



اثرات هم‌افزایی سه گونه گیاه کلم و *Beauveria bassiana* روی برخی از شاخص‌های رشدی، تغذیه‌ای و فعالیت آنزیمی شب‌پره پشت الماسی

ماشالله بلباسی^۱

<https://orcid.org/0009-0000-5586-455X>

جلال جلالی سندی^{۲*}

<https://orcid.org/0000-0002-4917-1068>

۱ و ۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران
علیرضا بندانی^۳

<https://orcid.org/0000-0001-8155-2234>

۳- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده: شب‌پره پشت الماسی (*Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) از آفات مهم تیره کلمیان در جهان است. در مطالعه حاضر تأثیر غلظت زیر کشنده LC₂₀ قارچ *Beauveria bassiana* (Balsamo) روی لاروهای تغذیه شده با سه گونه/رقم؛ کلم چینی (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*)، کلم پیچ (*B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) و کلم قرمز (*B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) ارزیابی شد. پرورش در دمای ۲۵±۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰±۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی: ۸ ساعت تاریکی انجام شد. ابتدا غلظت LC₂₀ توسط بررسی اثر پنج غلظت ۱۰^۴، ۱۰^۵، ۱۰^۶، ۱۰^۷ و ۱۰^۸ کنیدی در میلی‌لیتر به دست آمد. نتایج نشان‌دهنده سمیت وابسته به دوز قارچ بیماری‌زا روی لاروهای سن سوم بود. لاروهای آلوده به غلظت زیر کشنده *B. bassiana* (۱۰^۴ × ۱/۳۴ میلی‌لیتر) در مقایسه با شاهد، رشد طولانی‌تر، نرخ زنده‌مانی کم‌تر و طول عمر حشرات کامل کوتاه‌تر و باروری کم‌تری را نشان دادند. همچنین کاهش شاخص‌های تغذیه‌ای شامل درصد کارایی تبدیل غذای خورده شده (ECI%)، درصد کارایی غذای هضم شده (ECD%)، نرخ مصرف نسبی (RGR)، نرخ رشد نسبی (RGR)، درصد قابلیت هضم نسبی (AD%) و کاهش فعالیت آنزیم‌های گوارشی (آمیلاز و پروتئاز) در این تیمارها مشاهده شد. بیشترین شدت بیمارگری در لاروهایی مشاهده شد که از کلم قرمز تغذیه کرده بودند که کم‌ترین عملکرد رشد، شاخص تغذیه‌ای و فعالیت آنزیمی را در هنگام آلودگی به *B. bassiana* نشان دادند. در کل، کلم چینی مناسب‌ترین میزبان و کلم قرمز نامطلوب‌ترین میزبان برای رشد لاروها بودند. این نتایج اطلاعات لازم را برای انتخاب روش‌های مناسب مدیریت یکپارچه شب‌پره پشت الماسی فراهم می‌کند.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۳/۱۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۵/۲۹

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های گوارشی، چرخه زندگی، شاخص‌های تغذیه‌ای، *Plutella xylostella*

Citation: Belbasi, M., Jalali Sendi, J. & Bandani, A. (2025). Synergistic effects of three cabbage plant species and *Beauveria bassiana* on some growth, nutritional indices and enzymatic activity of diamondback moth. *Plant Pest Research*, 15(2), 13-29. **Doi:** <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.30920.1641>



*Corresponding author: jjalali@guilan.ac.ir

مقدمه

شب‌پره پشت الماسی (*Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) در سراسر جهان یکی از آفات مهم گیاهان تیره کلمیان است. هزینه‌های سالانه مدیریت این آفت در سطح جهانی بین ۴-۵ میلیارد دلار تخمین زده شده است (Marchioro & Foerster, 2014; Yang et al., 2021). در ایران نیز شب‌پره پشت الماسی به عنوان مهم‌ترین آفت در مناطق کشت کلمیان شناخته می‌شود (Karimzadeh et al., 2004). طغیان‌های شدید این آفت تا حدی زیادی به دلیل کاهش یا اختلال در فعالیت دشمنان طبیعی مؤثر (Philips et al., 2014) و بروز مقاومت نسبت به انواع مختلف حشره‌کش‌ها است (Nouri-Ganbalani et al., 2018). در سال‌های اخیر، به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از استفاده گسترده حشره‌کش‌های شیمیایی، توجه به روش‌های جایگزین دوستدار محیط‌زیست مانند کنترل میکروبی و استفاده از گیاهان مقاوم برای مدیریت آفات افزایش یافته است (Isman, 2020).

قارچ‌های بیمارگر حشرات پتانسیل قابل توجهی برای کنترل حشرات و به حداقل رساندن اثرات منفی حشره‌کش‌ها دارند و در مدیریت آفات در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mascarin et al., 2019; Jiang et al., 2020). استفاده از این میکروارگانیسم‌ها دارای مزایای خاصی نسبت به حشره‌کش‌های شیمیایی و دشمنان طبیعی است (Zimmermann, 2007). قارچ *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Ascomycota: Hypocreales) یکی از گونه‌های تجاری برای کنترل حشرات آفت می‌باشد که وسیع‌ترین طیف میزبانی را در بین تمام عوامل بیمارگر حشرات دارد (Dannon et al., 2020; Zhang et al., 2021; Wakil et al., 2022). همچنین به عنوان منبع اصلی آفت‌کش‌های قارچی برای مبارزه با آفات بندپایان با طیف گسترده عمل می‌کند (Guo et al., 2022). این بیمارگر با چسبیدن کندی‌های قارچ به بدن حشره، نفوذ به کوتیکول و رشد داخل بدن، باعث مرگ حشره می‌شود (Vertyporokh et al., 2020). البته حشرات میزبان می‌توانند با فعال‌سازی سیستم ایمنی ذاتی یا با فاگوسیتوز با این میکروارگانیسم‌های مهاجم مقابله کنند (Jiang et al., 2020).

حشرات گیاه‌خوار که روی میزبان‌های مختلف یا حتی ارقام متفاوت یک گیاه تغذیه می‌کنند، با چالش‌های بی‌شماری از جمله تفاوت در مقدار مواد مغذی و متابولیت‌های اولیه و ثانویه موجود در گیاه مواجه هستند (Ekholm et al., 2020; Afroz et al., 2021). این تنوع در ترکیبات گیاهی تأثیر قابل توجهی بر شایستگی رشدی حشرات گیاه‌خوار دارد و ممکن است به طور مستقیم بر فیزیولوژی حشرات اثرات منفی بگذارد و حساسیت آفات به عوامل بیماری‌زا را افزایش دهد (Duisembecov et al., 2017; Jalaeian et al., 2021). از سوی دیگر، متابولیت‌های ثانویه گیاه میزبان نیز ممکن است رشد قارچ‌های بیماری‌زا را مهار کنند (Tian et al., 2016). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که گونه‌های مختلف حشرات، بسته به گیاه میزبان خود، حساسیت متفاوتی نسبت به قارچ‌های بیماری‌زا دارند. به عنوان مثال، تونگراب و همکاران (Thungrabeab et al., 2006) گزارش کردند که *Thrips tabaci* Lindeman و *Frankliniella occidentalis* (Pergande) که روی گیاهانی مانند بابونه وحشی، خیار، لوبیا و تره پرورش یافته بودند، حساسیت بالایی به قارچ‌های *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* (Metsch) Sorokin و *B. bassiana* نشان دادند؛ در حالی که جمعیت‌های پرورش یافته روی پنبه تا حدی مقاوم‌تر بودند. همچنین، پوپراوسکی و همکاران (Poprawski et al., 2000) بیان کردند که پوره‌های سن سوم *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) تغذیه‌شده روی برگ خیار نسبت به قارچ‌های *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown & Smith و *B. bassiana* سه برابر حساس‌تر از جمعیت‌های تغذیه‌شده روی گوجه‌فرنگی بودند. این شواهد نشان می‌دهد که نوع گیاه میزبان نقش مهمی در تعیین حساسیت حشرات گیاه‌خوار به عوامل بیماری‌زا دارد و بررسی این برهمکنش‌ها می‌تواند در مدیریت زیستی آفات مؤثر باشد.

پژوهش‌های پیشین درباره شب‌پره پشت الماسی به طور عمده به بررسی اثر گیاهان میزبان روی دوره‌های رشدی این آفت (Nouri-Ganbalani et al., 2020; Jafary-Jahed et al., 2019; Keerthi & Suroshe, 2024) و فعالیت آنزیم‌های گوارشی (Asmoro & Winasa, 2021; Zhao et al., 2019; Nouri-Ganbalani et al., 2018) اختصاص داده شده است.

(Fathipour et al., 2020) و همچنین اثرات کشنده و زیرکشنده عوامل بیماری‌زا (Nithya et al., 2020; Agboyia et al., 2021) متمرکز بوده است. با وجود این، اطلاعاتی درباره تأثیر متقابل گیاهان میزبان و قارچ بیماری‌زای *B. bassiana* بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژی تغذیه‌ای این آفت در دسترس نیست. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی مؤلفه‌های رشدی، شاخص‌های تغذیه‌ای و فعالیت آنزیم‌های گوارشی شب‌پره پشت الماسی تیمار شده با *B. bassiana* و پس از تغذیه روی سه گونه و رقم کلم پیچ *B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra*، کلم قرمز *B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra* و کلم چینی *B. rapa* subsp. *Pekinensis* انجام شد تا اطلاعاتی برای توسعه روش‌های مدیریت تلفیقی آفات فراهم شود.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه

بذرهای کلم پیچ *B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra*، کلم قرمز *B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra*، کلم چینی *B. rapa* subsp. *Pekinensis* و کلزا (رقم RGS003) از مؤسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر (کرج، ایران) تهیه شد. بذرها به صورت جداگانه در گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ لیتری پر شده با خاک مزرعه، ماسه و مخلوط ورمی کمپوست (۲:۱:۱) کاشته شدند. از گیاهان کلزا برای پرورش کلنی شب‌پره پشت الماسی استفاده شد. آبیاری گیاهان هر ۳ روز و کوددهی با ۲۰-۲۰-۲۰ NPK به صورت ماهانه انجام شد.

پرورش جمعیت اولیه شب‌پره پشت الماسی

در خردادماه سال ۱۴۰۳، لاروهای شب‌پره پشت الماسی از مزارع کلم واقع در شهرستان کرج (استان البرز، ایران) جمع‌آوری شدند. لاروها در ظروف پلاستیکی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر، حاوی سه برگ از هر یک از گیاهان میزبان مورد بررسی نگهداری شدند. به منظور تأمین تهویه مناسب، سوراخی به قطر ۵ سانتی‌متر روی درب ظروف تعبیه و با توری ۱۰۰ مش پوشانده شد. برای حفظ شادابی برگ‌ها، دمبرگ‌ها با پنبه مرطوب پوشانده شده و درون میکروتیوب قرار گرفتند. برگ‌ها هر دو روز یک‌بار با برگ‌های تازه جایگزین شدند. تغذیه لاروها و تأمین برگ تا مرحله شفیرگی انجام شد. در نهایت شفیره‌ها با قلم مو جدا شدند و در ظروفی به ابعاد ۵۰ میلی‌لیتر قرار داده شدند. پس از خروج حشرات بالغ، ده جفت حشرات بالغ نر و ماده با طول عمر کمتر از ۲۴ ساعت به صورت تصادفی جدا شده و به قفس‌های تخم‌ریزی (۴۰×۲۰×۲۰ سانتی‌متر) که با توری سفید پوشانده شده بودند، منتقل شدند. داخل قفس، پنبه آغشته به آب عسل ۱۰٪ برای تغذیه و همچنین تعدادی برگ‌های گیاه میزبان به منظور تخم‌ریزی در اختیار حشرات بالغ قرار گرفت. برای جلوگیری از پژمرده شدن برگ، دمبرگ آن‌ها در یک میکروتیوب حاوی آب قرار داده شد. بازدید قفس هر ۲۴ ساعت یکبار صورت گرفت. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، برگ‌های میزبان حاوی تخم‌های گذاشته شده جمع‌آوری شدند و تا زمان تفریخ در شرایط بهینه اتافک رشد قرار گرفتند. به صورت کلی، فرآیند پرورش لاروها روی هر یک از گیاهان میزبان، به مدت دو نسل در اتافک رشد با شرایط کنترل شده شامل دمای 25 ± 1 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام گرفت. در پایان، حشرات کامل نسل دوم به منظور هم‌سن‌سازی و آغاز آزمایش‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفتند.

تهیه قارچ *Beauveria bassiana* و روش انجام زیست‌سنجی‌ها

سویه DC2 قارچ *B. bassiana* از آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور تهیه شد. کشت قارچ در محیط کشت سابورو دکستروز آگار (SDA) در ظروف پتری استریل، در شرایط کنترل شده (دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 70 ± 5 درصد و ۱۶:۸ ساعت (تاریکی: روشنایی)) به مدت ۱۴ روز انجام شد. کشت‌ها پس از اسپورزایی حذف و کنیدی‌ها استخراج شدند (Seyed-Merck et al., 2020). بدین منظور، به هر ظرف پتری ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل حاوی ۰/۰۵ درصد توئین-۸۰ (Merck®، Darmstadt, Germany) اضافه شد. سپس سوسپانسیون حاصل از طریق الک ۹۰ میکرومتری صاف شد. تعداد کنیدی‌ها در هر

میلی‌لیتر با استفاده از لام ثنوبار شمارش و غلظت اولیه مایه تلقیح بر اساس روش شهزاد و همکاران (Shehzad et al., 2021) تعیین شد. آزمایش‌های اولیه دوز-پاسخ این قارچ بیمارگر انجام و در نهایت پنج غلظت 10^4 ، 10^5 ، 10^6 ، 10^7 و 10^8 کنیدی در میلی‌لیتر انتخاب شدند. سوسپانسیون‌های قارچ با آب مقطر استریل حاوی $0/05$ درصد توئین-۸۰ رقیق‌سازی شدند. محلول شاهد تنها شامل توئین-۸۰ ($0/05$ درصد) در آب مقطر بود.

به‌منظور انجام آزمون کشندگی، لاروهای سن سوم شب‌پره پشت الماسی با سن کم‌تر از ۲۴ ساعت به‌مدت ۴ ثانیه در هر یک از غلظت‌های سوسپانسیون قارچ یا محلول شاهد غوطه‌ور شدند. سپس، لاروها با استفاده از پنس به ظروف پتری استریل (قطر ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۲ سانتی‌متر) حاوی یک برگ کلزا منتقل و در اتاقک رشد با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. مرگ‌ومیر لارو در فواصل ۲۴ ساعت به‌مدت ۶ روز ثبت شد. آزمون سمیت کشنده برای هر غلظت قارچ یا شاهد در ۵ تکرار و هر تکرار شامل ۱۵ لارو سن سوم (مجموع ۵۲۵ لارو) انجام شد.

تأثیر گیاهان میزبان و غلظت زیرکشنده قارچ *Beauveria bassiana* روی متغیرهای زیستی شب‌پره پشت الماسی

ابتدا ۱۰ عدد حشره ماده با طول عمر ۴۸ تا ۷۲ ساعت به‌منظور جفت‌گیری در ظروف پلاستیکی تخم‌ریزی (قطر ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) حاوی یک برگ کلزا قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت تخم‌گذاری، شب‌پرها حذف و تخم‌ها به ظروف پلاستیکی دیگری (قطر ۲۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر) حاوی دو برگ از هر گونه گیاهی منتقل شدند. پس از پوست‌اندازی لاروهای سن دوم، لاروهای سن سوم تازه ظاهر شده (طول عمر کم‌تر از ۲۴ ساعت) به‌مدت چهار ثانیه در غلظت LC_{20} محلول *B. bassiana* ($10^4 \times 1/34$ کنیدی/ میلی‌لیتر) و لاروهای شاهد نیز در توئین-۸۰ ($0/05$ درصد) رقیق شده با آب مقطر غوطه‌ور شدند. سپس، برای هر گونه میزبان گیاهی تعداد ۵۰ عدد لارو زنده تیمار شده با قارچ بیمارگر یا محلول شاهد به‌صورت جداگانه به ظروف پتری استریل (قطر ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۲ سانتی‌متر) حاوی یک برگ از همان گونه گیاهی منتقل شدند. ظروف پتری در اتاقک رشد با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. بازدید روزانه از ظروف انجام و طول دوره‌های لاروی و شفیرگی ثبت شد.

پس از ظهور حشرات بالغ، یک جفت (یک نر و یک ماده) از حشرات بالغ به ظروف تخم‌ریزی پلاستیکی (قطر ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) حاوی یک برگ گیاه میزبان منتقل شدند. تعداد شب‌پره‌های جفت شده برای هر گیاه میزبان از ۸ تا ۲۲ جفت بسته به میزان بقای مرحله نابالغ متغیر بود. حشرات بالغ نر و ماده به‌صورت روزانه به ظروف تخم‌ریزی جدید حاوی برگ همان گیاه منتقل شدند و تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط هر حشره ماده تا زمان مرگ ثبت شد.

تأثیر گیاهان میزبان و قارچ *Beauveria bassiana* روی شاخص‌های تغذیه‌ای شب‌پره پشت الماسی

شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای شب‌پره پشت الماسی شاهد و آلوده به *B. bassiana* بر اساس روش والدباور (Waldbauer, 1968)، مانووتو و اسکریر (Manuwoto & Scriber, 1982) و فارار و همکاران (Farrar et al., 1989) با برخی تغییرات بر اساس مطالعه نوری-قبنلانی و همکاران (Nouri-Ganbalani et al., 2016) محاسبه شد. برای هر میزبان و هر تیمار، تعداد ۸۰ لارو سن سوم شب‌پره پشت الماسی (با عمر کم‌تر از ۲۴ ساعت) به‌مدت ۴ ثانیه در غلظت LC_{20} محلول *B. bassiana* و نیز لاروهای شاهد در توئین-۸۰ ($0/05$ درصد) رقیق شده با آب مقطر غوطه‌ور شدند. سپس، تعداد ۱۰ لارو زنده به‌صورت گروهی به ظروف پتری استریل (قطر ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۲ سانتی‌متر) حاوی یک برگ از همان گیاه منتقل شدند و در اتاقک رشد با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. وزن اولیه لاروها قبل از انتقال روی برگ‌ها، وزن لاروهای زنده مانده (لاروهای شاهد و لاروهای آلوده به *B. bassiana*) پس از ۴ روز، وزن خشک فضولات لاروی، گیاهان میزبان و لاروها پس از خشک شدن در آون به‌مدت ۴۸ ساعت (در دمای ۶۰ درجه سلسیوس) اندازه‌گیری شدند. سنجش شاخص‌های تغذیه‌ای برای هر گیاه میزبان و هر تیمار در ۵ تکرار انجام شد. محاسبه شاخص‌های تغذیه‌ای لاروها

براساس فرمول‌های ارائه شده توسط والدباور (Waldbauer, 1968)، اسکریبر و مانووتو و (Manuwoto & Scriber, 1982) و فارار و همکاران (Farrar *et al.*, 1989) محاسبه شد:

$$^1 \text{ درصد کارایی تبدیل غذای خورده شده (ECI\%) = 100 \times (P/E)}$$

$$^2 \text{ درصد کارایی غذای هضم شده (ECD\%) = 100 \times (P/E - F)}$$

$$^3 \text{ نرخ مصرف نسبی (RCR) = E/A \times T}$$

$$^4 \text{ نرخ رشد نسبی (RGR) = P/A \times T}$$

$$^5 \text{ درصد قابلیت هضم نسبی (AD\%) = 100 \times (E - F)/E}$$

P = وزن خشک کسب شده توسط لارو (میلی گرم)، E = وزن خشک غذای خورده شده (میلی گرم)، F = وزن خشک فضولات تولید شده (میلی گرم)، A = میانگین وزن لاروی در طول دوره تغذیه (میلی گرم)، T = طول دوره تغذیه (روز)

آماده‌سازی نمونه‌ها برای بررسی فعالیت آنزیم‌های بیوشیمیایی

برای انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی از لاروهای سن چهارم ۲۴ تا ۴۸ ساعت تیمار شده با غلظت زیرکشنده LC₂₀ استفاده شد. به این صورت که معده میانی لاروهای تیمار شده با استفاده از یک هموژنایزر دستی با بافر فسفات سدیم (اسیدیته ۷)، همگن شدند و سپس در $g \times 13000$ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ (Eppendorf 5417R centrifuge, Germany) شدند. قسمت رویی نمونه‌ها به عنوان منبع آنزیمی جدا و داخل میکروتیوپ‌ها در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. جذب همه آنزیم‌ها توسط دستگاه میکروپلیت ریدر (EPOCH 2 BioTek, USA) خوانده شد.

اندازه‌گیری میزان پروتئین کل

میزان پروتئین با روش لوری و همکاران (Lowry *et al.*, 1951) و با استفاده از کیت بیوشیمیایی شرکت زیست‌کم (ZiestChem Co., Tehran-Iran) اندازه‌گیری شد. به مقدار ۵۰ میکرولیتر معرف با ۳۰ میکرولیتر استاندارد و ۵۰ میکرولیتر معرف با ۳۰ میکرولیتر از هر نمونه جداگانه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انکوبه شده و میزان جذب نوری در طول موج ۵۴۰ نانومتر توسط دستگاه میکروپلیت ریدر (EPOCH 2 BioTek, USA) خوانده شد.

آنزیم آلفا-آمیلاز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز بر اساس روش برنفلد (Bernfeld, 1955)، از محلول نشاسته یک درصد به عنوان سوبسترا استفاده شد. ابتدا ۱۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی به همراه ۲۰ میکرولیتر سوبسترا و ۵۰ میکرولیتر بافر فسفات به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۵ درجه سلسیوس در آون قرار گرفت. سپس با اضافه کردن مقدار ۱۰۰ میکرولیتر معرف دی نیتروسالیسیلیک اسید^۶ واکنش متوقف شد و به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. جذب نوری در طول موج ۵۴۰ نانومتر توسط دستگاه میکروپلیت ریدر (EPOCH 2 BioTek, USA) خوانده شد.

آنزیم پروتئاز عمومی

برای اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم از سوبسترای آزوکازئین یک درصد براساس روش گارسیا و هارد (Garcia-Carreno & Haard, 1993) استفاده شد. مخلوط واکنش شامل ۱۵ میکرولیتر بافر Tris- HCl (۲ میلی‌مولار و pH ۷/۵) و ۵۰ میکرولیتر آزوکازئین^۷ (یک درصد) و ۱۰ میکرولیتر محلول آنزیمی بود. پس از ۳ ساعت نگهداری در دمای ۳۷ درجه سلسیوس در آون

¹ Efficiency of conversion of ingested food (ECI)

² Efficiency of conversion of digested Food (ECD)

³ Relative consumption rate (RCR)

⁴ Relative growth rate (RGR)

⁵ Approximate digestibility (AD)

⁶ Dinitrosalicylic acid (DNS)

⁷ Azocasein 1%

هیدرولیز پروتئین آزوکازئین با اضافه کردن ۱۵۰ میکرولیتر تری کلرو استیک اسید^۱ ۱۰ درصد متوقف شد. شاهد شامل تری کلرو استیک اسید و محلول آنزیمی بود. نمونه‌ها پس از ۳۰ دقیقه حفظ در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس دوباره با سرعت $13000 \times g$ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سرانجام پس از مخلوط کردن مایع رویی و ۱۰۰ میکرولیتر از هیدروکسید سدیم (۲ مولار)، میزان جذب نوری در طول موج ۴۴۰ نانومتر توسط دستگاه میکروپلیت ریدر (EPOCH 2 BioTek, USA) خوانده شد.

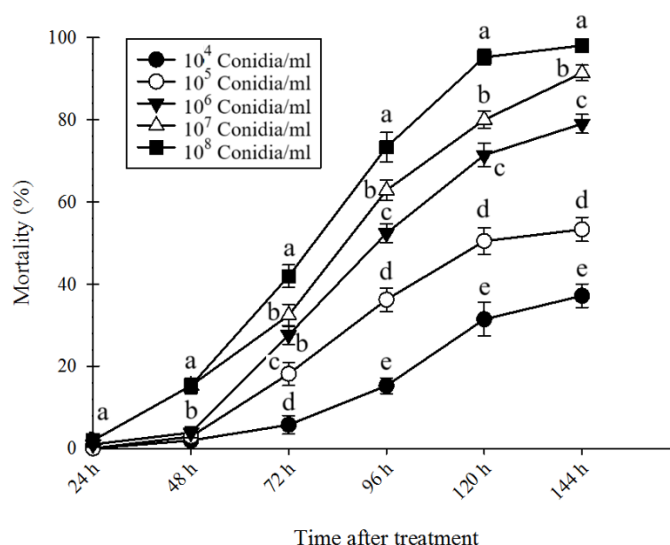
تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه داده‌های آزمایش‌های تأثیر گیاهان میزبان و قارچ بیمارگر *B. bassiana* بر متغیرهای زیستی شب‌پره پشت الماسی شامل آزمون سمیت، طول دوره‌های لاروی و شفیرگی، نرخ زنده‌مانی مراحل نابالغ، طول عمر افراد بالغ و تخم‌ریزی و هم‌چنین شاخص‌های تغذیه‌ای و فعالیت آنزیم‌های گوارشی لاروها از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه^۲ و به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS 9.2 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد بررسی شد. برای مقایسه میانگین دو گروه تیمار و شاهد نیز از روش T-test استفاده شد. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار SigmaPlot 12.0 انجام پذیرفت.

نتایج

آزمون زیست‌سنجی

مقادیر LC_{50} ، LC_{20} و LC_{90} قارچ *B. bassiana* روی لاروهای سن سوم شب‌پره پشت الماسی در جدول ۱ آمده است. پس از گذشت ۶ روز از زمان در معرض قرارگیری تماسی لاروها، غلظت LC_{50} مقدار $10^6 \times 2/18$ کنیدی بر میلی‌لیتر به‌دست آمد. درصد مرگ‌ومیر تجمعی لاروهای سن سوم شب‌پره پشت الماسی در معرض غلظت‌های مختلف قارچ *B. bassiana* در شکل ۱ آمده است. بیش‌ترین مرگ‌ومیر لاروی در غلظت 10^8 کنیدی بر میلی‌لیتر مشاهده شد.



شکل ۱- میانگین ($\pm$ انحراف معیار) مرگ‌ومیر تجمعی لاروهای سن سوم *P. xylostella* تیمار شده با غلظت‌های مختلف قارچ *B. bassiana*. هر نقطه میانگین ۵ تکرار می‌باشد

Figure 1. Mean ($\pm$ SE) cumulative mortality of the third-instar larvae of *P. xylostella* after infection to different concentrations of *B. bassiana*. Each point is an average of 5 replications. Mean values followed by different letters are significantly different (Tukey's HSD test, $P < 0.05$).

¹ Trichloroacetic Acid

² One-way ANOVA

Table 1. Acute toxicity of the entomopathogenic fungus *B. bassiana* on the third-instar larvae of *P. xylostella*

^a The total number of larvae used for the bioassay test

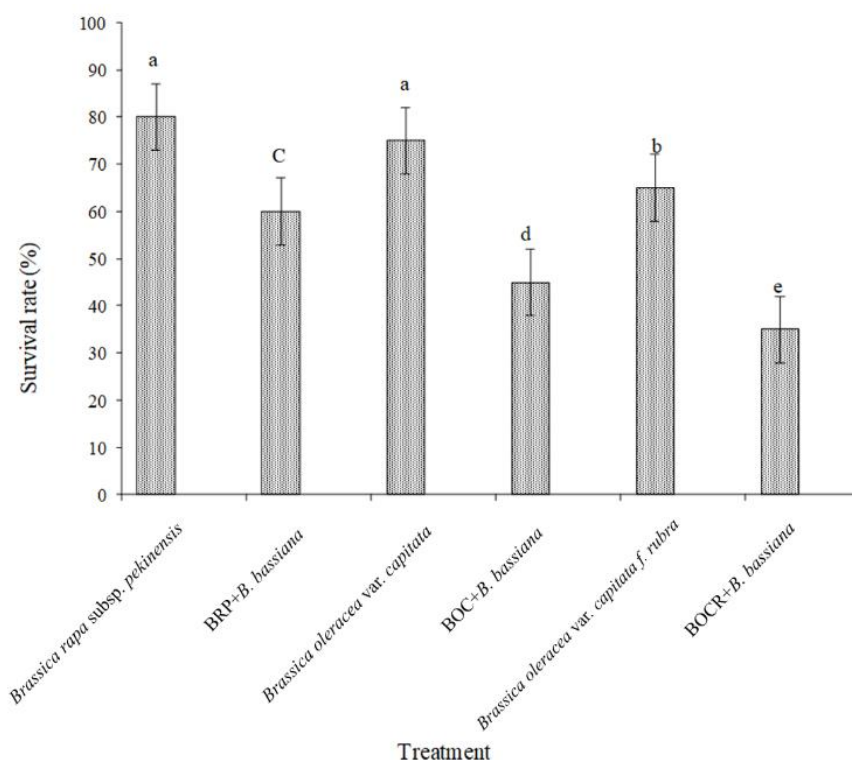
نرخ زنده‌مانی مراحل نابالغ شب‌پره پشت‌الماسی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر گیاه میزبان و قارچ *B. bassiana* قرار گرفت ($t = 30.9/61$ ؛ $P < 0.001$ ؛ $F = 185/67$ ؛ $df = 108, 2$ ؛ $P < 0.001$ ؛ برای گیاهان میزبان، $F = 31/67$ ؛ $P < 0.001$ ؛ $t = 171$ ؛ $df = 171$ ؛ $P < 0.001$ ؛ برای برهم‌کنش‌ها؛ شکل ۲). حشرات تیمار شده با قارچ *B. bassiana* و تغذیه با کلم قرمز کم‌ترین نرخ زنده‌مانی مراحل نابالغ را داشتند (۳۴/۳ درصد). در مقابل، بالاترین نرخ زنده‌مانی مراحل نابالغ مربوط به افراد شاهد پس از تغذیه روی کلم چینی (۸۰/۰ درصد) و کلم پیچ (۷۴/۳ درصد) بود.

جدول ۲- میانگین ($\pm$ انحراف معیار) دوره مراحل نابالغ (روز) *P. xylostella* در شرایط عدم تیمار یا تیمار با غلظت زیر کشنده LC_{20} با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی میزبان‌های گیاهی مختلف

Table 2. Mean ($\pm$ SE) duration of immature stages (day) of *P. xylostella* untreated or treated with sublethal concentration LC_{20} of *B. bassiana* after feeding on different plant hosts

Pest life stage	<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i>				<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>				<i>B. rapa</i> subsp. <i>Pekinensis</i>			
	n	Uninfected	n	<i>B. bassiana</i>	n	Uninfected	n	<i>B. bassiana</i>	n	Uninfected	n	<i>B. bassiana</i>
Third-instar larvae (day)	40	1.47 $\pm$ 0.08c	30	1.60 $\pm$ 0.09c	37	1.94 $\pm$ 0.04b	25	2.48 $\pm$ 0.10a	42	1.57 $\pm$ 0.08c	35	1.82 $\pm$ 0.10b
Fourth-instar larvae (day)	40	1.47 $\pm$ 0.08de	28	1.71 $\pm$ 0.09c	35	1.54 $\pm$ 0.08d	21	2.19 $\pm$ 0.15a	42	1.33 $\pm$ 0.07e	32	1.91 $\pm$ 0.11b
Pupal stage (day)	39	4.10 $\pm$ 0.06c	24	5.41 $\pm$ 0.13a	33	4.69 $\pm$ 0.08b	17	5.76 $\pm$ 0.22a	40	3.45 $\pm$ 0.08e	27	3.92 $\pm$ 0.13d
Total immature stages (day)	39	7.02 $\pm$ 0.16e	24	8.75 $\pm$ 0.18b	33	8.21 $\pm$ 0.11c	17	10.41 $\pm$ 0.35a	40	6.40 $\pm$ 0.13f	27	7.70 $\pm$ 0.23d

Mean values followed by different letters are significantly different (Tukey's HSD test, $P < 0.05$).



شکل ۲- میانگین ($\pm$ انحراف معیار) زنده‌مانی مراحل نابالغ *P. xylostella* تیمار شده با غلظت LC_{20} قارچ *B. bassiana*. هر نقطه میانگین ۵ تکرار می‌باشد.

Figure 2. Mean ($\pm$ SE) immature survival rate of *P. xylostella* after infection to LC_{20} of *B. bassiana*.

Each point is an average of 5 replications

Mean values followed by different letters are significantly different (Tukey's HSD test, $P < 0.05$). BOC: *B. oleracea* var. *capitata*, BRP: *B. rapa* subsp. *pekinensis*, BOCR: *B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra*.

تأثیر برهم‌کنش گیاهان میزبان و قارچ *Beauveria bassiana* روی طول دوره بلوغ و تخم‌ریزی *Plutella xylostella*

گیاهان میزبان و قارچ *B. bassiana* روی طول دوره بلوغ افراد ماده ($t = 222/30$)؛ $P < 0/001$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 166/62$ ؛ $df = 57, 2$ ؛ $P < 0/001$ برای گیاهان میزبان، $F = 2/75$ ؛ $df = 82, 5$ ؛ $P = 0/023$ برای برهم کنش ها) و نر ($216/97$)؛ $t = 0/001$ ؛ $P < 0/001$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 135/78$ ؛ $df = 51, 2$ ؛ $P < 0/001$ برای گیاهان میزبان، $F = 1/30$ ؛ $df = 89, 5$ ؛ $P = 0/276$ برای برهم کنش ها) شب پره پشت الماسی تأثیر زیادی داشتند (جدول ۳). طولانی ترین دوره بلوغ شب پره های ماده و نر مربوط به تیمار شاهد و پس از تغذیه روی کلم چینی بود. در مقابل، کوتاه ترین این دوره ها مربوط به حشرات تیمار شده با قارچ *B. bassiana* و پس از تغذیه روی کلم قرمز بود (به ترتیب ۶/۳ و ۶/۵ روز).
نتایج نشان داد که بیش ترین تخم ریزی مربوط به حشرات ماده شب پره پشت الماسی حاصل از لاروهای شاهد تغذیه شده روی کلم چینی بود. در مقابل، کم ترین تخم ریزی در ماده های حاصل از لاروهای تیمار شده با قارچ *B. bassiana* و پس از تغذیه روی کلم قرمز مشاهده شد ($t = 217/71$)؛ $P < 0/001$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 252/38$ ؛ $df = 57, 2$ ؛ $P < 0/001$ برای گیاهان میزبان، $F = 8/99$ ؛ $df = 82, 5$ ؛ $P < 0/001$ برای برهم کنش ها).

جدول ۳- میانگین ($\pm$ انحراف معیار) طول دوره های بلوغ (روز) و تخم ریزی (تخم بر ماده) *P. xylostella* در شرایط عدم تیمار یا تیمار در غلظت زیر کشنده LC₂₀ قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی میزبان های گیاهی مختلف

Table 3. Mean ($\pm$ SE) adults' longevity (day) and fecundity (egg/female) of *P. xylostella* developed in untreated or treated conditions with sublethal concentration LC₂₀ of *B. bassiana* after feeding on different plant hosts

Parameters	<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i>				<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>				<i>B. rapa</i> subsp. <i>pekinensis</i>			
	n	Uninfected	n	<i>B. bassiana</i>	n	Uninfected	n	<i>B. bassiana</i>	n	Uninfected	n	<i>B. bassiana</i>
Female longevity (day)	20	17.6 $\pm$ 0.4b	11	10.4 $\pm$ 0.6e	16	12.9 $\pm$ 0.4d	8	6.3 $\pm$ 0.5f	22	21.4 $\pm$ 0.5a	14	16.4 $\pm$ 0.5c
Male longevity (day)	19	17.1 $\pm$ 0.4b	13	9.8 $\pm$ 0.6e	17	12.3 $\pm$ 0.5d	9	6.5 $\pm$ 0.5f	18	21.2 $\pm$ 0.5a	13	15.3 $\pm$ 0.5c
Fecundity (egg/female)	20	197.1 $\pm$ 3.9b	11	132.3 $\pm$ 5.8d	16	145.6 $\pm$ 3.5c	8	56.1 $\pm$ 3.6f	22	245.6 $\pm$ 0.5a	14	202.7 $\pm$ 0.6b

Mean values followed by different letters are significantly different (Tukey's HSD j, $P < 0.05$).

اثرات برهم کنش گیاهان میزبان و قارچ *B. bassiana* روی شاخص های تغذیه ای شب پره پشت الماسی

نتایج تأثیر گیاهان میزبان و قارچ *B. bassiana* روی شاخص های تغذیه ای لاروهای سن چهارم شب پره پشت الماسی در جدول ۴ آمده است. داده های حاصل نشان داد که بالاترین درصد کارایی تبدیل غذای خورده شده ECI% مربوط به لاروهای شاهد تغذیه شده روی کلم چینی و پایین ترین آن مربوط به لاروهای تیمار شده با قارچ بیمارگر پس از تغذیه روی کلم قرمز بود ($107/58$)؛ $t = 0/001$ ؛ $P < 0/001$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 62/85$ ؛ $df = 12, 2$ ؛ $P < 0/001$ برای گیاهان میزبان، $F = 6/95$ ؛ $df = 24, 5$ ؛ $P < 0/001$ برای برهم کنش ها). به طور مشابه، بالاترین و پایین ترین درصد کارایی غذای هضم شده ECD% به ترتیب در لاروهای شاهد تغذیه شده روی کلم چینی و لاروهای تیمار شده با قارچ بیمارگر پس از تغذیه روی کلم قرمز مشاهده شد ($99/74$)؛ $t = 0/001$ ؛ $P < 0/001$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 54/52$ ؛ $df = 12, 2$ ؛ $P < 0/001$ برای گیاهان میزبان، $F = 6/77$ ؛ $df = 24, 5$ ؛ $P = 0/003$ برای برهم کنش ها). بالاترین مقدار نرخ مصرف نسبی RCR در لاروهای تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی کلم چینی و لاروهای شاهد تغذیه شده روی کلم قرمز به دست آمد. در حالی که لاروهای تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه

روی کلم پیچ و لاروهای شاهد تغذیه شده روی کلم چینی پایین ترین مقادیر RCR را نشان دادند ($t = 1/43$; $P = 0/239$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 50/27$ ، $df = 12$ ، 2 ؛ $F = 8/62$ ؛ $df = 5$ ، 24 ؛ $P = 0/001$ برای گیاهان میزبان، $F = 368/87$ ؛ $F = 2$ ، 2 ؛ $P < 0/001$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 4/54$ ؛ $df = 5$ ، 24 ؛ $P = 0/017$ برای برهم کنش ها). بالاترین مقدار نرخ رشد نسبی RGR در لاروهای شاهد تغذیه شده روی کلم چینی و پایین ترین آن در لاروهای تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی کلم قرمز به دست آمد ($t = 161/57$ ؛ $P < 0/001$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 368/87$ ؛ $F = 2$ ، 2 ؛ $P < 0/001$ برای گیاهان میزبان، $F = 4/54$ ؛ $df = 5$ ، 24 ؛ $P = 0/017$ برای برهم کنش ها). بالاترین و پایین ترین درصد قابلیت هضم نسبی AD% به ترتیب در لاروهای شاهد تغذیه شده روی کلم چینی و لاروهای تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی کلم قرمز مشاهده شد ($t = 223/89$ ؛ $P < 0/001$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = 59/86$ ؛ $df = 5$ ، 24 ؛ $P < 0/001$ برای گیاهان میزبان، $F = 17/09$ ؛ $df = 5$ ، 24 ؛ $P < 0/001$ برای برهم کنش ها).

جدول ۴- میانگین ($\pm$ انحراف معیار) شاخص‌های تغذیه‌ای *P. xylostella* در شرایط عدم شمار یا شمار در غلظت زیر کشنده

LC₂₀ قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی میزبان‌های گیاهی مختلف

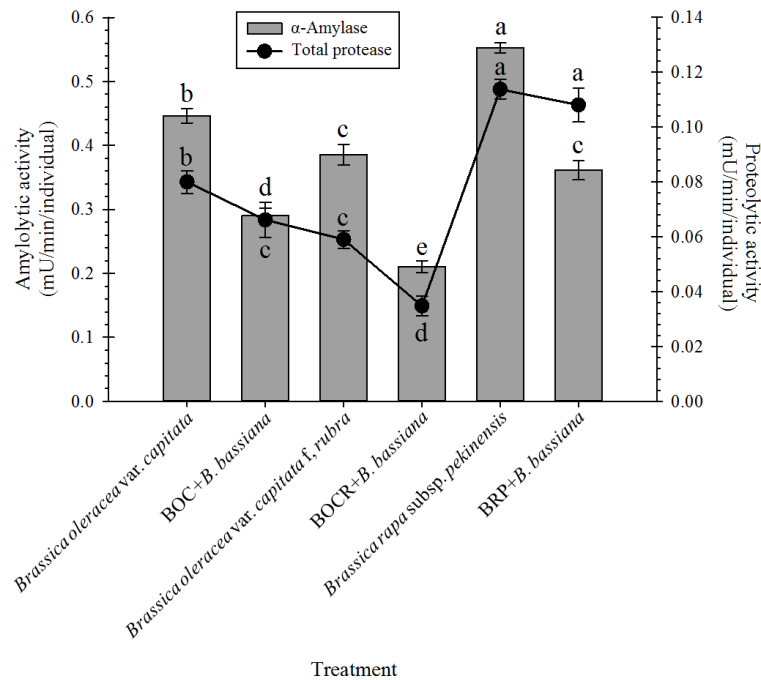
Table 4. Mean ($\pm$ SE) nutritional indices of *P. xylostella* in untreated or treated conditions with sublethal concentration LC₂₀ of *B. bassiana* after feeding on different plant hosts

Parameters	<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i>		<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i> f, <i>rubra</i>		<i>B. rapa</i> subsp. <i>pekinensis</i>	
	Uninfected	<i>B. bassiana</i>	Uninfected	<i>B. bassiana</i>	Uninfected	<i>B. bassiana</i>
ECI (%)	1.93±0.05b	1.60±0.1c	1.37±0.08d	0.97±0.06e	2.30±0.09a	1.70±0.06c
ECD (%)	2.05±0.08b	1.72±0.1c	1.46±0.09d	1.06±0.06e	2.42±0.10a	1.79±0.06c
RCR (mg/mg/day)	7.55±0.05b	6.81±0.27d	8.28±0.37a	7.38±0.36bc	7.12±0.30cd	8.72±0.25a
RGR (mg/mg/day)	0.145±0.001b	0.107±0.004c	0.113±0.003c	0.070±0.004d	0.162±0.001a	0.147±0.001b
AD (%)	94.1±0.0b	92.9±0.3c	94.0±0.2b	90.8±0.4d	94.9±0.2a	93.8±0.2b

Mean values followed by different letters are significantly different (Tukey's HSD test, $P < 0.05$). ECI: Efficiency of conversion of ingested food, ECD: Efficiency of conversion of digested food, RCR: Relative consumption rate, RGR: Relative growth rate, AD: Approximate digestibility.

تأثیر برهم کنش گیاهان میزبان و قارچ *B. bassiana* روی فعالیت آنزیم‌های گوارشی شب‌پره پشت الماسی

نتایج نشان داد که گیاهان میزبان و قارچ *B. bassiana* تأثیر معنی داری روی فعالیت آمیلولیتیک ($t = ۸۲/۶۵$; $P < ۰/۰۰۱$) برای قارچ *B. bassiana*، $F = ۲۹۸/۳۱$ ؛ $df = ۱۲$ ، ۲ ؛ $P < ۰/۰۰۱$ برای گیاهان میزبان، $F = ۱/۰۱$ ؛ $df = ۵$ ، ۲۴ ؛ $P = ۰/۳۷۱$ برای برهم کنش ها) و پروتئولیتیک ($t = ۹۲/۸۴$ ؛ $P < ۰/۰۰۱$ برای قارچ *B. bassiana*، $F = ۱۴/۳۲$ ؛ $df = ۱۲$ ، ۲ ؛ $P = ۰/۰۰۱$ برای گیاهان میزبان، $F = ۱/۹۴$ ؛ $df = ۵$ ، ۲۴ ؛ $P = ۰/۱۵۸$ برای برهم کنش ها) لاروهای سن چهارم داشتند (شکل ۳). بالاترین فعالیت آلفا-آمیلاز در لاروهای شاهد تغذیه شده روی کلم چینی (۰/۵۵ واحد/ میلی گرم پروتئین) و پایین ترین آن در لاروهای تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی کلم قرمز (۰/۲۱ میلی یونیت/دقیقه/لارو) مشاهده شد. هم چنین، لاروهای شاهد و لاروهای تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی کلم چینی بیش ترین فعالیت پروتئولیتیکی را نشان دادند (به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۱۱ میلی یونیت/دقیقه/لارو). در مقابل، لاروهای تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی کلم قرمز کم ترین فعالیت پروتئولیتیک را داشتند (۰/۰۳ میلی یونیت/دقیقه/لارو).



شکل ۳- تأثیر (میانگین $\pm$ انحراف معیار) قارچ *B. bassiana* در غلظت زیر کشنده LC_{20} روی فعالیت آمیلولیتیک و پروتئولیتیک لاروهای سن چهارم *P. xylostella*. هر نقطه میانگین ۵ تکرار می باشد.

Figure 3. Effect (mean $\pm$ SE) of *B. bassiana* at sublethal concentration LC_{20} and host plants on the amylolytic and proteolytic activity of fourth instar larvae of *P. xylostella*. Each point is an average of 5 replications

Mean values followed by different letters are significantly different (Tukey's HSD test, $P < 0.05$).

بحث

توانایی بالای شب پره پشت الماسی در مقاومت نسبت به حشره کش ها و مخاطرات زیست محیطی ناشی از سموم شیمیایی، باعث افزایش نگرانی ها و تغییر جهت تحقیقات به سوی یافتن روش های سازگار با محیط زیست شده است (Nouri-Ganbalani et al., 2018). یکی از روش های جایگزین و ایمن، استفاده از آفت کش های میکروبی مانند *B. bassiana* است که عملکرد مؤثری در کنترل آفات دارد (Sandhu et al., 2012). با وجود این، عواملی مانند رطوبت نسبی، دما و گونه های گیاهی می توانند بر کارایی این سموم بیولوژیک تأثیر گذار باشند (Mishra et al., 2015). در مطالعه حاضر، تأثیر گیاهان میزبان و اثربخشی استفاده همزمان از گیاهان میزبان و قارچ *B. bassiana* علیه شب پره پشت الماسی بررسی شد و مشخص شد که این قارچ با توجه به غلظت و زمان تماس، سمیت قابل توجهی دارد و می تواند جایگزین مناسبی برای سموم شیمیایی باشد. این یافته ها با نتایج دیگر پژوهشگران هم راستا است (Batcho et al., 2018; Shehzad et al., 2021). از طرفی، مقایسه مقادیر LC_{50} نشان داد که سمیت *B. bassiana* برای لاروهای سن سوم شب پره پشت الماسی در مطالعه حاضر ($10^6 \times 2/18$ کنیدی بر میلی لیتر) بیش تر از مقادیر گزارش شده برای لاروهای سن دوم شب پره پشت الماسی ($10^4 \times 1/78$ کنیدی بر میلی لیتر) (Shehzad et al., 2021) بود.

در پژوهش حاضر، حشرات شاهد تغذیه شده روی هر سه گونه/رقم کلم طول دوره رشد نابالغ کوتاه تر و طول عمر حشرات بالغ طولانی تری را در مقایسه با حشرات تیمار شده با قارچ *B. bassiana* نشان داد و طولانی ترین مرحله نابالغ مربوط به شفیره های تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه از کلم قرمز بود. همچنین بیش ترین میزان تخم ریزی مربوط به حشرات ماده ای بود که لاروهای آن ها روی کلم چینی تغذیه شده بودند، که نشان دهنده تأثیر گیاه میزبان بود. همسو با پژوهش حاضر، سعید و همکاران (Saeed et al., 2010) اظهار داشتند که مؤلفه های زیستی این آفت تحت تأثیر نوع گیاهان میزبانی همچون کلم، گل کلم، تربچه،

خردل، شلغم و کلزا قرار دارد. هم‌چنین در پژوهش دیگری گزارش شد که تیمار لاروهای شب‌پره پشت الماسی با قارچ *B. bassiana* تأثیر منفی قابل توجهی بر وزن شفیره، طول دوره شفیرگی، زنده‌مانی مراحل نابالغ و باروری آن‌ها دارد (Satyanarayana & Arunakumara, 2016).

یکی از بخش‌های مهم اکولوژی تغذیه، بررسی شاخص‌های تغذیه تعریف شده توسط ولدبائر (Waldbauer, 1968) است. این شاخص‌ها مقدار بازده متابولیکی حشرات روی میزبان و در واقع چگونگی تبدیل غذا توسط حشره به بیوماس را نشان می‌دهند و به عنوان یک ابزار در بهبود درک فیزیولوژی تغذیه و اکولوژی حشرات آفت استفاده می‌شوند (Parra et al., 2012). مؤلفه‌های مرتبط با شایستگی رشدی حشرات گیاه‌خوار به شدت تحت تأثیر ارزش غذایی گیاه میزبان قرار می‌گیرد (Yazdanfar et al., 2023; Zhang et al., 2023; Dehghan et al., 2023; Jalaeian et al., 2021). بنابراین، ارزیابی کارایی تغذیه‌ای لارو روی گیاه میزبان، امکان استنباط درباره کیفیت غذای آن را فراهم می‌کند. طبق نتایج پژوهش حاضر، بالاترین شاخص‌های تغذیه مربوط به لاروهای شب‌پره پشت الماسی بود که از کلم چینی تغذیه کرده بودند. افزایش شاخص‌های تغذیه در لاروها نشان می‌دهد که این لاروها در تبدیل غذای خورده شده و هضم شده به زیست توده با کارایی بیش‌تری عمل کردند. شاخص درصد قابلیت هضم نسبی AD% به منظور تخمین سهولت جذب غذا از طریق دیواره معده در بدن حشره استفاده می‌شود. هرگونه اختلاف در مقدار این شاخص، به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میزبان بستگی دارد که می‌تواند نشان‌دهنده کمبود مواد غذایی، عدم تعادل و کمبود آب باشد (Jonas & Joern, 2013). شایان ذکر است که بر خلاف نرخ رشد نسبی RGR، مقادیر نرخ مصرف نسبی RCR برای لاروهای شب‌پره پشت الماسی تیمار شده با قارچ *B. bassiana* پس از تغذیه روی کلم چینی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از لاروهای شاهد بود. احتمالاً، به عنوان یک مکانیسم دفاعی، لاروهای شب‌پره پشت الماسی برای کاهش تأثیر منفی عوامل استرس‌زا نرخ مصرف نسبی غذا را افزایش می‌دهند.

ترشح آنزیم‌های گوارشی در حشرات به طور مستقیم به مقدار غذا در دستگاه گوارش و فرآیند هضم آن وابسته است (Hasheminia et al., 2011). آنزیم آلفا-آمیلاز نشاسته را به مالتوز و گلیکوژن را به گلوکز هیدرولیز می‌کند (Nasr et al., 2017). پروتئازهای عمومی مسئول تأمین اسیدهای آمینه ضروری و انرژی مورد نیاز برای رشد و نمو حشرات از منابع غذایی هستند (Telang et al., 2005). در پژوهش حاضر، شاخص‌های تغذیه لاروهای شب‌پره پشت الماسی شاهد تغذیه شده روی سایر میزبان‌های گیاهی و هم‌چنین فعالیت آمیلولیتیک و پروتئولیتیک در لاروهای شب‌پره پشت الماسی تیمار شده با قارچ *B. bassiana* نسبت به لاروهای شاهد روند کاهشی نشان داد و بیش‌ترین کاهش مربوط به کلم قرمز بود. این نتایج هم‌راستا با یافته‌های پژوهش‌های قبلی می‌باشد (Teimouri et al., 2015; Prasad & Mukhopadhyay, 2016; Nouri-Ganbalani et al., 2017; Borzoui et al., 2018) که نشان می‌دهد شاخص‌های تغذیه‌ای به‌طور مستقیم تحت تأثیر فعالیت آنزیم‌های گوارشی قرار می‌گیرند. هم‌چنین قابل ذکر است که گیاه میزبان نامناسب و قارچ *B. bassiana* سبب کاهش شاخص‌های تغذیه‌ای لاروها شد که می‌تواند به دلیل متابولیت‌های اولیه و ثانویه میزبان نامناسب باشد که موجب سمیت روی حشره و کاهش فعالیت آنزیم‌های دفاعی در لارو می‌شود. حساسیت لاروهای بال‌پولک‌داران به عوامل بیماری‌زا بسته به گونه‌های گیاه میزبان متفاوت است (Zhao et al., 2024). کاهش تغذیه لاروها پس از تیمار با قارچ *B. bassiana* یکی دیگر از دلایل کاهش شاخص‌های تغذیه‌ای و فعالیت آنزیم‌های گوارشی است که مشابه تأثیر منفی دیگر بیمارگرهای حشرات بر عملکرد فیزیولوژیک حشرات گیاه‌خوار گزارش شده است (Polenogova et al., 2021; Vivekanandhan et al., 2023).

به‌طور خلاصه، نتایج نشان داد که قارچ *B. bassiana* باعث سمیت بالایی در لاروهای سن سوم شب‌پره پشت الماسی می‌شود. با در نظر گرفتن شاخص‌های تغذیه‌ای همراه با دوره رشدی و نرخ زنده‌مانی مراحل نابالغ، طول دوره بلوغ و باروری، کلم قرمز میزبان نامناسبی برای شب‌پره پشت الماسی در مقایسه با کلم چینی و کلم پیچ بود. به‌علاوه، برهم کنش قارچ بیماری‌زا و گیاهان میزبان سبب کاهش بیش‌تری در عملکرد شب‌پره پشت الماسی شد که این کاهش در جمعیت تغذیه شده روی کلم قرمز چشمگیرتر بود. هر دوی

گیاه میزبان و قارچ *B. bassiana* فعالیت آمیلولیتیک و پروتئولیتیک لاروهای شب پره پشت الماسی را کاهش دادند. از این داده‌ها می‌توان این گونه نتیجه گرفت که پارامترهای مربوط به شایستگی رشدی و شاخص‌های تغذیه‌ای شب پره پشت الماسی به‌طور مستقیم تحت تأثیر فعالیت آنزیم‌های گوارشی است. از نقطه نظر کاربردی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاربرد همزمان قارچ *B. bassiana* و میزبان مقاوم کلمیان برای کنترل شب پره پشت الماسی یک روش سازگار در کنترل تلفیقی آفت می‌باشد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه گیلان صورت پذیرفته است و نویسندگان بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

References

- Afroz, M., Rahman, M., & Amin, R. (2021). Insect plant interaction with reference to secondary metabolites: A review. *Agricultural Reviews*, 42(4), 427-433.
- Agboyia, L. K., Ketoh, G. K., Kpindou, O. K. D., Martin, T., Glitho, I. A., & Tamò, M. (2020). Improving the efficiency of *Beauveria bassiana* applications for sustainable management of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in West Africa. *Biological Control*, 144(104), p.104233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104233>.
- Asmoro, P. P., & Winasa, I. W. (2021). Nutritional indices and feeding preference of the *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) in several Brassicaceae plants. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 948(1), 012040. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/948/1/012040>.
- Batcho, A., Ali, M., Samuel, A. O., Shehzad, K., & Bushra Rashid. (2018). Comparative study of the effects of five *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Ascomycota: Hypocreales) strains on cabbage moth *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Cogent Environmental Science*, 4, 1477542. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311843.2018.1477542>.
- Bathina, P., & Bonam, R. (2020). Effect of endophytic isolates of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin and *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin on *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in cabbage. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 30(1), p.142. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00342-w>.
- Bernfeld, P. (1955). Amylases, α and β . *Methods in Enzymology*, 1, 149-158. DOI: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(55\)01021-5](https://doi.org/10.1016/0076-6879(55)01021-5).
- Borzoui, E., Bandani, A. R., Goldansaz, S. H., & Talaei-Hassanlouei, R. (2018). Dietary protein and carbohydrate levels affect performance and digestive physiology of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(2), 942-949. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tox360>.
- Dannon, H. F., Dannon, A. E., & Douro-Kpindou, O. K. (2020). Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal of Cotton Research*, 3, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42397-020-00061-5>.
- Dehghan, A., Rounagh-Ardakani, H., Mohammadzadeh, A., Mohammadzadeh, M., Mohammadzadeh, M., & Borzoui, E. (2023). Induction of resistance, enzyme activity, and phytochemicals in canola plants treated with abscisic acid elevated based on nutrient availability: a case study on *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Insect Science*, 23(3), p. 17. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead037>.
- Duisembecov, B. A., Dubovskiy, I. M., & Glupov, V. V. (2017). Effect of plant secondary metabolites on susceptibility of insects to entomopathogenic microorganisms. *Contemporary Problems of Ecology*, 10, 286-292. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425517030052>.
- Ekholm, A., Tack, A. J., Pulkkinen, P., & Roslin, T. (2020). Host plant phenology, insect outbreaks and herbivore communities—The importance of timing. *Journal of Animal Ecology*, 89(3), 829-841. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13151>.

- Farrar, R. R., Barbour, J. D., & Kennedy, G. G. (1989). Quantifying food consumption and growth in insects. *Annals of the Entomological Society of America*, 82, 593-598. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/82.5.593>.
- Fathipour, Y., Kianpour, R., Bagheri, A., Karimzadeh, J., Hosseini Naveh, V., & Mehrabadi, M. (2020). Targeting *Plutella xylostella* digestive enzymes by applying resistant Brassicaceae host cultivars. *Journal of Crop Protection*, 9(1), 65-79. DOI: <http://jcp.modares.ac.ir/article-3-31365-en.html>.
- Garcia-Carreno, F. L., & Haard, N. (1993). Characterization of protease classes in langostilla *Pleuroncodes planipes* and crayfish *Pacifastacus astacus* extracts", *Journal of Food Biochemistry*, 17, 97-113. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.1993.tb00864.x>.
- Guo, C. T., Luo, X. C., Ying, S. H., & Feng, M. G. (2022). Differential roles of five fluffy genes (flbA–flbE) in the lifecycle *in vitro* and *in vivo* of the insect–pathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Journal of Fungi*, 8(4), 334. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8040334>.
- Hasheminia, S. M., Sendi, J. J., Jahromi, K. T., & Moharramipour, S. (2011). The effects of *Artemisia annua* L. and *Achillea millefolium* L. crude leaf extracts on the toxicity, development, feeding efficiency and chemical activities of small cabbage *Pieris rapae* L. (Lepidoptera: Pieridae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 99(3), 244-249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.12.009>.
- Isman, M. B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65(1), 233-249. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>.
- Jafary-Jahed, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., Hassanpour, M., & Leppla, N. C. (2019). Life table parameters and oviposition preference of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on six brassicaceous crop plants. *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 932-938. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toy384>.
- Jalaeian, M., Mohammadzadeh, M., Mohammadzadeh, M., & Borzoui, E. (2021). Rice cultivars affect fitness-related characteristics and digestive physiology of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 93, 101821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101821>.
- Jonas, J. L., & Joern, A. (2013). Dietary selection and nutritional regulation in a common mixed-feeding insect herbivore. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 148(1), 20-26. DOI: <https://doi.org/10.1111/eea.12065>.
- Jiang, W., Peng, Y., Ye, J., Wen, Y., Liu, G., & Xie, J. (2020). Effects of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* on the mortality and immune response of *Locusta migratoria*. *Insects*, 11(1), 36. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11010036>.
- Karimzadeh, J., Bonsall, M. B., & Wright, D. J. (2004). Bottom-up and top-down effects in a tritrophic system: the population dynamics of *Plutella xylostella* (L.)–*Cotesia plutellae* (Kurdjumov) on different host plants. *Ecological Entomology*, 29(3), 285-293. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2004.00609.x>.
- Keerthi, M. C., & Suroshe, S. S. (2024). Effect of host plants on the fitness and demographic parameters of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) using age-stage, two-sex life tables. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 143-154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00815-8>.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265-275.
- Manuwoto, S., & Scriber, J. M. (1982). Consumption and utilization of three maize genotypes by the southern armyworm. *Journal of Economic Entomology*, 75, 163-7. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/75.2.163>.
- Marchioro, C. A., & Foerster, L. A. (2014). Preference–performance linkage in the diamondback moth, *Plutella xylostella*, and implications for its management. *Journal of Insect Science* 14(85). DOI: <http://www.insectscience.org/14.85>.
- Mascarin, G. M., Lopes, R. B., Delalibera, I., Fernandes, E. K. K., Luz, C., & Faria, M. (2019). Current status and perspectives of fungal entomopathogens used for microbial control of arthropod pests in Brazil. *Journal of Invertebrate Pathology*, 165, 46–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.01.001>.

- Mishra, S., Kumar, P., & Malik, A. (2015). Effect of temperature and humidity on pathogenicity of native *Beauveria bassiana* isolate against *Musca domestica* L. *Journal of Parasitic Diseases*, 39, 697-704. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12639-013-0408-0>.
- Nasr, M., Sendi, J. J., Moharramipour, S., & Zibae, A. (2017). Evaluation of *Origanum vulgare* L. essential oil as a source of toxicant and an inhibitor of physiological parameters in diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 184-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.06.002>.
- Nithya, P. R., Manimegalai, S., Nakkeeran, S., & Mohankumar, S. (2021). Comparative study of the ditrophic interaction between *Beauveria bassiana* and *Plutella xylostella*. *Biotechnology*, 11(5), 223. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13205-021-02760-5>.
- Nouri-Ganbalani, G., Borzoui, E., Abdolmaleki, A., Abedi, Z., & Kamita, S. G. (2016). Individual and combined effects of *Bacillus thuringiensis* and azadirachtin on *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Insect Science*, 16(1), 95. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iwv086>.
- Nouri-Ganbalani, G., Borzoui, E., Nouri, A., & Tajmiri, P. (2017). Effect of different potato cultivars on nutritional indices and activity of some digestive enzymes of *Leptinotarsa decemlineata* (Col.: Chrysomelidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 48(1), 109-118. (In Persian with English abstract). DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2017.226533.1006760>.
- Nouri-Ganbalani, G., Borzoui, E., Shahnavaizi, M., & Nouri, A. (2018). Induction of resistance against *Plutella xylostella* (L.) (Lep.: Plutellidae) by jasmonic acid and mealy cabbage aphid feeding in *Brassica napus* L. *Frontiers in Physiology*, 9, 859. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00859>.
- Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., Majd-Marani, S., & Borzoui, E. (2020). Canola cultivars affect nutrition and cold hardiness of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 40, 741-750. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00125-8>.
- Parra, J. R., Panizzi, A. R., & Haddad, M. L. (2012). Nutritional indices for measuring insect food intake and utilization, In: *Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management*. Panizzi, A. R. & Parra, J. R. P. (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p. 13-50. eBook ISBN: 9780429151088.
- Philips, C. R., Fu, Z., Kuhar, T. P., Shelton, A. M., & Cordero, R. J. (2014). Natural history, ecology, and management of Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae), with emphasis on the United States, *Journal of Integrated Pest Management*, 5(3), D1–D11. DOI: <https://doi.org/10.1603/IPM14012>.
- Polenogova, O. V., Noskov, Y. A., Yaroslavl'tseva, O. N., Kryukova, N. A., Alikina, T., & Klementeva, T. N. (2021). Influence of *Bacillus thuringiensis* and Avermectins on gut physiology and microbiota in Colorado potato beetle: Impact of enterobacteria on susceptibility to insecticides. *PLoS ONE*, 16(3), e0248704. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248704>.
- Poprawski, T. J., Greenberg, S. M., & Ciomperlik, M. A. (2000) Effect of host plant on *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus*-induced mortality of *Trialeurodes vaporariorum* (Hom., Aleyrodidae). *Environmental Entomology*, 29, 1048-1053. DOI: <https://doi.org/10.1603/0046-225X-29.5.1048>.
- Prasad, A. K., & Mukhopadhyay, A. (2016). Growth, nutritional indices and digestive enzymes of *Hyposidra infixaria* Walker (Lepidoptera: Geometridae) on artificial and natural (tea) diets. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19(1), 167–172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2015.12.009>.
- Saeed, R., Sayyed, A. H., Shad, S. A., & Zaka, S. M. (2010). Effect of different host plants on the fitness of diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 29(2), 178-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.09.012>.
- Satyanarayana, C., & Arunakumara, K. T. 2016. Evaluation of entomopathogenic fungi and essential oils against diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 22(2), 151-157.
- Seyed-Talebi, F. S., Safavi, S. A., Talaei Hassanloui, R., & Bandani, A. 2020. Variable induction of cuticle-degrading enzymes of *Beauveria bassiana* isolates in the presence of different insect cuticles. *Journal of Crop Protection*, 9(4), 563-576. DOI: <http://jcp.modares.ac.ir/article-3-40182-en.html>.

- Shehzad, M., Tariq, M., Mukhtar, T., & Gulzar, A. (2021). On the virulence of the entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Ascomycota: Hypocreales), against the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 86. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00428-z>.
- Teimouri, N., Jalali Sendi, J., Zibae, A., & Khosravi, R. (2015). Feeding indices and enzymatic activities of carob moth *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: pyralidae) on two commercial pistachio cultivars and an artificial diet. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14, 76-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.08.003>.
- Telang, M. A., Giri, A. P., Sainani, M. N., & Gupta, V. S. (2005). Characterization of two midgut proteinases of *Helicoverpa armigera* and their interaction with proteinase inhibitors. *Journal of Insect Physiology*, 51(5), 513-522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2004.12.004>.
- Thungrabeab, M., Blaaser, P., & Sengonca, C. (2006). Effect of temperature and host plant on the efficacy of different entomopathogenic fungi from Thailand against *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) in the laboratory. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 113(4), 181-187.
- Tian, J., Diao, H., Liang, L., Arthurs, S., Hao, C., Mascarin, G. M., & Ma, R. (2016). Host plants influence susceptibility of whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) to the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae). *Biocontrol Science and Technology*, 26(4), 528-538. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2015.1129393>.
- Vertyporokh, L., Hulaś-Stasiak, M., & Wojda, I. (2020). Host-pathogen interaction after infection of *Galleria mellonella* with the filamentous fungus *Beauveria bassiana*. *Insect Science*, 27(5), 1079-1089. DOI: <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12706>.
- Vivekanandhan, P., Swathy, K., Lucy, A., Sarayut, P., & Patcharin, K. (2023). Entomopathogenic fungi based microbial insecticides and their physiological and biochemical effects on *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13, 1254475. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1254475>.
- Wakil, W., Kavallieratos, N. G., Ghazanfar, M. U., & Usman, M. (2022). Laboratory and field studies on the combined application of *Beauveria bassiana* and fipronil against four major stored-product coleopteran insect pests. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(23), 34912-34929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17527-x>.
- Waldbauer, G. P. (1968). The consumption and utilization of food by insects. *Advance in Insect Physiology*, 5, 229-88. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60230-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60230-1).
- Yang, F. Y., Chen, J. H., Ruan, Q. Q., Wang, B. B., Jiao, L., Qiao, Q. X., He, W. Y., & You, M. S. (2021). Fitness comparison of *Plutella xylostella* on original and marginal hosts using age-stage, two-sex life tables. *Ecology and Evolution*, 11, 9765-9775. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.7804>.
- Yazdanfar, H., Ghodskhah-Daryaei, M., & Jalali Sendi, J. (2016). The effects of host plants on the feeding indices and chemical activities of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Muller) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Iran Agricultural Research*, 35(1), 81-87. DOI: <https://doi.org/10.22099/iar.2016.3697>.
- Zhang, Z., Zheng, C., Keyhani, N. O., Gao, Y., & Wang, J. (2021). Infection of the Western Flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, by the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Agronomy*, 11(10), 1910. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11101910>.
- Zhang, A., Li, T., Yuan, L., Tan, M., Jiang, D., & Yan, S. (2023). Digestive characteristics of *Hyphantria cunea* larvae on different host plants. *Insects*, 14(5), 463. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects14050463>.
- Zhao, A., Yuan, X., Hu, D., Leng, C., Li, Y., Wang, P., & Li, Y. (2019). The effect of host plant on the development and larval midgut protease activity of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Phytoparasitica*, 47, 475-483. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12600-019-00746-x>.
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium Anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 17, 879-920. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583150701593963>.

Synergistic effects of three cabbage plant species and *Beauveria bassiana* on some growth, nutritional indices and enzymatic activity of diamondback moth

M. Belbasi¹, J. Jalali Sendi^{2*} and A. Bandani³

1 & 2. Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, 3. Department of Plant Protection Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

✉ mbelbasi@yahoo.com
✉ jjalali@guilan.ac.ir
✉ abandani@ut.ac.ir

 <https://orcid.org/0009-0000-5586-455X>
 <https://orcid.org/0000-0002-4917-1068>
 <https://orcid.org/0000-0001-8155-2234>

Received: 7 June 2025 | Accepted: 19 August 2025 |

Abstract

The diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), is a major pest of Brassicaceae worldwide. In this study, the effect of sublethal concentration LC₂₀ of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin on *P. xylostella* larvae feeding on Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*), savoy cabbage (*B. oleracea* var. *capitata*) and red cabbage (*B. oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) was evaluated. Rearing was carried out at 25 ± 1 °C, relative humidity of 60 ± 5% and a photoperiod of 16 hours light: 8 hours dark. The LC₂₀ was obtained by examining the effect of five concentrations of 10⁴, 10⁵, 10⁶, 10⁷ and 10⁸ conidia/ml. The results indicated a dose-dependent toxicity of pathogenic fungus on third instar larvae. Larvae infected with sublethal concentrations of *B. bassiana* (1.34 × 10⁴ conidia/ml) exhibited prolonged development, reduced survival rates and shorter adult longevity, and lower fecundity compared to the control. Also, a decrease in nutritional indices including efficiency of conversion of ingested food (ECI%), efficiency of conversion of digested food (ECD%), relative consumption rate (RCR), relative growth rate (RGR), approximate digestibility (AD%) and a decrease in digestive enzyme activity (amylase and protease) were observed in these treatments. The most severe pathogenicity was observed in larvae that were fed red cabbage, which exhibited the lowest growth performance, nutritional indices, and enzyme activity when infected with *B. bassiana*. Overall, Chinese cabbage proved to be the most appropriate host while red cabbage was the least suitable host for larval development. These results provide information for selecting appropriate integrated management strategies for the diamondback moth.

Key words: Digestive enzyme, Life cycle, Nutritional indices, *Plutella xylostella*

Citation: Belbasi, M., Jalali Sendi, J. & Bandani, A. (2025). Synergistic effects of three cabbage plant species and *Beauveria bassiana* on some growth, nutritional indices and enzymatic activity of diamondback moth. *Plant Pest Research*, 15(2), 13-29.
Doi: <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.30920.1641>



*Corresponding author: jjalali@guilan.ac.ir