

زیست‌شناسی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی پروتئاز و آمیلاز سوسک چهارلکه‌ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) روی ارقام مختلف ماش

بهرام ناصری^{id}، آرین عبادی^{id} و زهرا رضایی^{id}

گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده: سوسک چهارلکه‌ای حبوبات، *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae)، یکی از آفات مهم دانه حبوبات در ایران و اغلب کشورهای جهان می‌باشد. بررسی مقاومت ارقام حبوبات نسبت به این حشره می‌تواند در کاهش خسارت آفت مفید باشد. در این پژوهش، مقاومت دانه پنج رقم مختلف ماش (سختوت، زربخش، پرتو، ازبک و افغان) با بررسی پارامترهای زیستی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی پروتئاز و آمیلاز سوسک چهارلکه‌ای حبوبات در دمای 28 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و ۲۴ ساعت تاریکی ارزیابی شد. پس از تخم‌گذاری حشرات بالغ، دانه‌های ماش حاوی یک عدد تخم به صورت انفرادی به ظروف پتری ۶ سانتی‌متری منتقل و طول دوره قبل از بلوغ، درصد بقای افراد نابالغ، زادآوری و طول عمر حشرات کامل نر و ماده روی هر رقم بررسی شد. نتایج به دست آمده از زیست‌شناسی و پارامترهای جدول زندگی حشره با روش دوجنسی سن-مرحله رشدی تجزیه شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، درصد زنده‌مانی و طول دوره‌ی مراحل نابالغ روی رقم‌های مختلف ماش تفاوت معنی‌داری نداشت. در میان ارقام ماش مورد بررسی، زادآوری سوسک‌های ماده روی رقم پرتو ($69/21$ تخم) کمتر از سایر رقم‌ها بود. طولانی‌ترین دوره تخم‌گذاری آفت روی رقم زربخش ($5/33$ روز) و کوتاه‌ترین آن روی رقم ازبک ($4/54$ روز) به دست آمد. با این حال، نرخ خالص تولید مثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) روی رقم‌های مختلف ماش تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین فعالیت آنزیم‌های گوارشی آمیلاز و پروتئاز لاروهای سن چهارم روی رقم سختوت به دست آمد. مطابق با یافته‌های به دست آمده از پژوهش حاضر، تفاوتی در حساسیت و مقاومت رقم‌های ماش مورد بررسی نسبت به سوسک چهارلکه‌ای حبوبات مشاهده نشد.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۳۰

دبیر تخصصی: جلال جلالی سندی

نویسنده مسئول: بهرام ناصری

ایمیل: bnascri@uma.ac.ir

کلمات کلیدی: آفت انباری، جدول زندگی، مقاومت دانه، رقم حبوبات

DOI: <https://doi.org/10.22034/jesi.45.4.13>

مقدمه

حبوبات دومین منبع مهم غذایی بشر بعد از غلات بوده و سرشار از پروتئین، کربوهیدرات، کلسیم و آهن می‌باشند (Sanon et al., 2010). در بین حبوبات، ماش *Vigna radiata* L. (Wilczek) به عنوان پروتئین گیاهی ارزان برای تغذیه انسان، جانوران اهلی و همچنین استفاده به صورت کود سبز از اهمیت خاصی برخوردار است (FAO, 2016).

سوسک چهارلکه‌ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) یکی از اصلی‌ترین عوامل خسارت‌زا روی دانه‌ی انواع حبوبات در شرایط مزرعه و انبار است. این سوسک بومی آفریقا بوده ولی امروزه در تمام نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری دنیا انتشار یافته و خسارت قابل توجهی به دانه‌ی حبوبات در مزارع، انبارها و سیلوها وارد می‌نماید (Kumar, 2017). پراکنش وسیع و توانایی تغذیه‌ای بالای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات در مزرعه و انبار باعث کاهش ارزش اقتصادی حبوبات حساس به این آفت شده است (Johnson & Valer, 2003). در انبار، حشرات ماده تخم‌های خود را روی سطح دانه حبوبات قرار می‌دهند. لاروها پس از تفریح از تخم و عبور از پوسته دانه، وارد کوتیلدون شده و از محتویات آن تغذیه می‌کنند. در مواردی دانه‌های آفت‌زده در اثر تغذیه لارو کاملاً خالی می‌شوند که موجب کاهش شدید وزن، ارزش غذایی و قدرت جوانه‌زنی آن شده و در نتیجه، ارزش بازاریابی محصول به شدت کم می‌شود (Kumar, 2017). سوسک‌های حبوبات علاوه بر خسارت‌های زیاد به دانه‌های انباری، به علت همراه داشتن بعضی از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا قادرند سلامتی انسان را در معرض خطر قرار دهند (Mohandass et al., 2006).

با عنایت به اینکه سوسک چهار لکه‌ای حبوبات داخل دانه و در مکان‌های دور از دسترس فعالیت می‌کند، کنترل آن با چالش‌های زیادی روبرو است. از جمله روش‌های متداول کنترل این آفت، استفاده از آفتکش‌های شیمیایی مانند متیل برماید و فستوکسین می‌باشد که زیان جبران‌ناپذیری بر انسان، جانداران غیرهدف و محیط زیست وارد کرده است (Krzyżowski et al., 2021). با توجه به خسارت بالای آفات انباری و مضرات کاربرد آفتکش‌های شیمیایی، استفاده از ارقام مقاوم

یکی از بهترین روش‌های کنترل یا کاهش خسارت این آفت محسوب می‌شود. مقاومت گیاه میزبان از ابزارهای مهم مدیریت تلفیقی آفات است که از لحاظ اقتصادی و امنیت محیط زیست، نتایج قابل قبولی را به دنبال داشته است (Kennedi *et al.*, 1987). با توجه به اینکه پارامترهای زیستی و توانایی افزایش جمعیت یک حشره تحت تأثیر تغذیه از ارقام گیاهی مختلف قرار می‌گیرد، لذا می‌توان با اندازه‌گیری این پارامترهای آفت، از آن‌ها برای ارزیابی مقاومت و حساسیت ارقام به حشرات آفت استفاده کرد. یکی دیگر از روش‌های موثر در برنامه‌های مدیریت آفات، استفاده از گیاهان تراریخته دارای ترکیبات شیمیایی ثانوی موثر روی آنزیم‌های گوارشی حشرات است. بازدارنده‌های آنزیم‌های گوارشی یکی از ترکیبات شیمیایی دفاعی موجود در گیاهان است که با مهار هضم درشت مولکول‌هایی نظیر پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های وارد شده به دستگاه گوارش حشره، باعث کاهش تغذیه، کندی سرعت رشد و حتی مرگ به علت گرسنگی می‌شود (Azzouz *et al.*, 2005). لذا به منظور استفاده موفقیت‌آمیز از بازدارنده‌های آنزیم‌های گوارشی در مدیریت آفات، بررسی میزان فعالیت پروتئازها و آمیلازهای گوارشی حشرات (به عنوان دو گروه آنزیم‌های گوارشی غالب) و تأثیر آنها بر رشد، بقا و تولیدمثل حشره ضروری است.

تاکنون هیچ پژوهشی درباره پارامترهای رشد جمعیت و فعالیت آنزیم‌های گوارشی سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی ارقام ماش مورد آزمایش در پژوهش حاضر صورت نگرفته است. با این حال، مطالعاتی درباره تأثیر دانه حبوبات مختلف بر پارامترهای زیستی و فیزیولوژی آنزیم‌های گوارشی سوسک چهارلکه‌ای حبوبات انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. یافته‌های Roesli *et al.* (1990) نشان داد که تفاوت معنی‌داری در زادآوری سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی دانه لوبیا چشم بلبلی و ماش وجود نداشت، اما طول دوره نابالغ این آفت روی ماش کوتاه‌تر بود. جدول زندگی سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی دانه‌های لوبیا چشم بلبلی، نخود، عدس و ماش توسط Kazemi *et al.* (2009) بررسی و گزارش شد که لوبیا چشم بلبلی مطلوب‌ترین میزبان برای نشوونمای این آفت بود. زیست‌شناسی *C. maculatus* روی دانه ماش توسط Devi & Devi (2014) بررسی و طول دوره جنینی ۶-۷ روز، طول دوره لاروی ۱۸-۲۲ روز و طول دوره شفیرگی ۴-۵ روز گزارش شد. تأثیر تغذیه از دانه لوبیا چشم‌بلبلی، نخود و ماش روی فعالیت پروتئاز گوارشی لاروهای سن چهارم سوسک چهارلکه‌ای حبوبات بررسی و بالاترین فعالیت ویژه سیستمین پروتئازها روی لوبیا چشم‌بلبلی گزارش شد (Sarboland *et al.*, 2017). زیست‌شناسی و جدول زندگی *C. maculatus* روی دانه حبوبات مختلف بررسی و عدس به عنوان نامطلوب‌ترین میزبان برای افزایش جمعیت این سوسک معرفی شد (Bidar *et al.*, 2021). مقاومت دانه‌ی هفت رقم باقلا (مهتا، شادان، فیض، برکت، سرازیری، شاخ‌بزی و اتونو) با بررسی ترجیح تخم‌گذاری و جدول زندگی سوسک چهارلکه‌ای حبوبات ارزیابی و رقم‌های شاخ‌بزی و سرازیری به ترتیب حساس‌ترین و مقاوم‌ترین رقم‌ها نسبت به این حشره معرفی شدند (Naseri *et al.*, 2022). نتایج حاصل از مطالعه پارامترهای رشد جمعیت و فعالیت آنزیم‌های گوارشی *C. maculatus* روی دانه‌ی هفت رقم حبوبات مختلف نشان داد که لوبیا چشم‌بلبلی، ماش و نخود آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به باقلا، عدس و بادام زمینی در برابر این آفت دارند (Mansouri *et al.*, 2022). این پژوهش با هدف بررسی مقاومت و حساسیت پنج رقم تجاری ماش نسبت به *C. maculatus* با بررسی پارامترهای زیستی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی پروتئاز و آمیلاز آفت انجام شد تا با استفاده از ویژگی‌های مقاومت این ارقام و انتقال آن به ارقام حساس، بتوان کاربرد روش‌های شیمیایی کنترل آفت را به حداقل رساند.

مواد و روش‌ها

تهیه ارقام ماش. به منظور پرورش *C. maculatus* و انجام آزمایش‌ها، دانه ارقام مختلف ماش شامل سخاوت، زربخش و پرتو از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد (دزفول، خوزستان) و دو رقم وارداتی ازبک و افغان (به ترتیب وارد شده از کشور ازبکستان و افغانستان) از بازار تهران تهیه شدند. ارقام ماش مورد آزمایش، جزو ارقام تجاری و رایج کشت شده در ایران می‌باشند.

تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دانه ارقام ماش

اندازه‌گیری درصد رطوبت و سختی دانه. برای تعیین درصد رطوبت رقم‌های مختلف ماش (در سه تکرار)، بر اساس روش تایید شده انجمن AACCC (2000) (Approved methods of the American association of cereal chemists)، ابتدا ۲ گرم از دانه‌های آسیاب‌شده هر رقم در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت خشک شد. سپس اختلاف بین وزن اولیه دانه‌ها و وزن خشک آنها، تقسیم بر وزن اولیه به عنوان درصد رطوبت دانه در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری سختی دانه، از دستگاه سختی‌سنج (مدل SANTAM ساخت ایران) استفاده شد. به این صورت که سرعت حرکت صفحه بالایی (متحرک) دستگاه روی عدد ۵ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد و میزان نیروی مورد نیاز (بر حسب نیوتون) برای شکستن هر دانه به عنوان شاخص سختی دانه در نظر گرفته شد. این آزمایش در ۱۰ تکرار (هر تکرار شامل یک عدد دانه) انجام شد.

تعیین اندازه و وزن هزاردانه. اندازه (مساحت و حجم) دانه‌ی هر یک از ارقام مورد آزمایش (در ۱۰ تکرار) بر اساس فرمول‌های ارائه شده توسط Mitchel (1990) به شرح زیر محاسبه شدند:

$$D_g = (L \times W \times T)^{1/3}$$

$$S = \pi \times D_g^2$$

$$V = D_g^3 \times (\pi/6)$$

در فرمول بالا، D_g ، S و V به ترتیب میانگین قطر ژئومتریک، مساحت و حجم دانه و L ، W و T به ترتیب طول، عرض و ضخامت دانه می‌باشد که با استفاده از کولیس دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. میانگین وزن هزاردانه، با انتخاب تصادفی هزار عدد دانه ماش از هر رقم (در ۱۰ تکرار) و وزن‌گیری آنها با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد.

سنجش غلظت پروتئین و نشاسته. به منظور سنجش غلظت پروتئین محلول در ارقام مختلف ماش (در سه تکرار)، نخست دانه های هر رقم با دستگاه آسیاب کن به طور کامل آرد شده و ۰/۰۵ گرم از آرد هر رقم، همراه با ۱ میلی لیتر تریس ۱۰۰ میلی مولار (اسیدیته ۸/۲) همگن شد. بعد از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ در دمای ۴ درجه سلسیوس، فاز رویی (روتشین) برداشته شد. سپس ۱۰ میکرولیتر از مواد همگن شده به ۱ میلی لیتر از معرف بردافورد اضافه و پس از گذشت ۳۰ دقیقه، جذب آن ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر تعیین شد (Bradford, 1976).

به منظور سنجش غلظت نشاسته (در سه تکرار)، ۰/۵ گرم از آرد هر رقم با ۵ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد (با دمای ۶۰ درجه سلسیوس) مخلوط شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و فاز رویی برداشته شد. باقی مانده مخلوط داخل لوله آزمایش ریخته و به هر لوله ۵ میلی لیتر آب مقطر و ۶/۵ میلی لیتر اسید پرکلریک ۵۲ درصد اضافه شد. لوله ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای صفر درجه سلسیوس قرار داده شده، سپس سانتریفیوژ شده و فاز رویی جدا شد. با استفاده از سمپلر، ۲۰۰ میکرولیتر از فاز رویی برداشته و با آب مقطر به حجم ۱ میلی لیتر رسانده شد. برای تهیه معرف آنترون، ۲۰۰ میلی گرم آنترون در ۲۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد حل شد، سپس ۴ میلی لیتر از محلول آنترون به نمونه ها اضافه شد. نمونه ها به مدت ۸ دقیقه در حمام آبی (با دمای ۶۰ درجه سلسیوس) قرار داده و بلافاصله به داخل یخچال منتقل شدند. در نهایت جذب نمونه ها بعد از گذشت ۳۰ دقیقه، در طول موج ۶۳۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد (Shelgl, 1986).

تهیه عصاره دانه ماش. برای عصاره گیری از دانه های هر رقم ماش، ابتدا مقدار ۱ گرم از دانه های آسیاب شده از هر رقم در ۵۰ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق خیسانده شد. سپس از کاغذ صافی واتمن شماره ۴ عبور داده شدند. متانول در دمای کمتر از ۵۰ درجه سلسیوس توسط دستگاه روتاری تبخیر شد و باقی مانده عصاره در دمای ۴ درجه سلسیوس برای انجام آزمایشات نگهداری شد (Pourmorad et al., 2006).

اندازه گیری میزان فنول و فلاونوئید. برای اندازه گیری میزان فنل کل (در سه تکرار)، به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره دانه، ۲ میلی لیتر کربنات سدیم (۲ درصد)، ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرو لیتر معرف Folin-Ciocalteu (۵۰ درصد) اضافه شد. بعد از گذشت نیم ساعت، جذب آن ها در دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۷۲۰ نانومتر ثبت شد. اسید گالیک به عنوان استاندارد برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. میزان فنل کل عصاره ها براساس میلی گرم معادل اسیدگالیک بر گرم وزن خشک دانه ثبت شد (Meda et al., 2005).

برای سنجش فلاونوئید دانه (در سه تکرار) به ۵۰۰ میکرو لیتر از هر عصاره دانه، ۱/۵ میلی لیتر متانول (۸۰ درصد)، ۱۰۰ میکرو لیتر محلول استات سدیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. جذب محلول بعد از گذشت ۴۰ دقیقه در دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۱۵ نانومتر نسبت به بلانک اندازه گیری شد. بلانک حاوی تمام ترکیبات ذکر شده در بالا بود اما بجای عصاره دانه، همان حجم متانول ۸۰ درصد به بلانک اضافه شد. برای رسم منحنی استاندارد از کوئرستین استفاده شد. میزان فلاونوئید کل عصاره ها براساس میلی گرم معادل کوئرستین بر گرم وزن خشک دانه گزارش شد (Mita et al., 1997).

پرورش سوسک چهارلکه ای حبوبات. کلنی اولیه ی *C. maculatus*، از جمعیت آزمایشگاهی پرورش یافته روی دانه ی لوبیا چشم بلبلی (رقم مشهد) واقع در آزمایشگاه گروه گیاه پزشکی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه و در ظروف پلاستیکی گرد (قطر ۱۸/۵ و ارتفاع ۷ سانتی متر) به طور گروهی پرورش داده شدند. این ظروف در دمای ۲۸±۱ درجه ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۵±۵ درصد و تاریکی کامل نگهداری شدند. حشرات کامل نر و ماده پس از ظهور، جمع آوری و به طور مجزا به ظروف جدید (قطر ۱۸/۵ و ارتفاع ۷ سانتی متر) حاوی ۱۵۰ گرم دانه هر یک از ارقام ماش انتقال داده شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، از تخم های حداکثر یک روزه برای انجام آزمایش ها استفاده شد.

بررسی زیست شناسی سوسک چهارلکه ای حبوبات روی ارقام مختلف ماش. برای بررسی تأثیر تغذیه از ارقام مختلف ماش روی زیست شناسی آفت، ۳۰ جفت از افراد بالغ نر و ماده ی سوسک چهارلکه ای حبوبات به طور مجزا داخل ظروف پرورش (قطر ۱۸/۵ و ارتفاع ۷ سانتی متر) حاوی دانه ارقام مختلف ماش قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، تعداد ۵۰ عدد تخم به ازای هر رقم انتخاب (هر دانه حاوی یک تخم) و به صورت انفرادی به ظروف پتری ۶ سانتی متری منتقل شدند. درب ظروف پتری برای تامین تهویه به ابعاد تقریبی یک سانتی متر سوراخ و با توری مسدود شد. بازدید روزانه از ظروف انجام و طول دوره ی نشوونما و بقای مراحل نابالغ ثبت شد. پس از ظهور حشرات کامل، هر یک جفت حشره نر و ماده، برای جفتگیری و تخمگذاری به ظروف پتری ۶ سانتی متری حاوی ۵ عدد دانه ارقام مورد آزمایش (به عنوان بستر تخمگذاری) منتقل شدند. طول عمر حشرات کامل نر و ماده و میزان زادآوری (تعداد تخم های گذاشته شده) در هر روز و در طول دوره تخمگذاری تا پایان عمر حشرات کامل به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفت.

پارامترهای رشد جمعیت سوسک چهارلکه ای حبوبات روی ارقام ماش. جدول زندگی (پارامترهای رشد جمعیت) سوسک چهارلکه ای حبوبات روی پنج رقم مختلف ماش به روش دوجنسی سن-مرحله رشدی بررسی شد. بدین منظور، ابتدا نرخ بقای ویژه سنی (l_x) و زادآوری ویژه سنی (m_x) آفت با استفاده از معادله های زیر محاسبه شدند (Chi and Su, 2006):

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

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

سپس پارامترهای رشد جمعیت شامل نرخ ناخالص تولید مثل (GRR)، نرخ خالص تولید مثل (R_0) تولید مثل، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و متوسط زمان یک نسل (T) آفت با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شدند (Chi & Su, 2006):

$$GRR = \sum_{x=\alpha}^{\beta} m_x$$

$$R_0 = \sum_{x=1}^{\omega} \sum_{j=1}^m s_{xj} f_{xj}$$

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

$$\lambda = e^r$$

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

سنجش محتوای پروتئین و فعالیت آنزیم‌های گوارشی لارو

تهیه عصاره آنزیمی. برای تهیه عصاره آنزیمی، ۵۰ عدد لارو سن چهارم (*C. maculatus*) پرورش‌یافته روی هر رقم ماش انتخاب و کل بدن لارو در یک میلی‌لیتر آب مقطر با استفاده از هموژنایزر برقی با سرعت ۳۵۰۰ rpm به مدت ۳۰ ثانیه روی یخ همگن شدند. مخلوط‌های حاصل در دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس با سرعت (۱۵۰۰ ×g) به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. روشن‌های به دست آمده جداسازی شد و به‌منظور سنجش میزان پروتئین بدن و فعالیت پروتئولیتیک و آمیلولیتیک گوارشی مورد استفاده قرار گرفت (Borzoui & Bandani, 2013).

سنجش محتوای پروتئین بدن لارو. محتوای پروتئین بدن لاروهای سن آخر بر اساس روش Bradford (1976) اندازه‌گیری شد. ابتدا ۲۰ میکرولیتر از عصاره بدن لارو با ۱ میلی‌لیتر معرف بردفورد مخلوط شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه، جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. این آزمایش در ۳ تکرار انجام شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌های گوارشی. به منظور اندازه‌گیری فعالیت آلفا-آمیلاز، ابتدا مقدار ۲۰۰ میکرولیتر بافر Tris-Hcl ۵۰ میلی مولار با اسیدیته‌ی ۵/۵، با ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی حاصل از لاروها و ۶۰ میکرولیتر نشاسته‌ی ۱ درصد مخلوط شد. بعد از نیم ساعت واکنش در دمای ۳۷ درجه‌ی سلسیوس، مقدار ۲۰۰ میکرولیتر معرف رنگی ۳، ۵- دی نیترو سالیسیلیک اسید به مخلوط واکنش اضافه شد. سپس در حمام آب گرم (میانگین دمای ۹۰ درجه‌ی سلسیوس) به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد و پس از سرد شدن نمونه‌ها، جذب نوری هر کدام در طول موج ۵۴۰ نانومتر تعیین شد (Bernfeld, 1955). هر یک از آزمایشات مربوط به تیمار و شاهد در سه تکرار انجام شد. سوپسترای هموگلوبین (شرکت سیگما، آلمان) برای سنجش فعالیت پروتئازی کل لارو *C. maculatus* مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل ۳۰ میکرولیتر محلول هموگلوبین ۲ درصد در ۹۰ میکرولیتر بافر استات سدیم (اسیدیته ۵/۵) (Cohen, 1993) و ۱۵ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود که به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس نگهداری شد. هضم پروتئینی با اضافه کردن ۳۰ میکرولیتر تری کلرواستیک اسید ۳۰ درصد متوقف و هموگلوبین هیدرولیز نشده موجود در واکنش، با قراردادن آنها در یخچال به مدت ۳۰ دقیقه بطور کامل رسوب داده شد. بعد از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ نمونه‌ها با سرعت (۱۶۰۰ ×g)، حجم مساوی از معرف Folin-Ciocalteu رقیق شده به روشن‌های اضافه و پس از ۱۰ دقیقه جذب آن در طول موج ۶۵۰ نانومتر با استفاده از الایزایدر تعیین شد (Folin and Ciocalteu, 1927). در شاهد (بلانک) عصاره آنزیمی بعد از اضافه کردن تری کلرواستیک اسید به مخلوط واکنش افزوده شد. هر یک از آزمایشات مربوط به تیمار و شاهد در سه تکرار انجام شد.

تجزیه آماری. برای اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها، از آزمون Kolmogorov-Smirnov با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab نسخه ۱۶ استفاده شد. تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ارقام ماش، فعالیت آنزیمی و محتوای پروتئین بدن لاروها با استفاده از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه (one-way ANOVA) با نرم‌افزار آماری Minitab نسخه ۱۶ انجام شد. اختلاف‌های آماری بین میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون Tukey در سطح احتمال ۵ درصد بررسی شد. نتایج به دست آمده از پارامترهای زیستی سوسک با روش دوجنسی سن-مرحله رشدی در نرم‌افزار TWOSEX-MS Chart تجزیه شدند (Chi, 1988; Chi, 2021). جهت تکراردار کردن این پارامترها از روش بوت‌استرپ و به منظور ارزیابی تفاوت آماری بین میانگین‌ها، از آزمون بوت‌استرپ جفت‌شده استفاده شد. ارتباط

بین پارامترهای زیستی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات با ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی دانه ارقام ماش با روش تجزیه همبستگی پیرسون بررسی شد.

نتایج

ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی ارقام ماش. نتایج حاصل از بررسی پارامترهای فیزیکی و بیوشیمیایی ارقام مختلف ماش در جدول ۱ ارائه شده است. بیشترین درصد رطوبت دانه مربوط به رقم افغان و کمترین درصد مربوط به ارقام ازبک، سخاوت و زربخش بود ($F_{4,10} = 12.29, P < 0.01$). شاخص سختی پنج رقم ماش مورد بررسی دارای تفاوت معنی‌دار بود ($F_{4,45} = 40.23, P < 0.001$)، به طوری که بیشترین شاخص سختی در رقم پرتو و کمترین شاخص در رقم زربخش مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، مساحت ($F_{4,45} = 48.32, P < 0.001$) و حجم ($F_{4,45} = 42.43, P < 0.001$) دانه در ارقام سخاوت و زربخش بیشتر از رقم پرتو بود. بیشترین وزن هزار دانه در ارقام ازبک، سخاوت و زربخش و کمترین آن در رقم پرتو به دست آمد ($F_{4,45} = 757.56, P < 0.001$). بیشترین میزان پروتئین دانه در رقم پرتو و کمترین آن در رقم زربخش ثبت شد ($F_{4,10} = 12.41, P < 0.01$). با این حال، میزان نشاسته دانه در ارقام مختلف مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری نداشت ($F_{4,10} = 2.31, P = 0.129$). غلظت ترکیبات فنولی موجود در دانه در ارقام ازبک و زربخش بیشتر از سایر ارقام بود ($F_{4,10} = 27.03, P < 0.001$). بیشترین و کمترین محتوای فلاونوئید دانه به ترتیب در ارقام زربخش و افغان به دست آمد ($F_{4,10} = 22.99, P < 0.001$).

نرخ بقا و زادآوری ویژه سنی سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی ارقام ماش. نرخ بقای ویژه سنی (l_x) و زادآوری ویژه سنی (m_x) سوسک *C. maculatus* روی دانه ارقام ماش در شکل ۱ نشان داده شده است. نرخ بقا در اولین روز خروج حشره کامل ماده ۰/۷۴، ۰/۷۷، ۰/۸۶، ۰/۷۷ و ۰/۷۷ به ترتیب روی ارقام سخاوت، زربخش، پرتو، ازبک و افغان مشاهده شد. بیشترین سن حشرات ماده روی تیمارهای ذکر شده به ترتیب در روزهای ۳۳، ۳۷، ۳۳، ۳۴ و ۳۸ بود. شروع تخم‌گذاری ماده‌ها روی تمامی ارقام ماش در سن ۲۲ روز بود. بالاترین زادآوری ویژه سنی (m_x) روی ارقام مورد آزمایش به ترتیب ۱۱/۷۹، ۹/۶۹، ۱۱/۹۰، ۸/۵۹ و ۱۰/۳۶ نتاج در روز ۲۵ بود.

زیست‌شناسی و پارامترهای رشد جمعیت سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی ارقام ماش. درصد زنده‌مانی، طول دوره نابالغ، طول عمر حشرات کامل و زادآوری سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی ارقام مختلف ماش در جدول ۲ آورده شده است. درصد زنده‌مانی و طول دوره نابالغ حشره تفاوت معنی‌داری روی ارقام ماش مورد بررسی نداشت ($P > 0.05$). طول عمر حشرات کامل نر روی ارقام افغان و پرتو طولانی‌تر از ارقام سخاوت و زربخش بود ($P < 0.05$). حشرات ماده پرورش‌یافته روی رقم زربخش طولانی‌ترین عمر و حشرات ماده پرورش‌یافته روی رقم‌های افغان و پرتو کوتاه‌ترین عمر را داشتند ($P < 0.05$). طولانی‌ترین دوره تخم‌گذاری آفت روی رقم زربخش و کوتاه‌ترین آن روی رقم ازبک به دست آمد ($P < 0.05$). زادآوری سوسک‌های ماده روی رقم پرتو به طور معنی‌داری کمتر از سایر ارقام مورد بررسی بود ($P < 0.05$). تمامی پارامترهای جدول زندگی سوسک چهارلکه‌ای حبوبات به جز نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR)، اختلاف معنی‌داری روی ارقام مختلف ماش نداشتند ($P > 0.05$). (جدول ۳). نرخ ناخالص تولیدمثل سوسک روی رقم زربخش به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) بیشتر از ارقام ازبک و پرتو بود.

محتوای پروتئین لارو و فعالیت آنزیم‌های گوارشی سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی ارقام ماش. محتوای پروتئین بدن ($F_{4,10} = 33.23, P < 0.001$) و فعالیت آلfa-آمیلاز ($F_{4,10} = 153.15, P < 0.001$) و پروتئاز کل ($F_{4,10} = 25.33, P < 0.001$) لاروهای سن چهارم سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی ارقام ماش مورد آزمایش، دارای اختلاف معنی‌دار بودند. بیش‌ترین میزان پروتئین در لاروهای پرورش‌یافته روی رقم زربخش (۰/۴۲۱ میلی گرم بر میلی لیتر) و کمترین مقدار در لاروهای تغذیه شده با رقم ازبک (۰/۳۷۳ میلی گرم بر میلی لیتر) مشاهده شد. بیش‌ترین فعالیت آنزیم آلfa-آمیلاز روی رقم پرتو و کمترین فعالیت آنزیم روی رقم سخاوت ثبت شد. فعالیت پروتئولیتیک لاروهای پرورش‌یافته با رقم سخاوت کمتر از لاروهای تغذیه شده با سایر ارقام بود (جدول ۴).

تجزیه همبستگی بین پارامترهای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات و ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی ارقام ماش. نتایج تجزیه همبستگی پیرسون بین پارامترهای زیستی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی سوسک چهارلکه‌ای حبوبات و ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی دانه ارقام ماش نشان داد که GRR حشره همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص سختی دانه ارقام ماش داشت. همچنین همبستگی مثبت معنی‌داری بین درصد رطوبت دانه با طول عمر حشرات کامل نر، مساحت و حجم دانه با زادآوری و میزان فلاونوئید دانه با طول عمر حشرات کامل ماده مشاهده شد. بین سایر پارامترهای زیستی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی مورد بررسی حشره با سایر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی ارقام ماش مورد آزمایش همبستگی معنی‌داری ثبت نشد (جدول ۵).

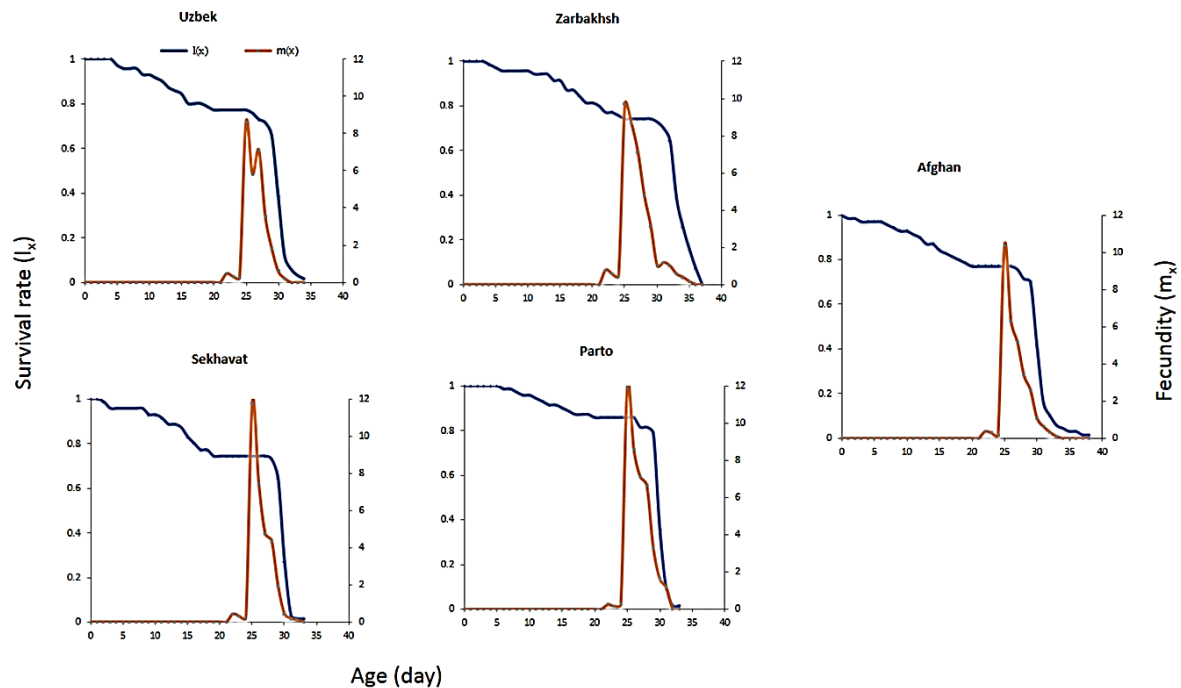
جدول ۱- میانگین ($\pm$ خطای معیار) برخی ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی دانه ارقام مختلف ماش

Table 1. Mean ($\pm$ SE) values for some physical and biochemical characteristics of the seed of different green gram cultivars

Cultivar	Moisture (%)	Grain hardness (N)	Volume (mm ³)	Area (mm ²)	1000-seed weight (g)	Protein content (mg/ml)	Starch content (mg/ml)	Phenolic content (mg gallic acid/g)	Flavonoid content (mg quercetin/g)
Uzbek	8.51 $\pm$ 0.24b	30.78 $\pm$ 0.45b	45.97 $\pm$ 2.39b	61.90 $\pm$ 2.16b	68.13 $\pm$ 0.43a	0.81 $\pm$ 0.01bc	0.03 $\pm$ 0.003a	40.70 $\pm$ 3.60a	2.82 $\pm$ 0.20bc
Afghan	9.93 $\pm$ 0.14a	28.67 $\pm$ 0.29c	53.30 $\pm$ 2.26ab	68.34 $\pm$ 1.90ab	54.28 $\pm$ 0.89b	0.83 $\pm$ 0.02ab	0.02 $\pm$ 0.002a	9.53 $\pm$ 1.85b	1.89 $\pm$ 0.29c
Sekhavat	8.32 $\pm$ 0.28b	28.79 $\pm$ 0.39bc	60.00 $\pm$ 2.37a	73.98 $\pm$ 1.98a	69.76 $\pm$ 0.31a	0.84 $\pm$ 0.01ab	0.03 $\pm$ 0.003a	11.90 $\pm$ 2.08b	3.46 $\pm$ 0.32b
Parto	9.16 $\pm$ 0.09ab	33.31 $\pm$ 0.45a	29.06 $\pm$ 0.89c	45.19 $\pm$ 1.08c	35.94 $\pm$ 0.19c	0.86 $\pm$ 0.01a	0.03 $\pm$ 0.004a	18.10 $\pm$ 4.10b	2.82 $\pm$ 0.14bc
Zarbakhsh	8.21 $\pm$ 0.19b	24.55 $\pm$ 0.81d	60.16 $\pm$ 1.56a	74.18 $\pm$ 1.12a	68.13 $\pm$ 0.43a	0.77 $\pm$ 0.01c	0.02 $\pm$ 0.003a	37.06 $\pm$ 1.10a	4.86 $\pm$ 0.17a

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها است ($P < 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences among the means (Tukey' HSD test, $P < 0.05$)



شکل ۱- نرخ بقای ویژه سنی (l_x) و زادآوری ویژه سنی (m_x) *Callosobruchus maculatus* روی دانه ارقام مختلف ماش

Fig. 1. Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of *Callosobruchus maculatus* reared on seed of different green gram cultivars

جدول ۲. زیست‌شناسی (میانگین $\pm$ خطای معیار) سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی دانه ارقام مختلف ماش

Table 2. Life history (mean $\pm$ SE) of *Callosobruchus maculatus* on seed of different green gram cultivars

Cultivar	Immature survival (%)	Pre-adult period (day)	Male longevity (day)	Male lifespan(day)	Female longevity (day)	Female lifespan (day)	Oviposition period (day)	Fecundity (eggs per reproductive period)
Uzbek	77.16 $\pm$ 0.05 a	25.12 $\pm$ 0.17 a	5.36 $\pm$ 0.13 ab	30.40 $\pm$ 0.31 ab	5.33 $\pm$ 0.12 ab	30.58 $\pm$ 0.24 ab	4.54 $\pm$ 0.26 c	83.75 $\pm$ 2.38 a
Afghan	77.14 $\pm$ 0.05 a	24.42 $\pm$ 0.25 a	5.76 $\pm$ 0.18 a	31.30 $\pm$ 0.40 a	5.16 $\pm$ 0.12 b	30.45 $\pm$ 0.30 ab	4.84 $\pm$ 0.15 bc	89.70 $\pm$ 2.88 a
Sekhavat	74.28 $\pm$ 0.05 a	25.11 $\pm$ 0.10 a	5.07 $\pm$ 0.16 b	30.30 $\pm$ 0.15 b	5.26 $\pm$ 0.11 ab	30.26 $\pm$ 0.20 b	4.84 $\pm$ 0.15 bc	86.03 $\pm$ 2.50 a
Parto	85.71 $\pm$ 0.04 a	25.00 $\pm$ 0.10 a	5.59 $\pm$ 0.14 a	30.51 $\pm$ 0.26 ab	5.18 $\pm$ 0.08 b	30.24 $\pm$ 0.15 b	4.90 $\pm$ 0.15 bc	69.21 $\pm$ 2.28 b
Zarbakhsh	82.85 $\pm$ 0.04 a	25.44 $\pm$ 0.30 a	5.16 $\pm$ 0.15 b	30.56 $\pm$ 0.53 ab	5.54 $\pm$ 0.09 a	31.03 $\pm$ 0.31 a	5.33 $\pm$ 0.12 a	85.66 $\pm$ 4.95 a

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها است ($P < 0.05$).

Different letters in each column indicate a significant difference between the means (Paired-bootstrap test, $P < 0.05$).

جدول ۳- پارامترهای رشد جمعیت (میانگین $\pm$ خطای معیار) سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی دانه ارقام مختلف ماش

Table 3. Population growth parameters (mean $\pm$ SE) of *Callosobruchus maculatus* on seed of different green gram cultivars

Cultivar	GRR (offspring)	R_0 (offspring)	r (day ⁻¹)	λ (day ⁻¹)	T (day)
Uzbek	41.06 $\pm$ 6.78b	28.71 $\pm$ 5.04a	0.123 $\pm$ 0.004a	1.13 $\pm$ 0.005a	27.24 $\pm$ 0.21a
Afghan	49.56 $\pm$ 8.97ab	30.75 $\pm$ 5.17a	0.125 $\pm$ 0.006a	1.13 $\pm$ 0.006a	27.35 $\pm$ 0.23a
Sekhavat	57.69 $\pm$ 11.21ab	31.95 $\pm$ 5.04a	0.127 $\pm$ 0.006a	1.13 $\pm$ 0.007a	27.09 $\pm$ 0.17a
Parto	41.03 $\pm$ 5.11b	32.62 $\pm$ 4.25a	0.123 $\pm$ 0.006a	1.13 $\pm$ 0.007a	27.33 $\pm$ 0.12a
Zarbakhsh	82.01 $\pm$ 17.15a	39.44 $\pm$ 5.10a	0.133 $\pm$ 0.005a	1.14 $\pm$ 0.005a	27.58 $\pm$ 0.26a

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها است ($P < 0.05$).

Different letters in each column indicate a significant difference between the means (Paired-bootstrap test, $P < 0.05$). GRR: Gross reproductive rate; R_0 : Net reproductive rate; r : Intrinsic rate of population increase; λ : Finite rate of population increase; T : Mean generation time.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که سوسک چهارلکه‌ای حبوبات واکنش تغذیه‌ای و زیستی متفاوتی نسبت به عوامل فیزیکی و بیوشیمیایی دانه ارقام ماش مورد آزمایش داشت. به طوری که برخی پارامترهای زیستی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی آفت به طور معنی‌داری تحت تاثیر ارقام مورد تغذیه حشره قرار گرفت. تغذیه سوسک چهارلکه‌ای حبوبات در مرحله لاروی از دانه ارقام ماش مورد آزمایش، اثر معنی‌داری روی درصد زنده‌مانی و طول دوره نابالغ نداشت. عدم تفاوت در بقاء و نشوونمای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی این ارقام نشان می‌دهد که لاروها توانایی تغذیه‌ی بهینه از دانه ارقام ماش را دارا بوده و یا کیفیت غذایی دانه‌ها برای نشوونمای مطلوب لاروها یکسان بوده است (Seram et al., 2016). به عبارت دیگر، تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی دانه ارقام ماش مورد آزمایش، اثر معنی‌داری روی مراحل قبل از بلوغ آفت نداشت. محدوده طول دوره نابالغ سوسک چهارلکه‌ای حبوبات در پژوهش حاضر، همراستا با مقادیر گزارش شده توسط Mansouri et al. (2022) و Bidar et al. (2021) برای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات پرورش‌یافته روی دانه ماش می‌باشد. با این حال، طول دوره نابالغ آفت روی ارقام ماش کوتاه‌تر از مقدار گزارش شده توسط Nasari et al. (2022) برای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی ارقام مختلف باقلا می‌باشد. این تفاوت‌ها ممکن است به دلیل تفاوت در گونه میزبان و ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی آنها باشد. با توجه به اینکه لاروهای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات در داخل دانه محصور بوده و تمامی مراحل لاروی و شفیرگی را درون یک دانه سپری می‌کنند، لذا تخم‌گذاری سوسک‌های ماده روی دانه‌های با ارزش غذایی بالاتر، برای زنده‌مانی و نشوونمای بهتر لاروها و شفیره‌ها اهمیت بسزایی دارد (Messina, 1991). حشره کامل سوسک چهارلکه‌ای حبوبات قادر به تغذیه نیستند، بنابراین توانایی تغذیه‌ای و هضم و جذب غذا در دوره لاروی، تعیین‌کننده طول عمر و قابلیت تولیدمثلی حشرات کامل خواهد بود. تغذیه سوسک چهارلکه‌ای حبوبات در مرحله لاروی اثر معنی‌دار روی طول عمر حشرات کامل نر و ماده داشت. در پژوهش حاضر، طولانی بودن عمر حشرات کامل ماده و دوره تخم‌گذاری روی دانه رقم زربخش می‌تواند به دلیل نرم‌تر بودن دانه (شاخص سختی کمتر) این رقم در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی باشد. علاوه بر این، کوتاه بودن طول عمر حشرات کامل ماده روی رقم پرتو منجر به کاهش معنی‌دار زادآوری (تعداد تخم‌های گذاشته شده) حشرات پرورش یافته روی این رقم شد. در این آزمایش، اندازه و وزن دانه در رقم پرتو کمتر از رقم زربخش بود، بنابراین، سوسک‌های ماده تخم‌های کمتری روی رقم پرتو در مقایسه با سایر ارقام قرار دادند. این یافته همسو با نتایج بررسی‌های سایر پژوهشگران می‌باشد که اعلام کردند سوسک چهارلکه‌ای حبوبات، روی دانه حبوبات بزرگ‌تر و سنگین‌تر در مقایسه با دانه‌های کوچک‌تر و سبک‌تر، تخم‌های بیشتری قرار می‌دهد (Patil & Jadhav, 1985; Mbata, 1993; Bidar et al., 2021).

خصوصیات فیزیکی و مورفولوژیکی دانه حبوبات شامل اندازه، شکل، نرمی بافت، زبری و ضخامت پوسته بذر روی میزان تخم‌گذاری سوسک چهارلکه‌ای حبوبات تاثیر قابل توجهی دارند (Southgate, 1979; Sarikarin et al., 1999). در این آزمایش، علی‌رغم بالا بودن غلظت پروتئین دانه در رقم پرتو، به دلیل سختی بالای دانه این رقم لاروها قادر به تغذیه بهینه نبوده و حشرات ماده حاصل از آنها کوتاه‌ترین عمر و زادآوری را داشتند. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین زادآوری سوسک چهارلکه‌ای حبوبات و اندازه (مساحت و حجم) دانه ارقام ماش نشان داد که اندازه دانه یکی از عوامل اصلی تاثیرگذار روی تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط حشره می‌باشد. دلیل احتمالی دیگر، وجود ترکیبات دفاعی ناشناخته در پوسته دانه رقم پرتو می‌باشد که ممکن است از تخم‌گذاری سوسک‌های ماده ممانعت کنند. به منظور اثبات این موضوع، انجام مطالعاتی در آینده برای شناسایی دیگر عوامل دفاعی موثر در مقاومت ارقام ماش نسبت به *C. maculatus* ضروری است. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین درصد رطوبت دانه و طول عمر حشرات کامل نر می‌توان نتیجه گرفت که لاروهایی که به حشره نر تبدیل شدند از دانه‌های با رطوبت بالاتر تغذیه بهتری در مقایسه با دانه‌های با رطوبت پایین‌تر داشتند. علی‌رغم طولانی بودن عمر حشرات کامل نر روی رقم پرتو، اما به دلیل کاهش معنی‌دار عمر حشرات کامل ماده روی این رقم، زادآوری آفت روی این رقم کاهش یافت. محدوده زادآوری سوسک چهارلکه‌ای حبوبات در پژوهش حاضر، نزدیک به مقادیر گزارش شده توسط Mansouri et al. (2022) و Bidar et al. (2021) برای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات پرورش‌یافته روی دانه ماش می‌باشد. در این پژوهش، اغلب پارامترهای رشد جمعیت سوسک چهارلکه‌ای حبوبات تفاوت معنی‌داری روی ارقام ماش مورد بررسی نداشتند. با این حال، مقدار *GRR* حشره روی رقم زربخش بیشتر از ارقام ازبک و پرتو به دست آمد. یکی از عوامل کلیدی تاثیرگذار روی *GRR* آفت، سختی دانه ارقام ماش می‌باشد زیرا بر اساس نتایج همبستگی، با افزایش شاخص سختی دانه، مقدار *GRR* سوسک کاهش یافت. علی‌رغم بالا بودن میزان فنل و فلاونوئید در رقم زربخش، افزایش مقدار *GRR* روی این رقم نشانگر توانایی بالای لاروها در خنثی کردن ترکیبات دفاعی میزبان برای استفاده هر چه بهتر از عناصر غذایی آن می‌باشد. همچنین، این احتمال وجود دارد که غلظت فنل و فلاونوئید در رقم زربخش به اندازه‌ای نبوده که برای لاروهای حشره سمی یا بازدارنده باشد.

جدول ۴- میانگین ($\pm$ خطای معیار) محتوای پروتئین و فعالیت گوارشی پروتئاز و آمیلاز لاروهای سن چهارم سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی دانه ارقام مختلف ماش

Table 4. Mean ($\pm$ SE) protein content, and digestive proteolytic and amylolytic activity of fourth-instar larvae of *Callosobruchus maculatus* on seed of different green gram cultivars

Cultivar	Larval protein (mg/ml)	Protease activity (U/mg)	Amylase activity (U/mg)
Uzbek	0.373 $\pm$ 0.002 c	2.96 $\pm$ 0.03 a	40.900 $\pm$ 0.145 b
Afghan	0.397 $\pm$ 0.004 b	3.16 $\pm$ 0.04 a	35.387 $\pm$ 0.852 c
Sekhvat	0.396 $\pm$ 0.002 b	2.58 $\pm$ 0.03 b	30.763 $\pm$ 0.307 d
Parto	0.402 $\pm$ 0.001 b	3.14 $\pm$ 0.01 a	46.450 $\pm$ 0.526 a
Zarbakhsh	0.421 $\pm$ 0.003 a	3.04 $\pm$ 0.04 a	38.740 $\pm$ 0.118 b

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین آنها است ($P < 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences among the means (Tukey's HSD test, $P < 0.05$)

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون (r) بین پارامترهای زیستی و فعالیت آنزیمهای گوارشی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ارقام ماش مورد آزمایش

Table 5. Correlation coefficients (r) between biological parameters and digestive enzymes activity of *Callosobruchus maculatus* with physical and biochemical traits of tested green gram cultivars

Parameter	Hardness index		Moisture content		Seed surface area		Seed volume		1000-seed weight		Protein content		Phenol content		Flavonoid content	
	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
ML	0.48	0.41	0.95	0.01	-0.55	0.33	-0.56	0.32	-0.73	0.16	0.43	0.47	-0.37	0.54	-0.80	0.10
FL	-0.75	0.15	-0.75	0.14	0.50	0.40	0.50	0.39	0.62	0.27	-0.92	0.03	0.77	0.13	0.90	0.04
OP	-0.69	0.20	-0.23	0.71	0.32	0.60	0.34	0.57	0.02	0.98	-0.51	0.39	0.07	0.91	0.73	0.16
F	0.06	0.26	0.03	0.97	0.90	0.04	0.89	0.04	0.76	0.13	-0.52	0.37	-0.01	0.99	0.04	0.95
GRR	-0.93	0.02	-0.50	0.39	0.70	0.19	0.72	0.17	0.51	0.38	-0.76	0.14	0.25	0.68	0.85	0.07
LP	-0.58	0.30	-0.10	0.87	0.23	0.71	0.26	0.68	-0.13	0.84	-0.34	0.58	-0.10	0.87	0.62	0.26
PA	-0.01	0.99	-0.13	0.84	0.33	0.59	0.35	0.57	0.16	0.80	0.47	0.43	-0.70	0.19	0.01	0.99
AA	0.53	0.36	0.13	0.83	-0.86	0.06	-0.86	0.06	-0.67	0.22	0.12	0.85	0.40	0.51	-0.06	0.93

⁶ML= Male longevity, FL= Female longevity, OP= Oviposition period, F= Fecundity, GRR: Gross reproductive rate, LP= Larval protein, PA= Proteolytic activity, AA= Amylolytic activity

طبق نتایج به دست آمده، با توجه به اینکه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) سوسک چهارلکه‌ای حبوبات، به عنوان اصلی‌ترین پارامتر رشد جمعیت حشره، تفاوت معنی‌داری روی ارقام ماش مورد آزمایش نداشت، بنابراین حشره توانایی یکسانی برای افزایش جمعیت روی این ارقام داشته است. مقادیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت سوسک چهارلکه‌ای حبوبات در پژوهش حاضر، نزدیک به مقادیر گزارش شده توسط Mansouri *et al.* (2022) و Bidar *et al.* (2021) برای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی دانه ماش می‌باشد. با این حال، مقادیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت و نرخ خالص تولیدمثل این حشره روی ارقام ماش بیشتر از مقادیر گزارش شده برای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی ارقام مختلف باقلا است (Naseri *et al.*, 2022) که نشان دهنده مطلوبیت بالاتر دانه ماش در مقایسه با دانه باقلا برای افزایش جمعیت سوسک چهارلکه‌ای حبوبات می‌باشد. این تفاوت‌ها می‌تواند به دلیل تفاوت در گونه میزبان و ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی آنها باشد.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، غلظت پروتئین دانه بین ارقام زربخش و ازبک تفاوت معنی‌داری نداشت، با این حال میزان پروتئین بدن لاروهای تغذیه شده با رقم زربخش بیشتر از لاروهای پرورش‌یافته با رقم ازبک بود. این امر می‌تواند به دلیل سختی کمتر رقم زربخش در مقایسه با رقم ازبک باشد که منجر به تغذیه بهتر لاروها و هضم و جذب بیشتر پروتئین در بدن لاروها شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که لاروهای سن چهارم سوسک چهارلکه‌ای حبوبات توانایی بالایی در تنظیم ترشح آنزیمهای گوارشی پروتئاز و آمیلاز در واکنش به تغذیه از ارقام مختلف ماش داشتند. کمترین فعالیت آنزیمهای گوارشی پروتئاز و آمیلاز روی رقم سخاوت بود. میزان فعالیت آمیلاز لاروهای تغذیه شده با رقم پرتو، تقریباً ۱/۵ برابر بیشتر از فعالیت آمیلاز لاروهای پرورش‌یافته روی رقم سخاوت بود. با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار غلظت نشاسته در ارقام مختلف ماش، این ویژگی دانه تأثیری بر تغییر فعالیت آمیلاز حشره روی ارقام مورد آزمایش نداشت. با این حال، Lazar *et al.* (2014) گزارش کردند که دانه‌های ارقامی از ماش که نشاسته بالاتری دارند برای تغذیه لاروهای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات مطلوب‌تر از ارقامی هستند که نشاسته کمتری دارند. سطح بیان ژن آلفا-آمیلاز، مطابق با مقدار نشاسته یا گلوکز موجود در غذا تنظیم می‌شود. حشره با افزایش محتوی نشاسته و یا گلوکز موجود در غذا، میزان بیان آنزیم آلفا-آمیلاز و در نتیجه میزان ترشح آن را کاهش می‌دهد (Silva *et al.*, 2001). البته این مورد همیشه صادق نیست و در جایی که مقدار درشت‌مغذی‌ها در غذا متناسب با نیاز حشره بالا رود، حشره ممکن است فعالیت آنزیمی را تا یک حد مورد نیاز بالا ببرد تا بیش‌ترین استخراج موادغذایی را داشته باشد و از آن برای نشوونمای بهتر استفاده کند (Kotkar *et al.*, 2009). فعالیت پایین آنزیم پروتئاز روی رقم سخاوت می‌تواند به دلیل کیفیت پایین درشت‌مغذی‌ها، سختی دانه و یا وجود پروتئین‌های مهارکننده آنزیم پروتئاز در این رقم باشد. با این حال، نتایج Sarboland *et al.* (2017) نشان داد که فعالیت پروتئازی بالا در لاروهای سوسک چهارلکه‌ای حبوبات روی دانه لوبیا چشم‌بلبلی به دلیل پروتئین بیشتر لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با دانه نخود و ماش می‌باشد.

بر اساس یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر، ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی دانه ارقام مورد آزمایش، تأثیر معنی‌داری روی محتوای پروتئین بدن و فعالیت آنزیمهای گوارشی آمیلاز و پروتئاز لاروهای سن چهارم داشت، به طوری که کمترین فعالیت آنزیمهای گوارشی آمیلاز و پروتئاز روی رقم سخاوت به دست آمد. با این حال، درصد زنده‌مانی، طول دوره‌ی مراحل نابالغ و اغلب پارامترهای رشد جمعیت حشره روی رقم‌های مختلف ماش تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین، تفاوتی در حساسیت و مقاومت رقم‌های ماش مورد بررسی نسبت به سوسک چهارلکه‌ای حبوبات مشاهده نشد. با توجه به حساسیت بالای تمامی ارقام مورد آزمایش در برابر سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات، در انبارهایی که این آفت شیوع داشته و ارقام ماش در کنار یکدیگر انبار می‌شوند، بایستی با پیش دقیق محصول، اقدامات مراقبتی بیشتری برای پیشگیری از طغیان آفت اتخاذ شود.

Author's Contributions

Bahram Naseri: conceptualization, investigation, final review and edit, visualization, supervision, project administration and funding acquisition. **Aryan Ebadi:** methodology, formal analysis, investigation, draft preparation, final review and edit. **Zahra Rezaei:** methodology, final review and edit.

Author's Information

Bahram Naseri

✉ bnaseri@uma.ac.ir

 <https://orcid.org/0000-0001-5821-0957>

Aryan Ebadi

✉ aryan.eb75@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0009-8367-7597>

Zahra Rezaei

✉ zhrarzi1400@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-7394-4515>

Funding

This research has received financial support by the University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Data Availability Statement

This research was supported by University of Mohaghegh Ardabili which is greatly appreciated.

Acknowledgments

This research was supported by the University of Mohaghegh Ardabili (Research grant number: 1402.D.9.29071).

Ethics Approval

Insects and mites were used in this study. All applicable international, national, and institutional guidelines for the care and use of animals were followed. This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Generative AI statement

The authors declare that no Gen AI was used in the creation of this manuscript.

REFERENCES

- AACC, 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th, *American association of cereal chemists*, Saint Paul, Minnesota.
- Azzouz, H., A. Cherqui, E. D. M. Campan, Y. R. Duport, G. Jouanin, L. Kaiser & Giordanengo, p. (2005) Effects of plant protease inhibitors oryzacystatin I and soybean Bowman-Birk inhibitor, on the aphid *Macrosiphum euphorbiae* (Homoptera: Aphididae) and its parasitoid *Aphelinus abdominalis* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Journal of Insect Physiology*, 51: 75-86.. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2004.11.010>
- Bernfeld, P. (1955) Amylase α and β . *Methods in Enzymology*, 1: 149-154. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(55\)01021-5](https://doi.org/10.1016/0076-6879(55)01021-5)
- Bidar, F., J. Razmjou, A. Golizadeh, S. A. A. Fathi, A. Ebadollahi & Naseri, B. (2021) Effect of different legume seeds on life table parameters of cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Stored Products Research*, 90: 101755. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101755>
- Borzoui, E., 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. <https://doi.org/10.1016/j.me.2013.04.0003>
- Bradford, M. A. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-day binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Chi, H. (1988) Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1): 26-34. <https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>
- Chi, H. (2021) TWOSEX-MSChart: a Computer Program for the Age Stage, Two-Sex Life Table Analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. doi:10.1127/entomologia/2022/1851
- Chi, H. & 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(1): 10-21. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.1.10>
- Cohen, A. C. (1993) Organization of digestion and preliminary characterization of salivary trypsin-like enzymes in a predaceous heteropteran, *Zelus renardii*. *Journal of Insect Physiology*, 39 (10): 823-829. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(93\)90114-7](https://doi.org/10.1016/0022-1910(93)90114-7)
- Devi, M. B. Su, Devi, N. V. (2014) Biology and morphometric measurement of cowpeaweevil, *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) in green gram. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2 (3): 74-76.
- FAO, (2016) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Folin, O. & Ciocalteu, V. (1927) On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *Journal of Biological Chemistry*, 73: 627-650. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)84277-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)84277-6)

- Johnson, J. A. & Valero, K. A. (2003) Use of commercial freezers to control cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), in organic garbanzo beans. *Journal of Stored Product Research*, 96(6): 1952- 1957. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-96.6.1952>
- Kazemi, F., Talebi, A. A., Fathipour, Y. & Farahani, S. (2009) A comparative study on the effect of four leguminous species on biological and population growth parameters of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Col.: Bruchidae). *Advances in Environmental Biology*, 3(3): 226-232.
- Kennedy, G. G., Gould, F., Deponti, O. M. B. & Stinner, R. E. (1987) Ecological, agricultural and commercial considerations in the deployment of insect resistant King ABS (1994) *Heliothis/Helicoverpa* (Lepidoptera: Noctuidae). In: Mathews GA, Tunstall JP (eds) *Insect Pests of Cotton*, pp: 39-106. CAB International, U.K.
- Kotkar, H. M., Sarate, P. J., Tamhane, V. A., Gupta, V. S. & Giri, A. P. (2009) Responses of midgut amylases of *Helicoverpa armigera* to feeding on various host plants. *Journal of Insect Physiology*, 55: 663-670. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.05.004>
- Krzyżowski, M., Baran, B. & Francikowski, J. (2021) Intergenerational transmission of resistance of *Callosobruchus maculatus* to essential oil treatment. *Molecules*, 26(15): 4541. <https://doi.org/10.3390/molecules26154541>
- Kumar, R. (2017) *Insect Pests of Stored Grain: Biology, Behavior, and Management Strategies*. <https://doi.org/10.1201/9781315365695>
- Lazar, L., Panickar, B. & Patel, P. S. (2014) Impact of biochemicals on the developmental stages of pulse beetle, *Callosobruchus maculatus* infesting green gram. *Journal of Food Legumes*, 27(2): 121-125. <https://doi.org/10.59797/jfl.v27i2.810>
- Mansouri, S. M., Naseri, B. & Bidar, F. (2022) Oviposition preference, population growth and digestive enzymatic function of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) on six legume grains. *Journal of Stored Products Research*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102011>
- Mbata, G. N. (1993) Evaluation of susceptibility of varieties of cowpea to *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 29:. [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(93\)90002-L](https://doi.org/10.1016/0022-474X(93)90002-L)
- Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J. & Nacoulma, O. G. (2005) Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91(3): 571-577. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>
- Messina, F. J. (1991) Life history variation in a seed beetle: adult egg-laying *vs.* larval competitive ability. *Oecologia*, 85: 447-455.
- Mita, S., Murano, N., Akaike, M. & Nakamura, K. (1997) Mutants of *Arabidopsis thaliana* with pleiotropic effects on the expression of the gene for β -amylase and on the accumulation of anthocyanin that are inducible by sugars. *The Plant Journal*, 11(4): 841-851. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1997.11040841.x>
- Mitchell, R. (1990) Behavioral ecology of *Callosobruchus maculatus*. pp. 317-330 in Fujii, K., Gatehouse, A.M.R. Johnson, C.D. Mitchell, R. and Yoshida, T. (Eds.) *Bruchids and Legumes: Economics, Ecology and Coevolution*. Kluwer, London.
- Mohandass, S. M., Arthur, F. H., Zhu, K. Y. & Throne, J. E. (2006) Hydroprene: mode of action current status in stored-product pest management, insect resistance, and future prospects. *Crop Protection*, 25: 602-909. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.01.014>
- Naseri, B., Hamzavi, F., Ebadollahi, A. & Sheikh, F. (2022) Physicochemical traits of *Vicia faba* L. seed cultivars affect oviposition preference and demographic parameters of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Stored Products Research*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101924>.
- Patil, S. M., Jadhav, I. D. (1985) Studies on the relative susceptibility of some promising varieties of pea, *Pisum sativum* to the pulse beetle, *Callosobruchus maculatus* in storage. *Bulletin of Grain Technology*, 20: 28.
- Pourmorad, F., Hosseinimehr, S. J. & Shahabimajid, N. (2006) Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, 5: 1142-1145. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Roesli, R., Dobie, P. & Gerard, B. (1990) Strain differences in two species of *Callosobruchus* (Coleoptera: Bruchidae) developing on seeds of cowpea {*Vigna unguiculata* (L.)} and green gram {*V. radiata* (L.)}. *Biotropia*, 4: 19-30.
- Sanon, A., Ba, N. M., Binso-Dabire, C. L. & Pittendrigh, B. R. (2010) Effectiveness of spinosad (naturalytes) in controlling the cowpea storage pest, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(1): 203-210. <https://doi.org/10.1603/EC09093>
- Sarboland, S., Mehrkhrou, F. & Imani, M (2017) Gut proteolytic profile of larval *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) in response to feeding on different fabaceous host plants. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19: 121-132.
- Sarikarin, N., Srinives, P., Kaveeta, R. & Saksoong, P. (1999) Effect of seed texture layer on bruchid infestation in mungbean *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Science Asia*, 25: 203–206.. doi:10.2306/scienceasia1513-1874.1999.25.203
- Seram, D., Mohan, S., Kennedy, J. S. & Senthil, N. (2016) Development and damage assessment of the storage beetle, *Callosobruchus maculatus* (Thanjavur and Coimbatore strain) under normal and controlled conditions . Pp. 25–31. In: Navarro S, Jayas DS, Alagusundaram K, (Eds.) *Proceedings of the 10th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products (CAF2016)*, CAF Permanent Committee Secretariat, Winnipeg, Canada.
- Sheligl, H. Q. (1986) Die verwertungorgngischersourendurch chlorella lincht. *Planta Journal*, 47-51.

- Silva, C. P., Terra, W. R., Xavier-Filho, J., Grossi de Sa, M. R., Isejima, E. M., DaMatta, A. R., Miguens, F. C. & Bifano, T. D. (2001) Digestion of legume starch granules by larvae of *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera: Bruchidae) and the induction of α -amylases in response to different diets. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 31: 41-50. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(00\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(00)00103-X)
- Southgate, B. J. (1979) Biology of the Bruchidae. *Annual Review of Entomology*, 24: 449-473. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.24.010179.002313>

Citation: Naseri, B., Ebadi, A & Rezaei, Z. (2025) Life history and digestive protease and amylase activity of the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) on different green gram cultivars . *J. Entomol. Soc. Iran*, 45(4), 651–662.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jesi.45.4.13>

URL: https://jesi.areeo.ac.ir/article_131275.html



Life history and digestive protease and amylase activity of the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) on different green gram cultivars

Bahram Naseri , Aryan Ebadi  & Zahra Rezaei 

Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences & Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract. The cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) is one of the important pests of stored legume grains in Iran and many countries of the world. Investigation of resistance status of legume grains to *C. maculatus* infestation can be helpful in minimizing its severe damage. In this research, we studied the resistance of five green gram cultivars (Sekhavat, Zarbakhsh, Parto, Uzbek, and Afghan) to *C. maculatus* using its life history parameters and digestive protease and amylase activity at $28 \pm 1^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ relative humidity, and 24 h darkness. After oviposition of adult weevils, green gram seeds containing one egg were individually transferred to 6 cm Petri dishes, and the pre-adult period, the survival percentage of immature individuals, fecundity and longevity of male and female insects on each cultivar were investigated. The results obtained from the life history and life table parameters of the insect were analyzed by age-stage, two-sex method. According to obtained results, there was no significant difference in the percentage of survival and the length of the immature stages on different cultivars of green gram. Among the examined cultivars, fecundity of female weevils on cultivar Parto (69.21 eggs) was lower than on other tested cultivars. The longest oviposition period was obtained on cultivar Zarbakhsh (5.33 days) and the shortest on cultivar Uzbek (4.54 days). However, the net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of population increase (r) and finite rate of population increase (λ) were not significantly different on five cultivars of green gram. The amylolytic and proteolytic activities of fourth instar larvae were lowest on cultivar Sekhavat. According to the findings of the present study, no difference was found in the susceptibility and resistance of the studied green gram cultivars to the cowpea weevil.

Keywords: Storage pest, life table, seed resistance, legume cultivar

Article Info

Received: 13 December 2024
Accepted: 27 August 2025
Published: 22 October 2025

Subject Editor: Jalal Jalali Sendi

Corresponding author: Bahram Naseri

E-mail: bnaseri@uma.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.22034/jesi.45.4.13>