



Study the Possibility of Replacing Triple Super Phosphate Chemical Fertilizer Using Biological Fertilizers in Mungbean (*Vigna radiate* L.) Cultivation

Afsaneh Arefi¹ | Mohammad Mirzaei Heydari^{2✉} | Abbas Maleki³

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Iran. Email: afsanearafi@iau.ir
2. Corresponding Author, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran. Email: mirzaeiheydari@iau.ir
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran. Email: malekiabbas@iau.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: December 26, 2023
Received in revised form: July 09, 2024
Accepted: July 16, 2024
Published online: December 21, 2024

Keywords:

Biofertilizer,
mungbean,
phosphate solubilizing
bacteria,
Pseudomonas,
triple superphosphate.

ABSTRACT

In order to investigate the possibility of replacing triple superphosphate fertilizer with biological fertilizers in mung bean cultivation, a study was conducted as a split-plot experiment in a randomized block design with three replications, was conducted in a research field in Malekshahi town, Ilam province, Iran in 2013. Treatments included five levels of triple superphosphate fertilizer (P) as the main plot including 0, 25, 50, 75, and 100% of the recommended amount, and biofertilizer (B) as sub-plots in four levels including without inoculation (B0), mycorrhiza (B1), phosphate solubilizing bacteria (*Pseudomonas*) (B2) and combination of mycorrhiza and *pseudomonas* (B3). Results showed that phosphorous fertilizer significantly affected whole studied traits excluding root nodes number. The highest and lowest seed yield was achieved with 75% of triple superphosphate fertilizer, 1354.45 kg/ha, which showed a 73% increase compared to the control (no phosphorus fertilizer). In addition, biofertilizer had a significant effect on all studied traits excluding days to reaching, so the highest grain yield obtained in *pseudomonas* treatment by 1238.82 kg/ha. Overall, results showed that biofertilizers from different sources could reduce phosphorous fertilizer requirement and therefore in increasing yield.

Cite this article: Arefi, A., Mirzaei Heydari, M., & Maleki, A. (2024). Study the possibility of replacing triple super phosphate chemical fertilizer using biological fertilizers in mungbean (*Vigna radiate* L.) cultivation. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(4), 179-191. Doi: 10.22059/ijfcs.2024.369331.655053.





انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

شماره الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

بررسی امکان جایگزینی کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با استفاده از کودهای بیولوژیک در کشت ماش (*Vigna radiate* L.)

افسانه عارفی^۱، محمد میرزایی حیدری^۲✉، عباس ملکی^۳

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایران. رایانامه: afsanearefi@iau.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. رایانامه: mirzaeiheydari@iau.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایران. رایانامه: malekiabbas@iau.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱ کلیدواژه‌ها: باکتری حل کننده فسفات، سوپر فسفات تریپل، سودوموناس، کود زیستی، ماش.	به منظور بررسی امکان جایگزینی کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با استفاده از کودهای بیولوژیک در کشت ماش، آزمایشی به صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان ملکشاهی، استان ایلام در سال ۱۳۹۲ انجام شد. کود سوپر فسفات تریپل (P) در پنج سطح شامل ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰٪ میزان توصیه شده منطقه به عنوان کرت های اصلی و کود زیستی (B) به عنوان کرت های فرعی در چهار سطح شامل عدم تلقیح (B0)، قارچ میکوریزا (B1)، باکتری محلول کننده فسفات (سودوموناس، B2) و ترکیب قارچ میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات (B3) بودند. نتایج این بررسی نشان داد که کود فسفر تأثیر معنی داری بر تمامی صفات بجز تعداد گره ریشه داشت. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب با مصرف ۷۵ درصد کود سوپر فسفات تریپل ۱۳۵۴/۴۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد (عدم مصرف کود فسفر) ۷۳ درصد افزایش نشان داد. همچنین، کود بیولوژیک تأثیر معنی داری بر کلیه صفات مورد ارزیابی بجز تعداد روز تا رسیدگی داشت؛ به طوری که بیشترین عملکرد دانه در تیمار تلقیح بذر با سودوموناس با میانگین ۱۲۳۸/۸۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. به طور کلی، نتایج این بررسی نشان داد که منابع مختلف کودهای بیولوژیک می توانند نیاز به مصرف کود فسفر را کاهش دهند و از این طریق به افزایش عملکرد منجر گردند.

استناد: عارفی، ا.، میرزایی حیدری، م.، و ملکی، ع. (۱۴۰۳). بررسی امکان جایگزینی کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با استفاده از کودهای بیولوژیک در کشت ماش (*Vigna radiate* L.). علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۵(۴)، ۱۷۹-۱۹۱.

DOI: 10.22059/ijfcs.2024.369331.655053



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

روند افزایش مستمر در تقاضا و مصرف محصولات، کشاورزان را ناگزیر به کاربرد روش‌های مدیریتی فشرده کرده که هدف آن افزایش تولید محصولات زراعی است (Barari Tari *et al.*, 2020). این نوع کشاورزی فشرده برای جبران کمبود عناصر غذایی در خاک، با مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی، علاوه بر هزینه زیاد، به دلیل بازدهی کم و برهم زدن تعادل عناصر غذایی خاک، می‌تواند باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی شود (Barari Tari *et al.*, 2020). از این رو کشاورزی پایدار به دلیل علاقه فزاینده به حفاظت منابع طبیعی، کاهش تخریب زیست‌محیطی و افزایش هزینه کودها، به‌ویژه به منظور تولید در کشورهای در حال توسعه مورد توجه بسیاری قرار گرفته است (Barari Tari *et al.*, 2020; Mirzaei Heydari & Bagheri, 2022).

یکی از محدودیت‌های اصلی در کشاورزی، خاک‌های با حاصلخیزی ضعیف و نامناسب است که نیازهای تغذیه‌ای و رشدی را برآورده نمی‌کنند و در نتیجه قادر به دستیابی به تولید بالا نیستند. فسفر یکی از حیاتی‌ترین عنصر برای رشد گیاه است که برهمکنش زیادی با خاک دارد (Fathi & Mehdiniya Afra, 2023). خاک کشاورزی دارای ذخایر عظیم فسفر است، اما تمام این فسفر به آسانی در دسترس گیاهان نیست، به‌خصوص در خاک‌های اسیدی و بسیار هوازده. در صورت مصرف کود حاوی فسفات می‌تواند به اکسیدهای آهن و آلومینیوم متصل شود و ترکیبات نامحلول تشکیل دهد. فسفات در خاک‌های قلیایی می‌تواند با کلسیم و منیزیم متصل شود و به دلیل واکنش‌پذیری بالای آن برای گیاهان در دسترس نباشد. بنابراین، بخش کوچکی از فسفر برای جذب در دسترس گیاهان است (Dos Santos *et al.*, 2012; Fathi & Mehdiniya Afra, 2023). طبق گزارش محققان حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد از کود فسفر استفاده‌شده در سال اول توسط ریشه‌های گیاه جذب می‌شود؛ درحالی‌که مقدار زیادی به‌عنوان فسفر ثابت در خاک تجمع می‌شود که در دسترس گیاهان نیست؛ بنابراین یافتن جایگزین‌هایی برای کاهش مصرف کودهای فسفاته ضروری است (Syers *et al.*, 2008).

برای کاهش این مخاطرات و نیل به اهداف کشاورزی پایدار، باید از منابع و نهادهایی استفاده کرد که علاوه بر تأمین نیازهای فعلی گیاه باعث پایداری سیستم‌های کشاورزی در درازمدت نیز شود (Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2023a). بنابراین استفاده از کودهای زیستی و انتخاب بهترین گونه ریزجاندار که بیشترین سازگاری را نسبت به اقلیم منطقه داشته باشد می‌تواند در پایداری سیستم کشاورزی مفید واقع شود (Eyni *et al.*, 2023). باکتری‌های محرک رشد گیاه اغلب در نزدیکی یا حتی درون ریشه گیاهان یافت می‌شوند. این باکتری‌ها از طرق مختلفی از جمله تثبیت نیتروژن، سنتز و تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش، رشد گیاهان را ارتقاء می‌بخشند. کودهای زیستی تولید شامل انواع گوناگون از باکتری‌ها یا قارچ‌های زنده‌ای هستند که توانایی تثبیت زیستی نیتروژن یا حل کردن فسفر و افزایش جذب فسفات موجود در خاک را دارند (Mirzaei Heydari & Babaei, 2022; Taghavi Ghasemkheili *et al.*, 2022; Naseri *et al.*, 2020).

کودهای زیستی از جمله نهادهای طبیعی هستند که می‌توانند به‌عنوان مکمل یا جایگزین کودهای شیمیایی در کشاورزی پایدار به کار برده شوند (Fathi *et al.*, 2017). محققان بیان کردند که به‌طور کلی قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شد، زیرا از یک طرف این قارچ‌ها دارای ریشه‌های فراوانی بوده که این ریشه‌ها وارد ریشه‌های گیاه شده و بر وزن ریشه می‌افزایند و از طرف دیگر با جذب فسفر و آب سبب افزایش اجزای عملکرد می‌شوند (Pezeshkpour *et al.*, 2008)؛ Mirzaei Heydari, 2021). قارچ‌های میکوریزا نقش مهمی در بهبود تغذیه و رشد گیاهان دارند؛ به‌نحوی که قارچ‌های میکوریزا با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح جذب آب و عناصر غذایی در شرایط تنش افزایش داده و موجب بهبود رشد و نمو گیاه می‌شوند (Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2023b; Safari & Mirzaei Heydari, 2018; Mirzaei Heydari & Mishkhaszadeh, 2023). Asrar *et al.* (2012) بیان کردند که تلقیح میکوریز آربوسکولار همراه با ریزوبیوم یا به‌تنهایی منجر به افزایش عملکرد دانه، گسترش ریشه و مقدار فسفر دانه و ساقه شد. در تحقیقی با استفاده از گونه‌های *G. intraradices* و *G. mosseae* بیش‌ترین میزان فسفر برگ در گیاهان ماش به‌ترتیب ۲/۲۶۰ و ۳/۲۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ بود (Habibzadeh *et al.*, 2012). باکتری‌های حل‌کننده فسفر از ریزجانداران ریزوسفری هستند که از طریق معدنی-نمودن فسفر آلی یا انحلال فسفر غیر آلی، قابلیت دسترسی گیاه به فسفر را افزایش می‌دهند (Babaei *et al.*, 2018). گرچه این

ریزجانداران درصد کمتری از جمعیت خاک را به خود اختصاص می‌دهند، ولی در بیشتر خاک‌ها وجود داشته؛ به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد خاکها شامل باکتری‌های حل‌کننده فسفر می‌باشند (Gurbanov *et al.*, 2021). تثبیت نیتروژن، انحلال فسفر و افزایش رشد اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان از جمله اثرات مفید برخی از گونه‌های باسیلوس است. باکتری‌های سودوموناس نیز از مهمترین اعضای جامعه ریزموجودات ریزوسفری می‌باشند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک، با تولید مقادیر قابل ملاحظه مواد محرک رشد به‌ویژه انواع اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها موجب افزایش رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی می‌گردند (Mirzaei Heydari & Babaei, 2022; Mirzaei Heydari, 2013). حضور باکتری‌های محرک رشد در ریزوسفر گیاه از نظر تأمین عناصر ضروری گیاه به‌خصوص نیتروژن و فسفر اهمیت زیادی دارد (Mirzaei Heydari, 2013; Fathi *et al.*, 2016). نیتروژن به دلیل شرکت در ساختمان پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، آمینواسیدها، کوآنزیم‌ها، فلاووپروتئین‌ها و کلروفیل، مهمترین عنصر ضروری برای رشد گیاه است (Fathi, 2022).

ماش (*Vigna radiate*) از جمله گیاهان خانواده بقولات است که در حال حاضر در قسمت‌های مختلف دنیا کشت می‌شود و نقش بسزایی را در تغذیه مردم کشورهای در حال توسعه دارد (Kadhim Joni Alsaedi *et al.*, 2023). ماش یکی از رایج‌ترین گیاهانی است که در سیستم‌های زراعی غلات-حبوبات مورد استفاده قرار می‌گیرد و به دلیل قابلیت تثبیت نیتروژن هوا، کوتاهی دوره رشد، تقویت زمین، جلوگیری از فرسایش خاک و محصول نسبتاً بالا از اهمیت خاصی برخوردار است (Abbasi *et al.*, 2022; Lotfi *et al.*, 2021).

از آنجایی‌که ماش تثبیت‌کننده نیتروژن می‌باشد کمتر اثرات ترکیبی کودهای شیمیایی و زیستی فسفره مورد بررسی قرار گرفته است. لذا با توجه به خلا تحقیقاتی در مورد بررسی اثرات کود فسفر و باکتری‌های زیستی از جمله قارچ میکوریزا و باکتری محلول‌کننده فسفات در گیاه ماش این پژوهش اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش به صورت آزمایش اسپلینت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان ملکشاهی، استان ایلام در سال ۱۳۹۲ انجام شد. شهرستان ملکشاهی با مختصات جغرافیایی بین ۳۳ درجه و ۰۴ دقیقه و ۱۹ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۳۲ دقیقه و ۰۱ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۵۳ دقیقه و ۰۱ ثانیه طول شرقی و ارتفاع ۱۴۲۷ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالانه ۴۶۰ میلی‌متر است. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول زیر آورده شده است (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک.

pH	EC (dSm ⁻¹)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	بافت خاک
۷/۱	۱/۲۵	۱/۲۳	۲/۴	۴/۶	۲۳۷	لومی

کود سوپرفسفات تریپل (P) در پنج سطح شامل ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ میزان توصیه‌شده منطقه به‌عنوان کرت‌های اصلی و کود زیستی (B) تهیه‌شده از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور به‌عنوان کرت‌های فرعی در چهار سطح شامل عدم تلقیح (B0)، قارچ میکوریزا (B1)، باکتری محلول‌کننده فسفات (*Pseudomonas putida*)، (B2) و ترکیب قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) و باکتری حل‌کننده فسفات (B3) بود. برای اختلاط و تلقیح بذور با کود زیستی، ابتدا بذور روی پلاستیک تمیز پخش شدند، سپس مقدار مناسب مایه تلقیح مورد استفاده در آزمایش با جمعیت 10^8 (CFU mL⁻¹) (یک لیتر به ازاء ۳۰ کیلوگرم بذر) را به تدریج روی بذرها پاشیده و با به‌هم‌زدن بذر نسبت به تلقیح بذر اقدام شد، سپس بذره‌های تلقیح‌شده را در سایه پهن کرده و پس از خشک‌شدن آماده کشت شدند (Fathi *et al.*, 2017). برای تلقیح بذر با قارچ میکوریزا نیز این قارچ به مقدار یک کیلوگرم در هکتار در کنار بذر (همراه با کاشت بذر در اول تیرماه زیر خاک) قرار گرفت. رقم مورد کاربرد در این آزمایش رقم ماش هندی بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی دزفول تهیه شده بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح، قبل از کاشت صورت گرفت. هر کرت

آزمایشی از پنج ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی متر تشکیل شد. فاصله بذور روی ردیف نیز ۱۵ سانتی متر بود. بین هر دو تیمار یک ردیف به صورت نکاشت در نظر گرفته شد. فاصله بین دو تکرار سه متر در نظر گرفته شد. همزمان با کاشت بذور، بلافاصله کود فسفره به صورت نواری به خاک داده شد. کلیه عملیات زراعی از قبیل واکاری، وجین، تنک کردن و مبارزه با آفات و بیماری‌ها به‌طور همزمان در کلیه کرت‌های آزمایشی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات پس از حذف دو ردیف کناری همچون اثر حاشیه، نمونه‌گیری از دو خط وسط در زمان رسیدگی انجام شد (Taheri et al., 2021). در این بررسی صفات شامل ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، تعداد گره ریشه، حجم ریشه، تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و طول دوره گلدهی مورد سنجش قرار گرفتند. تمامی صفات به غیر از طول دوره گلدهی در زمان رسیدگی کامل مورد سنجش قرار گرفتند. ارتفاع بوته با خط‌کش تا ابتدای محل خروج آخرین ساقه فرعی اندازه‌گیری شد. وزن خشک ریشه با ترازوی با دقت یک‌هزارم و پس از خشک‌شدن در دستگاه آون به مدت ۷۲ ساعت مورد سنجش قرار گرفت. تعداد گره روی ریشه نیز با مشاهده چشمی و خارج کردن ریشه از زیر خاک مورد سنجش قرار گرفت. حجم ریشه با استفاده از روش حجمی ظرف پر شده با آب محاسبه شد. تعداد غلاف در بوته با روش مشاهده چشمی مورد سنجش قرار گرفت. وزن هزار دانه با استفاده از ترازوی با دقت یک‌هزارم محاسبه شد. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نیز در مرحله رسیدگی کامل مورد سنجش قرار گرفتند. عملکرد دانه در زمانی که رطوبت دانه ۱۴ درصد بود اندازه‌گیری شد (Mehri et al., 2016). شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک مورد سنجش قرار گرفت. جهت برآورد میزان نیتروژن و فسفر جذب‌شده، در پایان رشد سه نمونه گیاهی از هر کرت (از سه بوته) برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های گیاهی پس از شست و شو با آب معمولی و آب مقطر کاملاً تمیز شدند. سپس نمونه‌ها در آون در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت تا خشک شوند و بعد آسیاب شد و یک گرم از آن جهت آزمایش جدا شد. بعد از هضم این مواد با اسیدسولفوریک و اسیدسالیسیلیک و آب اکسیژنه، نیتروژن نمونه به روش کج‌لدال (دستگاه کج‌لدال مدل K1100) تعیین شد. جهت برآورد میزان فسفر، در پایان رشد سه نمونه گیاهی از هر کرت (از سه بوته) برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. میزان فسفر نمونه‌ها نیز با روش جذب اتمی اندازه‌گیری (اسپکترومتر جذب اتمی AAS مدل GeminAA ساخت آلمان) شد. داده‌ها با نرم‌افزار SAS تجزیه شدند و مقایسه میانگین‌ها نیز با روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد توسط نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳-۱. خصوصیات رشدی

در جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای سطوح مختلف کود فسفره و کود زیستی (سودوموناس و میکوریزا) را روی خصوصیات رشدی و عملکردی ماش نشان می‌دهد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کودهای زیستی از نظر ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، حجم ریشه و تعداد گره در ریشه وجود دارد. درحالی‌که اختلاف بین سطوح متفاوت کود فسفاتنه تنها از نظر ارتفاع بوته و حجم ریشه معنی‌دار بود ($P < 0.01$) و این درحالی بود که اثر متقابل سطوح متفاوت کود زیستی و کود فسفره نتوانست به‌صورت معنی‌داری این صفات را تحت تاثیر قرار دهد (جدول ۲). در بین تیمارهای مورد بررسی بیشترین ارتفاع بوته را به‌ترتیب تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد سوپر فسفات تریپل با متوسط افزایش ۳۵/۰۹ سانتیمتر و ۳۴/۶۵ سانتی‌متر بود (جدول ۳). همچنین نتایج این بررسی حاکی از این بود که اعمال تیمار کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشت؛ به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته را تلقیح بذر با سودوموناس و تلقیح توأم بذر با سودوموناس و میکوریزا به‌ترتیب با متوسط ۳۴/۹۰ سانتیمتر و ۳۲/۶۶ سانتیمتر به خود اختصاص داد (جدول ۳).

بهامین و همکاران (Bahamin et al., 2021) بیان کردند که در دسترس بودن آب و عناصر غذایی ضروری گیاه از طریق افزایش تعداد گره‌ها و طول میانگره‌ها ارتفاع گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و این دسترسی به آب و عناصر غذایی ضروری با مصرف کودهای بیولوژیک افزایش می‌یابد. احتمالاً علت اصلی این امر افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه بوده است. نتایج پژوهش

دیگری نشان داد که استفاده از کود بیولوژیک، سبب افزایش توسعه ریشه و جذب بهتر آب و مواد غذایی و به دنبال آن رشد رویشی گیاه و ارتفاع بوته‌های آفتابگردان شده است (Rosa et al., 2020). ارتفاع گیاه از جمله صفاتی است که به شدت تحت تأثیر کوددهی قرار می‌گیرد و در هر مرحله از رشد که رشد رویشی گیاه تحت تأثیر فسفر تحریک شود، ارتفاع گیاه نیز تحت تأثیر قرار گرفته و افزایش می‌یابد. افزایش ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد کود فسفر را می‌توان این چنین توجیه نمود که کود فسفر با اثرات مثبتی که بر افزایش طول ریشه دارد، میزان جذب نیتروژن را در گیاه افزایش می‌دهد (Ghorchiani et al., 2018). از سویی دیگر فسفر باعث افزایش سودمندی نیتروژن می‌شود که به تبع آن، رشد و نمو بخش رویشی گیاه نیز افزایش می‌یابد (Bahamin et al., 2019).

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است بیشترین وزن خشک ریشه را تیمار کاربرد ۷۵ درصد سوپر فسفات تریپل با متوسط ۰/۹۷ گرم به خود اختصاص داد که با تیمار شاهد (عدم مصرف) اختلاف معنی‌دار شد؛ به طوری که کمترین وزن خشک ریشه را تیمار شاهد با میانگین ۰/۷۸ گرم به خود اختصاص داد. همچنین در مورد کودهای زیستی بیشترین وزن خشک ریشه را تیمار تلقیح بذر با سودوموناس با متوسط ۰/۹۶ گرم به خود اختصاص داد (شکل ۱). آزمایش‌های مختلف نشان داد که در اثر تلقیح گونه‌های حل‌کننده فسفات از جمله سودوموناس، افزایش معنی‌داری در وزن خشک اندام‌های مختلف این گیاه همراه با افزایش تجمع فسفر و نیتروژن در گیاه در مقایسه با مصرف جداگانه مایه تلقیح هر یک از سویه‌ها مشاهده شده است (Ghorchiani et al., 2018; Rosa et al., 2020).

در این بررسی اعمال تیمارهای تلقیح بذر با سودوموناس و میکوریزا تأثیر مثبتی بر حجم ریشه گذاشت؛ به طوری که بیشترین حجم ریشه را تیمار تلقیح بذر با سودوموناس با متوسط ۱/۶۳ سانتی‌متر مکعب به خود اختصاص داد و کمترین حجم ریشه مربوط به تیمار شاهد (عدم تلقیح) با متوسط ۱/۲۵ سانتی‌متر مکعب بود (شکل ۱). بنابراین قارچ‌های مایکوزیرا باعث افزایش جذب عناصر غذایی مورفولوژی ریشه، افزایش جذب آب و جلوگیری از بروز برخی بیماری‌های ریشه می‌شوند. تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جمله سویه‌هایی از جنس سودوموناس، تأثیر مفیدی در طول شدن ریشه و تولید ریشه‌های جانبی و به دنبال آن حجم ریشه داشته است. این تأثیر مفید را بیشتر به تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه نسبت دادند، به طوری که موجب افزایش سطح جذب ریشه‌ها و بالتبع افزایش جذب آب و عناصر غذائی توسط گیاه می‌گردد (Singh et al., 2022). Heydari et al. (2009) نتیجه گرفتند که انواع باکتری سودوموناس رشد طولی ریشه و جوانه‌زنی و محصول گندم را افزایش می‌دهد و واکنش‌های بسیار مهمی میان کودهای فسفوری و باکتری‌های حل‌کننده فسفر صورت می‌گیرد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کود فسفره و کود بیولوژیک روی خصوصیات رشدی و عملکردی ماش.

میانگین مربعات										
درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن خشک ریشه	تعداد گره ریشه	حجم ریشه	تعداد غلاف در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	شاخص برداشت	طول دوره گلدهی	فسفر دانه
تکرار	۳/۲ ^{ns}	۰/۰۷ ^{**}	۰/۶۶ ^{ns}	۰/۳۵ ^{**}	۳/۳۹ ^{ns}	۸۴/۱۴ [*]	۷۷۲۴۴ [*]	۰/۰۰۳ ^{ns}	۵۲/۲۵ ^{**}	۰/۰۰۰۴ ^{ns}
سوپر فسفات تریپل (P)	۱۸۴/۸ ^{**}	۰/۰۸۰ [*]	۰/۳۴۳ ^{ns}	۰/۱۸ ^{**}	۴۷/۳ ^{**}	۳/۰۳۱ ^{ns}	۵۷۸۴۴۴ ^{**}	۰/۰۱۹ [*]	۱۲/۴۷ [*]	۰/۰۰۰۴ ^{**}
کود بیولوژیک (B)	۱۷۵/۴ ^{**}	۰/۰۷۹ [*]	۱۲/۸۸ [*]	۰/۴۲ ^{**}	۱۵۱ ^{**}	۲۱۲/۲۸ ^{**}	۸۳۹۰۰۱ ^{**}	۰/۰۲۰۸ [*]	۳۲/۴۲ ^{**}	۰/۰۰۰۱ [*]
P × B	۱۶/۹۵ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۶۴۶ ^{ns}	۰/۰۵۲ ^{ns}	۲/۹۸ ^{ns}	۱۹/۹۶ ^{ns}	۵۱۴۷۴ ^{ns}	۰/۰۰۵۸ ^{ns}	۶/۶۷ [*]	۰/۰۰۰۱۷ ^{**}
ضریب تغییرات	۲۱/۲۸	۱۶/۰۵	۱۴/۶۷	۱۲/۵	۱۲/۹	۱۱/۲۹	۱۵/۷	۱۸/۵۴	۳/۳۰	۸/۲

*, ** و ^{ns}: به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

۲-۳. خصوصیات عملکردی

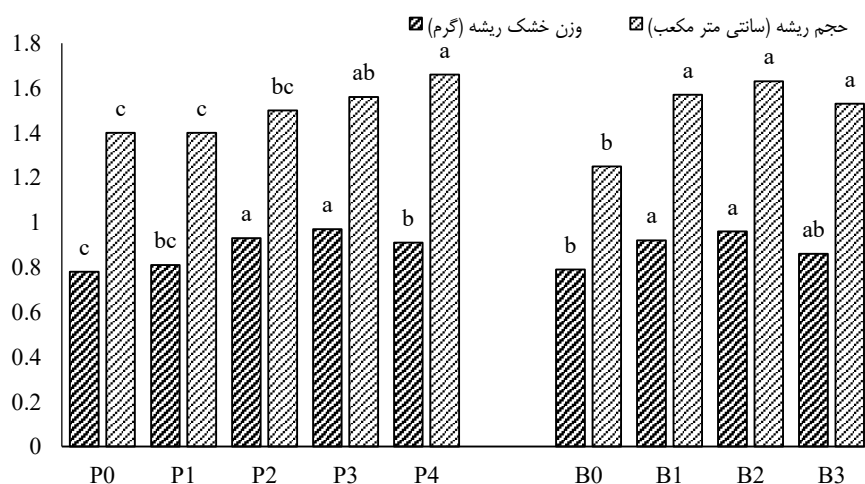
بر اساس نتایج جدول ۲، سطوح متفاوت کود سوپرفسفات تریپل اثر معنی‌داری روی تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه داشت ($P < 0.01$) و تأثیری روی وزن هزار دانه گیاه نداشت. بر این اساس کود بیولوژیکی نیز تأثیر معنی‌داری روی تمامی صفات مورد بررسی در این بخش داشت ($P < 0.01$). اثر متقابل سطوح کود سوپرفسفات تریپل و کود بیولوژیک تأثیر معنی‌داری روی تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه و

عملکرد دانه نداشت. نتایج حاصل از این بررسی حاکی از این بود که تیمار مصرف ۷۵ درصد کود سوپر فسفات تریپل با متوسط ۱۷/۴۱ بیشترین تأثیر را بر تعداد دانه در غلاف گذاشت. کمترین تعداد غلاف در بوته را تیمار شاهد (عدم مصرف) با متوسط ۱۲/۶۵ غلاف در بوته به خود اختصاص داد و اختلاف بین این دو معنی دار بود (جدول ۳). بررسی از نظر تأثیر تیمارهای تلقیح بذر حاکی از این بود که تلقیح بذر با تیمارهای بیولوژیک توانسته افزایش تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد (عدم تلقیح) را باعث شود؛ به طوری که بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار تلقیح بذر با سودوموناس با میانگین ۱۷/۷۰ بود. Rezapoorian *et al.* (2020) بیان کردند که تلقیح بذر ماش با باکتری آروسپیریلیوم تأثیر معنی داری بر شاخص کلروفیل، وزن تر و خشک ریشه، تعداد انشعابات ریشه، تعداد غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، طول و عرض غلاف و عملکرد بیولوژیک داشت. استفاده از کود بیولوژیک مانند سودوموناس می تواند با افزایش تعداد غلاف در بوته ها، به سلامتی و رشد بهتر گیاهان کمک کند. این میکروارگانیسم ها که به عنوان کود بیولوژیک شناخته می شوند، با ایجاد ارتباط با ریشه گیاه، از طریق فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به تقویت ریشه و افزایش تعداد غلاف در بوته ها کمک می کنند (Ghorchiani *et al.*, 2018).

جدول ۳. مقایسه میانگین برخی از صفات مورد بررسی.

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	تعداد غلاف در بوته	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	شاخص برداشت (%)
سوپر فسفات تریپل (P)					
P0	c ۲۵/۴۷	c ۱۲/۶۵	d ۷۸۲/۱	e ۲۰۹/۲۵	۰/۳۶ ab
P1	b ۳۰/۰۷	b ۱۴/۲۳	c ۱۰۰۹/۷۲	d ۲۳۲۲/۵۸	۰/۴۳ a
P2	a ۳۴/۶۵	a ۱۶/۲۲	ab ۱۲۲۷/۵۷	c ۲۸۵۴/۵۸	۰/۴۲ a
P3	a ۳۵/۰۹	a ۱۷/۴۱	a ۱۳۵۴/۴۵	b ۳۱۹۱/۸۳	۰/۴۲ a
P4	ab ۳۲/۱۵	a ۱۶/۸۹	bc ۱۱۵۲/۱۶	a ۳۳۸۶/۵۸	۰/۳۴ b
کود بیولوژیک (B)					
B0	b ۲۶/۷۹	b ۱۰/۸۱	b ۷۵۰/۸۳	b ۲۱۸۷/۴۰	۰/۳۴ b
B1	ab ۳۱/۶۰	a ۱۷/۲۳	a ۱۲۱۶/۲۹	a ۲۹۰۹/۵۳	۰/۴۲ a
B2	a ۳۴/۹۰	a ۱۷/۷۰	a ۱۲۳۸/۸۲	a ۳۰۷۳/۴۰	۰/۴۰ a
B3	a ۳۲/۶۶	a ۱۶/۱۸	a ۱۲۱۴/۵۸	a ۲۹۰۷/۱	a ۰/۴۲

میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



شکل ۱. اثر اصلی تیمارهای سطوح مختلف کود فسفره و کود بیولوژیک بر حجم ریشه و وزن خشک ریشه گیاه ماش. ستون های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون مقایسه میانگین ها فاقد اختلاف آماری معنی دار می باشند.

بررسی از نظر تأثیر تیمارهای تلقیح بذر حاکی از این بود که تلقیح بذر با تیمارهای بیولوژیک سبب افزایش وزن هزار دانه نسبت به شاهد (عدم تلقیح) گردید؛ به طوری که بیشترین وزن هزار دانه را تیمار تلقیح بذر با سودوموناس با میانگین ۴۱/۸۰ گرم به

خود اختصاص داد (جدول ۳). سودوموناس یک نوع باکتری است که در ارتباط همزیست با ریشه گیاهان قرار می‌گیرد و به عنوان یک کود بیولوژیک مفید به کاشت آن‌ها افزایش می‌دهد. این روابط تعاملی باعث فعالیت بیشتر گیاه و بهبود در عملکرد آن می‌شود زیرا میکوریزا به تسریع در جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و ... کمک می‌کند (Taghavi Ghasemkheili *et al.*, 2022). افزایش وزن هزار دانه گیاهان به دلیل تقویت سیستم ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی از خاک است. با وجود این تقویت، گیاهان به شکل بهتری می‌توانند از منابع غذایی موجود در خاک استفاده کرده و رشد و تکثیر بهینه داشته باشند. این امر باعث افزایش بازده محصول و افزایش وزن هزار دانه گیاهان می‌شود (Rezapoorian *et al.*, 2020).

نتایج نشان داد که تیمار مصرف ۷۵ درصد کود سوپر فسفات تریپل با متوسط ۱۳۵۴/۴۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشت و اما کمترین عملکرد دانه را تیمار شاهد (عدم مصرف) با متوسط ۷۸۲/۱ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد. Adak & Kibritci (2016) بیان کردند که با کاربرد سطوح مختلف فسفر بالاترین عملکرد با قلا به دست آمد و گزارش کرد که با قلا واکنش خوبی به کاربرد فسفر از خود نشان می‌دهد و علاوه بر عملکرد اجزای عملکرد به طور معنی داری با کاربرد کود فسفره، در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش می‌یابد. در خصوص تأثیر باکتری‌های محرک رشد نیز محققان بیان کردند که تلقیح بذر با باکتری سبب افزایش معنی دار عملکرد نخود نسبت به شرایط عدم تلقیح با باکتری شد، همچنین تلقیح با باکتری سبب افزایش معنی دار وزن هزار دانه و عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم تلقیح با باکتری شد (Mirzaei *et al.*, 2018). تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک، به عنوان یک روش پایدار و طبیعی، می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاهان و بهبود کیفیت محصولات شود. در مورد دانه ماش، تلقیح بذر با سودوموناس که از جمله کودهای بیولوژیک است می‌تواند اثرات مثبتی بر رشد و عملکرد این گیاه داشته باشد (Singh *et al.*, 2022). تأثیر اصلی تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک بر افزایش عملکرد دانه ماش به چند عامل برمی‌گردد.

باکتری‌های کودهای بیولوژیک از انواع میکروارگانیسم‌های مفید هستند که توانایی تبدیل نیتروژن جوی به فرم قابل استفاده برای گیاهان (نیتروژن محلول) را دارند. این میکروارگانیسم‌ها با ایجاد رابطه همزیست با ریشه گیاه، نیتروژن را از هوا تثبیت کرده و ارائه می‌دهند. این نیتروژن اضافی موجود در خاک می‌تواند به بهبود در رشد و توسعه گیاهان، افزایش عملکرد دانه‌ها و کاهش نیاز به نیتروژن شیمیایی در خاک منجر شود (Taheri *et al.*, 2021). علاوه بر تثبیت بیولوژیک نیتروژن، این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند فعالیت هورمون‌های گیاهی را افزایش دهند، جذب عناصر غذایی را بهبود بخشند و در مقابل بیماری‌ها و آفات مقاومت گیاهان را افزایش دهند که همه این اثرات می‌تواند منجر به افزایش عملکرد و کیفیت محصولات شود (Taghavi Ghasemkheili *et al.*, 2022).

۳-۳. عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، طول دوره گلدهی و پر شدن دانه

تیمارهای سطوح مختلف کود فسفره و کود بیولوژیک تأثیر معنی داری روی عملکرد بیولوژیک ($P < 0.01$) و شاخص برداشت ($P < 0.05$) و طول دوره گلدهی ($P < 0.01$) داشتند (جدول ۲). می‌توان چنین استنباط نمود که این صفت به نقش تیمار در عملکرد دانه وابستگی بیشتری دارد تا عملکرد بیولوژیکی که این مساله را در تحقیق گذشتگان نیز می‌توان مشاهده کرد. در جدول ۳ نیز به خوبی مشاهده می‌شود که استفاده از سوپرفسفات تریپل و تلقیح بذر با سودوموناس و میکوریزا، شاخص برداشت برای دانه ماش را افزایش می‌دهد. البته این افزایش برای تیمارهای ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد سوپرفسفات تریپل نسبت به شاهد و تلقیح بذر با سودوموناس و میکوریزا در کنار هم نیز مشاهده می‌شود؛ به گونه‌ای که بیشترین شاخص برداشت را تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل با متوسط ۰/۴۳ به خود اختصاص داد و کمترین شاخص برداشت را تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل با میانگین ۰/۳۴ به خود اختصاص داد که اختلاف بین آنها معنی دار بود (جدول ۳). تحقیقات بسیاری (Ghorchiani *et al.*, 2018; Kizilkaya, 2009; Saedi, 2007) تأثیر مثبت باکتری‌های جنس سودوموناس را در افزایش رشد و عملکرد گیاهان خانواده گرامینه و غیر گرامینه نشان داده‌اند. احتمالاً با مصرف باکتری‌های محرک رشد، جذب و ذخیره مواد غذایی در بخش‌های مختلف گیاه از جمله برگ و ساقه افزایش می‌یابد و با ذخیره این مواد در گیاه، عملکرد ماده خشک کل گیاه نیز افزایش می‌یابد. باکتری‌های سودوموناس و ازتوباکتر در این کود، علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی

مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین، ترشح اسیدهای آمینه مختلف، انواع آنتی‌بیوتیک موجب رشد قسمت‌های هوایی شده است. همچنین این باکتری‌ها می‌توانند با سایر میکروارگانیسم‌های ریزوسفر اثر هم‌افزایی مفیدی بر گیاهان داشته باشند. احتمالاً در این آزمایش نیز مجموعه این عوامل موجب افزایش ماده خشک کل شده است. تیمار استفاده از کود بیولوژیک توانسته است سطح برگ بیشتری تولید کند که افزایش در شاخص سطح برگ سبب افزایش در فتوسنتز شده و در نتیجه عملکرد ماده خشک و دانه نیز بیشتر خواهد بود (Ghorchiani *et al.*, 2018). میکوریزا از طریق فراهم کردن فسفر و ازت سبب بهبود رشد رویش و توسعه برگها شده و به دنبال آن عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت افزایش یافت (Abbasi *et al.*, 2022).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین طول دوره گلدهی مربوط به ترکیب تیماری مصرف ۲۵ درصد کود سوپر فسفات تریپل و تلقیح بذر با سودوموناس با متوسط ۵۷/۳۳ روز بود و کمترین طول دوره گلدهی را تیمارهای شاهد (عدم مصرف کود سوپر فسفات تریپل) و (عدم تلقیح) با متوسط ۴۹ روز به خود اختصاص داد (شکل ۲). با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر عامل‌های مصرف سوپر فسفات تریپل و کود بیولوژیک بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید؛ به‌طوری‌که بیشترین طول دوره پر شدن دانه مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل با متوسط ۲۲/۵۸ روز بود و کمترین طول دوره پر شدن دانه مربوط به تیمار عدم مصرف (شاهد) با متوسط ۱۹/۵۸ روز بود. نتایج حاکی از آن بود که طولانی‌ترین طول دوره پر شدن دانه در بالاترین سطح مصرف فسفر به‌دست آمد. کمترین طول دوره پر شدن دانه نیز در تیمار عدم مصرف کود فسفر با میانگین ۱۹/۶ روز به‌دست آمد (شکل ۲). نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد که کود بیولوژیک تاثیر معنی‌داری بر مراحل فنولوژیک گیاه ماش شامل طول دوره گلدهی، طول دوره پر شدن دانه داشت. کود فسفر نیز بر طول دوره گلدهی و طول دوره پر شدن دانه و تعداد روز تا رسیدگی دانه تاثیر معنی‌داری داشت؛ همچنین اثر متقابل کود فسفر و کود بیولوژیک بر طول دوره گلدهی نیز معنی‌دار گردید؛ به‌طوری‌که بیشترین تعداد روز تا گلدهی و تا پر شدن دانه در تیمارهای تلقیح‌یافته نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) افزایش نشان داد. همچنین بیشترین تعداد روز تا گلدهی و پر شدن دانه و رسیدگی در تیمارهای مصرف کود فسفر در سطح بالا به‌دست آمد و بی‌گمان هر چه طول دوره پر شدن دانه بیشتر باشد، فرصت کافی برای ذخیره مواد غذایی وجود دارد و به تبع آن موجب افزایش در هر یک از اجزای عملکرد و نهایتاً افزایش عملکرد می‌گردد. در نتیجه همان‌طور که مشاهده شد عملکرد دانه در گیاهان تلقیح‌شده با کود بیولوژیک و دارای مقادیر بالاتر فسفر افزایش یافت. Maleki *et al.* (2014) بیان کردند که کود بیولوژیک منجر به تاخیر در تعداد روز تا رسیدگی گیاه نخود نسبت به تیمار شاهد شده است. افزایش این صفت به گیاه فرصت کافی داده که دانه‌های سنگین‌تری را تولید کرده و عملکرد خود را افزایش دهد. افزایش طول دوره پر شدن دانه و تا رسیدگی می‌تواند به دلیل افزایش فرصت برای دریافت آب و مواد غذایی برای دانه، در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Rosa *et al.*, 2020).

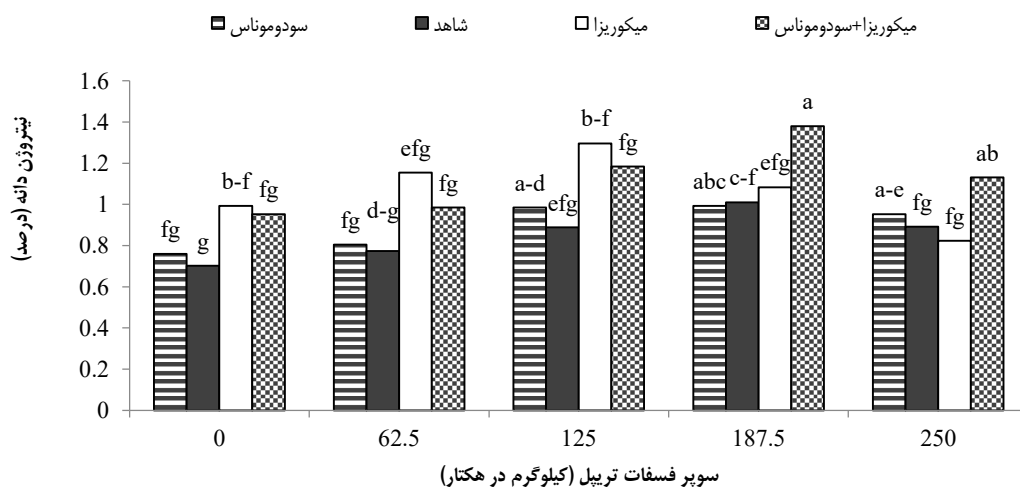
۳-۴. نیتروژن و فسفر دانه

اثر اصلی سطوح مختلف کود فسفره ($P < 0.01$)، اثر اصلی سطوح مختلف کود فسفره ($P < 0.05$) و اثر متقابل کود فسفره و کود بیولوژیک ($P < 0.01$) بر مقدار نیتروژن دانه تاثیر معنی‌داری داشتند. همچنین اثر اصلی سطوح مختلف کود فسفره ($P < 0.01$)، اثر اصلی سطوح مختلف کود فسفره ($P < 0.01$) و اثر متقابل کود فسفره و کود بیولوژیک ($P < 0.01$) بر مقدار فسفر دانه تاثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن دانه در تیمار مصرف ۱۸۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و مصرف توام مایکوریزا و سودوموناس به مقدار ۱/۳۸ درصد حاصل شد. کمترین مقدار نیتروژن دانه نیز در تیمار عدم مصرف هر یک از کودها به‌دست آمد. در تمامی سطوح مصرف سوپر فسفات تریپل، همواره مصرف همزمان مایکوریزا و سودوموناس موجب افزایش این شاخص نسبت به سایر سطوح مصرف کود بیولوژیک شد و در تمام موارد نیز در حالت عدم تلقیح کمترین مقدار نیتروژن دانه حاصل شد (شکل ۳). در خصوص مقدار فسفر جذب‌شده دانه نیز روند شباهت بالایی با مقدار نیتروژن داشت؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار فسفر دانه در تیمار مصرف ۱۸۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و مصرف توام مایکوریزا و سودوموناس به مقدار ۰/۹۶ درصد حاصل شد. کمترین مقدار فسفر دانه نیز در تیمار عدم مصرف هر یک از کودها به‌دست آمد (شکل ۴).

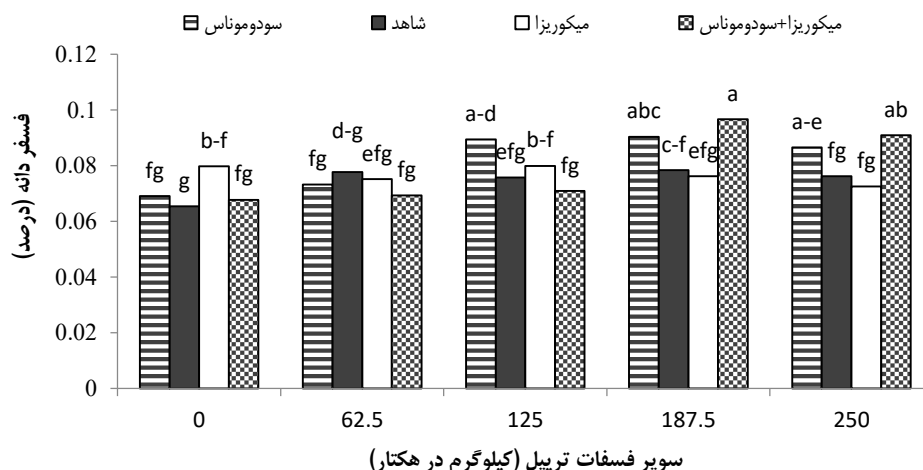


شکل ۲. اثر اصلی تیمارهای سطوح مختلف کود فسفره و کود بیولوژیک بر طول دوره گلدهی و طول دوره پرشدن دانه گیاه ماش.

مصرف سودوموناس در تلقیح بذر دانه ماش می‌تواند به دلایلی منجر به افزایش جذب نیتروژن و فسفر در گیاهان شود. سودوموناس از گونه‌های باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن است که توانایی تبدیل نیتروژن هوا به فرم قابل استفاده برای گیاهان دارد. این باکتری در محیط خاک با تولید آنزیم‌های اختصاصی، نیتروژن مولکولی را به نیتروژن قابل جذب تبدیل می‌کند. با افزایش تعداد و فعالیت سودوموناس‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در خاک، میزان نیتروژن محلول در خاک افزایش می‌یابد و گیاهان قادر به جذب بیشتر این نیتروژن خواهند بود (Bahamin et al., 2021). سودوموناس از طریق ایجاد رابطه همزیست با ریشه‌های گیاهان، می‌تواند به جذب و فراهم‌سازی عناصری از قبیل فسفر کمک کند. این باکتری با تولید اسیدهای آلی و آلیل فسفات، می‌تواند فسفر را از فسفات‌های قابل حل فراهم کرده و در دسترس گیاهان قرار دهد. این امر باعث افزایش جذب فسفر توسط گیاهان و بهبود رشد و عملکرد آنها می‌شود (Mirzaei Heydar & Babaei, 2022). قارچ‌های مایکوریزا به صورت موثری با ریشه‌های گیاهان همکاری می‌کنند و از طریق این همکاری می‌توانند بهبود ذخیره و جذب نیتروژن و فسفر را فراهم کنند. قارچ‌های مایکوریزا با اتصال به ریشه‌های گیاه، میزبان‌های عزیزه و حفاظتی خود را ایجاد می‌کنند که موجب افزایش سطح جذب عناصر غذایی از خاک نظیر نیتروژن و فسفر توسط گیاهان می‌شود (Safari et al., 2018). قارچ‌های مایکوریزا می‌توانند به دسترسی طولانی‌تر و پایدارتر به نیتروژن و فسفر در خاک کمک کنند. این باعث می‌شود که گیاهان بتوانند به‌طور مداوم این عناصر را جذب کرده و ذخیره کنند. قارچ‌های مایکوریزا می‌توانند به تبدیل نیتروژن و فسفر به فرم‌های قابل جذب توسط گیاهان کمک کنند. این تبدیل عناصر به فرم‌های آسان‌تر موجب افزایش جذب و استفاده از این عناصر و به‌حداکثر رساندن عملکرد گیاهان می‌شود (Abbasi et al., 2022; Safari et al., 2018).



شکل ۳. اثر متقابل تیمارهای سطوح مختلف کود فسفره و کود بیولوژیک بر مقدار نیتروژن دانه ماش.



شکل ۴. اثر متقابل تیمارهای سطوح مختلف کود فسفره و کود بیولوژیک بر مقدار فسفر دانه ماش.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که کود فسفر تاثیر معنی‌داری بر تمامی صفات بجز تعداد گره ریشه داشت. بیشترین عملکرد دانه در تیمار مصرف ۷۵ درصد کود سوپرفسفات تریپل به‌دست آمد که بالاتر از سایر سطوح مصرف کود فسفر بود. عملکرد دانه در تیمار تلقیح بذر با سودوموناس به‌دست آمد که بیشتر از سایر سطوح کود بیولوژیک بود. چنین به نظر می‌رسد که کاربرد باکتری‌های سودوموناس در خاک منطقه از لحاظ عناصر غذایی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر بوده و در صورت عدم مصرف کود (سیستم ارگانیک) دورنمای روشنی را در تولید محصولات کشاورزی نوید می‌دهد. به‌طور کلی، نتایج این بررسی نشان داد که منابع مختلف کودهای بیولوژیک می‌توانند نیاز به مصرف کود فسفر را کاهش دهند و از این طریق منجر به افزایش عملکرد گردند؛ چرا که با مصرف کود بیولوژیک و در حالت مصرف ۷۵ درصد کود سوپرفسفات تریپل بالاترین عملکرد دانه حاصل شد. از طرفی مصرف کود بیولوژیک سودوموناس و میکوریزا موجب افزایش مقدار نیتروژن و فسفر دانه شد که این افزایش مقدار عناصر پرمصرف می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه نیز گردد. استفاده از کودهای بیولوژیک به همراه مصرف حد متوسط کود فسفر می‌تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد و اجزاء عملکرد داشته باشد. این بهبود اغلب به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، بهبود ساختار خاک، افزایش فعالیت میکروبی خاک و افزایش تولید فتوسنتزی ناشی از تغذیه بهتر گیاهان است.

۵. منابع

- Abbasi, M., Maleki, A., Mirzaei Heydari, M., & Rostaminy, M. (2022). Interaction of mycorrhizal coexistence and foliar application of iron and zinc on some quantitative and qualitative characteristics of mung bean under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(2), 407-426.
- Adak, M.S., & Kibritci, M. (2016). Effect of nitrogen and phosphorus levels on nodulation and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.). *Legume Research-An International Journal*, 39(6), 991-994.
- Asrar, A.A., Abdel-Fattah, G.M., & Elhindi, K.M. (2012). Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water-stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. *Photosynthetica*, 50(2), 305-316.
- Babaei, R., Mirzaei Heydari, M., & Bazgir, M. (2018). Study the impact of various levels of phosphate fertilizer and plant growth promoting bacteria on availability of some of nutrients and wheat yield indices. *Journal of Plant Ecophysiology*, 10(34), 109-120. (In Persian)
- Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Behashti, S. (2021). Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and nutrient efficiency indices in maize under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14, 675-690.
- Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Behashti, S. (2019). Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, 123-139.

- Barari Tari, D., Fathi, A., Fallah, H., & Nicknejad, Y. (2020). Effect of tillage systems and fertilization (NPK) on quantitative and qualitative traits of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(40), 102-115.
- Dos Santos, I.B., de Lima, D.R.M., Barbosa, J.G., Oliveira, J.T.C., Freire, F.J., & Kuklinsky-Sobral, J. (2012). Diazotrophic bacteria associated to roots of sugarcane: Inorganic phosphate solubilization and the salinity tolerance. *Bioscience Journal*, 28(1), 142-149.
- Eyni, H., Mirzaei Heydari, M., & Fathi, A. (2023). Investigation of the application of urea fertilizer, mycorrhiza, and foliar application of humic acid on quantitative and qualitative properties of canola. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), 405-420. (In Persian).
- Fathi, A., & Mehdiniya Afra, J. (2023). Plant growth and development in relation to phosphorus: A review. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 80(1).
- Fathi, A., Farnia, A., & Maleki, A. (2016). Effects of biological nitrogen and phosphorus fertilizers on vegetative characteristics, dry matter and yield of corn. *Applied Field Crops Research*, 29(1), 1-7.
- Fathi, A., Kardoni, F., Bahamin, S., Khalil Tahmasebi, B., & Naseri, R. (2017). Investigation of management strategy of the consolidated system of organic and biological inputs on growth and yield characteristics in corn cultivation. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 4(1), 137-156.
- Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Minkina, T., Wong, M.H., & Rajput, V.D. (2023a). Biochar application in agroecosystems: A review of potential benefits and limitations. *Environment, Development and Sustainability*, 1-25.
- Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pessarakli, M. (2023b). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of Plant Nutrition*, 46(9), 2198-2230.
- Ghorchiani, M., Etesami, H., & Alikhani, H. A. (2018). Improvement of growth and yield of maize under water stress by co-inoculating an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant growth promoting rhizobacterium together with phosphate fertilizers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 59-70.
- Gurbanov, R., Kalkanci, B., Karadag, H., & Samgane, G. (2021). Phosphorus solubilizing microorganisms. *Biofertilizers: Study and Impact*, 151-182.
- Habibzadeh, Y., Evazi, A.R., & Abedi, M. (2014). Alleviation drought stress of mungbean (*Vigna radiata* L.) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Int. J. Agric. Sci. Nat. Resour*, 1, 1-6.
- Heydari, M.M., Brook, R.M., & Jones, D.L. (2019). The role of phosphorus sources on root diameter, root length and root dry matter of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 42(1), 1-15.
- Heydari, M.M., Maleki, A., Brook, R., & Jones, D.L. (2009). Efficiency of phosphorus solubilising bacteria and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of wheat cultivar (Chamran). *Aspects of Applied Biology*, 98, 189-193.
- Kadhim Joni Alsaedi, N., Mirzaei Heydari, M., & Sabeeh Kareem Altai, D. (2023). Effect of nanoboron and nanopotassium spraying on growth and yield of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. (In Press).
- Kizilkaya, R. (2009). Nitrogen fixation capacity of *Azotobacter* spp. strains isolated from soils in different ecosystems and relationship between them and the microbiological properties of soils. *Journal of Environment Biology*, 30(1), 73-82.
- Lotfi, B., Maleki, A., Mirzaei Heydari, M., Rostaminiya, M., & Babaei, F. (2021). The effect of different tillage systems, nitrogen fertilizer and mycorrhiza on mung bean (*Vigna radiata*) production and energy indices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(4), 416-428.
- Maleki, A., Pournajaf, M., Naseri, R., & Rashnavadi, R. (2014). Effect of supplemental irrigation, nitrogen chemical fertilizer, and Inoculation with *Rhizobium* bacteria on grain yield and its components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed conditions. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 8(2), 164-168.
- Mehr, A.H., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Asgharipoor, M.R. (2016). Evaluation of tillage systems on agronomical aspects in roselle-green gram intercropping using replacement method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 47(2).
- Mirzaei Heidari, M., & Mishkhaszadeh, K. (2023). Evaluating the effects of mycorrhizal fungi on growth and yield of winter chickpea (*Cicer arietinum* L.) under conditions of supplemental irrigation. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 18(3), 18-31. (In Persian).
- Mirzaei Heydari, M. (2021). Investigation the effect of mycorrhizal fungus and supplementary irrigation on growth, yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in two seasons of autumn and spring cultivation in climatic conditions of Ilam province. *Crop Physiology Journal*, 13(50), 23-45. (In Persian).
- Mirzaei Heydari, M. (2013). The role of bio-inoculants on phosphorous relations of barley. PhD Thesis, Bangor University, Wales, United Kingdom, 193 pp.

- Mirzaei Heydari, M., & Babaei, Z. (2022). Evaluating the effect of potential of plant growth promoting bacteria as inoculated in soil and different rates of phosphorous fertilizer on growth and yield of autumn wheat. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(10), 2247-2259.
- Mirzaei, A., Naseri, R., Torab Miri, S.M., Soleymani Fard, A., & Fathi, A. (2018). Reaspose of yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to the application of plant growth promoting rhizohbacteria and nitrogen chemical fertilizer under rainfed conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(44(4)), 775-790. (In Persian).
- Naseri, R., Soleymani Fard, A., Mirzaei, A., Darabi, F., & Fathi, A. (2020). The effect of growth promoting rhizohbacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam province. *Iranian Journal Pulses Research*, 10(2), 62-76.
- Rezapoorian, F., Galeshi, S., Zeinali, E., & Torabi, B. (2020). The effect of inoculation with growth promoting bacteria, mycorrhiza and phosphorus on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Iranian Journal Pulses Research*, 11(1), 134-151.
- Rosa, P.A.L., Mortinho, E.S., Jalal, A., Galindo, F.S., Buzetti, S., Fernandes, G.C., & Teixeira Filho, M.C.M. (2020). Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 32.
- Saedi, H. (2007). Effect of some high and low consumption elements on yield components and other agronomic traits of sunflower in a calcareous soil in Isfahan. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 1(11), 365-355.
- Safari, A.B., & Mirzaei Heydari, M. (2018). Study the effects of application of vermicompost and mycorrhiza inoculation on growth and yield parameters of wheat under drought stress conditions. *Research in Agriculture*, 10(1), 16-36.
- Singh, P., Singh, R.K., Zhou, Y., Wang, J., Jiang, Y., Shen, N., & Jiang, M. (2022). Unlocking the strength of plant growth promoting *Pseudomonas* in improving crop productivity in normal and challenging environments: A review. *Journal of Plant Interactions*, 17(1), 220-238.
- Syers, J.K., Johnston, A.E., & Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*, 18(108), 5-50.
- Taghavi Ghasemkheili, F., Ekelund, F., Johansen, J.L., Pirdashti, H., Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., & Kjoller, R. (2022). Ameliorative effects of trichoderma harzianum and rhizosphere soil microbes on cadmium biosorption of barley (*Hordeum vulgare* L.) in cd-polluted soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-13.
- Taheri, F., Maleki, A., & Fathi, A. (2021). Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of quinoa grain yield. *Crop Physiology Journal*, 13(50), 135-149.