دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال یازدهم، شماره سی و هشتم، ۱۳۹۸

نقش میکوریزا آربسکولار و ازتوباکتر کروکوکوم بر رشد و عملکرد ارقام مختلف لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

هادی خاوری[۱]، قدرت‌اله شاکرمی[۲]

دریافت: ۹۵/۱۲/۷ پذیرش: ۹۶/۸/۱

چکیده

امروزه در کشاورزی پایدار بر ثبات عملکرد گیاهان زراعی در طولانی مدت با حداقل اثر بر محیط زیست تأکید می‌شود. استفاده از کودهای زیستی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه اثر زیست‌محیطی جبران‌ناپذیر ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در اکوسیستم‌های زراعی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر بر رشد و عملکرد ارقام لوبیا قرمز، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ در منطقه بیرانشهر لرستان اجرا شد. عامل‌ها شامل تلقیح با گونه‌های قارچ میکوریزا در دو سطح (تلقیح و بدون تلقیح)، مایه‌زنی با باکتری ازتوباکتر در دو سطح (مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی) و ارقام لوبیا قرمز شامل (توده بیرانشهر، رقم اختر و گلی) بودند. نتایج نشان داد که اثر هر سه عامل بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و عملکرد پروتیین دانه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سه‌گانه عامل‌ها بر ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد پروتیین دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. عملکرد دانه در توده بیرانشهر، رقم اختر و گلی به‌ترتیب ۵۶/۵، ۱۹/۱ و ۴۳/۲ درصد افزایش یافت. بیشترین عملکرد دانه (۲۹۸۱/۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر×تلقیح میکوریزا×رقم گلی با فرم بوته رونده و رشد نامحدود به‌دست آمد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، می‌توان استفاده از کودهای زیستی حاوی قارچ‌های میکوریزا آربسکولار را به تنهایی و یا همراه *ازتوباکتر کروکوکوم*، در زراعت لوبیا قرمز توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد پروتیین، کشاورزی پایدار، کودهای زیستی، لوبیا قرمز

خاوری، ه. و ق. شاکرمی. ۱۳۹۸. نقش میکوریزا آربسکولار و ازتوباکتر کروکوکوم بر رشد و عملکرد ارقام مختلف لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.). مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۸: ۱۳۱-۱۱۸.

۱- گروه کشاورزی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران- مسئول مکاتبات. 2006.khavari.hadi@gmail.com

۲- گروه کشاورزی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران

مقدمه

کشاورزی پایدار یک فرآیند بیولوژیکی است و سعی در تقلید کردن از خصوصیات کلیدی یک اکوسیستم طبیعی دارد اما عملکرد حداکثر از اهداف آن نیست. کشاورزی پایدار موجب پیچیدگی اکوسیستم زراعی می‌شود. اکوسیستم های زراعی پایدار که متکی بر نهاده کم هستند پیچیده‌تر از سیستم‌هایی هستند که با نهاده زیاد اداره می‌شوند و بدین ترتیب نیاز به اصول منطقی و مدیریت صحیح‌تری دارند (سلیمی، ۱۳۹۲). از دیدگاه کشاورزی پایدار، خاک نه تنها یک بستر فیزیکی و شیمیایی است، بلکه به منزله یک پیکر زنده است که با مدیریت ریز جانداران موجود در آن می‌توان تنوع زیستی، تأمین سلامت و به‌دنبال آن کارکرد آن را حفظ و افزایش داد، لذا برای رسیدن به یک سیستم زراعی پایدار، استفاده از نهاده‌هایی که علاوه بر تأمین نیازهای گیاه، جنبه‌های اکولوژیکی سیستم را بهبود بخشند و اثرات منفی زیست محیطی ناشی از مصرف آن را کاهش دهند ضروری به نظر می‌رسد (کیزیلکایا، ۲۰۰۸). امروزه با توجه به درک اهمیت استفاده از کودهای زیستی در بهبود حاصلخیزی خاک و تولید پایدار محصولات کشاورزی، تولید و کاربرد این کودها در بوم - نظام‌های زراعی رواج بیشتری پیدا کرده و بسیاری از کشورهای توسعه یافته اقدام به تولید و مصرف کودهای زیستی نموده‌اند (کانایان، ۲۰۰۲). اغلب پژوهشگران بر این باورند که با یک مدیریت خوب و صحیح، با استفاده از کودهای زیستی و ریزجانداران می‌توان شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم کرد (وسی، ۲۰۰۳). برخی از ریز جانداران موجود در خاک می‌توانند در تغذیه و جذب عناصر غذایی به راه‌های گوناگون به گیاهان کمک کنند که از آن جمله می‌توان به همزیستی دوجانبه گیاه با ریزجاندار اشاره کرد (جفریس، ۲۰۰۳).

کودهای زیستی تشکیل شده از باکتری‌ها و یا قارچ‌های مفیدی هستند که می‌توانند از طریق روش‌های مختلفی همچون تثبیت نیتروژن، انحلال و قابل جذب نمودن فسفات، رهاسازی یون پتاسیم، تأمین آهن و دیگر عناصر غذایی مفید به بهبود تغذیه گیاه کمک نموده و علاوه بر آن با کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک و سایر اثرات مفید، تحریک رشد گیاه را به دنبال دارند (بی‌نام، ۲۰۰۶). قارچ‌های میکوریزا آربسکولار از مهمترین ریزجانداران خاکزی همزیست با گیاهان هستند که به یک راسته (Monophyletic phylum) با نام علمی *Glomero mycota* متعلق می‌باشند (سچسلر و همکاران، ۲۰۰۱). این ریزجانداران همزیست‌های اجباری با ۹۰ درصد از گونه‌های مختلف گیاهی می‌باشند (ژو و همکاران، ۲۰۱۰).

باکتری‌های متعلق به خانواده *Azotobacteracea* از مهمترین باکتری‌های آزادزی- خاک‌زی و هتروتروف می‌باشند. علاوه بر تثبیت نیتروژن ملکولی موجود در اتمسفر از طریق افزایش تحرک و قابلیت جذب عناصر غذایی و به ویژه تولید فیتوهورمون‌های گیاهی موجب بهبود شرایط تغذیه و رشد گیاه - می‌شوند. این باکتری‌ها از طریق کنترل عوامل بیماری‌زا، به‌صورت غیر مستقیم به حفظ سلامت گیاه کمک نموده که اثر نهایی آن بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (مرکواکی و میلیک، ۲۰۰۱).

قارچ های میکوریزی و باکتری های افزایش دهنده رشد گیاه مثل باکتری *Azotobacter* و *Pesudomonas* توان افزایش جذب عناصر غذایی، به ویژه زمانی که با هم استفاده می‌شوند را دارا می‌باشند (آرتوسون و همکاران، ۲۰۰۶; اسمیت و رید، ۲۰۰۸). اثر متقابل ازتوباکتر و میکوریزا موجب افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه می‌شود و ازتوباکتر موجب افزایش رشد تارهای کشنده ریشه و افزایش جذب مواد غذایی می‌شود (کاردا و همکاران، ۲۰۰۲).

یادگاری و اسدی رحمانی (۲۰۱۰) بیان کردند که تلقیح لوبیا با باکتری‌های محرک رشد سودوموناس فلورسنس و آزوسپیریلیوم لیپوفروم به همراه باکتری‌های همزیست ریزوبیوم موجب افزایش تثبیت زیستی نیتروژن توسط باکتری‌ها و منجر به افزایش رشد و عملکرد لوبیا گردید. اردکانی و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که همزیستی با قارچ میکوریزا آربسکولا (*Glomous intradices*) و مایه‌زنی با *ازتوباکتر کروکوکوم* منجر به افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم شد. گزارش‌های متعددی در رابطه با افزایش عملکرد گیاهان زراعی مانند: نخود (*Cicer arietinum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) با کاربرد باکتری‌های محرک رشد توسط سایر محققان وجود دارد (والورده و همکاران، ۲۰۰۶; احمد و همکاران، ۲۰۱۲).

لوبیا با نام علمی (*Phaseolus vulgaris* L.) یکی از حبوبات مهم است که به صورت مستقیم مورد استفاده انسان قرار می‌گیرد و حدود ۵۰ درصد از تولید حبوبات جهان را شامل می‌شود (مکلان و همکاران، ۲۰۰۴). با وجود پژوهش‌های گسترده در زمینه اثر کودهای زیستی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی،

این آزمایش با هدف بررسی اثر بکارگیری توأم کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر بر رشد و عملکرد کمی و کیفی ارقام لوبیا قرمز در شرایط حذف مصرف کودهای شیمیایی به منظور افزایش کمیت، کیفیت و پایداری عملکرد محصول در زراعت لوبیا با یک مدیریت زراعی صحیح برای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار در زراعت این گیاه نسبت به روش‌های کشت مرسوم آن در شرایط اقلیمی منطقه بیرانشهر لرستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در منطقه بیرانشهر استان لرستان با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ٤٠ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٨ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ١٦٥٣ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. طرح آزمایشی مورد استفاده فاکتوریل با سه عامل به‌صورت ۳×۲×۲ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بود. فاکتورهای مورد بررسی شامل تلقیح با سه گونه قارچ میکوریزا آربسکولار (*Glomus etunicatum, G. Intraradices, G. mossea*) در دو سطح (تلقیح m_1 و بدون تلقیح m_2) ، مایه-زنی با باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* A (*Azotobacter chroococcum* Strain 15) در دو سطح (مایه‌زنی a_1 و عدم مایه‌زنی a_2) و ارقام لوبیا قرمز شامل توده بیرانشهر (فرم بوته رونده و رشد نامحدود V_1) ، ارقام اختر (فرم بوته ایستاده، رشد محدود و کلاس تجارتی آن V_2 Light Red Kidney) و گلی (فرم بوته رونده، رشد نامحدود و کلاس تجاری V_3 Red Mexican) بودند. زمین محل اجرای آزمایش در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از انجام آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ٦٠ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه برداری انجام شد. خصوصیات خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ - خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)	اسیدیته pH	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس	شن	لای	رس	نیتروژن	کربن آلی	بافت خاک
			قابل جذب بر حسب ($mg.kg^{-1}$)						(درصد)					
۰ – ۳۰	۰/٦۳	۷/٦٥	٤/٦	۲۱۰	۳/٤۷	٦/۱۲	۰/۹۷	۰/۸٤	٥	٥۸	۳۷	۰/۰۸	۰/۹۸	سیلت.رسی.لوم
۳۰ – ٦۰	۰/٥۸	۷/۷۱	۲/٤	۱٥۰	۲/۸۱	٤/٥٤	۰/۹۲	۰/٥٥	۷	٥۸	۳٥	۰/۰۷	۰/۷۳	سیلت.رسی.لوم

کود زیستی میکوریزا آربسکولار با پتانسیل ۱۰۰ قطعه تکثیر (پروپاگول) در هر گرم، از گونه‌های مختلف (*Glomus etunicatum, G. Intraradices, G. mossea*) با نام تجاری مایکوروت از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان (دانش-بنیان)، باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* (*Azotobacter chroococcum* strain 15) با تراکم جمعیت ($۱۰^{۸} \times ٥$ CFU بر گرم به ازای هر میلی‌لیتر) از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (بخش تحقیقات بیولوژی خاک) و بذور ارقام لوبیا قرمز از پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان بروجرد تهیه گردید.

به منظور آماده سازی بستر کاشت و بهره‌گیری از مزایای شخم پائیزه، زمین مورد نظر توسط گاوآهن برگردان‌دار در پائیز سال ١٣٩٤ یک‌بار و پس از مساعد شدن هوا و گاورو شدن زمین در اواخر اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ یک‌بار شخم زده شد. سپس با توجه به نقشه آزمایش توسط نهرکن اقدام به ایجاد جوی و پشته‌ها نمودیم. همچنین به منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها برای هر بلوک یک جوی آب جداگانه در نظر گرفته شد تا تیمارها بتوانند مستقل از هم عمل نمایند. واحدهای آزمایشی با ابعاد ۲/٥×٥ متر و جوی و پشته‌ها با عرض ٥٠ سانتی‌متر ایجاد شد. فاصله بین واحدهای آزمایشی یک متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد.

به منظور کاشت بذور با توجه به شرایط حساس جوانه‌زنی لوبیا، آبیاری پیش از کاشت انجام شد.

پس از گذشت ٥ روز با گاورو شدن زمین، بذور در تاریخ ١٤ خرداد ۱۳۹۵ به روش هیرم‌کاری (نم‌کاری)، به‌صورت دستی در خطوطی با طول ٥ متر با فاصله ردیف ٥٠ سانتی‌متر، فاصله بوته-ها روی ردیف ٥ سانتی‌متر و با تراکم ٤٠ بوته در متر مربع در

عمق ۵ تا ٦ سانتی‌متری خاک کشت شد.

ماده تلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. به این صورت که پس از ایجاد شیار مقدار مشخص‌شده از ماده تلقیح در طول خط کاشت و با عمق دو سانتی‌متری زیر بذور ریخته شد سپس روی آن با خاک پوشانده شد.

مایه‌زنی با مایه تلقیح مایع *ازتوباکتر کروکوکوم* در سایه انجام گردید. به‌منظور مایه‌زنی بذرها، قبل از کاشت میزان بذر موردنیاز محاسبه و در داخل ظروف پلاستیکی ریخته شد. سپس برای چسبندگی بیشتر با سلول‌های باکتری، با مایع صمغ عربی به نسبت ۲۰ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم بذر آغشته شدند. مایه تلقیح مایع به نسبت ۵۰ میلی‌لیتر برای هر کیلوگرم بذر اضافه شد و برای تکمیل مایه‌زنی به‌طور کامل مخلوط شد و درنهایت بذرها پس از گذشت مدت ۳۰ دقیقه با خشک شدن نسبی کشت شدند.

اولین آبیاری پس از خروج جوانه‌ها و استقرار کامل گیاهچه‌ها در ١٤ روز پس از کاشت انجام شد، مراحل بعدی آبیاری با توجه به شرایط اقلیمی منطقه هر ۷ روز یک‌بار بود. با توجه به اهداف توسعه پایدار در کشاورزی مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی در دو مرحله قبل از شروع گلدهی و در زمان گلدهی کامل بوته‌ها انجام شد. همچنین در مراحل رشد بوته‌ها از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی شامل آفت‌کش و قارچ-کش استفاده نشد.

در پایان فصل رشد، برداشت محصول با در نظر گرفتن اثرات حاشیه (حذف دو خط کناری و ۵۰ سانتی‌متر از بالا و پایین هر خط کاشت) بوته‌ها در سطح ۵ متر مربع انجام و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته با انتخاب تصادفی تعداد ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی تعیین و عملکرد پروتیین دانه با حاصلضرب درصد پروتیین دانه هر تیمار در عملکرد دانه آن، برای هر تیمار محاسبه گردید.

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver 9. 1. 3 تجزیه واریانس گردید و مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2016 استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر ازتوباکتر، میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد، اثر متقابل ازتوباکتر×رقم و همچنین اثر متقابل ازتوباکتر×میکوریزا×رقم، بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه تیمارها نشان داد که با کاربرد کودهای زیستی، ارتفاع بوته افزایش یافت. به‌طوری که ارتفاع بوته در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر×تلقیح میکوریزا×توده بیرانشهر، ارقام اختر و گلی به ترتیب (۷۹/۱۹، ٤۳/٦۰ و ۹۸/۰۷ سانتی‌متر) نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی ازتوباکتر×بدون تلقیح میکوریزا×رقم، (۷٤/۹۲، ۳۳/۰۳ و ۷۷/۷۰ سانتی‌متر) به ترتیب ٥/٦، ۳۲ و ۲٦/۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲). در رابطه با اثر کودهای زیستی بر افزایش ارتفاع بوته، این تأثیر می‌تواند به دلیل توسعه‌ای که این ریزجانداران به واسطه افزایش میزان کلونیزاسیون و گسترش سطح جذب سیستم ریشه‌ای، موجب تغییر در اختصاص منابع بین ریشه و اندام‌های هوایی گیاه شده-اند که از طریق افزایش محتوای کلروفیل برگ و توسعه شاخسار (سطح برگ) موجب بهبود رشد و در نتیجه افزایش ارتفاع بوته شده‌اند؛ که نتایج این آزمایش با نتایج صفاپور و همکاران (۱۳۸۹) بر لوبیا، پزشکپور و همکاران (۱۳۹٤) بر نخود، برومند و همکاران (۱۳۹۱) بر ذرت (*Zea mays* L.) مطابقت دارد. با وجود اینکه ارتفاع بوته تحت تأثیر فعالیت کودهای زیستی قرار گرفت اما در بین ارقام مورد مطالعه نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، که این اختلاف ارتفاع بوته را می‌توان به پتانسیل ژنتیکی و فرم رویشی بوته‌ها نسبت داد. با این نتیجه که توده بیرانشهر و رقم گلی (با فرم بوته رونده و رشد نامحدود) نسبت به رقم اختر (با فرم رویشی ایستاده و رشد نا محدود) ارتفاع بوته بیشتری دارند.

تعداد غلاف در بوته

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر اصلی ازتوباکتر، میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دو جانبه ازتوباکتر×میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته در رقم گلی (۲۲/۰٤) و کمترین تعداد غلاف در بوته در رقم اختر (۱٤/۰۷) مشاهده

شد (جدول ۳). در این رابطه می‌توان بیان داشت که رقم گلی با فرم بوته رونده و رشد نامحدود توانسته است به واسطه ارتفاع بوته بیشتر و همچنین پتانسیل ژنتیکی بالاتر برای تولید غلاف، توانسته است تعداد غلاف بیشتری را نسبت به رقم اختر با فرم بوته ایستاده و رشد محدود تولید کند که این نتایج با نتایج آزمایش صفاپور و همکاران (۱۳۸۹) بر لوبیا مطابقت دارد.

همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل ازتوباکتر×میکوریزا نشان داد که تعداد غلاف در بوته در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر×تلقیح میکوریزا (۲۰/٤۸) نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی ازتوباکتر×بدون تلقیح میکوریزا (۱٤/٤٥) افزایش ٤۱/۷ درصدی داشت (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد کاربرد توأم کودهای زیستی از طریق تقویت و افزایش ارتفاع بوته‌ها به واسطه‌ی توسعه بیشتر ریشه‌ها و همچنین افزایش تعداد برگ‌های فعال در بوته موجب بهبود فرآیند فتوسنتز شده است که در نتیجه سبب بهبود فرآیند گلدهی و افزایش توان تولید در گیاه شده و تعداد غلاف در بوته را نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی ازتوباکتر×بدون تلقیح میکوریزا به‌طور معنی‌داری افزایش داده است. در این رابطه نتایج مشابهی توسط رخزادی و همکاران (۲۰۰۸) بر نخود، محمود و همکاران (۲۰۱۰) و ناظری و همکاران (۱۳۸۹) بر لوبیا گزارش شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر ازتوباکتر، میکوریزا و رقم بر صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته (cm)	تعداد غلاف در بوته	طول غلاف (cm)	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه (gr)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد پروتیین دانه ($kg.ha^{-1}$)
تکرار	۳	٤۲/۸۹ ns	۲/٥۲ ns	۰/٥٥ ns	۰/۲٦ ns	٦/۸۳ ns	۲٦۹۳٥/٤۷ ns	۳٥۸٤/۲۰ ns
ازتوباکتر	۱	۳۳/۰٦ **	۷۸/٤ **	۰/۸۲ ns	٥/۱٦ **	۲/۷۱ ns	٦۱۹۸٤٥/۹۷ **	٤٥۱۹۱۷/۲۲ **
میکوریزا	۱	٥۰۲/۲۰ **	۱٤٤/۳٥ **	٥۱/۷۲ **	۱۲/٥٥ **	۱٤۷/۳٥ **	۲۱٦۹۲٥۷/۷۳ **	۱۹۱٥۷۰/٦۰ **
رقم	۲	۱۰۷٤۸/٤٥ **	۲۷۲/۱۲ **	٥۲/۱۳ **	۹/٤٥ **	٤۹۱/۲۱ **	۳٤۹۳۲۱٥/۱٦ **	۳۱٥۰۷٤/۰٦ **
ازتوباکتر×میکوریزا	۱	۳/۸۱ ns	۰/۰۲٤ *	۰/٦۷ ns	۰/۰٥ ns	٥٦/۲٤ **	۱٥۱۷۲۷/۰۹ ns	۳۱٥۷٦/٦۸ **
ازتوباکتر×رقم	۲	۱۰۲/۳۹ *	۱٥/۲۰ ns	۰/۳٦ ns	۰/۲۰ ns	۸/٦۹ ns	۷٥۹۲٤/۰۲ ns	۳۹۷۷٦/۲۳ **
میکوریزا×رقم	۲	٤۹/۹٦ ns	۱٦/۰٤ ns	۱۲/۷۲ **	۱/۰۰ *	۱۸/٥٦ *	۱۲۰٥٤۱/۷۹ ns	۱٤۹۷٥/٤۲ ns
ازتوباکتر×میکوریزا×رقم	۲	۰/۹٥ *	۲/۸۳ ns	۱/۲۹ ns	۰/۲٤ ns	۲/٥۸ ns	۱٦۷۳/۷۲ *	۱۰۷/۳۰ *
خطا	۳۳	۳۲/۲۲	۷/۹۰	۰/۷۸	۰/۲٦	٤/۸۰	۹٥٤۱٥/٦۲	٤۸۹٤/۱۲
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/٤۱	۱٦/۱۰	۹/۹۸	۱۲/۳٦	٦/٤۳	۱٥/۸۷	۱٥/۱۹

ns ,* ,** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

طول غلاف

اثر اصلی میکوریزا و رقم، و اثر متقابل دو جانبه میکوریزا×رقم در سطح احتمال یک درصد بر طول غلاف معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی اثر متقابل میکوریزا×رقم بر طول غلاف نیز نشان داد که تلقیح با کود زیستی میکوریزا آربسکولار تفاوت معنی‌داری را در طول غلاف ارقام لوبیا در مقایسه با بوته‌های بدون تلقیح این گیاه نشان داد. طول غلاف در تیمار تلقیح میکوریزا در رقم اختر (۱۲/۳۸ سانتی‌متر) نسبت به تیمار بدون تلقیح با کود زیستی میکوریزا آربسکولار (۸/۲۹ سانتی‌متر)، افزایش ٤۹/۳ درصدی داشت (جدول ٤). همچنین بین سطوح مختلف تلقیح کود زیستی میکوریزا به لحاظ اثر آن بر طول غلاف در توده بیرانشهر و رقم گلی نیز تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشت. به این صورت که در تیمار تلقیح میکوریزا در توده بیرانشهر (۷/۲۱ سانتی‌متر) و رقم گلی (۱۰/۱۱ سانتی‌متر) نسبت به تیمار بدون تلقیح (٦/٤۹ سانتی‌متر) و (۸/۷۰ سانتی‌متر) به ترتیب ۱۱ و ۱٦/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ٤). اثر مثبت تلقیح میکوریزا آربسکولار بر طول غلاف را می‌توان به افزایش سطح جذب آب و مواد غذایی به واسطه توسعه‌ی سیستم ریشه‌ای (میزان کلونی‌زایی ریشه) که مهمترین مکانسیم عمل این قارچ می‌باشد، نسبت داد (جفریس و همکاران، ۲۰۰۳). به نظر می‌رسد که بکارگیری کود زیستی میکوریزا آربسکولار توانست با توسعه ریشه و افزایش محتوای کلروفیل برگ موجب تولید غلاف‌های با طول بیشتر در ارقام لوبیا قرمز گردد.

همچنین در بین ارقام مورد مطالعه به لحاظ طول غلاف تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. به‌طوری که بیشترین طول غلاف در رقم اختر (۱۲/۳۸ سانتی‌متر) و کمترین طول غلاف در توده

بیرانشهر (٦/٤٩ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ٤). در رابطه با وجود اختلاف طول غلاف در بین ارقام می‌توان گفت که این صفت ژنتیکی بوده و کمتر تحت تأثیر محیط رشد و تغذیه گیاه قرار می‌گیرد. به‌نحوی که ارقام با فرم بوته رونده و رشد نامحدود (توده بیرانشهر و رقم گلی) نسبت به رقم با فرم بوته ایستاده و رشد محدود (اختر) دارای طول غلاف کوتاهتری بودند؛ که با نتایج صفاپور و همکاران (۱۳۸۹) در رابطه با تفاوت طول غلاف در بین ارقام لوبیا قرمز تحت تأثیر مصرف قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) و باکتری ریزوبیوم (Rb133) مطابقت دارد.

اردکانی و همکاران (۱۳۹۱) نیز بیان کردند که تلقیح قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) بر روی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.) منجر به افزایش معنی‌دار طول خوشه گردید. به‌طوری که بیشترین طول خوشه در رقم علی کاظمی با میزان (۳۰/۱۸ سانتی‌متر) و کمترین طول خوشه در رقم طارم هاشمی با میزان (۲۵/۵۳ سانتی‌متر) ایجاد گردید. همچنین بررسی های ترکیبات تیماری رقم×قارچ نشان داد که رقم علی کاظمی و رقم بی نام از نظر طول خوشه با طول (۳۱/۵۱ سانتی متر) و (۳۱/٦۷ سانتی‌متر) نسبت به سایر ترکیبات در کلاس آماری A قرار گرفتند که با نتایج آزمایش ما همخوانی دارد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی ازتوباکتر، میکوریزا و رقم بر صفات مورد بررسی

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	تعداد غلاف در بوته	طول غلاف (cm)	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه (gr)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد پروتیین دانه ($kg.ha^{-1}$)
A_1	۷۰/۱۰ a	۱۸/۷۲ a	۸/۹۹ a	٤/٥۱ a	۳٤/۲٦ a	۲۰٥۸/۹۲ a	٥٥۷/۲۸ a
A_2	٦٤/۸۳ a	۱٦/۱۷ a	۸/۷۳ a	۳/۸٥ b	۳۳/۷۹ a	۱۸۳۱/٦٥ a	۳٦۳/۲۲ b
M_1	۷۰/۷۰ a	۱۹/۱۸ a	۹/۹۰ a	٤/٦۹ a	۳٥/۷۸ a	۲۱٥۷/۸۷ a	٥۲۳/٤۲ a
M_2	٦٤/۲۳ a	۱٥/۷۱ b	۷/۸۲ b	۳/٦۷ b	۳۲/۲۷ b	۱۷۳۲/۷۰ b	۳۹۷/۰۷ b
V_1	۷٦/٥۱ b	۱٦/۲۲ b	٦/۸٥ b	۳/۳۰ b	۲۹/٥٦ c	۱٦٤۳/۱٥ b	۳٤۹/۲۲ c
V_2	۳۸/۲٤ c	۱٤/۰۷ c	۱۰/۳۳ a	٤/۷۳ a	٤۰/۲۳ a	۱۷۰۹/۲۳ b	٤۱۳/٥٥ b
V_3	۸۷/٦٦ a	۲۲/۰٤ a	۹/٤۰ a	٤/٥۱ a	۳۲/۲۹ b	۲٤۸۳/٤۷ a	٦۱۷/۹۷ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ٥ درصد نمی باشد.
A_1 و A_2 به ترتیب مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با *ازتوباکتر کروکوکوم*. M_1 و M_2 به ترتیب تلقیح و بدون تلقیح با میکوریزا آربسکولار. V_1، V_2 و V_3 به ترتیب توده بیرانشهر، ارقام اختر و گلی.

تعداد دانه در غلاف

تعداد دانه در غلاف یکی از مهمترین اجزای عملکرد لوبیا می‌باشد. با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر اصلی ازتوباکتر، میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دو جانبه میکوریزا×رقم در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین مایه‌زنی ازتوباکتر (٤/٥۱) و عدم مایه-زنی (۳/۸٥) تفاوت معنی‌داری وجود داشت به نحوی که تعداد دانه در غلاف در تیمار مایه‌زنی با ازتوباکتر ۱۷/۱ بیشتر از عدم مایه‌زنی بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که مایه زنی با ازتوباکتر توانست از طریق رشد ریشه‌های جانبی با افزایش سطح ریشه (حجم ریشه) و اندام‌های فتوسنتز کننده (تعداد برگ در بوته) سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ و همچنین اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی شده که موجب افزایش افزایش تعداد دانه در غلاف شده است. که با نتایج ملکی و همکاران (۱۳۹۰) در رابطه با افزایش تعداد دانه در سنبلچه گندم تحت تأثیر تیمارهای کود زیستی ازتوباکتر و سودوموناس مطابقت دارد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تلقیح با کود زیستی میکوریزا آربسکولا سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف گیاه لوبیا شد. به نحوی که تعداد دانه در غلاف در تیمار تلقیح میکوریزا×رقم اختر (٥/٥۲) نسبت به تیمار بدون تلقیح (۳/۹٤) افزایش ٤۰/۱ درصدی داشت (جدول ٤). همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تعداد دانه در غلاف در تیمار تلقیح

میکوریزا× توده بیرانشهر و رقم گلی به ترتیب (۳/٦۱ و ٤/۹۵) نسبت به تیمار بدون تلقیح میکوریزا×رقم (۳/۰۰ و ٤/۰۷) به ترتیب ۲۰/۳ و ۲۱/٦ درصد افزایش نشان داد (جدول ٤). درخصوص افزایش تعداد دانه در غلاف می‌توان اظهار داشت که همزیستی با میکوریزا آربسکولار با فراهم نمودن آب کافی برای رشد و توسعه بهتر اندام‌های گیاه (ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته)، موجب بهبود گلدهی و تشکیل غلاف بارور، افزایش طول غلاف و در نتیجه تولید تعداد بیشتر دانه در غلاف شد. در بین ارقام مورد مطالعه نیز اختلاف معنی داری از نظر تعداد دانه در غلاف وجود داشت به‌طوری که بیشترین تعداد دانه در غلاف در رقم اختر (۵/۵۲) و کمترین در توده بیرانشهر (۳/۰۰) بود (جدول ٤). در این رابطه صفاپور و همکاران (۱۳۸۹) بیان داشتند که تعداد دانه در غلاف ارقام لوبیا قرمز، تحت تأثیر تیپ رشدی ارقام قرار گرفت که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد.

اردکانی و همکاران (۱۳۹۱) نیز گزارش نمودند که در بین ارقام برنج تلقیح شده با کود زیستی میکوریزا نیز تفاوت معنی-داری به لحاظ تعداد دانه در خوشه وجود دارد.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل دوجانبه فاکتورها بر صفات مورد بررسی

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	تعداد غلاف در بوته	طول غلاف (cm)	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه (gr)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد پروتیین دانه ($kg.ha^{-1}$)
A_1M_1	۷۳/٦۲ a	۲۰/٤۸ a	۹/۹۱ a	۵/۰۵ a	۳۷/۱۰ a	۲۳۲۷/۷۳ a	٦٤٦/۱۰ a
A_1M_2	٦٦/۵۹ a	۱٦/۹۷ ab	۸/۰۷ b	۳/۹٦ bc	۳۱/٤۳ b	۱۷۹۰/۱۱ b	٤٦۸/٤۵ b
A_2M_1	٦۷/۷۹ a	۱۷/۸۸ ab	۹/۸۹ a	٤/۳۳ b	۳٤/٤٦ ab	۱۹۸۸/۰۱ ab	٤۰۰/۷٤ bc
A_2M_2	٦۱/۸۸ a	۱٤/٤۵ b	۷/۵۷ b	۳/۳۷ c	۳۳/۱۲ ab	۱٦۷۵/۲۸ b	۳۲۵/٦۹ c
A_1V_1	۷٦/٤۲ b	۱۸/۳٦ b	۷/۰٦ b	۳/۵۱ bc	۲۹/۲۳ c	۱۷۹۳/۸۲ b	٤۱٦/۵٦ bc
A_1V_2	٤۱/۳۲ c	۱٤/۲۹ c	۱۰/۵٦ a	۵/۱٦ a	٤۰/۲۰ a	۱۷٤۳/۳۹ b	٤۸۲/۷۰ b
A_1V_3	۹۲/۵۷ a	۲۳/۵۱ a	۹/۳٦ a	٤/۸٦ ab	۳۳/۳٦ b	۲٦۳۹/۵٦ a	۷۷۲/۵۷ a
A_2V_1	۷٦/٦۰ b	۱٤/۰۸ c	٦/٦٤ b	۳/۱۰ d	۲۹/۸۹ c	۱٤۹۲/٤۸ b	۲۸۱/۸۸ d
A_2V_2	۳۵/۱٦ c	۱۳/۸۵ c	۱۰/۱۱ a	٤/۳۰ bc	٤۰/۲٦ a	۱٦۷۵/۰۷ b	۳٤٤/۳۹ cd
A_2V_3	۸۲/۷۵ b	۲۰/۵۷ ab	۹/٤۵ a	٤/۱٦ bc	۳۱/۲۲ bc	۲۳۲۷/۳۸ a	٤٦۳/۳۸ b
M_1V_1	۷۸/۷۳ bc	۱۸/۳۹ b	۷/۲۱ d	۳/٦۱ bc	۳۰/۱۱ d	۱۸٦٦/۰٤ c	٤۰۰/۸۷ bcd
M_1V_2	٤۰/٤۵ d	۱٤/٦٦ c	۱۲/۳۸ a	۵/۵۲ a	٤۲/۳۱ a	۱۸۳۰/۳۳ c	٤۵۳/۵٦ bc
M_1V_3	۹۲/۹۳ a	۲٤/٤۹ a	۱۰/۱۱ b	٤/۹۵ a	۳٤/۹۱ c	۲۷۷۷/۲٤ a	۷۱۵/۸۳ a
M_2V_1	۷٤/۲۸ c	۱٤/۰٦ c	٦/٤۹ d	۳/۰۰ c	۲۹/۰۱ d	۱٤۲۰/۲٦ d	۲۹۷/۵۷ d
M_2V_2	۳٦/۰٤ d	۱۳/٤۸ c	۸/۲۹ c	۳/۹٤ a	۳۸/۱٤ b	۱۵۸۸/۱۳ cd	۳۷۳/۵۳ cd
M_2V_3	۸۲/۳۸ b	۱۹/۵۹ b	۸/۷۰ c	٤/۰۷ b	۲۹/٦۷ d	۲۱۸۹/۷۰ b	۵۲۰/۱۱ b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نمی باشد.
A_1 و A_2 به ترتیب مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با *ازتوباکتر کروکوکوم*. M_1 و M_2 به ترتیب تلقیح و بدون تلقیح با میکوریزا آربسکولار. V_1، V_2 و V_3 به ترتیب توده بیرانشهر، ارقام اختر و گلی.

وزن ۱۰۰ دانه

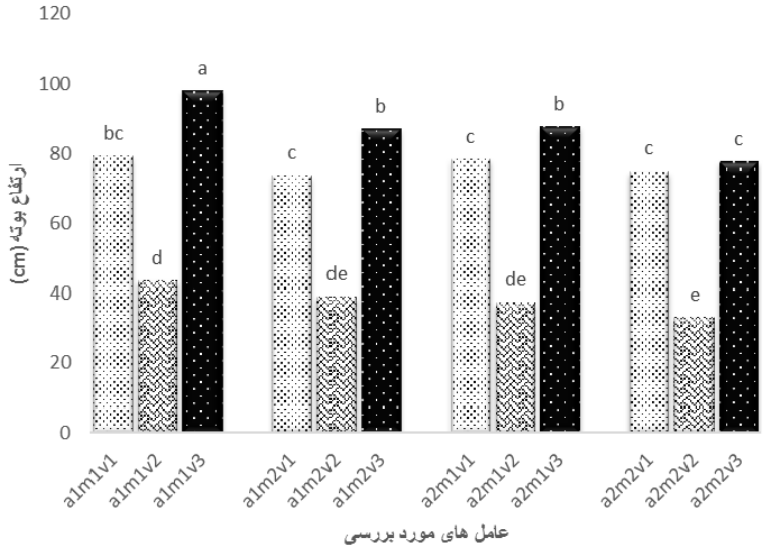
با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر اصلی میکوریزا، رقم و اثر متقابل دو جانبه ازتوباکتر×میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دو جانبه میکوریزا×رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین مایه‌زنی ازتوباکتر×تلقیح میکوریزا (۳۷/۱۰ گرم) و عدم مایه‌زنی ازتوباکتر×بدون تلقیح میکوریزا (۳۳/۱۲ گرم) تفاوت معنی‌داری وجود داشت به‌طوری که وزن ۱۰۰ دانه لوبیا افزایش ۱۲ درصدی داشت (جدول ٤). مقایسه میانگین تیمارها نشان دهنده‌ی وجود اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف اثر

دو جانبه میکوریزا×رقم بر روی وزن ۱۰۰ دانه لوبیا بود، به‌طوری که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در تیمار تلقیح میکوریزا ×رقم اختر (۴۲/۳۱ گرم) و کمترین آن در تیمار بدون تلقیح میکوریزا × توده بیرانشهر (۲۹/۰۱ گرم) مشاهده شد (جدول ٤).

به‌نظر می‌رسد که کاربرد توأم کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر توانست از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ در مرحله دانه‌بندی زمینه را برای دوام فتوسنتز و تخصیص بهتر مواد فتوسنتزی (آسیمیلات‌ها)، به دانه‌ها فراهم نموده که این موضوع موجب افزایش میزان وزن دانه شده است. در این رابطه نتایج مشابهی توسط اسد و همکاران (۲۰۰٤) بر ماش و یادگاری و همکاران (۲۰۰۸) بر لوبیا گزارش شده است.

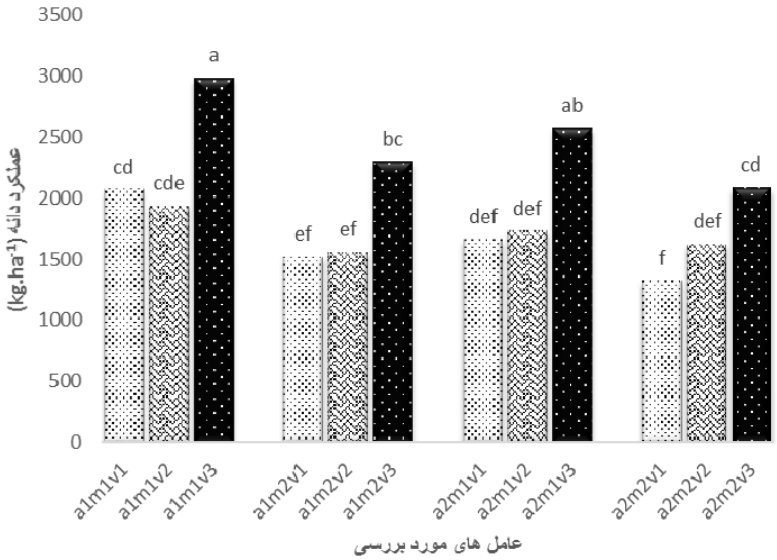
عملکرد دانه

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر اصلی ازتوباکتر، میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سه جانبه ازتوباکتر×میکوریزا×رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سه جانبه تیمارهای مورد بررسی در آزمایش، نشان داد که مایه‌زنی بذر با باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* و تلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار در رقم، عملکرد دانه را به طور معنی‌داری نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی باکتری در بدون تلقیح قارچ در رقم افزایش داد (شکل ۱). همچنین مقایسه میانگین اثر سه جانبه عوامل مورد بررسی در بین ارقام لوبیا، تفاوت معنی‌داری را بر عملکرد دانه نشان داد. به‌طوری که عملکرد دانه در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر×تلقیح میکوریزا× توده بیرانشهر (۲۰٦۸/۹۷ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی ازتوباکتر× بدون تلقیح میکوریزا× توده بیرانشهر (۱۳۲۱/۸٦ کیلوگرم در هکتار) افزایش ٥٦/٥ درصدی داشت (شکل ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه ازتوباکتر×میکوریزا×رقم اختر نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر×تلقیح میکوریزا×رقم اختر (۱۹۳۲/۳۲ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی ازتوباکتر×بدون تلقیح میکوریزا×رقم اختر (۱٦۲۱/۸۲ کیلوگرم در هکتار) افزایش ۱۹/۱ درصدی تولید اقتصادی را نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد بررسی بر ارتفاع بوته ارقام لوبیا قرمز

ستون‌های با حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. A_1 و A_2 به ترتیب مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با *ازتوباکتر کروکوکوم*. M_1 و M_2 به ترتیب تلقیح و بدون تلقیح با میکوریزا آربسکولار. V_1، V_2 و V_3 به ترتیب توده بیرانشهر، ارقام اختر و گلی.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد بررسی بر عملکرد دانه ارقام لوبیا قرمز

ستون‌های با حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

A_1 و A_2 به ترتیب مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با *ازتوباکتر کروکوکوم*. M_1 و M_2 به ترتیب تلقیح و بدون تلقیح با میکوریزا آربسکولار. V_1، V_2 و V_3 به ترتیب توده بیرانشهر، ارقام اختر و گلی.

در رابطه با اثر ازتوباکتر×میکوریزا×رقم گلی، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد دانه در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر×تلقیح میکوریزا×رقم گلی (۲۹۸۱/۹۰ کیلوگرم در هکتار) حدود ٤۳/۲ بیشتر از تیمار عدم مایه‌زنی ازتوباکتر×بدون تلقیح میکوریزا×رقم گلی (۲۰۸۲/۱۸ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۱). در خصوص اثر توأم کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر می‌توان اظهار داشت که بین این ریزجانداران مفید خاکزی یک رابطه هم‌افزایی و تشدید کنندگی وجود دارد که موجب مشارکت و افزایش فعالیت همزمان آن‌ها در خاک می‌شود (بهل و همکاران، ۲۰۰٦). همیاری این ریزجاندارن توانست از طریق بهبود خصوصیات زراعی مانند: ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و عملکرد زیست‌توده موجب بهبود رشد و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه ارقام لوبیا قرمز در مقایسه با تیمار شاهد گردد.

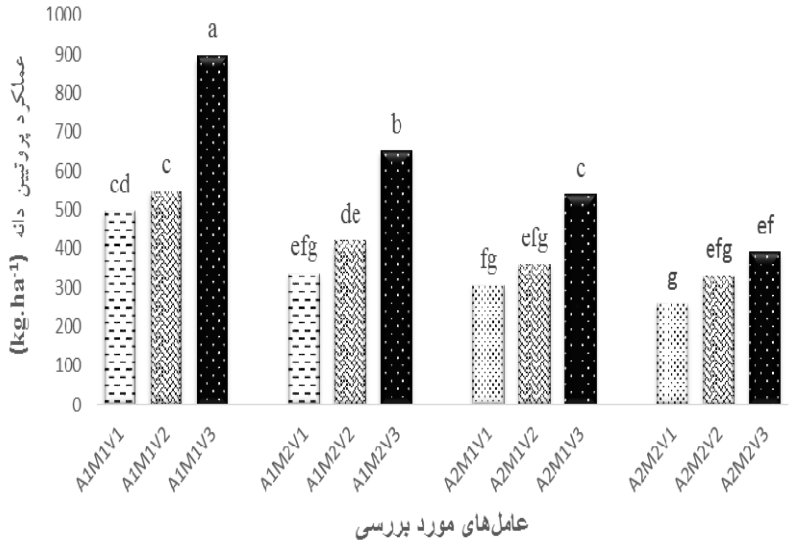
در پژوهش‌های مزرعه‌ای انجام شده نیز نتایج مشابهی توسط اردکانی و همکاران (۲۰۱۱) بر لوبیا قرمز، بیاری و همکاران (۱۳۹۰) بر ذرت، آقابابایی و همکاران (۱۳۹۲) در کشت آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) ، رضوانی‌مقدم و همکاران (۱۳۹٤) بر عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و کوچکی و همکاران (۱۳۹٤) بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.) ، در رابطه با نقش این کودهای زیستی در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی گزارش شده است.

در خصوص تفاوت بین عملکرد دانه در ارقام لوبیا نیز می‌توان بیان داشت که ارقام اصلاح‌شده (گلی و اختر) از پتانسیل تولید بالاتری نسبت به ارقام بومی و توده‌های محلی (توده بیرانشهر) برخوردارند که می‌تواند دلیل اصلی این تفاوت در عملکرد دانه در بین این ارقام باشد. در رابطه با اختلاف عملکرد دانه در بین ارقام اصلاح‌شده اختر و گلی نیز می‌توان بیان داشت که این تفاوت می‌تواند به دلیل تفاوت در فرم رویشی بوته‌ها (گلی رونده و رشد نامحدود) و (اختر ایستاده و رشد محدود) در این ارقام باشد. که با نتایج اردکانی و همکاران (۲۰۱۱) بر گیاه لوبیا قرمز در رابطه با تفاوت عملکرد دانه در ارقام رشد محدود و رشد نامحدود در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا آربسکولار گونه (*Glomus intraradices*) و باکتری همزیست لوبیا (*Rhizobium phaseoli*) سویه‌های (*Rb*116 و *Rb*133) مطابقت دارد.

عملکرد پروتیین دانه

عملکرد پروتیین دانه، حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد پروتیین دانه است. نتایج نشان داد که اثر اصلی ازتوباکتر، میکوریزا و رقم و همچنین اثر متقابل دوجانبه ازتوباکتر×میکوریزا و ازتوباکتر×رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سه-جانبه تیمارها (ازتوباکتر×میکوریزا×رقم) در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد پروتیین دانه ارقام لوبیا قرمز معنی‌دار گردید (جدول ۲).

مقایسه میانگین تیمارها برای فعالیت کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر نشان داد که با به‌کارگیری توأم این ریز جانداران مفید خاک‌زی (میکوریزا و ازتوباکتر)، عملکرد پروتیین دانه نیز افزایش یافت. عملکرد پروتیین دانه در تیمار اثر متقابل سه‌جانبه مایه‌زنی با ازتوباکتر در تلقیح میکوریزا در توده بیران-شهر، رقم اختر و گلی به ترتیب (٤٩٦/٨٤، ٥٤٧/٠٨ و ٨٩٤/٣٨ کیلوگرم در هکتار) و در مقایسه با تیمار عدم مایه‌زنی با ازتوباکتر در بدون تلقیح با میکوریزا در توده بیران‌شهر، رقم اختر و گلی به ترتیب (٢٥٨/٨٦، ٣٢٨/٧٣ و ٣٨٩/٤٨ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب به میزان ۱۹، ١٦/٤ و ٢٩/٦ درصد افزایش داشت (شکل ۳). به نظر می‌رسد که به‌کارگیری کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر توانسته است با افزایش معنی‌دار عملکرد دانه سبب افزایش عملکرد پروتیین دانه در تیمارهای مختلف گردد (نخ‌زری مقدم و غلامی، ۱۳۹۵). در رابطه با اثر با اثر کودهای زیستی در افزایش عملکرد پروتیین دانه، نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران گزارش‌شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (پزشکپور و همکاران، ١٣٩٤؛ نخ‌زری مقدم و غلامی، ۱۳۹۵؛ کاسچوک و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد بررسی بر عملکرد پروتیین دانه ارقام لوبیا قرمز

ستون‌های با حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

A_1 و A_2 به ترتیب مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با *ازتوباکتر کروکوکوم*. M_1 و M_2 به ترتیب تلقیح و بدون تلقیح با میکوریزا آربسکولار. V_1، V_2 و V_3 به ترتیب توده بیرانشهر، ارقام اختر و گلی.

نتیجه گیری

تلقیح با میکوریزا و مایه‌زنی با باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* بر روی ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و عملکرد پروتیین دانه اثر معنی دار داشتند. با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش، کاربرد کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر اثر مثبتی بر بهبود رشد و خصوصیات زراعی ارقام لوبیا قرمز داشت. همیاری این ریزجانداران توانست از طریق رشد بهتر ریشه‌ها و شاخسار، موجب گلدهی مطلوب بوته‌ها گردیده و از طریق ایجاد تعادل بین نمو رویشی و زایشی، عملکرد اقتصادی را به نحو چشمگیری در ارقام گیاه لوبیا قرمز مورد بررسی افزایش دهد.

به‌طور کلی بیش‌ترین عملکرد اقتصادی چه از نظر به‌نژادی

و چه با مدیریت زراعی در شرایطی به‌دست می آید که با ایجاد یک محیط مناسب رشد از طریق بهبود خصوصیات خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی موجب برقراری توازن در چرخه-ی رشد گیاه گردد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که همزیستی میکوریزایی و کاربرد ازتوباکتر با افزایش عملکرد ارقام لوبیا ارتباط نزدیک داشته است. به‌طوری که از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته بیشتر می‌شود. افزایش عملکرد دانه در توده بیرانشهر، رقم اختر و گلی به‌ترتیب ۵۶/۵، ۱۹/۱ و ۴۳/۲ درصد نسبت به تیمار عدم کاربرد این ریزجانداران افزایش یافت. در این بررسی بیشترین عملکرد دانه (۲۹۸۱/۹۰ کیلوگرم در هکتار) از اثر توأم مایه‌زنی ازتوباکتر×تلقیح میکوریزا×رقم گلی با فرم بوته رونده و رشد نامحدود به‌دست آمد. در بسیاری از مطالعات استفاده از این ریزجانداران مفید خاکزی سبب افزایش کمی و کیفی عملکرد گیاهان زراعی گردیده است. در این خصوص می-توان اظهار داشت که امروزه کشاورز موفق کسی است که فوائد بهره‌گیری از پتانسیل حمایتی این ریزجانداران را در جهت حفظ پویایی منابع اکوسیستم‌های زراعی بر اساس اصول اکولوژیکی و تا حد امکان عدم مصرف نهاده‌های شیمیایی را مد نظر قرار داده باشد. که این موضوع برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در زراعت لوبیا اهمیت دارد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، می-توان استفاده از کودهای زیستی حاوی میکوریزا آربسکولار را به تنهایی و یا همراه *ازتوباکتر کروکوکوم*، در زراعت لوبیا قرمز توصیه نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری همه عزیزان مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (بخش تحقیقات بیولوژی خاک) و همچنین جناب آقای دکتر فرهاد رجالی (دانشیار و عضو هیأت علمی مؤسسه) که با راهنمایی‌های ارزنده خود در تهیه مواد، لوازم و انجام این پژوهش نقش مؤثری داشته‌اند، قدردانی می‌نماییم.

منابع

اردکانی، م.ر.، رجالی، ف.، و حیدری، ش. ۱۳۹۱. اثر کود بیولوژیک حاوی میکوریزا آربوسکولار بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف برنج. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ٤، شماره ۱۱: ۱۳-۱.

آقابابایی، ف.، رئیسی، ف.، و حسین‌پور، ع. ۱۳۹۲. اثر کرم خاکی و قارچ میکوریزا بر زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیمی در خاک های آلوده شده به کادمیم در کشت آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۷، شماره ۵: ۹۶۲-۹٤۹.

برومند، ع.، ساجدی، ن.، و چنگیزی، م. ۱۳۹۱. تأثیر تلفیق کودهای شیمیایی و باکتری های محرک رشد گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه ای درشرایط آب و هوایی اراک. مجله یافته های نوین کشاورزی. جلد ٦، شماره ٤: ۳۰۷-۲۹۵.

بیاری، آ.، غلامی، ا.، و اسدی رحمانی، ه. ۱۳۹۰. مطالعه تاثیر سویه های مختلف باکتری های محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر خصوصیات رشد و عملکرد ذرت. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۵، شماره ۱: ۱۰-۱.

پاکدل، م.، ملکی، ع.، نورمحمدی، ق.، و فاضل، ش. ۱۳۹۰. اثر باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر (*Azotobacter*) و سودوموناس (*Pseudomonas*) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان در شرایط عادی و تنش خشکی. مجله پژوهش در علوم زراعی. جلد ۳، شماره ۱۱: ۱۲۱-۱۰۷.

پزشکپور، پ.، اردکانی، م.ر.، پاک نژاد، ف.، و وزان، س. ۱۳۹٤. تأثیر ورمی کمپوست و ریزسازواره های میکوریزا و فسفات زیستی بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و درصد پروتئین دانه نخود به صورت کاشت پائیزه. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ۷، شماره ۲۲: ۱۹۰-۲۰٤.

رضوانی‌مقدم، پ.، نوروزیان، ع.، و سیدی، س.م. ۱۳۹٤. ارزیابی اثر کود دامی و همزیستی میکوریزایی بر عملکرد کمی و روغن ارقام گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.). مجله بوم شناسی کشاورزی. جلد ۷، شماره ۳: ۳٤۳-۳۳۱.

سلیمی، خ. ۱۳۹۲. اکولوژی گیاهان زراعی، کشاورزی اکولوژیک و بوم شناسی زراعی. انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران. ۲٤۳ صفحه.

صفاپور، م.، اردکانی، م.ر.، رجالی، ف.، خاقانی، ش.، و تیموری، م. ۱۳۸۹. تأثیر تلقیح دوگانه مایکوریزا و ریزوبیوم بر عملکرد سه رقم لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.). مجله یافته‌های نوین کشاورزی. جلد ۵، شماره ۱: ۳۵-۲۱.

کوچکی، ع.، بخشائی، س.، خرم‌دل، س.، مختاری، و.، و طاهر آبادی، ش. ۱۳۹٤. تأثیر همزیستی با گونه های قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط مشهد. مجله پژوهشهای زراعی ایران جلد ۱۳، شماره ۳: ٤٦۰-٤٤۸.

ناظری، پ.، کاشانی، ع.، خاوازی، ک.، اردکانی، م.ر.، میرآخوری، م.، و پورسیاه بیدی، م.م. ۱۳۸۹. واکنش لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris* L.) به تلقیح با ریزوبیوم و کاربرد نواری کود زیستی فسفر گرانوله حاوی روی. مجله بوم شناسی کشاورزی. جلد ۲، شماره ۱: ۱۸۵-۱۷۵.

نخزری مقدم، ع.، و غلامی، ع. ۱۳۹۵. تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا و مدیریت آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.). مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد ۹، شماره ٤: ۳٦۲-۳۵۳.

Ahmad, M., Zahir, Z. A., Asghar, H. N. & Arshad, M. 2012. The combined application of rhizobial strains and plant growth promoting rhizobacteria improves growth and productivity of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salt-stressed conditions. Annals of Microbiology 62(3): 1321-1330.

Amraei, B., Ardakani, M.R., Rafiei, M., Paknejad, F., and Rejali, F. 2015. Effect of Mycorrhiza and *Azotobacter* on Concentration of Macroelements and Root Colonization Percentage in Different Cultivars of Wheat (*Triticum aestivum* L.). Biological Forum – An International Journal 7(2): 895-900.

Anonymous. 2006. Bio fertilizer Manual, FNCA Bio fertilizer Project Group. Japan Atomic Industrial Forum.

Artusson, V., Finlay, R.D., and Jansson, J.K. 2006. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. Environment Microbiology 8: 1–10.

Asad, S.A., Bano, A., Farooq, M., Aslam, M., and Afzal, A. 2004. Comparative Study of the Effects of Bio fertilizers on Nodulation and Yield Characteristics of Mung Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). International journal of agriculture & biology 6(5): 837-843.

Behl, R.K., Narula, N., Vasudeva, M., Sato, A., Shinano, T., and Osaki, M. 2006. Harnessing wheat genotype x *Azotobacter* strain interactions for sustainable wheat production in semi-arid tropics. Tropics 15(1): 123-133.

Jeffries, P., Gianinazzi, S., and Perotto, S. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Journal of Biology and Fertility of Soils 37:1–16.

Kannayan, S, 2002. Bio fertilizers for sustainable crop production in: Biotechnology of Bio fertilizers. Ed., Kannayan, Narosa Publishing House, New Delhi, India 9-49.

Karda, MR., Mian, MH., and Hoque, MS. 2002. Effects of *Azotobacter* Inoculant o the yield and Nitrogen uptake by wheat. Int .1. Biol.Sci. 2(4): 250-261.

Kaschuk, G., Leffelaar, P.A., Giller, K.E., Alberton, O., Hungria, M., Kuyper, T.W. 2010. Responses of legumes to rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi: A metaanalysis of potential photosynthate limitation of symbioses. Soil Biology and Biochemistry. 42, 125-127.

Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering 33(2):150-156·

Mahmoud, A.R., EL_Desuki, M., and Abdol_Mouty, M. 2010. Response of snap been plants to biofertilizer and nitrogen Level application. International Journal of Academic Research 2(3): 179-183.

Mcclean, P., Kamir, J., and Gepts, P. 2004. Genomic and genetic diversity in common bean. In Wilson RF Stalker HT Brummer EC eds., Legume Crop Genomics. AOCS press. Champaign, Illinois pp 60-82.

Mrkovacki, N., and Milic, V. 2001. Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. Annals of Microbiology 51: 145-158.

Rokhzadi, A., Asgharzadeh, A., Darvish, F., Nour-Mohammadi, Gh., and Majidi, E. 2008. Influence of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Dry Matter Accumulation and Yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Field Condition. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental

Sciences 3(2): 253-257.
Safapour, M., Ardakani, M.R., Khaghani, Sh., Rejali, F., Zargari, K., Changizi, M., and Teimuri, M. 2011. Response of Yield and Yield Components of Three Red Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes to Co-Inoculation with Glomus intraradices and Rhizobium phaseoli. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 11(3): 398-405.
Schussler, A., Schwarzott, D., and Walker, Ch. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycological Research 105(12): 1413-1421.
Smith, S. E., and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third ed. Academic Press, London. UK.
Valverde, A., Burgos, A., Fiscella, T., Rivas, R., Velazquez, E., Rodriguez-Barrueco, C., Cervantes, E., Chamber, M. and Igual, J.M. 2006. Differential effects of co inoculations with Pseudomonas Jessenia PS06 (a phosphate-solubilizing bacterium) and Mesorhizobium Cicero C-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under greenhouse and field conditions. Plant and Soil 287(1-2): 43- 50.
Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255(2): 571–586.
Yadegari, M., and Asadi Rahmani, H. 2010. Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds' inoculation with Rhizobium phaseoli and plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components. African Journal of Agricultural Research 5(9): 792-799. Available at Web site http://www.academicjournals.org/AJAR/ (verified 4 May 2010).
Yadegari, M., Rahmani, H.A., Noormohammadi, G. and Ayneband, A. 2008. Evaluation of Bean (*Phaseolus vulgaris*) Seeds Inoculation with Rhizobium phaseoli and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Yield and Yield Components. Pakistan journal of biological sciences 11(15): 1935-1939.
Zhu, C.X., Song, B.F., and Xu, W.H. 2010. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. Plant and Soil 331: 129-137.

Role of Arbuscular *Mycorrhizal* and *Azotobacter chroococcum* on growth and yield of red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.)

H. Khavarii[1], Gh. Shakarami[1]

Received: 2017-2-25 Accepted: 2018-2-17

Abstract

Today, the emphasis is on stable agricultural, the long-term stability of crop production with minimal impact on the environment. The use of biological fertilizers has been considered in recent years, with the purpose of eliminating or reducing many environmental impacts irreparable, caused by indiscriminate use of chemical-based agricultural ecosystems. To study the effect of Mycorrhizal and Azotobacter biological fertilizers on growth and yield of red bean, an experiment in crop year 2016 in Lorestan Beiranshahr, a factorial experiment was arranged in randomized complete block design with four replications. Parameters studied: mycorrhizal fungi at two levels (inoculated and no inoculated), inoculated with Azotobacter bacteria at two levels: (inoculated and non-inoculated) and red bean (Beiranshahr landrace, Akhtar and Goli Cultivars). The results showed the effect of three factors were significant at probability 1 percent level, plant height, number of pods per plant, pod length, number of seeds per pod, number of seeds per plant, seed yield and seed protein yield; And the interaction of three factors (Azetobacter×Mycorrhiza×varieties) on plant height, seed yield and seed protein yield at 5 percent probability level. seed yield in Beiranshahr landrace, Akhtar and Goli Cultivars, increased 56.5, 19.1 and 43.2 Percent Respectively. The highest seed yield was obtained from the combined effect of Inoculation Azotobacter×Mycorrhizal inoculation×Goli Cultivar (298.90 kg. ha^{-1}) plants with form the progressive and unlimited growth. According to the findings of this study, the use of biological fertilizers containing arbuscular mycorrhizal fungi alone or along with Azotobacter crocococcus can be recommended in red bean cultivation.

Key words: Protein yield, sustainable agriculture, biological fertilizers, red bean

1- Department of Agronomy, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran