آفات و بیماری‌های گیاهی
جلد ۹۱، شماره ۱، شهریور ۱۴۰۲
Applied Entomology and Phytopathology
Vol. 91, No. 1, Sep. 2023
DOI: 10.22092/JAEP.2023.361519.1472

مقاله پژوهشی

تأثیر ژنوتیپ‌های مختلف گندم روی زیست‌شناسی و پارامترهای رشد جمعیت *Trogoderma granarium*

بهرام ناصری✉، سویل نوروزی نیا، سید علی اصغر فتحی، هوشنگ رفیعی دستجردی

استاد، دانش آموخته کارشناسی ارشد، استاد، استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: اسفند ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۲)

چکیده

لمبه‌ی گندم *Trogoderma granarium* (Everts) یکی از مهم‌ترین آفات محصولات انباری به‌ویژه دانه‌های گندم در ایران و برخی از کشورهای جهان می‌باشد. در این پژوهش، اثر هفت ژنوتیپ مختلف گندم شامل ارقام حیدری، آفتاب، گاسکوژن، کوهدشت و تیرگان و لاین‌های N-91-9 و N-92-19 روی زیست‌شناسی و پارامترهای جدول زندگی دوجنسی لمبه‌ی گندم در دمای ۱±۳۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره‌ی نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی بررسی شد. نتایج نشان داد که طولانی‌ترین دوره‌ی رشدی قبل از بلوغ حشره روی لاین N-91-9 و ارقام حیدری و آفتاب بود. نرخ خالص تولیدمثل (R_0) از ۹/۰۳ نتاج روی N-92-19 تا ۳۴/۱۳ نتاج روی گاسکوژن متغیر بود. کمترین نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) روی ارقام حیدری و آفتاب و لاین‌های N-91-9 و N-92-19 بود. نتایج به‌ست آمده از این پژوهش نشان دهنده‌ی نامناسب بودن ارقام حیدری و آفتاب و لاین‌های N-91-9 و N-92-19 نسبت به‌سایر رقم‌های مورد آزمایش برای نشوونما و افزایش جمعیت لمبه‌ی گندم بود. از این ژنوتیپ‌ها می‌توان به‌عنوان منابعی از مقاومت، در برنامه‌های مدیریتی لمبه‌ی گندم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: دوره‌ی زندگی، رقم گندم، جدول زندگی، لمبه‌ی گندم

Effect of different wheat cultivars on biology and population growth parameters of *Trogoderma granarium*

B. NASERI✉, S. NORUZINIA, S.A. ASGHAR FATHI, H. RAFIEE-DASTJERDI

Professor, MSc, Professor, Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

The khapra beetle, *Trogoderma granarium* (Everts) is one of the most important insect pests of stored products, especially wheat grains, in Iran and some other countries of the world. In this research, effect of various wheat genotypes including Heidari, Aftab, Gaskojen, Kouhdasht, Tirgan, N-91-9, and N-92-19 was studied on biology and two-sex life table parameters of *T. granarium* under 33 ± 1°C, relative humidity of 65 ± 5%, and a photoperiod of 14:10 (L:D) h. Our results showed that the immature period of *T. granarium* was the longest on N-91-9, Heidari, and Aftab. The net reproductive rate (R_0) ranged from 9.03 offspring on N-92-19 to 34.13 offspring on Gaskojen. The lowest intrinsic rate of increase (r) was for *T. granarium* reared on Heidari, Aftab, N-91-9 and N-92-19. The results of this study indicated that Heidari, Aftab, N-92-19 and N-91-9 were unfavorable genotypes for *T. granarium* development and population increase. These genotypes could be used as one of the sources of resistance in management programs of *T. granarium*.

Keywords: Khapra beetle, life history, life table, wheat cultivar

✉ **bnaseri@uma.ac.ir**

©2023, The Author(s). Published by Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

مقدمه

گیاهان تیره‌ی غلات قسمت عمده نیازهای غذایی و حدود نیمی از کالری مورد نیاز انسان را تأمین می‌کنند. در بین انواع مختلف غلات، گندم *Triticum aestivum* (L.) رتبه سوم میزان تولید در جهان را بعد از نیشکر و ذرت به خود اختصاص داده است (FAO, 2020). لمبه‌ی گندم (Coleoptera: Dermestidae) *Trogoderma granarium* (Everts) یکی از مهم‌ترین آفات گندم در انبار می‌باشد. این سوسک علاوه بر گندم، از انواع دانه‌های غلات (مانند ذرت، جو، برنج و سورگوم) و حبوبات انبارشده تغذیه کرده و خسارت اقتصادی شدیدی به این محصولات وارد می‌کند (Lindgren *et al.*, 1955). حشرات کامل لمبه‌ی گندم قادر به تغذیه نمی‌باشند، اما تغذیه‌ی لاروها از دانه‌های غلات، ضمن تولید فضولات و پوسته‌های لاروی، منجر به کاهش کیفیت غذایی و برخی ویتأمین‌های گروه B شده و در صورت مصرف محصولات آلوده به این حشره، اختلالات گوارشی جدی را در انسان سبب می‌شود (Jood & Kapoor, 1993).

با توجه به خسارت اقتصادی *T. granarium* روی دانه‌های انباری گندم و همچنین آسیب‌های ناشی از کاربرد بی‌رویه و غیراصولی حشره‌کش‌های شیمیایی بر انسان و محیط زیست، استفاده از روش‌های ایمن کنترل آفت ضروری است. یکی از روش‌های کم‌خطر و سازگار با محیط زیست، استفاده از ارقام گیاهی مقاوم در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات است (Dent, 2000). استفاده از ارقام گیاهی مقاوم، خسارت آفات را با صرف کمترین هزینه برای کشاورز کاهش می‌دهد (Reagan *et al.*, 1997). پارامترهای (فراسنجه‌های) جدول زندگی، به‌ویژه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) از ابزارهای مهم برای ارزیابی سطح مقاومت گیاهان به حشرات می‌باشد.

میزان و نوع عناصر غذایی موجود در گیاه میزبان می‌تواند نرخ زنده‌مانی و افزایش جمعیت حشرات آفت را تحت تأثیر قرار دهد (Awmack & Leather, 2002). همچنین، نوع و غلظت ترکیبات شیمیایی اولیه و ثانویه‌ی گیاه و نیز قدرت هضم و جذب غذای خورده شده توسط حشره، مطلوبیت یا عدم مطلوبیت گیاه میزبان را برای حشرات آفت مشخص می‌کند (Scriber & Slansky, 1981؛ Sogbesan & Ugwumba, 2008). مقایسه‌ی پارامترهای زیستی و جدول زندگی حشرات آفت روی ارقام گیاهی مختلف، از رایج‌ترین روش‌های مطالعه‌ی مقاومت گیاه می‌باشد. جدول زندگی، جزئیات مرگ و میر جمعیت را شرح می‌دهد و از مجموع اطلاعات مربوط به زنده‌مانی و زادآوری به‌دست می‌آید (Southwood & Henderson, 2000).

تأثیر ارقام مختلف گندم بر میزان تغذیه‌ی لاروهای لمبه‌ی گندم توسط Aheer & Ahmad (1993) بررسی و اعلام شده است که رقم ۸۶۲۹۹ بیشترین مقاومت را نسبت به این آفت دارد. طبق گزارش Rao *et al.* (2004)، در بین ۲۸ رقم مختلف گندم، ارقام کالیانسونا، WTN50، SH240 و UAS2023 از مقاومت نسبی بالاتری در برابر تغذیه لمبه‌ی گندم برخوردار بودند. زیست‌شناسی لمبه‌ی گندم روی پنج میزبان گیاهی مختلف توسط Borzoui *et al.* (2015) بررسی و گزارش شده است که گردو میزبان نامطلوبی برای تغذیه و نشوونمای این آفت بود. جدول زندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای لمبه‌ی گندم روی ارقام مختلف گندم توسط Golizadeh & Abedi (2016) بررسی و نتایج آن‌ها نشان داده که رقم کوهدشت در مقایسه با سایر ارقام مورد آزمایش، مقاومت نسبی بالاتری در برابر آفت داشته است. در پژوهشی دیگر، تأثیر ده رقم جو روی زیست‌شناسی لمبه‌ی گندم توسط Golizadeh & Abedi (2017) مطالعه شده است. بر اساس گزارش این پژوهشگران، ارقام Lisuei و Makuyi از مطلوبیت نسبی بیشتری برای تغذیه و افزایش جمعیت لمبه‌ی گندم برخوردار بودند. نتایج بررسی تأثیر هیبریدهای مختلف ذرت روی جدول زندگی لمبه‌ی گندم نشان داده که بیشترین نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) روی هیبرید KSC 703 (۰/۰۷۷ بر روز) و کمترین آن روی هیبرید BC 678 (۰/۰۳۹ بر روز) بوده است (Majd-Marani *et al.*, 2017).

هدف از این پژوهش، بررسی زیست‌شناسی و پارامترهای جدول زندگی لمبه‌ی گندم در واکنش به تغذیه از دانه هفت ژنوتیپ گندم در شرایط آزمایشگاهی بود. تعیین میزان مطلوبیت

غذایی ارقام گندم برای لمبه‌ی گندم می‌تواند در طراحی رهیافت‌های کنترلی (مانند استفاده از مهارکننده‌های آنزیم‌های گوارشی) و تولید ارقام گیاهی مقاوم و همچنین در مدیریت انبار ارقام گندم حساس به آفت مفید و قابل استفاده باشد.

مواد و روش‌ها

ژنوتیپ‌های گندم

دانه‌ی ژنوتیپ‌های مختلف گندم شامل ارقام حیدری، آفتاب، گاسکوژن، کوهدشت و تیرگان و لاین‌های N-91-9 و N-92-19 از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) تهیه و برای تغذیه لاروها استفاده شدند. این ارقام به‌دلیل سطح زیر کشت بالایی که در کشور دارند برای این آزمایش انتخاب شدند. دانه‌ها در ابتدا با آب شسته و سپس در مجاورت هوا خشک شدند. با توجه به‌اینکه لاروهای سن اول لمبه گندم توانایی تغذیه از دانه‌های سالم را ندارند (Athanassiou *et al.*, 2016)، قبل از شروع آزمایش، دانه رقم‌های مختلف گندم با استفاده از دستگاه آسیاب‌کن خرد شدند.

پرورش آزمایشگاهی *T. granarium*

جمعیت اولیه لمبه‌ی گندم که روی دانه‌های گندم (رقم چمران) پرورش داده شده بودند از آزمایشگاه گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شد. سپس این حشرات روی ژنوتیپ‌های گندم مورد آزمایش در ظروف پلاستیکی گرد با قطر ۱۲ و ارتفاع ۵ سانتی متر به‌مدت دو نسل پرورش داده شدند. این ظروف به اتاقک پرورش با دمای ۱±۳۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره‌ی نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی منتقل شدند (Karnavar, 1967). برای تخم‌گیری، حشرات کامل حاصل از نسل دوم به‌طور جداگانه به ظروف پتری ۶ سانتی متری حاوی دانه‌های خرد شده از هر ژنوتیپ گندم منتقل شدند.

بررسی زیست‌شناسی *T. granarium*

برای مطالعه‌ی پارامترهای زیستی *T. granarium* روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط آزمایشگاهی، ۵۰ تخم تازه گذاشته شده (سن کمتر از ۲۴ ساعت) به‌طور تصادفی، به ازای هر ژنوتیپ گندم انتخاب و به‌صورت مجزا هر یک در ظرف پتری (قطر ۶ سانتی‌متر) حاوی ۰/۲ گرم از دانه خرد شده‌ی هر ژنوتیپ (به‌منظور تسهیل تغذیه لاروهای سن اول) قرار داده شد. به‌منظور تأمین تهویه، درپوش ظروف به قطر یک سانتی‌متر سوراخ و با توری مسدود شد. با بازدید روزانه‌ی ظروف، طول دوره تفریخ تخم، طول دوره لاروی (سن اول تا ششم) و شفیرگی به‌همراه مرگ‌ومیر آنها ثبت شد. حشرات نر و ماده بعد از ظهور به‌صورت جفت انتخاب و به‌داخل ظروف پتری ۶ سانتی‌تری جدید (حاوی ۰/۲ گرم از دانه هر ژنوتیپ گندم) انتقال داده شدند. تعداد حشرات کامل نر ظاهر شده از ژنوتیپ‌های مختلف ۱۹–۲۳ و ماده ۱۸–۲۵ بود. به‌طور روزانه این ظروف برای ثبت طول عمر حشرات کامل (نر و ماده)، طول دوره تخم‌گذاری و میزان زادآوری حشرات ماده روی هر ژنوتیپ، تا پایان عمر حشرات کامل نر و ماده بررسی شدند.

بررسی جدول زندگی دوجنسی *T. granarium*

جدول زندگی دوجنسی سن–مرحله با در نظر گرفتن طول دوره‌های رشدی متغیر بین افراد و بر اساس هر دو جنس نر و ماده طراحی شد. طبق روش ارائه شده توسط Chi & Su (2006)، نرخ بقای ویژه سنی (l_x) شامل هر دو جنس و زادآوری ویژه سنی (m_x) با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شد:

$$l_x = \sum_{j=1}^{k} s_{xj}$$

$$m_x = \frac{\sum_{j=1}^{k} s_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^{k} s_{xj}}$$

در فرمول بالا k نشان‌دهنده‌ی تعداد مراحل سنی می‌باشد. سپس پارامترهای رشد جمعیت با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شدند (Carey, 1993؛ Chi & Su, 2006):

نرخ ناخالص تولید مثل (Gross reproductive rate, *GRR*): $GRR = \Sigma m_x$

نرخ خالص تولید مثل (Net reproductive rate, R_0): $R_0 = \Sigma l_x m_x$

نرخ ذاتی افزایش جمعیت (Intrinsic rate of increase, r):

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$$

نرخ متناهی افزایش جمعیت (Finite rate of increase, λ): $\lambda = e^r$

میانگین مدت زمان یک نسل (Mean generation time, T): $T = \ln R_0 / r$

تجزیه‌ی آماری داده‌ها

داده‌های خام به‌دست آمده از مراحل زیستی *T. granarium* روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم با جدول زندگی دوجنسی سن–مرحله طبق روش ارائه شده توسط Chi (1988) با نرم افزار TWOSEX-MSChart تجزیه شدند (Chi, 2020). جهت تکراردار کردن داده‌های جدول زندگی، از روش بوت استرپ (Bootstrap) و برای مقایسه‌ی میانگین این داده‌ها از آزمون بوت استرپ جفت شده (Paired-bootstrap) استفاده شد.

نتایج

زیست‌شناسی *T. granarium*

طول دوره‌ی مراحل زیستی نابالغ

میانگین طول دوره‌ی نشوونمای مراحل نابالغ لمبه‌ی گندم روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، بین طول دوره‌ی جنینی، دوره‌ی لاروی، دوره شفیرگی و دوره رشدی قبل از بلوغ روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P<0.05$). طولانی‌ترین دوره‌ی جنینی روی لاین N-91-9 و کوتاه‌ترین آن روی رقم‌های گاسکوژن و تیرگان مشاهده شد. طولانی‌ترین دوره لاروی، شفیرگی و کل دوره‌ی نابالغ روی لاین N-91-9 و ارقام حیدری و آفتاب و کوتاه‌ترین آن‌ها روی ارقام گاسکوژن و تیرگان بود.

نرخ بقای مراحل نابالغ *T. granarium*

نرخ بقای مراحل نابالغ *T. granarium* روی هفت ژنوتیپ گندم در جدول ۲ نشان داده شده است. کمترین نرخ بقای لاروهای سن ۳ و ٤ مربوط به ارقام آفتاب، حیدری و لاین N-91-9 و کمترین نرخ بقای لاروهای سن ٥، ٦ و شفیره مربوط به رقم حیدری و لاین N-91-9 بود.

طول عمر حشرات کامل و پارامترهای تولیدمثلی

میانگین طول عمر حشرات کامل نر و ماده، طول دوره‌ی پیش از تخم‌گذاری، دوره‌ی تخم‌گذاری و زادآوری (تعداد کل تخم‌های گذاشته شده توسط هر فرد ماده در طول دوره‌ی تخم‌گذاری) *T. granarium* روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم در جدول ۳ ارائه شده است. طول دوره‌ی قبل از تخم‌گذاری افراد بالغ (Adult pre-oviposition period (APOP)) (فاصله‌ی زمانی بین ظهور افراد بالغ تا اولین تخم‌گذاری) روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم، تفاوت معنی‌داری داشت و طولانی‌ترین این دوره روی ارقام گاسکوژن و تیرگان بود ($P<0.05$). میانگین کل دوره‌ی قبل از تخم‌گذاری (Total pre-oviposition period (TPOP)) (فاصله‌ی زمانی بین تولد تا اولین تخم‌گذاری) هم دارای تفاوت معنی‌داری بود که طولانی‌ترین این دوره مربوط به لاین N-91-9 و ارقام حیدری و آفتاب بود ($P<0.05$). همچنین طولانی‌ترین دوره‌ی تخم‌گذاری مربوط به رقم‌های گاسکوژن و تیرگان و کوتاه‌ترین آن روی لاین N-91-9 و ارقام حیدری و آفتاب بود ($P<0.05$). بین ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه، از نظر زادآوری *T. granarium* اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین میزان زادآوری مربوط به رقم گاسکوژن و کمترین آن روی لاین N-91-9 و رقم حیدری مشاهده شد ($P<0.05$). کوتاه‌ترین طول عمر حشرات کامل نر روی لاین N-91-9 و رقم حیدری و طولانی‌ترین آن روی ارقام گاسکوژن و تیرگان بود. کوتاه‌ترین طول عمر حشرات کامل ماده روی لاین N-91-9 و طولانی‌ترین آن روی رقم گاسکوژن به‌دست آمد ($P<0.05$).

جدول ۱- میانگین (±خطای معیار) طول مراحل قبل از بلوغ (روز) *Trogodemra granarium* روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم

Table 1. Mean (±SE) duration of *Trogoderma granarium* immature stages (day) on different wheat genotypes

Wheat genotypes	Egg incubation	1st instar	2nd instar	3rd instar	4th instar	5th instar	6th instar	Total instar	Pupa	Immature stages
Aftab	5.83 ± 0.10 b	5.33 ± 0.09 b	6.47 ± 0.07 a	7.29 ± 0.07 a	6.53 ± 0.07 a	7.96 ± 0.09 b	7.92 ± 0.10 a	41.50 ± 0.49 a	6.44 ± 0.11 a	53.92 ± 0.26 a
Heidari	5.95 ± 0.09 ab	5.46 ± 0.08 a	6.51 ± 0.07 a	7.38 ± 0.07 a	6.60 ± 0.07 a	8.04 ± 0.09 b	8.12 ± 0.09 a	42.11 ± 0.47 a	6.42 ± 0.09 a	54.69 ± 0.27 a
Gaskojen	4.59 ± 0.11 d	4.27 ± 0.10 d	5.14 ± 0.09 c	5.10 ± 0.08 c	4.46 ± 0.08 d	5.76 ± 0.10 c	5.90 ± 0.10 c	30.63 ± 0.55 c	4.29 ± 0.09 c	39.50 ± 0.31 c
Kouhdasht	5.15 ± 0.09 c	4.62 ± 0.11 c	5.47 ± 0.08 b	5.32 ± 0.08 b	4.92 ± 0.09 b	5.85 ± 0.10 c	6.20 ± 0.11 b	32.38 ± 0.57 b	4.94 ± 0.11 b	42.42 ± 0.29 b
N-91-9	6.02 ± 0.09 a	5.49 ± 0.09 a	6.54 ± 0.07 a	7.41 ± 0.07 a	6.64 ± 0.07 a	8.80 ± 0.09 a	8.16 ± 0.09 a	43.04 ± 0.48 a	6.50 ± 0.10 a	55.10 ± 0.26 a
N-92-19	5.26 ± 0.09 c	4.70 ± 0.12 c	5.57 ± 0.09 b	5.40 ± 0.09 b	5.00 ± 0.10 b	5.92 ± 0.10 c	6.28 ± 0.11 b	32.87 ± 0.61 b	5.02 ± 0.11 b	43.15 ± 0.34 b
Tirgan	4.69 ± 0.12 d	4.39 ± 0.11 d	5.24 ± 0.09 c	5.22 ± 0.08 bc	4.66 ± 0.10 c	5.86 ± 0.09 c	6.00 ± 0.10 c	31.37 ± 0.57 c	4.44 ± 0.09 bc	40.52 ± 0.31 bc

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد (آزمون بوت استرپ جفت شده، $P < 0.05$).

The means followed by different letters in each column are significantly different (Paired-bootstrap test, $P < 0.05$).

جدول ۲- نرخ بقای مراحل نابالغ *Trogoderma granarium* روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم

Table 2. Survival rate of *Trogoderma granarium* immature stages on different wheat genotypes

Wheat genotypes	Egg	1st instar	2nd instar	3rd instar	4th instar	5th instar	6th instar	Pupa
Aftab	1.00	1.00	1.00	0.98	0.96	0.91	0.89	0.84
Heidari	1.00	1.00	1.00	0.96	0.94	0.89	0.88	0.83
Gaskojen	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	0.89	0.84
Kouhdasht	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.94
N-91-9	1.00	1.00	1.00	0.96	0.94	0.89	0.88	0.83
N-92-19	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.94	0.90
Tirgan	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.96

جدول ۳- میانگین (±خطای معیار) طول عمر حشره کامل و پارامترهای تولیدمثلی *Trogodemra granarium* روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم

Table 3. Mean (±SE) adult longevity and reproductive parameters of *Trogoderma granarium* (day) on different wheat genotypes

Wheat genotypes	Male longevity (day)	Female longevity (day)	Oviposition period (day)	APOP (day)	TPOP (day)	Fecundity (eggs/female)
Aftab	6.70 ± 0.14 ^{d}	6.08 ± 0.19 ^{e}	3.54 ± 0.25 ^{c}	1.83 ± 0.07 ^{c}	55.54 ± 0.41 ^{a}	33.83 ± 2.58 ^{d}
Heidari	6.33 ± 0.12 ^{e}	6.04 ± 0.13 ^{e}	3.41 ± 0.18 ^{c}	1.70 ± 0.09 ^{cd}	56.16 ± 0.40 ^{a}	30.50 ± 1.89 ^{e}
Gaskojen	10.25 ± 0.27 ^{a}	10.08 ± 0.27 ^{a}	7.29 ± 0.28 ^{a}	2.20 ± 0.10 ^{a}	41.70 ± 0.52 ^{c}	72.52 ± 3.32 ^{a}
Kouhdasht	9.97 ± 0.24 ^{b}	8.95 ± 0.19 ^{c}	6.29 ± 0.24 ^{b}	2.08 ± 0.08 ^{b}	44.45 ± 0.41 ^{b}	60.33 ± 2.66 ^{c}
N-91-9	6.20 ± 0.11 ^{e}	5.91 ± 0.14 ^{f}	3.33 ± 0.17 ^{c}	1.66 ± 0.09 ^{d}	56.41 ± 0.41 ^{a}	29.50 ± 1.77 ^{e}
N-92-19	9.58 ± 0.27 ^{c}	8.66 ± 0.20 ^{d}	6.04 ± 0.24 ^{b}	2.04 ± 0.07 ^{b}	45.16 ± 0.49 ^{b}	58.38 ± 2.68 ^{c}
Tirgan	10.08 ± 0.26 ^{a}	9.66 ± 0.26 ^{b}	6.91 ± 0.26 ^{a}	2.16 ± 0.09 ^{a}	42.75 ± 0.54 ^{c}	66.83 ± 3.01 ^{b}

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد (آزمون بوت استرپ جفت شده، $P < 0.05$).

The means followed by different letters in each column are significantly different (Paired-bootstrap test, $P < 0.05$).
APOP: Adult pre-oviposition period; TPOP: Total pre-oviposition period.

جدول ٤- میانگین (± خطای معیار) پارامترهای جدول زندگی دو جنسی *Trogoderma granarium* روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم

Table 4. Mean (±SE) two-sex life table parameters of *Trogoderma granarium* on different wheat genotypes

Wheat genotypes	*GRR* (offspring)	R_0 (offspring)	r (day^{-1})	λ(day^{-1})	T (day)
Aftab	27.55 ± 6.64 ^{c}	13.99 ± 2.42 ^{b}	0.045 ± 0.003 ^{b}	1.046 ± 0.003 ^{b}	57.65 ± 0.45 ^{a}
Heidari	23.12 ± 5.86 ^{c}	12.40 ± 2.09 ^{b}	0.042 ± 0.002 ^{b}	1.043 ± 0.003 ^{b}	58.30 ± 0.42 ^{a}
Gaskojen	57.09 ± 9.98 ^{a}	34.13 ± 5.30 ^{a}	0.077 ± 0.003 ^{a}	1.080 ± 0.003 ^{a}	45.28 ± 0.58 ^{b}
Kouhdasht	40.48 ± 7.58 ^{b}	27.32 ± 4.29 ^{a}	0.069 ± 0.003 ^{a}	1.071 ± 0.003 ^{a}	47.74 ± 0.43 ^{b}
N-91-9	21.23 ± 4.79 ^{c}	11.99 ± 2.01 ^{b}	0.042 ± 0.002 ^{b}	1.026 ± 0.003 ^{c}	58.55 ± 0.42 ^{a}
N-92-19	14.45 ± 7.09 ^{d}	9.03 ± 2.15 ^{b}	0.045 ± 0.003 ^{b}	1.046 ± 0.003 ^{b}	46.35 ± 0.50 ^{b}
Tirgan	57.59 ± 11.47 ^{a}	31.46 ± 4.87 ^{a}	0.074 ± 0.003 ^{a}	1.053 ± 0.003 ^{ab}	46.27 ± 0.58 ^{b}

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد (آزمون بوت استرپ جفت شده،$P < 0.05$).

The means followed by different letters in each column are significantly different (Paired-bootstrap test, $P < 0.05$).
GRR: Gross reproductive rate; R_0: Net reproductive rate; r: Intrinsic rate of increase; λ: Finite rate of increase; T: Mean generation time

پارامترهای جدول زندگی (رشد جمعیت)

نتایج پارامترهای رشد جمعیت حاصل از جدول زندگی دو جنسی نشان داد که نرخ ناخالص تولیدمثل (*GRR*) *T. granarium* روی لاین N-92-19 (۱۴/۴۵ نتاج) کم‌تر و روی ارقام تیرگان (۵۷/۵۹ نتاج) و گاسکوژن (۵۷/۰۹ نتاج) بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود (P<0.05)، همچنین نرخ خالص تولید مثل (R_0) روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم اختلاف معنی‌داری داشت، به‌طوری که مقدار آن روی کوهدشت، تیرگان و گاسکوژن به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود (P<0.05) (جدول ٤).

نتایج این آزمایش نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم از نظر نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) *T. granarium* تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P<0.05) و مقدار این پارامتر روی رقم‌های گاسکوژن، تیرگان و کوهدشت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. همچنین اختلاف معنی‌داری بین نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) روی هفت ژنوتیپ گندم مشاهده شد (P<0.05). بیشترین نرخ متناهی افزایش *T. granarium* روی رقم‌های گاسکوژن و کوهدشت و کم‌ترین آن روی لاین N-91-9 به‌دست آمد (P<0.05). میانگین مدت زمان یک نسل (T)، حشرات پرورش‌یافته روی لاین N-91-9 و ارقام حیدری و آفتاب به‌طور معنی‌داری طولانی‌تر از سایر ارقام بود (P<0.05) (جدول ٤).

بحث

کیفیت و تنوع گیاه میزبان روی میزان رشد، تعداد نتاج تولیدشده و افزایش جمعیت حشرات تأثیرگذار است (Tsai & Wang, 2001). گیاهان میزبان با ارزش غذایی کم، منجر به‌کاهش زادآوری و افزایش مرگ و میر حشرات می‌شود (Lee, 2007؛ Borzoui *et al.*, 2015). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که کیفیت دانه ژنوتیپ‌های مختلف گندم مورد آزمایش بر زیست‌شناسی و پارامترهای جدول زندگی *T. granarium* تأثیر معنی‌داری داشت.

در این پژوهش، تفاوت در طول دوره‌ی نابالغی *T. granarium* روی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، نشان‌دهنده‌ی تأثیر ویژگی‌های شیمیایی یا فیزیکی دانه‌ی ژنوتیپ‌های گندم روی این پارامتر می‌باشد. دوره نابالغی طولانی‌تر در لمبه‌ی گندم پرورش یافته روی رقم حیدری و لاین‌های N-91-9 و N-92-19 ممکن است به‌علت تغذیه‌ی نامناسب لاروها به‌دلیل سفت‌تر بودن بافت دانه در این ژنوتیپ‌ها باشد. طبق گزارش Golizadeh & Abedi (2016)، طول دوره‌ی نابالغی *T. granarium* روی ارقام مختلف گندم به‌طور معنی‌داری متفاوت بوده، به‌طوری که کوتاه‌ترین دوره روی رقم گاسکوژن (۴۰/۸۳ روز) و طولانی‌ترین آن روی رقم بزوستایا (۵۸/۴۰ روز) مشاهده شده است. تفاوت در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دانه مانند سختی دانه و حضور مهارکننده‌های آنزیم‌های گوارشی ممکن است موجب تفاوت در نرخ بقای مراحل مختلف حشره روی ارقام گندم مورد آزمایش شود. وجود سطح بالایی از مهارکننده‌های آنزیم‌های گوارشی در یک رقم گیاهی سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های گوارشی حشره می‌شود، در نتیجه حشره سطح بالاتری از آنزیم را ترشح کرده یا نوع آنزیم را تغییر می‌دهد که همه این موارد هزینه زیادی برای حشره داشته و روی قابلیت زیستی آن اثر منفی خواهد گذاشت (Mehrabadi *et al.*, 2012؛ Borzoui & Bandani, 2013). میزان بقای حشره تا حد بالایی وابسته به کیفیت مواد غذایی از جمله سختی دانه و همچنین مهارکننده‌های موجود در دانه‌های غلات مورد آزمایش می‌باشد (Majd-Marani *et al.*, 2017؛ Borzoui *et al.*, 2017).

بیشترین زادآوری *T. granarium* روی رقم گاسکوژن و کمترین آن روی رقم حیدری و لاین N-91-9 مشاهده شد. گزارش‌ها نشان می‌دهد که محتوای پروتئین و سختی دانه‌ی مورد تغذیه توسط حشره، به‌طور قابل توجهی روی هضم غذا توسط لاروهای *T. granarium* موثر می‌باشد (Majd-Marani *et al.*, 2018). بنابراین، تفاوت در میزان پروتئین و سختی دانه‌ی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش می‌تواند تفاوت در میزان زادآوری را توجیه کند. مقادیر دوره‌ی پیش از تخم‌گذاری حشره کامل و زادآوری *T. granarium* در این پژوهش تقریباً مشابه نتایج Golizadeh & Abedi (2016) روی ارقام مختلف گندم می‌باشد. در مطالعات پیشین گزارش شده است که ویژگی‌های زیستی حشرات از

جمله تخم‌گذاری افراد ماده، طول دوره‌ی بلوغ، طول دوره‌ی لاروی و شفیرگی به‌نوع غذای مورد تغذیه‌ی حشره بستگی دارد (Bernardi *et al.*, 2012). کیفیت غذا، سختی دانه، ترکیبات شیمیایی و مهارکننده های پروتئینی موجود در رژیم‌های غذایی ممکن است منجر به‌تغییر در این پارامترهای زیستی شود (Naseri & Borzoui, 2016). طولانی بودن عمر حشرات کامل نر و ماده روی رقم گاسکوژن فرصت بیشتری را برای جفتگیری و قراردادن تخم‌های بارور بیشتر برای حشره فراهم می‌کند. برعکس، کوتاه بودن عمر حشرات کامل نر و ماده روی لاین N-91-9 زمان کمتری را برای جفت‌گیری و زادآوری سوسک فراهم می‌کند.

طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، حشرات پرورش یافته روی رقم‌های گاسکوژن، کوهدشت و تیرگان بیشترین مقدار R_0 و r را دارند، بنابراین این ارقام مطلوب‌ترین میزبان‌ها برای رشد جمعیت لمبه‌ی گندم هستند. از دلایل اصلی افزایش R_0 و r می‌توان به کوتاه بودن دوره‌ی رشدی قبل از بلوغ، زادآوری بالا و شروع زودتر تولید مثل اشاره کرد. کیفیت تغذیه‌ای بالای ارقام گاسکوژن و کوهدشت می‌تواند از جمله دلایل بیشتر شدن مقدار r لمبه‌ی گندم روی این ارقام باشد. در آزمایش حاضر، بازه‌ی مقادیر R_0 و r تقریباً مشابه با مقادیر گزارش شده توسط Golizadeh & Abedi (2016) روی ارقام مختلف گندم بود. نتایج پارامترهای جدول زندگی *T. granarium* تغذیه شده روی ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی، توانایی این آفت را برای سازگاری با تغییر در رژیم‌های غذایی به‌خوبی آشکار می‌سازد. حشرات تغذیه شده روی N-91-9، حیدری و آفتاب طولانی‌ترین دوره نابالغی و کم‌ترین مقادیر R_0 و r را دارا بودند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان میزبان‌های نامناسب برای افزایش جمعیت آفت معرفی می‌شوند که می‌توانند به‌عنوان منابعی از مقاومت، در برنامه‌های مدیریتی لمبه‌ی گندم مورد استفاده قرار گیرند.

نتایج حاصل از بررسی زیست شناسی و جدول زندگی لمبه‌ی گندم روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم نشان دهنده‌ی نامناسب بودن ارقام آفتاب و حیدری و لاین‌های N-91-9 و N-92-19 نسبت به‌سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش بود. وجود ترکیبات شیمیایی دفاعی و یا عدم حضور عناصر غذایی ضروری برای نشوونمای آفت ممکن است دلیل نامناسب بودن بعضی از ژنوتیپ‌های مورد آزمایش برای *T. granarium* باشد. یافته های این پژوهش می‌تواند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی لمبه‌ی گندم در انبارهای گندم مفید باشد. به‌عنوان مثال، در مناطقی که رقم‌های گندم حساس به لمبه‌ی گندم کشت و انبار می‌شوند، باید اقدامات مراقبتی بیشتری را در انبارها برای حفاظت این ارقام از آلودگی به آفت اتخاذ نمود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان (استان اردبیل) به‌خاطر تأمین دانه ژنوتیپ‌های گندم و از معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی به‌خاطر تأمین هزینه‌های اجرای این پژوهش قدردانی به‌عمل می‌آید.

References

AACC. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, (10th ed). The American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.

ATHANASSIOU, C.G., KAVALLIERATOS, N.G. and BOUKOUVALA, M.C. 2016. Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts

(Coleoptera: Dermestidae) on different commodities. Journal of Stored Products Research, 69: 72-77.

AWMACK, C.S. and LEATHER, S.R. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. Annual Review of Entomology, 47: 817-44.

BERNARDI, D.M., GARCIA, S., BOTTON, M. and NAVA, D. E. 2012. Biology and fertility life table of the green aphid *Chaetosiphon fragaefolli* on strawberry cultivars. Journal of Insect Science, 12:28 available online: insectscience.org/12.28.

BERNFELD, P., 1955. Amylase α and β. Methods in Enzymology, 1: 149-154.

BORZOUI, E. and BANDANI, A.R. 2013. Wheat and triticale proteinaceous seed extracts inhibit gut α-amylase and protease of the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae*. Molecular Entomology, 4: 13-21.

BORZOUI, E., NASERI, B. and NAMIN, F.R. 2015. Different diets affecting biology and digestive physiology of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). Journal of Stored Products Research, 62: 1-7.

BORZOUI, E., NASERI, B. and NOURI-GANBALANI, G. 2017. Effects of food quality on biology and physiological traits of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). Journal of Economic Entomology, 110 (1): 266-273.

BRADFORD, M.A. 1976. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Journal of Analytical Biochemistry, 72: 248-254.

CAREY, J.R. 1993. Applied demography for biologists: with special emphasis on insects. Oxford University Press, 224p.

CHI, H. 2020. TWOSEX-MSChart: A computer program for the agestage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, (http://140.120.197.173/Ecology/Download/ Twosex-MSChart.zip) (accessed 1 August 2020).

CHI, H. and SU, H.Y. 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. Environmental Entomology, 35:10-21.

CHI, H. 1988. Life table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. Environmental Entomology, 17: 26-34.

DENT, D., 2000. Host plant resistance. pp. 123-179 in Dent, D. (Ed) Insect Pest Management. CABI Publishing, U.K., 410 p.

FAO. 2020. Food and Agriculture Organization. http://fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/, Available at 2020.

GOLIZADEH, A. and ABEDI, Z. 2016. Comparative performance of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on various wheat cultivars. Journal of Stored Products Research, 69: 159-165.

GOLIZADEH, A. and ABEDI, Z. 2017. Feeding performance and life table parameters of Khapra Beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on various barley cultivars. Bulletin of Entomological Research, 14: 1-10.

JOOD, S. and KAPOOR, A.C. 1993. Protein and uric acid contents of cereal grains as affected by insect infestation. Food Chemistry, 46: 143-146.

KARNAVAR, G.K., 1967. Studies on the biology of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts under laboratory conditions, with emphasis on diapause. Journal of Morphology and Physiology, 14: 205-215.

LEE, K.P., 2007. The interactive effects of protein quality and macronutrient imbalance on nutrient balancing in an

insect herbivore. Journal of Experimental Biology, 210: 3236-3244.

LINDGREN, D.L., VINCENT, L.E. and KROHNE, M.E. 1955. The Khapra beetle. *Trogoderma granarium*. Hilgardia, 24: l-36.

MAJD-MARANI, S., NASERI, B., NOURI-GANBALANI, G. and BORZOUI, E. 2017. The effect of maize hybrid on biology and life table parameters of the *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae). Journal of Economic Entomology, 110(4): 1916-1922.

MAJD-MARANI, S., NASERI, B., NOURI-GANBALANI, G. and BORZOUI, E. 2018. Maize hybrids affected nutritional physiology of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). Journal of Stored Products Research, 77: 20-25.

MEHRABADI, M., BANDANI, A.R., MEHRABADI, R. and ALIZADEH, H. 2012. Inhibitory activity of proteinaceous α-amylase inhibitors from triticale seeds against *Eurygaster integriceps* salivary α-amylases: Interaction of the inhibitors and the insect digestive enzymes. Pesticide Biochemistry and Physiology, 102: 220-228.

NASERI, B. and BORZOUI, E. 2016. Life cycle and digestive physiology of *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae) on various wheat cultivars. Annals of the Entomological Society of America, 109 (6): 831-838.

RAO, N.S., SHARMA, K., SAMYAL, A. and TOMAR, S.M.S. 2004. Wheat grain variability to infestation by Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts. Annals of Plant Protection Sciences, 12: 288-291.

REAGAN, T.E., OSTHEINER, E.A., RODRIGUES, L.M., Woolwing, A.E. and Schexnayder, H.P. 1997. Assessment of varietal resistance to borer. Sugarcane Research, Annual Progress Report, 266 pp.

SCRIBER, J.M. and SLANSKY, F. 1981. The nutritional ecology of immature insects. Annual Review of Entomology, 26: 183-211.

SOGBESAN, A.O and UGWUMBA, A.A.A. 2008. Nutritional evaluation of termite (*Macrotermes subhyalinus*) meal as animal protein supplements in the diets of *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) fingerlings. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 8: 149-157.

SOUTHWOOD, R. and HENDERSON, P.A. 2000. Ecological Methods. Third edition, Blackwell Science, Oxford, USA. 561pp.

TSAI, J.H and WANG, J.J. 2001. Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). Environmental Entomology, 30: 45-50.