

اثر ریزوبیوم و مایکوریزا بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و ویژگی کیفی لوبیا چیتی در شرایط کم آبیاری

نیر حضرتی گجلارا^۱، جلال جلیلیان^{۲*} و علیرضا پیرزاد^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک (ریزوبیوم و مایکوریزا) بر عملکرد و خصوصیات کیفی لوبیا چیتی در شرایط کم آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵ به صورت اسپلت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل رژیم آبیاری با دو سطح (آبیاری کامل و کم آبیاری) به عنوان کرت اصلی و کرت های فرعی شامل کود بیولوژیک با شش سطح (شاهد (C)، ریزوبیوم (*R. phaseoli*)، قارچ های گونه *Rhizophagus intraradices* (D)، *Funneliformis mosseae* (M)، تلفیقی ۱ (*R. intraradices* و ریزوبیوم-T1)، تلفیقی ۲ (*F. mosseae* و ریزوبیوم-T2) بودند. تیمار کودی *F. mosseae* بیشترین تأثیر را در افزایش وزن هزار دانه در شرایط کم آبیاری داشت. گیاهان تحت تیمار کودی *R. intraradices* افزایش ۲۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد را داشتند. بیشترین مقدار پروتئین دانه (۱۹/۸۶ درصد) در تیمار کودی ریزوبیوم در شرایط آبیاری کامل و کمترین میزان آن (۱۳/۷۷ درصد) از گیاهان شاهد در شرایط کم آبیاری حاصل شد. بالاترین میزان پروتئین خام (۲۱/۴۵ درصد) و ماده خشک قابل هضم (۷۱/۱۵ درصد) بقایا در گیاهان تیمار شده با *R. intraradices* در شرایط کم آبیاری به دست آمد و کمترین میزان آنها (۱۶/۷۲ و ۵۸/۹۴ درصد) از تیمار شاهد و به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری به دست آمد. گیاهان تحت تیمار کودی *F. mosseae* در شرایط کم آبیاری بیشترین میزان پرولین و کلروفیل کل را داشتند. به طور کلی، گونه های قارچ *F. mosseae* و *R. intraradices* در شرایط کم آبیاری منجر به بهبود خصوصیات مهم کمی و کیفی لوبیا چیتی شدند که قابل توصیه برای استفاده در کشت لوبیا چیتی هستند.

واژه های کلیدی: پروتئین، پرولین، تلفیق مضاعف، کود زیستی، ماده خشک قابل هضم

۱، ۲ و ۳. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: j.jalilian@urmia.ac.ir

مقدمه

لوبیا با نام علمی (*Phaseolus vulgaris* L.) شامل ۲۲۰ گونه است که ۲۰ گونه آن زراعی است و برای تولید نیام سبز یا دانه خشک مورد کشت و کار قرار می‌گیرند (۲۷). در ایران لوبیا در میان حبوبات از نظر سطح زیر کشت پس از نخود و عدس در جایگاه سوم و از نظر عملکرد پس از نخود در جایگاه دوم قرار دارد. طبق آمارنامه سال ۹۳-۱۳۹۲ وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت لوبیا ۱۱۳۸۶۵ هکتار و میزان تولید آن در کشور ۲۲۱۳۱۸ تن بود. این گیاه با حدود ۲۲ درصد پروتئین، از نظر ارزش غذایی جایگزین خوبی برای پروتئین‌های حیوانی است (۳۳). لوبیا چیتی یکی از مهم‌ترین انواع لوبیای معمولی است که سطح زیر کشت آن در کشور حدود ۵۰ درصد کل سطح زیر کشت انواع لوبیا است و بیش از نیمی از تولید کل لوبیا به آن اختصاص دارد، ضمن اینکه بیشترین مقدار مصرف نیز مربوط به آن است (۱۴). کمیت و کیفیت گیاهان می‌تواند تحت تأثیر عوامل محیطی قرار گیرد. ماده خشک قابل هضم، خصوصیتی از علوفه است که در یک سطح مشخص از مصرف آن به وسیله حیوانات جذب می‌شود و معمولاً نشان‌دهنده انرژی قابل هضم علوفه است. و ارتباط مستقیمی با میزان انرژی و سایر مواد مغذی قابل دریافت به وسیله دام دارد. درصد پروتئین به تغذیه گیاه بستگی دارد و تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار می‌گیرد (۴۸).

استفاده از کودهای بیولوژیک در بوم‌نظام‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی یکی از ارکان اساسی کشاورزی پایدار است. مایکوریزا در افزایش توانایی گیاه میزبان برای جذب عناصر غذایی غیرمتحرک، خصوصاً فسفر و چندین ریزمغذی دیگر تأثیر مفیدی دارد. بنابراین، قارچ‌های مایکوریزا دارای کارکرد چند منظوره‌ای در بوم‌نظام‌های زراعی هستند، به طوری که سبب بهبود کیفیت فیزیک خاک (از طریق گسترش ریشه‌های قارچ، کیفیت شیمیایی خاک از طریق افزایش جذب عناصر غذایی) و کیفیت بیولوژیک خاک از طریق شبکه غذایی خاک می‌شوند (۴۶). روابط قارچ-ریشه‌ای گیاه می‌تواند تعادل آبی گیاهان را در شرایط فاریاب و تنش خشکی تحت تأثیر قرار

دهد (۱۵). از جمله سازوکارهایی که منجر به افزایش تحمل گیاه به خشکی در صورت همزیستی با مایکوریزا می‌شود عبارت از بهبود روابط آبی گیاه، تنظیم اسمزی بهتر، دفاع آنتی‌اکسیداتی و تولید مولکول‌های محافظ بیشتر است (۳۶). کربوهیدرات‌های محلول در آب شامل منوساکاریدها، دی‌ساکاریدها و بعضی پلی‌ساکاریدهای زنجیره‌ای کوتاه هستند که از طریق تنظیم اسمزی منجر به افزایش مقاوم به تنش کم‌آبی می‌شوند (۲۲). همزیستی با ریزوبیوم موجب بهبود تثبیت نیتروژن اتمسفر می‌شود و در مقابل آربوسکولار مایکوریزا موجب بهبود توانایی گیاه در جذب فسفر و سایر عناصر می‌شود (۳۴). در تحقیقی نشان داده شد که اثرات هم‌افزایی بین آربوسکولار مایکوریزا و ریزوبیوم روی رشد سویا وجود دارد (۳۲). ریزوباکترهای محرک رشد گیاه مثل ریزوبیوم ضمن افزایش رشد گیاهان همزیست با آنها می‌توانند از اثرات زیان‌آور عوامل تنش‌زای محیطی جلوگیری کنند (۴۱).

در ایران طی سال‌های اخیر کمبود آب به‌طور جدی عملکرد گیاهان زراعی و از جمله لوبیا را تحت تأثیر قرار داده است (۳۸). هر گیاه زراعی به‌طور خاص دارای حداقل نیاز آبی است در صورتی که این حداقل فراهم نشود گیاه با تنش خشکی مواجه می‌شود و در صورت مصادف شدن با مراحل رشد حساس به کمبود آب صدمات جبران‌ناپذیری به گیاه وارد می‌شود (۳). با توجه به اهمیت به‌کارگیری روش‌های مناسب برای کاهش اثرات سوء تنش خشکی، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد ریزوبیوم بر کیفیت و کمیت لوبیا چیتی در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵ ثانیه و با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. متوسط درجه حرارت ماهیانه و

صورت گرفت و کم آبیاری ها پس از استقرار کامل بوته ها (مرحله ۶-۴ برگی) به صورت ۱۴ روز یکبار ولی با بسته شدن کانوبی هر ۲۰ روز یکبار انجام گرفت. پس از استقرار کامل بوته ها در مرحله ۶-۴ برگی با حفظ یک بوته سالم و قوی عملیات تنک انجام شد. به منظور تعیین اجزای عملکرد پس از حذف حاشیه، ۱۰ گیاه به طور تصادفی از هر کرت انتخاب شدند و صفات ارتفاع گیاه، تعداد دانه در نیام، اندازه گیری شدند. اندازه گیری وزن هزار دانه توزین ۳-۴ تکرار ۱۰۰ تایی از هر کرت است برای سنجش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت گیاهان در زمان برداشت از مساحت یک متر مربع هر کرت برداشت شدند. عناصر غذایی برگ در زمان انتهای مرحله غلاف دهی و قبل از رسیدگی دانه ها (۲۱ شهریورماه) و دانه در زمان برداشت نهایی گیاهان اندازه گیری شدند. نیتروژن کل به روش تیتراسیون بعد از تقطیر با دستگاه کج لیدال (۴۷)، پتاسیم کل به روش نشر شعله ای با دستگاه فلیم فتومتر مدل PFP7 و فسفر کل به روش رنگ سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (PD-۳۰۳) اندازه گیری شدند (۴۳).

برای اندازه گیری صفات کیفی اندام هوایی گیاه (علوفه) بعد از حذف اثر حاشیه ای در موقع ظهور نیام ها (سه ماه پس از کاشت)، نیم متر مربع از هر کرت برداشت شد و وزن شد نمونه های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شده به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد در آون قرار داده شدند و پس از تثبیت وزن آنها ۵۰ گرم زیست توده به طور کامل آسیاب و پس از عبور از الک دو میلی متری، صفات کیفی علوفه شامل قابلیت هضم ماده خشک (DMD)، کربوهیدرات محلول در آب (WSC)، فیبر خام (CF) و پروتئین خام (CP) از طریق روش طیف سنجی مادون قرمز (NIR) با دستگاه (Pertent-Inframatics ۸۶۲۰ Feed Analyzer) اندازه گیری شدند (۱۸)، محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش مارتینز و همکاران (۳۰)، مقدار کلروفیل a، کلروفیل b به روش لیکنن تالر (۲۴) و درصد کلونیزاسیون ریشه ها بر اساس روش گریندلر و همکاران (۱۳) اندازه گیری شدند. تجزیه داده ها با

بارندگی محل اجرای آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است. در این آزمایش، رژیم آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و کم آبیاری) در کرت های اصلی و کود بیولوژیک با شش سطح [شاهد (C)، ریزوبیوم (R)، قارچ های گونه تلفیقی ۱ (*Rhizophagus intraradices*)، تلفیقی ۲ (*R. intraradices* و ریزوبیوم) (T_1)، تلفیقی ۲ (*F. mosseae* و ریزوبیوم) (T_2)] در کرت های فرعی جای گذاری شدند. نمونه برداری خاک از عمق ۰-۴۰ سانتی متری قبل از کاشت انجام شد و برای تجزیه های فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به خصوصیات خاک فقط ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت به صورت یکنواخت در تمامی کرت های آزمایشی استفاده شد. تعداد کرت های آزمایشی ۳۶ کرت به ابعاد دو متر عرض و سه متر طول در نظر گرفته شد. بذر مورد استفاده رقم COS۱۶ بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی تهیه شد. کاشت به صورت خشکه کاری صورت گرفت عمق کاشت بذور ۵-۴ سانتی متر در نظر گرفته شد، بعد از آماده سازی زمین عملیات کاشت روی پشته ها به فاصله ۵۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی متر در تاریخ ۹۵/۳/۱۷ انجام شد. کود حاوی باکتری ریزوبیوم به صورت بذر مال به میزان ۱۰ گرم برای هر کیلوگرم بذر و مایه تلقیح قارچ مایکوریزا تهیه شده از شرکت زیست فناور شاهرود از هر گونه به میزان پنج گرم در زیر هر بذر استفاده شد. تمامی مراحل بذر مال کردن باکتری در سایه و به دور از تابش مستقیم خورشید صورت گرفت و بلافاصله پس از خشک شدن بذور در سایه، اقدام به کشت شد. به منظور اطمینان از جوانه زنی و داشتن تعداد بوته کافی در هر کرت، بذور با تراکم بالا کشت شد. به منظور دستیابی به نتایج آماری معتبر و صحیح و برای جلوگیری از نفوذ آب بین کرت های تحت کم آبیاری و آبیاری کامل و همچنین انتقال جانبی باکتری ها ۱/۵ متر بین هر کرت و سه متر بین هر بلوک فاصله داده شد. آبیاری کامل بر اساس عرف منطقه هر هشت روز یکبار

جدول ۱. متوسط درجه حرارت ماهیانه (°C) و بارندگی (mm) محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	جمع/میانگین
بارندگی	۸۵	۶۵/۲	۴۴/۷	۲۸/۲	۴۱/۶	۱۹/۴	۶۳/۷	۵۱/۹	۲۸/۹	۵/۱	۰	۰	۴۳۳/۷
میانگین دما	۱۶/۲	۸/۸	۰/۵	-۱/۴	۰/۶	۷/۷	۹/۴	۱۶	۱۸/۷	۲۳/۵	۲۴/۳	۲۰/۷	۱۳/۲۶

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

بافت خاک	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیترژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم	رس	سیلت	شن	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی	
	(dS/m)	(%)	(%)	(mg/kg)	(%)	(%)	(%)	(%)			
لومی رسی	۰/۵۴	۷/۲	۰/۹۴	۰/۰۹۴	۷/۶	۳۹۵	۳۲	۳۷	۳۱	۲۷/۹۹	۱۴/۵

کم آبیاری با وجود وزن هزار دانه بالاتر در کودهای زیستی، تیمارهای *F. mosseae* و *R. intraradices* بیشترین افزایش را نشان دادند (جدول ۴).

وزن هزار دانه یکی از اجزای مهم عملکرد دانه است که تحت تأثیر میزان کربوهیدرات ذخیره شده در شروع پر شدن دانه و ژنوتیپ گیاه قرار می گیرد. قارچ میکوریزا باعث افزایش مقدار فسفر در گیاه می شود. فسفر فتوسنتز گیاه را افزایش داده و به تبع آن موجب افزایش وزن دانه می شود (۲). کود زیستی به خصوص در شرایط کم آبی با بهبود رشد ریشه و افزایش آسیمیلیاسیون مواد فتوسنتزی سبب افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گل دهی می شود که می تواند در مرحله پس از گل دهی با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن، وزن هزار دانه را بهبود ببخشد (۳۵).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری نشان داد که آبیاری کامل بیشترین عملکرد دانه (۵۰۰۰/۱۸ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد و کمترین مقدار عملکرد دانه متعلق به کم آبیاری به مقدار (۲۰۰۰/۷۸ کیلوگرم در هکتار) بود. در واقع عملکرد دانه در آبیاری

استفاده از نرم افزار SAS ۹/۲ و برای مقایسه میانگین داده ها از آزمون دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل آبیاری در کود زیستی روی صفات وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، فسفر دانه، درصد پروتئین دانه، پروتئین خام علوفه، ماده خشک قابل هضم، پرولین، کلروفیل b و کربوهیدرات های محلول در آب در سطح احتمال یک درصد و بر شاخص برداشت، پتاسیم برگ، مقدار فیبر خام، آب نسبی برگ و کلونیزاسیون ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه (۳۴۹/۱۱ گرم) از گیاهان تحت تیمار کود زیستی *F. mosseae* در شرایط کم آبیاری و کمترین مقدار آن (۳۰۴/۲۸ گرم) از گیاهان شاهد در شرایط کم آبیاری به دست آمد (جدول ۴). افزایش حدود ۱۳ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. در تیمار آبیاری کامل، کلیه سطوح زیستی به یک اندازه وزن هزار دانه را نسبت به شاهد بدون تیمار افزایش دادند ولی در تیمار

جدول ۳. نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد، کیفیت علوفه و عناصر غذایی لویا چیتی تحت رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کودی

CF	صفات کیفی علوفه		عملکرد		فسفر	فسفر برگ	پتاسیم دانه	پتاسیم برگ	شاخص برداشت	عملکرد نیولوژیک	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	درجه آزادی	منابع تغییر
	WSC	DMD	CP	عملکرد پروتئین دانه										
۰/۴۵	۰/۲۲	۱/۲۳	۰/۲۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۵۷	۰/۰۵۹	۰/۱۸	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۷۲/۳۵	۲	بلوک
۶/۳۰**	۱۵/۰۳**	۲۳/۹۸**	۵/۵۴ ^{MS}	۱/۹۸**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۵**	۰/۰۱۱ ^{MS}	۰/۶۸ ^{MS}	۴۰/۶۳**	۱۷۷/۳۳**	۵۱/۷۵**	۱۹۱۶/۰۷**	۱	آبیاری
۰/۸۰	۰/۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷ ^{MS}	۰/۰۹۶	۰/۰۱۵	۱۲/۱۸	۰/۲۶	۰/۰۲	۵/۵۲	۲	خطای اصلی
۲/۷۰*	۱۸/۵۲**	۷۸/۹۳*	۹/۱۵**	۰/۰۹۸ ^{MS}	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۳**	۰/۲۹۸**	۰/۳۴۹**	۱۲/۴ ^{MS}	۷/۳۴**	۱/۱۳**	۹۱۷/۷۰**	۵	کود
۲/۴۰*	۵/۳۰**	۱۲/۰۱۳**	۲/۶۴**	۰/۰۱۰ ^{MS}	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۰۷*	۰/۰۵۴ ^{MS}	۰/۲۱۰*	۳۳/۲۰*	۲/۵۵**	۰/۱۳ ^{MS}	۳۰۹/۱۵**	۵	کود x آبیاری
۰/۷۶	۰/۳۷	۱/۹۲	۰/۳۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۷	۹/۳۵	۰/۳۰	۰/۰۵	۴۴/۱۵	۲۰	اشتباه آزمایشی
۴/۱۶	۲/۷۲	۲/۰۶	۳/۱۰	۶/۷۵	۳/۳۹	۶/۹۹	۱۰/۹۶	۱۷/۳۷	۸/۴۶	۵/۰۹	۶/۰۵	۲	۲۰	ضریب تغییرات (%)

CF) (WSC) و فیبر خام (CF). (DMD) کربوهیدرات محلول در آب (WSC) و فیبر خام (CF). (CP) قابلیت هضم ماده خشک (DMD) کربوهیدرات محلول در آب (WSC) و فیبر خام (CF). پروتئین خام (CP)، قابلیت هضم ماده خشک (DMD) کربوهیدرات محلول در آب (WSC) و فیبر خام (CF).

MS و **: به ترتیب نشانگر عدم معنی داری و معنی داری اثر عامل آزمایشی در سطح پنج و یک درصد است.

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین‌های صفات کمی و کیفی لوبیا چیتی تحت اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کودی

CF	WSC	DMD	Cp	فسفر		پتاسیم		شاخص		عملکرد بیولوژیک دانه	وزن هزار دانه	کود	رژیم آبیاری
				برگ	دانه	برگ	دانه	برداشت	برداشت				
۲۰/۴۳c	۲۲/۱۸bc	۶۶/۹۹cd	۱۷/۴fg	۱۸/۳bcd	۰/۱۹f	۰/۲۳abc	۱/۷۳ab	۴۲/۱۵a	۱۰۴۰ab	۱۳۵۸۰a ^e	۳۴۰/۷۲a	I	
۲۱/۳۲bc	۲۱/۶۵c	۶۸/۴۳bcd	۲۰/۵۹ab	۱۷/۶۷d	۰/۲۳c	۰/۲۴ab	۱/۶۷ab	۴۱/۲۴ab	۹۶۳bc	۱۳۲۲۰a ^e	۳۴۴/۲۶a	M	
۲۱/۳۲bc	۲۲/۵۲bc	۷۰/۱۱ab	۲۰/۳۶bc	۱۹/۷۵a	۰/۲۳c	۰/۲۱cde	۱/۵۹bc	۳۹/۷۶abc	۱۰۹۰a ^e	۱۳۹۰۰a ^e	۳۴۲/۶۹a	T۱	آبیاری کامل (I۱)
۲۳/۱۶a	۲۳/۱۲b	۶۶/۸۳d	۱۹/۱۷de	۱۹/۰۹abc	۰/۲۳c	۰/۲۵a	۱/۶۷ab	۳۷/۷۰a-d	۹۳۶c	۱۲۹۸۰a ^e	۳۴۸/۲۳a	T۲	
۲۲/۲۹ab	۲۲/۰۶bc	۶۴/۲۲e	۱۸/۱۳ef	۱۹/۸۶a	۰/۲۴c	۰/۲۱bcd	۲/۱۹a	۳۹/۹۴abc	۱۰۴۰ab	۱۳۲۱۰a ^e	۳۴۳/۱۸a	R	
۲۰/۱۸c	۱۹/۸۳d	۶۰/۹۳f	۱۶/۷۲g	۱۵/۲۲e	۰/۱۶fg	۰/۱۷f	۱/۱۴cd	۳۶/۰۸bcd	۶۴۳d	۱۱۲۲۰b ^e	۳۱۶/۹۳b	C	
(درصد)													
۲۱/۱۱bc	۲۵/۲۰a	۷۱/۱۵a	۱۸/۱۲ef	۱۹/۳۰ab	۰/۳۲ab	۰/۲۲abc	۱/۵۹bc	۳۳/۴۹de	۶۱۰d	۹۴۴۰c	۳۳۹/۴۳a	I	
۱۹/۶۴c	۲۴/۶۹a	۶۹/۵۱abc	۱۹/۳۷cd	۱۸/۲۹bcd	۰/۳۰ab	۰/۲۱cde	۱/۶۸ab	۳۰/۱۶ef	۵۰۰e	۹۱۷۰c	۳۴۹/۱۱a	M	
۲۰/۹۴bc	۲۵/۱۰a	۶۹/۲۰a-d	۲۱/۴۵a	۱۷/۹۴cd	۰/۳۴ab	۰/۱۸ef	۱/۶۴bc	۳۳/۸۵de	۵۱۳e	۸۵۲۰c	۳۲۳/۱۰b	T۱	کم آبیاری (I۲)
۲۰/۵۰c	۲۲/۹۷b	۶۹/۰۵a-d	۱۹/۰۰de	۱۷/۸۹cd	۰/۲۸de	۰/۱۹def	۱/۶۹ab	۳۶/۶۸a-d	۴۸۰e	۷۳۰۰d	۳۲۰/۵۷b	T۲	
۲۱/۱۲bc	۲۲/۸۷bc	۶۹/۴۸abc	۲۰/۳۵bc	۱۶/۲۵e	۰/۲۶de	۰/۲۳abc	۱/۲۶bcd	۲۷/۸۶f	۴۹۶e	۱۱۰۵۰b	۳۱۱/۹۸bc	R	
۲۰/۱۸c	۱۸/۳۸e	۶۹/۴۸abc	۱۸/۸۰de	۱۳/۷۶f	۰/۱۵fg	۰/۱۵f	۱/۰۳d	۳۴/۴۷cde	۳۰۳f	۶۴۱۰d	۳۰۴/۲۷c	C	

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین آنها است. شاهد (C)، رژیم بیوم (R)، قارچ‌های گونه *R. intraradices* (I)، *F. mosseae* (M)، تلفیقی (*R. intraradices* و *F. mosseae*) (MI)، تلفیقی (*R. intraradices*) (I۱)، تلفیقی (*R. intraradices*) و *F. mosseae* (I۲)، پروتئین خام (CP)، قابلیت هضم ماده خشک (DMD)، کربوهیدرات محلول در آب (WSC) و فیبر خام (CF).

نخود با تلقیح *F. mosseae* جذب فسفر، تعداد گره‌ها، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و فعالیت نیتروژناز افزایش یافت که منجر به افزایش تولید بیوماس می‌شود (۱۱). گزارش شده، ریزوبیوم‌ها می‌توانند از طریق پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی به هیف‌های قارچ بچسبند و از آنها به‌عنوان وسیله‌ای برای کلونیزاسیون روی ریشه گیاه استفاده کنند. همچنین ریزوبیوم استقرار مایکوریزا را به وسیله تولید پلی‌ساکاریدها افزایش می‌دهد که منجر به ستر آنزیم پلی‌گالاکتوروناز در محل آلودگی می‌شود، بدین ترتیب تسهیل نفوذپذیری قارچ مایکوریزا به سلول‌های ریشه امکان‌پذیر می‌شود (۷۷).

شاخص برداشت دانه

حداکثر شاخص برداشت دانه (۴۲/۱۵ درصد) در گیاهان تحت تیمار تلقیح با *R. intraradices* در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد و کمترین مقدار آن (۲۷/۸۶ درصد) از تیمار کودی ریزوبیوم در کم‌آبیاری حاصل شد. غیر از دو تیمار کودی مطرح شده که بیشترین و کمترین مقادیر را داشتند، تیمارهای کود زیستی در هر کدام از سطوح آبیاری تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند (جدول ۴). گزارش شده که بیشترین شاخص برداشت سویا در نتیجه تلقیح با باکتری (*Rhizobium Japonicum*) و کمترین شاخص برداشت در عدم تلقیح با باکتری به‌دست آمد (۴۰). کودهای زیستی با ایجاد تعادل بین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، ضمن افزایش رشد رویشی، رشد زایشی را افزایش داده و با ایجاد مقصد فراوان (دانه)، آسیمیلات تولیدی حاصل از رشد رویشی، به دانه‌ها و در نهایت شاخص برداشت دانه گیاه بالا می‌رود (۴۰).

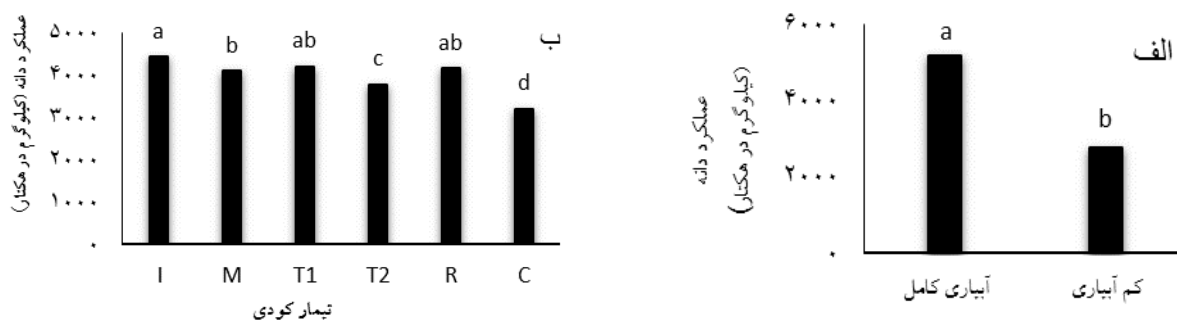
درصد و عملکرد پروتئین دانه

مقایسه میانگین‌های مربوط به برهمکنش آبیاری و کود زیستی نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین دانه (۱۹/۸۶ درصد) در تیمار کودی ریزوبیوم در شرایط آبیاری کامل و کمترین میزان آن (۱۳/۷۷ درصد) از گیاهان شاهد در شرایط کم‌آبیاری حاصل شد (جدول ۴). هر دو تیمار کودی تلقیحی و ریزوبیوم در شرایط

کامل ۴۳/۶۶ درصد بیشتر از کم‌آبیاری بود (شکل ۱-الف). همچنین گیاهان لویا تحت تیمار کودی *R. intraradices* افزایش عملکرد دانه ۲۸ درصدی نسبت به شاهد را داشتند، با این حال کلیه سطوح کودی عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش دادند که این افزایش در تیمارهای *R. intraradices* و (تلفیقی *R. intraradices* و ریزوبیوم) بیشتر بود (شکل ۱-ب). در شرایط حساس دوره زندگی گیاه از جمله گل‌دهی و تولید دانه، کمبود آب باعث سقط بسیاری از گل‌ها و دانه‌ها، در نتیجه تولید نیام‌های نابارور می‌شود. کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش کمبود آب را می‌توان به کاهش تعداد نیام در گیاه و کاهش وزن هزار دانه نسبت داد که این موضوع با نتایج تحقیقات بیات و همکاران (۵) مطابقت دارد. باکتری ریزوبیوم همزیست با لگوم‌ها در کاهش شرایط تنشی نقش مهم و مؤثری را ایفا می‌کند. ریزوبیوم با تولید ترکیباتی همچون انواع هورمون‌ها، ویتامین‌ها، ترکیبات دآمیناز و تولید ACC-اسمولیت مثل پرولین، تولید آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی تحت شرایط تنش، در کاهش شرایط تنش برای گیاهان مؤثر است. در واقع ریزوبیوم در هنگام تنش سبب القای سازوکارهای دفاعی گیاه و ایجاد مقاومت در گیاه می‌شود (۹).

عملکرد بیولوژیک

گیاهان تلقیح شده با تیمار کودی تلفیقی *R. intraradices* و ریزوبیوم به‌همراه آبیاری کامل بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک (۱۳۰۰۰/۹ کیلوگرم در هکتار) را داشتند، کمترین مقدار آن (۶۰۰۰/۴۱ کیلوگرم در هکتار) نیز از تیمار کودی شاهد در شرایط کم‌آبیاری بدست آمد (جدول ۴). تیمارهای کودی *R. intraradices*، *F. mosseae*، ریزوبیوم، تلفیقی T_2 (*F. mosseae* و ریزوبیوم) و T_1 (*R. intraradices* و ریزوبیوم) در شرایط آبیاری کامل در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). گزارش شده باکتری‌ها با ایجاد تغییرات ژنتیکی و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان‌ها و محلول‌های اسمزی سلولی باعث افزایش مقاومت گیاه لویا در برابر خشکی شده‌اند (۳۷). در گیاه



شکل ۱. مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه لویا چیتی تحت تاثیر رژیم آبیاری (الف) و سطوح کود زیستی (ب). حروف غیر مشابه نشان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. شاهد (C)، ریزوبیوم (R)، قارچ‌های گونه *F. mosseae* (M)، تلفیقی ۱ (*R. intraradices* و ریزوبیوم) (T1)، تلفیقی ۲ (*F. mosseae* و ریزوبیوم) (T2).

درصد پتاسیم دانه (۱/۶۱ درصد) از تیمار کودی *F. mosseae* و کمترین مقدار (۱/۰۳ درصد) در تیمار کودی شاهد حاصل شد (شکل ۲). افزایش جذب مواد غذایی بر اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد را می‌توان به تغییرات مورفولوژیکی در ریشه گیاهان به‌ویژه افزایش تعداد، طول، ضخامت ریشه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای ریشه گیاهان تلقیح شده نسبت داد (۲۶). با افزایش شدت تنش درصد جذب پتاسیم در گیاه ذرت کاهش یافت و در بررسی اثرات متقابل دیده شد که تیمار بدون تنش و همراه با تلقیح مایکوریزا بیشترین درصد جذب پتاسیم را داشت و کمترین آن نیز در تیمار تنش شدید و بدون مایکوریزا به‌دست آمد (۱).

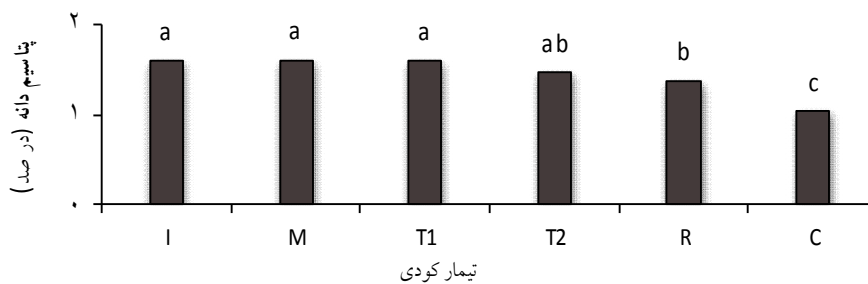
فسفر برگ و دانه

بیشترین مقدار فسفر دانه (۰/۳۳ درصد) از تیمار آبیاری کامل و گیاهان لویای تحت تیمار کودی تلفیقی (*F. mosseae* و ریزوبیوم) به‌دست آمد (جدول ۴) و کمترین مقدار آن (۰/۱۵ درصد) از تیمار کم‌آبیاری و شاهد حاصل شد. به عبارت دیگر تیمار کم‌آبیاری باعث کاهش ۵۴ درصدی فسفر دانه نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۴). قارچ مایکوریزا باعث افزایش فسفر در گیاه می‌شود. فسفر در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک گیاه درگیر بوده، به‌خصوص در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه ضروری است (۲). کاهش جذب عنصر فسفر را می‌توان به کاهش

آبیاری کامل و تیمار تلقیح با *R. intraradices* تحت کم‌آبیاری از نظر درصد پروتئین در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۴). بیشترین عملکرد پروتئین (۱۰۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری کامل و در گیاهان تیمار شده با کود تلفیقی *R. intraradices* و ریزوبیوم و کمترین میزان آن (۳۱۰ کیلوگرم در هکتار) در گیاهان شاهد تحت کم‌آبیاری به‌دست آمد. در هر دو سطح آبیاری، کودهای زیستی عملکرد پروتئین را نسبت به شاهد بدون تیمار افزایش داده‌اند ولی این افزایش در تیمارهای واجد *R. intraradices* هم در تلقیح جداگانه و هم تلفیقی با ریزوبیوم بیشترین افزایش عملکرد پروتئین را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در هر دو شرایط کم‌آبی و آبیاری کامل کودهای زیستی درصد پروتئین دانه را افزایش داده‌اند، در کم‌آبی ریزوبیوم نتوانسته به اندازه آنهايي که مایکوریزا دارند میزان پروتئین را افزایش بدهد.

پتاسیم برگ و دانه

بیشترین میزان پتاسیم برگ (۲/۱۹ درصد) در گیاهان تحت تیمار کودی ریزوبیوم و آبیاری کامل و کمترین میزان آن (۱/۰۳ درصد) از گیاهان شاهد تحت تیمار کم‌آبیاری به‌دست آمد (جدول ۴). کاهش ۱۳/۴۵ درصدی پتاسیم برگ در گیاهان شاهد و کم‌آبیاری مشاهده شد. مقایسه میانگین اثر تیمار کودی نشان داد که بیشترین



شکل ۲. مقایسه میانگین‌های درصد پتاسیم دانه لوبیا چیتی تحت تأثیر سطوح کود زیستی. حروف غیر مشابه‌شان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. شاهد (C)، ریزوبیوم (R)، قارچ‌های گونه *R. intraradices* (I)، *F. mosseae* (M)، تلفیقی ۱ (*R. interradicse* و ریزوبیوم) (T1)، تلفیقی ۲ (*F. mosseae* و ریزوبیوم) (T2).

ماده خشک قابل هضم

بیشترین (۷۱/۱۵ درصد) و کمترین (۵۸/۹۴ درصد) میزان ماده خشک قابل هضم در شرایط کم‌آبیاری به‌ترتیب از تیمار کودی *R. intraradices* و تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۴). مقدار ماده خشک قابل هضم در کم‌آبیاری ۱۷/۱۵ درصد در تیمار کودی گونه *R. intraradices* نسبت به شاهد کاهش نشان داد. در آبیاری کامل بیشترین ماده خشک قابل هضم (۷۰/۱۱ درصد) در تیمار کودی تلفیقی (*R. intraradices* و ریزوبیوم) و کمترین میزان آن (۶۰/۹۶ درصد) از تیمار کودی شاهد به‌دست آمد. گونه *R. intraradices* در شرایط آبیاری کامل و گونه *R. intraradices*، *F. mosseae*، ریزوبیوم، تلفیقی (*R. intraradices* و ریزوبیوم) و *F. mosseae* و ریزوبیوم) در شرایط کم‌آبیاری با میانگین ۶۸/۲۶ درصد ماده خشک قابل هضم در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). گزارش شده که بیشترین میزان قابلیت هضم ماده خشک و پروتئین گیاه جو، در تیمار تلفیق قارچ و باکتری سودوموناس به‌دست آمد (۳۱). باکتری‌ها به‌دلیل بالا بردن میزان پروتئین گیاه باعث افزایش قابلیت هضم ماده خشک می‌شوند (۱۲).

کربوهیدرات‌های محلول در آب

کمترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب (۱۸/۳۸ درصد) مربوط به تیمار کودی شاهد به همراه کم‌آبیاری بود و بیشترین میزان آن (۲۵/۲۰ درصد) نیز از گیاهان تیمار شده با

حلالیت و قابل دسترس بودن آن، کاهش تعرق و رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه تحت شرایط کمبود رطوبت خاک نسبت داد (۱۶). مشاهده شده که کاربرد دوگونه از قارچ مایکوریزا به نام‌های گلوموس اسکولتوم و گلوموس کالدو نیوم سبب افزایش چشمگیر غلظت فسفر و عملکرد گیاه شده است (۴۴).

پروتئین خام اندام هوایی علوفه

پروتئین خام یک شاخص مهم در محتوای پروتئین گیاه علوفه‌ای است. معمولاً پروتئین یکی از صفات مهمی است که ارزش غذایی علوفه را تعیین می‌کند (۲۹). بیشترین میزان پروتئین خام علوفه (۲۱/۴۵ درصد) در گیاهان تیمار شده با کود *R. intraradices* در شرایط کم‌آبیاری و کمترین میزان آن (۱۶/۷۲ درصد) از تیمار شاهد به همراه آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۴). کم‌آبیاری موجب افزایش ۲۲/۰۴ درصدی پروتئین خام علوفه نسبت به شرایط آبیاری کامل شد، در آبیاری کامل شاهد بیشترین بود (جدول ۴). به لحاظ تأثیر بر میزان پروتئین خام علوفه تیمارهای کودی *F. mosseae* و تلفیقی *R. intraradices* و ریزوبیوم در یک گروه آماری واقع شدند. گزارش شده است که میزان پروتئین خام ذرت و گندم، هنگام تلفیق با PGPR به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (۵۰). درصد پروتئین به تغذیه گیاه بستگی دارد و تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار می‌گیرد و استفاده از کودهای کم‌مصرف باعث افزایش پروتئین می‌شود (۴۷).

R. intraradices و ریزوبیوم (T_1)، و حداقل میزان آن (۲۳/۹۴ درصد) در شرایط کم آبیاری و تیمار کودی شاهد به دست آمد. که کاهش ۴۲/۹۹ درصدی را نشان می‌دهد (شکل ۳). گیاهان تحت تیمارهای کودی *R. intraradices* (I)، *F. mosseae* (M)، تلفیقی (*R. intraradices* و ریزوبیوم) (T_1)، ریزوبیوم (R) از نظر میزان آب نسبی برگ با میانگین ۷۵/۳۹ درصد در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۳). عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب در گیاه محتمل‌ترین دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاه در شرایط کم آبیاری است که با نتایج ترکان و همکاران (۴۵) مطابقت دارد. کاهش محتوای نسبی آب برگ و بسته شدن روزنه‌ها اولین اثر خشکی بوده که از طریق اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی، موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود (۴۹). اثرات سودمند تلقیح باکتریایی اساساً ناشی از تغییرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک ریشه مثل افزایش تعداد تارهای کشنده و ریشه‌های جانبی گیاهان تلقیح شده است که سبب افزایش کارایی جذب آب و مواد معدنی توسط ریشه می‌شود (۸).

پرولین

بیشترین میزان پرولین (۲۶/۷۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به تیمار کودی *F. mosseae* (M) در شرایط کم آبیاری بود و کمترین مقدار پرولین (۸/۰۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به گیاهان تحت تیمار کودی شاهد در شرایط آبیاری کامل بود که کاهش ۶۹/۸۶ درصدی پرولین در آبیاری کامل نسبت به کم آبیاری در پی داشت (شکل ۴). افزایش غلظت پرولین در گیاهانی که تحت کم آبیاری قرار گرفته‌اند، نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط کم آبیاری است (۲۸). در ارتباط با نقش مایکوریزا بر میزان پرولین در تنش خشکی، گزارش‌های متعددی وجود دارد. برخی از پژوهشگران بر این باورند که مایکوریزا باعث افزایش پرولین در برگ گیاهان میزبان می‌شود و دلیل این امر را اینگونه بیان می‌کنند که این ترکیبات با تجمع در سلول، باعث کاهش پتانسیل آبی برگ شده و گیاه را از صدمات تنش خشکی محافظت می‌کنند (۲۱).

R. intraradices تحت کم آبیاری حاصل شد (جدول ۴). در شرایط آبیاری کامل بیشترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب (۲۳/۱۲ درصد) از تیمار کودی تلفیقی (*F. mosseae* و ریزوبیوم) و کمترین آن (۱۹/۸۳ درصد) نیز از تیمار کودی شاهد به دست آمد (جدول ۴). پژوهشگران بیان داشته‌اند که تفاوت‌هایی از پارامترهای بیوشیمیایی بین گیاهان مایکوریزایی و غیرمایکوریزایی وجود دارد و مقاومت به خشکی بیشتر در گیاهان مایکوریزایی منعکس می‌شود. برای مثال، تجمع بالای قندهای محلول در گیاهان مایکوریزایی نشان می‌دهد که گیاهان با موفقیت بیشتری از خشکی اجتناب می‌کنند. بنابراین کمتر نیاز به تنظیم اسمزی سیمپلاسم یا آنزیم‌های حفاظت کننده اسمزی دارند و خسارت کمتری نشان می‌دهند (۱۷).

فیبر خام

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار فیبر خام (۲۳/۱۶ درصد) در گیاهان تحت تیمارهای کودی *F. mosseae* و ریزوبیوم در شرایط آبیاری کامل به دست آمد و کمترین مقدار آن (۱۹/۶۴ درصد) از تیمار کودی *F. mosseae* تحت کم آبیاری به دست آمد (جدول ۴). تیمار کم آبیاری ۱۵/۲۰ درصد نسبت به آبیاری کامل فیبر خام را کاهش داده است. کوچکی و همکاران (۲۲) دلیل بهبود خصوصیات رشدی گیاهان در شرایط همزیستی با مایکوریزا را به تولید انواع هورمون‌ها و مواد بیولوژیکی محرک رشد گیاه و همچنین بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای و فراهمی رطوبت و دسترسی به عناصر غذایی به‌ویژه فسفر نسبت دادند. علت کاهش درصد الیاف خام علوفه را در گیاهان تحت شرایط کم آبیاری به دلیل کاهش ساخته شدن اجزای دیواره سلولی در این شرایط می‌داند (۲۳).

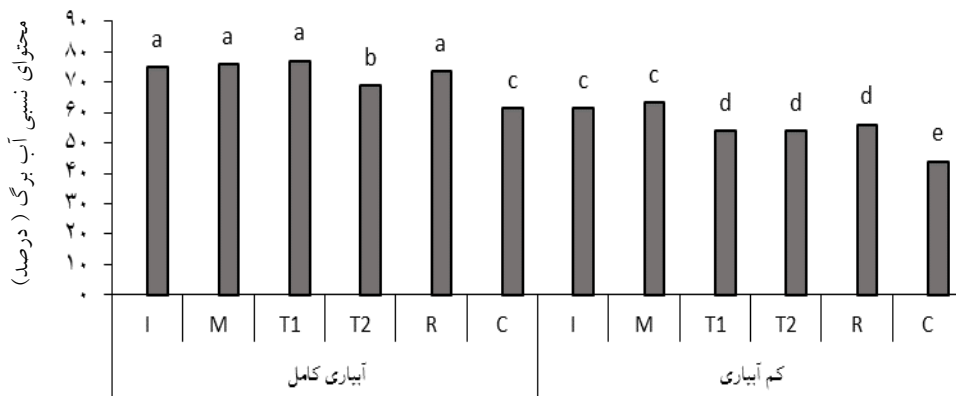
آب نسبی برگ‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر صفات آب نسبی برگ، پرولین، کلروفیل b و کلونیزاسیون معنی‌دار بود (جدول ۵). حداکثر آب نسبی برگ‌ها (۷۷/۰۸ درصد) در گیاهان تحت آبیاری کامل و تیمار شده با کود تلفیقی

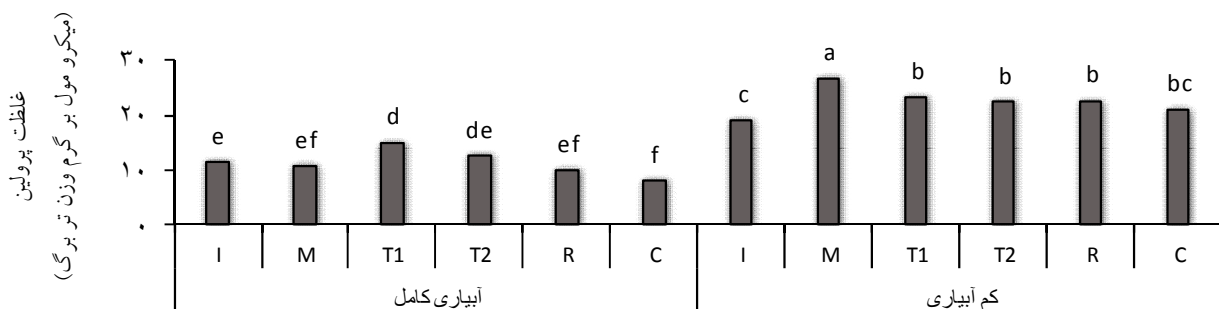
جدول ۵. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اسمولیت‌ها و برخی صفات فیزیولوژیک تحت رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کودی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					ضریب تغییرات (%)
		آب نسبی برگ	میزان پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	
بلوک	۲	۱۰/۷۹۲	۰/۱۵۱	۰/۰۵۳	۰/۰۲	۰/۱۰	۱۶/۳۶۱
آبیاری	۱	۲۴۴۴/۸۰**	۱۱۳۸/۹۵۰**	۲/۵۵**	۰/۰۶	۳/۳۵**	۷۸۴**
خطای اصلی	۲	۱۱/۳۵	۲/۲۶۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲۶	۰/۵۸۳
کود	۵	۲۲۳/۶۵**	۲۰/۷۸**	۰/۷۵**	۰/۰۶۰**	۰/۹۵۴**	۵۸۳/۹۷۷**
آبیاری × کود	۵	۲۰/۳۰*	۱۵/۸۹**	۰/۱۹	۰/۰۶**	۰/۰۵۵	۳۷/۶۶۶*
اشتباه آزمایشی	۲۰	۷/۰۶۳	۲/۹۸	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۸۸	۹/۷۲
		۴	۱۰	۱۶	۱۲	۱۱	۷

** و *: به ترتیب نشانگر معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح پنج و یک درصد است.



شکل ۳. مقایسه میانگین‌های محتوای نسبی آب برگ لوبیا چیتی تحت تأثیر سطوح کود زیستی و رژیم آبیاری. حروف غیر مشابه نشان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. شاهد (C)، ریزوبیوم (R)، قارچ‌های گونه *R. intraradices* (I)، *F. mosseae* (M)، تلفیقی ۱ (*R. intraradices* و ریزوبیوم) (T1)، تلفیقی ۲ (*F. mosseae* و ریزوبیوم) (T2).



شکل ۴. مقایسه میانگین‌های غلظت پرولین لوبیا چیتی تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی و رژیم آبیاری. حروف غیر مشابه نشان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. شاهد (C)، ریزوبیوم (R)، قارچ‌های گونه *R. intraradices* (I)، *F. mosseae* (M)، تلفیقی ۱ (*R. intraradices* و ریزوبیوم) (T1)، تلفیقی ۲ (*F. mosseae* و ریزوبیوم) (T2).

رنگیزه‌های فتوستزی

در شرایط آبیاری کامل بیشترین میزان کلروفیل a (۲/۰۰۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌دست آمد و کمترین میزان آن (۱/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در گیاهان تحت کم‌آبیاری به‌دست آمد (شکل ۵-الف). نتایج مقایسه میانگین تیمار کودی نشان داد بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۰۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) از تیمار کودی *R. intraradices* (I) و کمترین مقدار آن (۱/۱۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) از تیمار کودی شاهد به‌دست آمد (شکل ۵-ب). کمترین میزان کلروفیل b (۰/۶۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مربوط به گیاهان لوبیا تحت تیمار کودی شاهد و بیشترین میزان آن (۱/۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در تیمار کودی *M. F. mosseae* (M) در شرایط کم‌آبیاری به‌دست آمد. تیمار کودی *M. F. mosseae* (M) سبب افزایش ۴۳/۶۴ درصدی کلروفیل b نسبت به تیمار کودی شاهد در شرایط کم‌آبیاری شد (شکل ۵-ج). در شرایط آبیاری کامل بیشترین میزان کلروفیل b (۱/۰۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) از گیاهان تحت تیمار کودی *R. intraradices* (I) حاصل شد (شکل ۵-د). بیشترین میزان کلروفیل کل با (۲/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در شرایط آبیاری کامل و کمترین میزان آن (۰/۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در شرایط کم‌آبیاری به‌دست آمد (شکل ۵-ح). بیشترین مقدار کلروفیل کل (۲/۹۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در گیاهان تحت تیمار کودی *R. intraradices* (I) و کمترین مقدار آن (۲/۰۳ درصد) شاهد به‌دست آمد (شکل ۵-خ). گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی میزان کلروفیل و کارتنوئیدها در گیاه آفتابگردان کاهش می‌یابد (۲۸). مسلماً کاهش میزان کلروفیل در شرایط کم‌آبیاری به‌دلیل تخریب کلروپلاست در این شرایط و کاهش ساخت رنگیزه‌ها است.

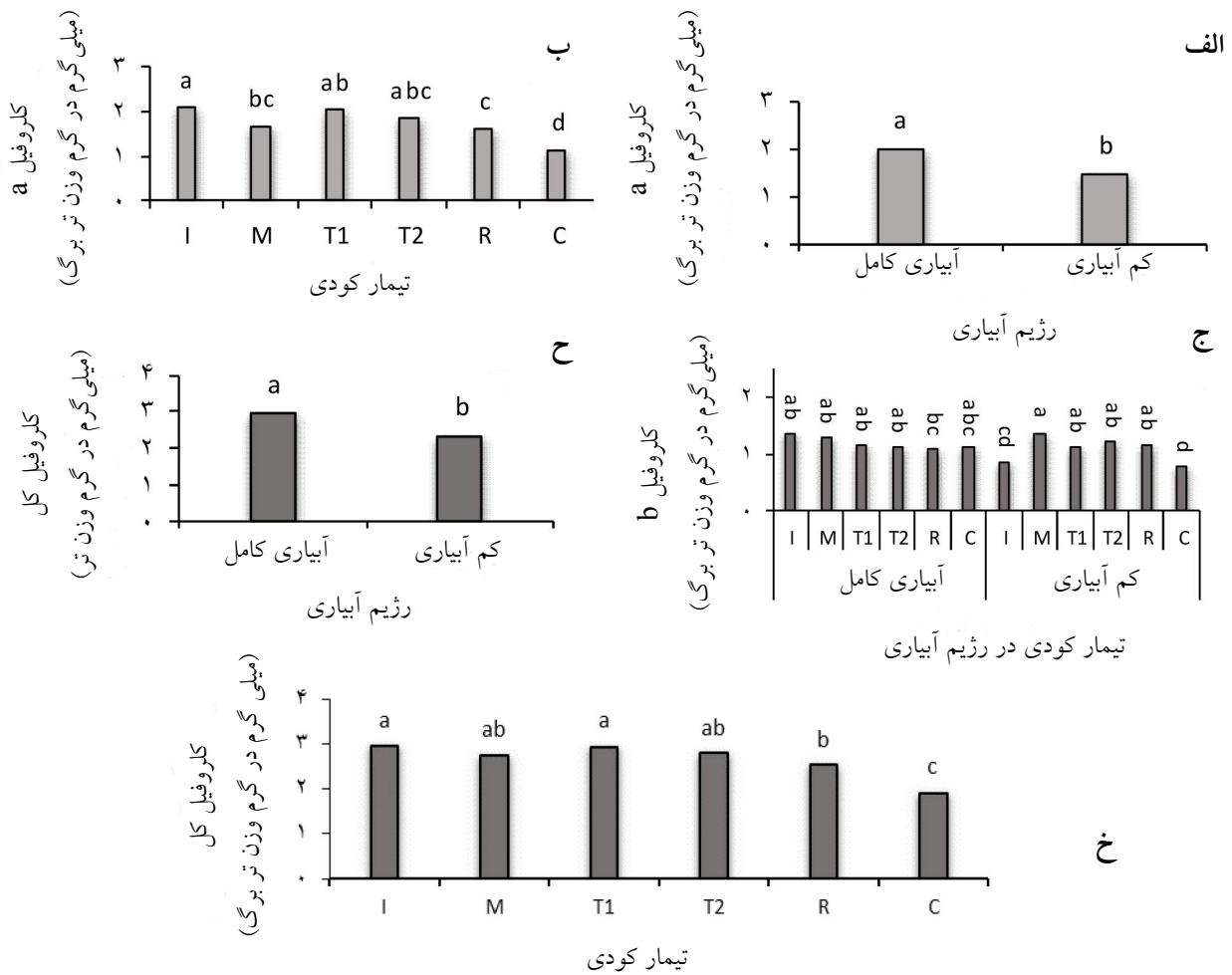
میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوستزی است (۱۹). همچنین بیان شده که اعمال شرایط کمبود آب منجر به کاهش مقادیر کلروفیل برگ می‌شود (۲۹). افزایش رنگیزه‌های فتوستزی به افزایش تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌ها برمی‌گردد، ترکیبات نیتروژنه در گرهک‌های

ریشه به شکل آلانتوئین و اسیدهای آلانتوئیک به برگ‌ها منتقل می‌شوند و در بیوستنز کلروفیل و پروتئین‌های ضروری برای فتوستنز استفاده می‌شوند (۶). با توجه به نقش نیتروژن و منیزیم در بیوستنز کلروفیل، بنابراین مقدار کلروفیل برگ گیاهان تلقیح یافته افزایش می‌یابد و این هم سازوکاری برای افزایش فتوستنز و در نتیجه رشد بهتر گیاه میزبان است (۴).

کلونیزاسیون ریشه

بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه (۶۲/۳۳ درصد) مربوط به گیاهان تحت تیمار کودی تلفیقی (*R. intraradices* و ریزوبیوم) (T1)، در شرایط آبیاری کامل بود و کمترین میزان آن (۲۵ درصد) متعلق به تیمار شاهد در شرایط کم‌آبیاری بود (شکل ۶). شایان ذکر است که گیاهان تحت تیمارهای *R. intraradices* (I)، تلفیقی (*F. mosseae* و ریزوبیوم) (T۲) در شرایط آبیاری کامل و گیاهان تیمار شده با *R. intraradices* (I) تحت کم‌آبیاری با میانگین (۵۰/۸۷ درصد) از نظر کلونیزاسیون ریشه تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۶).

در مطالعه‌ای مشاهده شد که تلقیح همزمان گیاه ماش سبز (*Vigna radiate L. Wilczek*) با باکتری ریزوبیوم و قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا سبب افزایش وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شد. این موضوع می‌تواند به‌دلیل اثرات هم‌افزایی باکتری ریزوبیوم و قارچ مایکوریزا روی رشد ریشه باشد (۷). پژوهشگران درباره گیاه جو به این نتیجه دست یافتند که درصد کلونیزاسیون ریشه در شرایط کم‌آبیاری بسیار بیشتر از شرایط کنترل بود اما مایکوریزا سبب افزایش جذب آب و مقدار فسفر اندام هوایی در شرایط خشکی شد (۲۰). ساجدی و رجالی (۳۹) عنوان داشتند با افزایش کلونیزاسیون ریشه، سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان توسعه یافته و باعث افزایش سطح جذب ریشه‌ها به‌علت نفوذ ریشه‌های قارچ در خاک می‌شود و در نتیجه ریشه به حجم بیشتری از خاک دسترسی پیدا کرده است و کارایی جذب آب و عناصر غذایی و تولید ماده خشک افزایش می‌یابد.



شکل 5. مقایسه میانگین‌های غلظت کلروفیل a (الف و ب) و کلروفیل b (ج) و کلروفیل کل (ح و خ) لوبیا چیتی تحت تأثیر سطوح کود زیستی و رژیم آبیاری. حروف غیر مشابه شان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. شاهد (C)، ریزوبیوم (R)، قارچ‌های گونه *R. intraradices* (I)، *F. mosseae* (M)، تلفیقی ۱ (*R. intraradices* و ریزوبیوم) (T1)، تلفیقی ۲ (*F. mosseae* و ریزوبیوم) (T2).



شکل 6. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل کود و آبیاری بر درصد کلونیزاسیون ریشه لوبیا چیتی. حروف غیر مشابه شان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. شاهد (C)، ریزوبیوم (R)، قارچ‌های گونه *R. intraradices* (I)، *F. mosseae* (M)، تلفیقی ۱ (*R. intraradices* و ریزوبیوم) (T1)، تلفیقی ۲ (*F. mosseae* و ریزوبیوم) (T2).

نتیجه گیری

لوبیا منجر به افزایش عملکرد پروتئین، فسفر دانه، آب نسبی برگ‌ها و کلونیزاسیون نیز شد. همچنین کاربرد گونه‌های مایکوریزا در شرایط کم‌آبیاری منجر به افزایش میزان پروتئین خام علوفه، ماده خشک قابل هضم، کربوهیدرات‌های محلول در آب و میزان پرولین در لوبیا چیتی شد. بنابراین در شرایط کم‌آبیاری و آبیاری کامل استفاده از قارچ‌های مایکوریزا در زراعت لوبیا توصیه می‌شود.

نتایج نشان داد که خصوصیات کمی و کیفی لوبیا، تحت تأثیر تیمارهای کودی و رژیم آبیاری قرار گرفتند. به طوری که کم‌آبیاری سبب کاهش میزان کلروفیل کل و در نتیجه کاهش عملکرد دانه به میزان ۴۶ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری کامل شد. استفاده از گونه‌های قارچ مایکوریزا در کنار ریزوبیوم در شرایط آبیاری کامل علاوه بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد

منابع مورد استفاده

- Alizadeh, A. and A. Alizadeh. 2007. The effect of Mycorrhizal in moisture different condition on uptake nutrition elements in Maize. *Iranian Journal of Agricultural Research* 3: 1.101-108. (In Farsi).
- Babaei, M., M. R. Ardakani, F. Rejali, A. H. Rad Shirani, F. Golzardi and S. Mafakheri. 2012. Response of agronomical traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to co-inoculation with *Glomus intraradices* and *Pseudomonas fluorescens* under different phosphorus levels. *Annals of Biological Research* 3: 4195-4199.
- Barary, M., S. kordi, L. A. Gerami, A. Hatami, A. A. Mehrabi and F. Ghanbari. 2014. Improving tolerance to water deficit using Zinc foliar spraying in two common bean cultivars under Ilam climatic conditions. *Journal of Crop Improvement (Journal of Agricultural)* 3: 641-652. (In Farsi).
- Bashan, Y., J. J. Bustillos, L. A. Leyva, J. P. Hernandez and M. Bacilio. 2006. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. *Biology and Fertility of Soils* 42: 279-285.
- Bayat, A. A., A. Sepehri, G. Ahmadvand and H. R. Dorri. 2010. Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 12: 42-54. (In Farsi).
- Bejandi, T. K., R. S. Sharifii, M. Sedghi and A. Namvar. 2012. Effects of plant density, Rhizobium inoculation and microelements on nodulation, chlorophyll content and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Annals of Biological Research* 3: 951-958.
- Bhat, M. A., S. R. S. Yadav, A. Tahir and S. Bangroo. 2010. Combined effects of rhizobium and vesicular arbuscular fungi on green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek) under temperate conditions. *Research Journal of Agricultural Sciences* 2: 1. 17-20.
- Dalla Santa, O. R., C. R. Socol, P. Ronzelli, R. F. Hernández, G. L. M. Alvarez, H. S. Dalla Santa and A. Pandey. 2004. Effects of inoculation of *Azospirillum* sp. in maize seeds under field conditions. *Food, Agriculture and Environment* 2: 238-242.
- Dimkpa, C., T. Weinand and F. Asch. 2009. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant, Cell and Environment* 32: 1682-1694.
- Erman, M., S. Demir, E. Ocağ, S. Tufenkci, F. Oguzand and A. Akkopru. 2011. Effects of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1-Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. *Field Crops Research* 122: 14-24.
- Garg, N. and S. Chandel. 2011. Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake in *Cicer arietinum* (L.) under salt stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35: 205-214.
- Gholami, A. 2000. Effect of Mycorrhizal fungi on the growth and yield of maize in the region shahrood. MSc.Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Farsi).
- Gryndler, M., H. Hřelová and I. Chvátalová. 1996. Effect of free-soil-inhabiting or root-associated microfungi on the development of arbuscular mycorrhizae and on proliferation of intraradical mycorrhizae hyphae. *Folia Microbiologica* 41: 193-196.
- Habib Porkashefi, E., M. H. Gharineh, A. R. Shafeinia and M. Roozrokh. 2016. The effect of zeolite levels on chlorophyll fluorescence of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal* 28:19-32. (In Farsi).
- Habibzadeh, Y., J. Jalilian, M. R. Zardashti, A. Pirzad and O. Eini. 2015. Some morpho-physiological characteristics of Mung Bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition. *Journal of Plant Nutrition* 38: 1754-1767.

16. Hopkins, W. G. and N. P. A. Huner. 2008. Introduction to Plant Physiology, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
17. Huixing, S. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology* 1: 44-48.
18. Jafari, A. A. 2001. Response to a one cycle of divergent selection for digestibility and water-soluble carbohydrates in perennial ryegrass (*Lolium perenne*) under glasshouse conditions. *Iranian Journal of Agriculture Science* 32: 319-329. (In Farsi).
19. Jiang, Y. and B. Huang. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science* 41: 436-442.
20. Khalvati, M. A., Y. HU, A. Mozafar and U. Schmidhalter. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart Journal* 7: 706-712.
21. Khalafallah, A. A. and H. H. Abo-ghalia, 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research* 4: 559-569.
22. Koocheki, A. R., J. Shabahng, S. Khorramdel and F. Nadjafi. 2015. Effects of mycorrhiza inoculation and different irrigation levels on yield, yield components and essential oil contents of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). *Journal of Agroecology* 7: 20-37. (In Farsi).
23. Kramer, P. J. 1983. Water Relation of Plant. Academic Press, New York.
24. Lichtenthaler, H. K. and C. Buschmann. 2001. Chlorophyll and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. F4.3.1-F4.3.8.
25. Lithourgidis, A. S., I. B. Vasilakoglou, K. V. Dhima, C. A. Dordas and M. D. Yiakoulaki. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research* 99: 106-113.
26. Mahanta, D., R. K. Rai, S. D. Mishra, A. Raja, T. J. Purakayastha and E. Varghese. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research* 166: 1-9.
27. Majnon-hosseini, N. 2014. Legumes Culture and Production. Jahad-e- Daneshgahi of Tehran. Tehran. (In Farsi).
28. Manivannan, P., C. A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishurekumar, R. Somasundaram, G. M. Lakshmanan and R. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces, Biointerfaces* 52: 141-149.
29. Mansouri-Far, C., S. A. M. Modarres Sanavy and S. F. Saberali. 2010. Maize yield response to deficit irrigation during low sensitive growth stages and nitrogen rate under semiarid climatic conditions. *Agricultural Water Management* 97: 12-22.
30. Martinez, J. P., H. Silva, J. F. Ledent and M. Pinto. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy* 26: 30- 38.
31. Mehrvarz, S. and M. R. Chaichi. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical microbial activity in soil: Effect of carbon sources. *Soil Biology and Biochemistry* 89: 995-1003.
32. Meng, L., A. Zhang, F. Wang, X. Han, D. Wang and S. Li. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium facilitatenitrogen uptake and transferrin soybean/maizeintercropping system. *Frontiers in Plant Science* 6: 1-10.
33. Parsa, M. and. A. R Bagheri. 2009. Pulses. Jahad Daneshgahi Mashhad University Press. Mashhad. (In Farsi).
34. Pellegrino, E. and S. Bedini. 2014. Enhancing ecosystem services insustainable agriculture: biofertiliz ation and biofortification of chickpea (*Cicer arietinum* L.) byarbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry* 68: 429-439.
35. Rezaei-chiyaneh, E., M. Tajbakhsh, M. Ghiyasi and R. Amirnia. 2015. Effect of integrated organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming coditions. *Research in Field Crops* 3: 55-69. (In Farsi).
36. Ruiz-Sanchez, M., R. Aroca, Y. Munoz, R. Polon and J. M. Ruiz-Lozano. 2010. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of Plant Physiology* 167: 862-869.
37. Rupak, K. S. and S. Ratul. 2014. Alleviation of drought stress in mung bean by strain *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21. *Plant and Soil* 377: 111-126.
38. Sadagipor, A. and N. Hashemi. 2015. Study the effect of brassinolide application on drought tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Crop Physiology Journal* 26: 57-70. (In Farsi).
39. Sajedi, N. A., M. R. Ardakani, A. Sajedi and A. H. Bahrami. 2010. Uptake of some nutrient elements affected mycorrhizal symbiosis, zinc sulfate levels and drought stress on corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 8: 784-791. (In Farsi).
40. Servani, M., H. R. Mobasser and H. R. Ganjali. 2014. Effect of bacterium *Azospirillum*, phosphate fertil 2 on

- soybean. *International Journal of Farming and Allied Sciences* 3: 324-327.
41. Singh, J. S. 2013. Plant growth promoting rhizobacteria. *Resonance* 18: 275-281.
 42. Talaat, N. and M. A. Abdallah. 2008. Response of faba bean (*Vicia faba* L.) to dual inoculation with Rhizobium and VA mycorrhiza under different levels of N and P fertilization. *Journal of Applied Science Research* 4: 1092 -1102.
 43. Temminghoff, E. J. M. and V. J. G. Houba. 2004. Plant Analysis Procedures (Second Edition). Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
 44. Toussaint, J. P., F. A. Smith and S. E. Smith. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of Phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. *Mycorrhiza* 17: 291-297.
 45. Turkan, I., M. Bor, F. Ozdemir and H. Koca. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought tolerant *P. Acutifolius* Gray and drought sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Journal of Plant Science* 168: 223-231.
 46. Veresoglou, S. D., B. Chen and M. C. Rillig. 2012. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry* 46: 53-62.
 47. Waling, I., W. V. Vark, V. J. G. Houba and J. J. Van der lee. 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland.
 48. Whitty, E. N. and C. G. Chambliss. 2005. Fertilization of Field and Forage Crops. *Nevada State University Publication* 21-24.
 49. Yang, J., J. W. Kloepper and C. M. Ryu. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Plant Science* 14: 1-4.
 50. Yolcu, H., M. Comert and V. Aksakal. 2009. Morphologic, yield and quality parameters of some annual forage as sole crops and intercropping mixtures in dry conditions for livestock. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 594-599.

Effect of Rhizobium and Mycorrhiza on Some Physiological Traits, Yield and Qualitative Characteristics of Pinto Beans in Deficit Irrigation Condition

N. Hazrati Gejlar¹, J. Jalilian^{2*} and A. Pirzad³

(Received: November 30-2017; Accepted: June 11-2018)

Abstract

In order to evaluate the effect of biofertilizers (*Rhizobium* and mycorrhiza) on yield and qualitative characteristics of Pinto bean under deficit irrigation, an experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications in 2017. Experimental treatments included irrigation regime with two levels (normal and deficit irrigation) as main plots and biological fertilizers with six levels {Control (C), *Rhizobium phaseoli* (R), fungus included *Rhizophagus intraradices* (I) and *Funneliformis mosseae* (M), Integrated 1 (*R. intraradices* and *Rhizobium-T1*), Integrated 2 (*F. mosseae* and *Rhizobium-T2*)} as sub-plots. Inoculation with *F. mosseae* led to increase in 1000-seed weight in deficit irrigation condition. Grain yield was enhanced by 28% due to application of *R. intraradices*, compared with control treatment. The highest grain protein content (19.86%) was observed in *Rhizobium* fertilizer application under normal irrigation condition and its lowest (13.77%) was obtained from control plants under deficit irrigation condition. The maximum amount of crude protein (21.45%) and digestible dry matter (71.15%) were found in the plants treated with *R. intraradices* under deficit irrigation condition, and the lowest amount of them (16.72 and 58.94%) were obtained from untreated plants under normal and deficit irrigation treatments, respectively. Plants treated with *F. mosseae* had the highest concentrations of proline and total chlorophyll under deficit irrigation condition. Generally, *F. mosseae* and *R. intraradices* species led to improving qualitative and qualitative characteristics of Pinto bean under deficit irrigation condition.

Keywords: Biological fertilizer, Digestible dry matter, Dual inoculation, Proline, Protein

1, 2, 3. MSc. Student, Associate Professor and Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

*: Corresponding Author, Email: j.jalilian@urmia.ac.ir