تأثیر مایه‌زنی میکروبی بر کارایی مصرف آب و عملکرد لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش خشکی

اکبر همتی[۱*] و هادی اسدی رحمانی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۷)

چکیده

به‌منظور تعیین اثرات باکتری‌های ریزوبیوم و قارچ میکوریزا آربسکولار در کارایی مصرف آب و عملکرد لوبیا در شرایط تنش خشکی، اقدام به اجرای آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی فارس طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ شد. در سطوح اصلی، تیمارهای تنش خشکی شامل آبیاری در ۸۰،۶۰ و ۱۰۰ درصد آب قابل استفاده (AW) و در سطوح فرعی پنج تیمار مجزا و ترکیبی باکتری ریزوبیوم سویه‌های ۱۶۰ و ۱۷۷ و قارچ میکوریزا آربسکولار همراه با تیمار شاهد قرار داشت. نتایج نشان داد که اثرات تیمارهای تنش خشکی و کودهای زیستی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد داشتند. بیشترین مقدار عملکرد دانه برابر ۲۳۷۱ کیلوگرم در هکتار همراه با بیشترین کارایی مصرف آب (۵۲۲ گرم دانه در متر مکعب آب)، در شرایط تنش خشکی با مصرف سویه‌های باکتری ریزوبیوم ۱۶۰ و ۱۷۷ و قارچ میکوریزا آربسکولار به‌دست آمد. نتایج این آزمایش نشان داد، کاربرد زادمایه باکتری‌های ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در لوبیا شده است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، ریزوبیوم، لوبیا، مایکوریزا

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۲. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات ، آموزش وترویج کشاورزی، کرج، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a.hemati@areeo.ac.ir

مقدمه

نظر به کاهش شدید منابع آبی و کشت سالانه حدود ۱۱۰ الی ۱۲۰ هزار هکتار لوبیا در کشور (۱) و با توجه به حساسیت این گیاه به تنش خشکی، عملکرد و تثبیت نیتروژن در این گیاه در شرایط کمبود آب شدیداً کاهش یافته است. در راستای کشاورزی پایدار یکی از راهکارهای افزایش عملکرد در گیاهان، بهره‌گیری از توان ریزموجودات زنده مانند باکتری‌های ریزوبیوم و قارچ‌های میکوریزا در شرایط کمبود آب است. در یک آزمایش با مایه‌زنی بذر لوبیا با باکتری ریزوبیوم بدون استفاده از کود نیتروژن ۳۹۹۰ کیلوگرم دانه در هکتار برداشت شد، درحالی‌که در تیمار شاهد (عدم تلقیح) با مصرف ۶۰۰ کیلوگرم کود اوره عملکرد کمتر از این مقدار بود (۷). اثرات تحریک کنندگی رشد باکتری‌ها، به دلیل تولید فیتوهورمون، محدود شدن رشد قارچ‌های پاتوژن، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، سیدروفورها و یونوفورها است (۱۵). به‌نظر می‌رسد این باکتری‌ها قادرند حتی در شرایط تنش خشکی نسبت به جذب عناصر غذایی اقدام نمایند. متقابلاً، عناصر غذایی نیز در تثبیت نیتروژن و کارایی باکتری مؤثرند (۱۸). میزان نیتروژن تثبیتی اندازه گیری شده به روش احیای استیلن، در شرایط تنش رطوبتی خاک ۲۶٪ کاهش یافته است. گرچه میزان این تأثیر به مرحله رشد گیاه بستگی دارد ولی در هر حال کمبود رطوبت خاک در تشکیل، رشد و فعالیت گره تأثیر انکارناپذیری دارد (۲۶). محققان در یک آزمایش ملاحظه کردند که با کاهش آب خاک، از تعداد و وزن گره‌ها کاسته شده، در حالی که وزن خشک گیاه تغییری نکرد. همچنین آنها مشاهده کردند با کاهش آب خاک، فعالیت آنزیم نیتروژناز، پتانسیل آب برگ، مقدار پروتئین و نشاسته و مقدار لگ‌هموگلوبین و فعالیت سایر آنزیم‌های مهم در ساخت کربن در گیاه کاهش می‌یابد (۱۶). همچنین گزارش شده تغییرات ژنتیکی و فیزیولوژیکی ایجاد شده درگره ناشی از تنش خشکی عامل کاهش تثبیت نیتروژن و عملکرد است لذا باید در روش‌های به‌نژادی و انتخاب، با بهره‌گیری از این تغییرات نسبت به معرفی سویه‌های مقاوم به خشکی اقدام کرد (۱۹). در یک آزمایش مشاهده شد لوبیای تلقیح شده با باکتری ریزوبیوم گونه لگومینوزاروم فازئولی، افزایش ۵۰ درصدی عملکرد در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد داشت (۲۲). در آزمایشی دیگر، مشاهده شد از ده سویه ریزوبیوم که در تنش‌های خشکی ۰/۰۳ -، ۱- و ۱/۵- میلی‌پاسکال آب قابل استفاده قرار گرفته بودند، فقط پنج سویه باکتری ۳۵ روز تنش را تحمل کرده و دو سویه دارای جمعیتی به مقدار 10^7 ریزوبیوم در هر گرم خاک بودند که توصیه شد از آنها برای تلقیح عدس در مناطق خشک استفاده شود (۱۰).

در سال‌های اخیر از قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار برای مقابله با تنش‌های کم‌آبی در بسیاری از گیاهان استفاده شده است (۲۱). به این ترتیب که رابطه همزیستی میکوریزی از طریق اجتناب از خشکی، افزایش جذب عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاه، آنها را در مقابل تنش حفظ می‌کند (۱۱). قارچ‌های میکوریزی تنش آبی را کاهش داده و انتقال آب را در گیاهان افزایش می‌دهند. گیاهان مایه‌زنی شده باقارچ میکوریز، قادر به تحمل شرایط خشک‌تر خاک نسبت به گیاهان بدون میکوریز هستند (۲۰). همزیستی میکوریزی آربوسکولار به دلیل فعال و متنوع بودن برای افزایش پایداری سیستم کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. در یک آزمایش مشاهده شد قارچ‌های میکوریز از طریق افزایش رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی در شرایط تنش کم‌آب‌ی پایداری گیاه به خشکی را افزایش داده‌اند. در شرایط تنش کم‌آبی در اثر افزایش سطح ریشه و طول ریشه‌های میکوریزی هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بهتر از گیاهان غیرمیکوریزی است. در این شرایط هدایت آبی ۲ تا ۳ برابر در واحد طول ریشه افزایش می یابد (۲۳). گزارش شده در شرایط کم آبی هیف‌های قارچ میکوریز آربوسکولار با عث افزایش جذب آب و هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها شده و تنظیم اسمزی و تغییرات در کنترل روزنه‌ای و خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی را کنترل می‌کنند (۹). تنش کم‌آبی تعداد تارهای کشنده ریشه را کاهش می‌دهد و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌کند که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی به‌وسیله سیستم ریشه‌ای کاهش

می‌یابد. در این زمان، هیف‌های قارچ میکوریزا آربسکولار می‌تواند جانشین سیستم‌های ریشه شده و عناصر غذایی را جذب کنند. علاوه بر این پژوهشگران مختلف، تغییر در الاستیسیته برگ، بهبود در پتانسیل آب و آماس برگ، باز نگه داشتن روزنه‌ها و افزایش تعرق، افزایش در طول و عمق نفوذ ریشه‌ها، افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه، افزایش جذب آب در سطوح پایین رطوبت توسط هیف‌های برون ریشه ای، تغییر در انعطاف پذیری دیواره سلولی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع پرولین و کربوهیدرات‌ها و افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌ها در گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی، در شرایط تنش کم آبی را گزارش کرده‌اند که باعث افزایش پایداری گیاه در برابر تنش‌های کم آبی می‌شود (۸ و ۲۳).

در این آزمایش اثرات دو سویه باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا آربسکولار در عملکرد و کارایی مصرف آب در لوبیاچیتی در شرایط تنش خشکی، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده با طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال‌های ۹۴ و ۹۵ در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس اجرا شد. درسطوح اصلی تیمارهای تنش خشکی شامل آبیاری در دامنه‌های ۱۰۰-۹۵=S1، ۸۰-۷۵=S2 و ۶۰-۵۵ =S3 درصد آب قابل استفاده خاک (AW) و در کرت‌های فرعی تیمارهای کود زیستی به شرح زیر قرار داشت.

T1- مایه‌زنی بذر با باکتری ریزوبیوم لگومینوزاروم بیوار فازئولی سویه ی ۱۷۷ با فراوانی ۲×۱۰^{۸} سلول در هر گرم مایه تلقیح

T2- مایه‌زنی بذر با باکتری ریزوبیوم لگومینوزاروم بیوار فازئولی سویه ی ۱۶۰ با فراوانی ۲×۱۰^{۸} سلول در هر گرم مایه تلقیح

T3- مایه‌زنی خاک با قارچ میکوریز آربسکولار T4-تیمار اول + تیمار دوم (T1+T2)

T5- تیماراول+ تیمار دوم+ تیمار سوم (T1+T2+T3) T6- تیمار کنترل (عدم استفاده از باکتری و قارچ)

آزمایش دارای ۱۸ تیمار و چهار تکرار بود. هر کرت شامل چهار ردیف کشت به طول پنج متر و فاصله بین هر ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته در هر ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. به منظور حذف اثرات حاشیه‌ای بین هرکرت یک متر و بین تیمارهای اصلی ۱/۵ متر و بین تکرارها نیز سه متر فاصله بود. بذر مصرفی لوبیا چیتی رقم صدری بود. قبل از کاشت، در نمونه خاک محل آزمایش عناصر غذایی پر نیاز و کم نیاز شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، مس، بر و بافت خاک، اندازه آهک، مواد آلی و فراوانی باکتری‌های ریزوبیوم بر اساس روش‌های استاندارد مورد استفاده توسط آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند.

جهت آبیاری، تا زمان پاگیری کامل گیاه (مرحله۲ برگی) آبیاری همه کرت ها بدون اعمال تیمارهای تنش خشکی انجام شد و حجم آب به کار رفته یاد داشت شد. به‌منظور تعیین حجم آب مصرفی در تیمارهای تنش خشکی، روزانه اقدام به اندازه‌گیری رطوبت وزنی تیمارها کرده، با داشتن وزن مخصوص ظاهری، رطوبت حجمی محاسبه شد. در صورتی که میزان رطوبت در تیمار بیشتر از حد رطوبت آبیاری آن تیمار بود از آبیاری صرفه نظر کرده و در صورتی که مقدار رطوبت کمتر از حد مربوطه بود، کمبودحجم آب مورد نیاز تیمار بر اساس رسانیدن عمق توسعه ریشه به حد ظرفیت زراعی به شرح زیر محاسبه و اعمال شد (۳).

رطوبت وزنی خاک - رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه‌ای (FC) = کمبود رطوبت خاک

۱۰۰/ (عمق ریشه× وزن مخصوص ظاهری × کمبود رطوبت خاک) = عمق خالص آبیاری(cm)

۱۰۰۰× مساحت کرت (m^2) × عمق خالص آبیاری = عمق آب آبیاری (Li)

عمق توسعه ریشه مطابق مرحله رشد گیاه متغیر بود. برای اندازه گیری رطوبت در حد ظرفیت زراعی از روش صفحات تحت فشار (آزمایشگاهی) استفاده شد.

در زمان برداشت تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته،

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

هدایت الکتریکی (dS/m)	پی اچ	اشباع رطوبتی (٪)	مواد خنثی شونده (٪)	کربن آلی (٪)	لای (٪)	رس (٪)	شن (٪)	کلاس بافت خاک
۰/۸	۷/۷	۴۱	۳۴	۰/۴۷	۳۲/۸	۲۵/۶	۴۱/۶	لوم
فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	بر	مس	فراوانی باکتری بومی خاک	
قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب		
mg/kg[1]							(cfu/g)	
۸/۸	۲۴۰	۲/۷	۱/۶	۸/۹	۰/۴۸	۰/۶۶	$۷/۴\times۱۰^{۲}$	

تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و وزن ۱۰۰ دانه اندازه‌گیری شد. تمام نمونه‌برداری‌ها با حذف نیم متر اثرات حاشیه‌ای از وسط کرت برداشت شد. درصد پروتئین با ضرب مقدار نیتروژن در ضریب ۶/۲۵ برآورد شد. از روی حجم آب مصرفی و عملکرد زیستی، کارایی کاربرد آب (WUE) هر تیمار تعیین شد. داده‌های آزمایش در پایان هر سال بر اساس برنامه آماری SAS 9.4 تجزیه واریانس شده و میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن مقایسه شدند. در تجزیه واریانس اثر سال تصادفی و اثرات تیمارها و مکان ثابت در نظر گرفته شد. نتایج دو سال آزمایش نیز تجزیه واریانس مرکب شد و میانگین‌های دو سال با آزمون دانکن مقایسه شدند. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و رطوبتی خاک مورد آزمایش

همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود خاک محل آزمایش غیر شور بود و از نظر اسیدیته در محدوده خنثی و کمی قلیایی است. درصد مواد آلی آن کم و آهکی است. عناصر غذایی پر نیاز و کم نیاز آن به‌جز منگنز کمتر از حد بحرانی است. حد بحرانی این عناصر به‌ترتیب برابر ۱۵،۳۰۰، ۱، ۸، ۱۰، ۲ و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم برای فسفر، پتاسیم، مس، منگنز، آهن، روی و بر گزارش شده است (۵).

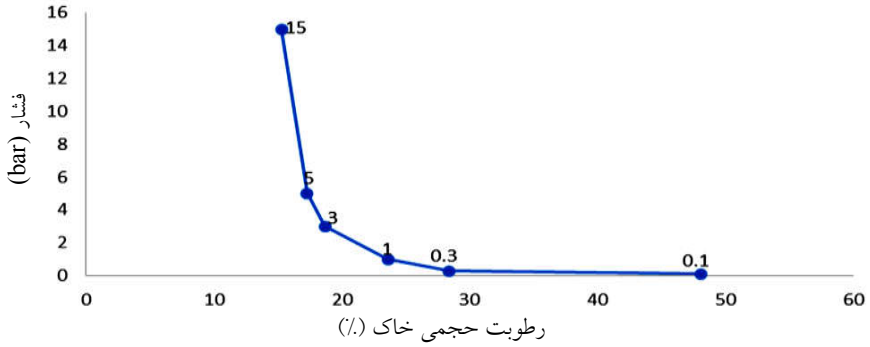
فراوانی باکتری ریزوبیوم همزیست لوبیا در نمونه خاک محل آزمایش به روش MPN plant infection test برابر $۷/۴\times۱۰^{۲}$ باکتری در یک گرم خاک بود. فراوانی باکتری‌ها در خاک به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد لذا عدد استاندارد بین المللی برای آن ارایه نشده است. به عنوان مثال این عدد در استرالیا[۹]۱۰، در آفریقای جنوبی و نیوزلند ۱×۱۰^{۸} و در آمریکا و کانادا $۹/۴\times۱۰^{۶}$ سلول زنده در گرم خاک است (۱۰). با توجه به معیارهای فوق فراوانی ریزوبیوم بومی در خاک منطقه زیاد نبوده لذا به نظر می‌رسد برای داشتن یک همزیستی مناسب مایه‌زنی لوبیا با این باکتری ضروری است.

منحنی رطوبتی خاک (شکل ۱) نشان می‌دهد بافت خاک نسبتاً سبک بوده و رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت مزرعه‌ای۲۸/۴ درصد است.

عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس آزمایش، اثرات تیمارهای تنش خشکی و باکتری ریزوبیوم در عملکرد دانه در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول۲). بیشترین مقدار عملکرد دانه در مجموع دو سال در تیمار تنش خشکی متوسط (S2) و استفاده از باکتری ریزوبیوم سویه‌ی ۱۶۰(T2) به مقدار ۲۳۷۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول۳).

حصول بیشترین عملکرد دانه در دامنه تنش خشکی متوسط (۸۰–۷۵ درصد آب قابل استفاده) مبین توانایی کارکرد سویه های



شکل ۱. منحنی رطوبتی خاک محل آزمایش

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای آزمایش در عملکرد دانه، عملکرد زیستی، کارایی کاربرد آب و وزن صد دانه لوبیا

		میانگین مربعات			
منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	کارایی‌کاربرد آب	وزن صد دانه
سال	۱	۳۰۴۳۳۶^{ns}	۵۰۲۹۱۷۳۶^{ns}	۵۲۹۶۷**	۶۵/۴*
خطای سال	۶	۲۹۹۶۱۲	۲۹۹۵۲۵۵	۵۱/۶	۷/۳
تنش خشکی	۲	۳۴۸۳۲۷*	۵۵۸۸۵۵۹**	۲۸۹۷**	۵/۶**
سال × تنش خشکی	۲	۲۷۰۹۸۵۵**	۱۹۷۶۰۵۹^{ns}	۹۷^{ns}	۱۰/۷*
خطا	۱۲	۳۴۷۸۱۹	۲۱۷۱۹۳۹	۶۱/۵	۲/۴
کود زیستی	۵	۲۷۸۵۵۱*	۱۳۲۸۹۰۳*	۱۱۶^{ns}	۵/۲^{ns}
سال ×کود زیستی	۵	۶۰۹۶^{ns}	۵۶۳۹۰۲^{ns}	۳۷^{ns}	۲^{ns}
تنش × کود زیستی	۱۰	۱۶۰۹۷۱^{ns}	۹۶۵۵۵۹^{ns}	۶۳*	۳/۹^{ns}
سال × تنش × کود	۱۰	۲۳۷۳۸۲^{ns}	۸۹۶۷۲۵^{ns}	۵۸*	۲/۴^{ns}
خطا	۹۰	۲۱۰۹۵۵	۱۰۱۵۶۵۵	۶۸	۲/۸
ضریب تغییرات (٪)		۲۱/۹	۱۹/۸۳	۷/۵	۲۲/۲

*معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد و ns عدم معنی‌دار

باکتری ریزوبیوم استفاده شده در شرایط رطوبتی کم خاک است. از آنجا که بقولات در دامنه‌های وسیع رطوبتی خاک قادر به تثبیت نیتروژن هستند می‌توان سویه هایی با حساسیت متنوع انتخاب و استفاده کرد. چرا که حساسیت به تنش رطوبتی از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است (۲۵). وجود توده‌های ریزوبیوم در خاک‌های صحرایی و تشکیل غده‌های مؤثر در این زمین‌ها، مبین توانایی کارکرد این باکتری‌ها در خاک‌های با رطوبت کم است (۱۴). گزارش شده مایه زنی لوبیا با باکتری ریزوبیوم باعث افزایش ۵۰ درصدی عملکرد در شرایط تنش آبی نسبت به شاهد شده است.

احتمالاً باکتری شرایط جذب بهتر عناصر غذایی را در ریزوسفر فراهم می‌کند لذا عملکرد گیاه کمتر تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد (۲۲). در یک آزمایش مشاهده شد مایه‌زنی ترکیبی از کودهای زیستی باعث افزایش ۵۰ درصدی عملکرد نخود نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی در شرایط عدم تنش رطوبتی شد، درحالی‌که این افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد بوده است. علت این افزایش عملکرد، افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر و افزایش رشد ریشه توسط باکتری‌ها گزارش شده است (۱۷).

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد دانه، عملکرد زیستی، کارایی کاربرد آب و وزن صد دانه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن

ردیف	تیمار	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	کارایی کاربرد آب	وزن صد دانه
		$kgha^{-1}$	$kgha^{-1}$	gm^{-3}	g
۱	S1T1	۲۰۱۵^{b}	۵۰۵۶^{abc}	۳۱۷f^{eg}	۴۳/۱ ^{a}
۲	S1T2	۲۱۰۳^{ab}	۴۷۹۳ ^{bc}	۳۱۶ ^{feg}	۴۱/۷ ^{abc}
۳	S1T3	۱۸۲۳^{bc}	۴۱۲۵ ^{c}	۲۶۶ ^{g}	۴۲/۵^{a}
۴	S1T4	۱۹۵۲^{ab}	۴۳۸۷ ^{bc}	۲۹۱^{fg}	۴۱/۶^{abc}
۵	S1T5	۲۲۲۲^{a}	۵۴۶۸^{ab}	۳۲۲ ^{feg}	۴۲/۴^{ab}
۶	S1T6	۱۹۳۱^{bc}	۴۶۲۵ ^{bc}	۲۹۹^{fg}	۴۱/۹^{abc}
۷	S2T1	۲۰۵۵^{ab}	۵۱۶۸ ^{abc}	۳۵۵ ^{fedg}	۴۲/۸^{a}
۸	S2T2	۲۳۷۱^{a}	۵۳۳۷^{ab}	۳۷۷ ^{fed}	۴۲/۶^{a}
۹	S2T3	۲۲۰۳^{ab}	۵۲۳۱ ^{abc}	۳۸۶ ^{fedc}	۴۲/۱^{ab}
۱۰	S2T4	۲۰۸۸^{b}	۴۸۴۳^{bc}	۳۴۹f^{edg}	۴۲/۴^{ab}
۱۱	S2T5	۱۹۸۱^{bc}	۴۹۴۳ ^{abc}	۳۵۱f^{edg}	۴۱/۳^{abc}
۱۲	S2T6	۱۹۳۱^{bc}	۴۹۰۶ ^{abc}	۳۳۴ ^{fedg}	۴۰/۵^{bdc}
۱۳	S3T1	۱۹۵۰^{bc}	۵۴۹۳^{ab}	۴۸۲ ^{ab}	۴۰/۵^{bdc}
۱۴	S3T2	۲۱۰۰^{ab}	۶۰۵۶^{a}	۵۲۲ ^{a}	۴۱/۱^{abc}
۱۵	S3T3	۲۲۳۵^{ab}	۵۵۷۵ ^{ab}	۴۷۷^{abc}	۴۱/۸^{abc}
۱۶	S3T4	۱۹۷۰^{b}	۵۰۳۷ ^{abc}	۳۹۸ ^{bedc}	۴۱^{ab}
۱۷	S3T5	۲۰۲۸^{b}	۵۱۵۰^{abc}	۴۱۹ ^{bdc}	۴۰/۵^{bdc}
۱۸	S3T6	۱۸۰۰^{c}	۵۲۳۷ ^{abc}	۲۹۳^{fg}	۳۹/۹^{dc}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

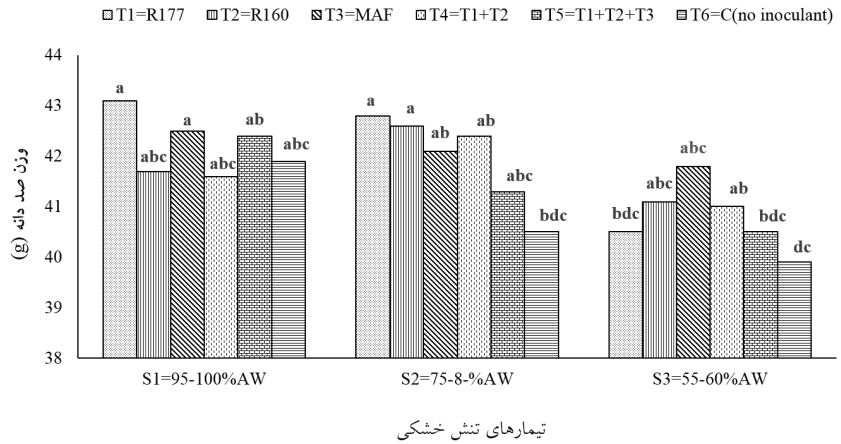
S1=95-100% AW, S2=75-80% AW, S3=55-60% AW, T1=Rhizobium-177, T2= Rhizobium-160, T3=AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi-M48), T4= Rhizobium-177 + Rhizobium-160, T5= Rhizobium-177+ Rhizobium-160+ AMF, T6=Control (no inoculation).

عملکرد زیستی

اثرات اصلی هر دو فاکتور تنش خشکی و کود زیستی در عملکرد زیستی معنی‌دار ولی اثرات متقابل غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقدار عملکرد زیستی در تیمارهای S3T2 و S1T3 به‌ترتیب برابر ۶۰۵۶ و ۴۱۲۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). گرچه گزارش شده بیشترین مقدار عملکرد زیستی با آبیاری مطلوب حاصل می‌شود (۲ و ۴) ولی حصول بیشترین عملکرد زیستی در تیمار تنش خشکی زیاد در این آزمایش، احتمالاً به علت افزایش طول دوره رشد گیاه و جلوگیری از پیری و ریزش زود رس برگ توسط باکتری ریزوبیوم سویه ۱۶۰ است. گزارش شده استفاده از باکتری‌هایی همچون ریزوبیوم در شرایط تنش خشکی، به واسطه جذب بیشتر آب و عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن توسط ریشه‌های گیاه، تا حدودی مانع پیری و ریزش زودرس برگ و کاهش وزن اندام هوایی و عملکرد زیستی می‌شود (۸، ۱۲و ۱۳).

وزن صد دانه

وزن صد دانه از مهم‌ترین اجزای عملکرد بوده و تأثیر به‌سزایی در عملکرد دارد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۲) اثر تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و سال در وزن صد دانه معنی‌دار بود ولی سایر اثرات معنی‌دار نبود. بیشترین وزن صد دانه به مقدار ۴۳/۱ گرم در تیمار مایه‌زنی شده با باکتری ریزوبیوم سویه ۱۷۷ و در شرایط بدون تنش خشکی (S1=۹۵–۱۰۰٪AW) حاصل شد و کمترین مقدار وزن صد دانه



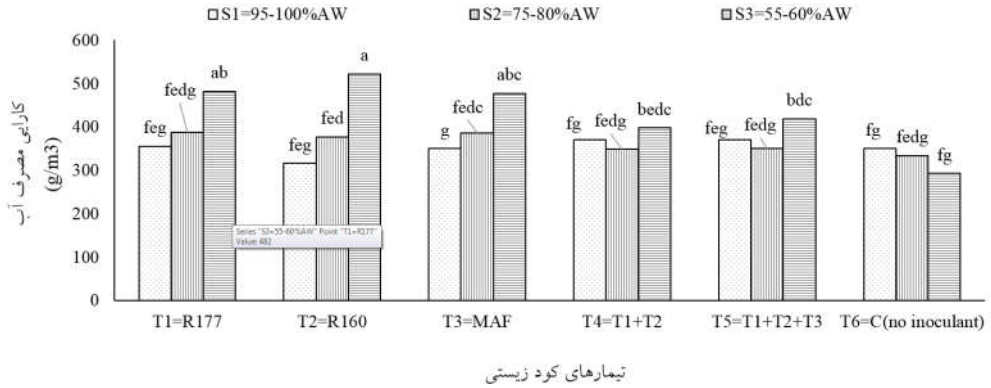
شکل ۲. اثرات متقابل تیمارهای کود زیستی و تنش خشکی بر وزن صد دانه

نیز در تیمار عدم مایه‌زنی با باکتری‌های ریزیوبیوم و قارچ میکوریز (T۶) در شرایط تنش زیاد خشکی (AW=۶۰-۵۵٪) به اندازه ۳۹/۹ گرم بود (جدول ۳). در این آزمایش مشاهده شد که تنش خشکی وزن صد دانه در لوبیا را شدیداً کاهش داد. هرچه شدت تنش خشکی بیشتر بود، وزن صد دانه بیشتر کاهش یافته است (شکل ۲). در واقع در شرایط آبیاری کامل، گیاه با رشد رویشی مناسبی وارد مرحله زایشی می‌شود که این امر موجب حمایت مناسب اندام‌های زایشی، خصوصاً غلاف‌های در حال پر شدن می‌شود و به دنبال آن وزن دانه افزایش می‌یابد. گزارش شده که محدودیت رطوبت در گام‌های گل دهی و غلاف‌دهی موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروک شدن دانه می‌شود. فراهمی رطوبت در گام گل دهی باعث طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه شده و در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری برای اختصاص به دانه‌ها فراهم می‌شود و همین امر موجب افزایش وزن دانه خواهد شد (۲ و ۲۴).

در عین حال، افزایش وزن صد دانه لوبیای مایه‌زنی شده توسط کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (۵)، نتایج این آزمایش نیز نشان داد گرچه مایه‌زنی دانه لوبیا با باکتری‌های ریزبیوم بیشترین تأثیر را در افزایش وزن صد دانه در شرایط بدون تنش (S1) و تنش خشکی متوسط (S2) داشت (جدول ۳)، ولی در شرایط تنش خشکی زیاد (S3) اثر قارچ‌های میکوریز در افزایش وزن صد دانه خیلی بیشتر از باکتری‌های ریزوبیوم بود (شکل ۲). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار ریزجانداران خاکزی هستند که با ریشه گیاهان مختلف از جمله لوبیا رابطه همزیستی ایجاد می‌کنند و تأثیر گسترده‌ای بر رشد آنها دارند. این قارچ‌ها در استقرار اولیه گیاه در شرایط خشکسالی مؤثر هستند. گزارش شده که قارچ‌های میکوریز آربسکولار از طریق افزایش رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی در شرایط تنش کم آبی پایداری گیاه به این شرایط را افزایش می‌دهند (۱۰). در شرایط تنش کم آبی، در اثر افزایش سطح ریشه و طول ریشه‌های میکوریزی، هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی ۲ تا ۳ برابر گیاهان غیر میکوریزی است (۲۳).

کارایی مصرف آب آبیاری

تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۲) نشان داد که اثر سال و تنش خشکی در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش و کود زیستی و اثر متقابل تنش و کود زیستی و سال در سطح پنج درصد در کارایی آب مصرفی معنی‌دار بود. حجم آب مصرفی برابر ۱۵۸۴۳، ۱۲۶۴۰و ۱۱۱۶۱ متر مکعب در طول فصل رشد به‌ترتیب در تیمارهای S1، S2 و S3 بود. بر اساس نتایج آزمایش، بیشترین کارایی مصرف آب در تیمارهای تنش خشکی برابر



شکل ۳. اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی و کودهای زیستی بر کارایی مصرف آب در لوبیا

۴۵۵ گرم دانه در هر متر مکعب آب مصرفی مربوط به تیمار تنش خشکی زیاد (S3) بود. کارایی مصرف آب در تیمارهای تنش خشکی متوسط (S2) و بدون تنش خشکی (S1) به‌ترتیب برابر ۳۵۹ و ۳۰۱ گرم بر متر مکعب به‌دست آمد. همچنین در تیمارهای کود زیستی، بیشترین کارایی آب مصرفی به مقدار ۴۰۵ گرم بر متر مکعب مربوط به تیمار مایه زنی با باکتری ریزوبیوم سویه ۱۶۰ (T2) و کمترین کارایی برابر ۳۴۶ گرم بر متر مکعب متعلق به تیمار عدم مایه زنی (T6) بود. در مجموع بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (جدول ۳)، بیشترین کارایی آب مصرفی به مقدار ۵۲۲ گرم بر متر مکعب در تیمار چهاردم (S3T2) بود که در این تیمار از باکتری ریزوبیوم سویه ۱۶۰ در شرایط تنش خشکی زیاد استفاده شده بود. کمترین مقدار کارایی آب نیز در مجموع دو سال در تیمار سوم (S3T6) برابر ۲۹۳ گرم در متر مکعب آب مصرفی بود در این تیمار از قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری ریزوبیوم در شرایط تنش رطوبتی زیاد استفاده نشده بود (شکل ۳). افزایش کارایی آب در شرایط تنش خشکی زیاد (S3) در برابر تنش‌های خشکی کم (S2)، به دلیل کاهش مصرف آب آبیاری و افزایش عملکرد دانه به‌واسطه استفاده از باکتری‌های ریزوبیوم بود. در مجموع دو سال حجم آب آبیاری در تیمار تنش خشکی زیاد (S3) نسبت به تیمارهای S2 و S1 به‌ترتیب ۱۸ و ۲۸ درصد کمتر بود. کاربرد آب کمتر در شرایطی که کاهش عملکرد دانه نداشته باشیم، منجر به افزایش کارایی آب آبیاری می‌شود. افزایش کارایی آب در صورت استفاده از باکتری‌ها در شرایط تنش خشکی، توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است. گزارش شده که باکتری‌ها در شرایط تنش خشکی، با افزایش مقدار ماده خشک برگ (Leaf dry matter content) و ساکاروز و کاهش تعرق، سبب افزایش کارایی مصرف آب و پایداری گیاه لوبیا به خشکی شده‌اند (۱۳).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد اگر چه تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در لوبیا می شود ولی در صورت استفاده از باکتری‌های ریزوبیوم و یا قارچ میکوریز آربسکولار می‌توان تا حدود زیادی از افت عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در تنش‌های خشکی ملایم و متوسط جلوگیری کرد. نتایج این آزمایش نشان داد در اکثر موارد کاربرد تلفیقی سویه‌های ریزوبیوم R160 و R177 بهتر از کاربرد مجزای آنها است. بیشترین مقدار کارایی آب آبیاری (۵۲۲ گرم دانه در متر مکعب آب) در شرایط تنش خشکی زمانی حاصل شد که از باکتری ریزوبیوم سویه R160 استفاده شد. بر اساس نتایج این آزمایش، می‌توان گفت: استفاده از کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی منجر به صرفه‌جویی ۲۰ درصدی مصرف آب آبیاری بدون کاهش عملکرد در زراعت لوبیا خواهد شد.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ک. ۱۳۹۴. *آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی جلد اول محصولات زراعی*، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری و اطلاعات و ارتباطات، تهران، ایران.

۲. امیری، س. ر.، م. پارسا، م. بنایان اول، م. نصیری محلاتی و ر. دیهیم‌فرد. ۱۳۹۴. اثر سطوح آبیاری و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum L.*) در شرایط آب و هوایی مشهد. *نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران* ۶(۱): ۷۷-۶۶.

۳. علیزاده، ا. ۱۳۹۳. *رابطه آب و خاک و گیاه*، ویرایش چهارم، چاپ چهاردهم، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴. گنجعلی، ع.، س. جوینی‌پور و ه. پرسا. ۱۳۹۰. گزینش برای تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های نخود تیپ کابلی در منطقه نیشابور. *نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران* ۲(۱): ۳۸-۲۷.

۵. ملکوتی، م. ج.، ف. مشیری، م. ن. غیبی و ص. مولوی. ۱۳۸۴. حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در خاک و برخی از محصولات زراعی و باغی، *نشریه فنی شماره ۴۰۶ مؤسسه تحقیقات خاک و آب* ۲۰-۱.

۶. نوریان، م. ج.، ح. ر. ذبیحی و م. اویسی. ۱۳۹۴. ارزیابی کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه ماش در شرایط تنش خشکی. *نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)* ۲۹(۴): ۱۸۶-۱۷۹.

۷. همتی، ا.، س. م. حسینی، ه. اسدی رحمانی، ز. امینی و س. ح. میرطالبی. ۱۳۹۳. گزارش نهایی بررسی کارایی سویه‌های ریزوبیوم در شرایط تنش آبی در لوبیاچیتی. *نشریه شماره۱۸۴۹، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور* ۱۷-۱.

8. Allen, M. F., W. K. Smith, T. S. Moore and M. Christensen. 1981. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal Bouteloua gracilis. *New Phycologist* 88: 683-693.
9. Al Karaki, G. N. and A. Al-Raddad. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza* 7: 83–88.
10. Athar, M. 2002. Drought tolerance by lentil rhizobia from arid and semi-arid areas of Pakistan. *Letters in Applied Microbiology* 26:38-42.
11. 11- Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular–arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3–42.
12. Batt, R. M. and N. K. Srinivasa Rao. 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal of Plant Physiolog* 10: 54-59.
13. Bresson, J., F. Varoquaux, T. Bontpart, B. Touraine and D. Vile. 2013. The PGPR strain Phyllobacterium brassicacearum STM196 induces a reproductive delay and physiological changes that result in improved drought tolerance in Arabidopsis. *New Phytologist* 200: 558–569.
14. Jenkins, M. B., R. A. Virginia and W. M. Jarrel. 1999. Ecology of fast-growing and slow-growing mesquite-nodulating rhizobia in Chihuahua and Sonoran desert ecosystems. *Soil Science Society of American Journal* 53: 543-549.
15. Kishor, K. 1991. Effect of iron and molybdenum nutrients on nodulation, symbiotic N_2 fixation and grain yield of Urd bean. *Journal of Agricultural Research* 6(1):186-193.
16. Ramos, M. L. G., A. J. Gordon, F. R. Minchin, J. I. Sprent and R. Parsons. 1999. Effects of water stress on nodule physiology and biochemistry of a drought tolerant cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Annals of Botany* 83(1): 57-63.
17. Sabaghpour, H., A. A. Mahmoudi, A. Saeed, M. Kamel and R. S. Malthora. 2006. Study on chickpea drought tolerance lines under dry land condition of Iran. *Indian Journal of Crop Sciences* 1: 70-73.
18. Sahrawat, K. L. and B. S. Rao. 1988. Macro and micronutrient uptake by nodulating and non- nodulating peanut liens. *Plant and Soil* 109: 291-293.
19. Serraj, R., T. Sinclair and L. Purcell.1999. Review article. Symbiotic N_2 fixation response to drought. *Journal of Experimental Botany* 50(331): 143-155.
20. Smith, S. E. and D. J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London.
21. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. *Electronic Journal of Biology* 1(3): 44-48.
22. Suarez, R., A. Wong, M. Ramirez, A. Barraza, M. Orozco, M. Cevallos, M. Lara, G. Hernandez and G. Iturriaga. 2008. Improvement of drought tolerance and grain yield in common bean by overexpressing trehalose-6- phosphate

synthase in rhizobia. *Molecular Plant Microbe Interactions* 21: 958-966.
23. Troehza loynachan, T. E. 2003. Endomycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. *Agronomy Journal* 95(1): 224-23.
24. Ullah, A., J. Bakht, M. Shafi and W. A. Islam. 2002. Effect of various irrigations levels on different chickpea varieties. *Asian Journal of Plant Sciences* 3: 355-357.
25. Venkateswarlu, B., M. Maheswari and N. S. Karan. 1999. Effects of water deficits on N_2 (C_2H_2) fixation in cowpea and groundnut. *Plant and Soil* 114: 69-74.
26. Zahran, H. H. 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under sever condition and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 63(4): 968-989.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 4, Winter 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Microbial Inoculation on Water Use Efficiency and Yield of Bean under Drought Stress Conditions

A. Hemati[1*] and H. Asadi Rahmani[2]

(Received: October 16-2018 ; Accepted: January 27-2018)

Abstract

In order to study the effects of rhizobium bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on water use efficiency and the grain yield of bean, under drought stress conditions, two-year year field experiments were conducted during 2015 and 2016 growing seasons. The experimental design was a split plot arranged in an RCBD with 4 replications. Three irrigations including S1= 95-100% AW (Normal irrigation), S2= 75-80% AW(Moderate drought stress) and S3= 55-60% AW (severe drought stress) were assigned to the main plots and six bio fertilizer treatments including T1=177 rhizobium bacteria strain, T2=160 rhizobium bacteria strain used for seed inoculation, T3= mycorrhizal arboscular fungi used for soil inoculation, T4= T1+T2, T5= T1+T2+T3 and T6= control (no seed and soil inoculation) were randomized to the subplots. Based on the combined analysis of variances for two years, there were significant differences (p$\Re$0.05) in the grain yield, yield components and water use efficiency between the irrigation stress and bio fertilizer treatments. The highest grain yield (2371 kg ha^{-1}) and water use efficiency (522 g m^{-3}) were obtained in the S2T2 treatment. In this treatment, 160 and 177 rhizobium bacteria (T2) in moderate drought stress (S2) were used. These results suggested that inoculation with the rhizobium of seed bean in arid and semi-arid areas could improve yield, water use efficiency and resistance to drought stress by increasing the growth in the root and shoot of the plant.

Keywords: Bean, Irrigation, Mycorrhizal, Rhizobium

1. Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran.
2. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*: Corresponding Author, Email: a.hemati@areeo.ac.ir