



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**Ανάπτυξη Διαφορετικών Πληθυσμών του *Prostephanus truncatus*
(Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) σε Διαφορετικές Θερμοκρασίες**

ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΘ

ΒΟΛΟΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021

**Ανάπτυξη Διαφορετικών Πληθυσμών του *Prostephanus truncatus*
(Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) σε Διαφορετικές Θερμοκρασίες**

Παπαδημητρίου Ελένη

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αθανασίου Γ. Χρήστος

Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Παπαδόπουλος Νικόλαος

Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καρκάνης Ανέστης

Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Copyright © ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΛΕΝΑ, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό.

Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στον Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας – Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Αθανασίου Χρήστο για την υπόδειξη του θέματος, την παροχή βιβλιογραφίας, την καθοδήγηση και τις υποδείξεις – διορθώσεις όλο το διάστημα που χρειάστηκε για τη σύνταξη της πτυχιακής μου διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Υποψήφια Διδάκτορα κα Γεωργία Μπαλιώτα, της οποίας η ενεργός συνεισφορά της υπήρξε καθοριστική κατά τη διάρκεια του πειράματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το καλαμπόκι κατατάσσεται στην κατηγορία των δημητριακών και αποτελεί βασική πηγή διατροφής σε πολλές χώρες στην Αφρική και τη Λατινική Αμερική. Παρά το μεγάλο ποσοστό παραγωγής και αποθήκευσης του καλαμποκιού παγκοσμίως, μετασυλλεκτικές απώλειες της τάξης του 20-30% ετησίως λόγω εντομολογικών προσβολών είναι συχνό φαινόμενο, ειδικά στις υποανάπτυκτες χώρες. Οι απώλειες αυτές οφείλονται κυρίως σε ένα έντομο, το *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). Το *P. truncatus* προήλθε από την Κεντρική Αμερική και το Μεξικό. Εισήχθη κατά λάθος στην Ανατολική Αφρική στο τέλος της δεκαετίας του 1970 ή στις αρχές τις δεκαετίας του 1980, όπου θεωρείται σήμερα ένα από τα πιο καταστροφικά έντομα του αραβοσίτου σε όλο το πλάτος της Αφρικής. Ταυτόχρονα, μοντέλα πρόβλεψης να αναφέρουν ότι θα παρατηρηθεί εξάπλωση του εντόμου και σε άλλες περιοχές όπου μέχρι τώρα δεν έχουν γίνει αναφορές. Δεδομένου ότι το είδος θεωρείται τροπικό, δηλαδή αναπαράγεται και επιβιώνει σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες, η γνώση των βέλτιστων θερμικών απαιτήσεων του εντόμου είναι απαραίτητη για την ακριβή πρόβλεψη ή την εξάλειψη μελλοντικών προσβολών, στοχεύοντας την άμεση και εύκολη ανίχνευσή του σε περιοχές όπου είναι πιθανό να εγκατασταθεί. Στην παρούσα ερευνητική εργασία, μελετήθηκε η πληθυσμιακή ανάπτυξη του *P. truncatus* σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών με σκοπό την ανάδειξη τόσο της βέλτιστης θερμοκρασίας για την αναπαραγωγή του είδους αλλά και της επισήμανσης των επιπέδων προσβολής σε χαμηλότερες και υψηλότερες από την βέλτιστη θερμοκρασίες. Ταυτόχρονα, μελετήθηκε η παραλλακτικότητα πληθυσμών του είδους προερχόμενοι από διαφορετικές περιοχές του κόσμου, με βάση την πληθυσμιακή τους ανάπτυξη σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Το βέλτιστο της ανάπτυξης των πληθυσμών που μελετήθηκαν τόσο από άποψη χρόνου όσο και αριθμού εντόμων παρατηρήθηκε σε θερμοκρασίες από 25 έως και 32 °C. Ταυτόχρονα, ο ρυθμός ανάπτυξης του είδους φάνηκε να επηρεάζεται από τον συνδυασμό θερμοκρασίας και χρονικής περιόδου. Διαφορές παρουσίασαν και οι πληθυσμοί μεταξύ τους, τόσο ως προς τον ρυθμό ανάπτυξής τους όσο και ως προς την προσβολή που προκάλεσαν στον σπόρο με την πάροδο του χρόνου. Τα αποτελέσματα της παρούσας ερευνητικής

εργασίας μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το *P. truncatus* παρουσιάζει διαφορετική θερμική απόκριση με γνώμονα την προέλευση του πληθυσμού.

ABSTRACT

Corn (maize) is a cereal grain which is widely cultivated throughout Africa and Latin America as a very important food source. Despite the mass production and storage of corn worldwide, postharvest losses of 20-30% per year may be observed due to entomological infestations, especially in developing countries. These losses are mainly due to the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *Prostephanus truncatus* is believed to have been introduced into West Africa through Central America and Mexico in the late 70s or early 80s and it is now one of the most destructive pest of corn all across Africa. Forecast models report that the insect will be spread to new areas that are currently free from this species. The species is considered to be tropical, therefore it requires high temperatures for its development and spread. Therefore, the knowledge of the optimal thermal requirements of the insect is necessary for the accurate prediction or elimination of future infestations, aiming at its immediate and early detection in areas where the pest is likely to establish. In the present work, the population growth of *P. truncatus* in a wide range of temperatures was studied, in order to highlight both the optimal temperature for the reproduction of the species but also to address the infestation levels at lower and higher temperatures. At the same time, the comparative evaluation of populations of *P. truncatus* obtained from different parts of the world was studied, based on their population growth at different temperatures. The optimal growth rate of the studied populations in terms of both developmental period and progeny production was observed at temperatures from 25 to 32 °C. At the same time, the growth rate of the species appeared to be affected by the combination of temperature and developmental period. Differences were observed between the populations, both in terms of their growth rate and the infestation they caused on the seed over time. The results of the present study lead us to the conclusion that *P. truncatus* has a different thermal response based on the origin of the population.

Εγώ, η Παπαδημητρίου Έλενα, είμαι η συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ' ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού.

Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής, δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης, έχουμε διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος της εργασίας.

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας – Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, έχουν τηρηθεί από την κα Παπαδημητρίου Έλενα.

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	11
1.1 Βιολογία του <i>Prostephanus truncatus</i>	13
1.2 Εξάπλωση του Είδους.....	13
1.2.1 Ιστορικά Δεδομένα & Γεωγραφική Κατανομή Σήμερα	13
1.2.2 Η Σημασία του Πληθυσμού	15
1.2.4 Πιθανά Σενάρια Εξάπλωσης στο Μέλλον	16
1.3 Σκοπός Παρούσας Μελέτης	18
2. Υλικά και Μέθοδοι	19
2.1 Έντομα	19
2.2 Πειραματισμός	19
2.3 Στατιστική Ανάλυση και Υπολογισμοί	20
3. Αποτελέσματα	22
4. Συζήτηση – Συμπεράσματα	35
5. Βιβλιογραφία.....	39

1. Εισαγωγή

Το καλαμπόκι ή αραβόσιτος (Cyperales: Poaceae) συγκαταλέγεται στην ευρύτερη κατηγορία των δημητριακών, όπου μαζί με το ρύζι και το σιτάρι, αποτελούν τις σημαντικότερες καλλιέργειες για την διατροφή του ανθρώπου παγκοσμίως. Θεωρείται ότι προήλθε από ένα άγριο χόρτο, το οποίο ιθαγενείς από το Κεντρικό Μεξικό ξεκίνησαν να το καλλιεργούν πριν από 7000 χρόνια, μετατρέποντάς το στην σημερινή του μορφή. Σήμερα ωστόσο, τόσο η Λατινική Αμερική όσο και η Αφρική καταναλώνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες καλαμποκιού ενώ και σε άλλες αναπτυσσόμενες χώρες είναι ιδιαίτερα σημαντικό δημητριακό καθώς καταλαμβάνει σχεδόν το ένα τρίτο των θερμίδων που καταναλώνονται από τον άνθρωπο ημερησίως (Quellhorst et al., 2021). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Βραζιλία και την Κίνα, παράγονται επίσης τεράστιες ποσότητες καλαμποκιού, που κυμαίνεται από 500 έως 700 εκατομμύρια τόνους το χρόνο (Εικ. 1). Περιέχει περίπου 72% άμυλο, 10% πρωτεΐνη και 4% λίπος και παρέχει 365 kcal/100g ενέργεια (Ranum et al., 2014). Εκτός από την παραγωγή του για ανθρώπινη κατανάλωση ή για ζωοτροφή, το καλαμπόκι αποτελεί και πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στον περιορισμό της χρήσης των παραγώγων πετρελαίου (Ranum et al., 2014).

Η κύρια λειτουργία της αποθήκευσης εποχιακών καλλιεργειών όπως το καλαμπόκι, είναι να εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της προσφοράς στην αγορά από την μια εποχή στην άλλη με την αποθήκευση του σπόρου όταν βρίσκεται σε πλεόνασμα (δηλαδή την εποχή που συγκομίζεται) και με την διάθεσή του πάλι στην αγορά με σταθερό ρυθμό για όλο τον υπόλοιπο χρόνο. Έτσι, το μεγαλύτερο ποσοστό του καλαμποκιού αποθηκεύεται μετά την συγκομιδή του για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, απώλειες σε μετασυλλεκτικό επίπεδο της τάξης του 20-30% ετησίως λόγω κακής αποθήκευσης είναι συχνό φαινόμενο, ειδικά στις υποανάπτυκτες χώρες. Καθώς λοιπόν το καλαμπόκι θεωρείται από τους βασικότερους πυλώνες της διατροφής του πληθυσμού σε παγκόσμιο επίπεδο, μπορούμε εύκολα να κατανοήσουμε γιατί η ελαχιστοποίηση των μετασυλλεκτικών απωλειών στα αποθηκευμένα προϊόντα είναι μείζονος σημασίας.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών κατά την αποθήκευση του καλαμποκιού οφείλονται κυρίως σε εντομολογικές προσβολές και ειδικότερα, σε ορισμένες περιοχές, σε ένα έντομο, το *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae), το οποίο είναι διεθνώς γνωστό ως “larger grain borer”. Το *P. truncatus* θεωρείται σήμερα ένα από τα πιο καταστροφικά έντομα του αραβοσίτου σε όλο το πλάτος της Αφρικής, ιδιαίτερα στις υποσαχάριες χώρες. Παράλληλα, μοντέλα πρόβλεψης αναφέρουν ότι θα παρατηρηθεί εξάπλωση του εντόμου και σε άλλες περιοχές όπου μέχρι τώρα δεν έχουν γίνει αναφορές (Arthur et al., 2019; Kiobias et al., 2021). Το είδος αυτό επιτίθεται στο καλαμπόκι τόσο πριν, όσο και μετά την συγκομιδή. Στην Τανζανία, μπορεί να προκαλέσει απώλειες της τάξης των 35 ποσοστιαίων μονάδων σε 5 - 6 μήνες αν ο σπόρος δεν έχει αποθηκευτεί σωστά και έως 60 ποσοστιαίες μονάδες μετά από 9 μήνες αποθήκευσης, γεγονός που μπορεί να επιφέρει φαινόμενα υποσιτισμού στην χώρα (Quellhorst et al., 2021). Επίσης, το είδος αυτό φαίνεται να ανταγωνίζεται με ευκολία άλλα έντομα αποθηκών στο καλαμπόκι ιδιαίτερα σε αυξημένες θερμοκρασίες (Sakka and Athanassiou, 2018; Quellhorst et al., 2020).

	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
1 United States	360,252	345,962	364,262	371,096	384,778	345,506	361,136	351,316	273,192
2 China	260,670	260,779	257,174	259,071	263,613	264,992	249,764	248,453	229,559
3 Brazil	109,000	102,000	101,000	82,000	98,500	67,000	85,000	80,000	81,500
4 Argentina	47,500	51,000	51,000	32,000	41,000	29,500	29,750	26,000	27,000
5 Ukraine	29,500	35,887	35,805	24,115	27,969	23,333	28,450	30,900	20,922
6 India	28,500	28,636	27,715	28,753	25,900	22,567	24,173	24,259	22,258
7 Mexico	28,000	26,658	27,671	27,569	27,575	25,971	25,480	22,880	21,591
8 South Africa	16,500	16,000	11,824	13,104	17,551	8,214	10,629	14,925	12,365
9 Russia	14,000	14,275	11,415	13,201	15,305	13,168	11,325	11,635	8,213
10 Canada	13,563	13,404	13,885	14,096	13,889	13,680	11,606	14,191	13,060
11 Indonesia	12,000	12,000	12,000	11,900	10,900	10,500	9,000	9,100	8,500
12 Nigeria	11,500	11,000	11,000	10,420	11,548	10,562	10,059	8,423	8,695
13 Ethiopia	8,600	8,500	8,350	8,007	7,847	7,882	7,235	6,492	6,158
14 Philippines	8,200	8,050	7,608	7,980	8,087	6,966	7,671	7,532	7,261
15 Serbia	8,000	7,700	7,400	4,000	7,600	6,000	7,700	5,900	3,750
16 Turkey	7,100	6,000	5,700	5,300	5,500	6,200	4,800	5,100	4,400
17 Pakistan	7,000	6,900	6,100	5,701	6,134	5,271	4,937	4,944	4,220
18 Egypt	6,400	6,400	6,800	6,400	6,000	6,000	5,960	5,800	5,800
19 Tanzania	6,300	5,820	5,987	5,918	5,863	5,903	6,737	5,356	5,104
20 Thailand	5,500	4,500	5,600	5,000	5,200	4,700	4,800	4,900	4,600

Εικ.1: Παραγωγή Καλαμποκιού Παγκοσμίως (<http://knoema.com>)

1.1 Βιολογία του *Prostephanus truncatus*

Το έντομο είναι ικανό να προσβάλλει το καλαμπόκι τόσο κατά την αποθήκευση όσο και στο χωράφι, την περίοδο της αποξήρανσης, όταν ο σπόρος έχει περιεκτικότητα σε υγρασία περί το 40-50%. Ο κύκλος ζωής του εντόμου τοποθετείται σε μια ευρεία κλίμακα θερμοκρασιών (12-40°C) και επιπέδων υγρασίας (30-90%), ωστόσο αναφορές κάνουν λόγο για την ιδανικότερη θερμοκρασία ανάπτυξης στο καλαμπόκι στους 32 °C και σχετικής υγρασίας στις τιμές μεταξύ 70 και 80%. Στις συνθήκες αυτές, ο κύκλος ζωής του ολοκληρώνεται σε 24-25 ημέρες (Hodges, 1986). Τα ακμαία (Εικ. 2) διεισδύουν στο ενδοσπέρμιο του σπόρου ανοίγοντας στρόγγυλες τρύπες και καθώς κινούνται από σπόρο σε σπόρο παράγουν μεγάλες ποσότητες σκόνης. Τα θηλυκά εναποθέτουν τα ωά τους μέσα στον σπόρο, σε ομάδες (20/σπόρο). Εάν οι συνθήκες είναι οι ιδανικές, η εκκόλαψη λαμβάνει χώρα 4-5 ημέρες. (Hodges, 1982).



Εικ.2: Ακμαίο *Prostephanus truncatus*
(https://en.wikipedia.org/wiki/Prostephanus_truncatus)

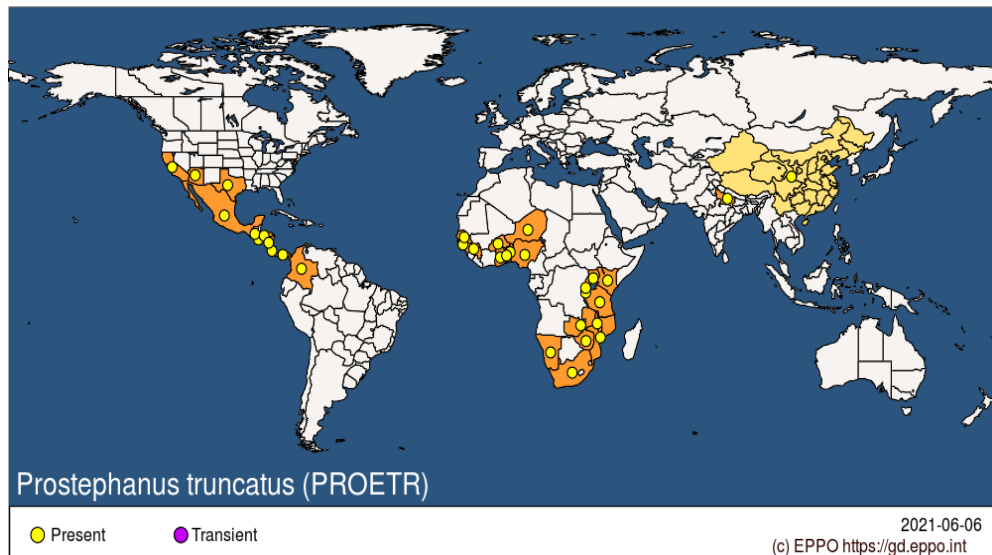
1.2 Εξάπλωση του Είδους

1.2.1 Ιστορικά Δεδομένα & Γεωγραφική Κατανομή Σήμερα

Το *P. truncatus* προήλθε από την Κεντρική Αμερική και το Μεξικό. Εισήχθη κατά λάθος στην Ανατολική Αφρική στο τέλος της δεκαετίας του 1970 και στη Δυτική στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Dick 1988; Nyagwaya et al., 2010; Quellhorst et al., 2021). Σήμερα έχει εξαπλωθεί σε όλο το πλάτος της Αφρικής καθώς και σε τμήματα της Ευρώπης (Nyabako et al., 2020) (Εικ. 3). Από το 1999 όμως μέχρι σήμερα ο ρυθμός εξάπλωσής του επιβραδύνθηκε σε

σημαντικό βαθμό (Quellhorst et al., 2021). Η εξάπλωση του εντόμου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία της περιοχής, η ποιότητα της αποθηκευμένης τροφής, η κατανομή του πληθυσμού του εντόμου στο χώρο και το χρόνο. Ταυτόχρονα, το έντομο δύναται να μεταφερθεί μαζί με το προϊόν μέσω του διεθνούς εμπορίου (π.χ. σε αμπάρια πλοίων, containers, βαγόνια τραίνων, αεροπλάνα κ.α.) σε όλα τα μέρη του πλανήτη, και ειδικά όταν παρατηρείται έλλειψη επαρκών κανονισμών και μέτρων καραντίνας κατά τις διακρατικές μεταφορές των αγροτικών προϊόντων. Κατά την μεταφορά, οι συνθήκες μέσα στον αποθηκευτικό χώρο δεν αλλάζουν και σε συνδυασμό με την ύπαρξη τροφής, δημιουργείται ένα τέλειο περιβάλλον που εξασφαλίζει την επιβίωση των εντόμων αυτών. Ταυτόχρονα, έπειτα από εργαστηριακές μελέτες έχει αναφερθεί ότι το *P. truncatus* μπορεί να πετάξει έως και 25 χλμ. για περίοδο 45 ωρών (Muatinte et al., 2014), δίνοντας έτσι την δυνατότητα εξάπλωσης σε γειτονικές περιοχές.

Είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι το *P. truncatus* απέτυχε να εγκατασταθεί στο Ισραήλ και το Ιράκ. Τα πρώτα 10 χρόνια μετά την εισαγωγή του *P. truncatus* στην Τανζανία, το έντομο βρέθηκε γρήγορα στη γειτονική Κένυα, το Μπουρούντι και το Μαλάουι. Το έντομο εισήχθη επίσης στη Δυτική Αφρική, το Τόγκο και εξαπλώθηκε σε γειτονικές χώρες όπως η Γκάνα, η Μπουρκίνα Φάσο και η Νιγηρία. Μέχρι το 1999, το *P. truncatus* είχε εξαπλωθεί στις ακτές από την Ανατολική ως τη Νότια Αφρική. Στην Ταϊλάνδη επισημάνθηκε από τον Hodges (1986), ο οποίος υπογράμμισε την ανάγκη επιβεβαίωσης του ευρήματος αφού το είδος προηγουμένως συγγέονταν με το μορφολογικά παρόμοιο *Dinoderus* spp. (Coleoptera: Bostrichidae), ενδημικό έντομο της περιοχής. Έκτοτε ωστόσο, η εξάπλωση του *P. truncatus* επιβραδύνθηκε, με την εγκατάσταση σε μόλις τρεις νέες αφρικανικές χώρες τα τελευταία 20 χρόνια. Ενώ τα περισσότερα αρχεία αντιστοιχούν στην ήπειρο της Αφρικής, το *P. truncatus* έχει αναχαιτιστεί σε πληθώρα άλλων χωρών, συμπεριλαμβανομένης της Ασίας και της Ευρώπης, κυρίως λόγω των κλιματικών συνθηκών και λιγότερο λόγω μέτρων ελέγχου κατά την εισαγωγή ή την αποθήκευση του καλαμποκιού (Quellhorst et al., 2021).



Εικ. 3: Γεωγραφική Κατανομή *P. truncatus* σήμερα (<https://gd.eppo.int>)

1.2.2 Η Σημασία του Πληθυσμού

Είναι γνωστό ότι η ανάπτυξη πληθυσμών εντόμων σε διαφορετικά ενδιαίτηματα οδηγεί στην δημιουργία γενετικής παραλλακτικότητας μεταξύ των πληθυσμών αυτών. Ακόμα και στην περίπτωση του εντόμων αποθηκών, όπου τα έντομα αναπτύσσονται σε αποθηκευτικούς χώρους με σχετικά σταθερές κλιματολογικές συνθήκες, άλλοι παράγοντες όπως η ποιότητα της τροφής που θα καταναλώσουν, ο τρόπος αποθήκευσης, η συμβίωση ή ο ανταγωνισμός με άλλους οργανισμούς στην αποθήκη, οι ανθρώπινες επεμβάσεις κ.α. δύναται να μεταβάλλουν τα βιολογικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε πληθυσμού.

Για παράδειγμα, σε έναν μεξικάνικο πληθυσμό του *P. truncatus* εκτρεφόμενο σε αλεύρι καλαμποκιού, το μέσο βάρος των θηλυκών ατόμων ήταν μεγαλύτερο κατά 7% σε σχέση με έναν πληθυσμό από την Αφρική (Howard, 1983), ενώ τα θηλυκά πληθυσμού από την Τανζανία εκτρεφόμενα σε κασάβα 13% βαρύτερα σε σχέση με αυτά ενός πληθυσμού από τη Λατινική Αμερική (Nyakunga, 1982, Hodges, 1986). Ταυτόχρονα, ο ανταγωνισμός διαφορετικών ειδών εντόμων που βρίσκονται στον ίδιο χώρο δύναται να επηρεάσει τα μορφολογικά, φυσιολογικά ή βιολογικά χαρακτηριστικά αυτών, δημιουργώντας εν τέλει πληθυσμούς που διαφέρουν από αποθήκη σε αποθήκη. Η ανάπτυξη

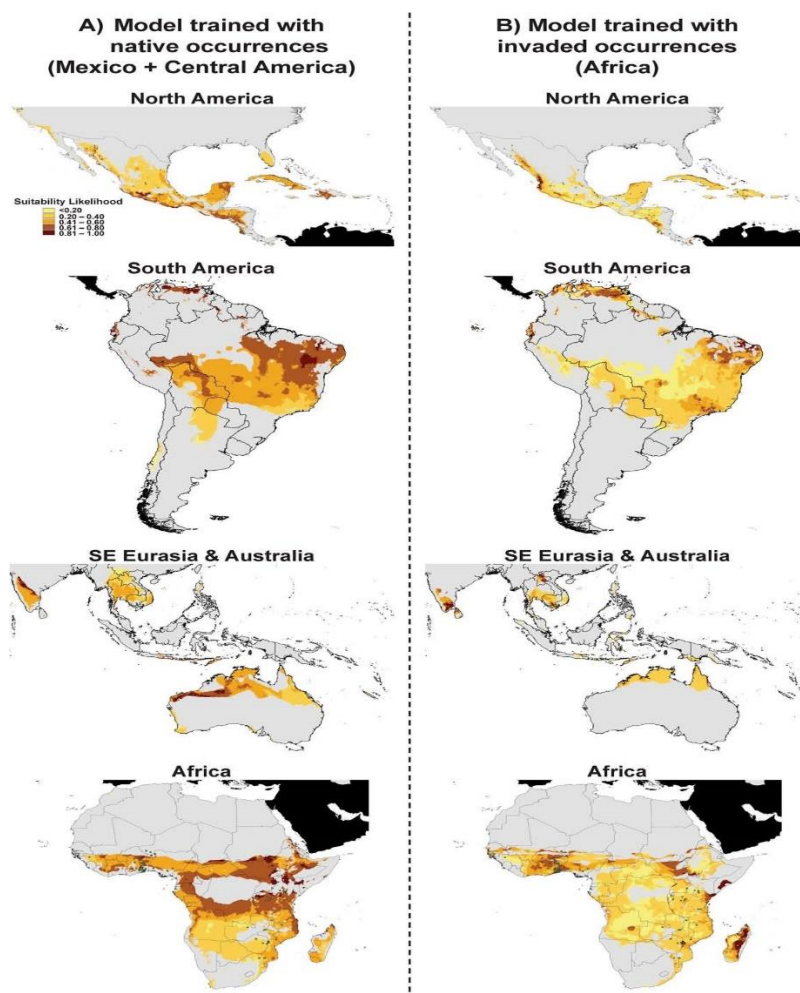
ανθεκτικότητας των εντόμων σε ένα εντομοκτόνο μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μια ποικιλία βιολογικών και φυσιολογικών αλλαγών με σημαντικές επιδράσεις στα άτομα ενός πληθυσμού. Δεδομένου ότι σε ανθεκτικούς πληθυσμούς ειδών παρατηρούνται μεταβολές στο γονιδίωμά τους, είναι επόμενο να εκφράζονται και διαφορετικά χαρακτηριστικά στην βιολογία τους, όπως ο αριθμός των γενεών κατ' έτος και των σταδίων του βιολογικού κύκλου που υφίστανται την επιλογή, ο αριθμός απογόνων ανά γενεά, η μονογαμικότητα ή πολυγαμικότητα και η παρθενογένεση (που εμποδίζει την ομοζυγωτία και συνεπώς την μεγάλη ανθεκτικότητα). Ταυτόχρονα, διάφορα χαρακτηριστικά στην συμπεριφορά ενός ατόμου είναι δυνατόν να επηρεαστούν, όπως η κινητικότητα, η μετανάστευση, η μονοφαγία ή πολυφαγία κ.α. (Pimentel et al., 2007).

Συνεπώς, η αξιολόγηση τόσο της ανάπτυξης του πληθυσμού στον χώρο όσο και της ανταπόκρισης αυτού στις μεθόδους καταπολέμησης θα πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα για την εύρεση των βέλτιστων μεθόδων καταπολέμησης γηγενών ή αλλόχθων πληθυσμών του *P. truncatus* στην αποθήκη. Με άλλα λόγια, στην περίπτωση του είδους αυτού, είναι σημαντικό να επισημανθεί ο βαθμός των αλλαγών μεταξύ των «αρχέγονων» πληθυσμών της Λατινικής Αμερικής και των νέων πληθυσμών που αναπτύχθηκαν κατά τις τελευταίες δεκαετίες στη Αφρική, όπου το είδος αποδείχθηκε ιδιαίτερα καταστροφικό.

1.2.3 Πιθανά Σενάρια Εξάπλωσης στο Μέλλον

Η κλιματική αλλαγή και η αύξηση της θερμοκρασίας έχουν σοβαρές επιπτώσεις στα γεωργικά τρόφιμα εξαιτίας των εντομολογικών προσβολών. Σε αποθηκευτικούς χώρους οι υψηλές θερμοκρασίες δύναται να επισπεύσουν την ανάπτυξη των εντόμων που βρίσκονται σε αυτές καθώς και να οδηγήσουν σε γρηγορότερη διάσπαση των εντομοκτόνων που χρησιμοποιούνται σήμερα και άρα την ανικανότητα αυτών να καταπολεμήσουν τα έντομα-στόχους (Singano et al., 2020). Έτσι, οι απώλειες μετά τη συγκομιδή αναμένεται να επιδεινωθούν σε παγκόσμιο επίπεδο και ειδικά για είδη με απαιτήσεις σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως το *P. truncatus*. Μοντέλα πρόβλεψης αναφέρουν ότι θα

παρατηρηθεί εξάπλωση του εντόμου σε περιοχές όπου η μέση ετήσια θερμοκρασία θα είναι άνω των 25 °C και λαμβάνουν ετήσια βροχόπτωση κάτω από 610 mm (Nyabako et al., 2020). Ταυτόχρονα, αυτές οι συνθήκες θα βοηθήσουν το *P. truncatus* να εξαπλωθεί πέραν της αποθήκης και στο φυσικό περιβάλλον, προσβάλλοντας αυτόχθονα είδη δέντρων και θάμνων, όπως άλλωστε έχει κατ' επανάληψη επισημανθεί σε περιοχές της υποσαχάριας Αφρικής (Nyabako et al., 2020). Οι Arthur et al. (2019) υπογραμμίζουν τις αυξημένες πιθανότητες εξάπλωσης σε περιοχές της Βόρειας Αμερικής, ενώ οι πιθανότητες για εξάπλωση στην Ευρώπη φαίνεται να είναι μικρότερες, κυρίως λόγω κλιματικών συνθηκών (Εικ. 4). Αντίστοιχες δυνατότητες περαιτέρω εξάπλωσης φαίνεται να υπάρχουν και σε ξηροθερμικές περιοχές, όπως η Αυστραλία (Arthur et al. 2019) (Εικ. 4).



Εικ.4: Πρόβλεψη της Εξάπλωσης του *Prostephanus truncatus* (Arthur et al., 2019)

1.3 Σκοπός Παρούσας Μελέτης

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διενέργεια εργαστηριακών βιοδοκιμών για την επισήμανση της πληθυσμιακής ανάπτυξης διαφορετικών πληθυσμών του εντόμου *P. truncatus* σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας. Με βάση την μέση παραγωγή απογόνων εκτιμήθηκαν τα επίπεδα προσαρμοστικότητας του κάθε πληθυσμού υπό διαφορετικές θερμοκρασίες και περιόδους ανάπτυξης, με γνώμονα τόσο την πληθυσμιακή ανάπτυξη του εντόμου σε καλαμπόκι, όσο και με την αξιολόγηση της ποιοτικής υποβάθμισης του σπόρου ως αποτέλεσμα της προσβολής.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Έντομα

Οι πληθυσμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τον πειραματισμό ελήφθησαν από τους εργαστηριακούς πληθυσμούς του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας (ΕΕΓΖ). Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν ακμαία άτομα (ηλικίας <2 εβδομάδων) από τρεις (3) πληθυσμούς του *P. truncatus*, με προέλευση από το Μεξικό, τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και την Τανζανία. Οι πληθυσμοί εκτρέφονται στο ΕΕΓΖ σε υπόστρωμα καλαμποκίου, σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών με θερμοκρασία 25 °C, και σχετική υγρασία 55%. Το καλαμπόκι που χρησιμοποιήθηκε έχει ληφθεί από τοπικό πρατήριο σπόρων και φέρει περιεκτικότητα πρωτεΐνης 9,46%, λιπαρές ουσίες 4,65% και κυτταρίνες 0,90%. Η υγρασία του σπόρου μετρήθηκε με ειδικό υγρασιόμετρο του ΕΕΓΖ (Multitest, Gode SAS, Le Catelet, France) πριν την διεξαγωγή των πειραμάτων και ανήλθε στο 13.5% ενώ το ειδικό βάρος του στο 87.3 kg/hl.

2.2 Πειραματισμός

Ποσότητες σπόρου των 20 γρ. τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια (Rotilabo®-sample φιαλίδια με κουμπωτό καπάκι, 3 εκ, διάμετρος, 8 εκ. ύψος, Carl Roth GmbH & Co. Kg, Karlsruhe, Germany). Η εσωτερική άνω πλευρά των φιαλιδίων καλύφθηκε με fluon (polytetrafluoroethylene) για την αποτροπή των εντόμων να εξέλθουν από αυτά. Σε κάθε φιαλίδιο τοποθετήθηκαν 10 ακμαία (Εικ. 5). Έπειτα τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών, σε θερμοκρασίες 25, 30, 32, 35, 38 και 40°C και σχετική υγρασία 55 %, σε πλήρες σκότος, με διαφορετικές σειρές φιαλιδίων για κάθε πληθυσμό και θερμοκρασία. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές, με διαφορετικά φιαλίδια για κάθε περίοδο ανάπτυξης. Έτσι, μετά το πέρας 45 και 70 ημερών, τα φιαλίδια ανοίχθηκαν και καταμετρήθηκε ο αριθμός των ακμαίων (νεκρά και ζωντανά). Επίσης, καταμετρήθηκε το βάρος και ο αριθμός των προσβεβλημένων από το έντομο σπόρων καθώς το αντίστοιχο βάρος και ο αριθμός των άθικτων σπόρων και το βάρος της παραγόμενης από το έντομο σκόνης. Ο διαχωρισμός των εντόμων από τους σπόρους και την

σκόνη επετεύχθη με την χρήση κόσκινων διαμέτρου 2 και 0,5 χιλ. (Εικ. 6). Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές, με τη δημιουργία νέων φιαλιδίων με ποσότητες σπόρου κάθε φορά. Έτσι, υπήρξαν εννιά επαναλήψεις, δηλ. 9 φιαλίδια σε κάθε έναν συνδυασμό πληθυσμού * θερμοκρασίας * περιόδου ανάπτυξης.



Εικ.5: Φιαλίδια με ακμαία και σπόρους καλαμποκιού



Εικ. 6: Διαχωρισμός των σπόρων από τα έντομα και την σκόνη με το κόσκινο διαμέτρου 2 χιλ (A) και διαχωρισμός των εντόμων (ακμαία και προνύμφες) από την σκόνη με το κόσκινο διαμέτρου 0,5 χιλ. (B).

2.3 Στατιστική Ανάλυση και Υπολογισμοί

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης JMP® Software, version 7.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, 2007). Αρχικά, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα των βιοδοκιμών

με Ανάλυση της Διασποράς (three-way ANOVA) για να συγκριθούν οι περίοδοι ανάπτυξης, οι πληθυσμοί και οι θερμοκρασίες ως κύριοι παράγοντες, με τον αριθμό των ακμαίων ατόμων που βρέθηκαν στα φιαλίδια ως μεταβλητή. Έπειτα, αναλύθηκαν τα ποσοστά των ακμαίων ατόμων του κάθε πληθυσμού που βρέθηκαν σε κάθε φιαλίδιο μετά το πέρας των 45 ή των 70 ημερών (περίοδος ανάπτυξης), με Ανάλυση της Διασποράς (one-way ANOVA) και θέτοντας την θερμοκρασία ως κύριο παράγοντα. Οι μέσοι του κάθε πληθυσμού αναλύθηκαν και διαχωρίστηκαν με την επιλογή της θερμοκρασίας ως κύριο παράγοντα με το Tukey-Kramer HSD test σε 0.05. Η ίδια διαδικασία (one-way ANOVA) ακολουθήθηκε ξεχωριστά και για τα ποσοστά της σκόνης, του αριθμού και του βάρους των προσβεβλημένων και απρόσβλητων σπόρων που βρέθηκαν στα φιαλίδια για κάθε πληθυσμό.

3. Αποτελέσματα

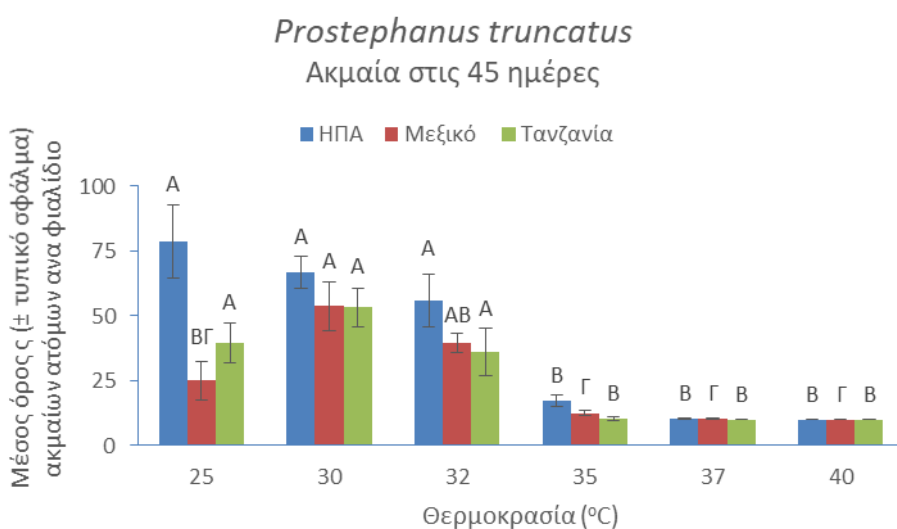
Όλοι οι παράγοντες καθώς και οι αλληλεπιδράσεις τους χαρακτηρίστηκαν ως στατιστικώς σημαντικοί, εκτός του παράγοντα «περίοδος ανάπτυξης» και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων «θερμοκρασία» και «πληθυσμός» (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Ανάλυση της διασποράς για την σύγκριση των τριών πληθυσμών, των δυο περιόδων ανάπτυξης και των έξι διαφορετικών θερμοκρασιών (κύριοι παράγοντες) και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων για την παραγωγή ακμαίων ατόμων του *P. truncatus* (β.ε. σφάλματος = 323).

Παράγοντας	df	F	P
Περίοδος ανάπτυξης	1	1.8	0.17
Πληθυσμός	2	6.9	<0.01
Περίοδος ανάπτυξης * Πληθυσμός	2	40.3	<0.01
Θερμοκρασία	5	85.8	<0.01
Περίοδος ανάπτυξης * Θερμοκρασία	5	9.1	<0.01
Πληθυσμός * Θερμοκρασία	10	1.3	0.22
Περίοδος ανάπτυξης * Πληθυσμός * Θερμοκρασία	10	6.2	<0.01

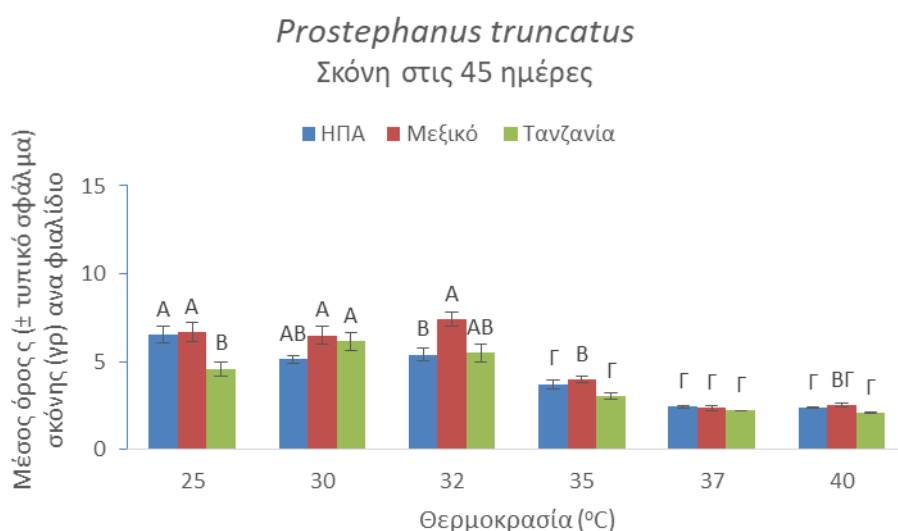
Στο Διάγραμμα 1, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των ακμαίων ατόμων που βρέθηκαν ανα φιαλίδιο, όταν πληθυσμοί από τις διάφορες περιοχές αφέθηκαν για 45 ημέρες κάτω από διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας αλλά σταθερής υγρασίας (55%), να αναπτυχθούν σε σπόρους καλαμποκιού. Με βάση τα αποτελέσματα, ο «ΗΠΑ» πληθυσμός έδωσε τους περισσότερους απογόνους τόσο μεταξύ των άλλων πληθυσμών στην ίδια θερμοκρασία (25°C), όσο και στο σύνολο των μεταχειρίσεων που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 1. Ταυτόχρονα, ο ίδιος πληθυσμός έδωσε τους περισσότερους απογόνους και στις δυο επόμενες υψηλότερες θερμοκρασίες (30 και 32°C), σε σύγκριση με

τους υπόλοιπους πληθυσμούς στις ίδιες θερμοκρασίες. Αντιθέτως, οι απόγονοι του «Μεξικό» πλυθησμού σχεδόν διπλασιάστηκαν όταν η θερμοκρασία ανέβηκε στους 30°C, σε σύγκριση με αυτούς των 25 °C. Παρόλα αυτά, με την αύξηση της θερμοκρασίας από τους 35 °C και πάνω, βλέπουμε μείωση έως και μηδενισμό στην παραγωγή απογόνων, ανεξαρτήτως πληθυσμού. Είναι σημαντικό να αναφερθεί εδώ, ότι τα δέκα ακμαία άτομα που τοποθετήθηκαν αρχικώς στα φιαλίδια δεν απομακρύνθηκαν κατά την καταμέτρηση των απογόνων, και συνεπώς έχουν μετρηθεί ως απόγονοι. Έτσι, τα δέκα άτομα που εμφανίζονται στους 37 και 40 °C αφορούν τα αρχικά έντομα, δηλ. δεν υπήρξαν απόγονοι. Γενικά, οι μεγαλύτεροι (συνολικά) αριθμοί ακμαίων καταγράφηκαν στους 25 και στους 30 °C, με σταδιακή μείωση με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης, με εξαίρεση τους 25 °C, όπου υπήρξαν διαφορές μεταξύ των πληθυσμών, οι τρεις πληθυσμοί είχαν παρόμοιο αριθμό απογόνων.



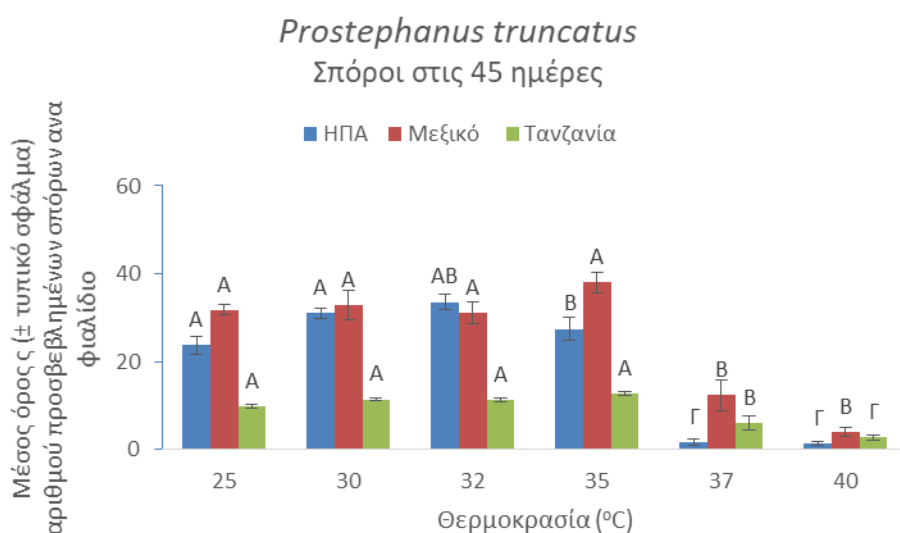
Διάγραμμα 1: Μέσος όρος ακμαίων ατόμων ανά φιαλίδιο (\pm τυπικό σφάλμα) των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 45 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40 °C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 16.5$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 12.2$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 10.7$, $P < 0.01$)

Όπως είναι αναμενόμενο, η σκόνη που προέκυψε από την τροφική δραστηριότητα των εντόμων στο καλαμπόκι (Διάγραμμα 2) είναι περισσότερη στις τρεις χαμηλότερες θερμοκρασίες (25, 30 και 32 °C), δεδομένου ότι εκεί υπήρξε και η μεγαλύτερη παραγωγή απογόνων. Ωστόσο, σκόνη παρατηρήθηκε και στις θερμοκρασίες όπου οι απόγονοι ήταν ελάχιστοι έως καθόλου. Θεωρούμε ότι υπήρξε προσβολή στους σπόρους από τα έντομα σε αρχικό στάδιο, ωστόσο οι θερμοκρασίες δεν επέτρεψαν την περαιτέρω αναπαραγωγή και ανάπτυξη της επόμενης γενιάς ατόμων του είδους. Γενικά, ακόμα και στους 32 °C, καταγράφηκε αξιοσημείωτη ποσότητα σκόνης, παρά το γεγονός ότι στη θερμοκρασία αυτή οι αριθμοί των ακμαίων ήταν χαμηλότεροι σε σχέση με χαμηλότερες θερμοκρασίες.



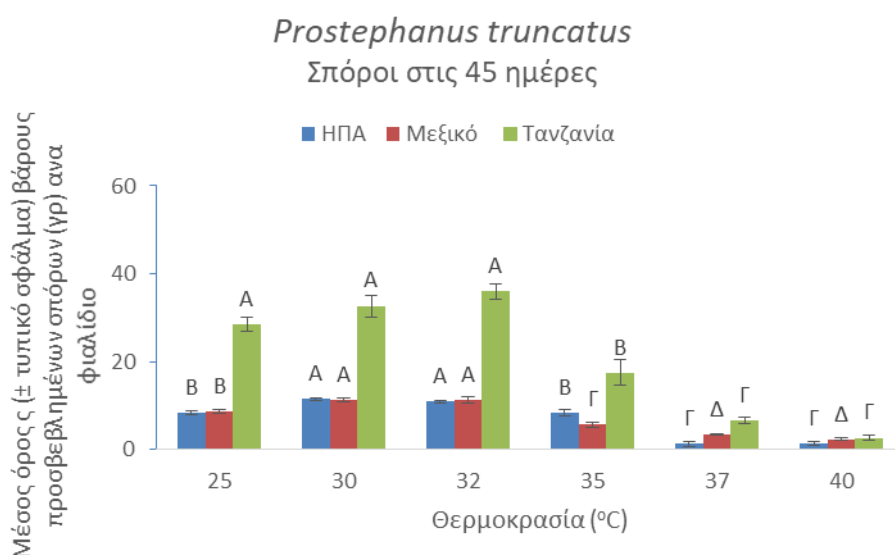
Διάγραμμα 2: Μέσος όρος παραγόμενης από τα έντομα σκόνης (μg.) (± τυπικό σφάλμα) των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 45 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 35.2$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 38.2$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 24.3$, $P < 0.01$)

Όσον αφορά τον μέσο αριθμό των σπόρων όπου καταμετρήθηκαν ως προσβεβλημένοι από το έντομο ανά φιαλίδιο (τρύπες ή φαγώματα στον σπόρο) (Διάγραμμα 3), ο «Τανζανία» πληθυσμός φαίνεται να ήταν αυτός που πρόσβαλλε λιγότερο σπόρο σε όλες τις θερμοκρασίες σε αντίθεση με τους πληθυσμούς των «ΗΠΑ» και «Μεξικό». Ταυτόχρονα, οι εν λόγω πληθυσμοί δεν παρουσίασαν στατιστικές διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών από τους 25 έως τους 32°C. Προσβεβλημένοι σπόροι παρατηρήθηκαν και στις δυο υψηλότερες θερμοκρασίες, ανεξαρτήτως πληθυσμού, παρά το μικρό (ή και το μηδενικό) αριθμό απογόνων. Τέλος, η προσβολή ήταν αισθητά χαμηλότερη στην περίπτωση του «ΗΠΑ» πληθυσμού στα δύο υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας.



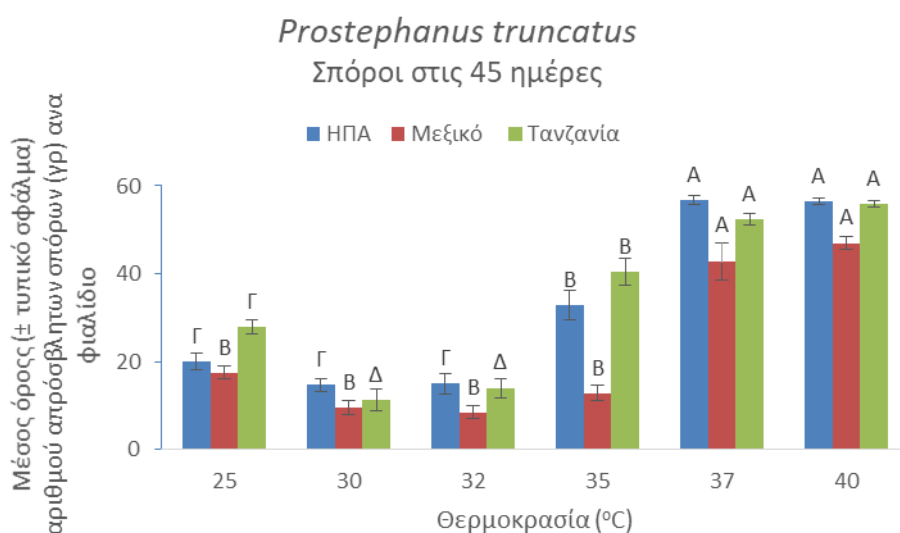
Διάγραμμα 3: Μέσος όρος του αριθμού των προσβεβλημένων από τα έντομα σπόρων καλαμποκιού (\pm τυπικό σφάλμα) που βρέθηκαν στα φιαλίδια των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 45 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 80.3$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 29.0$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 26.4$, $P < 0.01$)

Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται το βάρος των προσβεβλημένων σπόρων όπου καταμετρήθηκαν (Διάγραμμα 3). Το βάρος του εκάστοτε σπόρου υποδηλώνει το μέγεθος της προσβολής από το έντομο. Έτσι, από το Διάγραμμα 4, το μεγαλύτερο βάρος των σπόρων από τον «Τανζανία» πληθυσμό υποδηλώνει ότι τα έντομα είχαν μόλις ξεκινήσει να προσβάλουν τον σπόρο (τρύπα στον σπόρο αλλά χωρίς κατανάλωση του ενδοσπερμίου) σε σχέση με τους άλλους δυο πληθυσμούς, οι οποίοι φαίνεται να έχουν προχωρήσει και στο ενδοσπέρμιο. Γενικά, το βάρος των σπόρων, υπό την έννοια της μείωσης του βάρους, δεν ήταν αντίστοιχος με τον αριθμό των απογόνων σε κάθε πληθυσμό, αλλά μειώθηκε με την αύξηση του επιπέδου θερμοκρασίας.

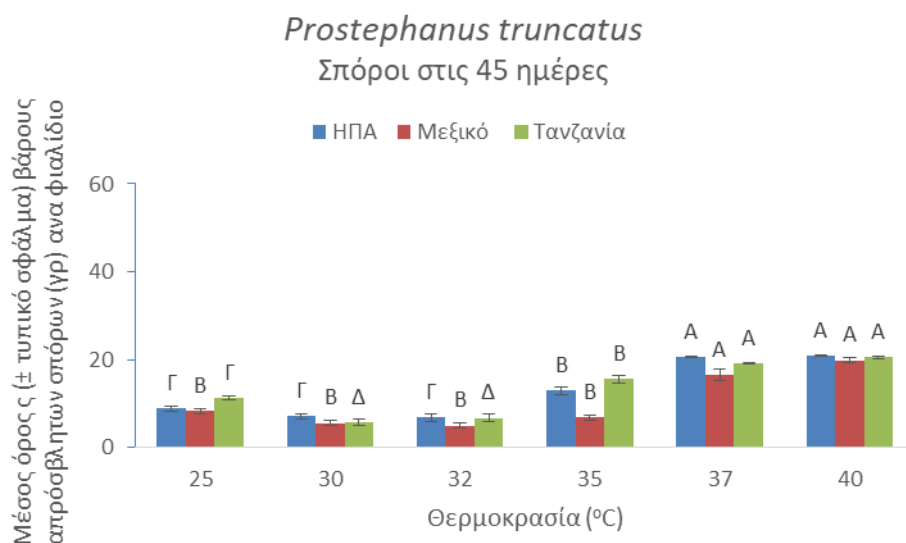


Διάγραμμα 4: Μέσος όρος του βάρους (γρ.) των προσβεβλημένων από τα έντομα σπόρων καλαμποκιού (± τυπικό σφάλμα) που βρέθηκαν στα φιαλίδια των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 45 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 90.0$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 68.9$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 55.8$, $P < 0.01$)

Στα Διαγράμματα 5 και 6 παρουσιάζονται ο μέσος αριθμός και το βάρος των σπόρων όπου δεν παρατηρήθηκε καμία προσβολή από το έντομο ανά φιαλίδιο. Συνεπώς, στις χαμηλότερες θερμοκρασίες όπου παρατηρήθηκαν τα μεγαλύτερα ποσοστά προσβεβλημένων σπόρων και απογόνων (Διαγράμματα 1 έως 4), έχουμε και λιγότερους απρόσβλητους σπόρους. Αντίστοιχα, με την αύξηση της θερμοκρασίας, το έντομο δεν μπορούσε να επιβιώσει και να αναπαραχθεί και επομένως, να προσβάλλει τον σπόρο. Το αντίστοιχο βάρος των απρόσβλητων σπόρων παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να θεωρηθούν ως «συμπληρωματικά» των μετρήσεων που έλαβαν χώρα στους προσβεβλημένους σπόρους, και δείχνουν ότι κάποιοι πληθυσμοί προκάλεσαν πιο έντονα επίπεδα προσβολής σε σχέση με άλλους.



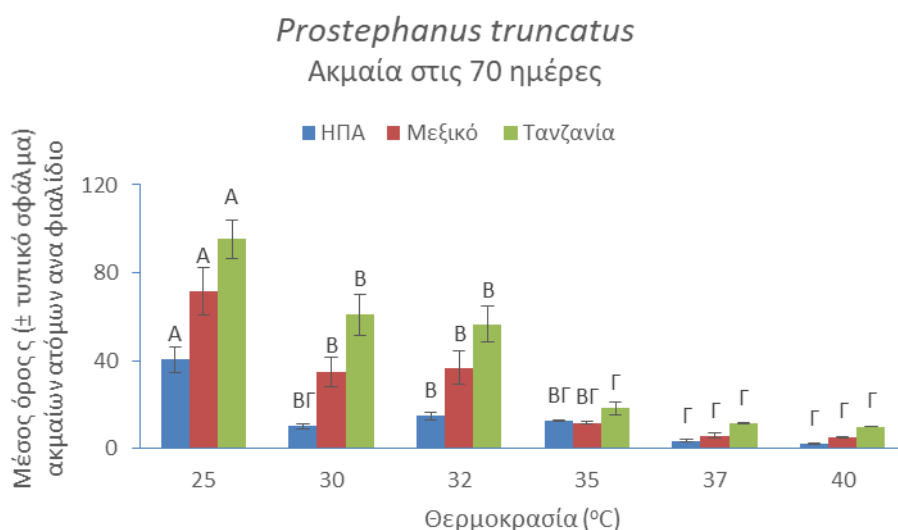
Διάγραμμα 5: Μέσος όρος του αριθμού των απρόσβλητων από τα έντομα σπόρων καλαμποκιού (\pm τυπικό σφάλμα) που βρέθηκαν στα φιαλίδια των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 45 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 103.1$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 60.3$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 84.4$, $P < 0.01$)



Διάγραμμα 6: Μέσος όρος του βάρους (γρ.) των απρόσβλητων από τα έντομα σπόρων καλαμποκιού (\pm τυπικό σφάλμα) που βρέθηκαν στα φιαλίδια των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 45 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 111.6$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 71.0$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 96.5$, $P < 0.01$)

Η πληθυσμιακή ανάπτυξη των πληθυσμών του *P. truncatus* όταν τα ακμαία άτομα αφέθηκαν για 70 ημέρες να αναπτυχθούν στους σπόρους καλαμποκιού παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 7. Σε αντίθεση με την ανάπτυξη που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1, ο «Τανζανία» πληθυσμός είναι αυτός που είχε τους περισσότερους απογόνους σε όλες τις θερμοκρασίες, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους πληθυσμούς. Ταυτόχρονα, η θερμοκρασία των 25°C φαίνεται να είναι η ιδανικότερη για το *P. truncatus*, αφού και οι τρεις πληθυσμοί έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό απογόνων σε σχέση με τις υπόλοιπες θερμοκρασίες. Όπως ήταν αναμενόμενο, ελάχιστοι έως καθόλου απόγονοι παρατηρήθηκαν στις δυο υψηλότερες θερμοκρασίες των 37 και 40°C, ανεξαρτήτως πληθυσμού. Οι αριθμοί των απογόνων του «Τανζανία» πληθυσμού ήταν γενικά μεγαλύτεροι ακόμα και στα υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας, ενώ ο «ΗΠΑ» πληθυσμός είχε τους χαμηλότερους πληθυσμούς. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, φαίνεται

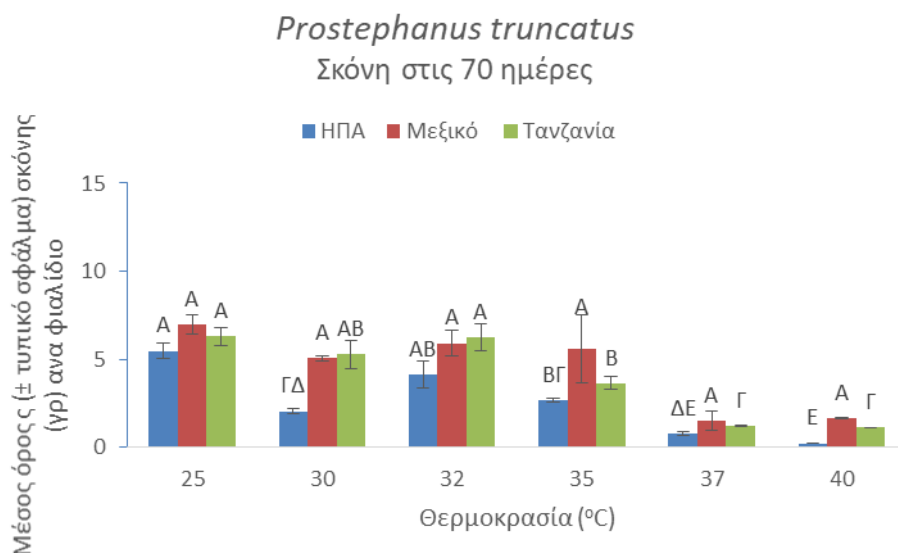
ότι υπάρχει μια μεγαλύτερη παραγωγή απογόνων στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τέλος, φαίνεται ότι στις υψηλότερες θερμοκρασίες, παρήχθησαν σε κάποιες από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, κάποια ακμαία, πέραν των αρχικών.



Διάγραμμα 7: Μέσος όρος ακμαίων ατόμων (\pm τυπικό σφάλμα) των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 70 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 29.7$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 18.2$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 29.6$, $P < 0.01$)

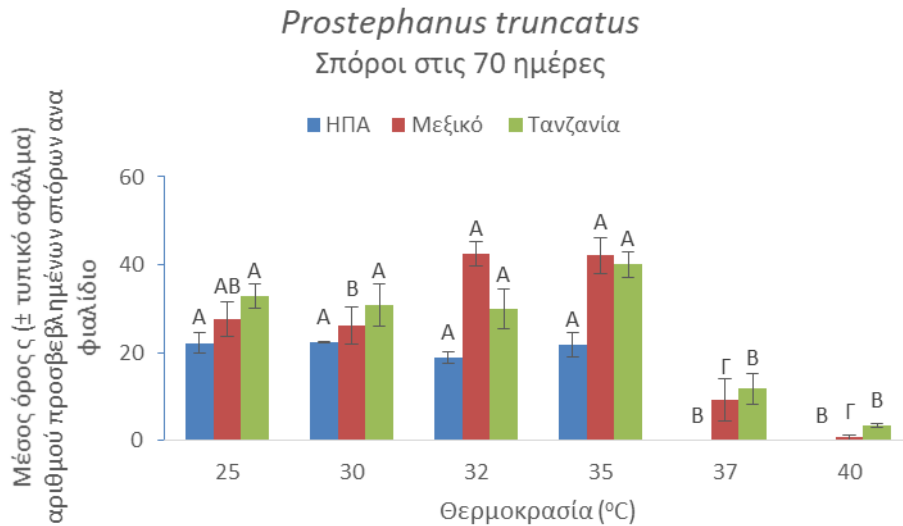
Η παραγωγή της σκόνης από την τροφική δραστηριότητα των εντόμων μετά τις 70 ημέρες παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 8. Και σε αυτή τη περίπτωση, στην θερμοκρασία των 25 °C παρατηρήθηκαν τα υψηλότερα ποσοστά σκόνης ανεξαρτήτως πληθυσμού. Ωστόσο, με την αύξηση της θερμοκρασίας, η προσβολή από τον «Μεξικό» πληθυσμό φαίνεται να μην επηρεάζεται, καθότι τα ποσοστά σκόνης δεν παρουσίασαν στατιστικές διαφορές μεταξύ των 25 και 35 °C. Μικρές διακυμάνσεις παρατηρήθηκαν στον «Τανζανία» πληθυσμό στις προαναφερθέντες θερμοκρασίες, ενώ ο «ΗΠΑ» πληθυσμός έδωσε τα χαμηλότερα ποσοστά, τα οποία μάλιστα δεν διέφεραν στατιστικώς μεταξύ των θερμοκρασιών. Ποσοτικά πάντως, η ποσότητα της σκόνης ήταν συγκρίσιμη με

αυτή που παρατηρήθηκε στις 45 ημέρες, και δεν σχετίστηκε άμεσα με τους αριθμούς των απογόνων.

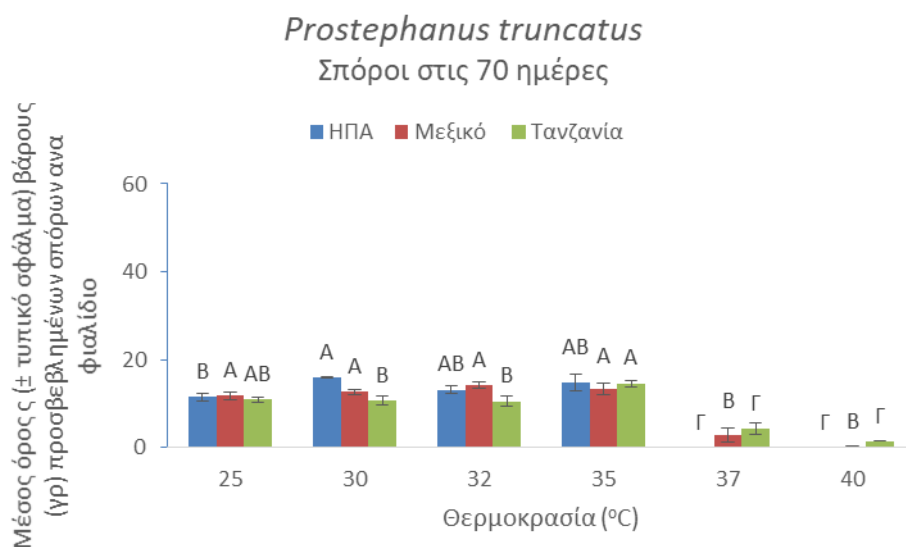


Διάγραμμα 8: Μέσος όρος παραγόμενης από τα έντομα σκόνης (γρ) (\pm τυπικό σφάλμα) των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 70 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 29.6$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 0,67$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 21.0$, $P < 0.01$)

Στα παρακάτω Διαγράμματα 9 και 10, παρουσιάζεται ο μέσος όρος του αριθμού και του βάρους των προσβεβλημένων σπόρων καλαμποκιού από τα έντομα. Όπως διακρίνεται, η προσβολή των σπόρων από τα έντομα είναι ανάλογη με την παραγόμενη σκόνη που βρέθηκε στις εκάστοτε μεταχειρίσεις. Έτσι, ο υψηλότερος μέσος όρος του αριθμού των προσβεβλημένων σπόρων αφορά τον «Μεξικό» πληθυσμό, ενώ ο χαμηλότερος στον «ΗΠΑ» πληθυσμό. Επιπλέον, στις δυο υψηλότερες θερμοκρασίες δεν βρέθηκαν προσβεβλημένοι σπόροι στον «ΗΠΑ» πληθυσμό. Σε γενικές γραμμές, στατιστικές διαφορές δεν παρατηρήθηκαν μεταξύ των 25 και 35 °C, σε όλους τους πληθυσμούς.

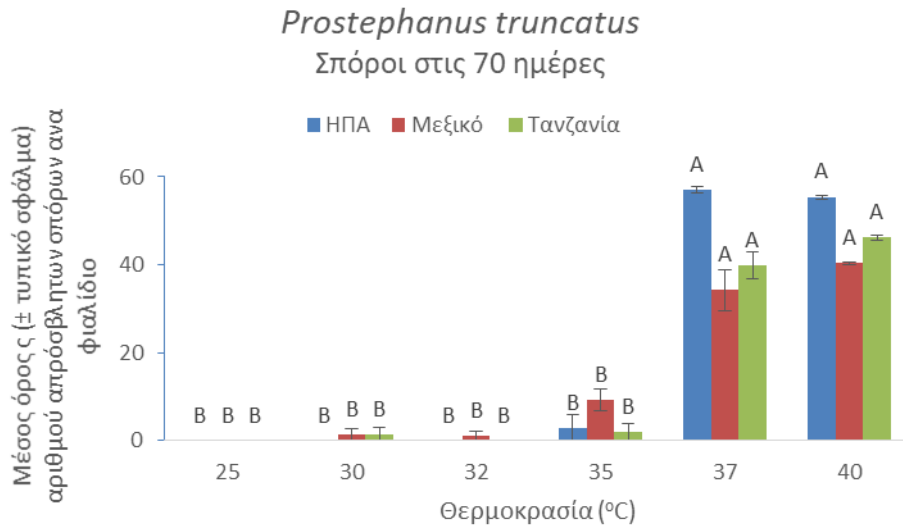


Διάγραμμα 9: Μέσος όρος του αριθμού των προσβεβλημένων από τα έντομα σπόρων καλαμποκιού (\pm τυπικό σφάλμα) που βρέθηκαν στα φιαλίδια των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 45 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 48.6$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 21.6$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 16.7$, $P < 0.01$)

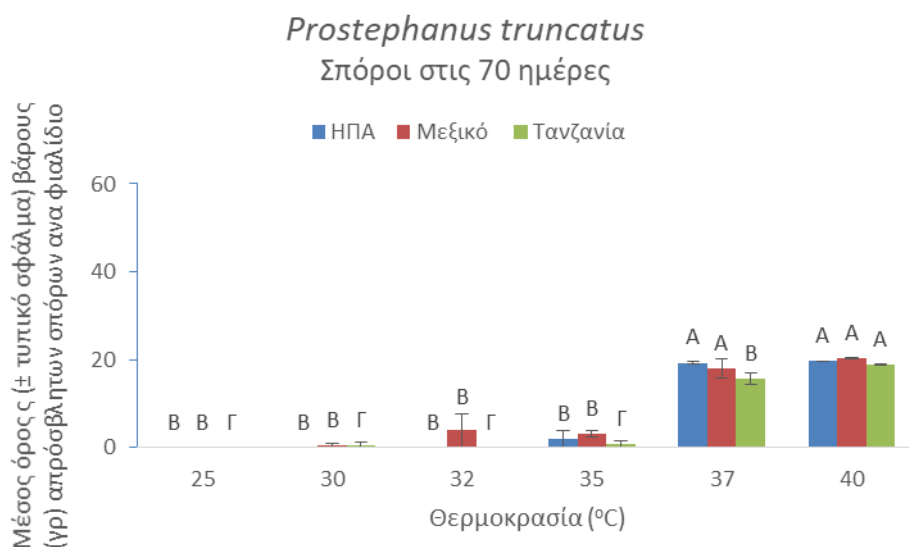


Διάγραμμα 10: Μέσος όρος του βάρους (γρ) των προσβεβλημένων από τα έντομα σπόρων καλαμποκιού (\pm τυπικό σφάλμα) που βρέθηκαν στα φιαλίδια των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 70 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 63.9$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 35.6$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 27.5$, $P < 0.01$)

Όπως είναι αναμενόμενο, η πλειοψηφία των σπόρων στις δυο υψηλότερες θερμοκρασίες βρέθηκαν χωρίς προσβολή από τα έντομα, σε αντίθεση με την απουσία απρόσβλητων σπόρων στις χαμηλότερες θερμοκρασίες, ανεξαρτήτως πληθυσμού (Διάγραμμα 11). Αντιστοίχως, ο μέσος όρος του βάρους των απρόσβλητων σπόρων ήταν μεγαλύτερος στους 37 και 40°C (Διάγραμμα 12). Όπως και παραπάνω, τα στοιχεία αυτά δείχνουν και διαφορετικά επίπεδα προσβολής στους σπόρους, υπό την έννοια της ποσοτικής προσβολής από τον κάθε πληθυσμό. Και εδώ τα στοιχεία ήταν αντίστοιχα με τα επίπεδα που καταγράφηκαν στις 45 ημέρες, σε όλα τα επίπεδα θερμοκρασίας που εξετάστηκαν.



Διάγραμμα 11: Μέσος όρος του αριθμού των απρόσβλητων από τα έντομα σπόρων καλαμποκιού (\pm τυπικό σφάλμα) που βρέθηκαν στα φιαλίδια των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 70 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 544.3$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 64.3$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 184.6$, $P < 0.01$)



Διάγραμμα 12: Μέσος όρος του βάρους (γρ) των απρόσβλητων από τα έντομα σπόρων καλαμποκιού (\pm τυπικό σφάλμα) που βρέθηκαν στα φιαλίδια των τριών πληθυσμών (ΗΠΑ, Μεξικό και Τανζανία) έπειτα από 70 ημέρες ανάπτυξης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 30, 32, 35, 37 και 40°C). Οι μέσοι όροι του κάθε πληθυσμού μεταξύ των θερμοκρασιών που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Για τον κάθε πληθυσμό β.ε. = 5,48. Για τον «ΗΠΑ» πληθυσμό: $F = 159.9$, $P < 0.01$, για τον «Μεξικό» πληθυσμό: $F = 23.2$, $P < 0.01$, για τον «Τανζανία» πληθυσμό: $F = 188.6$, $P < 0.01$)

4. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Η επιβίωση και η ανάπτυξη του *P. truncatus* εξαρτώνται από ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Σ.Υ.), ωστόσο φαίνεται να αναπτύσσεται γρηγορότερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τις βέλτιστες για τα περισσότερα αποθηκευμένα έντομα προϊόντων (Quellhorst et al., 2021). Έχει αναφερθεί ότι η βέλτιστη θερμοκρασία για το είδος φαίνεται να είναι οι 32 °C με 70-80% Σ.Υ. (Bell και Watters, 1982), μάλλον λόγω της προέλευσης του εντόμου από θερμά κλίματα. Ωστόσο, παρόλο που το είδος θεωρείται τροπικό, αναφορές κάνουν λόγο για την αδυναμία του να αναπαραχθεί και να επιβιώσει σε θερμοκρασίες άνω των 35 °C (Machekano et al. 2020). Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας επιβεβαιώνουν τις ανωτέρω αναφορές, κυρίως ως προς το μέγιστο θερμοκρασιακό όριο ανάπτυξης του είδους αυτού. Το βέλτιστο της ανάπτυξης των πληθυσμών που μελετήθηκαν τόσο από άποψη χρόνου όσο και αριθμού εντόμων παρατηρήθηκε σε θερμοκρασίες από 25 έως και 32 °C. Αντιθέτως, με την αύξηση της θερμοκρασίας πέραν των 32 °C, η ανάπτυξη του εντόμου βρέθηκε να είναι αντιστρόφως ανάλογη της αύξησης της θερμοκρασίας, ανεξαρτήτως πλυθισμού. Συνεπώς, θα περίμενε κανείς ότι σε χώρους όπου αναπτύσσονται θερμοκρασίες πέραν των 35 °C, η προσβολή από το έντομο είναι περιορισμένη. Θα πρέπει όμως να αναφερθεί ότι τα δεδομένα της παρούσας μελέτης δείχνουν ότι το έντομο μπορεί να αναπτυχθεί και να παράξει απογόνους στους 25 °C και μάλιστα, σε ορισμένους από τους συδυασμούς που εξετάστηκαν, η πληθυσμιακή ανάπτυξη ήταν μεγαλύτερη από αυτή που καταγράφηκε στους 30 °C. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς η θερμοκρασία των 25 °C αντιστοιχεί στις συνθήκες αποθήκευσης των σωρών των δημητριακών στην εύκρατη ζώνη (Quellhorst et al. 2020, 2021).

Από την άλλη πλευρά, ο ρυθμός ανάπτυξης του είδους φάνηκε να επηρεάζεται από τον συνδυασμό θερμοκρασίας και χρονικής περιόδου. Μεγαλύτερο δυναμικό παραγωγής (απόγονοι) παρατηρήθηκε στους 30 και 32°C στις 45 ημέρες, αλλά με την πάροδο του χρόνου ο ρυθμός ανάπτυξης φάνηκε να αλλάζει καθώς περισσότεροι απόγονοι παρατηρήθηκαν στους 25°C σε όλους τους πληθυσμούς. Η αντίθεση αυτή μπορεί να υποδηλώνει την ύπαρξη διαφορετικής βέλτιστης θερμοκρασίας μεταξύ της μέγιστης παραγωγής

απογόνων (με απαίτηση υψηλότερων θερμοκρασιών) και της μακροχρόνιας ανάπτυξης (σε χαμηλότερες θερμοκρασίες) του εντόμου στο καλαμπόκι. Περαιτέρω μελέτη είναι απαραίτητη για την πλήρη κατανόηση και επιβεβαίωση του φαινομένου αυτού. Καθώς η μέγιστη χρονική διάρκεια των παρατηρήσεών μας καθορίστηκε στις 70 ημέρες, είναι πιθανόν το μεγαλύτερο ποσοστό των απογόνων στο διάστημα αυτό να απαρτίζονταν από ατελή άτομα, δηλ. προνύμφες, νύμφες και ωά. Αντίστοιχα αποτελέσματα αναφέρουν και οι Athanassiou et al. (2014, 2017), σχετικά με την ανάπτυξη του είδους αυτού σε σπόρους καλαμποκιού, η οποία ενώ φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αυξημένη αρχικά, στη συνέχεια δεν ακολουθεί τον ίδιο ρυθμό. Βέβαια, ο περιορισμός στην ποσότητα της διαθέσιμης τροφής (καλαμπόκι σε μικρά φιαλίδια) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της περαιτέρω πληθυσμιακής ανάπτυξης του είδους (Kavallieratos et al., 2017). Ομοίως, το είδος αυτό μπορεί να αναπτυχθεί με επιτυχία σε καλαμπόκι στο οποίο υπάρχει αυξημένη ποσότητα σκόνης, και μάλιστα φαίνεται ότι η σκόνη ευνοεί την ανάπτυξη των προνυμφών στα πρώτα τους στάδια (Athanassiou et al., 2017; Sakka and Athanassiou, 2018; Quellhorst et al., 2020, 2021).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν πληθυσμοί από τις ΗΠΑ, το Μεξικό και την Τανζανία, πληθυσμοί που παρουσίασαν διαφορές μεταξύ της θερμοκρασίας και του χρόνου ανάπτυξης. Το μέγιστο των απογόνων των πληθυσμών από τις ΗΠΑ και την Τανζανία παρατηρήθηκε να μην διαφέρει μεταξύ των 25-32°C, ενώ ο πληθυσμός από το Μεξικό παρουσίασε στενότερο εύρος ιδανικής θερμοκρασίας (30°C). Διαφορές παρουσίασαν και οι πληθυσμοί όσον αφορά τον ρυθμό ανάπτυξής τους στον σπόρο με την πάροδο του χρόνου. Ο «ΗΠΑ» πληθυσμός φαίνεται να έχει ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης σε σχέση με τους υπολοίπους πληθυσμούς. Παρόλα αυτά είναι σίγουρο ότι 45 ημέρες είναι αρκετές για την εμφάνιση απογόνων, ανεξαρτήτως θερμοκρασίας. Από όσο γνωρίζουμε, δεν υπάρχουν δεδομένα τα οποία να βασίζονται στη σύγκριση διαφόρων πληθυσμών του είδους αυτού και συνεπώς, τα στοιχεία της παρούσας μελέτης παρέχουν στοιχεία σχετικά με την σύγκριση διαφόρων πληθυσμών. Καθώς το έντομο εισήχθη στην Αφρική σχετικά πρόσφατα (Quellhorst et al., 2021), είναι ενδιαφέρον να επισημανθεί ο βαθμός των αλλαγών που ενδεχομένως να υπάρχουν σε έναν πληθυσμό από την Τανζανία,

σε σχέση με τους «αρχέγονους» πληθυσμούς που προέρχονται από την Αμερική. Τα στοιχεία της μελέτης μας δείχνουν ότι ο πληθυσμός από την Αφρική ήταν ιδιαίτερα καταστρεπτικός στο καλαμπόκι, σε σχέση με τους άλλους δύο πληθυσμούς που εξετάστηκαν, τόσο υπό την έννοια της προσβολής, όσο και ως προς την παραγωγή απογόνων. Από τη σχετική βιβλιογραφία καθίσταται σαφές ότι το *P. truncatus* ήταν ένα είδος δευτερευούσης σημασίας στην Αμερική, ενώ μετά της εγκατάστασή του στην Αφρική έγινε σημαντικότερος εχθρός στο αποθηκευμένο καλαμπόκι, προσβάλλοντας ακόμα και τους σπάρδικες στο φυτό, αρκετό καιρό πριν τη συγκομιδή (Quellhorst et al. 2020, 2021).

Είναι γνωστό ότι τα ακμαία του *P. truncatus* τείνουν να παράγουν μεγάλες ποσότητες σκόνης καθώς προσβάλλουν τους σπόρους του καλαμποκιού. Ταυτόχρονα, δημιουργούν μεγάλες και ευδιάκριτες τρύπες, ενώ σε σοβαρές προσβολές σκελετώνουν τον σπόρο αφήνοντας μόνο τον φλοιό. Η θερμοκρασία είναι και εδώ ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στο δυναμικό προσβολής του κάθε πληθυσμού, κάτι το οποίο διακρίνεται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προσβεβλημένων σπόρων. Πράγματι, στο εύρος θερμοκρασιών μεταξύ των 25 και 32 °C παράχθηκε το περισσότερο της σκόνης και για τους τρεις πληθυσμούς, υποδεικνύοντας ότι η προσβολή ήταν σε προχωρημένο στάδιο. Ωστόσο, οι προσβεβλημένοι σπόροι που παρατηρήθηκαν στους 35°C κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το γεγονός αυτό ισώς υποδεικνύει ότι ενώ υπήρξε τροφική δραστηριότητα στην εν λόγω θερμοκρασία, είτε αυτή πραγματοποιήθηκε με μικρότερο ρυθμό είτε επήλθε σταδιακή θανάτωση των εντόμων. Οι μετρήσεις μας έδειξαν ότι οι δείκτες της προσβολής, δηλ. ο αριθμός των προσβεβλημένων σπόρων κτλ., δεν ήταν πάντα ανάλογοι με τον αριθμό των ακμαίων στα φιαλίδια, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο τρόπος προσβολής ποικίλλει (Quellhorst et al., 2021). Με άλλα λόγια, ενδεχομένως κάποια ακμαία να προκάλεσαν προσβολή σε μικρότερο βαθμό (δηλ. μικρότερη προσβολή στους σπόρους) αλλά σε μεγαλύτερο αριθμό σπόρων, ενώ κάποιοι πληθυσμοί να προκάλεσαν σημαντική ζημιά (π.χ. αφήνοντας μόνο το φλοιό) σε μικρότερο αριθμό σπόρων καλαμποκιού.

Τα αποτελέσματα της παρούσας ερευνητικής εργασίας μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το *P. truncatus* παρουσιάζει διαφορετική θερμική απόκριση με γνώμονα την προέλευση του πληθυσμού. Η προέλευση του πληθυσμού, ο ρυθμός ανάπτυξης και αναπαραγωγής των εντόμων, το ποσοστό και η σοβαρότητα της προσβολής αυτών στον σπόρο φαίνεται να είναι παράγοντες άρκετα συνδεδεμένοι με τα επίπεδα θερμοκρασίας του χώρου. Συνεπώς, η εύρεση και η αξιολόγηση τέτοιων παραγόντων αποτελεί και από τους βασικότερους πυλώνες για την σχεδίαση αποτελεσματικότερων μεθόδων καταπολέμησης. Ταυτόχρονα, η ανάδειξη της σημασίας του πληθυσμού και των διαφορών που μπορεί να παρουσιάσει στις απαιτούμενες συνθήκες μπορεί να βελτιστοποιήσει την ανάπτυξη πρωτοκόλλων που θα στοχεύουν στην αντιμετώπιση του *P. truncatus* με θερμικές μεθόδους.

5. Βιβλιογραφία

Arthur F.H., Morrison I.W.R., Morey A.C. (2019). Modeling the potential range expansion of 1166 larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae). *Scientific Reports*, 9, 6862. 1167 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42974-5>

Athanassiou C.G. and Kavallieratos N.G. (2014). Evaluation of spinetoram and spinosad for control of *Prostephanus truncatus*, *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus oryzae* and *Tribolium confusum* on stored grains under laboratory tests. *Journal of Pest Science* 87: 469-483.

Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G., Boukouvala M.C. and 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, p. 129-134.

Dick K.M. (1988) A review of insect infestation of maize in farm storage in Africa with special reference to the ecology and control of *Prostephanus truncatus*. *Overseas Development Natural Resources Institute Bull.*, 18, p. 42.

Hodges R.J. (1982). A review of the biology and control of the greater grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn): (Coleoptera, Bostrichidae). *Tropical Stored Product Inf.* 43, p. 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.08.007>

Hodges R.J. (1986). The biology and control of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae)-A destructive storage pest with an increasing range. *Journal of Stored Products Research*, 22, p. 11-14.

Howard D.C. (1983). The population biology of the greater grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn). University of Reading, United Kingdom.

Kavallieratos N.G., Athanassiou C.G., Peteinatos G.G., Boukouvala M.C. and Benelli G. (2017). Insecticidal effect and impact on fitness of three diatomaceous earths on different maize hybrids for the eco-friendly control of the invasive stored-product pest *Prostephanus truncatus* (Horn). *Environmental Science and Pollution Research* 25, 10407-10417.

Kiobia D.O., Tumbo S.D., Cantillo J., Rohde B.B. and Mallikarjunan P. K. (2021). Characterization of sounds in maize produced by internally feeding insects: Investigations to develop inexpensive devices for detection of *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae) and *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in small-scale storage facilities in Sub-Saharan Africa. *Florida Entomologist*, 98, p.405-409.

Machekano H., Mutamiswa R., Singano C., Joseph V., Chidawanyika F. and Nyamukondiwa C. (2020). Thermal resilience of *Prostephanus truncatus* (Horn): Can we derive optimum temperature-time combinations for commodity treatment? *Journal of Stored Products Research*, 86, 101568.

Muatinte B.L., Van Der Berg J., Santos L.A. (2014). *Prostephanus truncatus* in Africa: A review of biological trends and perspectives on future pest management strategies. *African Crop Science Journal*, 22, p.237 – 256.

Nyagwaya L.D.M., Mvumi B.M., Saunyama I.G.M. (2010). Occurrence and distribution of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in Zimbabwe. *International Journal of Tropical Insect Science*, 30, p.221–231.

Nyabako T., Mvumi B.M., Stathers T., Mlambo S. and Mubayiwa M. (2020). Predicting *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) populations and associated grain damage in smallholder farmers' maize stores: A machine learning approach. *Journal of Stored Products Research*, 87, 101592.

Quellhorst H., Athanassiou C.G., Bruce A., Scully E.D. and Morrison W.R.III. (2020). The outcome of interspecific competition between the invasive *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae) and the cosmopolitan *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) on progeny production, kernel damage, and mold growth at maize at different temperatures. *Environmental Entomology*, 49, 255-264.

Quellhorst H., Athanassiou C.G., Zhu K.Y., Morrison W.R.III. (2021). The biology, ecology, and management of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Stored Products Research*, 94, 101860.

Pimentel M.A.G., Faroni L.R.D.A., Totola M.R., Guedes R.N.C. (2007). Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. *Pest Management Science*, 63, p. 876-881.

Ranum P., Pena-Rosas P.J. and Garcia-Casal M.N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312, p.105-112.

Sakka M.K. and Athanassiou C.G. (2018). Competition of three stored-product bostrychids on different temperatures and commodities. *Journal of Stored Products Research* 79: 34-39.

SAS Institute Inc. Using JMP® Software, Version 7.0; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2007.

Singano C.D., Mvumi B.M., Stathers T.E., Machezano H., Nyamukondiwa C. (2020). What does global warming mean for stored-grain protection? Options for *Prostephanus truncatus* (Horn) control at increased temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 85, 101532.