علوم و تحقیقات بذر ایران
سال یازدهم/ شماره چهارم/ ۱۴۰۳ (۹۵ - ۸۳)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2024.8800

تاثیر ریزوباکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر خصوصیات مورفولوژیکی، نشاسته و عناصر غذایی غده سیب‌زمینی در اردبیل

بهرام دهدار*[۱]، اکبر قویدل[۲]، مینا کریمی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

چکیده

با توجه به محدودیت مصرف کودهای شیمیایی برای سلامت انسان‌ها امروزه توجه بیش‌تری به کودهای زیستی گردیده است. به‌منظور بررسی تاثیر ریزوباکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر خصوصیات مورفولوژیکی، نشاسته و عناصر غذایی غده سیب‌زمینی در اردبیل، آزمایشی به‌صورت گلخان‌های- مزرعه‌ای در محوطه گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی منابع‌طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی به‌صورت طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هشت تیمار در سال ۱۳۹۷ اجرا گردید. تیمارها شامل آزوسپریلوم، آزوسپریلوم به همراه قارچ میکوریز، آزتوباکتر، آزتوباکتر به همراه قارچ میکوریز، سودموناس، سودموناس به همراه قارچ میکوریز، قارچ میکوریز و عدم تلقیح بود. پس از اتمام دوره رشد گیاه، متغیرهایی مانند ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد ساقه اندازه‌گیری شد. هم‌چنین تعداد غده، درصد ماده خشک، نشاسته و NPK اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تاثیر باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی رقم آگریا معنی‌دار بود. باکتری‌های سودوموناس فلورسنس وزن غده را در حدود ۶۳/۹۳ درصد افزایش دادند. بر اساس نتایج آزمایش، باکتری‌های سودوموناس و ازتوباکتر تاثیر بهتری بر شاخص‌های رشد سیب‌زمینی رقم آگریا داشتند.

واژه‌های کلیدی: آگریا، باکتری‌های PGPR، سیب‌زمینی، نشاسته

۱- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. Bahram_dehdar@yahoo.com
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. Ghaviidel@yahoo.com
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. karimi9597@gmail.com
*نویسنده مسئول: Bahram_dehdar@yahoo.com

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) به عنوان سومین محصول مهم غذایی در سطح جهان، نقش مهمی در امنیت غذایی جهانی ایفا می‌کند. در سراسر جهان، سیب‌زمینی یکی از پر مصرف‌ترین سبزیجات است. در حال حاضر، سیب‌زمینی در بیش از ۱۶۰ کشور دنیا کشت می‌شود که به عنوان یکی از چهار محصول عمده زراعی (بعد از گندم، ذرت و برنج) در سراسر جهان با تولید سالانه.۳۸۸/۲ میلیون تن به عنوان غذای اصلی در نظر گرفته می‌شود (Zarzecka *et al*., 2020). عناصر ضروری مانند کلسیم و فسفر و ترکیبات آلی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین و ویتامین‌ها در سیب‌زمینی وجود دارد. علاوه بر این سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین منابع تامین کالری است که برای تولید روزانه انرژی انسان مورد نیاز است (Duhlian *et al*., 2018). مصرف سیب‌زمینی می‌تواند به اشکال مختلف مانند آب پز، سرخ شده و یا به شکل‌های فرآوری شده مانند چیپس، سرخ کرده، پودر، پاپاد سیب‌زمینی و غیره امکان پذیر باشد. تولید سیب‌زمینی در جهان روز به روز در حال افزایش است و سهم مهمی در ارتقای اشتغال روستایی و منبع درآمد ایفا می‌کند (Anwaar *et al*., 2024).

در نظام‌های کشاورزی پایدار کاربرد کودهای زیستی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش عملکرد کیفی و کمی محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است (Begum *et al*., 2022). کشاورزی بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا کاهش قابل‌ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است (Dar *et al*., 2021). تنوع میکروبی خاک به طور فزاینده‌ای به عنوان شاخص حاصلخیزی خاک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. یک رابطه ثابت بین تنوع میکروبی و پایداری اکوسیستم وجود دارد. تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌ها مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، تک یاخته‌ها و جلبک‌ها در ریزوسفر فراوان هستند. در میان این باکتری‌ها یکی از اجزای مهم است. گونه‌های باکتریایی خاصی که با ریزوسفر گیاه در ارتباط هستند، در افزایش رشد، عملکرد و کیفیت گیاه نقش دارند (Pathak *et al*., 2022). بنابراین وجود ریزوباکترها در ریزوسفر می‌تواند اثر خنثی، مضر یا مفیدی بر رشد گیاه داشته باشد. فعالیت میکروبی ممکن است در خاک‌های میکوریزوسفر، هیفوسفر، ریزوسفر و توده‌ها متفاوت باشد. ریزوباکترهای محرک رشد گیاهی (PGPR[1]) به نمایندگی از گروه‌های میکروبی و با قابلیت کلونیزه کردن ریشه‌های گیاه، رشد گیاه را از طریق حالت‌های مختلف غیرمستقیم و مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند تا رشد آن را تقویت و یا از آن در برابر بیماری‌ها یا آسیب‌های ناشی از حمله حشرات محافظت کنند (Mohanty *et al*., 2021). ریزوسفر ناحیه باریکی از خاک است که ریشه گیاهان را احاطه کرده است. ریزوسفر یک مکان غنی از مواد مغذی است که در آن انواع ترکیبات آلی از طریق ترشح و رسوب از ریشه آزاد می‌شود. این ویژگی اکولوژیکی ریزوسفر منابع کربن و انرژی را برای میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند و در نتیجه سرعت رشد و فعالیت میکروبی را تسهیل می‌کند که می‌تواند برای ریشه‌ها مفید باشد. در حالی که جوامع PGPR می‌توانند ریشه‌ها را احاطه کنند و رشد گیاه را تحریک کنند، بنابراین می‌توان ریزوسفر را به‌طور مصنوعی با تعداد بیش‌تری از PGPRهای مربوطه تلقیح کرد و باعث افزایش آن‌ها در محیط ریشه شد (Lotfi *et al*., 2022). PGPR می‌تواند ریشه‌های گیاه را احاطه کنند و از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم، مانند سنتز هورمون‌های گیاهی، تثبیت نیتروژن و انحلال فسفر، که باعث مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود، PGPR دارای جوامع باکتریایی است که در میان آن‌ها گونه‌های سودوموناس و باسیلوس به عنوان غالب شناخته شده اند (Kang *et al*., 2015). باسیلوس تشکیل دهنده هاگ گرم مثبت یکی از مفیدترین گونه‌های PGPR است که به دلیل پایداری ذاتی و ماندگاری طولانی آن، دارای اثرات مفیدی می‌باشد (Liu *et al*., 2021). *Bacillus* spp می‌تواند در دسترس بودن مواد مغذی ضروری ریزوسفر (مانند فسفر و نیتروژن) را با تبدیل شکل پیچیده ماده مغذی به یک نوع ساده بهبود بخشد، در نتیجه کاربرد کودهای سنتی و آلودگی مربوط به آن را کاهش دهد و توسعه پایدار کشاورزی را ارتقا دهد (Upadhyay *et al*., 2020). یکی از میکروارگانیسم‌هایی که می‌تواند در فرآیند جذب بیولوژیکی نقش داشته باشد، ازتوباکتر است. جنس ازتوباکتر یک ریزوباکتری محرک رشد گیاهی (PGPR) است که در ریزوسفر زندگی می‌کند.

[1]Plant Growth Promoting Rhizobacteria

آن‌ها با تثبیت نیتروژن و آزادسازی فیتوهورمون‌ها باعث رشد گیاه می‌شوند (Subardja *et al.*, 2022).

با توجه به اهمیت محصول سیب‌زمینی و اثرات مثبت قارچ‌های میکوریزا و ریزوباکترهای محرک رشد گیاه این پژوهش با هدف بررسی تاثیر ریزوباکترهای محرک رشد و قارچ میکوریز بر خصوصیات مورفولوژیکی، نشاسته و عناصر غذایی غده سیب‌زمینی در اردبیل انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر ریزوباکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر خصوصیات مورفولوژیکی، نشاسته و عناصر غذایی غده سیب‌زمینی، آزمایشی به‌صورت گلخانه‌ای – مزرعه‌ای در گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی منابع‌طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی به‌صورت طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هشت تیمار در سال ۱۳۹۷ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل آزوسپریلوم، آزوسپریلوم به همراه قارچ میکوریز، آزتوباکتر، آزتوباکتر به همراه قارچ میکوریز، سودموناس، سودموناس به همراه قارچ میکوریز، قارچ میکوریز و عدم تلقیح بودند.

ابتدا غده‌ها با استفاده از هیپوکلریت سدیم (۵ درصد) به‌مدت ۳ دقیقه استریل سطحی شدند. سپس به منظور حذف هیپوکلریت سدیم، بذرها با استفاده از آب مقطر ۳ بار شستشو داده‌شد. غده‌های استریل سطحی‌شده به ۴ گروه تقسیم شدند و ۳ گروه از هر کدام در یکی از سوسپانسیون باکتری‌ها در یک ظرف شیشه‌ای به مدت ۳۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. سپس غده‌ها از داخل ظرف خارج شده و به منظور حذف رطوبت اضافی روی فویل استریل منتقل شدند.

به منظور تلقیح غده‌ها با قارچ میکوریز آربوسکولار از هرگروه نصف غده‌ها جدا شده و در محلول (آب+ شکر+ میکوریز) غوطه‌ور شدند. بعد از این مراحل غده‌ها به مدت ۱ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفت تا پوششی از مایه‌تلقیح روی بذور مصرفی ایجاد شود. پس از تلقیح، غده‌ها بلافاصله در عمق حدود ۸ سانتی‌متری گلدان‌های از قبل آماده شده، طبق تیمار و تکرار مورد نظر کاشته شدند. گلدان‌ها پس از کشت به مزرعه منتقل شدند و در هوای آزاد(با کنترل حشرات) به مدت ۳ ماه نگه‌داری شدند. در دورهٔ رشد گیاه، آبیاری گلدان‌ها با آبپاش انجام شد. آبیاری دور اول گلدان‌ها، بلافاصله بعد از کشت به صورت غرقاب و بعد از دو هفته آبیاری بعدی با کنترل رطوبت خاک گلدان‌ها انجام شد.

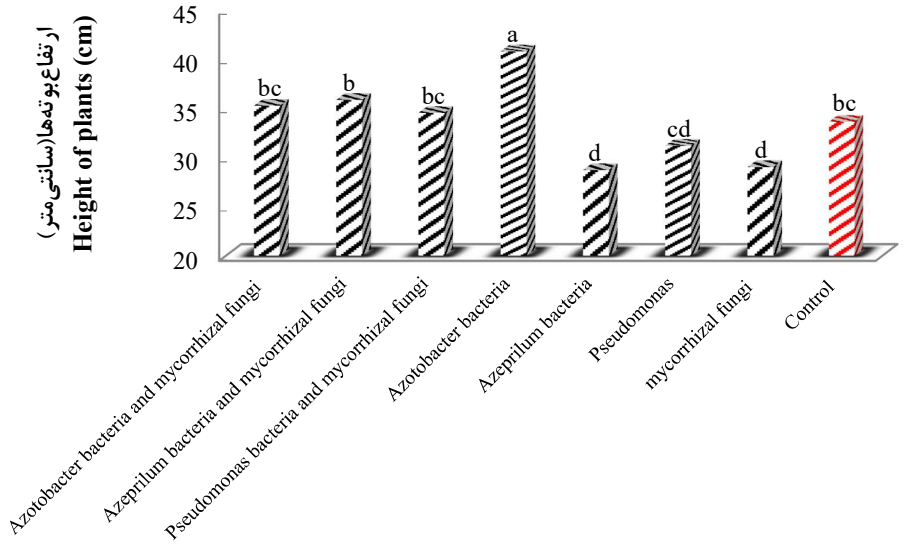
قبل از برداشت، ارتفاع بوته‌ها در هر گلدان با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. هم‌چنین تعداد ساقه و برگ بوته‌ها در هر گلدان شمارش و یادداشت گردید. بعد از برداشت، تعداد غده‌های هر گلدان شمارش و یادداشت گردید. با استفاده از آون و در درجه حرارت $^{\circ}C$ ۱۰۵ میزان رطوبت نشاسته و ماده‌خشک نمونه‌های سیب‌زمینی اندازه‌گیری شد. هم‌چنین درصد نشاسته (Takahiro *et al.*, 2004) و عناصر غذایی اندازه گیری شد. برای تعیین فسفر، پتاسیم و کلسیم غده‌ها از روش سوزاندن درکوره و عصاره‌گیری به روش خاکستر خشک استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.4 انجام گرفت. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف ارزیابی شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تلقیح غده با باکتری‌های محرک‌رشد و قارچ میکوریز بر ارتفاع گیاه به ترتیب در سطح احتمال ۰/۱ و ۰/۵ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱)، نشان داد که تلقیح غده‌ها با ازتوباکتر موجب افزایش ارتفاع نسبت به عدم تلقیح شد. میانگین ارتفاع بوته‌ها در شرایط عدم تلقیح و تلقیح با باکتری به ترتیب به میزان ۳۳/۶۰ و ۴۰/۷۵ سانتی‌متر بود که تلقیح باکتری موجب افزایش ۲۱/۲۸ درصد ارتفاع بوته گردید. هم‌چنین تیمارهای تلقیح ترکیبی آزوسپریلوم و میکوریز وضعیت بهتری نسبت به عدم تلقیح داشتند. کم‌ترین میانگین ارتفاع به آزوسپریلوم و میکوریز تعلق داشت. در این تحقیق مشاهد شد که تلقیح غده‌ها با ازتوباکتر موجب افزایش ارتفاع نسبت به دیگر باکتری‌های‌محرک‌رشد و قارچ میکوریز گردید. دیگر باکتری‌های محرک رشدگیاه (سودوموناس فلورسنس و آزوسپریلوم) زمانی‌که همراه با قارچ میکوریز بودند، میانگین ارتفاع بیش‌تری نسبت به حالت انفرادی داشتند.



شکل۱- مقایسه میانگین ارتفاع گیاه تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

Figure 1. Mean comparison of plant height under the influence of tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر صفات مورفولوژیکی و نشاسته سیبزمینی

Table 1. Analysis of variance of the effect of growth-promoting bacteria and mycorrhizal fungi on morphological traits and potato starch

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع Height	تعداد ساقه Number of stems	تعداد برگ Number of leaves	وزن غده‌ها Tuber weight	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter percentage	درصد نشاسته Starch percentage
تیمار Treatment	7	63.24**	5.37*	2257.88**	3496.89**	2.32**	2.79 **
خطا Error	24	7.87	1.87	200.26	223.87	0.86	0.37
ضریب تغییرات (درصد) CV%		1.87	26.74	10.88	14.85	14.86	14.48

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪

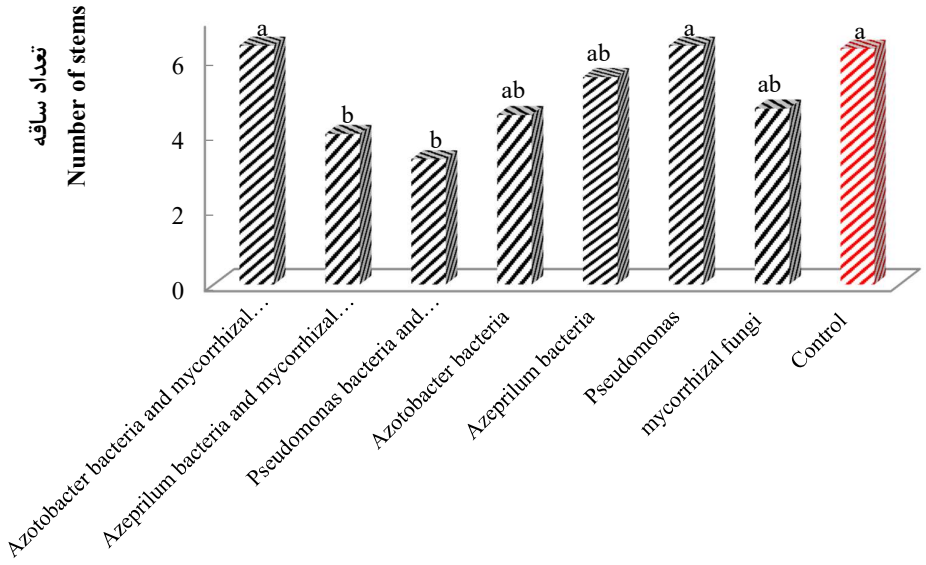
ns, * and ** are non-significant and significant at the five percent, one percent probability level, respectively

تعداد ساقه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تلقیح غده با باکتری‌های محرک‌رشد و قارچ میکوریز بر تعداد ساقه گیاه به ترتیب در سطح احتمال ۰/۱ و ۰/۵ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین (شکل ۲)، نشان داد که بین کاربرد کودهای زیستی بر تعداد ساقه تفاوت معنی‌داری بود. میانگین تعدادساقه در تلقیح ترکیبی آزوسپریلوم – میکوریز و سودوموناس فلورسنس – میکوریز نسبت به عدم تلقیح کم‌تر بوده است. بیش‌ترین میانگین تعداد ساقه از تلقیح ترکیبی ازتوباکتر – میکوریز بدست آمد که با سودوموناس فلورسنس و عدم تلقیح اختلاف معنی‌داری نداشت. اختلاف میانگین تعداد ساقه در این آزمایش بین سودوموناس فلورسنس، ترکیب ازتوباکتر –میکوریز و عدم تلقیح معنی‌دار نبود.

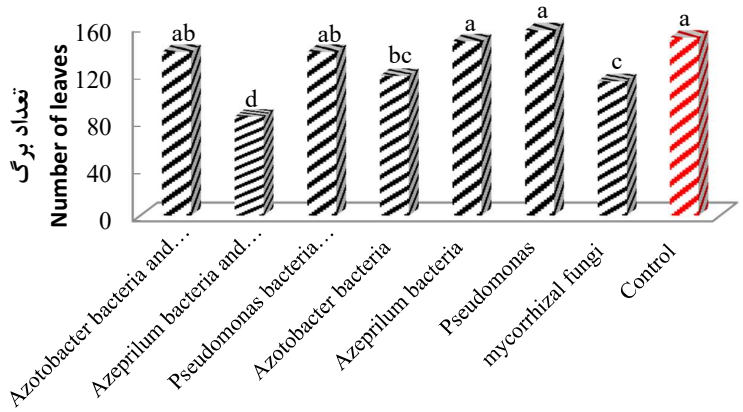
تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها(جدول ۱)، نشان داد که اثر تلقیح غده‌ها با باکتری‌ها و میکوریز بر تعداد برگ در سطح احتمال ۰/۱ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین تعداد برگ (شکل ۳)، نشان داد که بین تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر تعداد برگ تفاوت معنی‌داری داشت. بیش‌ترین میانگین تعداد برگ در تلقیح سودوموناس



شکل۲- مقایسه میانگین تعداد ساقه تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

Figure 2. Mean comparison of number stems affected by tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza



شکل۳- مقایسه میانگین تعداد برگ تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

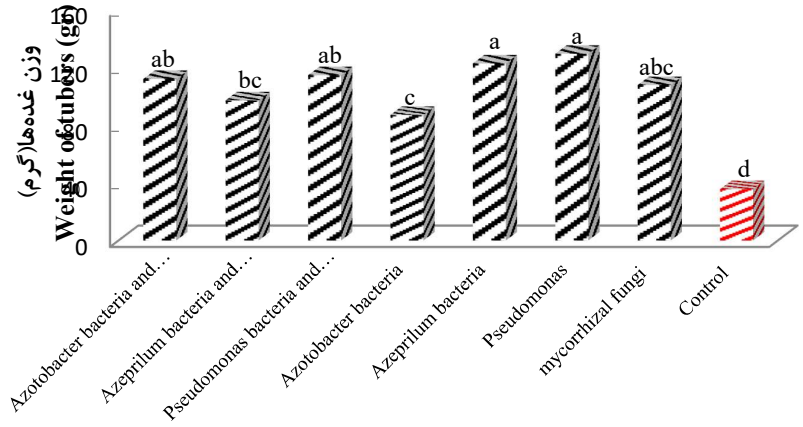
Figure 3. Mean comparison of number of leaves affected by tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza

فلورسنس و کم‌ترین تعداد برگ در تیمار تلقیح ترکیبی آزوسپریلوم و میکوریز به دست آمد.

وزن غده‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر وزن مجموع غده‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود.

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۴) نشان داد که وزن مجموع غده‌ها در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. بیش‌ترین وزن مجموع غده‌ها به باکتری سودوموناس فلورسنس و آزوسپریلوم، کم‌ترین وزن به عدم تلقیح تعلق داشت. میانگین وزن مجموع غده‌ها در تلقیح با سودوموناس فلورسنس ۱۲۱/۴۱ گرم بود در حالی که در شرایط عدم تلقیح ۳۵/۵۵ گرم بود.

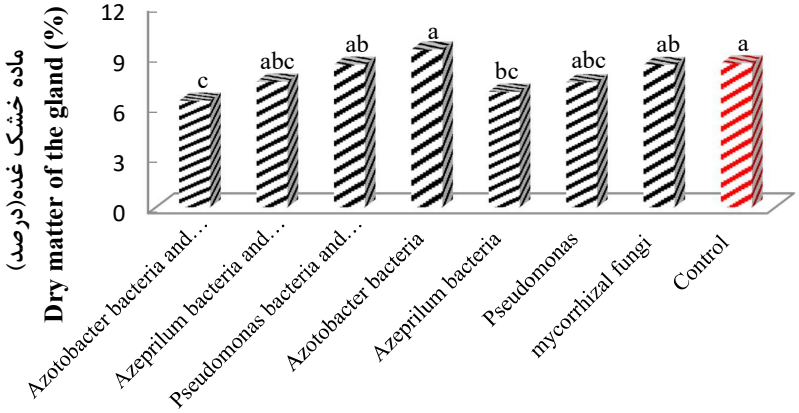


شکل۴- مقایسه میانگین وزن غده تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

Figure 4. Mean comparison of tuber weight under the influence of tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza

درصد ماده خشک غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (۱) نشان داد که اثر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر درصد ماده‌خشک غده‌ها در سطح احتمال ۰/۵ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین درصد ماده خشک غده نشان داد (شکل ۵) که بین تلقیح غده‌ها با ازتوباکتر و تلقیح ترکیبی ازتوباکتر با میکوریز هم‌چنین بین ازتوباکتر و آزوسپریلوم تفاوت معنی‌داری وجود داشت. اما بین شاهد و ازتوباکتر تفاوت معنی‌دار نشد. کم‌ترین درصد ماده‌خشک به ترکیب ازتوباکتر و میکوریز (۶/۳۶ درصد) و بیش‌ترین درصد ماده‌خشک غده به ازتوباکتر(۹/۴۰ درصد) تعلق داشت.

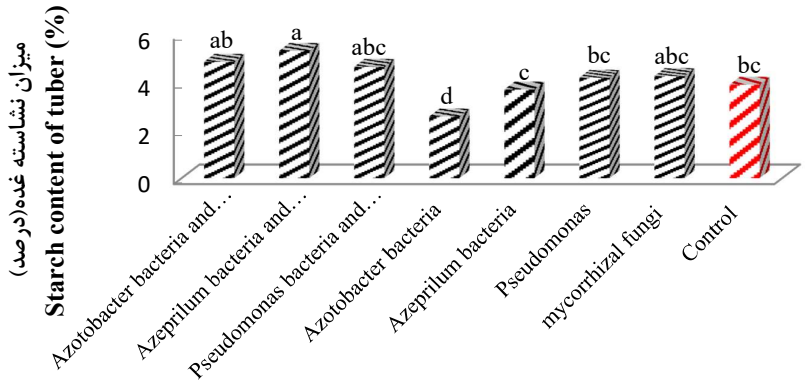


شکل۵- مقایسه میانگین درصد ماده خشک غده تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

Figure 5. Mean comparison of percentage of tuber dry matter affected by tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza

درصد نشاسته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، نشان داد که اثر تلقیح غده‌ها با باکتری‌ها و قارچ میکوریز بر درصد نشاسته، پروتئین و نیتروژن در سطح احتمال ۰/۱ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (شکل ۶)، نشان داد که بیش‌ترین میانگین درصد نشاسته به ترکیب آزوسپریلوم و میکوریز، کم‌ترین آن به ازتوباکتر تعلق داشت. میانگین درصد نشاسته باکتری‌های محرک‌رشد به همراه میکوریز بیش‌تر از حالت انفرادی باکتری‌ها بود.



شکل۶- مقایسه میانگین درصد نشاسته غده تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

Figure 6. Mean comparison of percentage of tuber starch affected by tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza

عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان داد که اثر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک‌رشد و قارچ میکوریز بر سه عنصر از عناصر غذایی گیاه (پتاسیم، کلسیم و فسفر) در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود.

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۷)، نشان داد که کم‌ترین میانگین فسفر به عدم تلقیح (۰/۲۹) تعلق داشت. بیش‌ترین میانگین درصد فسفر در تیمار ترکیبی ازتوباکتر- میکوریز، آزوسپریلوم- میکوریز و میکوریز که باهم تفاوتی نداشتند، بود.

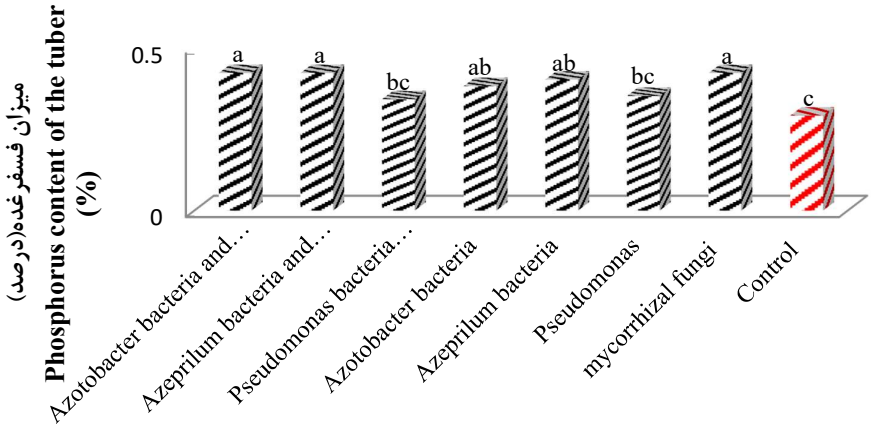
جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر عناصر غذایی سیبزمینی

Table 2. Analysis of variance of the effect of growth-promoting bacteria and mycorrhizal fungi on potato nutrients

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	فسفر P	کلسیم Ca	پتاسیم K
تیمار Treatment	7	0.36**	14.13**	0.007**
خطا Error	24	0.061	2.40	0.0011
ضریب تغییرات (درصد) CV%		11.85	11.85	10.86

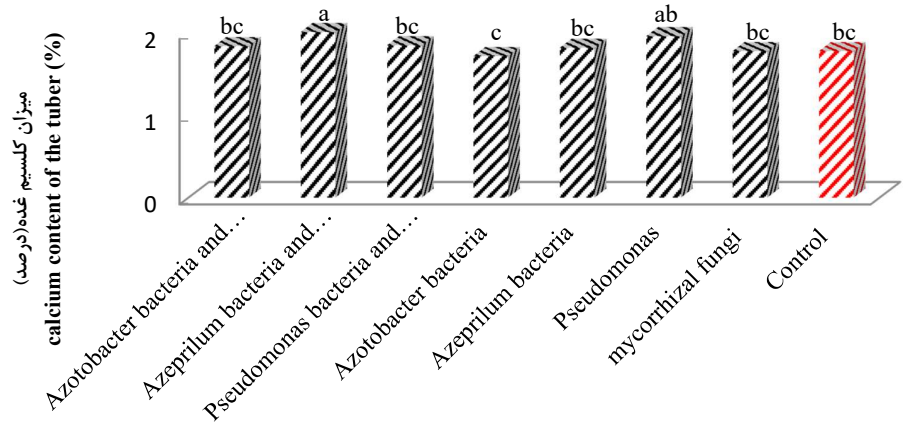
ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪

ns, * and ** are non-significant and significant at the five percent, one percent probability level, respectively



شکل۷- مقایسه میانگین عنصر فسفر تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

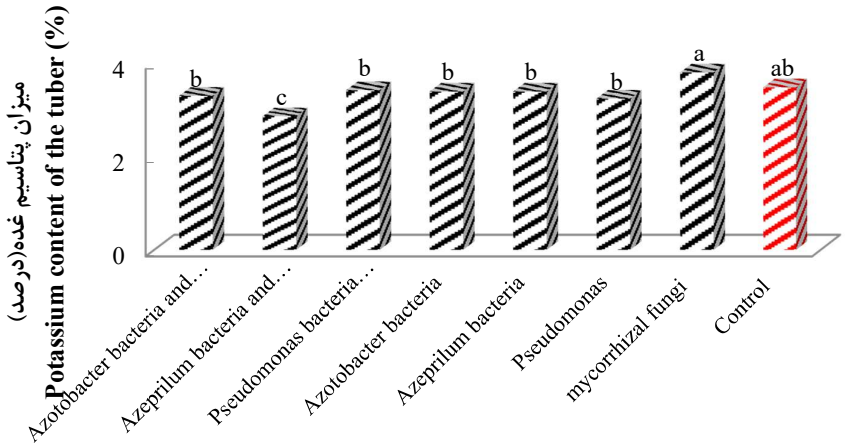
Figure 7. Mean comparison of phosphorus element under the influence of tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza



شکل۸- مقایسه میانگین عنصر کلسیم تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

Figure 8. Mean comparison of calcium content under the influence of tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۸)، نشان داد که بیش‌ترین میانگین درصد کلسیم غده‌ها به تلقیح ترکیبی آزوسپریلوم- میکوریز و کم‌ترین آن به ازتوباکتر تعلق داشت. نتایج مقایسه میانگین (شکل ۹)، نشان داد که میانگین درصد پتاسیم در تیمار تلقیح شده با میکوریز نسبت به تیمارهای تلقیح شده با باکتری‌های محرک‌رشد بیش‌تر بود. کم‌ترین میانگین پتاسیم به آزوسپریلوم به همراه میکوریز تعلق داشت.



شکل۹- مقایسه میانگین عنصر پتاسیم تحت تاثیر تلقیح غده‌ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه و میکوریز

Figure 9. Mean comparison of potassium element under the influence of tuber inoculation with plant growth-promoting bacteria and mycorrhiza

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) یک راه حل سازگار با محیط زیست برای توسعه کشاورزی پایدار انجام می‌دهند و تلقیح PGPR به بخشی جدایی ناپذیر از مدیریت اکوسیستم کشاورزی تبدیل شده است (Verma *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2009). گفته شده است که تلقیح خاک با ریزوباکتری‌های PGPR می‌تواند منجر به تثبیت سرب در خاک ریزوسفر از طریق آرایش ترکیبات کلات و ترکیبات پیچیده با هیدروکسیدهای آهن شود (Belogolova *et al.*, 2020). هادی و بانو (Hadi and Bano, 2010) به این نتیجه رسیدند که میکروب‌های دیازوتروفیک (ریزوبیوم و آزوتوباکتر) رشد ذرت را در خاک افزایش دادند.

فناوری‌های مبتنی بر ریزوباکترها ممکن است گزینه مناسبی برای کوددهی بیولوژیکی و حفاظت از محصولات باشند. اثرات دو تلقیح میکروبی (۱) PPS: *Pseudomonas protegens*، *P. jessenii* و *Stenotrophomonas maltophilia* سویه‌های باکتری کنترل زیستی و (۲) TPB: *Trichoderma atroviride*، *Pseudomonas putida*، و *Bacillus subtilis*، قارچ‌ها و باکتری‌های بیوکنترل، ترکیبی از بیوکنترل در سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گرفتند (Papp *et al*., 2021). نتایج نشان داد که تلقیح سیب‌زمینی با باکتری پسودوموناس موجب کاهش بیماری گردید. اثرات مفید میکروب‌های انتخاب شده خاک بر عملکرد گیاه در چندین مطالعه قبلی نشان داده شده است (Zechmeister-Boltenstern *et al*., 2015; *Mensink et al*., 2007). هم‌چنین مشخص است که باکتری‌ها و قارچ‌های احاطه کننده ریزوسفر سیب‌زمینی بسیار خاص هستند و می‌توانند تحت تأثیر محیط میکرو قرار گیرند. بنابراین استفاده از تلقیح‌های میکروبی یک رویکرد امیدوارکننده در کشاورزی است. اهمیت این نوع کاربرد نه تنها برای سیب‌زمینی، بلکه برای چندین محصول کشاورزی دیگر از جمله گوجه فرنگی (Dudás *et al*., 2017)، جو (Biró *et al*., 2012)، ذرت (Kumar *et al*., 2016) و یونجه (Li *et al*., 2020) به طور مداوم در حال افزایش است. با این حال، ترکیب مناسب محصولات کود زیستی صنعتی و روش بهینه تلقیح شامل زمان و کاربرد نیاز به توسعه بیش‌تر دارد.

سمیت بلوگولووا و همکاران (۲۰۲۰) هم‌چنین کاهش جذب سرب توسط قسمت‌های بالایی گندم (*Triticum aestivum* L)، جو (*Avena sativa* L)، نخود (*Pisum sativum* L) و تربچه (*Raphanus sativus* L) را گزارش کردند. انتظار می‌رود تلقیح میکروبی در خاک باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه در خاک آلوده به سرب شود.

در تیمارهای تلقیح شده با کود زیستی افزایش وزن خشک گیاه می‌تواند به علت افزایش جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نتیجه گسترش ریشه باشد (Rouzbeh *et al*., 2009). Shweta و همکاران (۲۰۱۱) افزایش رشد و بیوماس کنجد تلقیح هم زمان با باکتری‌های *P.fluorescens*، ازتوباکتر کروکوکوم و قارچ *G. fasciculatum* را گزارش کردند. این پژوهش‌گران اظهار کردند که این نتایج وجود رابطه هم افزایی بین باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه را تأیید کرده و نشان می‌دهد که این همکاری مفید بین این ریز موجودات موجب بهبود رشد گیاه و میزان تولید محصول در واحد سطح می‌گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده حداقل صفات مورفولوژیکی گیاه از جمله ارتفاع بوته‌ها، تعدادساقه، تعداد برگ و شاخه برگ‌جانبی و تعداد غده‌ها به آزوسپریلوم و میکوریز تعلق داشت. به‌نظر می‌رسد قارچ‌های میکوریزا با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح جذب ریشه باعث بهبود استقرار گیاه، افزایش جذب آب و نیتروژن و مس روی، فسفر، مخصوصا غذایی می‌شوند و در نتیجه موجب افزایش صفات موفولوژیکی می‌شوند (Vafaee *et al*., 2020). عناصرسودوموناس فلورسنس و ازتوباکتر نسبت به دیگر تیمارها برتر بودند. با نتایج بشارتی (Besharati, 2022) که افزایش ارتفاع و رشد اندام‌هوایی گیاه را در نتیجه کاربرد سویه‌های مختلف ازتوباکتر در آزمایش گلخان‌های بر روی گیاه گندم گزارش کردند، مطابقت دارد. بهبود و همکاران (Behbood *et al*., 2012) در این ارتباط دریافتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر روی تعداد ساقه معنی‌دار نیست. تحقیقات روزن و بیرمن (Rosen and Bierman, 2008) نشان داد که کاربرد کود فسفر، تعداد ساقه در هر بوته سیب‌زمینی را افزاش می‌دهد. گزارش شده است که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه به‌ویژه ازتوباکتر ممکن است ارتفاع و باروری گیاه را از طریق تولید هورمون‌های گیاهی افزایش دهد. هم‌چنین تولید هورمون اکسین توسط باکتری‌ها در بین گونه‌های مختلف متفاوت بوده و تحت تاثیر محیط کشت، مرحله رشدی گیاه و توانایی باکتری‌ها قرار می‌گیرد (Riaz *et al*., 2021). افزایش ارتفاع در اثر کاربرد کودهای زیستی توسط قنبری و همکاران (Ghanbary *et al*., 2020) گزارش شده است. طی آزمایشی بیش‌ترین عملکرد و درصد ماده‌خشک مینی‌تیوبر در گیاهان رقم آریندا تلقیح شده با ازتوباکتر دیده شد (Naeim and Atrashi, 2014).

میزان نشاسته غده‌ها طبق مقایسه میانگین نشان داد که میزان نشاسته در تیمارهای توام‌باکتری‌های محرک‌رشد و قارچ میکوریز نسبت به حالت انفرادی بیش‌تر بود. نشاسته یکی از شاخص‌های مهم در کیفیت سیب‌زمینی می‌باشد. در تبدیل قند به نشاسته، فسفر یک عنصر مهم به شمار می‌آید. تأمین فسفر از طریق باکتری‌های محرک رشد با

کاهش pH از طریق ترشح ترکیبات آلی، باعث تسهیل در تبدیل قندها به نشاسته می‌شود (Begum *et al*., 2022).

به نظر می‌رسد تلقیح غده‌های سیب‌زمینی با باکتری‌ها و قارچ‌های محرک رشد علاوه‌بر تولید تنظیم‌کننده‌های رشد باعث توسعه سطح فعال سیستم ریشه‌ای و افزایش دسترسی گیاه به آب و عناصرغذایی شده و در نهایت افزایش عملکرد گیاه را موجب می‌شوند. هم‌چنین ممکن است این ریزجانداران از طریق مکانسیم‌هایی از جمله انحلال فسفات و ترشح سیدروفور باعث افزایش عملکرد گیاه شده باشد. سلیک و همکاران (Celik *et al*., 2004) در همین راستا گزارش کردند که کاربرد باکتری‌ها و قارچ‌های محرک رشد باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود و از این طریق عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد. محمودزاده و همکاران (Mahmoudzadeh *et al*., 2015) گزارش کردند که تیمارهای باکتریایی و قارچی منجر به افزایش معنی‌دار در عناصر غذایی شدند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج آزمایش، باکتری‌های سودوموناس و ازتوباکتر تاثیر بهتری بر شاخص‌های رشد سیب‌زمینی رقم آگریا داشتند. هم‌چنین بیش‌ترین میانگین درصد عناصر در تیمار تلقیح شده با میکوریز نسبت به تیمارهای تلقیح شده با باکتری‌های محرک‌رشد بیش‌تر بود. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد باکتری و میکوریز به‌تنهایی نسبت به کاربرد توام باکتری و میکوریز، روی صفات اندازه‌گیری شده اثر کم‌تری داشت.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان برخود لازم می‌دانند که ازتمامی افرادی که در اجرای پژوهش همکاری داشتند کمال تشکر و قدردانی را نمایند.

منابع

Anwaar, S., Ijaz, DeS. and Anwar, T. 2024. Boosting *Solanum tuberosum* resistance to *Alternaria solani* through green synthesized ferric oxide (Fe_2O_3) nanoparticles. *Sci Rep* 14, 2375 (2024). https://doi.org/10.1038/s41598-024-52704-1**(Journal)**

Begum, N., Wang, L., Ahmad, H., Akhtar, K., Roy, R., Khan, MI., Zhao, T.. 2022 Co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and the plant growth-promoting rhizobacteria improve growth and photosynthesis in tobacco under drought stress by up-regulating antioxidant and mineral nutrition metabolism. Microbial Ecology 83(4): 971-988. **(Journal)**

Behbood, M., A. Golchin and H. Besharati, 2012. The effect of phosphorus and growth-promoting bacteria, Pseudomonas fluorescens, on the yield and quality of potato. Agria cultivar. Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Industries). 26(2): 260-271. **(In Persian)(Journal)**

Belogolova, G., Gordeeva, O., Sokolova, M., Pastukhov, M., Vaishlya, O., Poletaeva, V. and Belozerova, O. 2020 Transformation of lead compounds in the soil-plant sys-tem under the influence of Bacillus and Azotobacter rhi-zobacteria. Chemistry and Ecology, 36(3), 220-235. DOI: 10.1080/02757540.2020.1723557. **(Journal)**

Biró B., Kádár I., Lampis S., Gullner G., and Kőmíves T. 2012. Inside and outside rhizosphere parameters of barley and dose-dependent stress alleviation at some chronic metal exposures. Acta Phytopathol. Entomol. Hung. 2012; 47:373–383. doi: 10.1556/APhyt.47.2012.2.17**(Journal)**

Celik, I., I. Ortas and S. Kilic, 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research* 78: 59-67. **(Journal)**

Dar SA, Bhat RA, Dervash MA, Dar ZA, Dar GH. 2021. Azotobacter as biofertilizer for sustainable soil and plant health under saline environmental conditions. In *Microbiota and Biofertilizers* (pp. 231-254). Springer, Cham. **(Journal)**

Dudás A., Kotroczó Z., Vidéki E., Wass-Matics H., Kocsis T., Szalai M.Z., Végvári G., and Biró B. 2017. Fruit quality of tomato affected by single and combined bioeffectors in organically system. Pak. J. Agric. Sci. 2017; 54:847–856. **(Journal)**

Ghanbary, E., Fathizadeh, O., and Tabari, M. 2020. The effect of mycorrhizal fungi and growth-promoting rhizobacteria on the activity of antioxidant enzymes of Calotrope seedlings under drought stress. *Forest Research and Development*, *6*(3), 477-489. doi: 10.30466/jfrd.2020.120866. **(In Persian)(Journal)**

Hadi, F. and Bano, A. 2010. Effect of diazotrophs (*Rhizobium andAzatebactor*) on growth of maize (*Zea mays* L.) and accumu-lation of lead (Pb) in different plant parts. Pak. J. Bot., 42(6), 4363-4370. **(Journal)**

Kang, S.; Radhakrishnan, R.; Lee, K.; You, Y.; Ko, J.; Kim, J.and Lee, I. 2015. Mechanism of plant growth promotion elicited by Bacillus sp. LKE15 in oriental melon. Acta Agric. Scand. Sect. B—Soil Plant Sci. 2015, 65, 637–647. **(Journal)**

Kumar A., Kuzyakov Y., Pausch and J. 2016.Maize rhizosphere priming: Field estimates using 13C natural abundance. Plant Soil. 2016; 409:87–97. doi: 10.1007/s11104-016-2958-2**. (Journal)**

Kumar, S.; Pandey, P.and Maheshwari, D. 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent Pseudomonas aeruginosa LES4. Eur. J. Soil Biol. 45, 334–340. **(Journal)**

Li H., Qiu Y., Yao T., Ma Y., Zhang H., and Yang X. 2020.Effects of PGPR microbial inoculants on the growth and soil properties of Avena sativa, Medicago sativa, and Cucumis sativus seedlings. Soil Tillage Res. 2020; 199:104577. doi: 10.1016/j.still.2020.104577. **(Journal)**

Liu, X.; Wei, Z.; Ma, Y.; Liu, J.and Liu, F. 2021.Effects of biochar amendment and reduced irrigation on growth, physiology, water-use efficiency and nutrients uptake of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) on two different soil types. Sci. Total Environ. 2021, 770, 144769. **(Journal)**

Lotfi, N., Soleimani, A., and Çakmakçı, R. 2022. Characterization of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in Persian walnut associated with drought stress tolerance. Sci Rep 12, 12725.https://doi.org/10.1038/s41598-022-16852-6**. (Journal)**

Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadghiaei, M.H. and Asgari Lajair, H. 2015. The effect of rhizosphere bacteria stimulating plant growth and mycorrhizal arbuscular fungi on morphological characteristics and concentrations of high consumption elements of peppermint (*Mentha piperita* L.) in greenhouse conditions. Science and technology of greenhouse crops. 6 (24): 167-155. **(In Persian)(Journal)**

Mensink B.J.W.G., and Scheepmaker J.W. 2007.How to evaluate the environmental safety of microbial plant protection products: A proposal. Biocontrol Sci. Technol. 2007; 17:3–20. doi: 10.1080/09583150600936982. **(Journal)**

Mohanty P, Singh PK, Chakraborty D, Mishra S and Pattnaik R. 2021. Insight Into the Role of PGPR in Sustainable Agriculture and Environment. Front. Sustain. Food Syst. 5:667150. doi.org/10.3389/fsufs.2021.667150. **(Journal)**

Naeim, A.H. and Atrashi, M. 2014. Investigation of the effect of plant growth-promoting bacteria and fungi on yield growth and some growth parameters of three potato cultivars (*Solanum tuberosum*). Journal of Production and Processing of Crop and Horticultural Products. 4 (13): 48-37. **(In Persian) (Journal)**

Papp O, Kocsis T, Biró B, Jung T, Ganszky D, Abod É, Tirczka I, Tóthné Bogdányi F, and Drexler D. 2021. Co-Inoculation of Organic Potato with Fungi and Bacteria at High Disease Severity of Rhizoctonia solani and Streptomyces spp. Increases Beneficial Effects. Microorganisms. 2021 Sep 25;9(10):2028. doi: 10.3390/microorganisms9102028. PMID: 34683349; PMCID: PMC8540471. **(Journal)**

Pathak D, Lone R, Nazim N, Alaklabi A, Khan S, and Koul KK. 2022.Plant growth promoting rhizobacterial diversity in potato grown soil in the Gwalior region of India. Biotechnol Rep (Amst). 2022 Feb 17;33: e00713. doi: 10.1016/j.btre. 2022.e00713. PMID: 35242621; PMCID: PMC8866904. **(Journal)**

Riaz U, Murtaza G, Anum W, Samreen T, Sarfraz, M, Nazir MZ (2021) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers and biopesticides. In Microbiota and Biofertilizers (pp. 181-196). Springer, Cham. **(Journal)**

Rosen, C.J. and P.M. Bierman, 2008. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. American Journal of Potato Research, 85(2): 110-120. **(Journal)**

Rouzbeh, R., Daneshian, J., and Farahani, H.A. 2009. Super nitro plus influence on yield and yield components of two wheat cultivars under NPK fertilizer application. Journal of Plant Breeding and Crop Science, 1: 293-297. **(In Persian)(Journal)**

Shweta, T.S. and Lakshman, H.C. 2011 Synergistic Interactions among Azotobacter, Pseudomonas, and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Two Varieties of *Sesamum indicum* L. Commun. Soil Science and Plant Nutrition, 42: 2122-2133. **(Journal)**

Subardja, V. O., Hindersah, R., Sudirja, R. and Suryatmana, P. 2022. Effect of Azotobacter sp. inoculation on sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) yield in lead-contaminated soil. Bulg. J. Agric. Sci., 28 (2), 229–237**. (Journal)**

Takahiro, N., T. Shogo, M. Motoyuki, T. Shigenobu, M. E. Chie, S. Yasuyuki and and Y. Hiroaki, 2004. The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. Food Chemistry, 86: 119-125. **(Journal)**

Upadhyay, K.; Dhami, N.; Sharma, P.; Neupane, J.and Shrestha, J. 2020.Growth and yield responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to biochar. Agraarteadus. 31: 244–253. **(Journal)**

Vafaee, M., Golchin, A., moradi, F. and Shariatzade, A. 2020. The Effect of Growth Hormones and Mycorrhizal Fungi on the Yield of Potato Plant (Agria Cultivar). Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(7), 1623-1635. doi: 10.22059/ijswr.2020.298423.668514. **(In Persian) (Journal)**

Verma, J.; Yadav, J.; Tiwari, K.and Kumar, A. 2013. Effect of indigenous Mesorhizobium spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. Ecol. Eng. 51: 282–286. **(Journal)**

Zechmeister-Boltenstern S., Keiblinger K.M., Mooshammer M., Peñuelas J., Richter A., Sardans J., and Wanek W. 2015. The application of ecological stoichiometry to plant–microbial–soil organic matter transformations. Ecol. Monogr. 2015;85: 133–155. doi: 10.1890/14-0777.1. **(Journal)**

The effect of growth-promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi on morphological characteristics, starch and nutrients of potato tubers in Ardabil

Bahram Dehdar*[1], Akbar Ghavidel[2], Mina Karimi[3]

Received: December 25, 2024 Accepted: Marsch 11, 2025

Abstract

Given the limitations of chemical fertilizer use for human health, more attention has been paid to biofertilizers today. To investigate the effect of growth-promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi on morphological characteristics, starch, and nutrient elements of potato tubers in Ardabil, a field greenhouse experiment was conducted in the greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, in a completely randomized basic design with four replications and eight treatments in 2018. The treatments included *Azosprillum*, *Azosprillum* with mycorrhizal fungi, *Azotobacter*, *Azotobacter* with mycorrhizal fungi, *Pseudomonas*, *Pseudomonas* with mycorrhizal fungi, mycorrhizal fungi, and no inoculation. After the plant growth period was completed, variables such as plant height, number of leaves, number of stems were measured. Also, the number of tubers, percentage of dry matter, starch, and NPK were measured. The results showed that the effect of growth-promoting bacteria and mycorrhizal fungi on the yield and quality of potato cultivar Agria was significant. *Pseudomonas fluorescent* bacteria increased tuber weight by about 63.93%. According to the experimental results, *Pseudomonas* and *Azotobacter* bacteria had a better effect on the growth indices of potato cultivar Agria.

Keywords: Agria; PGPR bacteria; Potato; Starch

How to cite this article

Dehdar, B., Ghavidel, A. and Karimi, M. 2025. The effect of growth-promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi on morphological characteristics, starch and nutrients of potato tubers in Ardabil. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(4): 83-95. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2024.8800

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Research Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardebil, Iran. Bahram_dehdar@yahoo.com

2. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Ghaviidel@yahoo.com

3. MSc Gratuated, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. M.karimi9597@gmail.com

*Corresponding author: Bahram_dehdar@yahoo.com