Effect of mycorrhizal inoculation, different amounts of zeolite and phosphorus chemical fertilizer on mung bean yield (*Vigna radiate* L.)

ABSTRACT

The present study investigated the effect of the combination of zeolite, mycorrhizal inoculation, and phosphorus fertilizer on mung bean production in the year 2022-2023 in the climatic conditions of Isfahan City. The experiment was performed as a split-split plot as a basic randomized complete block design with three replications. The main factor included zeolite at three levels (zero, 3, and 6 ton/h), and the secondary factors included mycorrhizal inoculation (inoculation and non-inoculation) and phosphorus fertilizer at three levels (zero, 75 and 150 kg/h). The results showed that the main effects of mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer application on all measured traits were significant. The interaction effect of zeolite and phosphorus fertilizer showed that the highest seed yield was observed in the treatment of six ton/h of zeolite and not use or using 75 kg/h of phosphorus fertilizer at the rate of 2920.6 and 2895.67 kg/h, respectively, and the lowest in the absence of zeolite. The zeolite and phosphorus fertilizer consumption was obtained at the rate of 2063.36 kg/h. The results showed that the highest biological yield was observed in the treatment of six ton/h of zeolite and mycorrhiza + 75 kg/h of phosphorus fertilizer at the rate of 8127 kg/h, and the lowest in the case of no zeolite consumption, no mycorrhiza use and no use of phosphorus fertilizer. A total of 3893 kg/h was obtained. In general, combining or using zeolite, mycorrhizal, and phosphorus fertilizers in mung bean cultivation has led to improved growth, increased production, and improved product quality.

Keywords: *Phosphorous fertilizer, Zeolite, Mung bean, Mycorrhizal symbiosis*

اثر تلقیح میکوریزایی، مقادیر مختلف زئولیت و کود شیمیایی فسفره بر تولید ماش (*Vigna radiate* L.)

چکیده

مطالعه حاضر به منظور بررسی اثر ترکیب زئولیت، میکوریزا و کود فسفره بر تولید ماش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در شرایط آب و هوایی شهرستان اصفهان انجام شد. آزمایش بصورت اسپلیت- اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل زئولیت در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ تن در هکتار) و عامل‌های فرعی شامل تلقیح میکوریزایی (تلقیح و عدم تلقیح) و فرعی-فرعی کود فسفره در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود. نتایج نشان داد اثرات اصلی مایکوریزا و کود فسفره بر تمام صفات اندازه گیری شده معنی دار بود. اثر متقابل زئولیت و کود فسفره نشان داد بیشترین عملکرد دانه در تیمار مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت و عدم مصرف یا ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به ترتیب به میزان ۲۹۲۰/۶ و ۲۸۹۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف زئولیت و کود فسفره به میزان ۲۰۶۳/۳۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار مصرف شش تن در هکتار زئولیت و مصرف میکوریزا +۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به میزان ۸۱۲۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف زئولیت، عدم مصرف میکوریزا و عدم استفاده از کود فسفره به میزان ۳۸۹۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. به طور کلی، ترکیب یا استفاده از هر کدام از کودهای زئولیت، میکوریزا و کود فسفره در کشت ماش به بهبود رشد، افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول منجر شده است.

واژه‌های کلیدی: *کود فسفره، زئولیت، ماش،همزیستی میکوریزی*

مقدمه

ماش (*Vigna radiata L*) یکی از حبوبات مهم است که در سراسر جهان به ویژه در کشورهای آسیایی مصرف می‌شود و به عنوان منبع عالی پروتئین، فیبر غذایی، مواد معدنی ویتامین‌ها و مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فعال زیستی از جمله پلی فنل‌ها، پلی ساکاریدها و پپتیدها شناخته شده است(Hou et al., 2019). استفاده از ماش به عنوان یک محصول ویژه در ۵ سال گذشته به دلیل افزایش تقاضا برای جایگزین گوشت گیاهی در ایالات متحده رشد قابل توجهی داشته است(Sandhu and Singh, 2021). تامین نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد جهان، نیازمند افزایش بسیار زیادی در تولید محصولات کشاورزی است؛ اما این موضوع به‌علت وارد کردن فشار بیش از حد به خاک‌های زراعی و مصرف زیاد آب و کودهای شیمیایی، در نهایت موجب صدمات جبران ناپذیر به منابع آبی و زمین‌های کشاورزی، کاهش کیفیت و باروری خاک‌ها و هدر رفتن بسیاری از اراضی می‌گردد که بی‌شک تأمین نیاز غذایی بشر را در دراز مدت با مشکل روبرو خواهد ساخت (Hafeez et al., 2023; Ghadirnezhad Shiade et al., 2023a, b).

کودهای شیمیایی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد گیاهان زراعی مطرح می‌باشند، ولی استفاده بیش از اندازه از آن‌ها به‌ویژه هنگامی‌که با عملیات مدیریتی نامناسب همراه شوند، میزان ماده آلی خاک را به شدت کاهش می‌دهد (Meena et al., 2017; Zeidali et al., 2022; Zamani et al., 2023). کمبود فسفر یک عامل محدود کننده برای عملکرد محصول، به ویژه در مرحله اولیه رشد است. این عنصر نقش کلیدی در چندین مکانیسم فیزیولوژیکی مانند تشکیل دانه و میوه، تنفس، فتوسنتز، ذخیره و انتقال انرژی، تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول و بسیاری از فرآیندهای دیگر در گیاه دارد(Fathi and Mehdiniya afra, 2023). بخشی از فسفر به‌عنوان کود در خاک می‌تواند به شکل نامحلول درآید که آن را در دسترس گیاهان قرار نمی‌دهد و باعث آلودگی محیطی می‌شود. بنابراین، افزایش توانایی جذب فسفر توسط گیاهان برای افزایش بهره وری کشاورزی و کاهش آلودگی حیاتی به نظر می‌رسد (Fathi and Mehdiniya afra, 2023). ثابت شده است که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی در کشاورزی باعث ایجاد مسائل زیست محیطی مانند فرآیندهای بیولوژیکی، تخریب فیزیکی خاک و عدم تعادل تغذیه ای شده است (Albayrak and Camas, 2005; Izhar Shafi et al., 2020; Zeidali et al., 2022).

استفاده از کودهای زیستی در تولید گیاهان نباتی می‌تواند یک جایگزین مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست باشد(Naseri et al., 2020). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار از طریق مکانیسم‌های با حبوبات روابط همزیستی ایجاد می‌کنند و از طریق افزایش جذب آب، افزایش جذب عناصر غذایی،کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری زا و بهبود جذب فسفر و سایر مواد مغذی می‌شود (Mott et al., 2022; Eyni et al., 2023). محققان گزارش کردند که میکوریزا به واسطه همزیستی قارچ با ریشه به افزایش توان جذب آب و مواد غذایی ریشه کمک میکند که در نهایت رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشد (Heydari et al., 2011;Mirzaei Heydari et al., 2023).

ساختار خاک در درجه اول مسئول توانایی خاک در تامین رطوبت، مواد مغذی، تهویه، زیستگاه میکروارگانیسم‌ها و محیطی مناسب برای رشد ریشه‌های گیاه است (Yavitt et al., 2021). افزایش توانایی خاک برای حفظ آب می‌تواند انعطاف پذیری اکوسیستم‌های کشاورزی و اکوسیستم‌های میکروبی خاک وابسته به آب را افزایش دهد (Hassan et al., 2022). امروزه توصیه می‌شود اصلاحاتی را برای تغییر ساختار خاک به منظور رسیدگی به مسائل متعدد مربوط به منابع آب در کشاورزی و افزایش بهره وری خاک‌های کم آب اعمال شود (Simioniuc et al., 2021). زئولیت‌ها به‌عنوان آلومینوسیلیکات‌های کریستالی طبقه‌بندی می‌شوند و نقش مهمی در اصلاح خاک با افزایش تهویه خاک، در دسترس بودن مواد مغذی و تولید گیاه دارند (Mortazavi et al., 2021). بر اساس گزارش‌ها، استفاده از زئولیت می‌تواند مواد مغذی و دسترسی به آب را برای ریشه‌های گیاه افزایش دهد زیرا در تجمع خاک و تقویت ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نقش دارد (Amirahmadi et al., 2022). با توجه به اهمیت کشت ماش به عنوان گیاه پیش کاشت و تاثیر گذار در تناوب زراعی و استفاده از روش‌های مناسب زراعت مانند استفاده از زئولیت، کود فسفره و قارچ میکوریزا جهت کاهش مصرف آب و جذب بهتر عناصر غذایی در خاک، اهمیت و ضرورت انجام این تحقیق مشخص می‌گردد. لذا این پژوهش در شرایط آب و هوایی اصفهان اجرا گردید تا تاثیر تیمارهای ذکر شده بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی ماش مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های محل اجرای آزمایش

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی در روستای خاتون آباد از توابع شهرستان اصفهان در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۶۳۰متر اجرا شد. این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتا سرد است. متوسط بارندگی و درجه حرارت منطقه به ترتیب ۱۲۰ میلی‌متر و ۱۴/۵ درجه سلسیوس می‌باشد. قبل از اجرای آزمایش نمونه خاک مورد استفاده مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر تهیه و بعد از انتقال به آزمایشگاه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

عمق (سانتیمتر)	pH عصاره اشباع	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	OC	شن	رس	سیلت	کلاس بافت	فسفر قابل جذب (میلی گرم در لیتر)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم در لیتر)	نیتروژن کل (درصد)
				درصد						
۳۰-۰	۷/۲	۰/۶۱	۰/۹	۳۲	۳۲	۳۶	C.L	۹/۴	۲۶۶/۶	۰/۲

انجام آزمایش مزرعه‌ای و اعمال تیمارها

آزمایش بصورت اسپلیت– اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل زئولیت در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ تن در هکتار) و عامل‌های فرعی شامل تلقیح میکوریزایی (تلقیح و عدم تلقیح) و فرعی–فرعی کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود. بذر ماش مورد استفاده در این آزمایش متعلق به رقم ماش پرتو (رقم متوسط رس) بود. قارچ میکوریزی مورد استفاده در این آزمایش از نوع قارچ *Glomus mosseae* بود با نام تجاری مایکوروت از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان در تهران تهیه گردید. تلقیح بذور با مایه مایکوریزا قبل از کاشت و در شرایط سایه انجام گرفت.

عملیات آماده‌سازی زمین در اواخر خرداد ماه انجام شد، بدین صورت که ابتدا به منظور تحریک جوانه زنی بذر علفهای هرز،کنترل مطلوبتر آنها و تامین رطوبت مناسب جهت انجام عملیات شخم، قبل از تهیه زمین، قطعات آزمایشی آبیاری شدند. پس از رسیدن میزان رطوبت خاک به حد مطلوب (گاورو) عملیات شخم با گاوآهن چیزل صورت گرفت و سپس دو بار دیسک عمود برهم زده و تسطیح شد. سپس کرت‌هایی به ابعاد ۶×۲/۵ متر ایجاد شد و محل تیمارهای مورد نظر به‌صورت تصادفی مشخص شدند. چند روز قبل از کاشت، با استفاده از ردیف‌ساز جوی و پشته‌هایی به عمق ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. فاصله بین کرتها در هر بلوک به اندازه ۲ ردیف نکاشت (۱متر) و فاصله بین بلوکها ۲ متر در نظر گرفته شد. همچنین جهت اعمال تیمار کود زئولیت، پس از آماده سازی پشته‌ها، کنار هر پشته ای شیاری در سراسر خطوط عمق ۵ سانتیمتر ایجاد و کود زئولیت در داخل این شیارها ریخته شد سپس بوسیله شن کش روی خطوط با خاک پوشیده شد. بذور تلقیح شده ماش (با قارچ میکوریز – حاوی ۱۰۰ اندام فعال قارچ در یک گرم) در هر کرت به فاصله ۱۰ سانتی‌متر و به عمق ۲-۱ سانتی‌متر کاشته شدند. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت در همه بلوکها اعمال شد و بعد از آن ۱۰روز یکبار به روش نشتی انجام گرفت. سبز شدن اولیه گیاه ۶ روز پس از کاشت بود و تا ۱۵ روز پس از کاشت بیش از ۸۰٪ بوته‌های هر کرت سبز شدند. به‌منظور حصول تراکم مناسب، گیاه در یک مرحله و پس از استقرار کامل در مرحله شش برگی تنک شد. مبارزه با علف‌های هرز بطورمداوم از زمان کاشت تا برداشت بصورت وجین دستی انجام گرفت. در طول مراحل رشد بیماری خاصی مشاهده نشد و در طی انجام آزمایش از هیچ‌گونه سم و آفت‌کش شیمیایی

استفاده نگردید. برداشت نهایی محصول پس از حذف حاشیه‌ها و مقدار عملکرد دانه و اجزای عملکرد به‌طور جداگانه محاسبه گردید. کلروفیل a و b در برگ‌های جوان به روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه گیری شد. جهت تعیین فسفر دانه از روش اسپیکتوفتومتری انجام شد (Waling et al., 1989).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

اطلاعات به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل آماری شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد شاخه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر اثرات اصلی زئولیت در سطح احتمال یک درصد، قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل زئولیت و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود؛ ولی بقیه اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل زئولیت و کود فسفره نشان داد بیشترین تعداد شاخه در بوته در تیمار مصرف سه تن در هکتار زئولیت و ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به میزان ۴/۷ مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف زئولیت و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به میزان ۲/۷ بدست آمد (جدول ۳). محققان بیان کردند که کود فسفره تأثیر معنی داری بر تعداد شاخه در بوته ماش داشت آنها اظهار داشتند مصرف مستقیم کود فسفر برای افزایش تعداد شاخه در بوته ارزشمند می‌باشد (Bilal et al., 2021). این نتایج با یافته‌های دیگر محققان مبنی بر افزایش رشد و نمو لوبیا سبز تحت تاثیر زئولیت هماهنگی دارد (Mohammadzadeh et al., 2022).

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس اثر زئولیت، میکوریز و کود فسفره بر صفات گیاه ماش

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد شاخه در بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	کلروفیل b	کلروفیل کل	فسفر دانه
تکرار	۲	۰/۳۹ ns	۲/۱۹ ns	۰/۳۲ ns	۱۳۱/۶ *	۳۱۵۹۷۰/۷ *	۱/۰۱ ns	۲/۴۸ ns	۰/۰۰۰۲ ns
زئولیت	۲	۴/۳۹ **	۲۷۱/۵۱ **	۳/۶۳ **	۹۶۵/۹۶ **	۲۳۱۹۲۶۸/۵ **	۲۷/۰۶ **	۱۷۱/۲۷ **	۰/۰۰۱۱ ns
خطای زئولیت	۴	۰/۰۷	۲/۸	۰/۰۶	۱۷/۴۵	۴۱۸۹۴/۱	۱/۰۵	۱/۷۳	۰/۰۰۰۲
مایکوریزا	۱	۶/۵۲ *	۱۴/۵۵ *	۵/۳۹ *	۱۱۳۱/۵۸ *	۲۷۱۶۹۳۲/۶ *	۱/۶۳ ns	۳۶/۰۴ **	۰/۰۰۱۱ ns
زئولیت	۲	۱/۵۸ ns	۱/۵۵ ns	۱/۳۱ ns	۱۵۵/۲۹ ns	۳۷۲۸۶۱/۲ ns	۰/۳۱ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۰۶ ns
خطای میکوریزا	۶	۰/۵۵	۲/۲۶	۰/۴۶	۱۳۹/۷۷	۳۳۵۵۸۷/۲	۲/۱۴	۰/۵۳	۰/۰۰۰۴
فسفره	۲	۴ **	۴/۴۳ *	۳/۳۱ **	۳۳۱/۲۴ **	۷۹۵۳۰۹ **	۰/۴۳ *	۵/۲۲ **	۰/۰۰۰۲ *
زئولیت × فسفره	۴	۰/۹ **	۱۵/۹۳ **	۰/۷۴ **	۴۰/۸۱ *	۹۷۹۹۱/۷ *	۰/۰۳ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۰۲ **
میکوریزا ×فسفره	۲	۰/۱۶ ns	۸/۰۵ **	۰/۱۳ ns	۴/۷۱ ns	۱۱۳۱۷/۸ ns	۱/۸۵ **	۱/۵۶ **	۰/۰۰۰۰۱ ns
زئولیت × میکوریزا ×فسفره	۴	۰/۱۸ ns	۴/۰۳ **	۰/۱۴ ns	۱۶/۸۹ ns	۴۰۵۵۰/۶ ns	۰/۱۸ ns	۰/۲۲ ns	۰/۰۰۰۱ ns
خطای کل	۲۴	۰/۱۶	۰/۸۲	۰/۱۳	۹/۸۲	۲۳۵۸۴/۸	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۱۰/۶	۵/۶	۱۰/۶	۶/۴	۲۴/۳	۶/۱	۴/۴	۷/۹

*، ** و ns بترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری

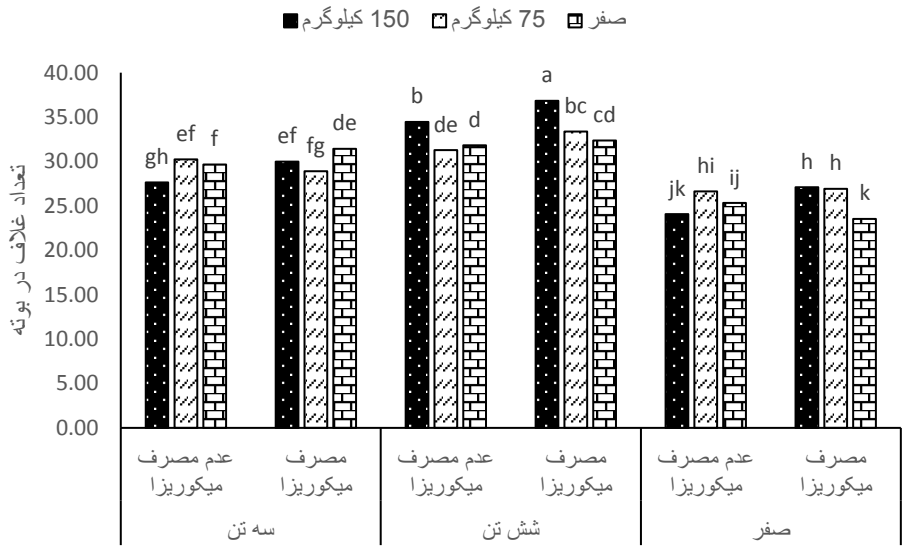
جدول ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل زئولیت و کود فسفره بر صفات ماش

زئولیت	کود فسفر	تعداد شاخه در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	فسفر دانه (درصد)
صفر	صفر	۳/۸۹^{b}	۲/۵۲^{d}	۳۶/۸۸^{f}	۲۰۶۳/۴^{e}	۰/۰۸^{e}
	۷۵ کیلوگرم	۳/۰۷^{cd}	۲/۷۹^{cd}	۴۶/۳^{d}	۲۲۶۸/۵^{d}	۰/۰۹۱^{cd}
	۱۵۰ کیلوگرم	۲/۷۷^{d}	۳/۵۴^{b}	۴۲/۱۱^{e}	۱۸۰۷/۱^{f}	۰/۰۸۳^{de}
سه تن	صفر	۴/۴۶^{a}	۴/۰۵^{a}	۵۲/۵۳^{b}	۲۵۷۳/۷^{b}	۰/۰۹^{cd}
	۷۵ کیلوگرم	۳/۵۴^{bc}	۳/۲۲^{bc}	۴۶/۹۴^{cd}	۲۳۰۰^{cd}	۰/۱۰۴^{ab}
	۱۵۰ کیلوگرم	۳/۶۷^{b}	۳/۳۳^{b}	۴۳/۸۶^{de}	۲۱۴۸/۹^{de}	۰/۰۹۷^{bc}
شش تن	صفر	۴/۴۴^{a}	۴/۰۳^{a}	۵۹/۶۱^{a}	۲۹۲۰/۷^{a}	۰/۱۰۶^{a}
	۷۵ کیلوگرم	۴/۷^{a}	۴/۲۷^{a}	۵۹/۰۹^{a}	۲۸۹۵/۴^{a}	۰/۰۹۷^{abc}
	۱۵۰ کیلوگرم	۳/۵۲^{bc}	۳/۲^{bc}	۵۰/۳۲^{bc}	۲۴۶۵/۷^{bc}	۰/۰۹۵^{bc}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر اثرات اصلی زئولیت در سطح احتمال یک درصد، میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل دو گانه و سه گانه نیز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار مصرف شش تن در هکتار زئولیت و مصرف میکوریزا به همراه ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به میزان ۳۶/۸۳ مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف زئولیت، عدم مصرف میکوریزا و عدم استفاده از کود فسفره به میزان ۲۳/۵۴ بدست آمد (شکل ۱). از آنجایی که فسفر عامل مهمی در رشد زایشی می‌باشد با کمبود آن گرده افشانی گیاه به تعویق افتاده و به طور ناقص انجام می‌شود و در نتیجه باعث پوکی و عدم تشکیل دانه می‌گردد. همچنین فسفر نقش مهمی در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مانند فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته و انتقال خصوصیات ژنتیکی ایفا میکند، افزایش جذب فسفر و انتقال آن به سلول‌های گیاه، سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی گشته و در نتیجه در مرحله پر شدن دانه شیره پرورده کافی به غلاف انتقال یافته و باعث کاهش طول غلاف و افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد (Heydari et al., 2019; Fathi and Mehdiniya afra, 2023). به نظر می‌رسد میکوریزا سیستم ریشه ای را گسترده تر کرده اند که این امر خود باعث افزایش جذب سایر عناصر توسط ریشه شده است. جذب بیشتر عناصر شاخص سطح برگ را نیز که خود عاملی است برای ازدیاد مواد فتوسنتزی و در نتیجه مواد حاصله از فرایند فتوسنتز را افزایش داده که این اتفاق اگر در زمان انگیزش پریموردیای دانه رخ دهد، باعث افزایش تعداد غلاف در بوته شده و عملکرد را بهبود می‌بخشد. گزارش شده است که مصرف میکوریزا، جذب آب و مواد معدنی از خاک را تسهیل می‌کند که در این حالت نیازهای ضروری گیاه برای رشد و نمو را فراهم کرده و در نتیجه تامین نیازهای گیاه با افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه همراه است. این محققان اظهار داشتند میکوریزا سبب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک بخصوص از منابع غیر قابل دسترس آنها می‌شود (Mott et al., 2022; Mirzaei Heydari et al., 2023; Eyni et al., 2023).



شکل ۱: مقایسه میانگین اثر متقابل زئولیت، میکوریزا و کود فسفره بر تعداد غلاف در بوته

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر اثرات اصلی زئولیت در سطح احتمال یک درصد، میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل زئولیت و کود فسفره در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود ولی بقیه اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل زئولیت و کود فسفره نشان داد بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت و ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به میزان ۴/۲۷ مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف زئولیت و کود فسفره به میزان ۲/۵۲ بدست آمد (جدول ۳). گزارش شده است که زئولیت می‌تواند با فراهم کردن شرایط مناسبتری در خاک برای رشد گیاه و باعث کاهش تنش خشکی وارده به گیاه شده در نتیجه باعث بهبود رشد گیاه گردد (Hosseini Chamani et al., 2019). در یک گزارش مروری محققان اعلام کردند استفاده از زئولیت می‌تواند باعث بهبود تعادل مواد مغذی بین خاک و گیاه گردد (Jakkula et al., 2018). به به نظر می‌رسد خصوصیات خاص ساختمانی زئولیت‌ها، از نظر داشتن خلل و فرج بسیار، به بهبود شرایط تهویه خاک در طولانی مدت کمک می کند که این مسأله برای رشد مناسب گیاه و فعالیتهای بیولوژیک خاک مفید می باشد. بکارگیری ترکیباتی با خصوصیات زئولیت‌ها از طریق جلوگیری از هدر رفتن عناصر غذایی و نگهداری یون‌های مغذی باعث افزایش کارایی کودها و بهبود جذب عناصر غذایی و حفظ رطوبت شده و در نهایت موجب بهبود رشد گیاه و تعداد دانه در غلاف شده است. گزارش شده است فراهمی فسفر مورد نیاز گیاه سبب تقویت رشد و اندام‌های زایشی گیاه شده است (Jakkula et al., 2018).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر اثرات اصلی زئولیت در سطح احتمال یک درصد، میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل زئولیت و کود فسفره در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود ولی بقیه اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل زئولیت و کود فسفره نشان داد بیشترین وزن هزار دانه در تیمار مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت و عدم مصرف یا ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به ترتیب به میزان ۵۹/۰۹ و ۵۹/۶۱ گرم مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف زئولیت و کود فسفره به میزان ۳۶/۸۸ گرم بدست آمد (جدول ۳). با دسترسی بهینه به کود فسفر میزان کلروفیل و جذب عناصر غذایی توسط گیاه بهبود یافته و در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می‌یابد. افزایش مصرف فسفر باعث می‌شود گیاه از شرایط محیطی ایجاد شده بیشتر استفاده کند و دوام سطح برگ افزایش یابد و به طبع آن وزن هزار دانه گیاه بیشتر و در نهایت عملکرد افزایش یابد (Fathi and Mehdiniya afra, 2023). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج دیگر محققان

مطابقت دارد که اظهار داشتند افزایش عملکرد دانه ناشی از زئولیت با افزایش جذب فسفر مرتبط است و وزن هزار دانه برنج را به شدت افزایش داد (Zheng et al., 2019; Li et al., 2022).

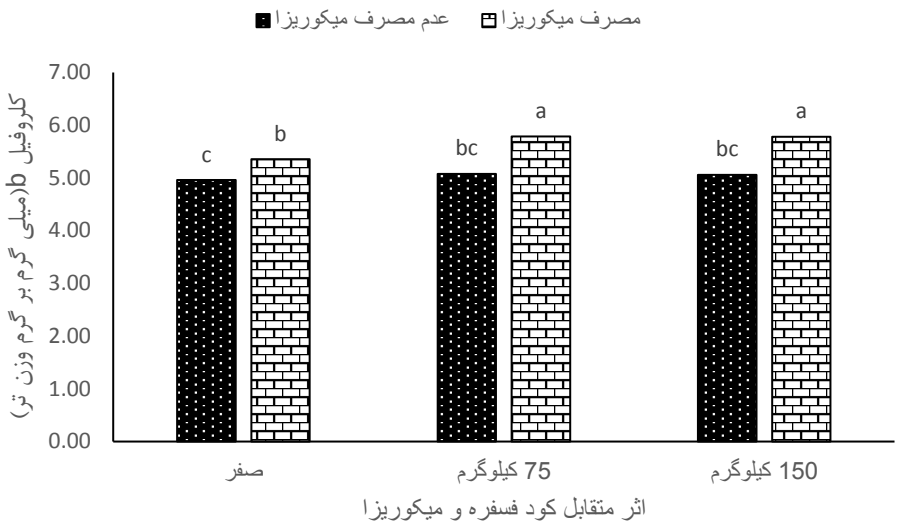
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر اثرات اصلی زئولیت در سطح احتمال یک درصد، میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل زئولیت و کود فسفره در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود ولی بقیه اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل زئولیت و کود فسفره نشان داد بیشترین عملکرد دانه در تیمار مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت و عدم مصرف یا ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به ترتیب به میزان ۲۹۲۰/۶ و ۲۸۹۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف زئولیت و کود فسفره به میزان ۲۰۶۳/۳۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۳). احتمالا در دسترس قرار گرفتن مواد غذایی برای رشد ماش از طریق کود فسفر و زئولیت قدرت رشد و نمو گیاه را در طی فصل رشد افزایش داده که در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه شده است. محققان گزارش کردند مصرف کود فسفر بیشترین تاثیر را بر عملکرد دانه داشته است (Zheng et al., 2019). محققان با کاربرد سطوح مختلف فسفر (۰، ۱۷/۵، ۳۵، ۵۲/۵ کیلوگرم P2O5 در هکتار) بالاترین عملکرد باقلا را در سطح ۵۲/۵ کیلوگرم بدست آوردند و گزارش کردند که باقلا واکنش خوبی به کاربرد فسفر از خود نشان می‌دهد و علاوه بر عملکرد اجزای عملکرد شامل وزن صد دانه، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و طول غلاف به‌طور معنی‌داری با کاربرد کود فسفره، در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش می‌یابد (Turk and Tawaha, 2002). همچنین مطالعات نشان می‌دهد که در تمام مناطق زیرکشت حبوبات، افزایش عملکرد و کوتاه شدن دوره رسیدن و افزایش تعداد غلاف در بوته با افزایش مصرف کودهای فسفاته همراه است (Jarosz et al.,2022; Hasbullah et al., 2020). استفاده از کود زئولیت به دلیل نگهداری رطوبت خاک و جذب عناصر غذایی و در اختیار قرار دادن آنها به گیاه در طی دوره رشد باعث افزایش عملکرد دانه شد. کود زئولیت باعث نگهداشت آب در خاک (Zheng et al., 2022) می‌گردد و از این طریق جذب آب توسط گیاه راحت تر و عملکرد دانه بیشتر می‌شود.

کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر اثرات اصلی زئولیت در سطح احتمال یک درصد، میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل میکوریزا و کود فسفره در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود ولی بقیه اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل میکوریزا و کود فسفره نشان داد بیشترین کلروفیل b در تیمار مصرف میکوریزا و مصرف ۱۵۰ یا ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به ترتیب به میزان ۵/۷۸ و ۵/۷۹ میلی گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف میکوریزا و عدم مصرف کود فسفره به میزان ۴/۹۶ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد (شکل ۲).

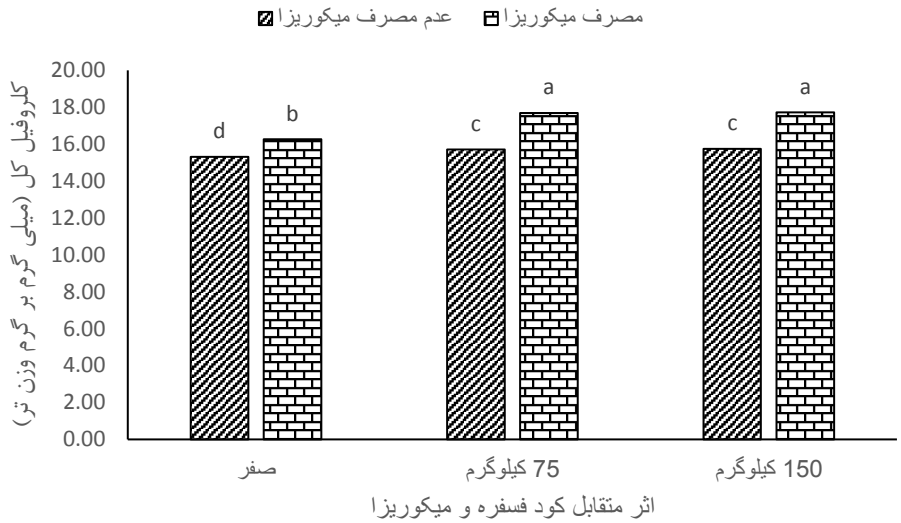
میکوریزا با افزایش قابلیت گیاه در جذب عناصر غذایی از خاک، به خصوص فسفر، سبب جذب راحت در تولید کلروفیل b می‌شود. محققان اظهار داشتند کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان می‌تواند با افزایش سطح فعالیت آنزیم کلروفیلاز و/یا مهار تشکیل رنگدانه فتوسنتزی مرتبط باشد که این می‌تواند نتیجه سرعت فتوسنتز برگ، هدایت روزنه ای، راندمان مصرف آب و کارایی فتوسیستم II را کاهش داد (Sun et al., 2021). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که کاهش فتوسنتز نه تنها عمدتاً به دلیل کاهش محتوای کلروفیل برگ است، بلکه با کاهش رسانایی روزنه‌ای برگ‌ها نیز همراه است که باعث کاهش عرضه دی اکسید کربن به فضاهای بین سلولی می‌شود (Franco- Navarro et al., 2019; Ghadirnezhad Shiade et al., 2023c; Anik et al., 2023). افزایش حجم و استقرار سیستم ریشه تحت تأثیر مثبت میکوریزا می‌تواند تأثیر مستقیمی بر جذب عناصر غذایی و بهبود فعالیت کلروفیل a داشته باشد (Vafadar et al., 2014).



شکل ۲: مقایسه میانگین اثرات متقابل کود فسفره و میکوریزا بر کلروفیل b ماش

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر اثرات اصلی زئولیت در سطح احتمال یک درصد، میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل میکوریزا و کود فسفره در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود ولی بقیه اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل میکوریزا و کود فسفره نشان داد بیشترین کلروفیل کل در تیمار مصرف میکوریزا و مصرف ۱۵۰ یا ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به ترتیب به میزان ۱۷/۶۹ و ۱۷/۷۲ میلی گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف میکوریزا و عدم مصرف کود فسفره به میزان ۱۵/۳۱ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد (شکل ۳). میکوریزا با افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی از خاک، به خصوص عناصری مانند نیتروژن و فسفر، به گیاهان کمک می‌کند. این افزایش جذب می‌تواند تأثیر مستقیمی بر ساخت کلروفیل داشته باشد، زیرا نیتروژن و فسفر دو عنصر اساسی در ترکیب کلروفیل هستند. همچنین میکوریزا در فرآیند تبادل مواد غذایی بین گیاهان و قارچ‌ها نقش دارد. این فرآیند تسهیل‌کننده در جذب عناصر غذایی و انتقال آنها به اندام‌های مختلف گیاهان، از جمله برگ‌ها که مکان اصلی تولید کلروفیل است، می‌تواند به بهبود فرآیند تولید کلروفیل کمک کند (Sun et al., 2021; Haghighi et al., 2023; Rasouli et al., 2023).



شکل ۳: مقایسه میانگین اثرات متقابل کود فسفره و میکوریزا بر کلروفیل کل ماش

فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر اثرات اصلی کود فسفره در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل زئولیت و کود فسفره در سطح احتمال یک درصد بر فسفر دانه معنی دار بود ولی بقیه اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل زئولیت و کود فسفره نشان داد بیشترین فسفر دانه در تیمار مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت و عدم مصرف کود فسفره به میزان ۰/۱۰۶ درصد مشاهده شد و کمترین در حالت عدم مصرف زئولیت و عدم مصرف کود فسفره به میزان ۰/۰۸ درصد بدست آمد (جدول ۳). زئولیت‌ها خاصیت جذب یون‌ها را دارا هستند و می‌توانند فسفر را جذب کنند. این خاصیت جذب می‌تواند باعث حفظ فسفر در خاک و جلوگیری از آبکشی آن شود. این امر می‌تواند در دسترسی بهتر گیاه به فسفر و افزایش غنای فسفر در دانه‌ها موثر باشد. همچنین فسفر در تشکیل دانه نقش مهم و اساسی دارد. بنابراین فراهمی این عنصر سبب افزایش میزان آن در دانه ماش شده است که با نتایج دیگر محققان مطابقت دارد (Zheng et al., 2019). زئولیت‌ها ممکن است بهبودی در ساختار خاک ایجاد کنند و از فسفر بهتری برای جذب توسط ریشه‌های گیاهان فراهم کنند. این امر می‌تواند به گیاهان کمک کند تا به شکل بهتری از فسفر استفاده کنند (Cataldo et al., 2021).

نتیجه‌گیری

افزایش عملکرد دانه تیمارهای زئولیت نسبت به شاهد به علت افزایش ماده خشک و جریان مواد فتوسنتزی به اندام‌های مولد عملکرد اقتصادی می‌باشد. مطالعه اثر زئولیت، میکوریزا و کود فسفره بر رشد و نمو ماش نتایج مهمی را نشان می‌دهد. در این مطالعه، زئولیت به عنوان یک ماده اصلاح کننده خاک با توانایی بهبود ساختار خاک، موجب بهبود توسعه ریشه‌ها و جذب بهتر عناصر غذایی شد. این بهبود در تأمین عناصر غذایی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌ها و فرآیندهای متابولیکی گیاه شده و به عنوان نتیجه، رشد و نمو گیاه ماش افزایش یافته است. همچنین قارچ میکوریزا نقش بسزایی در بهبود ساختار ریشه‌ها، افزایش تجمع فسفر و افزایش قابلیت گیاه در مقابل استرس‌های محیطی دارد. میکوریزا به بهبود تبادل مواد غذایی و جذب عناصر غذایی کمک کرده و این بهبودات به عنوان نتیجه، به تقویت رنگیزه‌های فتوسنتزی و همچنین رشد گیاه بهبود بخشیده است. از سوی دیگر، کود فسفره نیز به عنوان یک منبع اصلی فسفر، نقش مهمی در توسعه گیاهان ایفا می‌کند. افزایش تأمین فسفر از طریق کود، باعث بهبود فرآیند فتوسنتز، جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش کمیت و کیفیت عملکرد شده است. به طور کلی، ترکیب یا استفاده

از هر کدام از کودهای زئولیت، میکوریزا و کود فسفره در کشت ماش به بهبود رشد، افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول منجر شده است.

تعارض منافع

" هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد " .

REFERENCES

1. Albayrak, S., & Camas, N. (2005). Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (Brassica rapa L.). *Journal of Agronomy*. 4, 130–133.
2. Amirahmadi, E., Ghorbani, M., & Moudrý, J. (2022). Effects of zeolite on aggregation, nutrient availability, and growth characteristics of corn (Zea mays L.) in cadmium-contaminated soils. *Water, Air, & Soil Pollution*, *233*(11), 436.
3. Anik, T. R., Mostofa, M. G., Rahman, M. M., Khan, M. A. R., Ghosh, P. K., Sultana, S., ... & Tran, L. S. P. (2023). Zn Supplementation Mitigates Drought Effects on Cotton by Improving Photosynthetic Performance and Antioxidant Defense Mechanisms. *Antioxidants*, 12(4), 854.
4. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. *Plant physiology*, 24(1), 1.
5. Bilal, S., Hazafa, A., Ashraf, I., Alamri, S., Siddiqui, M. H., Ramzan, A., ... & Naeem, M. (2021). Comparative effect of inoculation of phosphorus-solubilizing bacteria and phosphorus as sustainable fertilizer on yield and quality of mung bean (Vigna radiata L.). *Plants*, *10*(10), 2079.
6. Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., Masciandaro, G., Manzi, D., ... & Mattii, G. B. (2021). Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. *Agronomy*, 11(8), 1547.
7. 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.
8. 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).
9. Franco- Navarro, J. D., Rosales, M. A., Cubero- Font, P., Calvo, P., Alvarez, R., Diaz- Espejo, A., & Colmenero- Flores, J. M. (2019). Chloride as a macronutrient increases water- use efficiency by anatomically driven reduced stomatal conductance and increased mesophyll diffusion to CO 2. *The Plant Journal*, 99(5), 815-831.
10. Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Kardoni, F., Pandey, R., & Pessarakli, M. (2023a). Nitrogen contribution in plants: recent agronomic approaches to improve nitrogen use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 1-18.
11. Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Minkina, T., Wong, M. H., & Rajput, V. D. (2023b). Biochar application in agroecosystems: a review of potential benefits and limitations. *Environment, Development and Sustainability*, 1-25.

12. Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pessarakli, M. (2023c). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of Plant Nutrition*, *46*(9), 2198-2230.
13. Hafeez, A., Ali, B., Javed, M. A., Saleem, A., Fatima, M., Fathi, A., ... & Soudy, F. A. (2023). Plant breeding for harmony between sustainable agriculture, the environment, and global food security: an era of genomics- assisted breeding. *Planta*, *258*(5), 97.
14. Haghighi, T. M., Saharkhiz, M. J., Ramezanian, A., & Zarei, M. (2023). The use of silicon and mycorrhizal fungi to mitigate changes in licorice leaf micromorphology, chlorophyll fluorescence, and rutin content under water-deficit conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, *197*, 107662.
15. Hasbullah, N. A., Ahmed, O. H., & Ab Majid, N. M. (2020). Effects of amending phosphatic fertilizers with clinoptilolite zeolite on phosphorus availability and its fractionation in an acid soil. *Applied Sciences*, *10*(9), 3162.
16. Hassan, W., Saba, T., Jabbi, F., Wang, B., Cai, A., & Wu, J. (2022). Improved and sustainable agroecosystem, food security and environmental resilience through zero tillage with emphasis on soils of temperate and subtropical climate regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, *10*(3), 530-545.
17. 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.
18. Heydari, M. M., Brook, R. M., Withers, P., & Jones, D. L. (2011). Mycorrhizal infection of barley roots and its effect upon phosphorus uptake. *Aspects of Applied Biology*, (109), 137-142.
19. Hosseini Chamani, S. A., Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A. M., & Lotfi Jalal-abadi, A. (2019). The effect of circuit irrigation, mycorrehiza inoculation and zeolite on yield and water use efficiency of mung bean. *Journal of Crops Improvement*, *21*(2), 119-130.
20. Hou, D., Yousaf, L., Xue, Y., Hu, J., Wu, J., Hu, X., ... & Shen, Q. (2019). Mung bean (Vigna radiata L.): Bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, and health benefits. *Nutrients*, *11*(6), 1238.
21. Izhar Shafi, M., Adnan, M., Fahad, S., Wahid, F., Khan, A., Yue, Z., ... & Datta, R. (2020). Application of single superphosphate with humic acid improves the growth, yield and phosphorus uptake of wheat (Triticum aestivum L.) in calcareous soil. *Agronomy*, *10*(9), 1224.
22. Jakkula, V. S., & Wani, S. P. (2018). Zeolites: Potential soil amendments for improving nutrient and water use efficiency and agriculture productivity. *Scientific Reviews & Chemical Communications*, *8*(1), 1-15.
23. Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K., & Mierzwa-Hersztek, M. (2022). The use of zeolites as an addition to fertilisers–A review. *Catena*, *213*, 106125.
24. Li, Y., Xia, G., Wu, Q., Chen, W., Lin, W., Zhang, Z., ... & Chi, D. (2022). Zeolite increases grain yield and potassium balance in paddy fields. *Geoderma*, *405*, 115397.
25. Meena, M.K., Gupta, S. and Datta, S. (2016). Antifungal potential of PGPR, their growth promoting activity on seed germination and seedling growth of winter wheat and genetic variabilities among bacterial isolates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(1), 235-243.
26. Mirzaei Heydari, M., Brook, R. M., & Jones, D. L. (2023). Barley Growth and Phosphorus Uptake in Response to Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Phosphorus Solubilizing Bacteria. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-16.
27. Mohammadzadeh, M., Niknejad, Y., Fallah-Amoli, H., Barari, D., & Baghbanian, S. M. (2022). Effect of zeolite and poultry manure enriched with zinc and copper on agronomical and physiological traits of green bean. *Iranian Journal Pulses Research*, *13*(1), 99-112.

28. Mortazavi, N., Bahadori, M., Marandi, A., Tangestaninejad, S., Moghadam, M., Mirkhani, V., & Mohammadpoor-Baltork, I. (2021). Enhancement of CO2 adsorption on natural zeolite, modified clinoptilolite with cations, amines and ionic liquids. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *22*, 100495.
29. Mott, J., Abaye, O., Reiter, M., & Maguire, R. (2022). Evaluating Effects of Bradyrhizobium and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on yield components of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) and nitrogen fixation. *Agronomy*, *12*(10), 2358.
30. Naseri, R., Soleymani Fard, A., Mirzaei, A., Darabi, F., & Fathi, A. (2020). The effect of Plant Growth Promoting Rhizohacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam privince. *Iranian Journal Pulses Research*, *10*(2), 62-76.
31. Rasouli, F., Amini, T., Skrovankova, S., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M. B., Ercisli, S., ... & Mlcek, J. (2023). Influence of drought stress and mycorrhizal (Funneliformis mosseae) symbiosis on growth parameters, chlorophyll fluorescence, antioxidant activity, and essential oil composition of summer savory (*Satureja hortensis* L.) plants. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1151467.
32. Sandhu, K., & Singh, A. (2021). Strategies for the utilization of the USDA mung bean germplasm collection for breeding outcomes. *Crop Science*, *61*(1), 422-442.
33. Simioniuc, D. P., Simioniuc, V., Topa, D., Van den Berg, M., Prins, U., Bebeli, P. J., & Gabur, I. (2021). Assessment of andean lupin (*Lupinus mutabilis*) genotypes for improved frost tolerance. *Agriculture*, *11*(2), 155.
34. Sun, J., Yang, L., Yang, X., Wei, J., Li, L., Guo, E., & Kong, Y. (2021). Using spectral reflectance to estimate the leaf chlorophyll content of maize inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under water stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 646173.
35. Vafadar, F., Amooaghaie, R., & Otroshy, M. (2014). Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of Stevia rebaudiana. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 128-136.
36. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., & Vanderlee, J. J. (1989). Soil and plant analysis, a series of syllabi. Part, 7, 263.
37. Yavitt, J. B., Pipes, G. T., Olmos, E. C., Zhang, J., & Shapleigh, J. P. (2021). Soil organic matter, soil structure, and bacterial community structure in a post-agricultural landscape. *Frontiers in Earth Science*, *9*, 590103.
38. Zamani, Z., Zeidali, E., Alizadeh, H. A., & Fathi, A. (2023). Effect of drought stress and nitrogen chemical fertilizer on root properties and yield in three quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd). Crop Science Research in Arid Regions, 5(2), 487-500.
39. Zeidali, E., Moradi, R., & Fathi, A. (2022). Quantitative and qualitative response of maize yield to tillage systems and nitrogen chemical fertilizer. *Applied Field Crops Research*, 35(2), 105-85.
40. Zheng, J., Chen, T., Chi, D., Xia, G., Wu, Q., Liu, G., ... & Siddique, K. H. (2019). Influence of zeolite and phosphorus applications on water use, P uptake and yield in rice under different irrigation managements. Agronomy, 9(9), 537.
41. Zheng, J., Liu, G., Wang, S., Xia, G., Chen, T., Chen, Y., ... & Chi, D. (2022). Zeolite enhances phosphorus accumulation, translocation, and partitioning in rice under alternate wetting and drying. *Field Crops Research*, *286*, 108632.

Investigating the effect of mycorrhizal inoculation, different amounts of zeolite, and phosphorus chemical fertilizer on mung bean yield (*Vigna radiate* L.)

EXTENDED ABSTRACT

Abstract

Mung bean is an important legume that is consumed all over the world, especially in Asian countries. It is known as an excellent source of protein, dietary fiber, minerals, and vitamins. Chemical fertilizers are considered one of the factors influencing the performance of crops. However, their excessive use, especially when combined with inappropriate management operations, greatly reduces the amount of organic matter in the soil. Arbuscular mycorrhizal fungi create symbiotic relationships with legumes through mechanisms that increase water absorption, nutrient absorption, reduce the negative effects of environmental stress, increase resistance to pathogens, and improve phosphorus and other nutrient absorption. Zeolites are classified as crystalline aluminosilicates and play an important role in soil amendment by increasing soil aeration, nutrient availability, and plant production.

Materials and Methods

The present study investigated the effect of the combination of zeolite, arbuscular mycorrhiza fungus, and phosphorus fertilizer on mung bean production in the climatic conditions of Isfahan City during the years 2022-2023. The experiment was conducted using a split-split plot design as a randomized complete block design with three replications. The main factor included zeolite at three levels (zero, 3, and 6 ton/h), while the secondary factors included mycorrhizal inoculation (inoculated and non-inoculated) and phosphorus fertilizer at three levels (zero, 75, and 150 kg/h). The first irrigation was applied immediately after planting, followed by subsequent irrigations every 10 days using the drip method. Initial greening of the plants occurred 6 days after planting, with more than 80% of the plants in each plot being green by day 15. Thinning of the plants was conducted in one stage after full establishment at the six-leaf stage. Weed control was carried out continuously from planting to harvesting through manual weeding. No specific diseases were observed during the growth stages, and no chemical poisons or pesticides were used throughout the experiment.

Results and Discussion

The results showed that the main effects of mycorrhiza and phosphorus fertilizer on all measured traits were significant. The interaction effect of zeolite and phosphorus fertilizer indicated that the highest seed yield was observed in the treatment of six ton/h of zeolite without using or with 75 kg/h of phosphorus fertilizer, resulting in yields of 2920.6 and 2895.67 kg/h, respectively, while the lowest yield was observed in the absence of zeolite. The consumption of zeolite and phosphorus fertilizer was recorded at the rate of 2063.36 kg/h. Furthermore, the highest biological yield was observed in the treatment involving six ton/h of zeolite along with 75 kg/h of phosphorus fertilizer and mycorrhizal inoculation, resulting in a yield of 8127 kg/h, whereas the lowest yield was observed when no zeolite, mycorrhiza, or phosphorus fertilizer was used, resulting in a total yield of 3893 kg/h. Regarding the interaction between mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer application, the highest amount of chlorophyll b was observed in the treatment involving mycorrhizal inoculation and the application of 150 or 75 kg/ha of phosphorus fertilizer, resulting in chlorophyll b levels of 5.78 and 5.79 mg fresh weight, respectively, while the lowest level was observed in the absence of mycorrhizal consumption and the non-application of phosphorus fertilizer, resulting in a level of 4.96 mg fresh weight.

Conclusion

The rise in grain yield attributed to zeolite treatment, in comparison to the control, stems from enhanced dry matter accumulation and improved transportation of photosynthetic materials to the economically significant organs. Generally, the integration or application of zeolite, mycorrhizal fungi, and

phosphorus fertilizers in mung bean cultivation has resulted in enhanced growth, productivity, and quality of the produce.
Keywords: Phosphorous fertilizer, Mycorrhiza, Zeolite, Mung bean, Mycorrhizal symbiosis

ویراستاری