

نوع مقاله: پژوهشی

حساسیت شته *Myzus persicae* به دو جدایه قارچ بیماریز *Beauveria bassiana* از بصره

رحمن عزیز عبدالحمزہ المخاضری^۱، شیما رحمانی (نویسنده مسئول)^{۲*}، سیده معصومه هاشمی نیا^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه گیاهپزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،

sydammer@gmail.com

۲- استادیار، گروه گیاهپزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، shrahmani@iau.ac.ir

۳- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران، ag.hasheminia@yahoo.com

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۴

Susceptibility of the aphid *Myzus persicae* to two isolates of the pathogenic fungus *Beauveria bassiana* from Basra

Rahman Aziz Abdul Hamza Al-Makhdari¹, Shima Rahmani (Corresponding author)^{2*}, Seyedeh Masoomeh Hasheminia³

1- M.Sc student, Department of Plant Protection, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran, sydammer@gmail.com

2- Assistant professor, Department of Plant Protection, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran, shrahmani@iau.ac.ir

3- Associate professor, Department of Plant Protection, Ro.C., Islamic Azad University, Roudehen, Iran, ag.hasheminia@yahoo.com

Received: May 2025 Accepted: July 2025

Abstract

The aphid *Myzus persicae* is a polyphagous insect that can cause significant damage to various crops. Due to the resistance of *M. persicae* to many pesticides, the use of alternative compounds is recommended. *Beauveria bassiana* is recognized as an effective pathogen for aphid control and has gained attention due to its non-toxicity to mammals and its potential for long-term pest control. In this study, the pathogenicity of two local isolates from Basra, Iraq, against *M. persicae* was evaluated. Bioassay experiments were conducted under $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 70% relative humidity, and a 16-hour light photoperiod over ten days. The results showed that with increasing concentration, the mortality rate also increased. The LC_{50} of Bb 25 was 4.28×10^5 conidia/mL, and the LC_{50} of Bb 195 was 3.75×10^5 conidia/mL, indicating that Bb 195 had a higher mortality effect than Bb 25. The LT_{50} of isolate Bb 195 at all concentrations was lower than that of Bb 25, and as the concentration increased, the LT_{50} also decreased. The lowest LT_{50} (5.89 days) was observed in the Bb 195 treatment at 10^8 conidia/mL, while the highest LT_{50} (12.54 days) was found in the Bb 25 treatment at 10^3 conidia/mL. This research concluded that both *Beauveria bassiana* isolates from Basra were considered effective in causing mortality in *M. persicae*. However, isolate Bb 195 demonstrated better potential as a biological control agent due to its higher insecticidal effect and faster action.

Keywords: Aphid, Bioassay, Biological Control, Pathogenic Fungi

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Summer 2025, Vol 20, No 2, Pp 47-61

چکیده

شته *Myzus persicae* حشره‌ای پلی‌فاژ است که می‌تواند خسارت‌های زیادی روی محصولات مختلف باغی و زراعی ایجاد کند. به دلیل مقاومت *M. persicae* به بسیاری آفت‌کش‌ها، استفاده از ترکیبات جایگزین توصیه می‌شود. قارچ *Beauveria bassiana* به عنوان یک بیمارگر مؤثر در کنترل شته‌ها شناخته شده است و به دلیل عدم سمیت برای پستانداران و قابلیت کنترل طولانی مدت آفات، مورد توجه قرار دارد. در این تحقیق، کشندگی دو جدایه بومی شهر بصره عراق علیه شته *M. persicae* بررسی شد. آزمایش‌های زیست‌سنجی در شرایط ثابت (دمای $25 \pm 1^\circ\text{C}$) درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی) و طی مدت زمان ده روز انجام گرفت. براساس نتایج، با افزایش غلظت، درصد کشندگی شته‌ها افزایش می‌یافت. LC_{50} جدایه Bb 25 برابر 4.28×10^5 کنیدی/میلی‌لیتر و جدایه Bb 195 برابر 3.75×10^5 کنیدی/میلی‌لیتر محاسبه شد که نشان می‌داد جدایه Bb 195 نسبت به Bb 25 مرگ‌آفرینی بیشتری دارد. LT_{50} مربوط به جدایه Bb 195 تمامی غلظت‌ها کمتر از Bb 25 بود و با افزایش غلظت میزان LT_{50} نیز کاهش یافت. کمترین LT_{50} (۵/۸۹ روز) در تیمار Bb 195 (غلظت 10^8 کنیدی/میلی‌لیتر) و بیشترین مقدار آن (۱۲/۵۴ روز) در تیمار Bb 25 (غلظت 10^3 کنیدی/میلی‌لیتر) مشاهده شد. این پژوهش نشان داد هر دو جدایه قارچ پاتوژن *B. bassiana* بومی شهر بصره اثر کشنده مناسبی روی *M. persicae* داشتند. اگرچه، جدایه Bb 195 به دلیل اثر حشره‌کشی بیشتر در مدت زمانی کمتر، قابلیت بهتری برای استفاده به عنوان عامل کنترل زیستی را دارا بود.

کلمات کلیدی: زیست‌سنجی، شته، قارچ پاتوژن، کنترل بیولوژیک

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

تابستان ۱۴۰۴، دوره ۲۰، شماره ۲، صص ۴۷-۶۱

مقدمه و کلیات

شته سبز هلو (*Myzus persicae*) از راسته Hemiptera و تیره Aphididae، حشره‌ای است با گستره میزبانی وسیع که آفت درجه اول بیش از ۴۰ خانواده گیاهی به شمار می‌رود (Ali et al., 2023). این حشره در بسیاری از نقاط جهان از جمله در آمریکای شمالی، اروپا و آسیا یافت می‌شود و در کشور ما نیز در زمره آفات مهم قرار دارد (Ali, 2023). افراد بالغ بالدار اندازه‌ای تا ۲/۱ میلی‌متر دارند و به صورت بکرزایی تولید مثل می‌کنند. همچنین در شرایط نامناسب و سرد دارای یک نسل جنسی نیز هستند. طول دوره زندگی آنها به طور معمول ۱۵ روز به طول می‌انجامد (Vorburger et al., 2003). *M. persicae* از شیر گیاهی تغذیه می‌کند و از طریق ایجاد کلروزیس، نکروز، پژمردگی، تغییر شکل و ریزش میوه به صورت کمی و کیفی محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد (Hewer et al., 2011). این ضرر و زیان ناشی از کاهش محصول در جهان گاه تا بلیون‌ها دلار نیز می‌رسد (Ali, 2023). افزون بر خسارت مستقیم، این شته به طور غیرمستقیم از طریق انتقال ویروس‌های گیاهی و تولید عسلک که به عنوان بستری برای رشد پاتوژن‌ها به حساب می‌آید که بر فعالیت فتوسنتزی گیاه اثر نامطلوب دارد (Dedryver et al., 2010). مدیریت این آفت تحت روش‌های مختلف شیمیایی، بیولوژیک و زراعی انجام می‌گیرد (Barzman et al., 2015). در این میان، استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی به دلیل در دسترس بودن، اثربخشی و سادگی کاربرد، یکی از شیوه‌های مرسوم

مدیریت شته‌ها است (Deguine et al., 2021). آفت -کش‌های شیمیایی در گروه پایروترئوئیدها، کاربامات‌ها، فسفره‌های آلی و نئونیکوتینوئیدها اگرچه اثرات کشنده مطلوبی روی شته‌ها داشته‌اند، اما *M. persicae* سطوح مشخصی از مقاومت به این آفت‌کش‌ها را نشان داده است (Mingeot et al., 2021; Mottet et al., 2024). بعلاوه، اثرات نامطلوب روی محیط زیست و موجودات غیرهدف موجب محدودیت‌هایی در استفاده از این ترکیبات شده است (Rani et al., 2021). براساس اطلاعات ثبت شده در پایگاه اطلاعاتی مقاومت بندپایان به آفت‌کش (Arthropod Pesticide Resistance Database) ۵۲۲ مورد مقاومت این گونه به آفت‌کش ثبت شده است که در بر دارنده ۸۴ ماده موثره می‌باشد (Mota-Sanchez and Wise, 2025). همچنین گزارش‌ها نشان می‌دهند که بیش از ۴۰۰ ترکیب شیمیایی اثرات نامطلوبی بر دشمنان طبیعی داشته است. این اثرات از کشنده تا زیرکشنده متغیر اعلام شده است (Serrão et al., 2022; Schmidt-Jeffris, 2023). همین موضوع، موجب شده است که *M. persicae* به عنوان مقاوم‌ترین گونه شته و جزء ده گونه بندپایانی که بیشترین مقاومت را به ترکیبات شیمیایی داشته‌اند قرار گیرد (Sparks and Nauen, 2015). بدین ترتیب، استفاده از ترکیب‌های جایگزین از جمله پاتوژن‌های حشره‌کش (entomopathogens) که پتانسیل مناسبی برای کنترل *M. persicae* نشان داده‌اند، پیشنهاد می‌شود (Bamisile et al., 2021; Paschapur et al., 2021). بیش از ۷۵۰ گونه انتموپاتوژن قارچی متعلق به ۸۵ جنس شناخته شده‌اند که توانایی آلوده کردن بندپایان

- می‌باشد (de Faria and Wraight, 2007). جدایه‌های غیربومی قارچ‌های بیمارگر حشرات که به عنوان عوامل کنترل آفات در کشورهای مختلف توسعه پیدا کرده‌اند، ممکن است به دلیل تفاوت در جدایه و شرایط محیطی بی‌تأثیر باشند، بنابراین جداسازی و شناسایی قارچ‌های بیمارگر بومی برای کسب آگاهی در مورد تنوع زیستی که به طور طبیعی در منطقه‌ای خاص وجود دارند ضرورت داشته و منبعی از عوامل بالقوه کنترل بیولوژیک را برای اهداف کنترلی فراهم می‌کند (Quesada-Moraga et al., 2007; Maistrou et al., 2020). پیشتر دو جدایه قارچ *B. bassiana* (Bb25 و Bb195) از خاک زراعی در بصره جداسازی شده بود. در این تحقیق، تأثیر غلظت‌های مختلف هر یک از این دو جدایه در میزان کشندگی شته *M. persicae* بررسی شده است.
- فرآیند پژوهش**
- کاشت گیاه میزبان:** برای پرورش شته‌ها گیاه لوبیا سبز *Phaseolus vulgaris* واریته رومانو (Romano) کشت شد. بذرها ابتدا روی لایه ای از پنبه اشباع از آب به مدت ۴۸ ساعت خیسانده شد تا به جوانه زنی انجام پذیرد. سپس در هر گلدان پلاستیکی با قطر دهانه هشت و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که حاوی خاک باغچه ماسه و کود حیوانی به نسبت ۲:۲:۱ بود، دو بذر قرار داده شد. در تمامی آزمایش‌ها از گیاهچه‌های چهار تا شش برگی استفاده شد. این گلدان‌ها در شرایط دمایی 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی کشت شدند.
- را دارند (Ali et al., 2023). بیشترین گونه‌های قارچ-های پاتوژن که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند متعلق به جنس‌های *Hirsutella*, *Beauveria*, *Metarhizium* و *Isaria* *Lecanillium* بوده است (Firake and Behere, 2007). Vuill. (Criv.) برای اولین بار از لاروهای کرم ابریشم توسط Agostino Bassi در قرن نوزدهم گزارش شد (Nakahara et al., 2009). این قارچ در زمین‌های کشاورزی در سراسر جهان فراوان است و میزبان‌های زیادی دارد (Güven et al. 2014) که باعث ایجاد بیماری در راسته‌های مختلف از جمله *Lepidoptera*, *Diptera*, *Hymenoptera*, *Coleoptera*, *Isoptera*, *Siphonaptera*, *Orthoptera*, *Hemiptera*, *Thysanoptera*, *Mantodea*, *Neuroptera*, *Blattariae* و *Embioptera* می‌شود (Zimmermann, 2007). قارچ‌های پاتوژن حشرات به دلیل عدم سمیت برای پستانداران، کنترل طولانی مدت آفات در طبیعت، موثر بودن علیه تمامی مراحل زیستی حشرات هدف، قابلیت استفاده همزمان با اکثر حشره کش‌ها، ارزان بودن و کاربرد آسان مزیت‌های قابل توجهی دارند (Sevim et al. 2015). قارچ‌های بیمارگر حشرات برخلاف سایر میکروارگانیسم‌های بیمارگر حشرات مانند باکتری‌ها و ویروس‌ها که برای ایجاد بیماری ابتدا باید از طریق تغذیه وارد بدن حشره شوند، به طور معمول با نفوذ مستقیم از کوتیکول حشرات را آلوده می‌کنند و به دنبال آن در هموسل حشره تکثیر می‌یابند (St. Leger et al., 2011). گزارش‌ها نشان می‌دهند که حدود ۶۰ درصد بیماری-های حشرات ناشی از قارچ‌های بیمارگر حشرات

پرورش شته‌های *Myzus persicae*: حشرات بالغ شته *M. persicae* روی گلدان‌های لوبیا رهاسازی و رشد داده شدند. پرورش در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی با دمای 23 ± 1 درجه سلسیوس رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام گرفت. گلدان‌های گیاه لوبیا به طور منظم (هفته ای دو بار) از گلخانه به اتاق رشد انتقال می یافت و جایگزین گیاهان بسیار آلوده می شدند. بازدید از گیاهان آلوده با شته به طور مرتب انجام می گرفت تا از تکثیر شته‌ها اطمینان حاصل شود.

هم سن سازی مراحل مختلف زندگی آفت: برای انجام آزمایش های زیست سنجی از حشرات ماده بالغ بدون بال که همسن شده بودند، استفاده شد. به همین منظور، قفس های کوچکی با استفاده از روش Muniz و Nombela (2001) ساخته شد. قفس ها متشکل از لیوان های یکبار مصرف با قطر دهانه هشت و ارتفاع نه سانتی متر بودند. برای پوشاندن درب لیوان ها از ظروف پتری با قطر هشت سانتی متر استفاده شد. قسمت وسط درب ظروف پتری سوراخ و با توری ۵۰ مش دولایه مسدود شد تا تهویه در لیوان ها انجام پذیرد. همچنین، قسمتی از لبه لیوان طوری شکاف داده شده بود تا دمبرگ از آن عبور کرده و برگ کاملاً داخل لیوان قرار گیرد و حشرات کامل نیز امکان خروج از آن را نداشته باشند. سپس تعداد ۱۰ شته بالغ توسط قلم مواز محل پرورش جمع آوری و در درون هر قفس روی برگ قرار داده شد تا پوره زایی انجام گیرد. پس از گذشت ۴۸ ساعت، شته های بالغ با احتیاط کامل به طوری که به دمبرگ ها و پوره ها آسیب نرسد مجدداً از برگ های لوبیا سبز جدا و به بیرون قفس منتقل شدند. پس از

گذشت ده روز، افراد بالغ برای انجام زیست سنجی ها جداسازی و به واحدهای آزمایش منتقل شدند.

تهیه عامل بیمارگر قارچی: جدایه های Bb 25 و Bb 195 مربوط به قارچ *Beaveria bassiana* که از خاک - های زراعی بصره جمع آوری شده بود و در دانشکده کشاورزی دانشگاه بغداد (عراق) نگهداری می شد، برای انجام تست ها مورد استفاده قرار گرفت.

کشت و نگهداری جدایه قارچی: برای تکثیر آزمایشگاهی هریک از جدایه های قارچی از محیط کشت Sabouraud Dextrose Agar (SDA) استفاده شد. این محیط کشت اسیدی (pH 5.6) از رشد باکتری های ساپروفیت جلوگیری می کند و باعث تولید اسپور به اندازه کافی می شود. برای تهیه محیط کشت مقدار ۶۵ گرم از پودر SDA با آب مقطر استریل مخلوط و حجم آن به یک لیتر رسانده شد. عمل استریل کردن در اتوکلاو و با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱۱/۵ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه انجام گرفت. بعد از خارج کردن محیط کشت از اتوکلاو و خنک شدن آن، محیط کشت در زیر هود و در کنار شعله، به درون پتری های استریل با قطر هشت سانتی متری منتقل و اجازه داده شد تا سرد شوند. سپس جدایه های قارچی در داخل پتری کشت داده شدند. کشت دادن و تکثیر قارچ در زیر هود و در کنار شعله چراغ گاز در شرایط کاملاً استریل انجام گرفت. عمل کشت توسط لوپ استریل انجام شد و نمونه برداشته شده از محیط کشت مادر به محیط کشت جدید منتقل و سریعاً درب آن مسدود گردید. بعد از کشت قارچ ها، محیط های کشت به مدت ۱۵ روز در انکوباتور با دمای 22 ± 2 درجه سلسیوس و در شرایط تاریکی نگهداری

حساسیت شته *Myzus persicae* به دو جدایه قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana* از بصره ۵۱

میلی متر تقسیم شده است. لام هماسیتومتر ابتدا توسط الکلی تمیز گردید. سپس در زیر میکروسکوپ قرار داده شد. خطوط شطرنجی قسمت های بالا و پایین آن با درشت نمایی ۴۰ تشخیص داده شد، سپس به کمک پیست مقدار کمی از سوسپانسیون قارچ با غلظت نامشخص برداشته شد و به درون شیار اسلاید منتقل گردید. دقت شد که شیار اسلاید از سوسپانسیون پر شده، ولی سرریز نشود. پس از قراردادن لام بر روی اسلاید به مدت ۵ دقیقه بی حرکت نگه داشته شد تا حرکت اسپورها متوقف شود. سپس با استفاده از میکروسکوپ با بزرگنمایی ۲۰، اسپورها شمارش شدند و مقدار اسپور در هر میلی لیتر با استفاده از رابطه $Y = 5 \times 10^4 \times X$ محاسبه شد. در این فرمول، X = تعداد اسپورهای شمارش شده در پنج مربع و Y = تعداد کل اسپورها در هر میلی لیتر. برای تهیه سایر غلظت های مورد نیاز اسپور در واحد حجم از فرمول $C_1V_1 = C_2V_2$ استفاده شد (C_1 = غلظت مورد نیاز = V_1 = حجم مورد نیاز، C_2 = غلظت محاسبه شده، V_2 = حجم مورد نیاز از غلظت محاسبه شده) (Haghighat et al., 2024).

زیست سنجی: برای بررسی اثر کشندگی جدایه های قارچ، روش پاشش مستقیم انتخاب شد تا نحوه انجام تیمار به شرایط طبیعی نزدیک تر باشد و صحت آزمایش با دقت بالاتری انجام شود. این کار به وسیله یک اسپری دستی انجام گرفت. واحدهای آزمایش عبارت از قوطی های فیلم عکاسی (قطر سه و ارتفاع چهار سانتی متر) بود که در آنها تغییراتی از جمله ایجاد سوراخ تهویه در روی درب به قطر دو سانتی متر و چسباندن توری پلی استر ۲۰۰ مش با چسب

شدند تا کیندی زایی قارچ به اندازه کافی انجام گیرد (Quesada-Moraga et al., 2006). مدت زمان اسپوردهی بین ۱۵ تا ۲۰ روز متغیر بود. به دلیل کاهش بیماری زایی قارچ در محیط کشت مصنوعی، بعد از کشت های مکرر از هر کشت بیش از دو بار استفاده نشد و برای تهیه کشت جدید از اسپورهای استفاده شده که در نتیجه آلوده کردن شته به قارچ در سطح لاشه حشره بوجود آمده بود. همچنین برای نگهداری جدایه ها به مدت طولانی از محیط کشت Potato Dextrose Agar (PDA) استفاده شد. این محیط به علت ضعیف بودن از هاگ زایی شدید جلوگیری می کرد و باعث می شد جدایه ها تا مدت طولانی در دمای ۱۰ درجه سلسیوس قدرت حیات خود را حفظ نمایند. **آماده کردن مایه تلقیح قارچ:** بعد از اسپورزایی قارچ ها در محیط کشت در شرایط استریل زیر هود، سطح کشت با اسکالپل خراش داده شد و داخل لوله فالكون ۵۰ میلی لیتری حاوی ۲۰ میلی لیتر آب مقطر استریل ریخته شد. مقدار دو میلی لیتر محلول Tween80 در صد به لوله فالكون افزوده و به مدت پنج دقیقه محکم هم زده شد (محلول توئین از چسبیدن اسپورها به هم درون پتری دیش جلوگیری می کند). سوسپانسیون حاصل جهت خالص سازی و جدا شدن قطعات هدف و میسلیموم از کاغذ صافی (Whatman No. 1) عبور داده شد (Kim et al., 2008).

تعیین غلظت اسپور با استفاده از لام نئوبار: تعداد اسپورها در واحد حجم به وسیله لام هموسیتومتر (Haemocytometer) یا لام نئوبار به طور مستقیم شمار شد. لام هماسیتومتر لامی است که به مربعات کوچک به ضلع 0.5×0.5 میلی متر و عمق 0.1

پتری با قطر پنج سانتی متر، روی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شدند. سپس ظروف پتری به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی مطلق در شرایط ژرمیناتور نگهداری شدند. بعد از سه تا پنج روز سطح بدن شته‌ها به وسیله پوشش میسلومی سفیدرنگ پوشیده می‌شد که با تهیه اسلاید میکروسکوپی در بزرگنمایی $100\times$ گونه قارچ بیماری‌زا تأیید می‌شد (Berber and Birgücü, 2022).

محاسبات آماری: برای تجزیه و تحلیل غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد جدایه‌های قارچی مورد نظر و نیز مدت زمان لازم برای مرگ ۵۰ درصد شته‌ها، از طرح کامل تصادفی استفاده شد. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

میزان کشندگی جدایه‌های قارچ *B. bassiana* روی شته *M. persicae*: با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱، هر دو جدایه قارچ *B. bassiana* اگرچه برای شته‌های بالغ *M. persicae* مرگ‌آفرین بودند اما زهرآگینی متفاوتی در غلظت‌های گوناگون از خود نشان دادند. در واقع، میزان LC_{50} جدایه Bb 25 نسبت به جدایه Bb 195 بیشتر برآورد شد که با توجه به تعریف LC_{50} می‌توان بیان نمود که کارایی جدایه Bb 195 نسبت به جدایه Bb 25 در غلظت کمتر، بیشتر است. در حقیقت، جدایه Bb 195، $1/14$ برابر سمیت بیشتری نسبت به جدایه دیگر دارد.

پی.وی.سی و قرار دادن پنبه استریل روی توری ایجاد شده بود. این ظروف آزمایش به شکلی طراحی شده بودند که مانع از فرار حشرات می‌شدند. پس از آماده سازی این ظروف، داخل هر ظرف محلول آگار یک درصد ریخته و دیسک برگی به قطر $2/5$ سانتی متر روی آن قرار داده شد و سپس ۲۰ شته ماده بالغ همسن به داخل هر ظرف منتقل شد. پس از به دست آوردن غلظت‌های با کشندگی حداقل و حداکثر، پنج غلظت با فواصل لگاریتمی برای هر یک از جدایه‌های قارچی تهیه شد. آزمایش‌های زیست‌سنجی به روش محلول-پاشی با پنج تکرار (10^4 ، 10^5 ، 10^6 ، 10^7 و 10^8 کنیدی/میلی‌لیتر) به همراه تیمار شاهد حاوی آب مقطر استریل شده همراه با محلول Tween80 دو درصد انجام گرفت. پس از پاشش، ظروف داخل ژرمیناتور در دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰ درصد و شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی گذاشته شدند. سپس به مدت ۱۰ روز، هر ۲۴ ساعت، میزان مرگ و میر ثبت شد. لازم به ذکر است به علت تغذیه شته‌ها از دیسک‌های برگی، در روز سوم و ششم پس از تلقیح، شته‌های هر تیمار به داخل ظروفی با دیسک برگی تازه انتقال داده می‌شدند تا منبع غذایی تازه در اختیار داشته باشد (Ullah et al., 2022).

بیمارگری جدایه قارچ: برای تعیین این که آیا شته‌ها در اثر آلودگی قارچی مرده‌اند یا نه، آزمون اثبات بیماری‌زایی انجام شد. در این آزمایش شته‌های مرده پس از ضدعفونی شدن به ترتیب با هیپوکلریت سدیم (سه دقیقه)، اتانول ۹۶ درصد (یک دقیقه)، آب مقطر استریل (یک دقیقه) به صورت جداگانه داخل ظروف

حساسیت شته *Myzus persicae* به دو جدایه قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana* از بصره ۵۳

جدول ۱- LC₅₀ جدایه‌های قارچ *Beauveria bassiana* روی شته *Myzus persicae* پس از ده روز

Table 1- LC₅₀ of *Beauveria bassiana* isolates on the aphid *Myzus persicae* after ten days

حدود اطمینان (کنیدی/میلی لیتر)	LC ₅₀ (کنیدی/میلی لیتر)	جدایه‌های قارچ <i>B. bassiana</i>
$3/35 \times 10^0 - 6/49 \times 10^0$	$4/28 \times 10^0$	Bb 25
$1/29 \times 10^0 - 4/56 \times 10^0$	$3/75 \times 10^0$	Bb 195

ای بین ۸/۹۴ درصد (جدایه GAMP) تا ۹/۲۸ درصد (PAL6) برآورد شد (Soltani et al., 2022). اثر کشندگی هر غلظت از دو جدایه قارچ *B. bassiana* بر میانگین مرگ‌ومیر شته *M. persicae*: نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تاثیر نوع جدایه قارچ *B. bassiana* (Bb 195 و Bb 25) و غلظت‌های مختلف آن‌ها در مقایسه با شاهد بر میانگین مرگ‌ومیر شته طی ده روز مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، تاثیر نوع جدایه و غلظت‌های مختلف قارچ بیماری‌زا بر میانگین مرگ‌ومیر شته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار برآورد شد.

میزان زهرآگینی جدایه‌های مختلف *B. bassiana* قبلاً روی شته‌ها و سایر حشرات بررسی شده بود و در اکثر موارد تفاوت‌های معنی‌داری از این نظر بین سویه‌های مختلف وجود داشت (Mohammadipour et al., 2009; Ghamari Zare et al., 2014; Idrees et al., 2022; Ramos et al., 2024). از سوی دیگر، در جنس و گونه‌های مربوط به سایر قارچ‌های پاتوژن مثال‌هایی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار در میزان بیمارگری جدایه‌های مختلف گزارش شده بود. برای مثال، در جدایه‌های ایرانی قارچ‌های *Akanthomyces lecanii* و *A. muscarius* میزان مرگ‌ومیر ایجاد شده روی شته‌سیاه باقلا بدون وجود اختلافی معنی‌دار در گستره

جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تاثیر تیمارهای مختلف بر درصد کشندگی شته *Myzus persicae*

Table 2- Analysis of variance of the data obtained from the effect of different treatments on the mean mortality percentage of the aphid, *Myzus persicae*

منابع تغییر	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)
تیمار	۱۱/۲۸*	۴۷/۷۱	۵۷۲/۵۸	۱۲
خطا	-	۴/۲۳	۱۰۲/۹۸	۲۶
کل	-	-	۶۸۲/۵۶	۳۸

CV = ۲/۱۵ درصد

به غلظت است، به‌طوری که با افزایش غلظت، درصد کشندگی شته افزایش پیدا می‌کند (جدول ۳). همچنین، بیشترین درصد کشندگی در تیمار Bb195

* نشان‌دهنده سطح معناداری ۵ درصد است

نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تاثیر غلظت-های مختلف از هر جدایه قارچی بر درصد مرگ‌ومیر شته نشان می‌داد روند مرگ‌ومیر در هر دو تیمار وابسته

(۱۰^۸) (۹۱/۴۲ درصد) و کمترین درصد کشندگی در تیمار شاهد (۲/۴۵ درصد) مشاهده شد. از سوی دیگر، در تمام غلظت‌های مشابه، جدایه Bb195 نسبت به جدایه Bb25 از درصد کشندگی بیشتری برخوردار بود و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار برآورد شد (جدول ۳). باید توجه داشت که روش‌های مختلف زیست‌سنجی و شرایط حاکم بر سنجش اثر یک آفت-کش بر آفت می‌تواند در معرفی سویه قارچ پاتوژن به عنوان عامل کنترل بیولوژیک اثرگذار باشد. در این

بررسی برای آزمون‌های زیست‌سنجی از روش محلول‌پاشی مستقیم استفاده شد. در مطالعات افراد دیگر روش‌های متفاوتی از جمله غوطه‌ور کردن حشره (Ghamari Zare et al., 2014; Seyed Talebi et al., 2018) نیز انجام گرفته بود. در روش غوطه‌وری، این احتمال وجود دارد که اسپورهای بیشتری در تماس با اندام‌های حساس حشره هدف قرار گرفته و بیمارگری قارچ را افزایش دهد. اگرچه، روش محلول‌پاشی به شرایط طبیعی نزدیک‌تر است.

جدول ۳- میانگین مرگ‌ومیر شته *Myzus persicae* تحت تأثیر غلظت‌های مختلف ایزوله‌های Bb 25 و Bb 195 قارچ پاتوژن

Beaveria bassiana

Table 3- The average mortality of the aphid, *Myzus persicae* affected by different concentrations of Bb 25 and Bb 195 isolates of the pathogenic fungus *Beaveria bassiana*.

تیمارها	درصد مرگ و میر (±SE)
Bb 25 (۱۰ ^۳)	۱۱/۱±۴۵/۰۴ ^j
Bb 25 (۱۰ ^۴)	۲۴/۲±۲۸/۸۸ ^h
Bb 25 (۱۰ ^۵)	۳۲/۲±۶۸/۷۴ ^g
Bb 25 (۱۰ ^۶)	۴۸/۲±۱۵/۱۴ ^e
Bb 25 (۱۰ ^۷)	۷۲/۱±۱۶/۳۳ ^c
Bb 25 (۱۰ ^۸)	۸۲/۲±۱۳/۶۵ ^b
Bb 195 (۱۰ ^۳)	۱۸/۱±۶۰/۷۰ ⁱ
Bb 195 (۱۰ ^۴)	۲۸/۲±۹۲/۹۱ ^{gh}
Bb 195 (۱۰ ^۵)	۳۹/۲±۸۹/۵۳ ^f
Bb 195 (۱۰ ^۶)	۵۹/۱±۴۸.۵۷ ^d
Bb 195 (۱۰ ^۷)	۸۰/۲±۴۱/۳۳ ^b
Bb 195 (۱۰ ^۸)	۹۱/۱±۴۲/۲۴ ^a
شاهد	۲/۰±۴۵/۱۸ ^k

میانگین‌هایی با حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند

Means with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$

حساسیت شته *Myzus persicae* به دو جدایه قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana* از بصره ۵۵

محاسبه مقادیر LT_{50} ، برای غلظت‌های مختلف جدایه‌های مورد آزمایش: نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تأثیر هر کدام از جدایه‌های قارچ *B. bassiana* (Bb 25 و Bb 195) و غلظت‌های مختلف آن‌ها در مقایسه با شاهد بر میانگین LT_{50} طی

ده روز مختلف نشان می‌داد تأثیر نوع جدایه و غلظت‌های مختلف قارچ بیماری‌زا بر میانگین LT_{50} در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تأثیر تیمارهای مختلف بر میانگین LT_{50} شته *Myzus persicae*

Table 4- Analysis of variance of the data obtained from the effect of different treatments on the mean LT_{50} of the aphid, *Myzus persicae*

منابع تغییر	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)
تیمار	۱۰/۶۸*	۳۳/۱۱	۳۶۴/۲۱	۱۱
خطا	—	۳/۱۰	۷۴/۴	۲۴
کل	—	—	۴۳۸/۶۱	۳۵

CV = ۲/۱۵ درصد

* نشان‌دهنده سطح معناداری ۵ درصد است

مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تأثیر تیمارهای مختلف بر مدت زمان لازم برای مرگ و میر ۵۰ درصد شته‌ها بیانگر این بود که اولاً میزان LT_{50} هم‌سو با افزایش غلظت هریک از سویه‌ها کاهش پیدا می‌کند. بعلاوه، سویه Bb 195 در تمام غلظت‌های مشابه نسبت به سویه Bb 25 از LT_{50} کمتری برخوردار بودند و کشندگی سریع‌تری داشتند. در همین راستا کمترین LT_{50} (۵/۸۹ روز) در تیمار Bb 195 (10^4) و بیشترین مقدار آن (۱۲/۵۴ روز) در تیمار Bb 25 (10^3) مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۵- میانگین LT_{50} شته *Myzus persicae* تحت تأثیر غلظت‌های مختلف ایزوله‌های Bb 25 و Bb 195 قارچ پاتوژن

Beauveria bassiana

Table 5- The average LT_{50} of the aphid, *Myzus persicae* affected by the different concentrations of Bb 25 and Bb 195 isolates of the pathogenic fungus *Beauveria bassiana*

تیمارها	میانگین (روز $\pm$ SE)	حدود اطمینان
Bb 25 (10^3)	۱۲/۱ $\pm$ ۵۴/۸۴ ^a	۱۲/۱۴-۳۲/۲۱
Bb 25 (10^4)	۱۱/۱ $\pm$ ۹۴/۶۵ ^a	۱۱/۱۲-۷۳/۹۳
Bb 25 (10^5)	۱۱/۱ $\pm$ ۰۴/۶۳ ^a	۱۰/۱۱-۶۲/۵۹
Bb 25 (10^6)	۱۰/۱ $\pm$ ۲۸/۴۴ ^{ab}	۱۰/۱۱-۱۱/۴۷
Bb 25 (10^7)	۸/۱ $\pm$ ۱۸/۴۳ ^{bc}	۷/۸-۹۶/۷۹
Bb 25 (10^8)	۷/۱ $\pm$ ۴۲/۲۵ ^{cd}	۷/۸-۰۶/۴۳

۱۰/۱۱-۹۲/۸۷	۱۱/۱±۴۲/۷۰ ^a	(۱۰ ^۳) Bb 195
۱۰/۱۲-۴۵/۰۱	۱۰/۱±۷۱/۳۱ ^{ab}	(۱۰ ^۴) Bb 195
۹/۱۱-۸۱/۲۱	۱۰/۱±۳۰/۳۷ ^{ab}	(۱۰ ^۵) Bb 195
۷/۹-۴۴/۲۹	۸/۱±۹۶/۲۵ ^{bc}	(۱۰ ^۶) Bb 195
۷/۸-۲۹/۶۱	۷/۱±۴۸/۰۶ ^{cd}	(۱۰ ^۷) Bb 195
۴/۶-۸۲/۰۳	۵/۱±۸۹/۱۱ ^d	(۱۰ ^۸) Bb 195

میانگین‌هایی با حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند

Means with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$

نهایت موجب مرگ حشره شود (Amnuaykanjanasin *et al.*, 2012). بدین ترتیب، از آنجایی که شته بدنی نرم و کوتیکولی نازک دارد، انتظار می‌رود رشد و جوانه‌زنی قارچ به درون بدن راحت‌تر از حشرات با کوتیکول ضخیم‌تر صورت گیرد و مرگ‌ومیر با سرعت بیشتری انجام شود (Ghamari Zare *et al.*, 2014). رطوبت بالای ۹۰ درصد عامل مهم دیگری است که احتمال بیماری‌زایی قارچ را افزایش می‌دهد. اگرچه زیست‌سنجی آزمایش حاضر در رطوبت حدوداً ۷۰ درصد انجام پذیرفت، اما باید توجه داشت که رطوبت بالاتر و نزدیک به اشباع موجب رشد، اسپورزایی، جوانه‌زنی بالاتر قارچ و در نهایت موجب اپیدمی شدن بیماری ناشی از *Beauveria* می‌شود (Nahian-Al Sabri *et al.*, 2022). به همین دلیل، توصیه می‌شود در شرایط متغیر محیط، به ویژه با استفاده از فرمولاسیون‌های روغنی، اسپور قارچ‌ها در برابر عواملی مانند از دست دادن رطوبت و عوامل محدودکننده دیگری نظیر افزایش یا کاهش دما و اشعه ماوراء بنفش حفظ شود (Batta *et al.*, 2003; Fernandes *et al.*, 2015).

میزان زهرآگینی سویه‌های مختلف قارچ‌های پاتوژن می‌تواند به دلیل میزان بیان آنزیم‌های دخیل یا نوع قطبیت تندش‌کنیدی باشد که در مورد اخیر، اسپور سویه‌های قارچی با تندش‌تک‌قطبی‌کشندگی بیشتری نشان داده‌اند (Seyed Talebi *et al.*, 2018). دلیلی که برای این امر مطرح شده این است که کنیدی‌ها با تندش یک طرفه لوله تندش ضخیم‌تر تولید می‌کنند در حالی که در تندش‌های دوطرفه، نفوذی در کوتیکول مشاهده نشده است. همچنین، تمرکز، هدایت و تجمع آنزیم‌های مختلف تسهیل ورود به جلد حشره میزبان در تندش‌های تک‌قطبی بیشتر است در حالی که این آنزیم‌ها در تندش‌های دوطرفه در دو طرف توزیع می‌شوند و تجمع آنها در جلد به مراتب کمتر است (Talaie-Hassanloui *et al.*, 2007). بیماری‌زایی و سپس کشندگی قارچ‌های پاتوژن در وهله اول وابسته به اتصال کنیدی‌های قارچی به لایه کوتیکولی، جوانه‌زدن کنیدی قارچ، تشکیل آپرسوریوم، حمله و رخنه به داخل بدن حشره است تا قارچ به داخل هموسل بدن حشره راه پیدا کند و با تشکیل ساختارهای هیفی شکل، بیماری را در داخل بدن گسترش دهد و در

حساسیت شته *Myzus persicae* به دو جدایه قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana* از بصره ۵۷

M. persicae را علیه مرحله پورگی *muscarium* بررسی و غربالگری کردند. نتایج نشان داد که تمامی جدایه‌های مورد بررسی در غلظت 10^7 کنیدی در میلی‌لیتر و بعد از ده روز، بیش از ۵۸ درصد مرگ‌ومیر ایجاد کردند. در عین حال، ایزوله KTU-24 (B. *bassiana*) در این مدت ۱۰۰ درصد کشندگی ایجاد کرد و بعد از آن ایزوله‌های KTU-51 (M. *brunneum*)، KTU-1 (*I. fumosorosea*) و Pa8 (L. *muscarium*) مرگ‌ومیری معادل به ترتیب ۹۴، ۸۶/۷ و ۸۰/۷ درصد برای شته‌ها داشتند. این گزارش‌ها نشان می‌داد که شته در دوره پورگی در برابر قارچ‌های پاتوژن حساس‌تر است و مقاومت کمتری از خود در برابر بیمارگر نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، هر دو جدایه قارچ پاتوژن *B. bassiana* بومی شهر بصره را می‌توان به عنوان کاندیداهای مناسب کنترل بیولوژیکی کارآمد و ایمن علیه شته *M. persicae* مورد توجه قرارداد تا در استراتژی‌های مدیریت این آفت مورد استفاده قرار گیرند. این امر موجب می‌شود تا از اثرات ناخواسته حشره‌کش‌های شیمیایی از جمله بروز مقاومت در شته‌ها و وجود باقیمانده خطرناک در گیاهان پیشگیری شود. بعلاوه، از بین دو جدایه مورد بررسی، سویه Bb 195 اثر حشره‌کشی بیشتری دارد که این کشندگی در مدت زمان کمتر اتفاق می‌افتد.

منابع

- 1) Ali, J., Bayram, A., Mukarram, M., Zhou, F., Karim, M.F., Hafez, M.M.A., Mahamood, M., Yusuf, A.A., King, P.J.H., Adil, M.F., Ma, Z. and I.H, Shamsi. 2023. Peach–potato aphid *myzus persicae*: current management strategies,

علاوه بر این که پایداری کنیدی‌ها را در شرایط نامساعد حفظ می‌کنند، موجب می‌شوند اسپورها در فضای بین بندهای بدن حشره پخشیدگی مناسب‌تری پیدا و آپرسوریوم بهتر به داخل کوتیکول رخنه کند (Bryol et al., 2022; de Oliveira et al., 2023).

انتخاب نوع فرمولاسیون هم‌گام با انتخاب گونه و جدایه مناسب پاتوژن بیمارگر در مبحث تولید تجاری‌سازی حشره‌کش‌های زیستی نقشی بسزا دارد. در حال حاضر بیش از ۱۷۰ محصول تجاری ساخته شده از قارچ‌های پاتوژن کشنده حشرات در جهان توسعه پیدا کرده اند که برخی از آنها روی شته‌ها و سایر آفات مکنده در گیاهان گلخانه موثر بوده‌اند (Faria and Wraight, 2007; Hu et al., 2016;)

(Quiroga-Cubides et al., 2025). به طور کلی، انواع جدایه‌های قارچ *B. bassiana* برای کنترل زیستی شته‌ها از جمله *M. persicae* بسیار امیدبخش معرفی شده‌اند (Kan et al., 2012; Yun et al., 2017;) (Berber and Birgucu, 2022). از دیگر موارد مهمی که باید در امر مبارزه بیولوژیک مورد توجه قرار گیرد، یافتن مناسب‌ترین مرحله زیستی حشره هدف برای مواجهه با پاتوژن است. در این آزمایش، شته‌های بالغ ماده که تحت تاثیر غلظت 10^7 کنیدی در میلی‌لیتر از جدایه Bb 25 قرار گرفتند ۷۲/۱۶ درصد مرگ و میر را پس از ۱۰ روز تجربه کردند. همچنین، جدایه Bb 195 با همین غلظت، مرگ‌ومیری معادل ۸۰/۴۱ درصد ایجاد کرد. از سوی دیگر، (Biryol et al. (2022 تعداد

۱۵ ایزوله قارچ‌های *B. bassiana*، *Metarhizium anisopliae*، *fumosorosea* و *Lecanicillium flavoviride*

- Journal of Agricultural Sciences*, 28 (1): 121-132.
- 10) Biryol S., Demirba Z., Erdogan P. and I, Demir, 2022. Development of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as a mycoinsecticide to control green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) and investigation of its biocontrol potential. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 25: 101878.
 - 11) Dedryver, C.A., Le Ralec, A. and F, Fabre. 2010. The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus Biologies*, 333: 539-553.
 - 12) de Faria, M. R. and S, Wraight. 2007. Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological control*, 43: 237e256.
 - 13) Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R.J., Lescourret, F., Wyckhuys, K.A.G. and A, Ratnadass. 2021. Integrated pest management: Good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41: 38.
 - 14) de Oliveira, J.L., de Oliveira, T.N., Savassa, S.M., Della Vechia, J.F., de Matos, S.T.S., de Andrade, D.J. and L.F, Fraceto. 2023. Encapsulation of *Beauveria bassiana* in polysaccharide-based microparticles: A promising carrier system for biological control applications. *ACS Agricultural Science & Technology*, 3(9): 785-794.
 - 15) Feng, M.G. and J.B, Johnson.1990. Relative virulence of six isolates of *Beauveria bassiana* on *Diuraphis noxia* (Homop: Aphididae). *Environmental Entomology*, 19: 785-790.
 - 16) Fernandes, É.K.K., Rangel, D.E.N., Braga, G.U.L. and W.R, Donald. 2015. Tolerance of entomopathogenic fungi to ultraviolet radiation: a review on screening of strains and their formulation. *Current Genetics*, 61: 427-440.
 - 17) Firake, D.M. and G.T, Behere. 2020. Natural mortality of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE challenges, and proposed solutions. *Sustainability*, 15: 11150. <https://doi.org/10.3390/su151411150>.
 - 2) Ali, J. 2023. The Peach Potato Aphid (*Myzus persicae*): Ecology and Management (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003400974>.
 - 3) Ali, J. 2023. The Peach Potato Aphid (*Myzus persicae*): Ecology and Management; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
 - 4) Amnuaykanjanasin, A., Jirakkakul, J., Panyasiri, C., Panyarakkit, P., Nounurai, P., Chantasingh, D., Eurwilaichitr, L., Cheevadhanarak, S. and M, Tanticharoen. 2012. Infection and colonization of tissues of the aphid *Myzus persicae* and cassava mealybug *Phenacoccus manihoti* by the fungus *Beauveria bassiana*. *BioControl*, 58(3): 319-330.
 - 5) Askary, H., Benhamou, N. and J, Brodur. 1999. Ultrastructural and characterization of aphid invasion by the hyphomycete *Verticillium lecanii*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 74: 1-13.
 - 6) Bamisile, B.S., Akutse, K.S., Siddiqui, J.A. and Y, Xu. 2021. Model application of entomopathogenic fungi as alternatives to chemical pesticides: Prospects, challenges, and insights for next-generation sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 12: 741804.
 - 7) Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J. and P, Kudsk. 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 1199-1215.
 - 8) Batta, Y.A. 2003. Production and testing of novel formulations of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Crop Protection*, 22(2): 415-422.
 - 9) Berber G. and A.K, Birgücü, 2022. Effects of two different isolates of entomopathogen fungus, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin on *Myzus persicae* Sulzer (Homiptera: Aphididae).

- traits within a community of the fungal entomopathogen *Beauveria*: Associations with abundance and distribution. *Fungal Ecology*, 48: 100992. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.100992>.
- 26) Milner, R.J. and G.G. Lutton. 1986. Dependence of *Verticillium lecanii* on high humidity for infection and sporulation using *Myzus persicae* as host. *Environmental Entomology*, 15: 380-382.
 - 27) Mingeot, D., Hautier, L. and J.P. Jansen. 2021. Structuration of multilocus genotypes associated with insecticide resistance of the peach potato aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), in potato fields in southern Belgium. *Pest Management Science*, 77(1): 482-491.
 - 28) Mohammadipour, A., Bagdadi, A., Ghazavi, M., Mirkarimmi, A. and N, Nikpour. 2009. Efficacy of Iranian Isolate of *Beauveria bassiana* against Russian wheat aphid *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Homoptera:Aphididae) on the Laboratory conditions. *Journal of Agriculture*, 11(1): 115-127.
 - 29) Seyed Talebi F.S., Safavi S.A., Talaei-Hassanlou R. and A.R. Bandani. 2018. Study of the virulence and conidial germination types for some *Beauveria bassiana* isolates. *Biological Control of Pests and plant diseases*, 7(1): 65-73.
 - 30) Mota-Sanchez, D. and J.C. Wise. 2025. The Arthropod Pesticide Resistance Database; Michigan State University: East Lansing, MI, USA.
 - 31) Mottet, C., Caddoux, L., Fontaine, S., Plantamp, C., Bass, C. and B, Barrès. 2024. *Myzus persicae* resistance to neonicotinoids-unravelling the contribution of different mechanisms to phenotype. *Pest Management Science*, 80(11): 5852-5863.
 - 32) Muniz, M. and Nombela, G. 2001. A new clip-cage for biological studies. Published by EWSN: John Centre, Norwich Research Park, Colney Lane, Norwich NR4 7UH U.K.
 - 33) Nahian-Al Sabri, M. D., Jahan, M., Gotoh, T., Döker, İ. and M, Shaef Ullah. 2022. Effect of relative humidity on the efficacy Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize agroecosystems of northeast India. *Biological Control*, 148: 104303. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104303>.
 - 18) Ghamari Zare, Z., Askary, H., Abbasipour H., Sheikhi Gorjan, A. and A, Saeidi Zadeh. 2014. Virulence of four *Beauveria bassiana* isolates on aestivating and overwintering populations of *Eurygaster integriceps*. *Biocontrol in Plant Protection*, 2(1): 31-41.
 - 19) Güven, Ö., Baydar, R., Temel, C. and İ, Karaca. 2014. The effects of some entomopathogenic fungi against *Aphis fabae* (Scopoli) (Hemiptera: Aphididae). *Turkish Journal of Biological Control* 5(2): 149-158.
 - 20) Haghighat, F., Ghabooli, M., Movahedi, Z. and M, Abdoli. 2024. Effects of endophytic fungi, *Serendipita indica* and *Colletotrichum tofieldiae* on the growth and morphophysiological traits of tomato plants at different phosphate concentrations in a hydroponic system. *Journal of Plant Biological Sciences*, 16(2): 19-38.
 - 21) Hewer, A., Becker, A. and van A.J.E, Bel, 2011. An aphid's Odyssey—the cortical quest for the vascular bundle. *Journal of Experimental Biology*, 214: 3868–3879.
 - 22) Idrees, A., Afzal, A., Qadir, Z.A. and J, Li. 2022. Bioassays of *Beauveria bassiana* Isolates against the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Fungi*. 8(7): 717. <https://doi.org/10.3390/jof8070717>.
 - 23) Khan, S., Guo, L., Shi, H.X., Mijit, M. and D, Qiu. 2012. Bioassay and enzymatic comparison of six entomopathogenic fungal isolates for virulence or toxicity against green peach aphids *Myzus persicae*. *African Journal of Biotechnology* 11(77): 14193-14203.
 - 24) Kim, J.J. and K. C, Kim. 2008. Selection of a highly virulent isolate of *Lecanicillium attenuatum* against cotton aphid. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 11: 1-4.
 - 25) Maistrou, S., Natsopoulou, M.E., Jensen, A.B. and N.V, Meyling. 2020. Virulence

- Pentatomidae) in common bean. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 34: 23. <https://doi.org/10.1186/s41938-024-00787-3>.
- 40) Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A., Srivastav A. and J, Kaushal. 2021. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, 283(10): 124657 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>.
 - 41) Serrão, J.E., Plata-Rueda, A., Martínez, L.C. and J.C, Zanuncio. 2022. Side-effects of pesticides on non-target insects in agriculture: a mini-review. *Sci Nat*, 109: 17. <https://doi.org/10.1007/s00114-022-01788-8>.
 - 42) Soltani, T., Yarahmadi, F., Rajabpour, A. and M.H, Ghoddom Parizi Pour. 2022. Pathogenicity of Iranian isolates of *Akanthomyces lecanii* and *A. muscarius* on the black bean aphid (*Aphis fabae* Scopoli). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 45 (1): 19-28. (In Farsi) <https://doi.org/10.22055/ppr.2021.17246>.
 - 43) Sparks, T.C. and R, Nauen. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121:122–128.
 - 44) St. Leger, R. J., Wang, C. and W, Fang. 2011. New perspectives on insect pathogens. *Fungal Biology Reviews*, 25: 84e88.
 - 45) Sevim, A., Sevim, E. and Z, Demirbağ. 2015. General biology of entomopathogenic fungi and their potential to control pest species in Turkey. *Erzincan University Journal of Science and Technology* 8(1): 115-147.
 - 46) Schmidt-Jeffris, R.A. 2023. Nontarget pesticide impacts on pest natural enemies: progress and gaps in current knowledge. *Current Opinion in Insect Science*, 58:101056. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2023.101056>.
 - of entomopathogen *Beauveria bassiana*-based mycopesticide against red spider mite *Tetranychus macfarlanei*. *Systematic and Applied Acarology*, 27(12): 2414-2425. <https://doi.org/10.11158/saa.27.12.4>
 - 34) Nakahara, Y., Shimura, S., Ueno, C., Kanamori, Y., Mita, K., Kiuchi, M. and M, Kamimura. 2009. Purification and characterization of silkworm hemocytes by flow cytometry. *Developmental and Comparative Immunology*, 33: 439-448.
 - 35) Paschapur, A., Subbanna, A., Singh, A.K., Jeevan, B., Stanley, J., Rajashekhar, H. and K.K, Mishra. 2021. Unraveling the importance of metabolites from entomopathogenic fungi in insect pest management. In: *Microbes for Sustainable Insect Pest Management*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 89–120.
 - 36) Quesada-Moraga, E., Maranhao, E.A.A., Valverde-Garcia, P. and C, Santiago-Alvarea, 2006. Selection of *Beauveria bassiana* isolates for control of the whiteflies *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* on the basis of their virulence, thermal requirement and toxicogenetic activity. *Biological Control*, 36: 274-287.
 - 37) Quesada-Moraga, E., Navas-Corte's, J.A., Maranhao, E.A.A., Ortiz-Urquiza, A. and C, Santiago-Alvarez. 2007. Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological Research*, 111: 947e966.
 - 38) Quiroga-Cubides, G.M., Gómez Álvarez, M.I. and L.M, Garriga. 2025. Framework for mass production of entomopathogenic fungi in bioeconomy context. R. S. Singh and Bhari R. (Eds) In: *Developments in Applied Microbiology and Biotechnology, Fungal Biotechnology*, Academic Press, Pages 549-575.
 - 39) Ramos, Y., Portal, O., Meyling, N.V. and I, Klingen. 2024. Biological control potential of two *Beauveria bassiana* isolates against the stink bugs *Nezara viridula* L. and *Piezodorus guildinii* Westwood (Hemiptera:

- 47) Talaei-Hassanloui, R., Kharazi-Pakdel, A., Goettel, M.S., Little, S. and J. Mozaffari. 2007. Germination polarity of *Beauveria bassiana* conidia and its possible correlation with virulence. *Journal of Invertebrate Pathology*, 94: 102-107.
- 48) Ullah, S., Raza, A. B. M., Alkafafy, M., Sayed, S., Hamid, M. I., Majeed, M. Z., Riaz, M. A., Gaber, N. M. and M, Asim. 2022. Isolation, identification and virulence of indigenous entomopathogenic fungal strains against the peach-potato aphid, *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae), and the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32: 2. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00500-8>.
- 49) Vorburger, C., Lancaster, M. and P. Sunnucks, 2003. Environmentally related patterns of reproductive modes in the aphid *Myzus persicae* and the predominance of two 'superclones' in Victoria, Australia. *Molecular Ecology*, 12: 3493–3504.
- 50) Yun H.G., Kim D.J., Gwak W.S., Shin T.Y. and S.D, Woo. 2017. Entomopathogenic fungi as dual control agents against both the pest *Myzus persicae* and phytopathogen *Botrytis cinerea*. *Mycobiology*, 45(3):192-198.
- 51) Zimmermann, G. 2007. Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17: 553-596.