm$ 0,40	4,6 $\pm$ 0,06	31,0 $\pm$ 1,90	24,4 $\pm$ 1,9	0,3 $\pm$ 0,1
	20,0 <sup>c</sup> (102)	5,0 <sup>a</sup> (102)	30,0 <sup>b</sup> (54)	26,0 <sup>b</sup> (48)	0 <sup>ab</sup>

Αλεύρι	κριθής	19,2 ± 0,3	4,6 ± 0,1	15,9 ± 1,6	13,9 ± 1,5	0,2 ± 0,2
ολικής	αλέσεως	19,0 <sup>cd</sup> (74)	5,0 <sup>a</sup> (68)	15,5 <sup>a</sup> (30)	14,5 <sup>a</sup> (38)	0 <sup>a</sup>
		18,3 ± 0,3	4,7 ± 0,1	7,8 ± 0,1	6,1 ± 0,6	0
Σπασμένη	κριθή	18,0 <sup>bd</sup> (60)	5,0 <sup>a</sup> (59)	7,0 <sup>a</sup> (29)	6,0 <sup>a</sup> (29)	0 <sup>a</sup>
<i>H</i>		16,062	5,008	80,093	60,841	
<i>df</i>		4	4	4	4	
<i>P</i>		< 0,001	0,286	< 0,001	< 0,001	

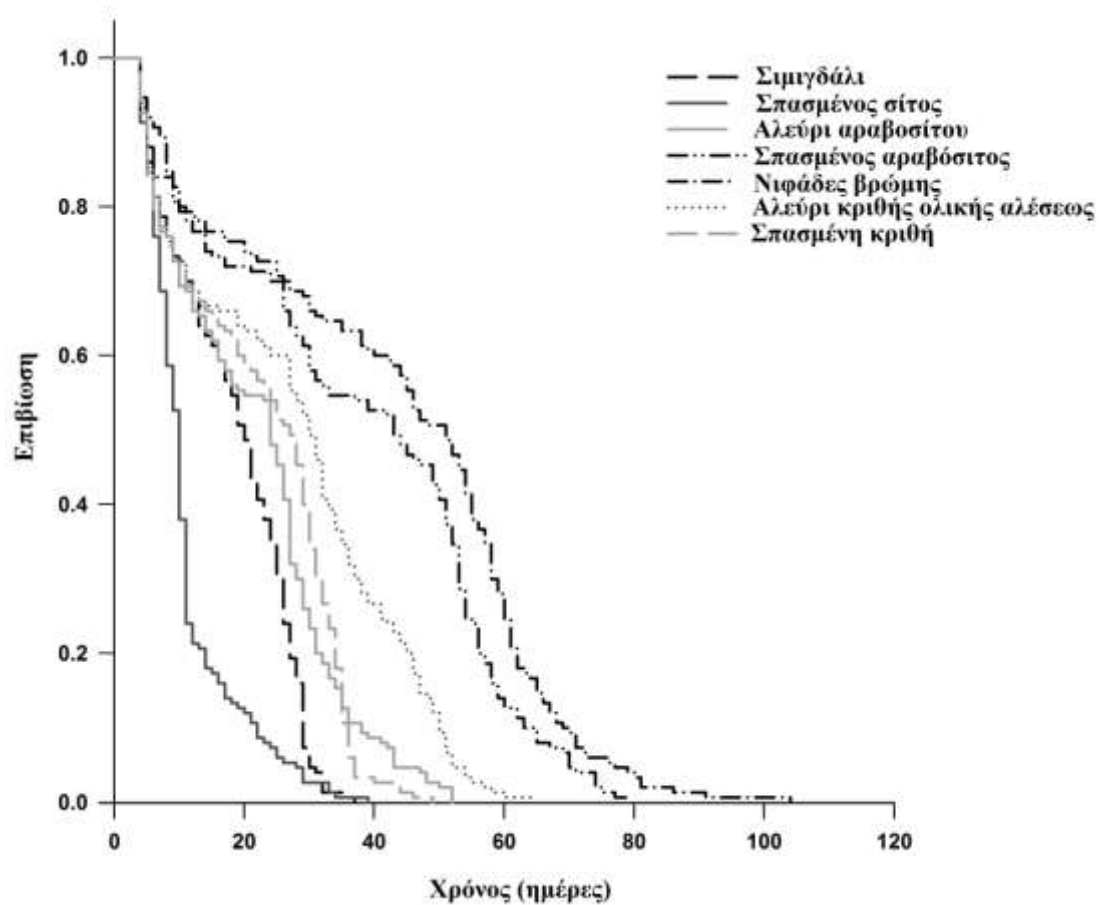
---

### Πίνακας 2.1.5.2

Χρόνος επιβιώσεως σε ημέρες (μέσος όρος, 95% διάστημα εμπιστοσύνης = C.I.) του *O. surinamensis* όταν εξετράφη σε επτά διαφορετικά προϊόντα. Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα, δεν διαφέρουν στατιστικώς βάσει του κριτηρίου του 95% C.I..

Προϊόν	Μέσος όρος	95% C.I.
Σιμιγδάλι	18,3 <sup>a</sup>	16,8–19,8
Σπασμένος σίτος	11,1 <sup>b</sup>	10,0–12,2
Αλεύρι αραβοσίτου	21,5 <sup>ac</sup>	19,4–23,6
Σπασμένος αραβόσιτος	37,8 <sup>d</sup>	34,3–41,3
Νιφάδες βρώμης	42,2 <sup>d</sup>	38,3–46,2
Αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως	27,5 <sup>e</sup>	24,8–30,3
Σπασμένη κριθή	22,3 <sup>c</sup>	20,3–24,3

## 2.1.6 Διαγράμματα



Διάγραμμα 2.1.6.1 Καμπύλες επιβίωσης του *Oryzaephilus surinamensis* όταν εξετράφη με επτά τροφές.

### 2.1.7 Βιβλιογραφία

- Arthur, F.H., 2001. Immediate and delayed mortality of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) exposed on wheat treated with diatomaceous earth: effects of temperature, relative humidity, and exposure interval. J. Stored Prod. Res. 37, 13–21.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., 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.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Boukouvala, M.C., Nika, E.P., 2017. Influence of commodity on the population growth of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae). J. Stored Prod. Res. 73, 129–134.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Benelli, G., Guedes, R.N.C., 2018. Male multiple and reproductive success in commodity-adapted strains of *Sitophilus oryzae*. J. Pest Sci. 91, 1073–1080.
- Aulicky, R., Kolar, V., Plachy, J., Stejskal, V., 2017. Field efficacy of brief exposure of adults of six storage pests to nitrogen-controlled atmospheres. Plant Protect. Sci. 53, 169–176.
- Beckel, H.D.S., Lorini I., Lazzari S.M.N., 2007. Rearing method of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on various wheat grain granulometry. Rev. Bras. Entomol. 51, 501–505.
- Beckett, S.J., Evans, D.E., 1994. The demography of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on kibbled wheat. J. Stored Prod. Res. 30, 121–137.
- Beckett, S.J., Evans, D.E., Morton, R., 1996. A comparison of the demographies of pesticide susceptible and resistant strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on kibbled wheat. J. Stored Prod. Res. 32, 141–151.

- Bousquet, Y., 1990. Beetles associated with stored products in Canada: an identification guide. Canadian Government Publishing Centre, Ottawa.
- Breese, M.H., 1961. The development and oviposition of *Oryzaephilus* spp. on unrefined sugars. B. Entomol. Res. 52, 7–16.
- CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International), 2019. *Oryzaephilus surinamensis* (saw toothed grain beetle grain beetle). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/37988>
- Carey, J.R., 1993. Applied demography for biologists with special emphasis on insects. Oxford University Press, NY.
- Carey, J.R., 2001. Insect biodemography. Annu. Rev. Entomol. 46, 79–110.
- Curtis, C.E., Clark, J.D., 1974. Comparative biologies of *Oryzaephilus surinamensis* and *O. mercator* (Coleoptera: Cucujidae) on dried fruits and nuts. Technical Bulletin 1488. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, D.C.
- Davis, G.R.F., 1973. Quantitative requirements of the saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis*, for dietary L-isoleucine and L-valine. J. Insect Physiol. 19, 1657–1661.
- Dunkel, F.V., Barak, A.V., Harein, P.K., 1982. Geographical distribution of *Cynaesus angustus* (LeConte) (Coleoptera: Tenebrionidae) and its association with stored products. J. Biogeogr. 9, 345–352.
- Fleming, D.A., 1988. The influence of wheat kernel damage upon the development and productivity of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae), J. Stored Prod. Res. 24, 233–236.
- Golizadeh, A., Abedi, Z., 2017. Feeding performance and life table parameters of khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on various barley cultivars. Bull. Entomol. Res. 107, 689–698.
- Govindaraj, R., Mohankumar, S., Rajasekaran, B., Mohan, S., 2014. Biology of the sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus)



- on different stored products and its host associated genetic variability, Proceedings of the 11th International Working Conference on Stored Product Protection 24–28 November 2014, Chiang Mai, Thailand, pp.128–135.
- Hill, D.S., 2003. Pests of storage foodstuffs and their control. Kluwer Academic Publishers, New York.
- Howe, R.W., 1956. The biology of the two common storage species of *Oryzaephilus* (Coleoptera: Cucujidae). Ann. Appl. Biol. 44, 341–355.
- Hötling, S., Haberlag, B., Tamm, M., Collatz, T., Mack, P., Steidle, J.L.M., Vences, M., Schulz, S., 2014. Identification and synthesis of macrolide pheromones of the grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* and the frog *Spinomantis aglavei*. Chem. Eur. J. 20, 3183–3191.
- Jakubas Zawalska, J., Asmana, M., Kłys, M., Solarz, K., 2016. Prevalence of sensitization to extracts from particular life stages of the saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in citizens of selected suburban areas of southern Poland. J. Stored Prod. Res. 69, 252–256.
- Jalali, M.A., Tirry, L., De Clercq, P., 2009. Effects of food and temperature on development, fecundity and life-table parameters of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). J. Appl. Entomol. 133, 615–625.
- Jalali, M.A., Tirry, L., Arbab, A., De Clercq, P., 2010. Temperature-dependent development of the two-spotted ladybeetle, *Adalia bipunctata*, on the green peach aphid, *Myzus persicae*, and a factitious food under constant temperatures. J. Insect Sci. 10, 124.
- Jacob, T.A., Fleming D.A., 1990. The effect of humidity on the development and survival of the immature stages of strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) at constant temperatures. J. Stored Prod. Res. 26, 163–167.
- Kalushkov, P., Hodek, I., 2005. The effect of six species of aphids on some life history parameters of the ladybird *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Eur. J. Entomol. 102, 449–452.

- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Guedes, R.N.C., Drempela, J.D., Boukouvala, M.C., 2017. Invader competition with local competitors: displacement or co-existence among the invasive khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae), and two other major stored-grain beetles? *Front. Plant Sci.* 8, 1837.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Boukouvala, M.C., Tsekos, G.T., 2019a. Influence of different non-grain commodities on the population growth of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *J. Stored Prod. Res.* 81, 31–39.
- Kavallieratos, N.G., Karagianni, E., Papanikolaou, N.E., 2019b. Life history of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on peeled barley, peeled oats and triticale. *J. Stored Prod. Res.* 84, 101515.
- Kłys, M., Przystupińska, A., 2015. The mortality of *Oryzaephilus surinamensis* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Silvanidae) induced by powdered plants. *J. Plant Prot. Res.* 55, 110–116.
- Kumar, R., 2017. Insect pests of stored grain. Apple Academic Press Inc., Oakville.
- LeCato, G.L., McCray, T.L., 1973. Multiplication of *Oryzaephilus* spp. and *Tribolium* spp. on 20 natural product diets. *Environ. Entomol.* 2, 176–179.
- Mahroof, R.M., Hagstrum, D.W., 2012. Biology, behavior, and ecology of insects in processed commodities. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W., Cuperus, G. (Eds.), *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS, pp. 33–41.
- Majd Marani, S., Nouri Ganbalani, G., Borzoui, E., 2017. The effect of maize hybrid on biology and life table parameters of the *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae). *J. Econ. Entomol.* 110, 1916–1922.

- Myers, S.W., Hagstrum, D.W., 2012. Quarantine. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W., Cuperus, G. (Eds.), *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS, pp. 297–304.
- Nemati Kalkhoran, M., Razmjou, J., Borzoui, E., Naseri, B., 2018. Comparison of life table parameters and digestive physiology of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) fed on various barley cultivars. *J. Insect Sci.* 18: 31.
- Obrycki, J.J., Orr, C.J., 1990. Suitability of three prey species for Nearctic populations of *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia variegata* and *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *J. Econ. Entomol.* 83, 1292–1297.
- Papachristos, D.P., Katsarou I., Michaelakis, A., Papanikolaou, N.E., 2015. Influence of different species of aphid prey on the immature survival and development of four species of aphidophagous coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae). *Eur. J. Entomol.* 12, 440–443.
- Papanikolaou, N.E., Milonas, P.G., Kontodimas, D.C., Demiris, N., Matsinos, Y.G., 2014. Life table analysis of *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) at constant temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 107, 158–162.
- Papanikolaou, N.E., Kavallieratos, N.G., Kondakis, M., Boukouvala, M.C., Nika, E.P., Demiris, N., 2019. Elucidating fitness components of the invasive dermestid beetle *Trogoderma granarium* combining deterministic and stochastic demography. *Plos One* 14, e0212182.
- Rees, D., 2004. *Insects of stored products*. Manson Publishing, London.
- Sinha, R.N., 1971. Multiplication of some stored-product insects on varieties of wheat, oats, and barley. *J. Econ. Entomol.* 64, 98–102.
- Sousa, A.H., Faroni, L.R.D.A., Pimentel, M.A.G., Guedes, R.N.C., 2009. Developmental and population growth rates of phosphine-resistant and -susceptible populations of stored-product insect pests. *J. Stored Prod. Res.* 45, 241–246.

- Systat Software. 2008. SigmaPlot for windows version 11.0.
- Throne, J.E., Doehlert, D.C., McMullen, M.S., 2003. Susceptibility of commercial oat cultivars to *Cryptolestes pusillus* and *Oryzaephilus surinamensis*, J. Stored Prod. Res. 39, 213–223.
- Weston, P.A., Rattlingourd, P.L., 2000. Progeny production by *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) on maize previously infested by *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). J. Econ. Entomol. 93: 533–536.
- Zeki, E., Papanikolaou, N.E., Demiris, N., Kontodimas, D.C., 2015. Comparison of the demographic parameters and survival of two phenotypes of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). Eur. J. Entomol. 112, 193–196.

## 2.2 Γραμμικά και μη-γραμμικά πρότυπα για την ερμηνεία της επιδράσεως της θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά της ιστορίας ζωής του *Oryzaephilus surinamensis* (L.)

### 2.2.1 Εισαγωγή

Το οδοντωτό σκαθάρι των σπόρων, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae), είναι ένα σημαντικό έντομο αποθηκών, που απαντάται συνήθως σε μύλους και αποθήκες (Kumar, 2017). Τρέφεται με δημητριακά, αποξηραμένα φρούτα και φυτά, ελαιούχους σπόρους, διάφορα μπαχαρικά, ζωοτροφές, βότανα, σοκολάτα, φασόλια, ξηρούς καρπούς, αποξηραμένο γάλα, ζάχαρη ή ζύμη (Rees, 2004, Hagstrum and Subramanyam, 2009). Καθώς είναι δευτερεύων εχθρός (Trematerra et al. 2016), δεν προσβάλλει ακεραίους σπόρους αλλά κάνει ζημιά σε ατελείς ή σπασμένους σπόρους (Rees, 2004, Kumar, 2017). Επιπλέον, η επιμόλυνση των αποθηκευμένων προϊόντων με νεκρά έντομα, εκδύσεις και περιττώματα μειώνει δραστικά την ποιότητα τους (CABI, 2019). Εκτός από την επιφερόμενη ποσοτική και την ποιοτική υποβάθμιση των προϊόντων, το *O. surinamensis* αποτελεί πιθανό κίνδυνο της δημόσιας υγείας καθώς όλα τα στάδια της ζωής του (ωό, προνύμφη, νύμφη, τέλεια άτομα) προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις στους ανθρώπους κατόπιν εκθέσεως (Jakubas Zawalska et al., 2016). Η γεωγραφική εξάπλωση του εντόμου περιλαμβάνει όλες τις ηπείρους, εκτός της Ανταρκτικής, χαρακτηριζόμενο ως κοσμοπολιτικό είδος (Rees 2004, Hagstrum and Subramanyam, 2009). Τα τέλεια είναι μικρά, μήκους από 2,5 έως 3,0 mm (Hill, 2003), έχουν καστανό χρώμα και πεπλατυσμένα (Mahroof and Hagstrum, 2012). Οι ταρσικές σμήριγγες επιτρέπουν στο *O. surinamensis* να κινείται κάθετα σε λείες επιφάνειες, όπως τα υλικά συσκευασίας και τους τοίχους των αποθηκευτικών εγκαταστάσεων (Vendl et al., 2019), ενώ είναι ικανά να εισβάλουν σε ατελώς σφραγισμένα πολυστρωματικά υλικά συσκευασίας (Stejskal et al., 2017). Επομένως, εξαιτίας της γενικής μορφολογίας του, το *O. surinamensis* παραμένει

πρακτικώς μη ανιχνεύσιμο και μπορεί με ευκολία να μεταφερθεί μέσω του διεθνούς εμπορίου.

Η θερμοκρασία είναι μια περιβαλλοντική παράμετρος η οποία έχει μεγάλη επίδραση στα έντομα καθώς είναι ποικιλόθερμοι οργανισμοί (Wojda, 2017). Επηρεάζει την βιοχημεία, την φυσιολογία, την συμπεριφορά και την οικολογία των εντόμων (Thomas and Blanford, 2003, Kavallieratos et al., 2017, Papanikolaou et al., 2019). Η σχετική υγρασία είναι ένας ακόμα σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας που μπορεί να έχει θετική ή αρνητική επίδραση στην αύξηση πληθυσμού, την επιβίωση των εντόμων και το μέγεθος της ζημιάς επί των προϊόντων τα οποία προσβάλουν (Bell and Watters 1982, Papanikolaou et al., 2018,). Με την χρήση προτύπων πρόβλεψης, οι Driscoll et al. (2000) επιβεβαίωσαν την σημαντικότητα της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στην αύξηση του πληθυσμού, την γονιμότητα και την θνησιμότητα σε κάποια σημαντικά έντομα αποθηκών όπως το *O. surinamensis* σε σπασμένο σίτο, του *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) χωρίς πληροφορίες για το υπόστρωμα, του *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) σε ακεραίους σπόρους σίτου και του *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) σε ακεραίους σπόρους σίτου. Πρόσφατες μελέτες κατέγραψαν ότι τα αποθηκευμένα γεωργικά προϊόντα και ο βαθμός στον οποίον έχουν υποστεί επεξεργασία, μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη και την ικανότητα αναπαραγωγής αρκετών ειδών εντόμων αποθηκών όπως το *O. surinamensis*, το *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae), το *T. castaneum*, το *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) και το *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) (Athanassiou et al., 2017, Kavallieratos et al., 2019a, 2019b, 2020, Nika et al. 2020, Skourti et al. 2020,).

Υπάρχουν λίγα δεδομένα σχετικά με την ανάπτυξη και την αύξηση πληθυσμού του *O. surinamensis* σε άλευρα. Για παράδειγμα, ο Davis (1966) μελέτησε μόνο την επιβίωση και την ανάπτυξη των προνυμφών και των νυμφών του *O. surinamensis* σε οκτώ διαφορετικές διατροφές σε μια θερμοκρασία (32 °C). Η καλύτερη δίαιτα όσον αφορά τον συνολικό αριθμό εντόμων τα οποία ολοκλήρωσαν την ανάπτυξή τους από το ωό στο τέλειο

άτομο ήταν αλεύρι εμπλουτισμένο με βιταμίνες, ακολουθούμενο από το αλεύρι σίτου και ενός μίγματος αλεύρου με 3% φύτρο σίτου. Οι LeCato and McCray (1973) πειραματίστηκαν με ολόκληρο και σπασμένο σίτο, με ένα μίγμα από αλεύρι σίτου, αραβόσιτο και ζύμες και με ένα μίγμα από σπασμένο σίτο, νιφάδες βρώμης και ζύμες. Η παραγωγή απογόνων ήταν μεγαλύτερη στο δεύτερο μίγμα (233 τέλεια άτομα) ακολουθούμενη από το σπασμένο σίτο (104 τέλεια άτομα). Οι Hagstrum and Subramanyam (2009) κατέγραψαν το αλεύρι ως ένα από τα προϊόντα τα οποία προσβάλλει το *O. surinamensis*, αλλά δεν έχει ενδελεχώς ερευνηθεί σε σχέση με την ανάπτυξη, την γονιμότητα και την αύξηση πληθυσμού του εντόμου. Οι Astuti et al. (2018) ανέφεραν ότι το *O. surinamensis* προτίμησε τους ακεραίους σπόρους της ερυθρής, λευκής και μελανής όρυζας για την ωτοκία του σε σχέση με τα άλευρα των προαναφερθέντων προϊόντων. Τούτη η προτίμηση μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι σπόροι δημιουργούν κενά τα οποία παρέχουν χώρο για την εναπόθεση των ωών. Ωστόσο, η διάρκεια της αναπτύξεως από το ωό στο τέλειο άτομο ήταν συντομότερη στο αλεύρι από την μελανή όρυζα σε σχέση με όλους τους εξετασθέντες τύπους των σπόρων.

Το άσπρο μαλακό αλεύρι σίτου είναι το κύριο συστατικό πολυαρίθμων επεξεργασμένων προϊόντων όπως οι χυλοπίτες, τα κράκερς, τα κέικς, τα γλυκά, οι γκοφρέτες, τα δημητριακά πρωινού και άλλα προϊόντα ζαχαροπλαστικής (Finnie and Atwell, 2016, USW, 2019). Προέρχεται από τον μαλακό σίτο. Οι Posner and Hibbs (2011) παρατήρησαν ότι διαφορετικά κλάσματα του μαλακού αλεύρου σίτου, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές ομάδες μεγεθών σωματιδίων, περιέχουν διαφορετικά ποσοστά πρωτεϊνών. Η επιμόλυνση των αλεύρων σίτου με ωά εντόμων είναι συνήθης καθώς τα ωά μπορούν να επιβιώσουν κατά την διαδικασία της αλέσεως ή μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση σε μεταγενέστερο στάδιο στους περιέκτες, κατά την περίοδο της αποθηκείσεως του προϊόντος, την μεταφορά τους ή την συσκευασία τους (Finnie and Atwell, 2016).

Για την κατανόηση και την πρόβλεψη της επιδράσεως της θερμοκρασίας στην φυσιολογία, την ανάπτυξη και την επιβίωση των εντόμων έχουν προταθεί αρκετά μαθηματικά πρότυπα (Rebaudo et al., 2018). Για παράδειγμα, η εμπειρική εύρεση της αρχικής αυξήσεως του ρυθμού

αναπτύξεως των εντόμων σε σχέση με την θερμοκρασία, ακολουθούμενη από μια κατακόρυφη μείωση, θεμελίωσε την βάση για την ανάπτυξη διαφόρων μαθηματικών προτύπων τα οποία περιγράφουν το φαινόμενο (Rebaudo et al., 2018). Τα πρότυπα επιτρέπουν την εκτίμηση των κατώτερων και ανωτέρων θερμικών ορίων, δηλαδή την χαμηλότερη και την υψηλότερη θερμοκρασία στις οποίες δεν υφίσταται ανάπτυξη, όπως και την θερμοκρασία στην οποία ο ρυθμός αναπτύξεως έχει την υψηλότερη τιμή του. Περαιτέρω, τα γραμμικά πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να εκτιμηθούν οι βαθμοημέρες πάνω από ένα κατώτερο θερμικό όριο το οποίο απαιτείται για την ολοκλήρωση της αναπτύξεως του εντόμου (Campbell et al., 1974, Ikemoto and Takai, 2000). Παρομοίως, η επιβίωση των εντόμων σε σχέση με την θερμοκρασία μπορεί να αξιολογηθεί με την χρήση μαθηματικών προτύπων ώστε να εκτιμηθεί η βέλτιστη θερμοκρασία της αναπτύξεως (Son and Lewis 2005). Το αποτέλεσμα της χρήσεως των προτύπων είναι η βάση για την αποτελεσματική εργαστηριακή αναπαραγωγή, την εκτίμηση της γεωγραφικής εξάπλωσης και της καταπολέμηση διαφόρων ειδών εντόμων (Paranikolaou et al., 2013, Moore and Remais, 2014, Zeki et al., 2015). Επιπρόσθετα, η γνώση του εύρους της θερμοκρασίας στην οποία τα έντομα αυξάνονται και αναπαράγονται θεωρείται θεμελιώδης για την εκτίμηση της επιδράσεως της κλιματικής αλλαγής για την εξάπλωση και την δυναμική των πληθυσμών των εντόμων (Jaramillo et al., 2009).

Η γνώση περί της ιστορίας ζωής του *O. surinamensis* σε σχέση με την θερμοκρασία είναι περιορισμένη. Βασίζεται δε στις προηγούμενες δεκαετίες. Για παράδειγμα, ο Howe (1956) και οι Beckett and Evans (1994) μελέτησαν την ανάπτυξη του εντόμου σε διάφορες θερμοκρασίες και επίπεδα σχετικής υγρασίας σε σίτο, καρύδα και σπασμένο σίτο αντιστοίχως. Αργότερα οι Beckett et al. (1996) διεξήγαγαν πειράματα σε διαφορετικούς πληθυσμούς *O. surinamensis* σε σπασμένο σίτο σε δύο θερμοκρασίες και δύο επίπεδα σχετικής υγρασίας. Ωστόσο δεν υπάρχουν δεδομένα για την περιγραφή του ρυθμού αναπτύξεως, της επιβιώσεως και του υπολογισμού του θερμικού αθροίσματος του *O. surinamensis* σε λευκό μαλακό αλεύρι σίτου. Σε μια πρόσφατη έρευνα, οι Nika et al. (2020) επεσήμαναν ότι διαφορετικές τροφές (π.χ. σιμιγδάλι, σπασμένος σίτος, αλεύρι αραβοσίτου, σπασμένος



αραβόσιτος, νιφάδες βρώμης, αλεύρι κριθής ολικής αλέσεως και σπασμένη κριθή) προκάλεσαν αξιοσημείωτες αλλαγές στην διάρκεια της αναπτύξεως των προνυμφών και των νυμφών και στην διάρκεια ζωής, την γονιμότητα και την επιβίωση των τελείων ατόμων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επίδραση της διατροφής είναι εξαιρετικώς σημαντική για την ανάπτυξη του *O. surinamensis* καθώς σε κάποιες τροφές το έντομο δεν μπορεί να ολοκληρώσει τον βιολογικό κύκλο του (π.χ. στο σιμιγδάλι και τον σπασμένο σίτο). Συνεπώς, ο στόχος της παρούσης μελέτης ήταν να διερευνηθεί για πρώτη φορά η επίδραση της θερμοκρασίας στην βιολογία του *O. surinamensis* επί του λευκού μαλακού αλεύρου σίτου, με την χρήση κατάλληλων γραμμικών και μη γραμμικών μαθηματικών προτύπων.

## **2.2.2 Υλικά και Μέθοδοι**

### **2.2.2.1 Έντομα**

Η εκτροφή του *O. surinamensis* έγινε σε δίαιτα η οποία αποτελείτο από σπασμένο σίτο, νιφάδες βρώμης και ζύμη, σε αναλογία 5: 5: 1 στους 30 °C, 65% σχετική υγρασία υπό συνεχές σκότος. Η αρχική αποικία του *O. surinamensis* ελήφθη από το Crop Research Institute (Πράγα, Τσεχία) το 2017. Πρόκειται για εργαστηριακό και ευαίσθητο στα εντομοκτόνα πληθυσμό, ο οποίος συγκροτήθηκε από την τοπική πανίδα της Τσεχίας (Aulicky et al. 2017). Έκτοτε, διατηρείται στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Εικ 1, 2).

### **2.2.2.2 Προϊόντα**

Στις βιοδοκιμές χρησιμοποιήθηκε προ-κοσκινισμένο λευκό μαλακό αλεύρι σίτου (μίξη ποικιλιών, είχε χρησιμοποιηθεί μόνον το ενδοσπέρμιο) το οποίο ήταν απαλλαγμένο από προσβολές και εντομοκτόνα. Το αλεύρι είχε στην ετικέτα του την ακόλουθη αναγραφόμενη περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά ανά 100 g: 72,6 g υδατάνθρακες, 10,3 g πρωτεΐνες, 1,6 g φυτικές ίνες, 1,1 g λίπος και 0,05 g άλας. Πριν την διεξαγωγή των βιοδοκιμών, η

υγρασία του εξεταζόμενου αλεύρου ρυθμίστηκε στο  $13,5 \pm 0,5\%$  με ρυθμισμένο υγρασιόμετρο (mini GAC plus, Dickey-John Europe S.A.S., Colombes, France). Η ρύθμιση επιτεύχθηκε με την θέρμανση του αλεύρου σε κλίβανο στους  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  ή με την προσθήκη απεσταγμένου ύδατος (Athanassiou et al., 2016, 2017, Skourti et al., 2019).

### 2.2.2.3 Βιοδοκιμές

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τρυβλία Petri (5,5 διάμετρος και 1 cm ύψος). Μια λεπτή στρώση από polytetrafluoroethylen (60 wt % κατά βάρος διασπορά σε ύδωρ) (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Germany) εφαρμόστηκε στα εσωτερικά τοιχία του κάθε τρυβλίου ώστε να διασφαλισθεί ότι τα έντομα θα παρέμεναν εντός των τρυβλίων (Εικ. 13, 14). Για να συλλεχθούν τα ωά του εντόμου, μεταφέρθηκαν 500 τυχαίως συλλεχθέντα τέλεια άτομα ηλικίας 5 ημερών, από την κυρία εκτροφή σε ένα γυάλινο δοχείο 1 L το οποίο περιείχε 500 ml λευκού μαλακού αλεύρου σίτου, και παρέμειναν εκεί επί 24 ώρες (Εικ. 16). Ακολούθως, χρησιμοποιήθηκαν ένα U.S. standard testing sieve No 20 (με 0,85 mm ανοίγματα) (Advantech Manufacturing, Inc., New Berlin, WI) προκειμένου να χωριστούν τα τέλεια άτομα από το αλεύρι, και ένα U.S. standard testing sieve No 60 (με 0,25 mm ανοίγματα) (Advantech Manufacturing, Inc., New Berlin, WI) ώστε να αφαιρεθεί το αλεύρι και να ληφθούν τα ωά τα οποία παρέμειναν στα ανοίγματα του κοσκίνου No 60 (Εικ. 17, 26) (Nika et al., 2020). Συνολικώς χρησιμοποιήθηκαν 750 ωά, 150 για κάθε θερμοκρασία. Τα ωά μεταφέρθηκαν ξεχωριστώς με προσοχή, σε τρυβλία χωρίς αλεύρι, με ένα πινέλο (Cotman 111 No 000, Winsor and Newton, London, UK), και τοποθετήθηκαν σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών στους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  και 65% σχετική υγρασία (Εικ. 19-22). Τα καπάκια των τρυβλίων είχαν ένα κυκλικό άνοιγμα (1,50 cm διάμετρος), καλυμμένο με μουσελίνα ώστε να αερίζεται επαρκώς το εσωτερικό τμήμα των τρυβλίων (Εικ. 15). Ο ημερήσιος έλεγχος των τρυβλίων έγινε με ένα στερεοσκόπιο Olympus (SZX9, Bacacos S.A., Athens, Greece) σε  $57\times$  τελική μεγέθυνση. Κάθε νεοεκκολαφθείσα προνύμφη *O. surinamensis* μεταφέρθηκε με ένα πινέλο (Cotman 111 No 000, Winsor and Newton, London, UK) σε

καινούριο τρυβλίο το οποίο περιείχε 1 g από λευκό μαλακό αλεύρι σίτου (~ 1 mm πάχος), ζυγισμένο με ζυγαριά ακριβείας (Precisa XB3200D compact balance, Alpha Analytical Instruments, Gerakas, Greece) (Εικ. 24). Τα τρυβλία με τις προνύμφες επεστράφησαν στους θαλάμους στις αντίστοιχες θερμοκρασίες για όλη την διάρκεια του πειράματος. Κάθε μέρα καταγραφόταν η διάρκεια αναπτύξεως και η επιβίωση των ωών, προνυμφών και νυμφών. Κατά την εμφάνιση των τελείων, έγινε η καταγραφή του φύλου τους ακολουθώντας τον Bousquet (1990) (Εικ. 3-12). Ακολουθώντας, σχηματίστηκαν ζεύγη τα οποία παρέμειναν στο ίδιο τρυβλίο το οποίο περιείχε 1 g λευκό μαλακό αλεύρι σίτου. Η διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων και η γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων καταγράφηκε σε καθημερινή βάση μέχρι τον θάνατο του τελευταίου εντόμου: 455 στους 20 °C, 486 στους 25 °C, 429 στους 30 °C, 108 στους 32,5 °C και 136 στους 35 °C (Εικ. 37-39). Τα δεδομένα της γονιμότητας συλλέχθηκαν με την καταγραφή των ωών τα οποία ωοτοκούσε κάθε θήλυ τέλειο άτομο στο κάθε τρυβλίο. Τα ωά απορρίφθηκαν μετά την καταγραφή τους.

#### 2.2.2.4 Στατιστική Ανάλυση

Τα δεδομένα της ατελούς αναπτύξεως, της διάρκειας ζωής των θηλέων και αρρένων τελείων ατόμων και η γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων αναλύθηκαν με την ανάλυση διασποράς κατά Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ). Πριν την ανάλυση, τα δεδομένα υποβλήθηκαν στη δοκιμή κανονικότητας Shapiro-Wilk, η οποία υπέδειξε απόκλιση από την κανονική κατανομή. Ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (Carey, 1993):

$$R_0 = \sum (l_x \times m_x)$$

όπου το  $l_x$  δηλώνει την επιβίωση της σειράς κατά την ηλικία  $x$  και το  $m_x$  την γονιμότητα συγκεκριμένης ηλικίας. Οι σημαντικές διαφορές ανάμεσα στον καθαρό αναπαραγωγικό ρυθμό της κάθε θερμοκρασίας που εξετάστηκε, ήταν δοκιμασμένες με την υπέρθεση των διαστημάτων εμπιστοσύνης στο 95%, τα

οποία ελήφθησαν με την μέθοδο bootstrap ( $B = 1000$ ) στο λογισμικό R (R Core Team 2019).

Το μη γραμμικό πρότυπο Briere (Briere et al., 1999) χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει την σχέση ανάμεσα στην θερμοκρασία και τον ρυθμό αναπτύξεως, λόγω του γεγονότος ότι διασφαλίζει την ισορροπία μεταξύ των μαθηματικών χειρισμών και της βιολογίας (Papanikolaou et al., 2013). Επιπροσθέτως, το γραμμικό πρότυπο Ikemoto and Takai χρησιμοποιήθηκε ώστε να υπολογιστεί το θερμικό άθροισμα πέραν του αναπτυξιακού ορίου (Ikemoto and Takai 2000). Τα πρότυπα Briere (1) και Ikemoto and Takai (2) περιγράφονται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$r(T) = \alpha \times T \times (T - T_0) \times \sqrt{T_L - T} \quad (1)$$

$$(D \times T) = K + T_0 \times D \quad (2)$$

όπου το  $r(T)$  είναι ο ρυθμός αναπτύξεως, το  $D$  είναι η διάρκεια της αναπτύξεως, το  $T$  είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, το  $T_0$  είναι το κατώτερο θερμικό όριο, το  $T_L$  το ανώτερο θερμικό όριο, το  $K$  είναι το θερμικό άθροισμα (βαθμοημέρες πέραν του  $T_0$  οι οποίες απαιτούνται για την ολοκλήρωση ενός βιολογικού σταδίου) και το  $\alpha$  είναι μια εμπειρική σταθερά. Η θερμοκρασία ( $T_m$ ) κατά την οποία ο ρυθμός αναπτύξεως λαμβάνει την μεγαλύτερη τιμή του, υπολογίστηκε αναλυτικά από το πρότυπο Briere (Briere et al., 1999, Dixon et al., 2009) ως ακολούθως:

$$T_m = \frac{2 \times m \times T_L + (m + 1) \times T_0 + \sqrt{4 \times m^2 \times T_L^2 + (m + 1)^2 \times T_0^2 - 4 \times m^2 \times T_0 \times T_L}}{4 \times m + 2}$$

για  $m = 2$ . Η προσαρμογή πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την διαδικασία των μη γραμμικών ελάχιστων τετραγώνων (Systat Software, 2017).

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην επιβίωση του κάθε σταδίου ζωής περιγράφηκε με την χρήση της συνάρτησης ακραίας τιμής (Kim and Lee, 2003, Son and Lewis, 2005):

$$S(T) = k \exp[1 + (T_{\max} - T) / \rho - e^{(T_{\max} - T) / \rho}]$$

όπου το  $S(T)$  είναι η πιθανότητα επιβίωσης στην θερμοκρασία  $T$ , το  $k$  είναι το μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης, το  $T_{\max}$  είναι η θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ ) κατά την οποία συμβαίνει η μέγιστη επιβίωση και το  $\rho$  είναι μια προσαρμοσμένη σταθερά. Η πιθανότητα επιβίωσης ενός συγκεκριμένου σταδίου υπολογίστηκε διαιρώντας τον αρχικό αριθμό των ατόμων σε κάθε στάδιο με τον αριθμό των ατόμων τα οποία αναπτύχθηκαν μέχρι το επόμενο στάδιο.

Η μέθοδος Kaplan-Meier χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των καμπυλών επιβιώσεως από το ωό έως τον θάνατο των ατόμων σε κάθε εξεταζόμενη θερμοκρασία. Όπως υπέδειξε η δοκιμή της λογαριθμικής κατάταξης, οι καμπύλες επιβιώσεως ήσαν σημαντικώς διαφορετικές. Έτσι χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή Holm-Sidak ώστε να καθοριστούν ποια ζεύγη καμπυλών ήσαν διαφορετικά. Η εκτίμηση Kaplan-Meier χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί ο μέσος χρόνος επιβιώσεως και τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης. Όλες οι αναλύσεις επιβιώσεως έγιναν με την χρήση του λογισμικού SigmaPlot 14.0 (Systat Software, 2017).

## 2.2.3 Αποτελέσματα

### 2.2.3.1 Διάρκεια αναπτύξεως, διάρκεια ζωής και γονιμότητα

Η ανάπτυξη του *O. surinamensis* και η διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων επηρεάστηκαν από την θερμοκρασία (Πίνακας 2.2.5.1). Η εκκόλαψη των ωών μειώθηκε από τις 13,58 ημέρες στους 20  $^{\circ}\text{C}$  στις 3,26 ημέρες στους 35  $^{\circ}\text{C}$ . Ωστόσο, δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στην εκκόλαψη των προνυμφών ανάμεσα στους 32,5  $^{\circ}\text{C}$  και τους 35  $^{\circ}\text{C}$ . Η διάρκεια της αναπτύξεως των προνυμφών μειώθηκε όσο αυξανόταν η θερμοκρασία κατά 40,47 ημέρες συνολικά, από τους 20  $^{\circ}\text{C}$  στους 32,5  $^{\circ}\text{C}$ , χωρίς ευρεθείσες

σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους 32,5 °C και τους 35 °C. Η διάρκεια της αναπτύξεως των νυμφών επίσης μειώθηκε όσο αυξανόταν η θερμοκρασία, η οποία από 17,8 ημέρες στους 20 °C, μειώθηκε στις 4,48 ημέρες στους 35 °C, ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην νυμφική ανάπτυξη ανάμεσα στους 32,5 °C και τους 35 °C. Η διάρκεια της ζωής των θηλέων και των αρρένων τελείων ατόμων αυξήθηκε κατά 164,12 και 156,42 ημέρες αντιστοίχως, όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε από τους 20 °C στους 25 °C, ενώ ακολούθησε μείωση της διάρκειας ζωής για τα δύο φύλα όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε στους 35 °C.

Η γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων ήταν υψηλότερη στους 25 °C, ακολουθούμενη από τους 30 °C και τους 32,5 °C (64,82, 25,14 και 27,50 ωά/θήλυ αντιστοίχως) (Πίνακας 2.2.5.1). Οι χαμηλότερες τιμές της γονιμότητας των θηλέων τελείων ατόμων παρατηρήθηκαν στους 20 °C και τους 35 °C (1,09 και 2,67 ωά/θήλυ αντιστοίχως) (Πίνακας 2.2.5.1). Όσον αφορά τις τιμές γονιμότητας, ο υψηλότερος καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός παρατηρήθηκε στους 25 °C, ακολουθούμενος από τους 30 °C και τους 32,5 °C (20,10, 11,73 και 8,97 θήλεα/θήλυ αντιστοίχως) (Πίνακας 2.2.5.2). Στους 20 °C και τους 35 °C ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός ήταν χαμηλότερος της μονάδας (1) (0,26 και 0,21 θήλεα/θήλυ αντιστοίχως) (Πίνακας 2.2.5.2).

### **2.2.3.2 Θερμικά όρια και θερμικό άθροισμα**

Το πρότυπο Briere προσάρμοσε τα δεδομένα του ρυθμού αναπτύξεως του *O. surinamensis* καλώς ( $R^2 = 0,933$ ) (Διάγραμμα 2.2.6.1). Το κατώτερο και το ανώτερο αναπτυξιακό όριο για την συνολική περίοδο των ατελών σταδίων του εντόμου ήταν 16,9 °C και 36,3 °C αντιστοίχως. Η θερμοκρασία του ανωτάτου ρυθμού αναπτύξεως εκτιμήθηκε πλησίον των 31,3 °C. Συμφώνως προς το πρότυπο Ikemoto and Takai ( $R^2 = 0,995$ ) (Διάγραμμα 2.2.6.2) το θερμικό άθροισμα του *O. surinamensis* της συνολικής διάρκειας αναπτύξεως ήταν 313,3 βαθμοημέρες πέραν του αναπτυξιακού ορίου των 16,3 °C.

### 2.2.3.3 Επιβίωση

Η θερμοκρασιακώς εξαρτώμενη επιβίωση από ωό στο τέλειο άτομο περιγράφηκε καλώς από την εξίσωση της ακραίας τιμής ( $R^2 = 0,870$ ) (Διάγραμμα 2.2.6.3), η οποία καταδεικνύει ότι η επιβίωση μειώνεται στα δύο άκρα του εύρους θερμοκρασιών. Ωστόσο, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.2.6.3, οι υψηλότερες θερμοκρασίες έχουν πιο επιζήμιες επιπτώσεις στην επιβίωση των ατελών σταδίων σε σχέση με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Συμφώνως προς τις εκτιμώμενες παραμέτρους, η υψηλότερη επιβίωση των ατελών σταδίων είναι 93.6%, η οποία εκτιμήθηκε να λαμβάνει χώρα στους 28,3 °C. Επιπλέον, συμφώνως προς την ανάλυση επιβίωσης, η θερμοκρασία επηρέασε επίσης τον κίνδυνο της θνησιμότητας και τη διάρκεια ζωής του *O. surinamensis* ( $\chi^2$  [Log rank] = 543,541, df = 4, p-value < 0,001) (Διάγραμμα 2.2.6.4). Οι εκτιμώμενοι μέσοι χρόνοι επιβίωσης του *O. surinamensis* αυξήθηκαν κατά 121,6 ημέρες από τους 20 °C στους 25 °C (Πίνακας 2.2.5.2).

### 2.2.4 Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης δηλώνουν ότι η διάρκεια ζωής των θηλέων και των αρρένων τελείων ατόμων *O. surinamensis* μειώθηκε όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε από τους 25 °C στους 35 °C. Στα έντομα όπως και σε όλα τα ποικιλόθερμα ζώα, είναι ευρέως αποδεκτό ότι το προσδόκιμο της ζωής τους μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, εξαιτίας της αύξησης του ρυθμού των βιολογικών διεργασιών με την άνοδο της θερμοκρασίας (Honěk, 1996, Paranikolaou et al., 2013). Απροσδόκητα, στους 20 °C το *O. surinamensis* παρουσίασε μειωμένη διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων σε σχέση με τους 25 °C. Τούτο αποδίδεται στην υψηλή πρώιμη θνησιμότητα των τελείων ατόμων στους 20 °C. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι θερμοκρασίες από τους 25 °C έως τους 33 °C, είναι οι επικρατούσες θερμοκρασίες στους χώρους αποθηκείωσης. Για παράδειγμα, οι Athanassiou et al. (2003) σημείωσαν ότι η μέση θερμοκρασία μιας αποθήκης οριζοντίου τύπου στην νότιο Ελλάδα, κυμάνθηκε ανάμεσα στους 25 °C και τους 33 °C από τις αρχές Αυγούστου έως τα μέσα Οκτωβρίου. Κατά την διάρκεια της παρούσης μελέτης παρατηρήθηκε

ότι το *O. surinamensis* παρουσίασε την συντομότερη διάρκεια αναπτύξεως των ατελών σταδίων του στους 32,5 °C ανάμεσα σε όλες τις άλλες εξετασθείσες θερμοκρασίες, ακολουθούμενη από τους 30 °C. Παρομοίως, οι Skourti et al. (2019) έδειξαν ότι η ανάπτυξη του *T. castaneum* από το ωό στο τέλειο άτομο είναι πολύ πιο σύντομη στους 30 °C σε σχέση με στους 20 °C ή τους 25 °C, και διήρκησε 4,3, 193,4 και 86,0 ημέρες αντιστοίχως. Οι συγγραφείς τόνισαν επίσης την σημαντικότητα της έγκαιρης ανιχνεύσεως του *T. castaneum* στο στάδιο του ωού, το οποίο παρουσιάζει τα χαμηλότερα ποσοστά επιβιώσεως προτού εμφανιστή η ανθεκτική προνύμφη ή νύμφη. Τόσο η παρούσα μελέτη όσο και η εργασία των Skourti et al. (2019), δηλώνουν ότι το λευκό μαλακό αλεύρι σίτου είναι επιρρεπές στις προσβολές δευτερευόντων εντόμων εχθρών όπως το *O. surinamensis* και το *T. castaneum*, όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ των 30 °C και των 32,5 °C.

Το *O. surinamensis* παρουσίασε την υψηλότερη γονιμότητα στους 25 °C, ενώ στις ακραίες θερμοκρασίες η γονιμότητα ήταν σε χαμηλά επίπεδα. Επομένως, αναμένεται ότι οι θερμοκρασίες γύρω στους 25 °C ότι είναι οι ιδανικές για την πληθυσμιακή ανάπτυξη του *O. surinamensis*. Οι τιμές του καθαρού αναπαραγωγικού ρυθμού στους 20 και τους 35 °C ήσαν μικρότεροι της μονάδος (1), υποδηλώνοντας ότι ο πληθυσμός του *O. surinamensis* μειώνεται. Τούτο μπορεί να ερμηνευτεί βιολογικώς, καθώς ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός των θηλέων τελείων ατόμων βασίζεται στην επιβίωση και την γονιμότητα (π.χ. Papanikolaou et al., 2014, 2019). Λαμβάνοντας υπ' όψιν την υψηλή γονιμότητα και το ποσοστό της επιβιώσεως στους 25 °C, 30 °C και 32,5 °C, αναμένεται ότι σε αυτό το εύρος θερμοκρασιών το *O. surinamensis* θα αυξήσει τον πληθυσμό του. Παρ' όλα αυτά, εξαιτίας του επιζημίου αποτελέσματος των ακραίων θερμοκρασιών στην γονιμότητα και την επιβίωση, το *O. surinamensis* δεν μπορεί να αυξήσει τον πληθυσμό του σε θερμοκρασίες κοντά στους 20 °C και τους 35 °C.

Η εκκόλαψη των προνυμφών, η ανάπτυξη των προνυμφών και των νυμφών επηρεάστηκαν δραματικώς από τις εξετασθείσες θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, απαιτήθηκε περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερη χρονική περίοδος για την ανάπτυξη του εντόμου από το ωό στο τέλειο άτομο στους 20 °C σε σύγκριση με τους 32,5 °C. Τούτο γίνεται λόγω της ικανότητας των



εντόμων να ρυθμίζουν την θερμοκρασία του σώματός τους αναλόγως των συνθηκών του περιβάλλοντος στις οποίες είναι εκτεθειμένα (Norris and Kunz, 2012). Η λειτουργικότητα των ενζύμων, τα οποία δρουν ως καταλύτες για πληθώρα βιοχημικών αντιδράσεων, διευκολύνουν την βιοενέργεια. Η δράση των ενζύμων επηρεάζεται σημαντικώς από την θερμοκρασία (Neven, 2000, Van der Have, 2008). Πάνω από το ελάχιστο θερμοκρασιακό όριο, οι βιοχημικές αντιδράσεις αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, φθάνουν ένα βέλτιστο επίπεδο και στην συνέχεια μειώνονται. Αντιστοίχως με την βιοενέργεια, ο ρυθμός αναπτύξεως των εντόμων αυξάνεται, φθάνει σε ένα μέγιστο ρυθμό και κατόπιν μειώνεται (π.χ. Zamani et al., 2007, Jalali et al., 2010, Papanikolaou et al., 2013, Skourti et al., 2019). Τούτο το γεγονός μπορεί να υποστηριχθεί περαιτέρω από το πρότυπο Briere, χρησιμοποιώντας τον ρυθμό αναπτύξεως ως εξαρτώμενο της θερμοκρασίας. Ο ρυθμός αναπτύξεως του *O. surinamensis* αυξήθηκε από τους 16,9 °C (δηλαδή το ελάχιστο θερμοκρασιακό όριο αναπτύξεως) μέχρι τους 31,3 °C, με ακόλουθη μείωση μέχρι τους 36,3 °C (δηλαδή το ανώτερο αναπτυξιακό όριο). Τα βιώσιμα θερμικά όρια, δηλαδή το εύρος της θερμοκρασίας το οποίο ευνοεί την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των εντόμων, καθορίζεται από το κατώτερο θερμοκρασιακό όριο και την θερμοκρασία στην οποία ο ρυθμός αναπτύξεως λαμβάνει την μεγαλύτερη τιμή του. Οι Dixon et al. (2009) υποστήριξαν ότι αυτό το θερμοκρασιακό όριο βρίσκεται περίπου στους 20 °C για τα έντομα, εύρημα το οποίο συμφωνεί με τα παρόντα αποτελέσματα.

Το γραμμικό πρότυπο Ikemoto and Takai χρησιμοποιήθηκε αντί για το πρότυπο των βαθμοημερών ώστε να υπολογιστεί το θερμικό άθροισμα, καθώς ικανοποιεί την υπόθεση μιας σταθερής διασποράς σε όλες τις θερμοκρασίες (Ikemoto and Takai, 2000). Σύμφωνα με την πρόβλεψη του προτύπου, το *O. surinamensis* χρειάζεται 313,3 βαθμοημέρες πέραν του θερμοκρασιακού ορίου των 16,3 °C ώστε να ολοκληρώσει την ανάπτυξη των ατελών σταδίων του. Η γνώση του θερμικού αθροίσματος είναι σημαντική για την πρόβλεψη του φαινοτύπου των κολεοπτέρων, επομένως η ανάπτυξη και η εποχική αφθονία σε συγκεκριμένα ενδιαιτήματα είναι στενώς συνδεδεμένη με τις βαθμοημέρες πέραν του κατώτερου θερμικού ορίου (Papanikolaou et al., 2013, Skourti et al., 2019).

Προηγούμενες εργασίες με αντικείμενο το *O. surinamensis* παρέχουν αντιφατικά αποτελέσματα ως προς την ανάπτυξη του συγκρίνοντας παρόμοιες αβιοτικές συνθήκες με τις εξετασθείσες. Για παράδειγμα, ο Howe (1956) βρήκε ότι ο χρόνος αναπτύξεως των προνυμφών στους 30 °C και 70% σχετική υγρασία ήταν 11,8 και 31,8 ημέρες όταν αναπτύχθηκαν σε τροφές με βάση τον σίτο και την καρύδα αντιστοίχως. Οι Jacob and Fleming (1990) μελέτησαν τρεις διαφορετικούς πληθυσμούς *O. surinamensis* σε σπασμένο σίτο, σε διάφορες θερμοκρασίες και επίπεδα σχετικής υγρασίας. Η διάρκεια της αναπτύξεως των προνυμφών των τριών μελετηθέντων πληθυσμών κυμάνθηκε από 34,6 έως 35,6 ημέρες στους 20 °C και 70% σχετική υγρασία, από 10,7 έως 11,6 ημέρες στους 30 °C και 70% σχετική υγρασία, και από 10,5 έως 11,2 ημέρες στους 35 °C και 70% σχετική υγρασία. Επιπλέον, οι Beckett and Evans (1994) ανέφεραν ότι η διάρκεια της αναπτύξεως των ατελών σταδίων των εντόμων στους 20 °C, 35 °C και 70% σχετική υγρασία ήταν 74,0 και 20,8 ημέρες αντιστοίχως όταν αναπτύχθηκαν σε σπασμένο σίτο. Τούτες οι διαφορές μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των εντόμων διαφορετικά προϊόντα. Σε πρόσφατη μελέτη, οι Nika et al. (2020) τόνισαν ότι ο τύπος του σπόρου ή/και το αμυλούχο προϊόν, είναι σημαντικά για την ανάπτυξη του *O. surinamensis*. Ωστόσο, σε κατάλληλα προϊόντα, η ικανότητα αναπτύξεως του πληθυσμού διαφορετικών εντόμων-εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων, μπορεί να είναι παρόμοια στο ίδιο επίπεδο θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό απεικονίζεται στις τιμές του καθαρού αναπαραγωγικού ρυθμού των θηλέων τελείων ατόμων, ο οποίος είναι δείκτης της πιθανής αναπτύξεως του πληθυσμού των εντόμων (Papanikolaou et al. 2019, Kavallieratos et al., 2019b, 2020, Nika et al., 2020, Skourti et al., 2020). Για παράδειγμα, οι Kavallieratos et al. (2020), Skourti et al. (2020) και Papanikolaou et al. (2019), βρήκαν ότι ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός των *T. confusum*, *T. castaneum* και *T. granarium* ήταν 7,27, 6,19 και 9,73 θήλεα/θήλυ, αντιστοίχως, που δεν διαφέρει σημαντικώς από τον καθαρό αναπαραγωγικό ρυθμό της παρούσης εργασίας (11,73 θήλεα/θήλυ) βάσει του κριτηρίου των διαστημάτων εμπιστοσύνης στο 95%.

Η παρούσα μελέτη έδειξε επίσης ότι η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικώς την επιβίωση του *O. surinamensis*. Η επιβίωση των ατελών

σταδίων ήταν χαμηλή στις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας (οι υψηλότερες θερμοκρασίες έχουν πιο καθοριστικές επιπτώσεις στην επιβίωση των ατελών σταδίων σε σχέση με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες), όπως για παράδειγμα οι θερμοκρασίες κοντά στο κατώτερο θερμοκρασιακό όριο αναπτύξεως. Τούτο απεικονίζεται καλώς από την εξίσωση της ακραίας τιμής, η οποία λαμβάνει κωδονοειδές σχήμα στο γράφημα της επιβιώσεως των ατελών σταδίων του *O. surinamensis* σε σχέση με την θερμοκρασία. Η αρνητική τιμή της παραμέτρου  $\rho$  δηλώνει ότι το *O. surinamensis* έχει περιορισμένες ικανότητες επιβιώσεως σε υψηλές θερμοκρασίες. Θεωρήθηκε δε ότι η θνησιμότητα σε αυτές τις θερμοκρασίες θα μειώσει τον αριθμό των ατόμων *O. surinamensis*. Επιπλέον, η υψηλότερη επιβίωση των ατελών σταδίων (93,6%), υπολογίστηκε ότι εμφανίζεται περίπου στους 28 °C. Η ανάλυση επιβίωσης υποδηλώνει ότι οι ακραίες θερμοκρασίες έχουν καθοριστικές επιπτώσεις σε όλο το προσδόκιμο ζωής του *O. surinamensis*. Επομένως, υποτίθεται ότι αυτές οι θερμοκρασίες είναι δυσμενείς για την ανάπτυξη του πληθυσμού και για την εξάπλωση αυτού του εντόμου.

Η έρευνα της απόκρισης των εντόμων στην θερμοκρασία είναι σημαντική για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους καθώς παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τον ακριβή χρόνο των επεμβάσεων (Skourti et al., 2019). Η παρούσα μελέτη παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες πώς τα χαρακτηριστικά της ιστορίας της ζωής του *O. surinamensis* επηρεάζονται από την θερμοκρασία, εύρημα το οποίο θα μπορούσε να συμπεριληφθεί σε πρότυπα βασισμένα στην θερμοκρασία για την πρόβλεψη της δυναμικής πληθυσμού των εντόμων (Gutierrez et al., 2006). Θεωρείται γενικώς ότι η πιθανότητα της εγκαταστάσεως των εντόμων σε μια συγκεκριμένη περιοχή σχετίζεται στενά με περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες έχουν προσαρμοστεί (Papanikolaou et al., 2013, 2019, Skourti et al., 2019). Επιπλέον μελέτες είναι αναγκαίες για την διερεύνηση της βιολογίας του *O. surinamensis* συμπεριλαμβανομένων διαφορετικών πληθυσμών προερχόμενοι από ευρύ γεωγραφικό φάσμα. Από πρακτικής απόψεως, η εις βάθος έρευνα της ζωής του *O. surinamensis* μπορεί να ρίξει φως στην πραγματική παγκόσμια εξάπλωση του εντόμου, προκαλώντας ακριβείς επεμβάσεις αντιμετώπισεώς του.

## 2.2.5 Πίνακες

Πίνακας 2.2.5.1

Διάρκεια αναπτύξεως των ατελών σταδίων, διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων σε ημέρες (μέσος όρος  $\pm$  SE, διάμεσος) και γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων (ωά/θήλυ) του *O. surinamensis* υπό διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίες. Οι αριθμοί στις παρενθέσεις αντιστοιχούν στον αριθμό των δειγμάτων. Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα, δεν διαφέρουν στατιστικώς. Μη παραμετρική ANOVA Kruskal-Wallis, δοκιμή Dunn σε  $P = 0,05$ .

Θερμοκρασία	Ωό	Προνύμφη	Νύμφη	Συνολική περίοδος αναπτύξεως των ατελών σταδίων	Θήλυ	Άρρεν	Γονιμότητα
20 °C	13,58 $\pm$ 0,06	54,92 $\pm$ 0,82	17,18 $\pm$ 0,13	84,97 $\pm$ 0,82	57,55 $\pm$ 11,62	66,08 $\pm$ 15,24	1,09 $\pm$ 0,60
	14,0 <sup>a</sup>	53,0 <sup>a</sup>	17,0 <sup>a</sup>	84,0 <sup>a</sup>	21,0 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>
	(104)	(74)	(71)	(71)	(33)	(38)	(33)
25 °C	6,05 $\pm$ 0,02	19,59 $\pm$ 0,22	8,52 $\pm$ 0,05	34,14 $\pm$ 0,23	221,67 $\pm$ 12,39	222,50 $\pm$ 13,45	64,82 $\pm$ 5,67
	6,0 <sup>b</sup>	19,0 <sup>b</sup>	9,0 <sup>b</sup>	34,0 <sup>b</sup>	228,0 <sup>b</sup>	238,5 <sup>b</sup>	66,5 <sup>b</sup>
	(126)	(118)	(118)	(118)	(54)	(64)	(54)

30 °C	3,87 ± 0,03	14,73 ± 0,16	5,55 ± 0,05	24,15 ± 0,16	119,93 ± 7,87	110,92 ± 7,45	25,14 ± 3,65
	4,0 <sup>c</sup>	14,0 <sup>c</sup>	6,0 <sup>c</sup>	24,0 <sup>c</sup>	99,0 <sup>c</sup>	97,0 <sup>c</sup>	13,0 <sup>cd</sup>
	(134)	(121)	(121)	(121)	(73)	(48)	(73)
32,5 °C	3,14 ± 0,03	14,45 ± 0,16	4,55 ± 0,05	22,16 ± 0,17	49,37 ± 2,27	43,32 ± 2,36	27,50 ± 3,22
	3,0 <sup>d</sup>	14,0 <sup>d</sup>	5,0 <sup>d</sup>	22,0 <sup>d</sup>	53,5 <sup>a</sup>	47,5 <sup>a</sup>	25,5 <sup>c</sup>
	(141)	(117)	(114)	(114)	(52)	(62)	(52)
35 °C	3,26 ± 0,06	29,21 ± 1,27	4,48 ± 0,11	36,14 ± 1,16	46,33 ± 7,92	32,44 ± 8,53	2,67 ± 1,74
	3,0 <sup>d</sup>	27,0 <sup>abd</sup>	4,0 <sup>d</sup>	36,0 <sup>b</sup>	48,0 <sup>a</sup>	33,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>ad</sup>
	(97)	(29)	(21)	(21)	(12)	(9)	(12)
<i>H</i>	531,226	367,898	399,214	384,082	130,117	13,497	83,981
<i>df</i>	4	4	4	4	4	4	4
<i>P</i>	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001

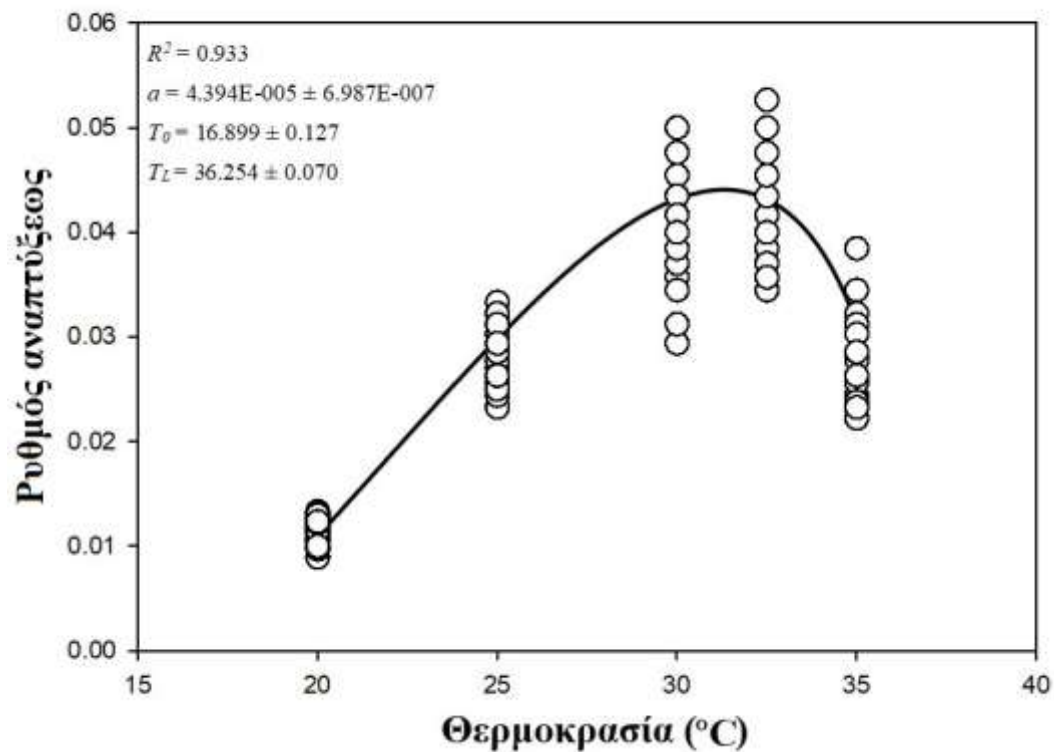
---

### Πίνακας 2.2.5.2

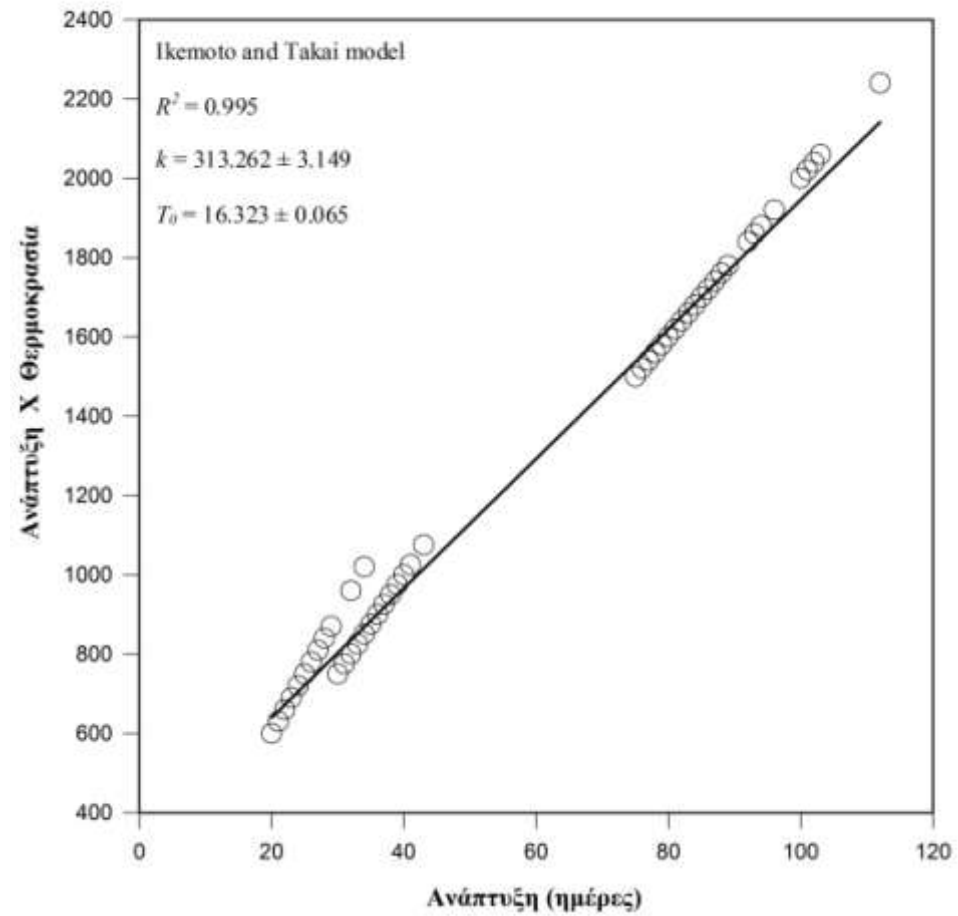
Χρόνος επιβιώσεως σε ημέρες (μέσος όρος, 95% διάστημα εμπιστοσύνης) και καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός του *O. surinamensis* υπό διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίες. Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα, δεν διαφέρουν στατιστικώς.

Θερμοκρασία	Χρόνος επιβιώσεως	95% διάστημα εμπιστοσύνης	Καθαρός αναπαραγωγικό ρυθμός (θήλεα/θήλυ)	95% διάστημα εμπιστοσύνης
20 °C	83,0 <sup>a</sup>	69,6 – 96,5	0,26	0,04 – 0,52
25 °C	204,6 <sup>b</sup>	183,1 – 226,1	20,10	15,87 – 24,51
30 °C	115,4 <sup>c</sup>	103,1 – 127,7	11,73	8,41 – 15,35
32,5 °C	55,1 <sup>d</sup>	50,3 – 59,9	8,97	6,94 – 11,16
35 °C	18,9 <sup>e</sup>	14,5 – 23,3	0,21	0,01 – 0,53

## 2.2.6 Διαγράμματα

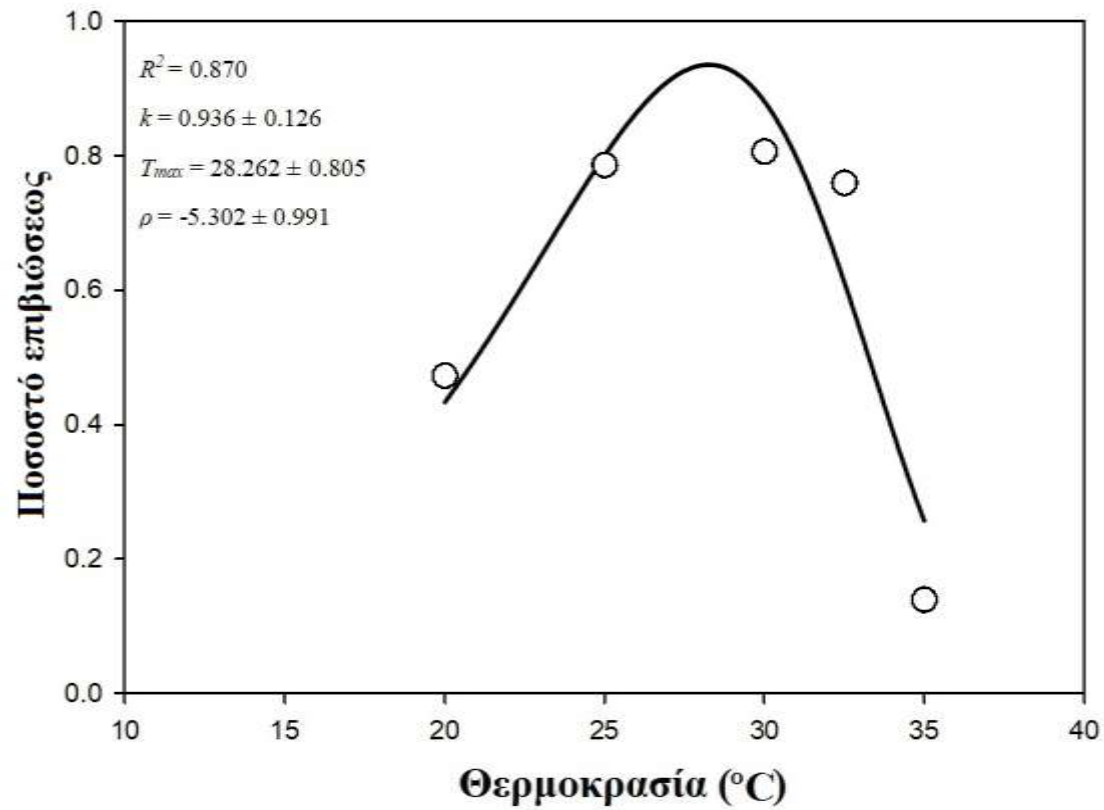


**Διάγραμμα 2.2.6.1** Προσαρμογή του προτύπου Briere στα παρατηρηθέντα δεδομένα της συνολικής αναπτύξεως των ατελών σταδίων του *Oryzaephilus surinamensis*.

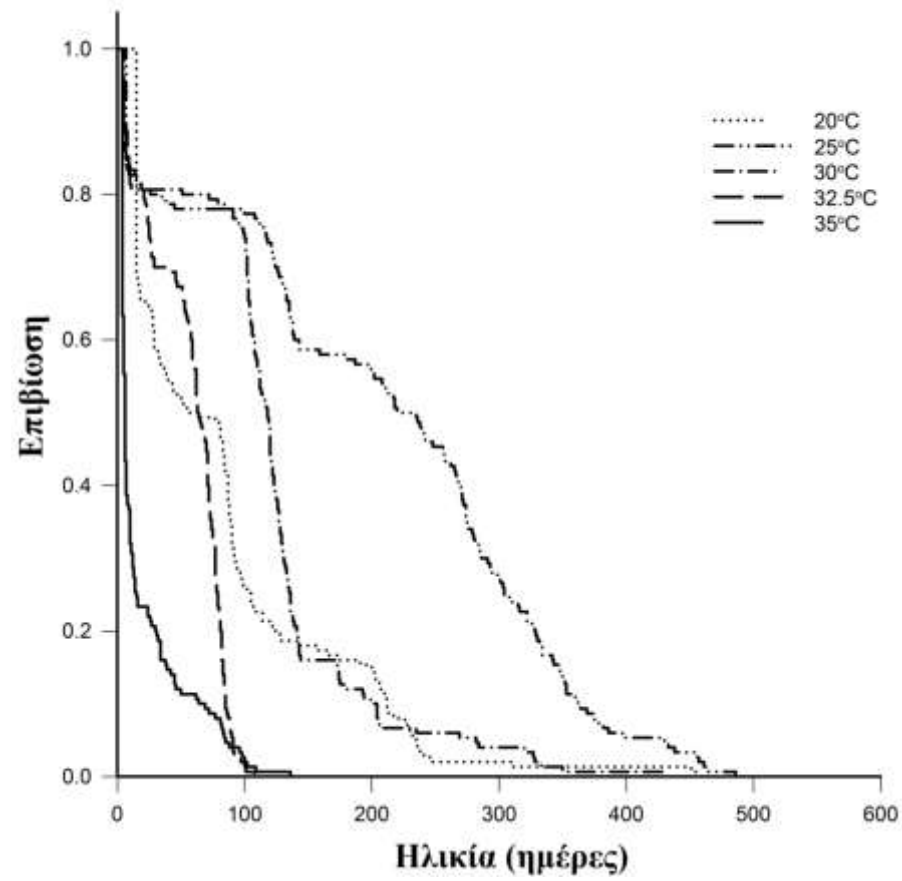


**Διάγραμμα 2.2.6.2** Προσαρμογή του προτύπου Ikemoto and Takai στα παρατηρηθέντα δεδομένα της συνολικής αναπτύξεως των ατελών σταδίων του *Oryzaephilus surinamensis*.





**Διάγραμμα 2.2.6.3** Πρότυπο του ποσοστού επιβίωσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία για το σύνολο της περιόδου της αναπτύξεως των ατελών σταδίων του *Oryzaephilus surinamensis*.



Διάγραμμα 2.2.6.4 Καμπύλες επιβίωσης του *Oryzaephilus surinamensis* υπό σταθερές θερμοκρασίες.

## 2.2.7 Βιβλιογραφία

- Astuti, L. P., Mario, M. B., & Widjayanti, T. (2018). Preference, growth and development of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on red, white and black rice in whole grain and flour form. *Journal of Entomological Research*, 42, 461–468.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Palyvos, N. E., & Buchelos, C. Th. (2003). Evaluation of a multisurface trap for the capture of *Ephestia kuehniella* in stored wheat. *Phytoparasitica*, 31, 39–50.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Palyvos, N. E., Sciarretta, A., & Trematerra, P. (2005). Spatiotemporal distribution of insects and mites in horizontally stored wheat. *Journal of Economic Entomology*, 98, 1058–1069
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., & Boukouvala, M. C. (2016). Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on different commodities. *Journal of Stored Products Research*, 69, 72–77.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Boukouvala, M. C., & Nika, E. P. (2017). Influence of commodity on the population growth of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Stored Products Research*, 73, 129–134.
- Aulicky, R., Kolar, V., Plachy, J., & Stejskal, V. (2017). Field efficacy of brief exposure of adults of six storage pests to nitrogen-controlled atmospheres. *Plant Protection Science*, 53, 169–176.
- Bell, R. J., & Watters, F. L. (1982). Environmental factors influencing the development and rate of increase of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) on stored maize. *Journal of Stored Products Research*, 18, 131–142.
- Beckett, S. J., & Evans, D. E. (1994). The demography of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on kibbled wheat. *Journal of Stored Products Research*, 30, 121–137.

- Beckett, S. J., Evans, D. E., & Morton, R. (1996). A comparison of the demographics of pesticide susceptible and resistant strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on kibbled wheat. *Journal of Stored Products Research*, 32, 141–151.
- Bousquet, Y. (1990). Beetles associated with stored products in Canada: an identification guide. Canadian Government Publishing Centre, Ottawa.
- Briere, J. F., Pracros, P., Le Roux, A. Y., & Pierre, J. S. (1999). A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environmental Entomology*, 28, 22–29.
- CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International). (2019). *Oryzaephilus surinamensis* (saw toothed grain beetle). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/37988>. Accessed on 26 March 2020.
- Campbell, A., Frazer, B., Gilbert, N., Gutierrez, A., & Mackauer, M. (1974). Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology*, 11, 431–438.
- Carey, J. R. (1993). Applied demography for biologists with special emphasis on insects. Oxford University Press, New York, NY.
- Davis, G. R. F. (1966). Survival and development of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on wheat-flour diets and o casein diets supplemented with biotin and ascorbic acid. *The Canadian Entomologist*, 98, 263–267.
- Dixon, A. F. G., Honěk, A., Keil, P., Kotela, M. A. A., Šizling, A. L., & Jarošík, V. (2009). Relationship between the minimum and maximum temperature thresholds for development in insects. *Functional Ecology*, 23, 257–264.
- Driscoll, R., Longstaff, B. C., & Beckett, S. (2000). Prediction of insect populations in grain storage. *Journal of Stored Products Research*, 36, 131–151.

- Dupont, F. M., & Altenbach, S. B. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*, 38, 133–146.
- EC (European Commission). (2020). Cereal statistics. Statistics on weekly, monthly and world cereal prices, EU production and trade. Production. EU cereals production, area and yield - detailed. [https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/facts-and-figures/markets/overviews/market-observatories/crops/cereals-statistics\\_en#production](https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/facts-and-figures/markets/overviews/market-observatories/crops/cereals-statistics_en#production). Accessed on 26 March 2020.
- Finnie, S., & Atwell, W. A. (2016): *Wheat flour*, 2nd edn. AACC international, St. Paul, MN.
- Gutierrez, A. P., D'Oultremont, T. D., Ellis, C. K., & Ponti, L. (2006). Climatic limits of pink bollworm in Arizona and California: effects of climate warming. *Acta Oecologica*, 30, 353–364.
- Hagstrum, D. W., & Subramanyam, B. (2009): *Stored-product insect resource*. AACC International, St. Paul, MN.
- Hill, D. S. (2003): *Pests of storage foodstuffs and their control*. Kluwer Academic Publishers, New York, NY.
- Honěk, A. (1996). Life history and development. In I. Hodek, & A. Honěk (Eds.), *Ecology of Coccinellidae* (pp. 61–93). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Howe, R. W. (1956). The biology of the two common storage species of *Oryzaephilus* (Coleoptera: Cucujidae). *Annals of Applied Biology*, 44, 341–355.
- Ikemoto, T., & Takai, K. (2000). A new linearized formula for the low of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology* 29, 671–682.

- Jacob, T. A., & Fleming D. A. (1990). The effect of humidity on the development and survival of the immature stages of strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) at constant temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 26, 163–167.
- Jakubas Zawalska, J., Asmana, M., Kłys, M., & Solarz, K. (2016). Prevalence of sensitization to extracts from particular life stages of the saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in citizens of selected suburban areas of southern Poland. *Journal of Stored Products Research*, 69, 252–256.
- Jalali, M. A., Tirry, L., Arbab, A., & De Clercq, P. (2010). Temperature-dependent development of the two-spotted ladybeetle, *Adalia bipunctata*, on the green peach aphid, *Myzus persicae*, and a factitious food under constant temperatures. *Journal of Insect Science*, 10, 124.
- Jaramillo, J., Chabi Olaye, A., Kamonjo, C., Jaramillo, A., Vega, F. E., Poehling, H. M., & Borgemeister, C. (2009). Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *Plos One*, 4, e6478.
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Guedes, R. N. C., Drempela, J. D., & Boukouvala, M. C. (2017). Invader competition with local competitors: displacement or co-existence among the invasive khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae), and two other major stored-grain beetles? *Frontiers in Plant Science*, 8, 1837.
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Boukouvala, M. C., & Tsekos, G. T. (2019a). Influence of different non-grain commodities on the population growth of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Stored Products Research*, 81, 31–39.
- Kavallieratos, N. G., Karagianni E. S., & Papanikolaou N. E. (2019b). Life history of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on peeled barley, peeled oats and triticale. *Journal of Stored Products Research*, 84, 101515.

- Kavallieratos, N. G., Andrić, G., Pražić Golić, M., Nika, E. P., Skourti, A., Kljajić, P., & Papanikolaou, N. E. (2020). Biological features and population growth of two Southeastern European *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) strains. *Insects*, 11, 218.
- Kim, D. S., & Lee, J. H. (2003). Oviposition model of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). *Ecological Modeling*, 162, 145–153.
- Kumar, R. (2017): Insect pests of stored grain. Biology, behavior, and management strategies. Apple Academic Press, Waretown.
- LeCato, G. L., & McCray, T. L. (1973). Multiplication of *Oryzaephilus* spp. and *Tribolium* spp. on 20 natural product diets. *Environmental Entomology*, 2, 176–179.
- Mahroof, R. M., & Hagstrum, D. W. (2012). Biology, behavior, and ecology of insects in processed commodities. In D. W. Hagstrum, T. W. Phillips, & G. Cuperus (Eds.), *Stored product protection* (pp. 33–41). Kansas State University, Manhattan, KS.
- Moore, J. L., & Remais, J. V. (2014). Developmental models for estimating ecological responses to environmental variability: structural, parametric, and experimental issues. *Acta Biotheoretica*, 62, 69–90.
- Nika, E. P., Kavallieratos, N. G., & Papanikolaou, N. E. (2020). Developmental and reproductive biology of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on seven commodities. *Journal of Stored Products Research*, 87, 101612.
- Norris, A. M., & Kunz, T. H. (2012). Effects of solar radiation on animal thermoregulation. In E. B. Babatunde, (Ed.), *Solar radiation* (pp. 195–220). InTech, Rijeka.
- Neven, L. G. (2000). Physiological responses of insects to heat. *Postharvest Biology and Technology*, 21, 103–111.
- Papanikolaou, N. E., Milonas, P. G., Kontodimas, D. C., Demiris, N., & Matsinos, Y. G. (2013). Temperature-dependent development, survival,

- longevity and fecundity of the aphidophagous ladybird beetle, *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Annals Entomological Society of America*, 106, 228–234.
- Papanikolaou, N. E., Milonas, P. G., Kontodimas, D. C., Demiris, N., and Matsinos, Y. G. (2014). Life table analysis of *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) at constant temperatures. *Annals Entomological Society of America*, 107, 158–162.
- Papanikolaou, N. E., Kavallieratos, N. G., Boukouvala, M. C., & Malesios, C. (2018). Do temperature, relative humidity and interspecific competition alter the population size and the damage potential of stored-product insect pests? A hierarchical multilevel modeling approach. *Journal of Thermal Biology*, 78, 415–422.
- Papanikolaou, N. E., Kavallieratos, N. G., Kondakis, M., Boukouvala, M. C., Nika, E. P., & Demiris, N. (2019). Elucidating fitness components of the invasive dermestid beetle *Trogoderma granarium* combining deterministic and stochastic demography. *Plos One*, 14, e0212182.
- Posner, E. S., & Hibbs, A. N. (2011). *Wheat flour milling*. AACC International, St. Paul, MN.
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org/index.html>. Accessed on 02 March 2020
- Rebaudo, F., Struelens, Q. & Dangles, O. (2018). Modelling temperature-dependent development rate and phenology in arthropods: the DEVRATE package for R. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 1144–1150.
- Rees, D. (2004). *Insects of stored products*. Manson Publishing, London.
- Skourti, A., Kavallieratos, N. G., & Papanikolaou, N. E. (2019). Laboratory evaluation of development and survival of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) under constant temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 83, 305–310.



- Skourti, A., Kavallieratos, N. G., & Papanikolaou, N. E. (2020). Suitability of semolina, cracked wheat and cracked maize as feeding commodities for *Tribolium castaneum* (Herbst, Coleoptera: Tenebrionidae). *Insects*, 11, 99.
- Son, Y., & Lewis, E. E. (2005). Modeling temperature-dependent development and survival of *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 7, 201–209.
- Systat Software (2017). SigmaPlot for windows, version 14.0. Systat Software, Chicago, IL.
- Thomas, M. B., & Blanford, S. (2003). Thermal biology in insect-parasite interactions. *Trends in Ecology & Evolution*, 18, 344–350.
- USW (U.S. Wheat Associates). (2019). 2019 Crop Quality Report. U.S. Wheat Associates, Arlington, VA. <https://www.uswheat.org/wp-content/uploads/2019/10/2019-USW-Crop-Quality-Report-English.pdf>. Accessed on 26 March 2020.
- Vendl, T., Stejskal, V., & Aulicky, R. (2019). Comparative tarsal morphology of two secondary stored product beetle pests, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) and *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens), that vary in their climbing ability on smooth surfaces. *Journal of Stored Products Research*, 82, 116–122.
- Van der Have, T. M. (2008) Slaves to the eyring equation? Temperature dependence of life-history characters in developing ectotherms. Ph.D. Thesis. Wageningen University and Research, Wageningen.
- Wojda, I. (2017). Temperature stress and insect immunity. *Journal of Thermal Biology*, 68, 96–103.
- Zamani, A. A., Talebi, A. A., Fathipour, Y., & Baniameri, V. (2007). Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae) parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 36, 263–271.

Zeki, E., Papanikolaou, N. E., Demiris, N., & Kontodimas, D. C. (2015). Comparison of the demographic parameters and survival of two phenotypes of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 112, 193–196.

## **2.3 Αλληλεπιδράσεις του *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) με δύο είδη εντόμων αποθηκών υπό ποικίλες αβιοτικές συνθήκες**

### **2.3.1 Εισαγωγή**

Οι αποθηκευτικές μονάδες φιλοξενούν μεγάλη ποικιλία από οργανισμούς οι οποίοι χρησιμοποιούν τον ίδιο χώρο και προσβάλλουν τα ίδια προϊόντα ταυτοχρόνως (White, 1995, Arbogast and Throne, 1997, Athanassiou et al., 2003, 2005, 2011). Έχουν καταγραφεί πολλά και διαφορετικά είδη εντόμων να συνυπάρχουν εντός διαφόρων τύπων αποθηκευτικών χώρων όπως σιλό, χώροι επεξεργασίας τροφίμων ή καταστήματα λιανικής ειδών για ζώα (Arbogast and Throne, 1997, Athanassiou et al., 2003, 2005, 2011, Nansen et al., 2004, Semeao et al., 2013, Arthur et al., 2014). Τα περισσότερα έντομα ανήκουν στις τάξεις των Coleoptera, Lepidoptera και Psocoptera, σε οικογένειες όπως οι Bostrychidae, Cucujidae, Curculionidae, Dermestidae, Liposcelididae, Pyralidae, Silvanidae, Tenebrionidae (Arbogast and Throne, 1997, Athanassiou et al., 2003, 2005, 2011), και τα περισσότερα ακάρεα ανήκουν στις τάξεις Astigmata, Cryptostigmata, Prostigmata και Mesostigmata (Athanassiou et al., 2003, 2005, 2011).

Ένα από τα σημαντικά είδη εντόμων αποθηκών είναι το οδοντωτό σκαθάρι των σπόρων, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae). Πρόκειται για κοσμοπολιτικό δευτερεύοντα εχθρό των αποθηκευμένων τροφίμων (Rees, 2004, Robinson, 2005, Hagstrum and Subramanyam, 2009). Απαντάται στα δημητριακά, τα προϊόντα των δημητριακών και τους ελαιούχους σπόρους (Rees, 2004, Robinson, 2005). Οι προνύμφες τρέφονται με το φύτρο των ακεραίων σπόρων τροποποιώντας την θρεπτική αξία τους και μειώνοντας την ικανότητά του να φυτρώσουν (CABI, 2019). Λόγω του μικρού και του πεπλατυσμένου μεγέθους του εντόμου και της ικανότητάς του να κινείται καθέτως (Vendl et al., 2019), μπορεί να εισέρχεται στα συσκευασμένα προϊόντα με ευκολία (Hagstrum and Subramanyam, 2008). Το *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera:

Tenebrionidae) είναι δευτερεύον εχθρός των αποθηκευμένων τροφίμων ο οποίος συναντάται συνήθως στους αλευρομύλους και τις αποθήκες. Είναι ένας από τους πιο συνήθεις εχθρούς των αλεύρων και των δημητριακών παγκοσμίως (Rees, 2004, Robinson, 2005). Έχει πολύ σύντομη περίοδο αναπύξεως σε βέλτιστες συνθήκες (Rees, 2004, Robinson, 2005). Επίσης, το *T. confusum* επιμολύνει τα προϊόντα με αμυντικά εκκρίματα, κάποια από τα οποία ονομάζονται κινόνες και η παρουσία τους συνδέεται με τον κνησμό και τις δερματικές οχλήσεις (Krinsky, 2019). Το *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) είναι πρωτεύων εχθρός των αποθηκευμένων τροφίμων ο οποίος συναντάται κυρίως στην Αφρική, την Κεντρική και την Νότιο Αμερική, ενώ βρίσκεται λιγότερο στην Βόρειο Αμερική (Rees, 2004). Πρόκειται για σημαντικό έντομο καραντίνας στην Αφρική, σε αντίθεση με την Αμερική όπου θεωρείται έντομο-εχθρός μικρότερης σημασίας (Hill, 2003, Myers and Hagstrum, 2012). Το *P. truncatus* προσβάλλει τον αραβόσιτο και τις αποξηραμένες ρίζες κασάβας πριν την συγκομιδή τους και κατά την διάρκεια της αποθηκεύσεώς τους (Kumar, 2017). Η δράση του εντόμου δημιουργεί κενούς σπόρους και σκόνη, η οποία αποτελεί την κύρια τροφή των προνυμφών του (Hill, 2003).

Η συνύπαρξη των οργανισμών δημιουργεί αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα άτομα του ίδιου ή/και διαφορετικού είδους, οι οποίες επηρεάζονται από αβιοτικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, το προϊόν το οποίο προσβάλλουν και η επάρκεια της ποσότητας του προϊόντος (Athanassiou et al., 2017, Bolívar Silva et al., 2018, Papanikolaou et al., 2018). Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία μπορούν να αυξήσουν ή να μειώσουν τον πληθυσμό των εντόμων και την ικανότητά τους να προκαλέσουν ζημιά στα προϊόντα (Papanikolaou et al., 2018). Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 5 °C ήταν ικανή να διπλασιάσει τον αριθμό των τελείων ατόμων *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) όταν ευρέθησαν με άτομα *P. truncatus* (Sakka and Athanassiou, 2018) ενώ η αύξηση της σχετικής υγρασίας κατά 20% ήταν ικανή να αυξήσει το ποσοστό των κατεστραμμένων σπόρων από το 2,3% στο 3,75% κατά προσέγγιση (Papanikolaou et al., 2018). Το *R. dominica* ήταν υπεράριθμο σε σχέση με το *P. truncatus* και το *Dinoderus porcellus* Lesne (Coleoptera: Bostrychidae)

στον σίτο στους 25 °C και τους 30 °C σε αντίθεση με τον αραβόσιτο (Sakka and Athanassiou, 2018). Κάποια προϊόντα δεν ευνοούν την ανάπτυξη ενός είδους εντόμου όπως για παράδειγμα το σιμιγδάλι ή ο σπασμένος σίτος για το *O. surinamensis* (Nika et al., 2020) ή η σπασμένη λευκή όρυζα για το *T. confusum* (Kavallieratos et al., 2020). Η επάρκεια της τροφής ή η έλλειψή της μπορεί να αλλάξει την συμπεριφορά των εντόμων (Bolívar Silva et al., 2018) με αποτέλεσμα να τα οδηγήσει στον ανταγωνισμό ή τον κανιβαλισμό (Guedes et al., 2010). Οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους ζώντες οργανισμούς μπορεί να είναι θετικές, αρνητικές ή ουδέτερες (Nansen et al., 2009). Για παράδειγμα, η παρουσία του *R. dominica* επέδρασε θετικώς στην πληθυσμιακή πυκνότητα του *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Αντιθέτως, η αύξηση του πληθυσμού του *R. dominica* δεν είχε επίδραση στον πληθυσμό του *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae) ενώ η παρουσία του *C. ferrugineus* επέδρασε αρνητικώς στους πληθυσμούς των δύο προαναφερθέντων ειδών, μειώνοντας τους πληθυσμούς τους (Nansen et al., 2009).

Σε πρόσφατες μελέτες, οι Athanassiou et al. (2014) έδειξαν ότι το *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (Psocoptera: Liposcelididae) κυριάρχησε επί του *Liposcelis decolor* (Pearman) (Psocoptera: Liposcelididae) και του *Liposcelis paeta* (Pearman) (Psocoptera: Liposcelididae) στους 25 °C και τους 30 °C μετά από 35, 70, 105, 140 και 175 ημέρες, ακόμα και όταν η αναλογία των ατόμων των εξετασθέντων ειδών άλλαξε. Το *L. decolor* κυριάρχησε επί του *L. paeta* στους 25 °C αλλά όχι στους 30 °C, τονίζοντας την σημαντικότητα της θερμοκρασία στις δια-ειδικές αλληλεπιδράσεις. Αργότερα, οι Athanassiou et al. (2017) μελέτησαν τον ανταγωνισμό τριών ειδών του γένους *Sitophilus*. Πιο συγκεκριμένα, μελέτησαν το *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), το *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) και το *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) και διεπίστωσαν ότι η παραγωγή των απογόνων όλων των υπό μελέτη ειδών δεν εξαρτήθηκε από την ύπαρξη των άλλων ειδών. Επιπλέον, η παραγωγή των απογόνων των *S. oryzae* και *S. zeamais* αυξήθηκε όταν ο αρχικός αριθμός των τελείων εντόμων αυξήθηκε. Το *S. oryzae* ήταν το κυρίαρχο είδος σε όλους τους εξετασθέντες συνδυασμούς και η παρουσία του αύξησε τον

αριθμό των κατεστραμμένων σπόρων στο ρύζι. Οι Kavallieratos et al. (2017) έδειξαν ότι η συνύπαρξη των *R. dominica* και *S. oryzae* ευνόησε την αύξηση του πληθυσμού του *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). Παρά το γεγονός ότι στους 25 °C ο πληθυσμός των τελείων *T. granarium* ήταν χαμηλότερος από τα άλλα είδη, οι προνύμφες *T. granarium* αυξήθηκαν σημαντικώς από τους 30 °C στους 35 °C. Ο Nietupski (2020) μελέτησε τον ανταγωνισμό ανάμεσα στα *S. granarius* και *R. dominica* και βρήκε ότι το *R. dominica* είχε μεγαλύτερη παραγωγή απογόνων από το *S. granarius*. Οι συνθήκες της αναπτύξεως ευνόησαν το *R. dominica* όταν τα δύο είδη συνυπήρχαν. Η μικροβιακή πανίδα μπορεί να τροποποιηθεί από την παρουσία των εντόμων. Κάποια είδη μπορούν να δημιουργήσουν ωφελίμους μικροβιοτόπους για την ανάπτυξη μυκήτων. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ανάπτυξη μυκήτων από τον συνδυασμό των *P. truncatus* και *S. zeamais* σε σχέση με την κατά μόνας ανάπτυξή τους (Quellhorst et al., 2020).

Ωστόσο η γνώση των αλληλεπιδράσεων του *O. surinamensis* με άλλα είδη-εχθρούς των αποθηκευμένων προϊόντων είναι περιορισμένη. Για παράδειγμα, σε μία ιστορική εργασία ο Crombie (1946) αξιολόγησε τον ανταγωνισμό των εντόμων *T. confusum*, *O. surinamensis* και *R. dominica*, υπό διαφορετικές πληθυσμιακές πυκνότητες, προϊόντα και συνδυασμούς ειδών. Ο συγγραφέας βρήκε ότι το *T. confusum* ήταν υπεράριθμο σε σχέση με το *O. surinamensis* σε όλες τις εξετασθείσες βιοδοκιμές ενώ όταν τα τρία είδη εξετάστηκαν στην ίδια πυκνότητα, οι πληθυσμοί των *T. confusum* και *O. surinamensis* παρέμειναν στα ίδια επίπεδα. Επιπλέον, ο LeCato (1975) έδειξε ότι το *T. castaneum* κυριάρχησε επί των πληθυσμών του *O. surinamensis*, του *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) και του *Cryptolestes pusillus* (Schönherr) (Coleoptera: Laemophloeidae) σε σπασμένο και σε ακέραιο αραβόσιτο. Η παρουσία του *O. surinamensis* μείωσε τον πληθυσμό του *P. interpunctella* ενώ ο συνδυασμός των *O. surinamensis* και *T. castaneum* είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη απώλεια βάρους των ακεραίων σπόρων αραβοσίτου.

Επί του παρόντος δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις του *O. surinamensis* με τα *T. confusum* και *P. truncatus* στον αραβόσιτο υπό την επίδραση διαφορετικών αβιοτικών συνθηκών. Επομένως,

στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα παλινδρομήσεως Gaussian και Poisson και συγκρίθηκε η συνολική επάρκειά τους χρησιμοποιώντας κατάλληλα στατιστικά κριτήρια καλής προσαρμογής ώστε να εξετασθούν οι σχέσεις ανάμεσα στις δύο μεταβλητές απόκρισης (αριθμός ζώντων εντόμων στο πέρας της κάθε πειραματικής περιόδου και την πιθανή ζημιά σχετικά με τους κατεστραμμένους σπόρους) και τις επεξηγηματικές μεταβλητές. Επιπλέον, έγινε η χρήση του προτύπου παλινδρομήσεως Gaussian προκειμένου να εκτιμηθεί η παραγωγή της σκόνης. Συγκεκριμένως, εξετάστηκε η επίδραση της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της εκθέσεως με τις σχέσεις των *O. surinamensis* με τα *T. confusum* και *P. truncatus* στις τρεις προαναφερθείσες μεταβλητές. Πιο συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί του *O. surinamensis* με τα *T. confusum* και *P. truncatus* και η κατά μόνας τοποθέτησή τους. Ωστόσο, η μη εξηγούμενη από τις μεταβλητές διακύμανση των δεδομένων λόγω των συνδυασμών οι οποίοι δεν εξετάστηκαν (δηλαδή των συνδυασμών χωρίς το *O. surinamensis*), έχουν ληφθεί υπ' όψιν στο τυχαίο σφάλμα των προσαρμοσμένων προτύπων παλινδρομήσεως.

## **2.3.2 Υλικά και Μέθοδοι**

### **2.3.2.1 Έντομα**

Η εκτροφή του *O. surinamensis* έγινε σε ένα μίγμα από νιφάδες βρώμης, σπασμένο σίτο και ζύμη σε σκόνη σε αναλογία 5: 5: 1 (Εικ. 3-12). Το είδος αποκτήθηκε το έτος 2017 από το Crop Research Institute (Πράγα, Τσεχία) το οποίο είχε συλλεχθεί από την τοπική πανίδα της Τσεχίας (Aulicky et al., 2017). Το *P. truncatus* και το *T. confusum* διατηρήθηκαν σε ακέραιο αραβόσιτο και αλεύρι σίτου με 5% ζύμη σε σκόνη αντιστοίχως από το 2003 (Εικ. 40-43). Όλοι οι πληθυσμοί των εξετασθέντων ειδών εντόμων είναι εργαστηριακοί, μη ανθεκτικοί σε εντομοκτόνα και διατηρούνται στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, στους 30 °C, 65% σχετική υγρασία υπό συνεχές σκότος (Εικ. 1, 2). Τα τέλεια άτομα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την

διεξαγωγή των πειραμάτων ήσαν τυχαία θήλεα και άρρενα άτομα, ηλικίας < 2 εβδομάδων.

### 2.3.2.2 Προϊόντα

Χρησιμοποιήθηκαν ακέραιοι σπόροι αραβοσίτου, *Zea mays* L. (Poales: Poaceae), (ποικιλία Dias) για τον πειραματισμό οι οποίοι δεν ήσαν προσβεβλημένοι από εχθρούς ούτε είχαν υποστεί εντομοκτόνες επεμβάσεις. Η περιεκτικότητα των σπόρων σε υγρασία ρυθμίστηκε στο 13,5% και μετρήθηκε με υγρασιόμετρο (mini GAC plus, Dickey-John Europe S.A.S., Colombes, France) πριν από την έναρξη των βιοδοκιμών. Η ρύθμιση έγινε με την θέρμανση των σπόρων αραβοσίτου σε έναν κλίβανο στους 50 °C (Εικ. 22, 23, 35, 36) (Papanikolaou et al., 2018).

### 2.3.2.3 Βιοδοκιμές

Ετοιμάστηκαν έξι ομάδες εντόμων για τις βιοδοκιμές: το *O. surinamensis* με το *T. confusum* και το *P. truncatus* (1), το *O. surinamensis* με το *T. confusum* (2), το *O. surinamensis* με το *P. truncatus* (3), το *O. Surinamensis* κατά μόνας (4), το *T. confusum* κατά μόνας (5), και το *P. truncatus* κατά μόνας (6). Ο αριθμός των ατόμων του κάθε είδους εντόμων ήταν ίδιος σε κάθε φιαλίδιο, δηλαδή 10 άτομα, ανεξαρτήτως συνδυασμού. Οι βιοδοκιμές διεξήχθησαν σε γυάλινα φιαλίδια (7cm διάμετρος και 12cm ύψος) (Εικ. 25, 27). Στο καθ' ένα από αυτά τοποθετήθηκαν 50 g ακεραίου αραβοσίτου τα οποία ζυγίστηκαν σε ηλεκτρονική ζυγαριά (Precisa XB3200D compact balance, Alpha Analytical Instruments, Gerakas, Greece) (Εικ. 24). Το άνω εσωτερικό τοίχος των φιαλιδίων επικαλύφθηκε με μια λεπτή στρώση από polytetrafluoroethylen (60 wt% διασπορά σε ύδωρ) (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Germany), προκειμένου να αποτρέψει την διαφυγή των εντόμων (Εικ. 13, 28). Το καπάκι του κάθε φιαλιδίου είχε μια κυκλική οπή (1,5cm διαμέτρου) στο κέντρο, κεκαλυμμένη με γάζα ώστε να αερίζεται επαρκώς το εσωτερικό του (Εικ. 29). Για κάθε ομάδα εντόμων ετοιμάστηκαν 9 φιαλίδια (3 επαναλήψεις x 3 υποεπαναλήψεις) (Εικ. 30, 31). Κατόπιν, τα



φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών ρυθμισμένο στους 25 °C και 55% σχετική υγρασία (Εικ. 32, 33, 34). Μετά το πέρας 65 ημερών, τα φιαλίδια ανοίχθηκαν και καταμετρήθηκε ο συνολικός αριθμός των ζώντων και των νεκρών τελείων ατόμων, νυμφών και προνυμφών του κάθε είδους (με εξαίρεση το *P. truncatus* για το οποίο καταμετρήθηκαν μόνο τα τέλεια άτομα). Η αναγνώριση των προνυμφών *O. surinamensis* και *T. confusum* έγινε βάσει του Peterson (1951). Το ποσοστό των σπόρων οι οποίοι είχαν καταστραφεί από την δράση των εντόμων υπολογίστηκε με την λήψη 30 τυχαίων σπόρων από κάθε φιαλίδιο, ακολούθησε δε ο διαχωρισμός των σπόρων οι οποίοι έφεραν φαγώματα ή/και οπές από τους σπόρους οι οποίοι ήσαν υγιείς (Εικ. 44) (Athanassiou et al., 2017). Επίσης υπολογίστηκε η παραγωγή της σκόνης και το βάρος των εναπομεινάντων σπόρων (κατεστραμμένων και μη) σε κάθε φιαλίδιο. Η διαδικασία επαναλήφθηκε άλλες δύο φορές, χρησιμοποιώντας νέα έντομα και αραβόσιτο κάθε φορά, στις ίδιες συνθήκες, αλλά τα φιαλίδια ανοίχθηκαν μετά από 130 και 195 ημέρες. Η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλήφθηκε στους 25 °C με 75% σχετική υγρασία, τους 30 °C με 55% σχετική υγρασία, τους 30 °C με 75% σχετική υγρασία, τους 35 °C με 55% σχετική υγρασία και τους 35 °C με 75% σχετική υγρασία, χρησιμοποιώντας νέα έντομα, αραβόσιτο και φιαλίδια. Καθ' όλη την διάρκεια των βιοδοκιμών χρησιμοποιήθηκε το στερεοσκόπιο Olympus (SZX9, Bacacos S.A., Athens, Greece) με 57x τελική μεγέθυνση για την καταμέτρηση των εντόμων και ηλεκτρονική ζυγαριά (Precisa XB3200D compact balance, Alpha Analytical Instruments, Gerakas, Greece) για να ζυγιστεί η σκόνη που παρήχθη από την δράση των εντόμων και το βάρος των σπόρων μετά το άνοιγμα των φιαλιδίων. Για την διεξαγωγή του πειράματος (6 συνδυασμοί εντόμων x 3 περιόδους παρατήρησης x 3 θερμοκρασίες x 2 τιμές σχετικής υγρασίας x 3 επαναλήψεις x 3 υποεπαναλήψεις) χρησιμοποιήθηκαν 16.200 χιλιάδες έντομα (6.480 άτομα *O. surinamensis*, 4.860 άτομα *T. confusum* και 4.860 άτομα *P. truncatus*), 48,6 kg αραβοσίτου και 972 φιαλίδια.

#### 2.3.2.4 Στατιστική Ανάλυση

Η προσέγγιση η οποία ακολουθήθηκε βασίστηκε στην μέθοδο της παλινδρομώσεως, για την εξέταση με ενιαίο τρόπο του συνδυασμού της επιδράσεως της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της περιόδου της εκθέσεως στις αλληλεπιδράσεις των *O. surinamensis* (OS) με το *T. confusum* (TC) και το *P. truncatus* (PT) στον αραβόσιτο. Χρησιμοποιήθηκαν τρία εναλλακτικά στατιστικά πρότυπα παλινδρομώσεως, ένα με τον αριθμό των ζώντων εντόμων να είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, ανά περίοδο εκθέσεως (δηλαδή τις περιόδους των 65, 130 και 195 ημερών), ένα με τον αριθμό των κατεστραμμένων σπόρων να είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, και ένα τρίτο το οποίο χρησιμοποιεί την παραγωγή σκόνης ως εξαρτημένη μεταβλητή στο πρότυπο της παλινδρομώσεως.

Οι αρχικές επιλεχθείσες επεξηγηματικές μεταβλητές οι οποίες περιλαμβάνονται στα πρότυπα παλινδρόμησης είναι:

- η κατηγορική μεταβλητή της θερμοκρασίας (με τρεις κατηγορίες: θερμοκρασία = 25 °C, θερμοκρασία = 30 °C, θερμοκρασία = 35 °C),
- η δυαδική κατηγορική μεταβλητή της σχετικής υγρασίας (με δύο κατηγορίες: σχετική υγρασία = 55% και σχετική υγρασία = 75%),
- η κατηγορική μεταβλητή της περιόδου εκθέσεως (με τρεις κατηγορίες: περίοδος εκθέσεως = 65 ημέρες, περίοδος εκθέσεως = 130 ημέρες και περίοδος εκθέσεως = 195 ημέρες),
- η κατηγορική μεταβλητή της επαναλήψεως (με τρεις κατηγορίες από επαναλήψεις: επανάληψη 1, επανάληψη 2, επανάληψη 3),
- η κατηγορική μεταβλητή η οποία έχει ως κατηγορίες τους διάφορους συνδυασμούς εντόμων συμπεριλήφθηκε επίσης στα προσαρμοσμένα πρότυπα για να εξετασθεί η επίδραση στον αριθμό των ζωντανών εντόμων στο πείραμα. Τούτες οι κατηγορίες συμπεριλαμβάνουν τους επιλεγμένους συνδυασμούς εντόμων: “OS, PT, TC, OS-PT, OS-TC, και OS-TC-PT”. Οι συνδυασμοί είναι τα είδη των ειδών εντόμων κατά μόνας και οι συνδυασμοί τους ανά δύο και ανά τρία είδη που περιλαμβάνουν το OS.

Επομένως, η παρακάτω γενική εξίσωση παλινδρομήσεως, στην οποία προσαρμόστηκαν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, είναι η:

$$g(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (\text{Θερμοκρασία} = 30 \text{ }^\circ\text{C}) + \beta_2 \cdot (\text{Θερμοκρασία} = 35 \text{ }^\circ\text{C}) + \beta_3 \cdot (\text{Σχετική υγρασία} = 75\%) + \beta_4 \cdot (\text{Περίοδος έκθεσης} = 130) + \beta_5 \cdot (\text{Περίοδος έκθεσης} = 195) + \beta_6 \cdot (\text{Επανάληψη} = 2) + \beta_7 \cdot (\text{Επανάληψη} = 3) + \beta_8 \cdot (\text{Συνδυασμός εντόμων} = PT) + \beta_9 \cdot (\text{Συνδυασμός εντόμων} = TC) + \beta_{10} \cdot (\text{Συνδυασμός εντόμων} = OS-PT) + \beta_{11} \cdot (\text{Συνδυασμός εντόμων} = OS-TC) + \beta_{12} \cdot (\text{Συνδυασμός εντόμων} = OS-TC-PT) + \varepsilon_i$$

όπου το  $\mu_i = E(y_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, 3888$ ) δηλώνει τον μέσο αριθμό των ζώντων εντόμων και τον αριθμό κατεστραμμένων σπόρων, το  $\beta_0$  είναι ο σταθερός όρος και τα  $\beta_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 12$ ) είναι οι συντελεστές παλινδρομήσεως για τα διάφορα επίπεδα των κατηγορικών μεταβλητών στην παλινδρομική εξίσωση. Επιπλέον, με  $g(\cdot)$  στην προηγούμενη εξίσωση συμβολίζεται η συνάρτηση συνδέσεως των εξισώσεων, που συνδέει την εξαρτημένη μεταβλητή με τις επεξηγηματικές μεταβλητές για τις εναλλακτικές συναρτήσεις κατανομής. Το  $\varepsilon_i$  δηλώνει το σφάλμα. Για τις κατηγορικές ανεξάρτητες μεταβλητές, το πρώτο επίπεδο της κάθε μίας αντιστοιχεί στη κατηγορία αναφοράς για τις στατιστικές συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων επιπέδων.

Όσον αφορά την επιλογή μιας κατάλληλης συναρτήσεως συνδέσεως της παραπάνω εξισώσεως παλινδρομήσεως, και λόγω της φύσεως της εξαρτημένης μεταβλητής στην περίπτωση του αριθμού των ζώντων εντόμων και των κατεστραμμένων σπόρων, οι οποίες είναι μεταβλητές δεδομένων μετρήσεως (count data), εκτός από την τυπική προσέγγιση θεωρώντας ότι η κανονική κατανομή (Gaussian) συνδέει την εξαρτημένη μεταβλητή και τις ανεξάρτητες μεταβλητές, προσαρμόστηκαν επιπλέον τα δεδομένα χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο παλινδρομήσεως Poisson. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο Gaussian ώστε να εξερευνηθεί η σχέση της παραγωγής σκόνης με τις ανεξάρτητες μεταβλητές, καθώς η συγκεκριμένη εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής και προσεγγιστικά ακολουθεί την κανονική κατανομή.

### 2.3.2.5 Σύγκριση των προτύπων και επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών

Για τις δύο επιλογές των προτύπων (Gaussian και Poisson) και των ανεξαρτήτων μεταβλητών για τα δύο πρότυπα (αποκρίσεις: ζώντα έντομα και κατεστραμμένοι σπόροι) διεξήχθη έλεγχος για την επιλογή του καλλίτερου προτύπου παλινδρομήσεως για τα δεδομένα τα οποία συλλέχτηκαν. Αναλυτικώς, η επιλογή ανάμεσα στα Gaussian και Poisson πρότυπα παλινδρομήσεως έγινε μέσω του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προβλέψεως (*MSPE*) που υπολογίστηκε για κάθε προσαρμοσμένο πρότυπο.

Το *MSPE* υπολογίστηκε μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$MSPE = E[(y_i - \hat{y}_i)^2]$$

Όπου το  $y_i$  αντιστοιχεί στις εμπειρικές τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών των ζωντανών εντόμων και το  $\hat{y}_i$  είναι οι προβλέψεις που αποκτήθηκαν από τα προσαρμοσμένα πρότυπα παλινδρομήσεως. Χαμηλότερες τιμές του *MSPE* υποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή του προτύπου στα δεδομένα.

Σε δεύτερο χρόνο, κατόπιν της επιλογής των καλλίτερων μορφών κατανομής ανάμεσα στα πρότυπα Gaussian και Poisson, έλαβε χώρα η επιλογή των στατιστικώς σημαντικών ανεξάρτητων μεταβλητών, προς αποφυγή προβλημάτων πολυσυγγραμμικότητας (multicollinearity issues). Η επιλογή των ανεξαρτήτων μεταβλητών βασίστηκε σε μια προσέγγιση συγκρίσεως ένθετων προτύπων (nested model comparison approach), η οποία αποτελείται από την σύγκριση του αρχικού πλήρους προτύπου (όπως φαίνεται στο Πρότυπο  $M_i$ ) συμπεριλαμβανομένου όλων των σταθερών επιδράσεων των ανεξάρτητων μεταβλητών, και του μειωμένου προτύπου (Πρότυπο  $M_{i-1}$ ) το οποίο προκύπτει με τον βηματικό αποκλεισμό της λιγότερο στατιστικώς σημαντικής ανεξάρτητης μεταβλητής.

Η συνολική σημαντικότητα του κάθε προτύπου εκτιμήθηκε μέσω της στατιστικής αποκλίσεως (με βάση την σημαντικότητα του κάθε προτύπου) και η σύγκριση μεταξύ των προτύπων έγινε με βάση την δοκιμή της αναλογίας

πιθανότητας (Likelihood Ratio Test, *LRT*). Η στατιστική συνάρτηση του *LRT* υπολογίστηκε ως:

$$D = 2 \times (\ln(\text{likelihood}_{M_i}) - \ln(\text{likelihood}_{M_{i-1}})),$$

Όπου το  $M_{i-1}$  δηλώνει το μειωμένο πρότυπο και το  $M_i$  το πρότυπο με την προσθήκη της ανεξάρτητης μεταβλητής. Το καλύτερο πρότυπο είναι αυτό με τα χαμηλότερα επίπεδα του  $D$  στατιστικού.

### 2.3.2.6 Προσαρμογή προτύπων παλινδρόμησης

Για την προσαρμογή των προτύπων παλινδρομήσεως χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό R software (R Development Core Team, 2020). Για την προσαρμογή των γραμμικών προτύπων χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση lmer(), ενώ η εξίσωση glmer() χρησιμοποιήθηκε για την προσαρμογή των προτύπων τύπου Poisson.

### 2.3.3 Αποτελέσματα

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων καταμετρήθηκαν 72.849 έντομα συνολικώς (28.246 άτομα *O. surinamensis*, 14.920 άτομα *T. confusum* και 29.683 άτομα *P. truncatus*).

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των προτύπων και της επιλογής των καταλληλοτέρων ανεξαρτήτων μεταβλητών για τα ζώντα έντομα, τους κατεστραμμένους σπόρους και της παραγωγής της σκόνης από την δράση των εντόμων συνοψίζονται στον Πίνακα 2.3.5.1, ο οποίος περιλαμβάνει τα στατιστικά της καλής προσαρμογής με την χρήση του στατιστικού ( $D$ ) και των τιμών  $MSPE$  που υπολογίστηκαν για τα διαφορετικά πρότυπα. Με τα παραπάνω στατιστικά καλής προσαρμογής επιτυγχάνεται η επιλογή των καταλλήλων ανεξαρτήτων μεταβλητών και η επιλογή της καταλληλότερης κατανομής, μεταξύ των δύο διαφορετικών κατανομών για τις εξαρτημένες μεταβλητές. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι για την περίπτωση των ζώντων εντόμων, όλες οι αρχικές ανεξάρτητες μεταβλητές είναι στατιστικώς

σημαντικές για το πρότυπο Poisson (Poisson – Πρότυπο 1) ενώ το πρότυπο Gaussian χωρίς την επίδραση των επαναλήψεων (Gaussian – Πρότυπο 2) παρέχει καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα ανάμεσα σε όλα τα πρότυπα παλινδρομώσεως Gaussian ( $D_{Model\ 2} = 14.331,02$  και  $D_{Model\ 1} = 13.981,34$  για τα πρότυπα παλινδρομώσεως Gaussian και Poisson αντίστοιχα). Κατά την επιλογή των καλύτερων προτύπων για κάθε μία από τις δύο κατανομές, η σύγκριση των καλύτερων προτύπων μέσω του στατιστικού *MSPE* έδειξε ότι ταιριάζει καλύτερα το πρότυπο παλινδρομώσεως Poisson ( $MSPE = 1.343,00$ ). Η οπτική σύγκριση των δύο προτύπων παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.3.6.1 η οποία δείχνει ότι στις διαφορές ανάμεσα στις προβλεπόμενες τιμές και στις παρατηρηθείσες αποκρίσεις το πρότυπο παλινδρομώσεως Poisson έχει χαμηλότερες τιμές.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν ληφθεί για τους κατεστραμμένους σπόρους, όπου το καλύτερο πρότυπο κατανομής ήταν το πρότυπο Poisson με  $MSPE = 15,84$  (Poisson – Πρότυπο 3), το οποίο ήταν σημαντικώς χαμηλότερο από την αντίστοιχη τιμή για το πρότυπο Gaussian ( $MSPE = 21,14$ ) (Πίνακας 2.3.5.1). Η οπτική σύγκριση μεταξύ των δύο προτύπων παλινδρομώσεως (Poisson και Gaussian) (Διάγραμμα 2.3.6.2) πιστοποιεί ξανά τις χαμηλότερες διακυμάνσεις ανάμεσα στις τιμές αποκρίσεως και προβλέψεως του τελευταίου προτύπου. Σχετικώς με την επιλογή των ανεξαρτήτων μεταβλητών, διαπιστώθηκε ότι η επίδραση της επαναλήψεως και του είδους του εντόμου είναι σημαντικές για την πρόβλεψη του αριθμού των κατεστραμμένων σπόρων.

Όσον αφορά το τρίτο πρότυπο για την παραγωγή σκόνης από την δράση των εντόμων, παρατηρήθηκε ότι το καλύτερο πρότυπο είναι το Gaussian χωρίς την επίδραση της επανάληψης ( $D = 29.147,78$ ). Ως εκ τούτου, περαιτέρω αναλύσεις, όσον αφορά τους εκτιμώμενους συντελεστές της εξισώσεως παλινδρομώσεως που συνδέει τον αριθμό των ζώντων εντόμων, τον αριθμό των κατεστραμμένων σπόρων και των επιλεγμένων ανεξάρτητων μεταβλητών, θα βασιστούν στα πρότυπα παλινδρομώσεως Poisson που περιλαμβάνουν όλες τις αρχικές ανεξάρτητες μεταβλητές στην περίπτωση του πρώτου προτύπου παλινδρομώσεως (ζώντων εντόμων) και των μη σημαντικών ανεξαρτήτων μεταβλητών της επαναλήψεως και του

είδους του εντόμου στην περίπτωση του δευτέρου προτύπου παλινδρομήσεως (σπασμένοι σπόροι). Για το πρότυπο της παραγωγής σκόνης από την δράση των εντόμων, η εκτιμώμενη παράμετρος θα βασιστεί στο πρότυπο Gaussian χωρίς την επίδραση της επαναλήψεως.

Οι εκτιμήσεις για τα τρία καλύτερα επιλεγθέντα πρότυπα για τις εξαρτημένες μεταβλητές «ζώντα έντομα», «κατεστραμμένοι σπόροι» και «παραγωγή σκόνης από την δράση των εντόμων» παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.3.5.2-2.3.5.4. Σχετικώς με το πρότυπο παλινδρομήσεως για την εξαρτημένη μεταβλητή «ζώντα έντομα», οι εκτιμήσεις των παραμέτρων δείχνουν ότι όλες οι αρχικές επιλεγθείσες παράμετροι είναι σημαντικοί δείκτες της εξαρτημένης μεταβλητής (Πίνακας 2.3.5.2). Λεπτομερώς, παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των ζώντων εντόμων αυξάνεται στους 30 °C (beta = 0,141, p-value < 0,001). Το χαμηλότερο επίπεδο ζώντων εντόμων παρατηρήθηκε στους 35 °C (beta = -1,731, p-value < 0,001). Σχετικώς με την επίδραση της σχετικής υγρασίας στον αριθμό ζώντων εντόμων, παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός ζώντων εντόμων αυξήθηκε όταν αυξήθηκε η σχετική υγρασία από το 55% στο 75% (beta = 0,561, p-value < 0,001). Η αύξηση της περιόδου εκθέσεως είχε επίσης θετική και σημαντική επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή, από τις 65 στις 130 ημέρες (beta = 0,086, p-value < 0,001) και στις 195 ημέρες (beta = 0,450, p-value < 0,001). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές για την επίδραση των συνδυασμών των εντόμων στην εξαρτημένη μεταβλητή δείχνει ότι το *PT*, όταν εξετάστηκε κατά μόνας (beta = 0,423, p-value < 0,001), ακολουθούμενο από το *OS* όταν εξετάστηκε κατά μόνας (κατηγορία αναφοράς), παρουσίασε υψηλότερους αριθμούς ζωντανών εντόμων. Εν τέλει, υψηλότερες τιμές ζώντων εντόμων παρατηρήθηκαν για την 3<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> επανάληψη.

Σχετικώς με το πρότυπο παλινδρομήσεως για την εξαρτημένη μεταβλητή «κατεστραμμένοι σπόροι», παρατηρήθηκαν παρόμοια αποτελέσματα με το πρώτο πρότυπο για την επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής της θερμοκρασίας, καθώς ο αριθμός κατεστραμμένων σπόρων αυξήθηκε στους 30 °C (beta = 0,227, p-value < 0,001), ενώ η χαμηλότερη τιμή κατεστραμμένων σπόρων παρατηρήθηκε στους 35 °C (beta = -0,539, p-value < 0,001) (Πίνακας 2.3.5.3). Επιπλέον, ο αριθμός των κατεστραμμένων

σπόρων αυξήθηκε όταν αυξήθηκε η σχετική υγρασία ( $\beta = 0,409$ ,  $p\text{-value} < 0,001$ ). Η αύξηση των περιόδων εκθέσεως είχε θετική και σημαντική επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή, παρόμοια με αυτήν του προτύπου παλινδρομήσεως των «ζώντων εντόμων». Επιπλέον, οι συνδυασμοί των εντόμων που επηρέασαν θετικά τον αριθμό των κατεστραμμένων σπόρων είναι οι εξής: *PT*, *OS-PT*, και *OS-TC-PT* σε αντίθεση με τους *OS*, *TC* και *OS-TC* οι οποίοι έδειξαν χαμηλότερες τιμές κατεστραμμένων σπόρων.

Εν τέλει, παρατηρώντας το πρότυπο παλινδρομήσεως για την εξαρτημένη μεταβλητή «παραγωγή σκόνης από την δράση των εντόμων», εκμαιεύθηκαν παρόμοια συμπεράσματα με τα δύο προηγούμενα πρότυπα. Η εξαρτημένη μεταβλητή της παραγωγής της σκόνης αυξήθηκε από τους 25 °C στους 30 °C ( $\beta = 2,340$ ,  $p\text{-value} < 0,001$ ) και ακολούθως μειώθηκε (Πίνακας 2.3.5.4). Επίσης, η παραγωγή της σκόνης αυξήθηκε με την άνοδο της σχετικής υγρασίας και της περιόδου της εκθέσεως. Οι συνδυασμοί των εντόμων οι οποίοι επηρέασαν θετικώς την παραγωγή της σκόνης είναι οι ακόλουθοι: *PT*, *OS-PT*, και *OS-TC-PT* σε σύγκριση με τους συνδυασμούς *OS*, *TC* και *OS-TC*.

### 2.3.4 Συζήτηση

Η ανάλυση έδειξε ότι το καταλληλότερο πρότυπο για τα δεδομένα της παρούσης μελέτης είναι ένα γενικευμένο πρότυπο γραμμικής παλινδρομήσεως (Generalised Linear Model) χρησιμοποιώντας την κατανομή Poisson στις δύο εξαρτημένες μεταβλητές (δηλαδή τον αριθμό των ζώντων εντόμων και τον αριθμό των κατεστραμμένων σπόρων). Τούτο έχει επαληθευτεί με την χρήση των μέτρων της καλής προσαρμογής και των οπτικών προσεγγίσεων επιθεωρήσεως της καλής προσαρμογής. Κατά την επιλογή της καλύτερης προσεγγίσεως προτύπου, τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης αποκαλύπτουν ότι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η διάρκεια εκθέσεως, το είδος του εντόμου και ο συνδυασμός των εντόμων, μπορούν να αλλάξουν θετικά ή αρνητικά τον αριθμό των ζώντων εντόμων, των κατεστραμμένων σπόρων και την παραγωγή σκόνης. Η αύξηση της



θερμοκρασίας από τους 25 °C στους 30 °C και από τους 30 °C στους 35 °C, οδήγησε στην αύξηση και την μείωση, αντιστοίχως, του αριθμού των ζώντων εντόμων, των κατεστραμμένων σπόρων και της παραγωγής σκόνης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στις ευνοϊκές συνθήκες της θερμοκρασίας για την ανάπτυξη του κάθε είδους. Οι Nika et al. (2021) αναφέρουν ότι το *O. surinamensis* παρουσιάζει τον μεγαλύτερο ρυθμό αναπτύξεως στους 31,3 °C ενώ οι 36,3 °C είναι το ανώτερο θερμικό όριο. Παρομοίως, οι Lamp and Loschiano (1981) παρατήρησαν αύξηση στην επιβίωση του *T. confusum* με την άνοδο της θερμοκρασίας από τους 25 °C στους 30 °C, αλλά ανάμεσα στους 30 °C και 35 °C μειώθηκε. Η πιο ευνοϊκή θερμοκρασία για το *P. truncatus* είναι οι 30 °C, ενώ οι 25 °C και οι 35 °C καθυστερούν την ανάπτυξή του (Bell and Watters, 1982, Rees, 2004). Οι σταθερές θερμοκρασίες οι οποίες εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη (25 °C, 30 °C και 35 °C) καλύπτουν τις συνηθισμένες θερμοκρασίες οι οποίες επικρατούν στις αποθήκες (Athanassiou et al., 2005), γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία του τελικού αποτελέσματος του διεξαχθέντος πειράματος συμφώνως προς τους Bergant and Trdan (2006).

Παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση της σχετικής υγρασίας από το 55% στο 75% αυξήθηκαν τα ζώντα έντομα, οι κατεστραμμένοι σπόροι και η παραγωγή σκόνης. Η σχετική υγρασία είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος για τα έντομα καθώς επηρεάζει την ανάπτυξή τους, την διάρκεια της ζωής τους, την γονιμότητά τους, την συμπεριφορά τους, την έναρξη της πτήσεώς τους, την αύξηση του πληθυσμού τους, την θνησιμότητά τους και την αντοχή στην θερμοκρασία (Fadamiro and Wyatt, 1995, Throne and Weaver, 2013, Tochen et al., 2016, Papanikolaou et al., 2018, Gigante et al., 2020, Kavallieratos et al., 2021). Για παράδειγμα, μία ευνοϊκή αύξηση της σχετικής υγρασίας από το 40% στο 80% μείωσε την συνολική περίοδο αναπτύξεως του *P. truncatus* κατά 19,8 ημέρες (Bell and Watters, 1982). Η ανάπτυξη των ατελών σταδίων του *O. surinamensis* μειώθηκε με την αύξηση της σχετικής υγρασίας από το 30% στο 70% κατά 7,3 ημέρες (Beckett and Evans, 1994).

Οι μιμητικές δια-ειδικές αλληλεπιδράσεις των εντόμων αποθηκών οι οποίες εξετάστηκαν, οδήγησαν σε υπερπληθυσμούς. Τούτη η υπόθεση είναι ως επί τον πλείστον αξιόπιστη για τις αναπτυσσόμενες χώρες δεδομένου ότι

υποφέρουν από σημαντικές απώλειες σιτηρών (Muatinte et al., 2019). Τα ζώντα άτομα *P. truncatus* ήσαν σημαντικώς περισσότερα από τα άτομα *O. surinamensis*, ενώ τα ζώντα άτομα του *T. confusum* ήσαν σημαντικώς λιγότερα από τα άτομα *O. surinamensis*, όταν τα είδη εξετάστηκαν κατά μόνας. Το εύρημα μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι διαφορετικά τρόφιμα ευνοούν την ανάπτυξη διαφορετικών ειδών εντόμων. Ο αραβόσιτος ευνοεί την πληθυσμιακή ανάπτυξη του *P. truncatus* διότι είναι η μόνη κατάλληλη τροφή για την αναπαραγωγή και την ανάπτυξη του πληθυσμού του εντόμου ανάμεσα σε πληθώρα άλλων σπόρων δημητριακών και αμυλούχων προϊόντων (π.χ. κριθή, *Hordeum vulgare* L. (ποικιλία Persephone), βρώμη, *Avena sativa* L. (ποικιλία Cassandra), ρύζι, *Oryza sativa* L. (ποικιλία Thaibonnet), σίκαλη, *Secale cereale* L. (ποικιλία Danko), τριτικάλε, x *Triticosecale* Wittm. ex A. Camus (ποικιλία Vronti), σκληρός σίτος, *Triticum durum* Desf. (ποικιλία Claudio), άλευρα, νιφάδες βρώμης, ζυμαρικά και σιμιγδάλι) (Athanassiou et al. 2017). Παρομοίως, ο σπασμένος αραβόσιτος, το αλεύρι αραβοσίτου, οι νιφάδες βρώμης, το αλεύρι κριθής ολικής και η σπασμένη κριθή ήσαν κατάλληλα για την ανάπτυξη του *O. surinamensis* σε αντίθεση με τον σπασμένο σίτο και το σιμιγδάλι τα οποία δεν μπόρεσαν να υποστηρίξουν την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του *O. surinamensis* (Nika et al., 2020). Το *T. confusum* ολοκλήρωσε την ανάπτυξή του σε σπασμένη κριθή αλλά απέτυχε να αναπτυχθεί σε σπασμένη λευκή όρυζα (Kavallieratos et al., 2020).

Οι Paranikolaou et al. (2018) αναφέρουν ότι οι αβιοτικοί παράγοντες θερμοκρασία και της σχετική υγρασία είχαν αντίκτυπο στον ανταγωνισμό των ειδών *R. dominica* και *P. truncatus*. Οι συγγραφείς κατέγραψαν ότι η ταυτόχρονη παρουσία των δύο ειδών στον αραβόσιτο επηρέασε αρνητικώς τους αριθμούς των απογόνων τους μετά από 65, 130 και 195 ημέρες. Όταν τα είδη *R. dominica* και *P. truncatus* ανταγωνίστηκαν μεταξύ τους, ο πληθυσμός τους μειώθηκε, αλλά ο αριθμός των κατεστραμμένων σπόρων αυξήθηκε. Στην παρούσα εργασία, όλοι οι εξετασθέντες συνδυασμοί οδήγησαν σε σημαντικώς λιγότερα ζώντα έντομα (με εξαίρεση το *P. truncatus* όταν εξετάσθηκε κατά μόνας), σε σύγκριση με το *O. surinamensis* όταν εξετάσθηκε κατά μόνας, και σημαντικώς περισσότερους κατεστραμμένους σπόρους από την δράση των συνδυασμών *P. truncatus* όταν εξετάσθηκε κατά μόνας, *O. surinamensis* - *P.*

*truncatus*, και *O. surinamensis* - *P. truncatus* - *T. confusum*, σε σχέση με τους κατεστραμμένους σπόρους από την δράση του *O. surinamensis* όταν αυτό εξετάστηκε κατά μόνας. Παρά το γεγονός ότι το *O. surinamensis* είναι δευτερεύον εχθρός των αποθηκευμένων τροφίμων (Hill, 2003, Rees, 2004, Kumar, 2017), κατέστρεψε σημαντικώς περισσότερο αραβόσιτο από το έτερο δευτερεύοντα εχθρό *T. confusum*, και σημαντικώς λιγότερους σπόρους από τον πρωτεύοντα εχθρό *P. truncatus*, όταν όλα τα είδη εξετάστηκαν κατά μόνας. Το *P. truncatus* ξεκινά την προσβολή ως πρωτεύων εχθρός των αποθηκευμένων τροφίμων, ενώ τα δευτερεύοντα είδη συνεχίζουν την ζημιά των ήδη προσβεβλημένων σπόρων (Hill, 2003, Rees, 2004). Παρά το γεγονός ότι ο συνδυασμός *O. surinamensis* - *P. truncatus* οδήγησε στην παραγωγή σημαντικώς λιγότερων ζώντων ατόμων, παρουσίασε το υψηλότερο δυναμικό καταστροφής του αραβόσιτου σε όλους τους εξετασθέντες συνδυασμούς. Προηγούμενες εργασίες έδειξαν ότι το *P. truncatus* είναι πιο καταστρεπτικό στον αραβόσιτο σε σχέση με τα είδη *S. zeamais* και *R. dominica* (Makundi et al., 2010, Papanikolaou et al., 2018).

Η καταστροφή των σπόρων μπορεί να εκτιμηθεί επίσης από την παραγωγή σκόνης από την δράση των εντόμων (Athanassiou et al., 2017). Τα ευρήματα της παρούσης εργασίας καταδεικνύουν ότι η σκόνη η οποία παρήχθη από την δράση του *P. truncatus* όταν εξετάστηκε κατά μόνας, ήταν περισσότερη σε σχέση με τους συνδυασμούς *O. surinamensis* - *P. truncatus* και *O. surinamensis* - *T. confusum* - *P. truncatus*. Η δράση του *P. truncatus* έχει ως αποτέλεσμα την κένωση των σπόρων και δημιουργεί σκόνη η οποία χρησιμεύει ως τροφή για τις προνύμφες του εντόμου (Hill, 2003). Σε πρόσφατη εργασία, οι Papanikolaou et al. (2018) αναφέρουν ότι το *P. truncatus* είναι πιο ζημιογόνο στον αραβόσιτο σε σχέση με το *R. dominica*. Τούτο μπορεί να αποδοθεί στο μεγάλο μέγεθος και τα δυνατά στοματικά μόρια του *P. truncatus*. Παρομοίως, η παραγωγή σκόνης μειώθηκε όταν οι σπόροι όρυζας ήσαν προσβεβλημένοι με τους συνδυασμούς *S. granarius* - *S. oryzae* και *S. oryzae* - *S. zeamais* σε αντίθεση με το *S. oryzae* κατά μόνας (Athanassiou et al., 2017) και όταν ο σίτος ήταν προσβεβλημένος με τον συνδυασμό *R. dominica* - *S. oryzae* σε αντίθεση με το *R. dominica* κατά μόνας (Kavallieratos et al., 2017). Η συσσωρευμένη σκόνη μπορεί να έχει

οικολογικό ρόλο στο οικοσύστημα των αποθηκών ως τροφή για άλλα έντομα αποθηκών ή ως τροφή του σχετιζομένου μικροβιώματος. Για παράδειγμα, η σκόνη η οποία παρήχθη από την δράση του *R. dominica* σε σίτο, ήταν επαρκής τροφή για την ανάπτυξη από το ωό στο τέλειο άτομο των *O. surinamensis*, *T. castaneum* και *T. confusum* (Shah et al., 2020). Επιπροσθέτως, η παραχθείσα σκόνη από την δράση των *P. interpunctella*, *R. dominica*, *S. granarius*, *S. oryzae*, *S. zeamais*, *T. confusum* και *T. castaneum* περιείχε τον ωφέλιμο μικροοργανισμό *Fructilactobacillus sanfranciscensis* (Weiss and Schillinger, 1984) Zheng et al. 2020 (Lactobacillales: Lactobacillaceae), ο οποίος είναι παρόν στις ανθρώπινες τροφές (Boiocchi et al., 2017).

Εν κατακλείδι, η παρούσα εργασία έδειξε ότι ο συνδυασμός των δύο ή των τριών εξετασθέντων κολεοπτέρων αποθηκών μείωσε τον αριθμό των ζώντων εντόμων κατά την διάρκεια των περιόδων της εκθέσεως του πειράματος. Το πρότυπο παλινδρομήσεως Poisson παρουσίασε την καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα σε σχέση με το κλασικό πρότυπο Gaussian, συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας πολύτιμος δείκτης για την ποιοτική και ποσοτική απώλεια των προσβεβλημένων τροφών υπό διαφορετικές βιοτικές και αβιοτικές συνθήκες (Aukema et al., 2010, Demetrio et al., 2014, Azrag et al., 2018). Η αποκρυπτογράφηση των σχέσεων των εντόμων αποθηκών, τα οποία συνυπάρχουν στους αποθηκευμένα προϊόντα, παρέχουν πληροφορίες για την πιθανή ζημιά την οποία επιφέρει κάθε συνδυασμός τους και μπορούν να εξελίξουν τις στρατηγικές της διαχειρίσεώς τους, επιτρέποντας την εφαρμογή των εντομοκτόνων με ακρίβεια. Η παρούσα εργασία καταδεικνύει ότι η κατά μόνας παρουσία του *T. confusum* οδήγησε στην παραγωγή του χαμηλότερου αριθμού ζώντων ατόμων ανάμεσα σε όλους τους εξετασθέντες συνδυασμούς εντόμων. Από πρακτικής απόψεως, τούτος ο συνδυασμός θα μπορούσε να προκαλέσει τις λιγότερο εντατικές επεμβάσεις σε σχέση με τους υπολοίπους εξετασθέντες συνδυασμούς. Δεδομένου ότι το *O. surinamensis* είναι ένας σημαντικός εχθρός των αποθηκευμένων τροφίμων παγκοσμίως και οι δημοσιευμένες εργασίες σχετικά με τις σχέσεις του εντόμου με άλλα είδη εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων τροφίμων είναι περιορισμένες, συνιστάται περαιτέρω έρευνα η οποία θα περιλαμβάνει

περισσότερα είδη εντόμων και περιβαλλοντικές παραμέτρους ώστε να ερμηνευτεί η ανάπτυξη των πληθυσμών τους σε σχέση με τις επιφερόμενες απώλειες των αποθηκευμένων τροφίμων.

## 2.3.5 Πίνακες

### Πίνακας 2.3.5.1

Αποτελέσματα καλής προσαρμογής για τα πρότυπα παλινδρομήσεως.

Εξαρτημένη μεταβλητή	Ζώντα έντομα		Κατεστραμμένοι σπόροι				Παραγωγή σκόνης			
	Πρότυπο Gaussian	Πρότυπο Poisson	Πρότυπο Gaussian	Πρότυπο Poisson	Πρότυπο Gaussian	Πρότυπο Poisson	Πρότυπο Gaussian	Πρότυπο Poisson		
	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>P</i>
Πρότυπο 1 (πλήρες πρότυπο)	14.784,41	---	13.873,93	---	26.667,58	---	12.072,30	---	29.356,02	---
Πρότυπο 2 (άνευ της επιδράσεως επαναλήψεως)	14.331,02	**	13.981,34	μ.σ.	25.100,65	*	11.754,27	*	29.147,78	**
Πρότυπο 3 (άνευ της επιδράσεως επαναλήψεως και είδους εντόμου)	14.240,65	μ.σ.	---	---	24.547,20	*	10.605,08	*	29.878,90	μ.σ.

<i>MSPE</i>	1.663,00	1.343,00	21,14	15,84	20,03
-------------	----------	----------	-------	-------	-------

---

*D*: στατιστικό απόκλισης.

*P*: *p*-τιμή της στατιστικής σημαντικότητας του *LRT*.

*MSPE*: μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλέψεως.

\*Σημαντικό στο 5% επίπεδο σημαντικότητας ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

\*\*Σημαντικό στο 1% επίπεδο σημαντικότητας ( $p\text{-value} < 0,01$ ).

μ.σ.: μη σημαντικό.

Όπου υπάρχουν παύλες, δεν πραγματοποιήθηκε σύγκριση.

### Πίνακας 2.3.5.2

Εκτιμήσεις παραμέτρων του καλύτερου επιλεγμένου προτύπου (εξαρτημένη μεταβλητή: ζώντα έντομα) συναρτήσεως κατανομής (Πρότυπο Poisson με όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές - Πρότυπο 1, μαζί με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας). Το OS αντιστοιχεί στο *Oryzaephilus surinamensis*, το PT αντιστοιχεί στο *Prostephanus truncatus* και το TC αντιστοιχεί στο *Tribolium confusum*.

Ανεξάρτητη μεταβλητή	Εκτίμηση	Σημαντικότητα
Σταθερός όρος	2,768	< 0,001**
Θερμοκρασία (κατηγορία αναφοράς: 25 °C)		
Θερμοκρασία 30 °C	0,141	< 0,001**
Θερμοκρασία 35 °C	-1,731	< 0,001**
Σχετική υγρασία (κατηγορία αναφοράς: σχετική υγρασία 55%)		
Σχετική υγρασία 75%	0,561	< 0,001**
Περίοδος εκθέσεως (κατηγορία αναφοράς: 65 ημέρες)		
Περίοδος εκθέσεως 130 ημέρες	0,086	< 0,001**
Περίοδος εκθέσεως 195 ημέρες	0,450	< 0,001**
Συνδυασμός εντόμων (κατηγορία αναφοράς: OS)		
PT	0,423	< 0,001**
TC	-1,286	< 0,001**
OS-PT	-0,022	< 0,001**



<i>OS-TC</i>	-1,204	<0,001**
<i>OS-TC-PT</i>	-0,654	< 0,001**
Επίδραση επαναλήψεως (κατηγορία αναφοράς: Επανάληψη 1)		
<i>Επανάληψη 2</i>	0,034	< 0,001**
<i>Επανάληψη 3</i>	0,038	< 0,001**

---

\*\*Σημαντικό στο 1% επίπεδο σημαντικότητας (p-value < 0,01).

### Πίνακας 2.3.5.3

Εκτιμήσεις παραμέτρων του καλύτερου επιλεγμένου προτύπου (εξαρτημένη μεταβλητή: κατεστραμμένοι σπόροι) συναρτήσεως κατανομής (Πρότυπο Poisson χωρίς την ανεξάρτητη μεταβλητή “Επανάληψη”, μαζί με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας). Το OS αντιστοιχεί στο *Oryzaephilus surinamensis*, το PT αντιστοιχεί στο *Prostephanus truncatus* και το TC αντιστοιχεί στο *Tribolium confusum*.

Ανεξάρτητη μεταβλητή	Εκτίμηση	Σημαντικότητα
Σταθερός όρος	1,271	< 0,001**
Θερμοκρασία (κατηγορία αναφοράς: 25 °C)		
Θερμοκρασία 30 °C	0,227	< 0,001**
Θερμοκρασία 35 °C	-0,539	< 0,001**
Σχετική υγρασία (κατηγορία αναφοράς: σχετική υγρασία 55%)		
Σχετική υγρασία 75%	0,409	< 0,001**
Περίοδος εκθέσεως (κατηγορία αναφοράς: 65 ημέρες)		
Περίοδος εκθέσεως 130 ημέρες	0,607	< 0,001**
Περίοδος εκθέσεως 195 ημέρες	0,839	< 0,001**
Συνδυασμός εντόμων (κατηγορία αναφοράς: OS)		
PT	0,781	< 0,001**
TC	0,007	μ.σ.
OS-PT	0,943	< 0,001**

<i>OS-TC</i>	-0,068	μ.σ.
<i>OS-TC-PT</i>	0,665	< 0,001**

---

\*\*Σημαντικό στο 1% επίπεδο σημαντικότητας ( $p$ -value < 0,01).

μ.σ.: μη σημαντικό.

#### Πίνακας 2.3.5.4

Εκτιμήσεις παραμέτρων του καλύτερου επιλεγμένου προτύπου (εξαρτημένη μεταβλητή: σκόνη) (Πρότυπο Gaussian χωρίς την ανεξάρτητη μεταβλητή “Επανάληψη”, μαζί με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας). Το OS αντιστοιχεί στο *Oryzaephilus surinamensis*, το PT αντιστοιχεί στο *Prostephanus truncatus* και το TC αντιστοιχεί στο *Tribolium confusum*.

Ανεξάρτητη μεταβλητή	Εκτίμηση	Σημαντικότητα
Σταθερός όρος	-2,874	< 0,001**
Θερμοκρασία (κατηγορία αναφοράς: 25 °C)		
Θερμοκρασία 30 °C	2,340	< 0,001**
Θερμοκρασία 35 °C	-4,025	< 0,001**
Σχετική υγρασία (κατηγορία αναφοράς: σχετική υγρασία 55%)		
Σχετική υγρασία 75%	2,368	< 0,001**
Περίοδος εκθέσεως (κατηγορία αναφοράς: 65 ημέρες)		
Περίοδος εκθέσεως 130 ημέρες	3,277	< 0,001**
Περίοδος εκθέσεως 195 ημέρες	5,434	< 0,001**
Συνδυασμός εντόμων (κατηγορία αναφοράς: OS)		
PT	8,224	< 0,001**
TC	-0,048	μ.σ.
OS-PT	7,710	< 0,001**

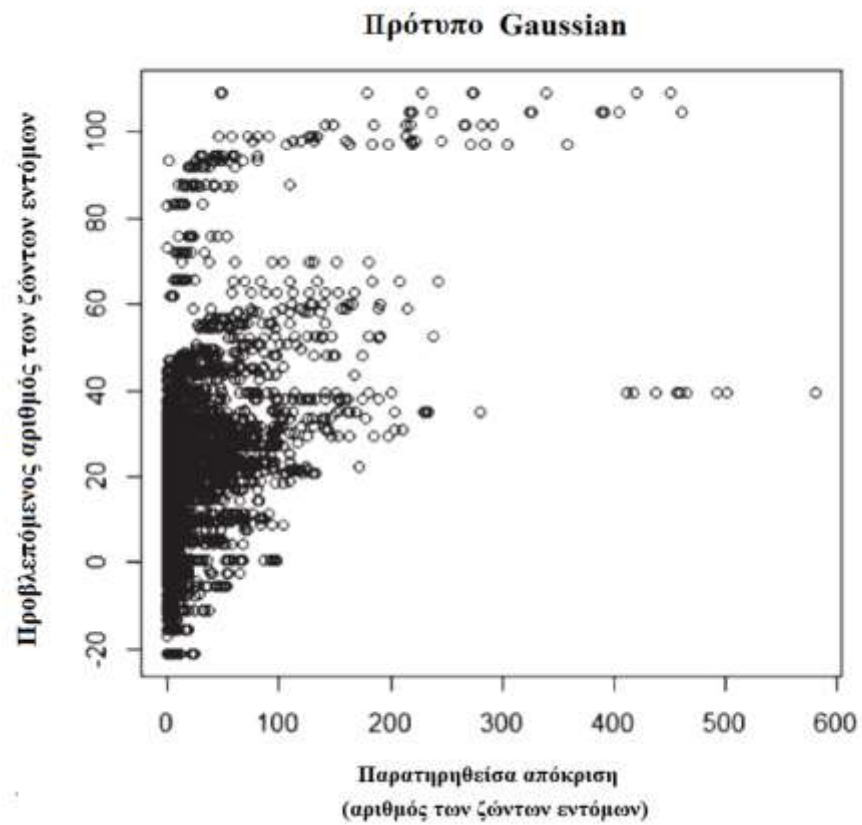
<i>OS-TC</i>	-0,180	μ.σ.
<i>OS-TC-PT</i>	6,206	< 0,001**

---

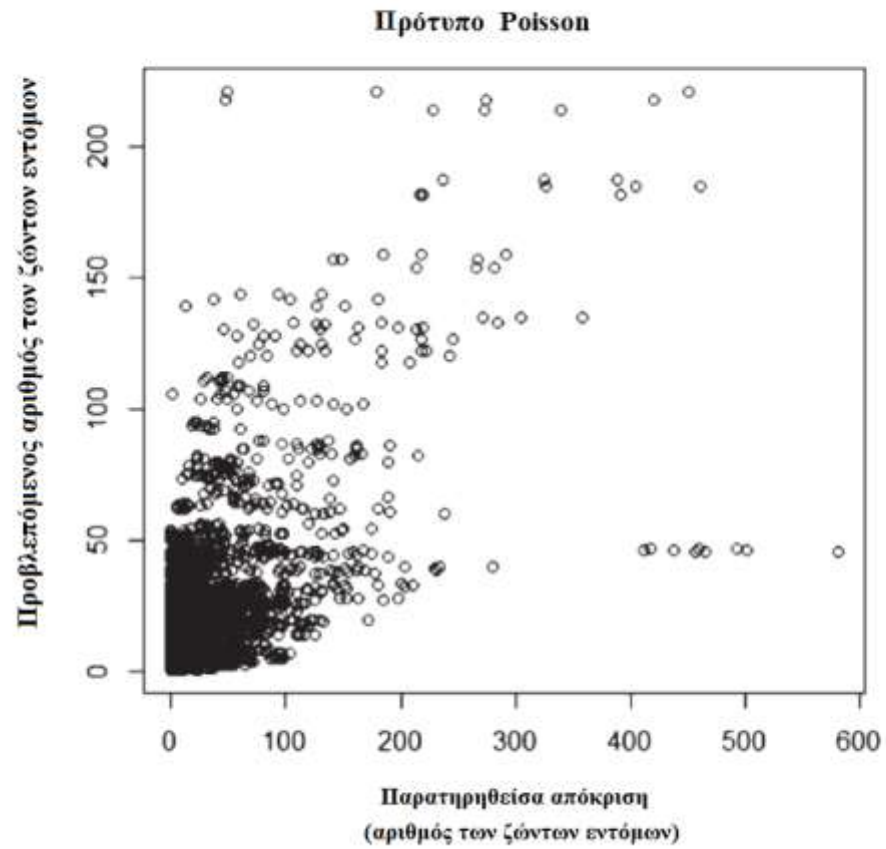
\*\*Σημαντικό στο 1% επίπεδο σημαντικότητας (p-value < 0,01).

μ.σ.: μη σημαντικό.

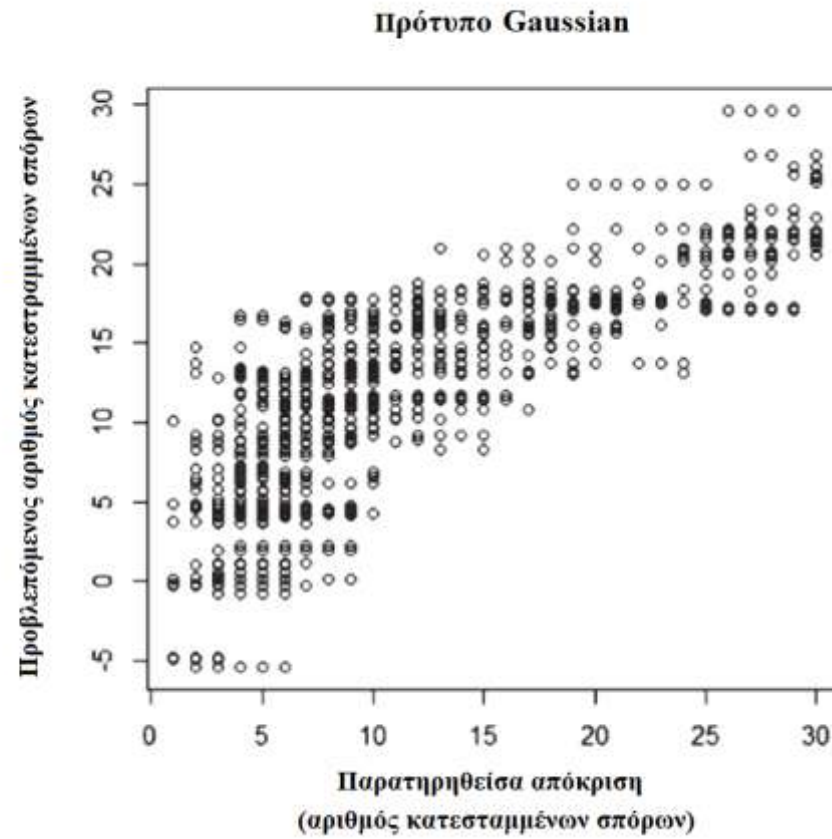
### 2.3.6 Διαγράμματα



**Διάγραμμα 2.3.6.1** Οπτική απόδοση του προτύπου Gaussian για την εξαρτημένη μεταβλητή ζώντα έντομα.

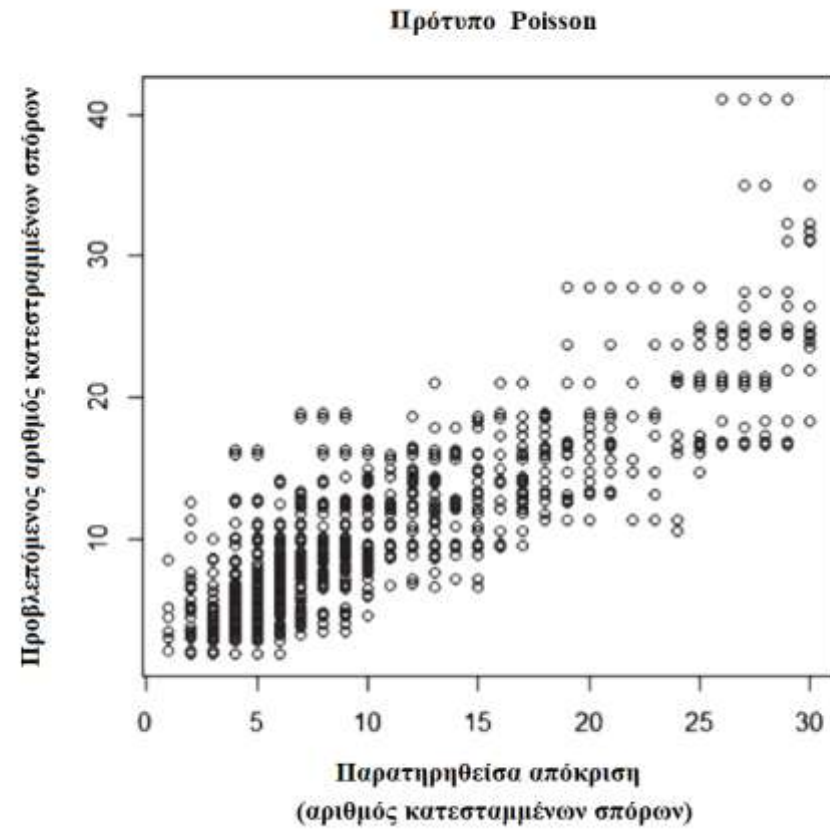


**Διάγραμμα 2.3.6.2** Οπτική απόδοση του προτύπου Poisson για την εξαρτημένη μεταβλητή ζώντα έντομα.



**Διάγραμμα 2.3.6.3** Οπτική απόδοση του προτύπου Gaussian για την εξαρτημένη μεταβλητή κατεστραμμένοι σπόροι.





**Διάγραμμα 2.3.6.4** Οπτική απόδοση του προτύπου Poisson για την εξαρτημένη μεταβλητή κατεστραμμένοι σπόροι.

### 2.3.7 Βιβλιογραφία

- Arbogast, R. T., & Throne, J. E. (1997). Insect infestation of farm-stored maize in south Carolina: towards characterization of a habitat. *Journal of Stored Products Research*, 33, 187–198.
- Arthur, F. H., Campbell, J. F., & Toews, M. D. (2014). Distribution, abundance, and seasonal patterns of stored product beetles in a commercial food storage facility. *Journal of Stored Products Research*, 56, 21–32.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Palyvos, N. E., & Buchelos, C. Th. (2003). Three-dimensional distribution and sampling indices of insects and mites in horizontally-stored wheat. *Applied Entomology and Zoology*, 38, 413–426.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Palyvos, N. E., Sciarretta, A., & Trematerra, P. (2005). Spatiotemporal distribution of insects and mites in horizontally stored wheat. *Journal of Economic Entomology*, 98, 1058–1069.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Sciarretta, A., Palyvos, N. E., & Trematerra, P. (2011). Spatial associations of insects and mites in stored wheat. *Journal of Economic Entomology*, 104, 1752–1764.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Throne, J. E., & Nakas, C. T. (2014). Competition among species of stored-product psocids (Psocoptera) in stored grain. *PLoS ONE*, 9, e102867.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., & Campbell, J. F. (2017). Competition of three species of *Sitophilus* on rice and maize. *PLoS ONE*, 12, e0173377.
- Aukema, J. E., McCullough, D. G., Von Holle, B., Liebhold, A. M., Britton, K., & Frankel, S. J. (2010). Historical accumulation of nonindigenous forest pests in the continental United States. *BioScience*, 60, 886–897.

- Aulicky, R., Kolar, V., Plachy, J., & Stejskal, V. (2017). Field efficacy of brief exposure of adults of six storage pests to nitrogen-controlled atmospheres. *Plant Protection Science*, 53, 169–176.
- Azrag, A. G. A., Pirk, C. W. W., Yusuf, A. A., Pinard, F., Niassy, S., Mosomtai, G., & Babin, R. (2018). Prediction of insect pest distribution as influenced by elevation: Combining field observations and temperature dependent development models for the coffee stink bug, *Antestiopsis thunbergii* (Gmelin). *PLoS ONE*, 13, e0199569.
- Beckett, S. J., & Evans, D. E. (1994). The demography of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on kibbled wheat. *Journal of Stored Products Research*, 30, 121–137.
- Bell, R. J., & Watters, F. L. (1982). Environmental factors influencing the development and rate of increase of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored maize. *Journal of Stored Products Research*, 18, 131–142.
- Bolívar Silva, D. A., Guedes, N. M. P., & Guedes, R. N. C. (2018). Larval cannibalism and fitness in the stored grain weevils *Sitophilus granarius* and *Sitophilus zeamais*. *Journal of Pest Science*, 91, 707–716.
- Boxall, R. A. (2002). Damage and loss caused by the larger grain borer *Prostephanus truncatus*. *Integrated Pest Management Reviews*, 7, 105–121.
- CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International) (2019). *Oryzaephilus surinamensis* (saw toothed grain beetle grain beetle). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/37988>. Accessed on 10 August 2021.
- Crombie, A. C. (1946). Further experiments on insect competition. *Proceedings of the Royal Society B*, 133, 76–109.
- Demetrio, C. G. B., Hinde, J., & Moral, R. A. (2014). Models for overdispersed data in entomology. In C. P. Ferreira, & W. A. C. Godoy (Eds.),

- Ecological modelling applied to entomology (pp. 219–259). Cham: Springer.
- Fadamiro, H. Y., & Wyatt, T. D. (1995). Flight initiation by *Prostephanus truncatus* in relation to time of day, temperature, relative humidity and starvation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 75, 273–277.
- Gigante, E. T., Lim, E. J., Crisostomo, K. G., Cornejo, P., & Rodriguez, L. J. (2020). Increase in humidity widens heat tolerance range of tropical *Ceratosolen* fig wasps. *Ecological Entomology*, 46, 573–581.
- Guedes, N. M. P., Guedes, R. N. C., Campbell, J. F., & Throne, J. E. (2010). Contest behaviour of maize weevil larvae when competing within seeds. *Animal Behaviour*, 79, 281–289.
- Hagstrum, D. W., & Subramanyam, Bh. (2008). *Fundamentals of stored-product entomology*. St. Paul, MN: AACC International.
- Hagstrum, D. W., & Subramanyam, B. (2009): *Stored-product insect resource*. AACC International, St. Paul, MN.
- Hill, D. S. (2003). *Pests of storage foodstuffs and their control*. New York, NY: Kluwer Academic Publishers.
- Kavallieratos, N. G., Andrić, G., Pražić Golić, M., Nika, E. P., Skourti, A., & Papanikolaou, N. E. (2020). Biological features and population growth of two southeastern European *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) strains. *Insects*, 11, 218.
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Guedes, R. N. C., Drepela, J. D., & Boukouvala, M. C. (2017). Invader competition with local competitors: Displacement or coexistence among the invasive khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae), and two other major stored-grain beetles? *Frontiers in Plant Science*, 8, 1837.
- Kavallieratos, N. G., Papanikolaou, N. E., Kazani, A. N., Boukouvala, M. C., & Malesios, C. (2021). Using multilevel models to explore the impact of abiotic and biotic conditions on the efficacy of pirimiphos-methyl

against *Tenebrio molitor* L. Environmental Science and Pollution Research.

Krinsky, W. L. (2019). Beetles (Coleoptera). In G. R., Mullen, & L. A., Durden (Eds.) Medical and Veterinary Entomology (pp. 129–143). London: Elsevier Academic Press.

Kumar, R. (2017). Insect pests of stored grain. Biology, behavior, and management strategies. Waretown, NJ: Apple Academic Press.

Lamb, R. J., & Loschiavo, S. R. (1981). Diet, temperature, and the logistic model of developmental rate for *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). The Canadian Entomologist, 113, 813–818.

LeCato, G. L. (1975). Interactions among four species of stored-product insects in corn: a multifactorial study. Annals of the Entomological Society of America, 68, 677–679.

Makundi, R. H., Swila, N. N., Misangu, R. N., Reuben, S. W. M., Mwatawala, M., Sikira, A., Kilonzo, B. S., Lyimo, H., Massawe, A. W., & Ishengoma, C. (2010). Dynamics of infestation and losses of stored maize due to the larger grain borer (*Prostephanus truncatus* Horn) and maize weevils (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). Archives of Phytopathology and Plant Protection, 43, 1346–1355.

Mahroof, R. M., & Hagstrum, D. W. (2012). Biology, behavior, and ecology of insects in processed commodities. In D. W. Hagstrum, T. W. Phillips, & G. Cuperus (Eds.), Stored product protection (pp. 33–44). Manhattan, KS: Kansas State University.

Myers, S. W., & Hagstrum, D. W. (2012). Quarantine. In D.W. Hagstrum, T.W. Phillips, & G. Cuperus (Eds.), Stored product protection (pp. 297–304). Manhattan, KS: Kansas State University.

Nansen, C., Flinn, P., Hagstrum, D., Toews, M. D., & Meikle, W. G. (2009). Interspecific associations among stored-grain beetles. Journal of Stored Products Research, 45, 254–260.

- Nansen, C., Subramanyam, Bh., & Roesli, R. (2004). Characterizing spatial distribution of trap captures of beetles in retail pet stores using SADIE<sup>®</sup> software. *Journal of Stored Products Research*, 40, 471–483.
- Nietupski, M. (2020). Competition or cooperation? - the concurrent development of grain weevil (*Sitophilus granarius* L.) and lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* F.) on barley grain. *Progress in Plant Protection*, 60, 149–156.
- Nika, E. P., Kavallieratos, N. G., & Papanikolaou, N. E. (2020). Developmental and reproductive biology of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on seven commodities. *Journal of Stored Products Research*, 87, 101612.
- Nika, E. P., Kavallieratos, N. G., Papanikolaou, N. E. (2021). Linear and non-linear models to explain influence of temperature on life history traits of *Oryzaephilus surinamensis* (L.). *Entomologia Generalis*, 41, 157–167.
- Papanikolaou, N. E., Kavallieratos, N. G., Boukouvala, M. C., & Malesios, C. (2018). Do temperature, relative humidity and interspecific competition alter the population size and the damage potential of stored-product insect pests? A hierarchical multilevel modeling approach. *Journal of Thermal Biology*, 78, 415–422.
- Peterson, A. (1951). *Larvae of insects, part II*. Ann Arbor, MI: Edwards Brothers Inc.
- Quellhorst, H., Athanassiou, C. G., Bruce, A., Scully, E. D., & Morrison, W. R. (2020). Temperature-mediated competition between the invasive larger grain borer (Coleoptera: Bostrichidae) and the cosmopolitan maize weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Entomology*, 49, 255–264.
- R Development Core Team (2020). R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.Rproject.org>. Accessed on 10 August 2021.

- Rees, D. (2004). *Insects of stored products*. London: Manson Publishing.
- Robinson, W. H. (2005). *Urban insects and arachnids. A handbook of urban entomology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sakka, M. K., & Athanassiou, C. G. (2018). Competition of three stored-product bostrychids on different temperatures and commodities. *Journal of Stored Products Research*, 79, 34–39.
- Semeao, A. A., Campbell, J. F., Hutchinsonc, J. M. S., Whitwortha, R. J., & Sloderbeck, P. E. (2013). Spatio-temporal distribution of stored-product insects around food processing and storage facilities. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 165, 151–162.
- Throne, J. E., & Weaver, D. K. (2013). Impact of temperature and relative humidity on life history parameters of adult *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Stored Products Research*, 55, 128–133.
- Tochen, S., Woltz, J. M., Dalton, D. T., Lee, J. C., Wiman, N. G., & Walton, V. M. (2016). Humidity affects populations of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in blueberry. *Journal of Applied Entomology*, 140, 45–57.
- Vendl, T., Stejskal, V., & Aulicky, R. (2019). Comparative tarsal morphology of two secondary stored product beetle pests, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) and *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens), that vary in their climbing ability on smooth surfaces. *Journal of Stored Products Research*, 82, 116–122.
- White, N. D. G. (1995). Insects, mites and insecticides in stored-grain ecosystems. In D. S. Jayas, N. D. G. White, & W. E. Muir (Eds.), *Stored-grain ecosystems* (pp. 123–167) New York, NY: Marcel Dekker Inc.

### **3. ΕΙΚΟΝΕΣ**





**Εικ. 3.1 Ο χώρος του εντομοτροφείου.**



**Εικ. 3.2 Συντήρηση εκτροφών στον χώρο του εντομοτροφείου.**



**Εικ. 3.3** Τέλειο άτομο, νύμφη, προνύμφη και ωό *O. surinamensis*.



**Εικ. 3.4** Ωο *O. surinamensis* εναποτεθέν σε ελεύθερη επιφάνεια.



**Εικ. 3.5 Ραχιαία όψη προνύμφης *O. surinamensis*.**



**Εικ. 3.6 Στερνική όψη προνύμφης *O. surinamensis*.**



**Εικ. 3.7 Ραχιαία όψη νύμφης *O. surinamensis*.**



**Εικ. 3.8 Στερνική όψη νύμφης *O. surinamensis*.**



**Εικ. 3.9 Ραχιαία όψη τελείου *O. surinamensis*.**



**Εικ. 3.10 Στερνική όψη τελείου *O. surinamensis*.**



Εικ. 3.11 Άρρεν τέλειο άτομο *O. surinamensis* (με διακριτή άκανθα στον μηρό).



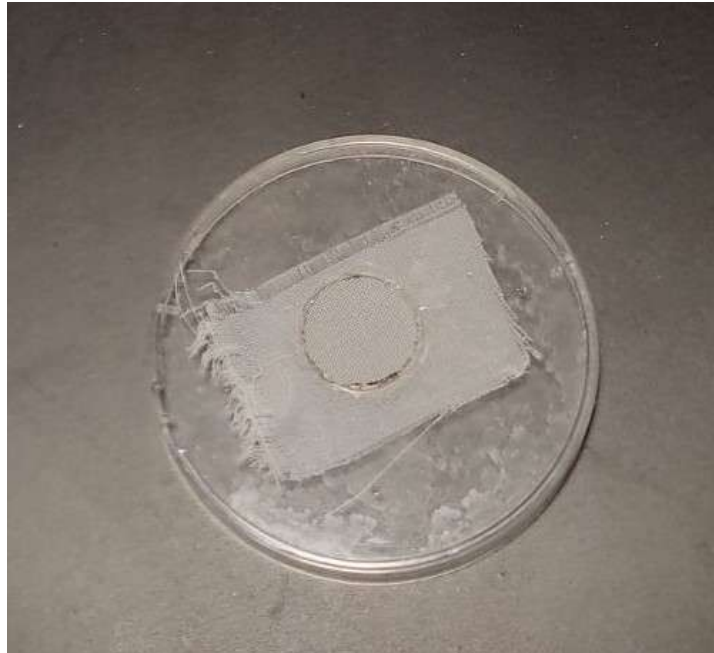
Εικ. 3.12 Θήλυ τέλειο άτομο *O. surinamensis* (χωρίς άκανθα στον μηρό).



**Εικ. 3.13 Polytetrafluoroethylen.**



**Εικ. 3.14 Τρυβλία Petri χωρίς (αριστερά) και με polytetrafluoroethylen (δεξιά).**



**Εικ. 3.15 Καπάκι τρυβλίου Petri με κυκλική οπή κεκαλυμμένη με μουσελίνα.**



**Εικ. 3.16 Γυάλινο βάζο με λευκό αλεύρι σίτου και άτομα *O. surinamensis* για την παραγωγή ωών.**





**Εικ. 3.17** Κόσκινα για την απομόνωση των ωών *O. surinamensis* από το λευκό αλεύρι σίτου.



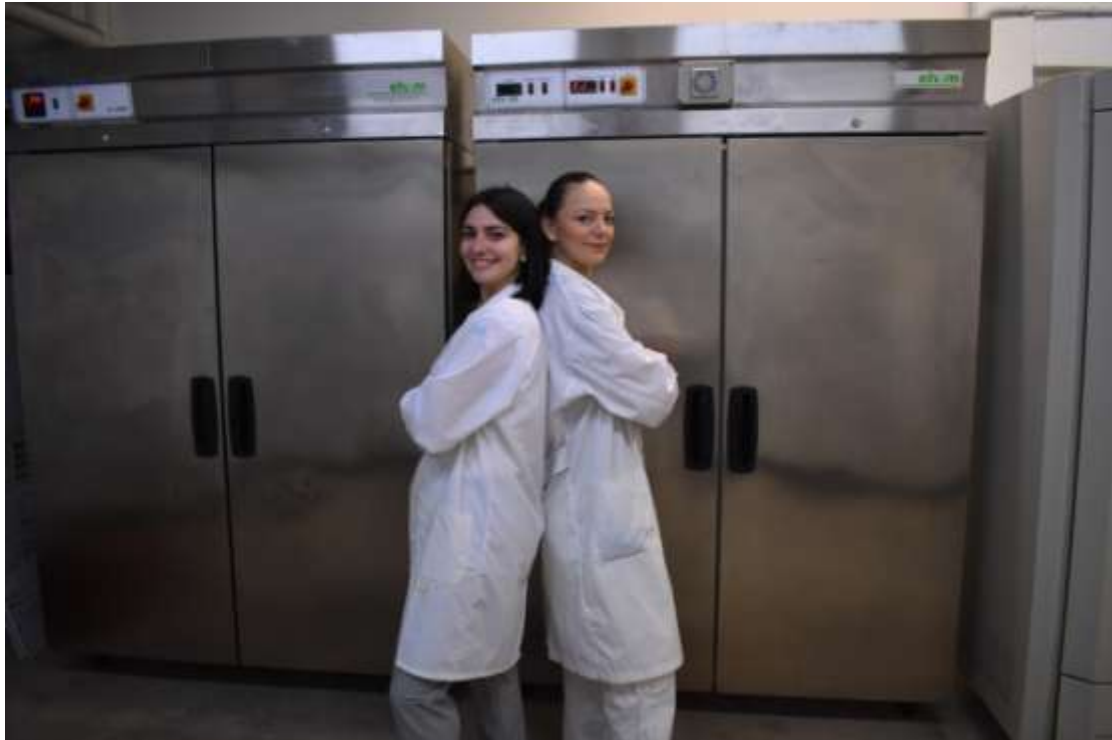
**Εικ. 3.18** Ωα *O. surinamensis* εναποτιθέντα σε αλεύρι.



**Εικ. 3.19 Θάλαμοι ελεγχόμενων συνθηκών.**



**Εικ. 3.20 Θάλαμοι ελεγχόμενων συνθηκών.**



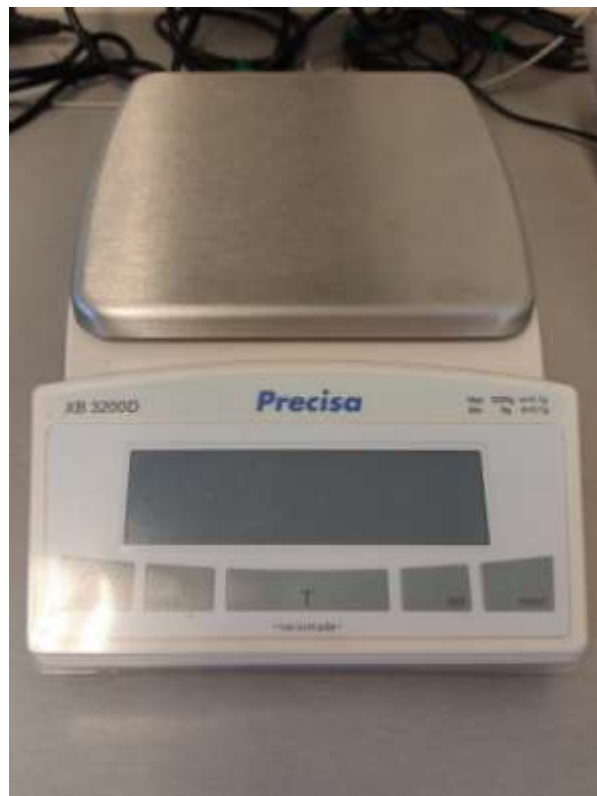
**Εικ. 3.21 Θάλαμοι ελεγχόμενων συνθηκών.**



**Εικ. 3.22 Θάλαμος ελεγχόμενων συνθηκών και κλίβανος απεντωμώσεων.**



**Εικ. 3.23 Κλίβανος απεντομώσεων με τα σκεύη προς απεντόμωση.**



**Εικ. 3.24 Ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας.**



**Εικ. 3.25 Φιαλίδια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα του ανταγωνισμού.**



**Εικ. 3.26 Κόσκινα προς χρήση στον πειραματισμό.**



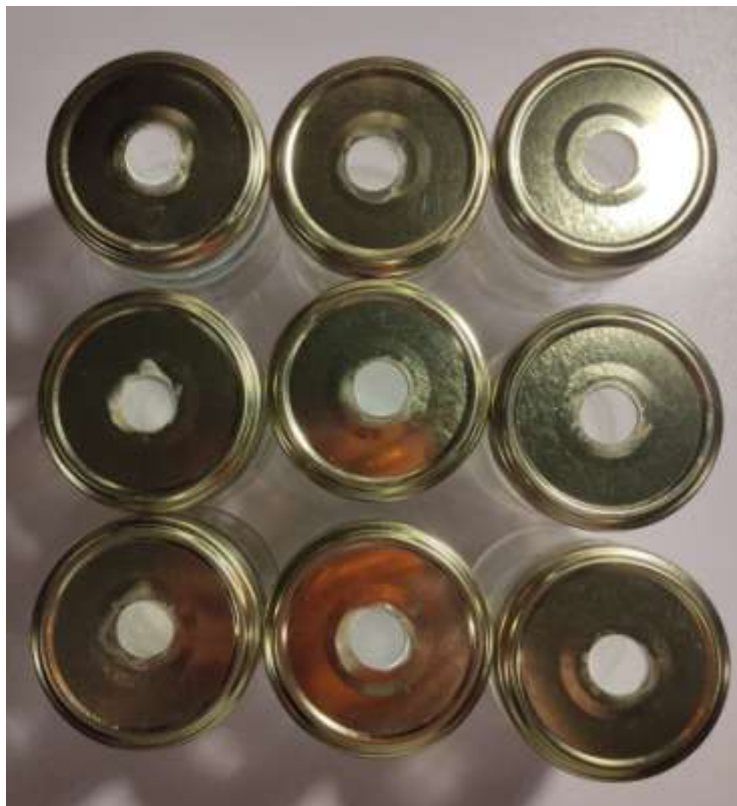
**Εικ. 3.27 Φιαλίδιο βιοδοκιμών για το πείραμα του ανταγωνισμού.**



**Εικ. 3.28 Φιαλίδιο βιοδοκιμών για το πείραμα του ανταγωνισμού με επίστρωση polytetrafluoroethylen.**



**Εικ. 3.29 Καπάκι γυάλινων φιαλιδίων με κυκλική οπή κεκαλυμμένη με γάζα.**



**Εικ. 3.30 Μία πλήρης σειρά φιαλιδίων με 3 επαναλήψεις και 3 υποεπαναλήψεις για το πείραμα του ανταγωνισμού.**



**Εικ. 3.31** Μία πλήρης σειρά φιαλιδίων με 3 επαναλήψεις και 3 υποεπαναλήψεις για το πείραμα του ανταγωνισμού.

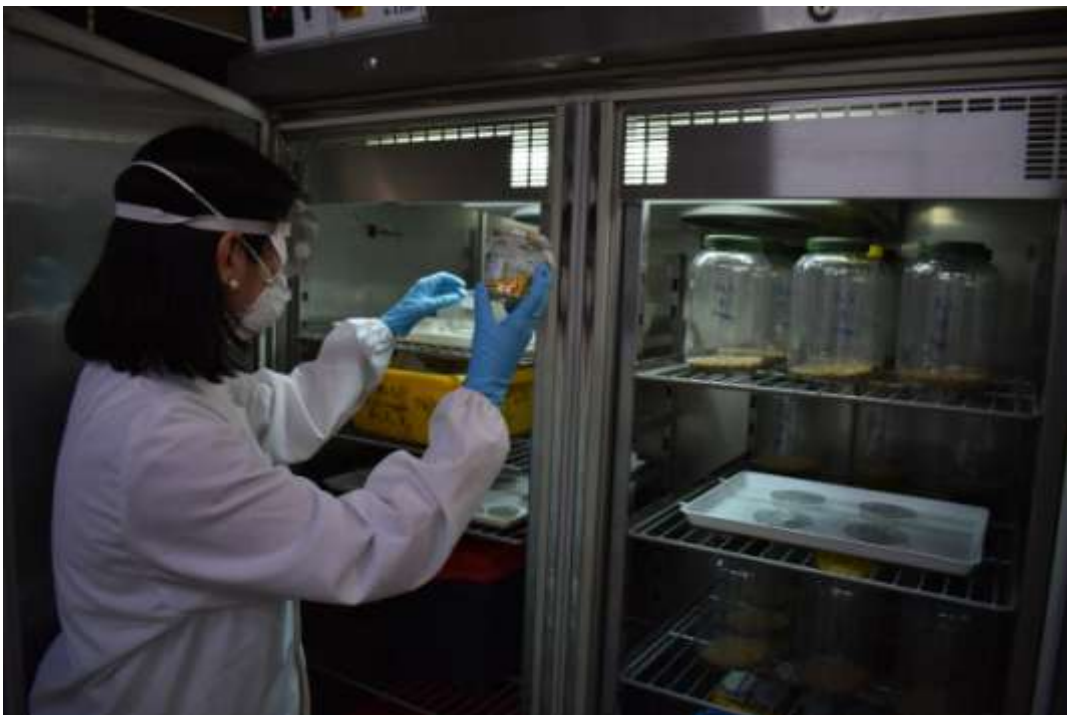


**Εικ. 3.32** Μία πλήρης σειρά φιαλιδίων με 3 επαναλήψεις και 3 υποεπαναλήψεις για το πείραμα του ανταγωνισμού.





**Εικ. 3.33 Σειρές επαναλήψεων πριν εισαχθούν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών.**



**Εικ. 3.34 Εισαγωγή φιαλιδίων σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών για το πείραμα του ανταγωνισμού.**



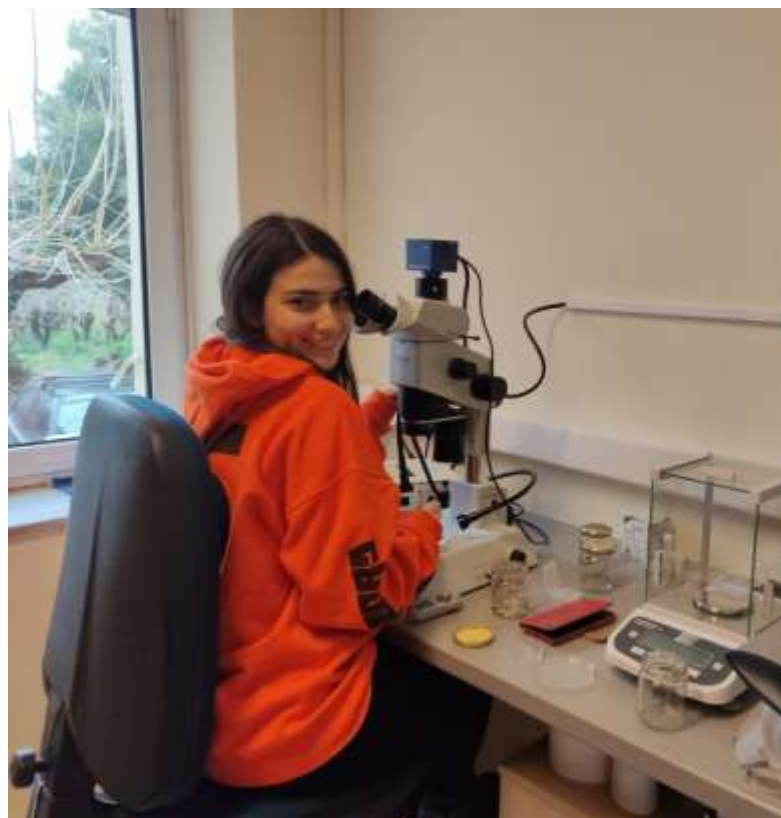
**Εικ. 3.35 Χρήση του κλίβανου.**



**Εικ. 3.36 Χρήση του κλίβανου.**



**Εικ. 3.37 Μετρήσεις στο στερεοσκόπιο.**



**Εικ. 3.38 Μετρήσεις στο στερεοσκόπιο.**



**Εικ. 3.39** Μετρήσεις στο στερεοσκόπιο.



**Εικ. 3.40** Τέλειο άτομο *T. confusum*.



**Εικ. 3.41** Νύμφη *T. confusum*.



**Εικ. 3.42** Προνύμφη *T. confusum*.



**Εικ. 3.43** Τέλειο άτομο *P. truncatus*.



**Εικ. 3.44** Οπές, φαγώματα και παραγωγή σκόνης από την δράση των εντόμων στο πείραμα του ανταγωνισμού.

## **4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύτηκε την αναπτυξιακή και αναπαραγωγική βιολογία του *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) και τον ανταγωνισμό του εντόμου με τα *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) και *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae). Τα ευρήματά της επισήμαναν ότι η θερμοκρασία και το είδος της τροφής ήσαν σημαντικά για την ανάπτυξή του εντόμου και την αύξηση του πληθυσμού του. Μέσα από την μελέτη των βιολογικών παραμέτρων του *O. surinamensis* αξιολογήθηκε η καταλληλότητα του σιμιγδαλιού, του σπασμένου σίτου, του αλεύρου αραβοσίτου, του σπασμένου αραβοσίτου, των νιφάδων βρώμης, του αλεύρου κριθής ολικής αλέσεως και της σπασμένης κριθής. Ο έλεγχος των τροφών, οι οποίες υποστηρίζουν την πληθυσμιακή ανάπτυξη του *O. surinamensis*, πρέπει να είναι εξονυχιστικός μετά την συγκομιδή τους και κατά την αποθήκευσή τους, προς αποφυγή της εξάρσεως του πληθυσμού και της διασποράς του εντόμου και των συνακόλουθου υποβιβασμού τους, ποιοτικώς και ποσοτικώς. Παρομοίως, οι τροφές που δεν υποστηρίζουν την ανάπτυξη του *O. surinamensis* πρέπει να ελέγχονται προς αποφυγή της επιβιώσεως και της διασποράς του εντόμου σε άλλες τροφές οι οποίες πιθανώς να βοηθήσουν την ανάπτυξή του. Επιπλέον, η παρούσα μελέτη παραθέτει πληροφορίες για τις βιολογικές παραμέτρους του *O. surinamensis* σε πληθώρα θερμοκρασιών (20 °C, 25 °C, 30 °C, 32,5 °C και 35 °C). Κατά την επικράτηση ευνοϊκών θερμοκρασιών για την πληθυσμιακή ανάπτυξη του εντόμου, είναι απαραίτητος ο ενδεδειγμένος έλεγχος των αποθηκευμένων τροφίμων για τον εντοπισμό τυχόν προσβολών, οι οποίες μπορούν να αυξηθούν σε μέγεθος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ο έλεγχος των αποθηκευμένων τροφίμων σε μη ευνοϊκές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη του *O. surinamensis* είναι μείζονος σημασίας, καθώς ο εντοπισμός μικρών προσβολών μπορεί να έχει μεγάλη σημασία σε αλλαγές της θερμοκρασίας οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη του εντόμου. Παρά ταύτα, χρειάζονται περαιτέρω μελέτες με άλλους εργαστηριακούς και φυσικούς πληθυσμούς του *O. surinamensis*, σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, επί διαφορετικών προϊόντων και ποικιλιών/υβριδίων δημητριακών, ώστε να διαλευκανθεί η πολύπλοκη ανάπτυξη του εντόμου. Τα αποκτηθέντα βιολογικά χαρακτηριστικά του *O.*



*surinamensis* δύναται να ενσωματωθούν σε πρότυπα τα οποία εκτιμούν την αναπαραγωγή και την δυναμική του πληθυσμού του.

Περί των αποτελεσμάτων της παρούσης διδακτορικής διατριβής για τον ανταγωνισμό, η συνύπαρξη των τριών ειδών εντόμων στους εξετασθέντες συνδυασμούς, μείωσε σχεδόν σε όλους τους συνδυασμούς τον αριθμό των ζώντων εντόμων, και αύξησε σχεδόν σε όλους τους συνδυασμούς τους κατεστραμμένους σπόρους και την παραγωγή σκόνης από την δράση τους. Η παρουσία του *O. surinamensis* είχε ως αποτέλεσμα την μείωση των ζώντων εντόμων σε όλους τους συνδυασμούς οι οποίοι εξετάστηκαν. Ο συνδυασμός *O. surinamensis* - *P. truncatus* οδήγησε στην αύξηση των κατεστραμμένων σπόρων σε σχέση με την κατά μόνας εξέταση των εντόμων. Αντιθέτως, ο συνδυασμός *O. surinamensis* - *T. confusum* οδήγησε στην μείωση των κατεστραμμένων σπόρων αραβοσίτου σε σχέση με την κατά μόνας εξέταση των εντόμων. Όσον αφορά την παραγωγή σκόνης, η παρουσία του *O. surinamensis* στους συνδυασμούς προκάλεσε την μείωσή της. Ο συνδυασμός *O. surinamensis* - *P. truncatus* περιελάμβανε περισσότερα ζώντα έντομα σε σχέση με τον συνδυασμό *O. surinamensis* - *T. confusum* - *P. truncatus*. Αντιθέτως ο συνδυασμός *O. surinamensis* - *T. confusum* περιελάμβανε τα λιγότερα ζώντα έντομα σε σχέση με συνδυασμούς *O. surinamensis* - *P. truncatus* και *O. surinamensis* - *T. confusum* - *P. truncatus*. Το *P. truncatus* ήταν το πιο καταστροφικό είδος σε όλες τις εξαρτημένες μεταβλητές (ζώντα έντομα, κατεστραμμένοι σπόροι, παραγωγή σκόνης). Η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η περίοδος εκθέσεως και ο συνδυασμός των εντόμων επηρέασαν τις παραπάνω αποκρίσεις. Η εξέταση περισσότερων ειδών και συνδυασμών εντόμων σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, επί περισσότερων προϊόντων και ποικιλιών/υβριδίων δημητριακών, σε περισσότερες εκθέσεις των εντόμων είναι απαραίτητη προκειμένου να διαφωτιστούν οι πολύπλοκες δια-ειδικές και ενδο-ειδικές σχέσεις των εντόμων αποθηκών.

## **5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

### **5.1 Παράρτημα**

Δημοσιεύσεις

### **5.2 Παράρτημα**

Πίνακες

### **5.3 Παράρτημα**

Διαγράμματα

## 5.1 Δημοσιεύσεις

### 5.1.1 Δημοσιεύσεις σε έγκριτα διεθνή περιοδικά

**Nika E. P.**, N. G. Kavallieratos, N. E. Papanikolaou **2020**. Developmental and reproductive biology of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on seven commodities. *Journal of Stored Products Research* 87: 101612. **(Impact Factor 2021 = 2,831. 5-years Impact Factor = 3,038)**

**Nika E. P.**, N. G. Kavallieratos, N. E. Papanikolaou **2021**. Linear and non-linear models to explain influence of temperature on life history traits of *Oryzaephilus surinamensis* (L.). *Entomologia Generalis* 41: 157-167. **(Impact Factor 2021 = 6,608. 5-years Impact Factor = 4,803)**

**Nika E. P.**, N. G. Kavallieratos, N. E. Papanikolaou, M. Chrisovalantis **2022**. Interactions of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) with two key stored-product pests under variable abiotic conditions. *Entomologia Generalis* 42: 471-478 **(Impact Factor 2021 = 6,608. 5-years Impact Factor = 4,803)**

### 5.1.2 Συμμετοχές σε συνέδρια

**Νίκα Ε. Π.**, Ν. Γ. Καβαλλιεράτος, Ν. Ε. Παπανικολάου, Χ. Μαλέσιος **2022**. Αλληλεπιδράσεις του *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) με τα *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) και *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) σε διαφορετικές αβιοτικές συνθήκες. *Περίληψεις 19ου Πανελληνίου Εντομολογικού Συνεδρίου* σελ. 146

## 5.2 Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 2.1.5.1** Διάρκεια αναπτύξεως των προνυμφών και των νυμφών, διάρκειας ζωής των τελείων ατόμων και γονιμότητα των θηλέων ατόμων (μέσος όρος  $\pm$  SE, διάμεσος) του *O. surinamensis* όταν εξετράφη σε επτά διαφορετικά προϊόντα.....**82**
- Πίνακας 2.1.5.2** Χρόνος επιβιώσεως σε ημέρες (μέσος όρος, 95% διάστημα εμπιστοσύνης = C.I.) του *O. surinamensis* όταν εξετράφη σε επτά διαφορετικά προϊόντα.....**84**
- Πίνακας 2.2.5.1** Διάρκεια αναπτύξεως των ατελών σταδίων, διάρκεια ζωής των τελείων ατόμων σε ημέρες (μέσος όρος  $\pm$  SE, διάμεσος) και γονιμότητα των θηλέων τελείων ατόμων (ωά/θήλυ) του *O. surinamensis* υπό διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίες.....**108**
- Πίνακας 2.2.5.2** Χρόνος επιβιώσεως σε ημέρες (μέσος όρος, 95% διάστημα εμπιστοσύνης) και καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός του *O. surinamensis* υπό διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίες.....**110**
- Πίνακας 2.3.5.1** Αποτελέσματα καλής προσαρμογής για τα πρότυπα παλινδρομήσεως.....**141**
- Πίνακας 2.3.5.2** Εκτιμήσεις παραμέτρων του καλύτερου επιλεγμένου προτύπου (εξαρτημένη μεταβλητή: ζώντα έντομα) συναρτήσεως κατανομής (Πρότυπο Poisson με όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές - Πρότυπο 1, μαζί με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας).....**143**
- Πίνακας 2.3.5.3** Εκτιμήσεις παραμέτρων του καλύτερου επιλεγμένου προτύπου (εξαρτημένη μεταβλητή: κατεστραμμένοι σπόροι) συναρτήσεως κατανομής (Πρότυπο Poisson χωρίς την ανεξάρτητη μεταβλητή “Επανάληψη”, μαζί με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας).....**145**
- Πίνακας 2.3.5.4** Εκτιμήσεις παραμέτρων του καλύτερου επιλεγμένου προτύπου (εξαρτημένη μεταβλητή: σκόνη) (Πρότυπο Gaussian χωρίς την ανεξάρτητη μεταβλητή “Επανάληψη”, μαζί με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας).....**147**

### 5.3 Κατάλογος Διαγραμμάτων

<b>Διάγραμμα 2.1.6.1</b> Καμπύλες επιβίωσης του <i>Oryzaephilus surinamensis</i> όταν εξετράφη με επτά τροφές.....	<b>85</b>
<b>Διάγραμμα 2.2.6.1</b> Προσαρμογή του προτύπου Briere στα παρατηρηθέντα δεδομένα της συνολικής αναπτύξεως των ατελών σταδίων του <i>Oryzaephilus surinamensis</i> .....	<b>111</b>
<b>Διάγραμμα 2.2.6.2</b> Προσαρμογή του προτύπου Ikemoto and Takai στα παρατηρηθέντα δεδομένα της συνολικής αναπτύξεως των ατελών σταδίων του <i>Oryzaephilus surinamensis</i> .....	<b>112</b>
<b>Διάγραμμα 2.2.6.3</b> Πρότυπο του ποσοστού επιβίωσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία για το σύνολο της περιόδου της αναπτύξεως των ατελών σταδίων του <i>Oryzaephilus surinamensis</i> .....	<b>113</b>
<b>Διάγραμμα 2.2.6.4</b> Καμπύλες επιβίωσης του <i>Oryzaephilus surinamensis</i> υπό σταθερές θερμοκρασίες.....	<b>114</b>
<b>Διάγραμμα 2.3.6.1</b> Οπτική απόδοση του προτύπου Gaussian για την εξαρτημένη μεταβλητή ζώντα έντομα.....	<b>149</b>
<b>Διάγραμμα 2.3.6.2</b> Οπτική απόδοση του προτύπου Poisson για την εξαρτημένη μεταβλητή ζώντα έντομα. ....	<b>150</b>
<b>Διάγραμμα 2.3.6.3</b> Οπτική απόδοση του προτύπου Gaussian για την εξαρτημένη μεταβλητή κατεστραμμένοι σπόροι. ....	<b>151</b>
<b>Διάγραμμα 2.3.6.4</b> Οπτική απόδοση του προτύπου Poisson για την εξαρτημένη μεταβλητή κατεστραμμένοι σπόροι. ....	<b>152</b>

## 5.4 Κατάλογος Εικονών

<b>Εικ. 3.1</b> Ο χώρος του εντομοτροφείου.....	<b>160</b>
<b>Εικ. 3.2</b> Συντήρηση εκτροφών στον χώρο του εντομοτροφείου.....	<b>160</b>
<b>Εικ. 3.3</b> Τέλειο άτομο, νύμφη, προνύμφη και ωό <i>O. surinamensis</i> .....	<b>161</b>
<b>Εικ. 3.4</b> Ωο <i>O. surinamensis</i> εναποτεθέν σε ελεύθερη επιφάνεια.....	<b>161</b>
<b>Εικ. 3.5</b> Ραχιαία όψη προνύμφης <i>O. surinamensis</i> .....	<b>162</b>
<b>Εικ. 3.6</b> Στερνική όψη προνύμφης <i>O. surinamensis</i> .....	<b>162</b>
<b>Εικ. 3.7</b> Ραχιαία όψη νύμφης <i>O. surinamensis</i> .....	<b>163</b>
<b>Εικ. 3.8</b> Στερνική όψη νύμφης <i>O. surinamensis</i> .....	<b>163</b>
<b>Εικ. 3.9</b> Ραχιαία όψη τελείου <i>O. surinamensis</i> .....	<b>164</b>
<b>Εικ. 3.10</b> Στερνική όψη τελείου <i>O. surinamensis</i> .....	<b>164</b>
<b>Εικ. 3.11</b> Άρρεν τέλειο άτομο <i>O. surinamensis</i> (με διακριτή άκανθα στον μηρό).....	<b>165</b>
<b>Εικ. 3.12</b> Θήλυ τέλειο άτομο <i>O. surinamensis</i> (χωρίς άκανθα στον μηρό).....	<b>165</b>
<b>Εικ. 3.13</b> Polytetrafluoroethylen.....	<b>166</b>
<b>Εικ. 3.14</b> Τρυβλία Petri χωρίς (αριστερά) και με polytetrafluoroethylen (δεξιά).....	<b>166</b>
<b>Εικ. 3.15</b> Καπάκι τρυβλίου Petri με κυκλική οπή κεκαλυμμένη με μουσελίνα.....	<b>167</b>
<b>Εικ. 3.16</b> Γυάλινο βάζο με λευκό αλεύρι σίτου και άτομα <i>O. surinamensis</i> για την παραγωγή ωών.....	<b>167</b>
<b>Εικ. 3.17</b> Κόσκινα για την απομόνωση των ωών <i>O. surinamensis</i> από το λευκό αλεύρι σίτου.....	<b>168</b>
<b>Εικ. 3.18</b> Ωα <i>O. surinamensis</i> εναποτιθέντα σε αλεύρι.....	<b>168</b>

<b>Εικ. 3.19</b>	Θάλαμοι ελεγχόμενων συνθηκών.....	<b>169</b>
<b>Εικ. 3.20</b>	Θάλαμοι ελεγχόμενων συνθηκών.....	<b>169</b>
<b>Εικ. 3.21</b>	Θάλαμοι ελεγχόμενων συνθηκών.....	<b>170</b>
<b>Εικ. 3.22</b>	Θάλαμος ελεγχόμενων συνθηκών και κλίβανος απεντωμώσεων.....	<b>170</b>
<b>Εικ. 3.23</b>	Κλίβανος απεντομώσεων με τα σκεύη προς απεντόμωση.....	<b>171</b>
<b>Εικ. 3.24</b>	Ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας.....	<b>171</b>
<b>Εικ. 3.25</b>	Φιαλίδια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα του ανταγωνισμού.....	<b>172</b>
<b>Εικ. 3.26</b>	Κόσκινα προς χρήση στον πειραματισμό.....	<b>172</b>
<b>Εικ. 3.27</b>	Φιαλίδιο βιοδοκιμών για το πείραμα του ανταγωνισμού.....	<b>173</b>
<b>Εικ. 3.28</b>	Φιαλίδιο βιοδοκιμών για το πείραμα του ανταγωνισμού με επίστρωση polytetrafluoroethylen.....	<b>173</b>
<b>Εικ. 3.29</b>	Καπάκι γυάλινων φιαλιδίων με κυκλική οπή κεκαλυμμένη με γάζα.....	<b>174</b>
<b>Εικ. 3.30</b>	Μία πλήρης σειρά φιαλιδίων με 3 επαναλήψεις και 3 υποεπαναλήψεις για το πείραμα του ανταγωνισμού.....	<b>174</b>
<b>Εικ. 3.31</b>	Μία πλήρης σειρά φιαλιδίων με 3 επαναλήψεις και 3 υποεπαναλήψεις για το πείραμα του ανταγωνισμού.....	<b>175</b>
<b>Εικ. 3.32</b>	Μία πλήρης σειρά φιαλιδίων με 3 επαναλήψεις και 3 υποεπαναλήψεις για το πείραμα του ανταγωνισμού.....	<b>175</b>
<b>Εικ. 3.33</b>	Σειρές επαναλήψεων πριν εισαχθούν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών.....	<b>176</b>
<b>Εικ. 3.34</b>	Εισαγωγή φιαλιδίων σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών για το πείραμα του ανταγωνισμού.....	<b>176</b>

<b>Εικ. 3.35</b> Χρήση του κλίβανου.....	<b>177</b>
<b>Εικ. 3.36</b> Χρήση του κλίβανου.....	<b>177</b>
<b>Εικ. 3.37</b> Μετρήσεις στο στερεοσκόπιο.....	<b>178</b>
<b>Εικ. 3.38</b> Μετρήσεις στο στερεοσκόπιο.....	<b>178</b>
<b>Εικ. 3.39</b> Μετρήσεις στο στερεοσκόπιο.....	<b>179</b>
<b>Εικ. 3.40</b> Τέλειο άτομο <i>T. confusum</i> .....	<b>179</b>
<b>Εικ. 3.41</b> Νύμφη <i>T. confusum</i> . ....	<b>180</b>
<b>Εικ. 3.42</b> Προνύμφη <i>T. confusum</i> . ....	<b>180</b>
<b>Εικ. 3.43</b> Τέλειο άτομο <i>P. truncatus</i> .....	<b>181</b>
<b>Εικ. 3.44</b> Οπές, φαγώματα και παραγωγή σκόνης από την δράση των εντόμων στο πείραμα του ανταγωνισμού.....	<b>181</b>



