Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)
47(4), Winter, 2024

10.22055/ppr.2024.47925.1760

Investigating effect of the endophytic of two *Beauveria* species on growth traits and some biochemical activities of bean (*Phaseolus vulgaris*)

P. Karooei [1], M. Darvishnia *[2], E. Bazgir [3], Z. Mirzaeipour [4]

1. M.Sc. student, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
2. ***Corresponding Author:** Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran (darvishnia.m@lu.ac.i)
3. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
4. Ph.D. Graduate of Plant Pathology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Received: 7 September 2024 Revised: 5 December 2024 Accepted: 14 December 2024

Abstract

Background and objectives

Legumes are widely regarded as one of the most significant protein sources in human and animal food chains. The common bean is the primary legume crop, accounting for 85% of global bean production. The scientific community's primary priority is to develop innovative techniques to assure food security in addition to agricultural product safety, while simultaneously implementing realistic plans to reduce the usage of pesticides and artificial fertilizers. Among the investigated solutions, the utilization of beneficial microbes is one of the key components in establishing a green rotation in agricultural systems across the world. This study aimed to evaluate the endophytic role of native *Beauveria* species on the development and biochemical characteristics of common beans.

Materials and methods

Spore suspension (1×10^8 ml-1) was produced after a 10-day culture of the species. The spore suspension was introduced to the soil after the seeds had been disinfected during planting. To assess the fungus's establishment in the plants, samples were collected up to 25 days following inoculation. The experiment was conducted in a completely randomized design with three replications for each treatment, and parameters such as dry and fresh root and shoot weight, plant height, root length, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid, phenol, proline, and polyphenol oxidase enzyme were determined. SAS software was used to analyze the data, and Duncan's multiple range test was used to compare means at a P-value of <0.05.

Results

Beauveria species injected with 1×10^8 ml-1 spores per milliliter were re-isolated by cultured bean root, stem, and leaf tissues in PDA culture media, confirming endophytic fungi. These two *Beauveria* species were capable of establishing systematic colonization in tissues from all bean organs. The study found that employing *B. pseudobassiana* and *B. bassiana*, as well as integrating these two species, raised bean plant height by 37.7, 20.2, and 41.4%, respectively, compared to the control treatment. Similarly, applying these treatments increased root length by 15.5, 24.5, and 32.7%, respectively, compared to the control treatment. According to the findings of this study, *B. pseudobassiana*, *B. bassiana*, and the mixture of these two fungal species increased the dry weight of the aerial sections of beans by 50.6, 36.9, and 72.6 percent, respectively. Furthermore, the use of *B. bassiana*, *B. pseudobassiana*, or a mixture of these two

species elevated root dry weight by 44.1%, 39.5%, and 55.8%, respectively, in comparison with the control treatment. In general, all treatments produced more chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll than the control treatment. The combination of two species resulted in the maximum number of features, which were 153.9%, 162.8%, and 156.9%, respectively, in comparison with the control treatment. The results indicated that the amount of Carotenoid, polyphenol oxidase enzyme, phenol, and proline rose considerably when two fungal species were used alone or in combination, compared to the control treatment.

Discussion

Endophytic *B. pseudobassiana* has been the subject of no prior research, based on our findings. The fungal strains used in the current study were re-isolated from the roots and other parts of the plant, indicating that the inoculated strains colonized the studied bean plants systematically. Entomopathogenic fungi have recently attracted the attention of researchers for the profits they provide to their hosts, particularly in plant growth. The findings revealed that employing endophytic fungi and interacting with them might enhance the morpho-physiological properties of bean plants. As a result, we discovered that entomopathogenic fungi might act as both endophytic and plant growth boosters. In spite of the current proceedings, more study is required to investigate the endophytic nature of these native species in other hosts, their effect on pathogen and insect control, and their effect on metabolites, hormones, and micro-nutrients using various inoculation methods.

Keywords: Entomopathogenic fungi, Beauveria, Endophyte, Growth parameters.

Associate editor: N. Khaledi (Ph.D.)

Citation: Karooei, P., Darvishnia, M., Bazgir, E. & Mirzaeipour, Z. (2024). Investigating effect of the endophytic of two *Beauveria* species on growth traits and some biochemical activities of bean (*Phaseolus vulgaris*). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 47*(4), 1-21. https://doi.org/ 10.22055/ppr.2024.47925.1760.

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٧، شماره ٤، زمستان ١٤٠٣
10.22055/ppr.2024.47925.1760

بررسی تأثیر اندوفیتی دو گونه *Beauveria* بر صفات رشدی و برخی فعالیت‌های بیوشیمیایی لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)

پرستو کرویی [۱]، مصطفی درویش نیا *[۲]، عیدی بازگیر [۳]، زهرا میرزایی پور [۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- * **نویسنده مسوول**: استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران (darvishnia.m@lu.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

٤- دانش‌آموخته دکتری بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴

چکیده

لوبیا عمده‌ترین محصول حبوبات است که سهم ۸۵ درصدی در تولید جهانی را دارد. دغدغه اصلی جامعه علمی ارائه راهبردهایی برای تضمین امنیت غذایی، ایمنی محصولات و برنامه‌های کاربردی برای کاهش آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی است. در میان جایگزین‌های مورد بررسی، استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید یکی از ارکان اصلی برای ایجاد چرخش سبز در سامانه‌های کشاورزی است. هدف از این مطالعه، بررسی نقش اندوفیتی دو گونهٔ بومی *Beauveria bassiana* و *B. pseudobassiana* و تأثیر آن‌ها بر صفات رشدی از جمله ارتفاع بوته و طول ریشه، همچنین برخی از خصوصیات بیوشیمیایی لوبیا از جمله فنل، پرولین، پلی‌فنل‌اکسیداز، به‌علاوه کلروفیل و کاروتنوئید بود. بدین منظور از کشت ۱۰ روزه گونه‌های قارچی سوسپانسیون اسپور تهیه شد. سوسپانسیون حین کاشت بذر به خاک اضافه شد. بیست و پنج روز پس از مایه‌زنی، نمونه‌برداری جهت تعیین استقرار قارچ در گیاه و اندازه‌گیری صفات رشدی و فعالیت‌های بیوشیمیایی صورت گرفت. نتایج نشان داد گونه‌های قارچی به صورت اندوفیت در بخش‌های مختلف لوبیا استقرار یافتند. همچنین کاربرد گونه‌های قارچی به تنهایی و ترکیبی صفات رشدی و فعالیت‌های بیوشیمیایی را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. بیشترین تاثیر مربوط به ترکیب دو گونه بود که باعث افزایش ۷۲/٦ درصدی وزن خشک اندام هوایی شد. همچنین این تیمار وزن خشک و طول ریشه را به ترتیب ۵۵/۸ و ۳۲/۷ درصد افزایش داد. نتایج فعالیت‌های بیوشیمیایی نشان داد که تیمار هر دو گونه به تنهایی و ترکیب آن‌ها میزان فعالیت‌های بیوشیمیایی را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. نتایج این مطالعه می‌تواند نشان دهنده‌ی توانایی جدایه‌های *Beauveria* به عنوان محرک رشد می‌باشد.

کلید واژه‌ها: قارچ بیمارگر حشرات، Beauveria، اندوفیت، شاخص‌های رشد

دبیر تخصصی: دکتر نیما خالدی

مقدمه

حبوبات از مهم‌ترین منابع تأمین‌کنندهٔ پروتئین در زنجیره غذایی انسان و دام در سرتاسر دنیا هستند. لوبیا *Phaseolus vulgaris* L. مهمترین گیاه در خانواده حبوبات است. این گیاه روزکوتاه تا خنثی و حساس به سرما است که دمای مطلوب آن در طی فصل رشد به طور میانگین ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. گیاه لوبیا انواع مختلفی دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به لوبیا سفید، قرمز و چیتی اشاره کرد. سطح زیر کشت لوبیا در جهان ۳۶۷۹۲۴۹۰ هکتار و ایران با سطح زیر کشت ۸۶۱۲۹ هکتار و تولید ۱۶۰۰۱۶ تن در سال از مهم‌ترین کشورهای تولید کنندهٔ این محصول می‌باشد (Amanpour-Balaneji & Sedghi 2012; FAO, 2022).

لوبیا همچون سایر محصولات تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی مختلفی قرار می‌گیرد که باعث کاهش بهره‌وری و کیفیت محصول می‌شود (Obala et al., 2012). راهکارهای زیادی جهت کاهش تلفات محصولات مختلف کشاورزی در اثر عوامل مختلف وجود دارد که در حال حاضر استفاده از سموم شیمیایی رایج‌ترین روش است (Kaewchai et al., 2009). استفاده روزافزون از کودها و سیستم‌های پربازده نیز مشکلات زیست‌محیطی مانند تأثیر منفی بر سلامت انسان، کاهش کیفیت خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی، همچنین آلودگی هوا، کاهش تنوع زیستی و اختلالات اکولوژیکی همچنین ایجاد مقاومت به آفات و بیمارگرها را ایجاد کرده است (Kawalekar, 2013). دغدغه اصلی جامعه علمی ارائه راهبردهای جدید برای تضمین امنیت غذایی به علاوه ایمنی محصولات کشاورزی و همچنین راهکارهایی جهت کاهش استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی می‌باشد. در میان جایگزین‌های مورد بررسی، استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید یکی از ارکان اصلی برای ایجاد چرخش سبز در سامانه‌های کشاورزی در سراسر جهان است (Sinno et al., 2021). در این زمینه، توجه بیشتری به نقش اندوفیت‌های قارچی برای حفاظت از محصول، کنترل عوامل بیماری‌زا، افزایش سازگاری گیاه (Saikkonen et al., 2010; Bamisile et al., 2018)، افزایش زیست توده، بهبود بهره‌وری و عملکرد محصول شده است (Rodriguez et al., 2009).

قارچ‌های اندوفیت، میکروارگانیسم‌هایی هستند که بدون ایجاد علایم بیماری و آسیب به گیاه بخشی از چرخه‌ی زندگی خود را در داخل بافت‌های گیاه سپری می‌کنند (Amal et al., 2011). این رابطه همزیستی ممکن است منجر به تغییرات بیوشیمیایی یا ژنتیکی و یا هر دو در گیاه میزبان و یا اندوفیت‌های ساکن آن شود (Gupta et al., 2020). مشخص شده است که قارچ‌های اندوفیت باعث القای مقاومت به میزبان در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شوند. گونه‌های مختلف اندوفیت‌های قارچی قبلاً به عنوان محرک رشد در میزبان خود توصیف شده‌اند (Dash et al., 2018; Chowdhary & Sharma 2020; Macuphe et al., 2021). چنین رابطه‌ی متقابلی ممکن است به نفع تغییرات کلیدی در فیزیولوژی گیاه، از جمله محتوای هورمون‌های گیاهی، یا اصلاح جذب مواد مغذی و شرایط خاک در ریزوسفر باشد (Khan et al., 2011; Rai et al., 2014; Vincent et al., 2020). اندوفیت‌های قارچی سنتز سیدروفورها را تحریک می‌کنند (Prathyusha et al., 2015; Lubna et al., 2018)، تثبیت نیتروژن (Yang et al., 2015) و انحلال فسفات را افزایش می‌دهند (Tandon et al., 2020)، اتیلن را بوسیله ۱-آمینو سیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات دآمیناز و سنتز آنزیم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اندوفیت‌های قارچی نیز ممکن است از طریق تولید هورمون‌های گیاهی مانند ایندول -۳ -استیک اسید و جیبرلین‌ها روی رشد گیاه تأثیر بگذارند (Chanclud, & Morel, 2016). علاوه بر این، طیف گسترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه دیگر، مانند اگزوپلی‌ساکاریدها یا فنل‌ها، ممکن است از طریق فعالیت آنتی‌اکسیدانی‌شان باعث رشد گیاه شوند (Chen et al., 2011). گزارش شده است که قارچ‌های بیمارگر حشرات (EPFs)[1] می‌توانند فعالیت

1- Entomopathogenic fungus

آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD, EC 1.15.1.1)، پراکسیداز (POD, EC 1.11.1.7) پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO, EC 1.10.3.1) و سایر آنزیم‌ها را در گیاهان تحریک کنند (Batool et al., 2020).

پژوهش‌های مختلفی نشان دادند که قارچ‌های بیمارگر حشرات از جلمه قارچ *Beauveria* قادر به کلونیز انواع گیاهان مانند برنج، گوجه‌فرنگی، انگور، گندم، ذرت، کاهو، لوبیا، سیب‌زمینی و پنبه هستند. این قارچ‌ها عمدتاً در ریشه‌ها، بافت‌های داخلی، شاخ و برگ و ساقه گیاه مشاهده می‌شوند (Akello et al., 2007; Lopez & Sword, 2015; Dara et al., 2016; Afandhi et al., 2019; Canassa et al., 2019; Macuphe et al., 2021; Mantzoukas et al., 2021; Liu et al., 2022). تحقیقات گسترده‌ای در مورد تأثیر قارچ *Beauveria* بر رشد بافتی که در آن کلونیزه است، انجام شده است و ثابت شده که یک سری از شاخص‌های رشد گیاه مانند زیست توده و توسعه بافت‌ها با حضور این قارچ افزایش می‌یابد (Elena et al., 2011; Canassa et al., 2019; Liu et al., 2022). نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهند که همزیستی گیاهان با میکروارگانیسم‌های اندوفیت باعث افزایش سرعت رشد گیاه، قدرت و توانایی در جذب مواد مغذی می‌شود (Omomowo & Babalol 2019; Tall & Meyling 2018). همچنین طبق پژوهش‌های صورت گرفته، از جمله قارچ *M. anisopelia* در لوبیا (Garcia et al., 2011)، *B. bassiana* در کلم (Gautam et al., 2016)، گوجه‌فرنگی (Afandhi et al., 2019)، انگور (Mantzoukas et al., 2021)، و کاهو (Macuphe et al., 2021) به افزایش خصوصیات مورفولوژیکی گیاه مانند ارتفاع، وزن، زیست توده خشک و ویژگی‌های ریشه اشاره دارند.

کلونیزاسیون موضعی یا سیستمیک می‌تواند عمدتاً در ریشه‌ها، ساقه‌ها، برگ‌ها و بافت‌های داخلی گیاهان اتفاق بیفتد. کلونیز بافت گیاه توسط اندوفیت قارچی می‌تواند با کاربرد جدایه‌های قارچی به روش‌های مختلف از جمله تیمار بذر، محلول پاشی، آبیاری خاک و غیره باشد. تلقیح خاک و محلول‌پاشی *Beauveria* نیز پرکاربردترین روش است (Behie et al., 2015; Mantzoukas et al., 2021; Liu et al., 2022; Sui et al., 2023).

اگرچه مطالعات بسیاری اثرات قارچ‌های اندوفیت را بر رشد گیاه و متابولیت‌های ثانویه بررسی کرده‌اند، اما مطالعات کمی به طور همزمان و جامع اثرات آن را بر کلونیزاسیون بافت، رشد گیاه، محتوای مواد مغذی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت‌های بیوشیمیایی بررسی کرده‌اند (Macuphe et al., 2021).

طبق بررسی‌های صورت گرفته بیشتر مطالعاتی که به بررسی پتانسیل چندمنظوره EPFها می‌پردازند تاکنون بر توانایی اندوفیتی این عوامل میکروبی برای کلونیز گیاهان و تاثیر روی حشرات و عوامل بیماری‌زا متمرکز شده‌اند. اما مطالعات کمی به طور همزمان و جامع اثرات آن را بر کلونیزاسیون بافت، رشد گیاه، محتوای مواد مغذی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت‌های بیوشیمیایی بررسی کرده‌اند (Macuphe et al., 2021). اینکه آیا ترکیبات خاص روی سطح گیاه نیز در بروز کلونیزاسیون اندوفیتی قارچ بیمارگر حشرات در تعاملات قارچ-گیاه نقش دارند یا خیر، تاکنون به طور دقیق مورد بررسی قرار نگرفته است (Sui et al., 2023).

مهمترین اهدف این مطالعه، (۱) بررسی پتانسیل اندوفیتی دو گونه‌ی بومی *Beauveria* در بافت‌های مختلف گیاه لوبیا، (۲) تأثیر گونه‌ها به صورت جداگانه و تلفیقی بر صفات رشدی از جمله ارتفاع بوته، طول ریشه و وزن تر و خشک گیاه و (۳) همچنین بررسی برخی از خصوصیات بیوشیمیایی از جمله فنل کل، پرولین و پلی‌فنل اکسیداز، به علاوه میزان کلروفیل و کاروتنوئید در لوبیا بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه دو گونه قارچ *B. bassiana* B1 و *B. pseudobassiana* B2 مورد استفاده قرار گرفت. این دو گونه از آزمایشگاه بیماری‌شناسی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان تهیه شدند. گونه‌ی *B. bassiana* از سن گندم و *B. pseudobassiana* از خاک ریزوسفر بلوط در شهرستان خرم‌آباد در مطالعات قبلی جداسازی و بر اساس خصوصیات ریخت‌شناسی، ریخت‌سنجی و مولکولی شناسایی شدند.

تهیه مایه تلقیح گونه‌های *Beauveria*

جهت تهیه مایه تلقیح، جدایه‌های قارچی در تشتک‌های پتری دیش حاوی محیط کشت PDA (عصاره سیب‌زمینی- دکستروز- آگار) کشت شدند و بعد از ۱۰روز سطح تشتک‌های پتری خراش داده شد. سپس، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل و Tween80 یک صدم درصد به سطح تشتک‌های پتری دیش اضافه شد. سوسپانسیون‌های قارچی پس از عبور از کاغذ صافی، ۴ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. شمارش اسپور با غلظت^{۸}۱۰× ۱ اسپور در ۱ میلی‌لیتر با استفاده از لام هماسیتومتر انجام شد (Afandhi et al., 2019). بذر لوبیا رقم پاک از مرکز تحقیقات خمین تهیه شد. بذرها به مدت زمان سه دقیقه با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد و ۲ دقیقه در اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی شدند سپس سه بار با استفاده از آب مقطر استریل شستشو داده شده و به مدت ۱۲ ساعت زیر هود میکروبیولوژیک خشک شدند (Sui et al., 2023).

آزمایش گلخانه‌ای

این تحقیق در گلخانه‌های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان انجام شد. جدایه‌های مورد استفاده در شرایط گلخانه با هم مقایسه شدند. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به شرح زیر انجام شد:

۱. خاک سترون حاوی بذر لوبیا (شاهد) ۲. خاک سترون تلقیح شده با هر یک از گونه‌های *Beauveria*، برای بررسی اثر منفی احتمالی گونه‌های قارچی بر روی گیاه و بررسی تأثیر جدایه‌های *Beauveria* بر رشد گیاه ۳. خاک تلقیح شده به ترکیب دو گونه‌ی *Beauveria*.

خاک گلدان (ترکیبی از ماسه، خاک رس و خاک برگ به نسبت ۱:۱:۱) در دو روز متوالی به مدت ۳۰ دقیقه و دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در فشار ۱/۵ اتمسفر سترون شد (Mirzaeipour et al., 2023; Khaledi & Taheri 2016). همچنین ضدعفونی گلدان‌های پلاستیکی با استفاده از فرمالین ۵ درصد انجام شد. همزمان با اضافه کردن خاک به گلدان‌ها با ابعاد ۱۳×۱۷ سانتی‌متر، ۸ عدد بذر لوبیا در عمق ۳-۵ سانتی‌متری خاک کاشته شد و ۲۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون اسپور از هر کدام از گونه‌ها و ترکیبی از دو گونه با غلظت^{۸}۱۰× ۱ به هر گلدان اضافه شد. همچنین بذر ضدعفونی شده با همان مقدار آب مقطر سترون به عنوان شاهد در نظر گرفته شد (Sui et al., 2023). گلدان‌ها در شرایط کاملاً تصادفی روی سکوهای گلخانه در شرایط یکسان، دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی (۴۰-۶۰ درصد) قرار گرفتند. برای هر تیمار سه تکرار استفاده شد و گلدان‌ها به فاصله ۱-۲ روز آبیاری شدند. پس از جوانه‌زنی جهت رشد بهتر، گیاهچه‌های ضعیف‌تر حذف شدند و تقریبا در هر گلدان تعداد ۵-۶ عدد گیاهچه نگه‌داشته شد. ۲۰-۲۵ روز پس از کاشت، گیاهان از خاک خارج شدند. ابتدا نمونه‌های گیاهی به صورت جداگانه زیر جریان ملایم آب به طور کامل شسته شدند. جهت بررسی اندوفیت بودن در مجموع از هر تیمار بین ۶- ۸ بوته انتخاب شد و از بافت‌های مختلف هر بوته قطعات ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری جدا شد. ضدعفونی سطحی نمونه‌ها، به مدت یک دقیقه در اتانول ۷۰ درصد، بعد از آن به مدت ۵ دقیقه در هیپوکلریت سدیم سه درصد و دوباره به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۷۰ درصد و سپس سه مرتبه و هر کدام یک دقیقه درون آب مقطر سترون قرار داده شدند. قطعات گیاهی ضدعفونی شده به ابعاد ۰/۵×۰/۵ سانتی‌متر برش داده شد و از هر بوته ۹ قطعه درون تشتک‌های پتری حاوی محیط کشت WA[1] (آب- آگار) دو درصد و محیط کشت MEA[2] (عصاره مالت- آگار) حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات استرپتومایسین برای جلوگیری از رشد باکتری کشت داده شدند. تشتک‌های پتری تلقیح شده به مدت ۵ الی ۷ روز درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شرایط تاریکی مداوم نگه‌داری شدند. تشتک‌های پتری بررسی و در صورت مشاهده رشد قارچ‌ها، پرگنه‌های قارچ به تشتک های حاوی محیط کشت PDA[3] منتقل شد (Helander, 2007; Blumenstein, 2010; Sui et al., 2023).

1- Water agar
2- Malt Extract Agar
3- Potato Dextrose Agar

تجزیه و تحلیل فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه

شاخص‌های رشدی شامل ارتفاع بوته و طول ریشه با استفاده از خط‌کش برحسب سانتی‌متر، وزن‌تر و خشک بوته و وزن‌تر و خشک ریشه بر حسب گرم با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد (به منظور اندازه‌گیری وزن خشک گیاهان در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت نگهداری شدند) (Pourhadian et al., 2022).

اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کارتنوئید

مقدار یک گرم از برگ را در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد شد. ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه‌ها اضافه شده و با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به فالکون منتقل گردیده و مقداری از نمونه داخل فالکون در کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد سپس مقدار جذب به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب قرائت شد. با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه شد (Lichtenthaler & Bushmann, 2001).

$$\text{Chl a} = [(۱۱/۲۳ * A_{۶۶۳}) - (۲/۰۴ * A_{۶۴۵})]$$

$$\text{Chl b} = [(۲۰/۱۳ * A_{۶۴۵}) - (۴/۱۹* A_{۶۶۳})]$$

$$\text{Carotenoide} = [۱۰۰۰ (A_{۴۷۰}) - ۱/۹۰ (A_{۶۶۳}) - ۶۳/۱۴ (A_{۶۴۵}) / ۲۱۴]$$

سنجش فعالیت پلی‌فنل اکسیداز

سنجش میزان فعالیت PPO با روش Kar and Mishra (1976) انجام شد. حدود ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های بافت برگ پودر شده با ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات مخلوط شد. سپس با سرعت ۱۴۰۰۰دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. فاز رویی به تیوپ جدید منتقل شد و مجدد سانتریفیوژ شد. در نهایت فاز رویی جهت بررسی فعالیت آنزیم به تیوپ‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شد. جهت بررسی میزان فعالیت آنزیم، ۵۰ میکرولیتر از پیروگالول ۱۰۰ میلی‌مولار، ۳۰۰۰ میکرولیتر از بافر فسفات (pH=7) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط شدند. میزان فعالیت آنزیم بر حسب مقادیر اکسید شده پیروگالول در طول موج ۴۲۰ نانومتر محاسبه شده و به صورت جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

سنجش فنل کل

جهت اندازه‌گیری فنل کل مقدار یک گرم از بافت تازه برگ (در مرحله گلدهی) با استفاده از نیتروژن مایع پودر شد. به پودر حاصل ۴ میلی‌لیتر حلال استخراج اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. فاز بالایی به تیوپ‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شد و با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس فاز بالایی نمونه‌ها جداسازی و در داخل تیوپ‌های ۱/۵ میلی‌لیتری ریخته شدند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. گالیک اسید به عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون به کار رفت و میزان فنول کل بر حسب "میلیگرم گالیک اسید در گرم " گزارش گردید (Singleton & Rossi, 1965).

سنجش حجم پرولین

نمونه‌های بافت برگ لوبیا با استفاده از نیتروژن مایع پودر شدند. سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد به هر نمونه اضافه و در دمای ۴ درجه سلسیوس با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد، ۲ میلی‌لیتر از عصاره با ۲ میلی‌لیتر نشانگر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص مخلوط شد و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه ورتکس شد. جذب نور نمونه در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانش شد. مقدار پرولین به صورت میکرومول در هر گرم وزن تر برگ (FW)[1] با استفاده از فرمول زیر به دست آمد (Bates et al., 1973).

$$\mu\text{mol proline/ g FW} = [(\mu\text{g proline/ ml} \times \text{ml Toluene/ 115.5})]/ [(\text{g samples/5})]$$

1-. Fresh weight

آنالیز آماری

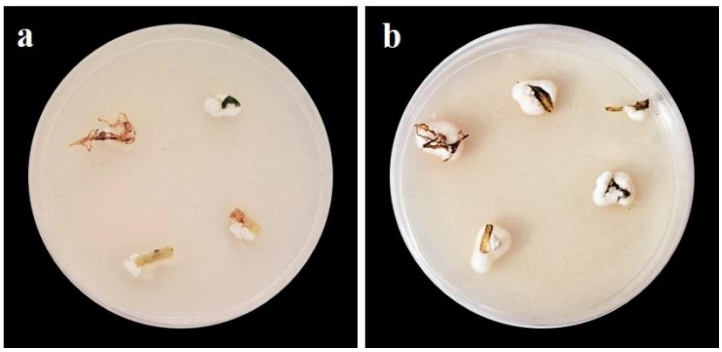
داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه‌وتحلیل شدند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد ($P<0.05$) مقایسه شدند.

نتایج

طبق نتایج به دست آمده گونه‌های قارچی *Beauveria* که با غلظت ۱×۱۰^{۸} اسپور در میلی‌لیتر تلقیح شده بودند با کشت بافت‌های ریشه، ساقه و برگ لوبیا، در محیط کشت PDA با تایید اندوفیت قارچی مجددا جداسازی شدند (شکل ۱). این دو گونه *Beauveria* توانستند کلونیزاسیون سیستمیک را در بافت‌های همه اندام‌های لوبیا ایجاد کنند.

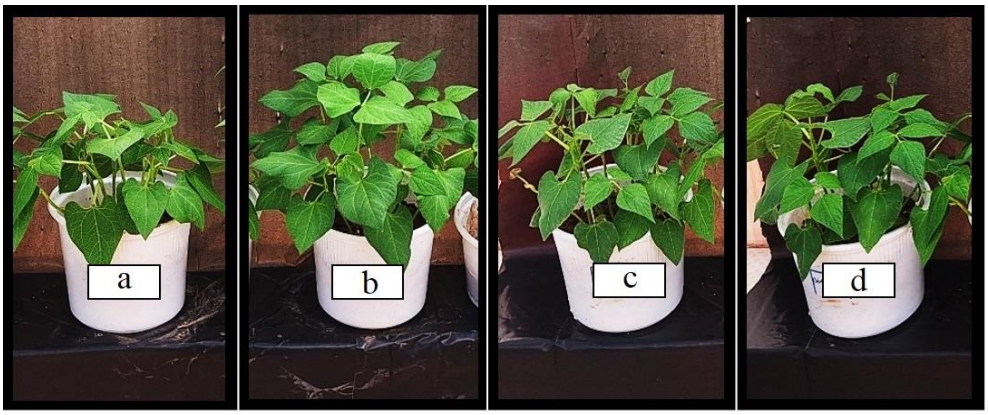
نتایج به دست آمده در بررسی تاثیر گونه‌های *Beauveria* بر صفات رشدی لوبیا نشان داد که گونه‌های قارچی *B. pseudobassian*، *B. bassiana* و تلفیق این دو گونه به ترتیب باعث افزایش ۳۷/۷، ۲۰/۲ و ۴۱/۴ درصدی ارتفاع بخش هوایی لوبیا در مقایسه با شاهد شدند. همچنین کاربرد این تیمارها به ترتیب باعث افزایش ۱۵/۵، ۲۴/۵ و ۳۲/۷ درصدی طول ریشه نسبت به شاهد شد (شکل ۲ و شکل ۳).

براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که *B. pseudobassiana*، *B. bassiana* و ترکیب این دو گونه قارچ (Bb+Bp) به ترتیب باعث افزایش ۵۰/۶، ۳۶/۹ و ۷۲/۶ درصدی وزن خشک قسمت‌های هوایی لوبیا در مقایسه با شاهد شدند (شکل۲. B). همچنین کاربرد گونه‌های *B. bassiana*، *B. pseudobassiana* و ترکیب دو گونه قارچی به ترتیب وزن خشک ریشه را ۴۴/۱، ۳۹/۵ و ۵۵/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۳).



شکل ۱- پرگنه گونه‌های *Beauveria pseudobassiana* (a) و *B. bassiana* (b) جداسازی شده از بافت‌های ریشه، ساقه و برگ لوبیا.

Figure 1. Colony of species (a) *Beauveria pseudobassiana* and (b) *B. bassiana* isolated from bean root, stem and leaf tissues.



شکل ۲- تأثیر گونه‌های *Beauveria* بر رشد لوبیا (a) شاهد، (b) گلدان تلقیح شده با ترکیب دو گونه *Beauveria* (c) گلدان تلقیح شده با گونه *B. pseudobassiana*، گلدان تلقیح شده با گونه *B. bassiana*.

Figure 2. The effect of *Beauveria* species on bean growth (a) control, (b) pot inoculated with combination of two *Beauveria* species (c) pot inoculated with *B. pseudobassiana* species, (d) pot inoculated with *B. bassiana* species.

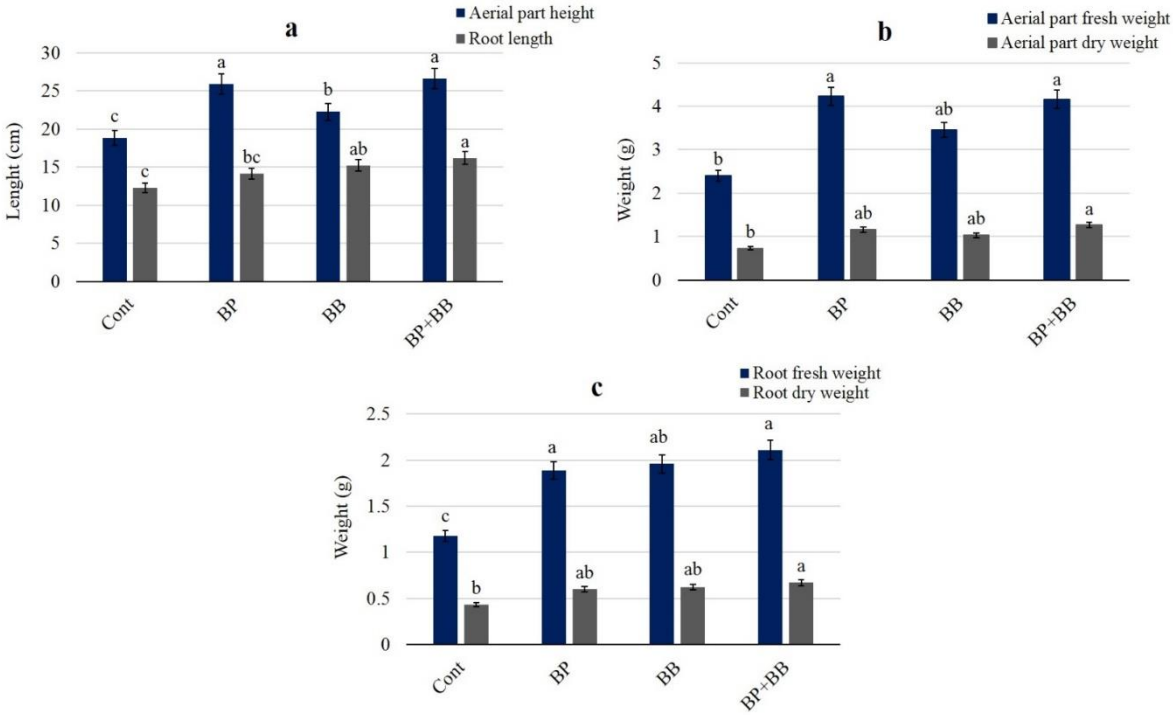
نتایج به دست آمده در بررسی تاثیر گونه‌های *Beauveria* بر میزان کلروفیل نشان داد که هر سه تیمار میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند. افزایش قابل توجهی در میزان کلروفیل گیاهان تیمار شده با گونه *B. bassiana* و ترکیب دو گونه‌ی قارچی مشاهده شد. میزان کلروفیل a، b و کل با کاربرد ترکیب دو گونه به ترتیب به میزان ۱۵۳/۹، ۱۶۲/۸ و ۱۵۶/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. (شکل ۴).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به کارتنوئید مشخص شد که در گیاهان تیمار شده با هر سه تیمار مقدار کارتنوئید به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۱). بیشترین میزان کاروتنوئید در گیاهان تلقیح شده با تلفیق دو گونه ثبت شد به طوری‌که باعث افزایش ۳۱/۲درصدی کاروتنوئید نسبت به شاهد شد.

در بررسی فعالیت‌های آنزیمی، کاربرد هر کدام از گونه‌های قارچی به طور مشابه باعث افزایش ۱۱۶/۶ درصدی فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز شد. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) مربوط به تلفیق دو گونه بود که باعث افزایش ۱۴۷/۲ درصدی آن در مقایسه با شاهد شد.

داده‌ها در جدول ۱ نشان می‌دهد که هر سه تیمار میزان پرولین را افزایش دادند. گیاهان تیمار شده با گونه‌های *B. bassiana*، *B. pseudobassiana* و ترکیب دو گونه میزان پرولین را به ترتیب ۳۳/۳، ۲۹/۹ و ۳۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند.

میزان فنل کل نیز با کاربرد هر سه تیمار افزایش یافت اما در گیاهان تیمار شده با گونه *B. bassiana* (۵۶/۳) تفاوت اندکی با شاهد (۵۲/۶) مشاهده شد. مقدار فنل در گیاهان لوبیا تیمار شده با تلفیق دو گونه و گونه *B. pseudobassiana* نسبت به شاهد به ترتیب ۶۷/۷ و ۶۳/۵ درصد افزایش یافت.



شکل ۳- تأثیر گونه‌های *B. bassiana*، *B. pseudobassiana* و تلفیق دو گونه (BP+BB) بر (a) ارتفاع بخش هوایی و طول ریشه، (b) وزن تر و خشک بخش هوایی لوبیا، (c) وزن تر و خشک ریشه لوبیا.

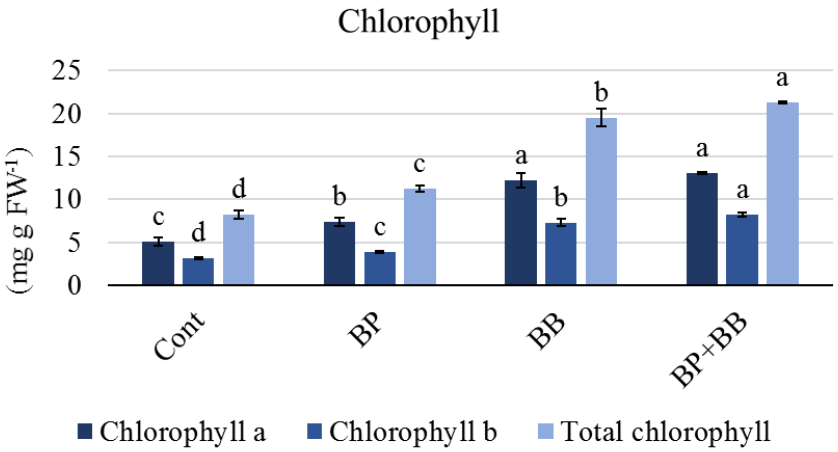
Figure 3. The effect of *B. bassiana*, *B. pseudobassiana* and combination of two species (BP+BB) on the (a) Aerial part height and root length, (b) Fresh and dry weight bean aerial part, (c) Fresh and dry weight bean root. BP: *B. bassiana*, BB: *B. pseudobassiana*, BP+BB: *B. bassiana*+ *B. pseudobassiana*

بحث

جداسازی مجدد جدایه‌های قارچی استفاده شده در مطالعه حاضر از طریق کاربرد در خاک، از ریشه و سایر بخش‌های گیاه، نشان دهنده کلونیزاسیون سیستمیک گیاهان لوبیا مورد آزمایش با جدایه‌های تلقیح شده است. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که هر دو گونه *Beauveria* بدون تأثیر نامطلوب در لوبیا اندوفیت هستند.

مطالعات قبلی توانایی اندوفیت شدن قارچ‌های بیمارگر حشرات را در میزبان‌های مختلف گزارش کرده‌اند (Garcia et al., 2011; Gautam et al., 2016; Afandhi et al., 2019; Mantzoukas et al., 2021; Macuphe et al., 2021). از این میان گونه *B. bassiana* به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است (Jaber & Enkerli, 2017). مطابق نتایج این مطالعه، نتایج پژوهش‌های متعددی که به منظور بررسی اندوفیت بودن قارچ *B. bassiana* روی لوبیا انجام شد، نشان داد این گونه قارچی به روش اضافه کردن سوسپانسیون به خاک مجددا از تمام قسمت‌های گیاه لوبیا جداسازی شد (Afandhi et al., 2019; Canassa et al., 219). نتایج مشابهی در گندم تلقیح شده با استفاده از روش‌های تیمار خاک و همچنین تیمار بذر گزارش شد. *B. bassiana* به عنوان یک میکروارگانیسم اندوفیت توانست از محل‌های تلقیح به بافت‌های گیاهی گسترش یابد و در بافت‌ها زنده بماند (Sánchez-Rodríguez et al., 2018). همچنین نتایج مطالعه Liu et al. (2022) جهت بررسی توانایی اندوفیت بودن دو گونه قارچ بیمارگر حشرات از جمله *B. bassiana* و *M. anisopliae* نشان داد که هر دو گونه از بافت‌های مختلف ذرت جداسازی شدند.

مطابق گزارش Parsa et al. (2013) درجه بالاتری از کلونیزاسیون با کاربرد در خاک در مقایسه با محلول‌پاشی برگ مشاهده شد. نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان داده که قارچ‌های اندوفیت گاه فقط برخی از قسمت‌های گیاه را کلونیز می‌نمایند. از جمله Greenfield et al.(2016) گزارش کردند دو گونه *B. bassiana* و *M. anisopliae* فقط بافت ریشه کاساوا را کلونیز نمودند. همچنین یافته‌های یک پژوهش نشان داد که *M. brunneum* و *B. bassiana* ریشه‌ها و ساقه‌های فلفل شیرین را بیشتر از برگ‌ها کلونیز می‌کنند، اما در آزمایش دیگری *B. bassiana* برگ‌ها و ساقه‌های بیشتری را کلونیز کرد (Jaber & Ownley, 2018). این موضوع نشان دهنده تنوع خاصی در ظرفیت اندوفیتی جدایه‌ها جهت کلونیز بافت‌های مختلف گیاهی است. عوامل زیادی می‌توانند بر نتایج آزمایش‌هایی که هدف آن بررسی یک قارچ بیمارگر حشره به عنوان اندوفیت است، تأثیر بگذارند. عوامل بیولوژیکی که می‌توانند به صورت تجربی مورد بررسی قرار گیرند شامل گونه یا رقم گیاهی و گونه‌ها و یا جدایه‌های قارچ بیمارگر است.



شکل ٤- تأثیر گونه‌های *B. bassiana*، *B. pseudobassiana* و تلفیق دو گونه (BP+BB) بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل گیاه لوبیا.

Figure 4. The effect of *B. bassiana*, *B. pseudobassiana* and combination of two species (Bb+Bp) on the amount of chlorophyll A, chlorophyll B and chlorophyll whole bean plants. BP: *B. bassiana*, BB: *B. pseudobassiana*, BP+BB: *B. bassiana*+ *B. pseudobassiana*

جدول ۱- تأثیر گونه‌های *Beauveria* بر میزان کاروتنوئید، پرولین، فنل، و پلی‌فنل‌اکسیداز در گیاهان لوبیا.

Table 1. The effect of *Beauveria* species on Carotenoid, Proline, Phenol and Polyphenol oxidase activities in beans plants.

Treatments	Carotenoid (mg g/ FW^{-1})	Proline (µmol proline/ g FW^{-1})	Phenol (mg Galic acid/ g FW^{-1})	Polyphenol Oxidase (mg /g FW^{-1})
Cont	2.27 ± 0.16^{b}	1.47 ± 0.19^{b}	52.69 ± 2.7^{b}	0.003600 ± 0.20^{c}
BP	2.79 ± 0.26^{a}	1.91 ± 0.27^{ab}	86.26 ± 2.4^{a}	0.007800 ± 0.30^{b}
BB	2.93 ± 0.11^{a}	1.96 ± 0.13^{ab}	56.32 ± 1.9^{b}	0.007820 ± 0.25^{b}
BP +BB	2.98 ± 0.00^{a}	2 ± 0.13^{a}	88.44 ± 1.5^{a}	0.008967 ± 0.15^{a}

*Means with the similar letters within each row were not significantly different ($P<0.05$).

BP: *B. pseudobassiana*, BB*: B. bassiana*, BP+ BB*: B. pseudobassiana + B. bassiana*

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاهان تیمار شده با هر دو گونه *Beauveria* ارتفاع بوته، طول ریشه و وزن توده زیستی را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش دادند. گزارش‌های مشابهی از ارتقای رشد گیاه توسط قارچ‌های اندوفیت در میزبان‌های مختلف از جمله *M. anisopliae* در گوجه‌فرنگی (Garcia et al., 2011)، *B. bassiana* و *Purpureocillium lilacinum* در پنبه (Lopez & Sword, 2015)، گونه‌های *B. bassiana*، *M. brunneum* و گونه مایکوریز *Isaria fumosorosea* در توت‌فرنگی (Dara et al., 2016)، گونه‌های *B. bassiana* و *M. robertsii* در لوبیا (Canassa et al., 2019) و همچنین *B. bassiana* و *M. anisopliae* در ذرت (Liu et al., 2022) قبلا مستند شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

گزارش شده که افزایش رشد ساقه و همچنین ریشه رایج‌ترین پاسخ در میزبان‌های مختلف تلقیح شده با اندوفیت‌ها بوده است (Naveed & Qamar, 2014). طبق تحقیقات صورت گرفته ارتقای رشد گیاه به بهبود تغذیه گیاه از طریق افزایش جذب و غلظت انواع مواد مغذی از خاک مانند فسفر، حل شدن برخی از مواد مغذی گیاهی غیرقابل انحلال در گیاهان، تثبیت نیتروژن اتمسفر و جذب بیشتر آب باشد. همچنین افزایش رشد ممکن است نتیجه تولید هورمون‌های گیاهی توسط اندوفیت‌های قارچی باشد. (Contreras-Cornejo et al., 2009; Rai et al., 2014).

بر خلاف نتایج این پژوهش، علیرغم کلونیز موفقیت آمیز بافت انگور توسط *B. bassiana* هیچ گونه افزایش قابل توجهی در رشد گیاه گزارش نشد (Moloinyane & Nchu, 2019). همچنین در پژوهش دیگر تفاوت عمده‌ای در رشد گیاه پس از تلقیح موز با جدایه اندوفیت *B. bassiana* در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده نشد (Akello et al., 2008). روابط اندوفیت به شدت به فعل و انفعالات ژنوتیپی (میزبان و اندوفیت)، شرایط محیطی و اکولوژی جمعیت متنوع اندوفیت‌های متعدد در گیاه وابسته است (Gautam et al., 2016).

گزارش شده که اندوفیت‌ها می‌توانند فتوسنتز را از طریق تعدیل قند و اسید آبسیزیک (ABA) افزایش دهند (Zhang, 2008). فتوسنتز یکی از فرآیندهای مهم در گیاهان است. محتوای بیشتر کلروفیل در گیاهان همزیست، می‌تواند نشان دهنده ضرورت میزان فتوسنتز بیشتر برای تأمین کربن اندوفیت در رابطه همزیستی با گیاه باشد (Aghaei et al., 2021). در این پژوهش کاربرد گونه‌های قارچی به صورت تکی و تلفیقی افزایش معنی‌داری در میزان کلروفیل نسبت به شاهد نشان دادند. مطابق نتایج این مطالعه، تحقیقات قبلی نشان دادند که قارچ‌های اندوفیت باعث افزایش محتوای کلروفیل در گیاه می‌شوند (Rozpądek et al., 2015). همچنین بر خلاف یافته‌های این تحقیق Macuphe et al. (2021) گزارش کردند کاربرد *B. bassiana* تاثیر معنی‌داری در افزایش میزان کلروفیل روی گیاه کاهو نداشت.

تحقیقات نشان داده کاروتنوئیدها در تثبیت و محافظت از فاز لیپیدی غشای تیلاکوئید مؤثر هستند و به عنوان سرکوب کننده‌های اکسیژن و رادیکال‌های اکسیژن فعال عمل می‌کنند (Bu et al., 2012). بر اساس نتایج به دست آمده از این

پژوهش بیشترین میزان کاروتنوئید در گیاهان لوبیای تیمار شده با تلفیق دو گونه بود که نسبت به شاهد ۳۰ درصد افزایش نشان داد. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که گیاهان تیمار شده با عوامل اندوفیت میزان کاروتنوئید را طور معنی‌داری افزایش دادند (Hashem et al., 2016; Eleiwa et al., 2012).

پلی فنل اکسیداز تبدیل مونوفنول‌ها به دی‌فنول‌ها و همچنین اکسیداسیون پلی‌فنل‌ها به کوئینون‌ها که در پلیمریزاسیون رنگدانه نقش دارند را کاتالیز میکند. این آنزیم همچنین در لیگنین شدن سلول‌های گیاهی در هنگام تنش، فعال کردن واکنش‌های دفاعی و ایجاد مقاومت در گیاهان در برابر تنش‌ها نقش دارد (El-Khallal, 2007). در این تحقیق میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز به طور معنی‌داری در هر سه تیمار جداگانه و تلفیقی گونه‌های قارچی مورد بررسی افزایش یافت. در پژوهشی مشخص شد که میزان آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز نسبت به سایر آنزیم‌ها با کاربرد تلفیقی *B. bassiana* و *T. asperellum* به میزان قابل توجهی افزایش یافت (Batool et al., 2020).

ترکیبات فنلی در رشد و نمو گیاهان به ویژه مکانیسم‌های دفاعی موثر هستند. فنل‌ها نقش مهمی در تنظیم فرآیندهای متابولیک و رشد کلی گیاه و همچنین سنتز لیگنین و رنگدانه نقش دارند. علاوه بر این، فنل‌ها به عنوان رادیکال آزاد و همچنین به عنوان سوبسترا برای بسیاری از آنزیم‌های آنتی اکسیدانی عمل می‌کنند (Singh et al., 2020; Mahmoud et al., 2021). ترکیبات فنلی بر روندهای مختلف فیزیولوژیکی مربوط به رشدونمو در گیاهان از جمله جوانه زنی بذر، تقسیم سلولی، سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و بهبود متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارند (Bujor et al., 2015). سنتز، آزادسازی و تجمع فنل‌ها به ویژه اسید سالیسیلیک در بسیاری از استراتژی‌های دفاعی گیاهان در برابر میکروب‌ها نقش اساسی دارد، اثرات استرس اکسیداتیو را خنثی می‌کنند، فعالیت‌های آنتی‌بیوتیکی و ضد قارچی از خود نشان می‌دهند و باعث تقویت دیواره سلولی می‌شوند (Vermerris et al., 2006; Bhattacharya et al., 2010; Kumar et al., 2020). در این مطالعه میزان فنل در گیاهان تیمار شده با ترکیب دو گونه قارچی و همچنین گونه *B. pseudobassiana* نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت و میزان این ترکیب در گیاهان تیمار شده با گونه *B. bassiana* اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. مشابه نتایج پژوهش حاضر، مطالعاتی وجود دارد که در آن‌ها میزان فنل در میزبان‌های مختلف تیمار شده با اندوفیت‌های مختلف به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافته است (Bano & Muqarab 2017; Han et al., 2022; Baron & Rigobelo 2022; Salimi et al., 2023).

پرولین به عنوان منبع انرژی و پاک‌کننده رادیکال‌های هیدروکسیل عمل می‌کند (Munns & Tester, 2008). پرولین منجر به افزایش رشد و سایر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان و سرعت فتوسنتز می‌شود (Kubicek et al., 2011). طبق نتایج این پژوهش مشخص شد میزان پرولین در گیاهان تیمار شده با گونه‌های قارچی مورد بررسی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین مقدار پرولین مربوط به ترکیب دو گونه بود. مقدار پرولین با کاربرد گونه‌ها به صورت جداگانه در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در مطالعات قبلی نیز گزارش شده که قارچ‌های اندوفیت میزان پرولین گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش می‌دهند (Bano & Bagheri et al., 2013; Muqarab, 2017).

نتیجه‌گیری

EPFها در سال‌های اخیر به دلیل مزایایی که به میزبان خود می‌دهند، به ویژه در ارتقای رشد گیاه، توجه محققان را به خود جلب کرده‌اند. براساس بررسی‌های انجام شده، تاکنون مطالعه‌ای جهت اندوفیت شدن گونه *B. pseudobassiana* و تاثیر آن بر فاکتورهای رشدی گیاه صورت نگرفته و این پژوهش اولین مطالعه در این زمینه می‌باشد. همچنین اطلاعات اندکی در ارتباط با تاثیر اندوفیت‌های قارچی بر فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه انجام شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از اندوفیت‌های قارچی و برهمکنش بین آن‌ها سبب بهبود صفات مورفولوژیکی از جمله ارتفاع بخش هوایی، طول ریشه، وزن تر وخشک بخش هوایی و ریشه و همچنین صفات فیزیولوژیکی از جمله کلروفیل و کاروتنوئید و

برخی از فعالیت‌های بیوشیمیایی در گیاه لوبیا شد. بنابراین طبق نتایج این پژوهش قارچ‌های بیمارگر حشرات می‌توانند به صورت اندوفیت و همچنین به عنوان محرک رشد در گیاه لوبیا مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، تحقیقات بیشتری جهت بررسی اندوفیت بودن این گونه‌های بومی در سایر میزبان‌ها، تاثیر آن بر کنترل بیمارگرها و حشرات و همچنین بررسی تاثیر آن‌ها بر متابولیت‌ها، هورمون‌ها و ریزمغذی‌ها مورد نیاز است.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از شورای آموزشی و پژوهشی دانشگاه لرستان به خاطر تامین اعتبار مالی این پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

Afandhi, A., Widjayanti, T., Emi, A.A.L., Tarno, H., Afiyanti, M., & Handoko, R.N.S. (2019). Endophytic fungi *Beauveria bassiana* Balsamo accelerates growth of common bean (*Phaeseolus vulgaris* L.). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *6*(1), 1-6. https://doi.org/10.1186/s40538-019-0148-1.

Aghaei Dargiri, S., Samsampour, D., Askari Seyahooei, M., & Bagheri, A. (2021). Evaluation of the effect of fungal *Penicillium chrysogenum* and bacterial *Exigubacteium aurantiacum* endophytes on improvement of the morpho-physiological characteristics of tomato seedlings. *Plant Process and Function*, *10*(42), 251-266. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1465-fa.html. (In Farsi with English summary).

Akello, J., Dubois, T., Coyne, D., Kyamanywa, S. (2008). Endophytic *Beauveria bassiana* in banana (*Musa* spp.) reduces banana weevil (*Cosmopolites sordidus*) fitness and damage. *Crop Protection*, *27*(11), 1437–1441. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.07.003.

Akello, J., Dubois, T., Gold, C. S., Coyne, D., Nakavuma, J., & Paparu, P. (2007). *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin as an endophyte in tissue culture banana (*Musa* spp.). *Journal of Invertebrate Pathology*, *96*(1), 34-42. https://doi.org/10.1016/j.jip.2007.02.004 .

Amal, H.A., Debbab, A. & Proksch, P. (2011). Fungal endophytes: unique plant inhabitants with great promises. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *90*, 1820−1845. https://doi.org/10.1007/s00253-011-3270-y.

Amanpour-Balaneji, B., & Sedghi, M. (2012). Effect of aging and priming on physiological and biochemical traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, *4*(2), 95-100. https://doi.org/10.15835/nsb427358 . (In Farsi with English summary).

Bagheri, A.A., Saadatmand, S., Niknam, V., Nejadsatari, T., & Babaeizad, V. (2013). Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and activity of antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *1*(11), 1337-1350. http://ijabbr.com/upload/IJABBR-2013-1118. (In Farsi with English summary).

Bamisile, B.S., Dash, C.K., Akutse, K.S., Keppanan, R., Wang, L. (2018). Fungal endophytes: Beyond herbivore management. *Frontiers Microbiology, 9*, 1–11. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00544.

Bano, A., & Muqarab, R. (2017). Plant defense induced by PGPR against *Spodoptera litura* in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Biology, 19*(13), 406–412. https://doi.org/10.1111/plb.12535

Baron, N.C., & Rigobelo, E.C. (2022). Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. *Mycology, 13*(1), 39-55. https://doi.org/10.1080/21501203.2021.1945699.

Bates, L.S., Waldron, R.P., & Teare, I.D. (1973). ″Rapid determination of free proline for water stress studies″, *Plant Soil*, 39, 205–217. http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060.

Batool, R., Umer, M.J., Wang, Y., He, K., Zhang, T., Bai, S., Zhi, Y., Chen, J., & Wang, Z. (2020). Synergistic effect of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma asperellum* to induce maize (*Zea mays* L.) defense against the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera, Crambidae) and larval immune response. *International journal of molecular sciences*, *21*(21), p.8215. https://doi.org/10.3390/ijms21218215.

Behie, S. W., Jones, S. J., & Bidochka, M. J. (2015). Plant tissue localization of the endophytic insect pathogenic fungi *Metarhizium* and *Beauveria*. *Fungal Ecology*, *13*, 112-119. https://doi.org/10.1016/j.funeco.2014.08.001.

Bhattacharya, A., Sood, P., & Citovsky, V. (2010). The roles of plant phenolics in defense and communication during. *Molecular plant pathology*, *11*(5). 705-719. https://doi.org/10.1111/J.1364-3703.2010.00625.X.

Blumenstein, K. (2010). Characterization of endophytic fungi in the genus Ulmus: putativeagents for the biocontrol of Dutch elm disease (DED). *Diploma's Thesis). University of Kassel*.

Bu, N., Li, X., Li, Y., Ma, C., Ma, L., & Zhang, C. (2012). Effects of Na2CO3 stress on photosynthesis and antioxidative enzymes in endophyte infected and non-infected rice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *78*: 35-40. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.11.007 .

Bujor, O.C., Talmaciu, I.A., Volf, I., & Popa, V.I. (2015). Biorefining to recover aromatic compounds with biological properties. *TAPPI Journal*, *14*(3): 187-193. https://doi.org/10.32964/TJ14.3.187.

Canassa, F., Tall, S., Moral, R.A., de Lara, I.A., Delalibera Jr, I., & Meyling, N.V. (2019). Effects of bean seed treatment by the entomopathogenic fungi *Metarhizium robertsii* and

Beauveria bassiana on plant growth, spider mite populations and behavior of predatory mites. *Biological Control, 132*(10), pp.199-208. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.003.

Chanclud, E., & Morel, J.B. (2016). Plant hormones: a fungal point of view. *Molecular and Plant Pathology, 17*(8), pp.1289–1297. https://doi.org/10.1111/mpp.12393

Chekanai, V., Chikowo, R., & Vanlauwe, B. (2018). Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to nitrogen, phosphorus and rhizobia inoculation across variable soils in Zimbabwe. *Agriculture, ecosystems & environment*, *266*, pp.167-173. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.010.

Chen, Y., Mao, W., Tao, H., Zhu, W., Qi, X., Chen, Y., ... & Li, N. (2011). Structural characterization and antioxidant properties of an exopolysaccharide produced by the mangrove endophytic fungus Aspergillus sp. Y16. *Bioresource Technology*, *102*(17), 8179-8184. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.048.

Chowdhary, K., & Sharma, S. (2020). Plant growth promotion and biocontrol potential of fungal endophytes in the inflorescence of *Aloe vera* L.. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, *90*(5), 1045–1055. https://doi.org/10.1007/s40011-020-01173-3.

Contreras-Cornejo, H.A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos., C. & López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in Arabidopsis. *Plant physiology, 149*(3), pp.1579-1592. https://doi.org/10.1104/pp.108.130369.

Dara, S.K., Peck, D., & Farms, M.B. (2016). Impact of Entomopathogenic Fungi and Beneficial Microbes on Strawberry Growth, Health, and Yield. Available online: https://ucanr.edu/blogs/strawberries-vegetables/index. cfm?start=17 (accessed on 21 November 2018).

Darkwa, K., Ambachew, D., Mohammed, H., Asfaw, A., & Blair, M.W. (2016). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. *The crop journal*, *4*(5), pp.367-376. https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.007.

Dash, C.K., Bamisile, B.S., Keppanan, R., Qasim, M., Lin, Y., Islam, S.U., Hussain, M., & Wang, L. (2018). Endophytic entomopathogenic fungi enhance the growth of *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) and negatively affect the development and reproduction of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Microbial Pathogenesis*, *125*, 385–392. https://doi: 10.1016/j.micpath.2018.09.044.

Dildey, O.D.F., Broetto, L., Rissato, B.B., Coltro-Roncato, S., Dalâ, E.G., Meinerz, C.C., Henkemeier, N.P., Stangarlin, J.R., Kuhn, O.J., & Webler, T.F.B. (2016). *Trichoderma*-bean

interaction: defense enzymes activity and endophytism. *African Journal of Agricultural Research*, *11*(43), 4286-4292. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11687.

Eleiwa, M.E., Hamed, E.R., & Shehata, H.S. (2012) The role of biofertilizers and/or some micronutrients on wheat plant (*Triticum aestivum* L.) growth in newly reclaimed soil. *Journal of Medicinal Plants Research, 6*, 3359-3369.

Elena, G.J., Beatriz, P.J., Alejandro, P., & Lecuona, R. (2011). *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin promotes growth and has endophytic activity in tomato plants. *Advances in Biological Research, 5*(1), pp.22–27. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86199236.

El-Khallal, S.M. (2007). Induction and modulation of resistance in tomato plants against *Fusarium* wilt disease by bioagent fungi (arbuscular mycorrhiza) and/or hormonal elicitors (jasmonic acid & salicylic acid): 1-Changes in growth, some metabolic activities and endogenous hormones related to defence mechanism. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *14*(1), 691–705.

FAO. 2022. Crops and livestock products. [Available online at https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL].

Fatahuddin, A.N., Daud, I.D., & Chandra, Y. (2003). Uji kemampuan *Beauveria bassiana* Vuillemin (Hyphomycetes: Moniliales) sebagai endofit pada tanaman kubis dan penyaruh terhadap larva Plutella Xylostella L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Fitomrdik Journal Fitomedika*, *5*(1), 16-9.

Garcia, J.E., Posadas, J.B., Perticari, A., & Lecuona, R.E. (2011). *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin promotes growth and has endophytic activity in tomato plants. *Advances in Biological Research*, *5*(1), 22–27.

García-Latorre, C., Rodrigo, S., Marin-Felix, Y., Stadler, M., & Santamaria, O. (2023). Plant-growth promoting activity of three fungal endophytes isolated from plants living in dehesas and their effect on Lolium multiflorum. *Scientific Reports*, *13*(1), p.7354. https://doi.org/10.1038/s41598-023-34036-8.

Gautam, S., Mohankumar, S., & Kennedy, J.S. (2016). Induced host plant resistance in cauliflower by *Beauveria bassiana*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, *4*(2), 476-482.

Greenfield, M., Gómez-Jiménez, M.I., Ortiz, V., Vega, F.E., Kramer, M., & Parsa, S. (2016). *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. *Biological Control, 95*, pp.40-48. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.01.002.

Gupta, S., Chaturvedi, P., Kulkarni, M.G., & Van Staden, J. (2020). A critical review on exploiting the pharmaceutical potential of plant endophytic fungi. *Biotechnology Advances*, *39*, 107462. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107462.

Han, D., Wang, K., Long, F., Zhang, W., Yao, X., & Chen, S. (2022). Effects of endophytic fungi on the secondary metabolites of *Hordeum bogdanii* under alkaline stress. *AMB Express, 12*(73). https://doi.org/10.1186/s13568-022-01414-w.

Hashem, A., Abd-Allah, E. F., Alqarawi, A., Al-Huqail, A. A., Wirth, S., & Egamberdieva, D. (2016) The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers in microbiology, 7*, 1089. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01089 .

Helander, M., Ahlholm, J., Sieber, T. N., Hinneri, S., & Saikkonen, K. (2007). Fragmented environment affects birch leaf endophytes. *New Phytologist*, *175*(3), 547-553. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02110.x .

Jaber, L.R., & Enkerli, J. (2017). Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth? *Biocontrol Science and Technology, 27*(1), 28-41. https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1243227.

Jaber, L.R., & Ownley, B.H. (2018). Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? *Biological control, 116*, pp.36-45. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.018.

Joshi, P.K., & Rao, P.P. (2017). Global pulses scenario: status and outlook. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1392*(1), 6-17. https://doi.org/10.1111/nyas.13298.

Kaewchai, S., Soytong, K., & Hyde, K.D. (2009). Mycofungicides and fungal biofertilizers. *Fungal Diversity*, *38*, 25- 50.

Kar, M., & Mishra, D. (1976). "Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant physiology*, *57*(2), 315-319. https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315

Kawalekar, J.S. (2013). Role of biofertilizers and biopesticides for sustainable agriculture. *Journal of Bio Innovation*, *2*(3), 73-78.

Khaledi, N., & Taheri, P. (2016). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma harzianum* against soybean charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina*. *Journal of Plant Protection Research*, *56* (1): 21–31. https://doi.org/10.1515/jppr-2016-0004.

Khan, A. L., Hamayun, M., Kim, Y. H., Kang, S. M., Lee, J. H., & Lee, I. J. (2011). Gibberellins producing endophytic *Aspergillus fumigatus* sp LH02 influenced endogenous phytohormonal levels, isoflavonoids production and plant growth in salinity stress. *Process Biochemistry, 46*(2), 440–447. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.09.013.

Kubicek, C.P., Herrera-Estrella, A., Seidl-Seiboth, V. et al. (2011). Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*, *Genome Biology*, *12*(4), 1–15. https://doi.org/10.1186/gb-2011-12-4-r40.

Kumar, S., Thakur, M., & Rani, A. (2014). *Trichoderma*: Mass production, formulation, quality control, delivery and its scope in commercialization in India for the management of plant

diseases. *African Journal of Agricultural Research*, *9*(53), 3838-3852. https://doi.org/10.5897/AJAR2014. 9061.
Kumar, S., Abedin, M. M., Singh, A. K., & Das, S. (2020). Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms. *Plant phenolics in sustainable agriculture*, *1*, 517-532. DOI:10.1007/978-981-15-4890-1_22.

Landa, B.B., Lopez, D.C., Jimenez, F.D., Montes, B.M., Munoz, L.F.J., Ortiz, U.A., & Quesada, M.E. (2013). In plant a detection and monitorization of endophytic colonization by a *Beauveria bassiana* strain using a new-developed nested and quantitative PCR-based assay and confocal laser scanning microscopy. *Journal Invertebr Pathology*, *114*(2), 128–38. https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.06.007.

Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, *1*(1), F4-3. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01.

Liu, Y., Yang, Y., & Wang, B. (2022). Entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* play roles of maize (*Zea mays*) growth promoter, *Scientific Reports*, *12*(1), 15706. https://doi.org/ 10.1038/s41598-022-19899-7.

Lopez, D. C., & Sword, G. A. (2015). The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control*, *89*, 53–60. http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.010.

Lubna, Asaf, S., Hamayun, M., Gul, H., Lee, I. J., & Hussain, A. (2018). Aspergillus niger CSR3 regulates plant endogenous hormones and secondary metabolites by producing gibberellins and indoleacetic acid. *Journal of Plant Interactions*, *13*(1), 100-111. https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1436199.
Mac-Adam, J.W., Nelson, C.J., & Sharp, R.E. (1992). Peroxidase Activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology*, *99*, 872– 878. https://doi.org/10.1104/pp.99.3.872.

Macuphe, N., Oguntibeju, O.O., & Nchu, F. (2021). Evaluating the endophytic activities of *Beauveria bassiana* on the physiology, growth, and antioxidant activities of extracts of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plants*, *10*(6), p.1178. https://doi.org/10.3390/plants10061178.

Mahmoud, G.A.E., Abdel-Sater, M.A., Al-Amery, E., & Hussein, N.A. (2021). Controlling *Alternaria cerealis* MT808477 tomato Phytopathogen by *Trichoderma harzianum* and tracking the plant physiological changes. *Plants*, *10*(9), 1846. https://doi.org/10.3390/plants10091846.

Mantzoukas, S., Lagogiannis, I., Mpousia, D., Ntoukas, A., Karmakolia, K., Eliopoulos, P.A., & Poulas, K. (2021). *Beauveria bassiana* endophytic strain as plant growth promoter: The case of the grape vine Vitis vinifera. *Journal of Fungi*, *7*(2), p.142. https://doi.org/10.3390/jof7020142.

Mirzaeipour, Z., Bazgir, E., Zafari, D., & Darvishnia, M. (2023). Selection and biocontrol efficiency of *Trichoderma* isolates against *Rhizoctonia* root rot and their growth promotion effects on strawberry plants. *Journal of Plant Pathology*, *105*(4), 1563-1579. https://doi.org/10.1007/s42161-023-01488-w.

Moloinyane, S., & Nchu, F. (2019). The effects of endophytic *Beauveria bassiana* inoculation on infestation level of *Planococcus ficus*, growth and volatile constituents of potted greenhouse grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Toxins*, *11*(2), p.72. https://doi.org/10.3390/toxins11020072

Munns, R., & Tester., M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annul Review Plant Biol*ogy, *59*, 651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911 .
Naveed, S., & Qamar, F. (2014). A simple assay of esomeprazole using UV spectrophotometer. *The Global Journal of Pharmaceutical Research*, *3*, 1921-25.

Obala, J., Mukankusi, C., Rubaihayo, P. R., Gibson, P., & Edema, R. (2012). Improvement of resistance to Fusarium root rot through gene pyramiding in common bean. *African Crop Science Journal*, *20*(1).https://hdl.handle.net/10568/96296.

Omomowo, O. I., & Babalola, O. O. (2019). Bacterial and fungal endophytes: tiny giants with immense beneficial potential for plant growth and sustainable agricultural productivity. *Microorganisms*, *7*(11), 481. doi: 10.3390/microorganisms7110481

Parsa, S., Ortiz, V., & Vega, F.E. (2013). Establishing fungal entomopathogens as endophytes: towards endophytic biological control. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, *11*(74), p.e50360. https ://doi.org/10.3791/50360.

Pourhadian, H., Hadavand, N., Khalili, M., & Kazem Aslani, H. (2022). Evaluation of growth indices, yield, and yield components of red bean cultivars in cold climatic conditions. *Plant Production and Genetics*, *3*(1), 133-146. doi: 10.34785/J020.2022.120.

Prathyusha, P., Rajitha Sri, A. B., Ashokvardhan, T., & Satya Prasad, K. (2015). Antimicrobial and siderophore activity of the endophytic fungus Acremonium sclerotigenum inhabiting Terminalia bellerica Roxb. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *30*(1), 84-87.
Rai, M., Rathod, D., Agarkar, G., Dar, M., Brestic, M., Pastore, G.M., & Junior, M.R.M. (2014). Fungal growth promotor endophytes: a pragmatic approach towards sustainable food and agriculture. *Symbiosis*, *62*, pp.63-79. http://dx.doi.org/10.1007/s13199-014-0273-3.

Rodriguez, R.J., White, J.F., Arnold, A.E., Jr., & Redman, R.S. (2009). Fungal endophytes: Diversity and functional roles. *New Phytologist*, *182*, 314–330. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x.

Rozpa˛dek, P., We˛z˙owicz, K., Nosek, M., Waz˙ny, R., Tokarz, K., Lembicz, M., Miszalski, Z., & Turnau, K. (2015). The fungal endophyte Epichloë typhina improves photosynthesis efficiency of its host orchard grass (*Dactylis glomerata*). *Planta*, *242*(4), 1025–1035. https://doi.org/10.1007/s00425-015-2337-x. Epub 2015 Jun 10.

Saikkonen, K., Saari, S., & Helander, M. (2010). Defensive mutualism between plants and endophytic fungi? *Fungal Divers*, *41*, 101–113. https://doi.org/10.1007/s13225-010-0023-7.

Salimi, T., Alymanesh, M. R., Fazeli, A., & Bagnazari, M. (2023). The effect of endophytic bacterium Enterobacter sp. isolated from basil on growth stimulation and control of tomato seedling bacterial canker disease. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *46*(1), 39-55. doi: 10.22055/ppr.2023.42716.1672.

Sánchez-Rodríguez, A. R., Raya-Díaz, S., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., Campillo, M. D., & Quesada-Moraga, E. (2018). An endophytic *Beauveria bassiana* strain increases spike production in bread and durum wheat plants and effectively controls cotton leafworm (*Spodoptera littoralis*) larvae. *Biological Control*, *116*, 90–102. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.012.

Singh, D.P., Singh, V., Gupta, V.K., Shukla, R., Prabha, R., Sarma, B.K., & Patel, J.S. (2020). Microbial inoculation in rice regulates antioxidative reactions and defense related genes to mitigate drought stress. *Science. Reports*, *10*(1), 1-17. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61140-w.

Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16(3), 144-158. http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.full.pdf+html.

Sinno, M., Ranesi, M., Di Lelio, I., Iacomino, G., Becchimanzi, A., Barra, E., Molisso, D., Pennacchio, F., Digilio, M.C., Vitale, S., & Turrà, D. (2021). Selection of endophytic *Beauveria bassiana* as a dual biocontrol agent of tomato pathogens and pests. *Pathogens*, *10*(10), p.1242. https://doi.org/10.3390/pathogens10101242.

Solhjouy-Fard, S., Talaei-Hassanloui, R., Maali-Amiri, R., & A. Sword, G. (2023). Effect of endophytic *Beauveria bassiana* on growth traits of five rapeseed varieties *Brassica napus*. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *12*(1), 87-94. https://doi.org/10.22034/arpp.2022.15637.

Sui, L., Lu, Y., Zhou, L., Li, N., Li, Q., & Zhang, Z. (2023). Endophytic *Beauveria bassiana* promotes plant biomass growth and suppresses pathogen damage by directional recruitment. *Frontiers in Microbiology*, *14*, p.1227269. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1227269 .

Tall, S., & Meyling, N. V. (2018). Probiotics for plants? Growth promotion by the entomopathogenic fungus Beauveria bassiana depends on nutrient availability. *Microbial ecology*, *76*(4), 1002-1008. doi: 10.1007/s00248-018-1180-6.

Tandon, A., Fatima, T., Shukla, D., Tripathi, P., Srivastava, S., & Singh, P. C. (2020). Phosphate solubilization by *Trichoderma koningiopsis* (NBRI-PR5) under abiotic stress conditions. *Journal of King Saud University-Science*, *32*(1), 791-798. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.02.001.

Vincent, D., Rafiqi, M., & Job, D. (2020). The multiple facets of plant–fungal interactions revealed through plant and fungal secretomics. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1626. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01626 .

Vermerris, W., Nicholson, R., Vermerris, W., & Nicholson, R. (2006). The role of phenols in plant defense. *Phenolic compound biochemistry*, 211-234. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5164-7_6

Yang, B., Wang, X. M., Ma, H. Y., Yang, T., Jia, Y., Zhou, J., & Dai, C. C. (2015). Fungal endophyte Phomopsis liquidambari affects nitrogen transformation processes and related microorganisms in the rice rhizosphere. *Frontiers in microbiology*, *6*, 982. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00982 .

Zaidi, N. W., Dar, M. H., & Singh S, U. S. (2014). *Trichoderma* species as abiotic stress relievers in plants. In Gupta, V.G., Schmoll, M., Herrea-Estrella, A.,Upadhyay, R. S., Druzhinina, I. and Tuohy, M. (Eds.), *Biotachnology and Bilogy of Trichoderma* (Pp. 515-523). Elsevier, Walthm, MA 02451, USA. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00038-2.

Zhang, H.M. (2008.) Soil bacteria augment *Arabidopsis* photosynthesis by decreasing glucose sensing and abscisic acid levels in planta. *Plant Journal*, *56*(2),264–273. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03593.x. Epub 2008 Jun 28.

© 2024 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.