



تأثیر تنش کم آبی بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه سویا تحت تأثیر تلقیح و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم

علی نخزری مقدم^۱، ناصر صمصامی^۲، علی راحمی کاریزکی^۱، اسماعیل قلی نژاد^۳

۱. استادیار دانشگاه گنبدکاووس

۲. کارشناس ارشد کشاورزی اکولوژیک

۳. دانشیار، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۶

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش کم آبی و تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه سویا، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه هنرستان کشاورزی شهرستان ارومیه به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید کم آبی (به ترتیب آبیاری بعد از ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۹ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، عامل های فرعی قارچ میکوریزا در سه سطح شامل بدون میکوریزا، گونه *Funneliformis mosseae* و گونه *Rhizophagus intraradices* و باکتری ریزوبیوم در دو سطح شامل عدم تلقیح و *Bradyrhizobium japonicum* بود. در این بررسی دمای برگ، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل b، کلروفیل a، پرولین، نشت الکترولیت و عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفتند. تنش بیشتر کم آبی همراه با عدم تلقیح با میکوریزا دمای برگ را افزایش اما محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل b را کاهش داد. افزایش تنش کم آبی همراه با عدم تلقیح با باکتری دمای برگ را افزایش اما کلروفیل b و عملکرد دانه را کاهش داد. تلقیح با باکتری با یا بدون تلقیح با قارچ دمای برگ را کاهش داد. این شرایط برای صفات محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل b و a نیز وجود داشت. تلقیح با باکتری و میکوریزا بخصوص قارچ *F. mosseae* باعث شد حداکثر عملکرد دانه با ۴۴۳/۲ گرم در مترمربع به دست آید. میزان پرولین و درصد نشت الکترولیت در تیمار تنش کم آبی شدید و عدم تلقیح با میکوریزا و باکتری بیشتر از تیمارهای دیگر بود. حداقل میزان پرولین و درصد نشت الکترولیت نیز به تیمار آبیاری مطلوب همراه با تلقیح با باکتری و قارچ *F. mosseae* به دست آمد. در مجموع، تنش کم آبی باعث ایجاد شرایط نامطلوب برای سویا شد که نتیجه آن کاهش عملکرد بود اما تلقیح با باکتری و قارچ باعث کاهش شرایط نامطلوب و رشد بهتر سویا شد.

واژه های کلیدی: پرولین، دمای برگ، کلروفیل، نشت الکترولیت.

مقدمه

بوته ای استوار و نسبتاً پرشاخ و برگ رشد می کند. بذر سویا دارای ۴۰ درصد پروتئین، ۳۵ درصد کربوهیدرات، ۲۰ درصد روغن و ۵ درصد خاکستر است. سویا منبع بزرگ متابولیت های ثانویه است (Zhang et al., 2010). در بین گیاهان روغنی، سویا بیشترین محصول کشت شده در سراسر جهان را دارد و مجموعاً ۶ درصد از زمین های زیر کشت جهان

تنش خشکی یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده عملکرد و تولید محصول در گیاهان است (Loreto and Centritto, 2008). تنش خشکی با تأثیر روی فتوسنتز گیاه و کاهش رنگیزه های فتوسنتزی باعث کاهش عملکرد می گردد (Flowers et al., 2000). سویا با نام علمی *Glycine max* L. گیاهی یک ساله از خانواده Fabaceae است که به صورت

داده است که این باکتری‌ها با مکانیسم‌های مختلف در برابر تنش‌های محدودکننده محیطی از گیاهان محافظت می‌کنند. یکی از این مکانیسم‌ها تغییر در مورفولوژی ریشه است که هورمون‌های گیاهی به‌ویژه IAA نقش مهمی در این فرآیند دارند (Potters et al., 2007). با توجه به اینکه تحقیقی در رابطه با تلقیح توأم قارچ میکوریزا و باکتری و شرایط کم‌آبی روی سویا در منطقه ارومیه انجام نشده است، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کم‌آبی بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه سویا رقم کوثر تحت شرایط تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا آربوسکولار و باکتری ریزوبیوم انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی شهرستان ارومیه اجرا شد. بر اساس آمار هواشناسی، منطقه با داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. برخی ویژگی‌های مهم هواشناسی در جدول ۱ آمده است. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و همچنین برآورد نیاز کودی سویا، از پنج نقطه مختلف مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. بذر مورد استفاده رقم جدید کوثر بود که از مؤسسه نهال و بذر کرج تهیه شد. رقم کوثر از ویژگی‌هایی مانند عملکرد بالا، زودرس بودن، مقاوم به بیماری و تحمل کم‌آبی است که مناسب برای کشت در مناطق غرب و جنوب کشور است. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل آبیاری مطلوب (آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش ملایم کم‌آبی (آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش شدید کم‌آبی (آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، عامل‌های فرعی شامل قارچ میکوریزا در سه سطح شامل بدون میکوریزا، گونه *F. mosseae* و گونه *R. intraradices* و باکتری ریزوبیوم در دو سطح عدم تلقیح و *Bradyrhizobium japonicum* بود.

را دربر می‌گیرد (Sulieman et al., 2015). سویا از نظر مقاومت به خشکی در گروه گیاهان حساس قرار می‌گیرد افزایش عملکرد آن مستلزم انتخاب روش‌های به‌زراعی و به‌نژادی است (Kamrava et al., 2017).

یکی از مهم‌ترین تغییرات ناشی از تنش کم‌آبی، کاهش محتوای آب نسبی برگ است. درواقع، این شاخص توانمندی گیاهان را در تحمل به تنش کم‌آبی نشان می‌دهد. محتوای نسبی آب برگ با افزایش تنش کم‌آبی کاهش معنی‌داری یافت و تلقیح با میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد (Aliasgharzad et al., 2005). تغییرات محتوایی رطوبت برگ و غلظت کلروفیل a و b به‌عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش کم‌آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahmadi and Sio-Semardeh, 2004). به نظر می‌رسد که کاهش غلظت کلروفیل به دلیل اثر کلروفیل‌از، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد (Kalali et al., 2014). شاهکوه محلی و همکاران (Shahkoh Mahali et al., 2016) گزارش کردند که تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد دانه سویا شد. بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر ۸ رقم سویا در منطقه سیستان (گرم و خشک) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل (در هیچ‌یک از مراحل فنولوژیک رشد گیاه، آبیاری قطع نشد) مشاهده گردید (Mehraban et al., 2016).

میکوریزا قادر است تا حدودی اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نماید (Aliasgharzad et al., 2006). بررسی‌ها نشان داده است که همزیستی با میکوریزا از گونه *F. mosseae* مؤثرتر از نوع *R. intraradices* در بهبود محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ گوجه‌فرنگی بود (Aliasgharzad et al., 2005). گیاهان گندم همزیست با قارچ *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* به‌ترتیب ۱/۵۶ و ۱/۵۲ گرم دانه در سنبله تولید کردند درحالی‌که عملکرد دانه سنبله در تیمار عدم تلقیح ۱/۳۶ گرم بود (Habibi et al., 2015).

در همزیستی باکتری برادی ریزوبیوم ژاپونیکم با ریشه سویا، تثبیت نیتروژن برای کشاورزی پایدار اهمیت زیادی دارد و رشد گیاه را در خاک‌های فقیر از نیتروژن و خاک‌های با کارایی پایین کود نیتروژن حفظ می‌کند (Kunert et al., 2016). برهم‌کنش‌های بین گیاهان و باکتری‌های مفید نشان

جدول ۱. مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش، تبخیر و رطوبت نسبی در طی فصل رشد سویا در منطقه مورد مطالعه

Table 1. The mean monthly temperature, precipitation, evaporation and relative humidity during the growing season of soybean in the studied area

پارامترهای هواشناسی	Month ماه					
	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر June	مرداد July	شهریور August
Meteorological parameters						
Maximum temperature (°C)	16	23	29	33.3	34.7	32.5
Minimum temperature (°C)	2.9	8	11	16	17	13
Mean temperature (°C)	9.45	15.5	20	24.65	25.85	22.75
Total Participation (mm)	70.5	16	0.8	0	0.7	0
Total evaporation (mm)	62	160	246	304	281	213
Average humidity (%)	54	54	35	38	36	34

جدول ۲. برخی خواص فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Some physico-chemical properties of soil in the experimental site

عمق Depth	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن Total nitrogen	فسفر phosphorus	پتاسیم potassium
(cm)		(dS.m ⁻¹)				(%)			(mg.kg ⁻¹)	قابل دسترس Available
0-30	Loamy	0.85	7.64	40	35	25	1.15	0.12	5.16	211

و سپس بذرها را درآورده و در سایه به مدت نیم ساعت روی پارچه‌ای تمیز پخش کرده تا خشک شوند و بلافاصله کشت انجام گرفت. تیمارهای آبیاری از مرحله ۲ تا ۴ برگی (استقرار بوته‌ها) به بعد اعمال شد. در مرحله ۳-۴ برگی تنک کردن به‌وسیله دست برای رسیدن به تراکم مدنظر انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز با دست و در طی دو نوبت در طول فصل رشد انجام شد. برداشت هنگامی انجام شد که بوته‌ها کاملاً رسیده و برگ‌ها زرد شده و ریزش کردند. در این مرحله، غلاف‌ها در تماس با انگشتان دست خشک به نظر رسیدند و رطوبت بذر به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرده بود. برای تعیین عملکرد دانه، دو ردیف حاشیه و نیم متر از دو طرف ردیف‌های وسط حذف و بقیه برداشت شد. پس از درو محصول، بوته‌ها به مدت یک هفته به‌وسیله آفتاب خشک شد تا کاملاً رطوبت خود را از دست بدهند. سپس بوته‌ها کوبیده شد و دانه‌ها جدا و وزن شد. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۱ (Wikenzen and Norfolk, 2010) محاسبه شد:

$$RWC = \frac{wf - wd}{ws - wd} \times 100 \quad [1]$$

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم به‌وسیله گاوآهن برگرداندن و تسطیح به‌وسیله روتیواتور بود. در این مرحله بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی، مقدار ۵۰ کیلوگرم اوره به‌عنوان استارت، ۱۴۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۱۲۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار قبل از کاشت در زمین پخش و با خاک مخلوط شد. کاشت به‌صورت جوی و پشته در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۶ بافاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (تراکم ۲۰ بوته در مترمربع) انجام شد. تعداد خطوط کاشت برای هر تیمار ۴ خط به طول ۴ متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۲ متر و برای تیمارهای اصلی ۴ متر بود. قارچ‌های میکوریزا از شرکت تحقیقاتی زیست‌فناوری توران شاهرود تهیه شد و در زیر میکروسکوپ اسپورهای موجود بررسی گردیده و در تیمارهای مربوطه در هر چاله ۱۰ گرم قارچ ریخته شد و سپس روی قارچ با خاک به‌اندازه دو سانتی‌متر پوشش داده شد. بذرها کشت شدند و مجدداً روی بذرها حدود سه سانتی‌متر با خاک پوشانده شد. باکتری مربوط به سویا از شرکت مهر آسیا تهیه شد. جهت تلقیح باکتری، بذرها به مدت ۳۰ ثانیه در داخل مایع تلقیح باکتری که در ظرفی تمیز ریخته و آماده کرده بودیم قرار داده

توسط آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. برای داده‌هایی که از طریق شمارش به‌دست‌آمده بودند با استفاده از نرم‌افزار SPSS تبدیل جذری به عمل آمد و سپس مقایسه میانگین انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.

دمای برگ

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و قارچ نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی همراه با قارچ و بدون آن، دمای داخل برگ افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۴). دمای برگ در تیمار تنش کم‌آبی شدید بدون تلقیح با قارچ میکوریزا ۲۱/۳۶ درجه سانتی‌گراد بود درحالی‌که در تیمار عدم تنش و تلقیح با *R. intraradices* ۱۸/۶ یعنی ۲/۷۶ درجه کمتر بود. این امر بیانگر آن است که باوجودی که تلقیح با قارچ جذب آب را بهتر می‌کند و در نتیجه روزه‌ها بیشتر باز می‌شوند و دمای برگ کاهش می‌یابد اما هیچ‌گاه نمی‌تواند به‌اندازه آبیاری مطلوب مؤثر واقع شود. بالا بودن دمای برگ در شرایط تنش کم‌آبی به این دلیل است که در شرایط تنش کم‌آبی، گیاه برای آن‌که آب کمتری از دست بدهد روزه‌های خود را می‌بندد و به علت تعرق کمتر، به تدریج دمای گیاه بالا می‌رود. درحالی‌که در شرایط بدون تنش کم‌آبی، گیاه هم‌زمان با فتوسنتز، تعرق نیز انجام می‌دهد و باعث پایین آمدن دمای برگ و تولید ماده خشک بیشتر می‌شود (Flexas and Medran, 2008).

طبق جدول ۵، بیشترین و کمترین دمای برگ به ترتیب از تیمار تنش کم‌آبی شدید بدون تلقیح با باکتری و تیمار آبیاری مطلوب همراه با تلقیح با باکتری حاصل شد. تلقیح با باکتری نسبت به عدم تلقیح دمای برگ را در تیمارهای آبیاری مطلوب، کم‌آبی ملایم و کم‌آبی شدید به ترتیب ۰/۷۶، ۱/۲۱ و ۱/۵۱ درجه سانتی‌گراد بهبود بخشید.

بر اساس جدول ۶، بیشترین دمای برگ از تیمار بدون تلقیح با قارچ و باکتری و کمترین دمای برگ از تیمار تلقیح با قارچ *F. mosseae* و باکتری به‌دست آمد. استفاده از میکوریزا و باکتری با بهبود وضعیت آبی گیاه باعث کاهش دمای برگ شد. جهانگیری‌نیا و همکاران (Jahangirinia et al., 2017) گزارش کردند که با اعمال تنش خشکی، دمای

که در آن $RWC =$ محتوای نسبی آب برگ، $Wf =$ وزن برگ، $Wd =$ وزن خشک برگ و $Ws =$ وزن اشباع برگ هستند.

برای اندازه‌گیری میزان پرولین از روش بیت (Bates et al., 1973) استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل *a* و *b* از روش توصیه‌شده توسط آرنون (Arnon, 1975) و دستگاه اسپکتروفتومتر (Zeletex Zx 50 ساخت آلمان) استفاده شد.

$$= \text{میلی گرم کلروفیل } a \text{ در هر گرم برگ} \\ [12.7(A_{663}) - 2.59(A_{645})] \times \frac{V}{1000 \times W} \quad [2]$$

$$= \text{میلی گرم کلروفیل } b \text{ در هر گرم برگ} \\ [22.9(A_{645}) - 4.69(A_{663})] \times \frac{V}{1000 \times W} \quad [3]$$

که در آن $V =$ حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، $A =$ جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و $W =$ وزن تر نمونه برحسب گرم است.

دمای برگ در مزرعه در مرحله رشدی بعد از گلدهی و اعمال کامل تیمارهای آبیاری در ساعات ۱۲ تا ۱۴ با استفاده از دماسنج مادون‌قرمز مدل ۸۸۸۹ ساخت کارخانه AZ تایوان اندازه‌گیری شد (Singh et al., 1985). برای این کار از قسمت پهنک برگ و برگ‌های بالایی استفاده شد. حداکثر دمای محیط ۳۵ درجه سانتی‌گراد در مردادماه بود (جدول ۱). برای سنجش میزان نشت الکترولیت برگ، نمونه‌های برگ تازه برداشته شده سه بار با آب مقطر شسته شد تا الکترولیت‌های چسبیده به سطح برگ از بین بروند. ۰/۱ گرم از برگ برداشته شد و در داخل آب مقطر به مدت یک ساعت قرار داده شد (داخل انکوباتور و دمای ثابت). هدایت الکتریکی آن با هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد (L1). سپس محلول به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم (بن‌ماری) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و هدایت الکتریکی آن مجدداً تعیین شد (L2). نشت الکترولیت برگ از رابطه ۴ محاسبه گردید (Bai et al., 1996):

$$EL = \frac{L_1}{L_2} \times 100 \quad [4]$$

در پایان، پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها، از مدل آماری آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل بر اساس طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver. 9.1 و MATATC انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز

برگ افزایش یافت و استفاده از میکوریزا دمای برگ را کاهش داد.

محتوای نسبی آب برگ، بیشترین محتوای نسبی آب برگ

از تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با قارچ موسه‌آ به دست آمد. کمترین محتوای نسبی آب برگ نیز از تیمار تنش کم آبی شدید و عدم تلقیح با قارچ حاصل شد. در هر سه شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. در شرایط تنش کم آبی شدید، تلقیح با قارچ *F. mosseae* و *R. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح، محتوای نسبی آب برگ را به ترتیب ۳۳ و ۲۳ درصد افزایش داد (جدول ۴). بر اساس جدول ۶، بیشترین محتوای نسبی آب برگ از تیمار تلقیح با *F. mosseae* و باکتری

به دست آمد. کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ از تیمار عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری به دست آمد. در شرایط تنش کم آبی به دلیل کاهش جذب آب و افزایش میزان تبخیر و تعرق از سطح جامعه گیاهی، محتوای رطوبت نسبی برگ کاهش می‌یابد و کاهش رطوبت نسبی برگ باعث کاهش فتوسنتز در گیاهان می‌شود (Farhoudi et al., 2016). تلقیح با *F. mosseae* مؤثرتر از نوع *etunicatum Glomus* در افزایش محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ بود (Aliasgharzad et al., 2005). میکوریزا احتمالاً با تغییر مورفولوژی ریشه و توسعه سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریشه‌های قارچ باعث می‌شود میزان آب بیشتری توسط گیاه جذب شده و روابط آبی گیاه میزبان بهبود یابد (Auge, 2001).

جدول ۳. میانگین مربعات صفات فیزیولوژیک و عملکرد سویا تحت تأثیر تنش کم آبی، همزیستی با گونه‌های میکوریزا و باکتری ریزوبیوم
Table 2. Mean squares of physiological traits and yield of soybean under drought stress, mycorrhiza and bacteria

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	محتوای نسبی		کلروفیل b Chl. b	کلروفیل a Chl. a	پروکلین Proline	نشت الکترولیت Elec. leak.	عملکرد دانه Seed yield
			دمای برگ Leaf tem.	آب برگ Relative Wat. cont.					
Block	بلوک	2	11.41**	10.31 ^{ns}	0.006**	0.02 ^{ns}	11.45 ^{ns}	251.2**	2960 ^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	18.64**	3464**	0.11**	1.45**	18309**	2485**	37254**
Error a	خطای اصلی	4	0.12	5.54	0.00003	0.006	519	14.45	911.4
Mycorrhiza species (M)	میکوریزا	2	1.75**	890.1**	0.055**	0.19**	11445**	83.14**	11724**
Bacteria (B)	باکتری	1	17.83**	798.5**	0.099**	0.64**	14827**	72.56**	66704**
I × M	میکوریزا × آبیاری	4	0.68**	35.86*	0.0012**	0.002 ^{ns}	30.43 ^{ns}	5.66*	199.7 ^{ns}
I × B	باکتری × آبیاری	2	0.69**	29.96 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.009**	6.38 ^{ns}	1.08 ^{ns}	628.5*
B × M	میکوریزا × باکتری	2	0.78**	130.1**	0.002**	0.008*	380.2**	28.38**	1001**
I × M × B	باکتری × میکوریزا × آبیاری	4	0.17 ^{ns}	9.43 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.004 ^{ns}	73.19*	7.90**	301 ^{ns}
Error b	خطای فرعی	30	0.20	12.60	0.0001	0.002	23.92	1.86	177.3
CV (%)	ضریب تغییرات	-	2.30	5.53	2.26	6.30	4.08	3.89	3.55

^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار. * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and ** means non-significant, and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively

tem.=temperature, Wat. cont. = Water content, Chl.a = Chlorophyll a., Chl.b= Chlorophyll b, Ele. lea.= Electrolyte leakag

کلروفیل b

بیشترین محتوای کلروفیل b از تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با *F. mosseae* به دست آمد. کمترین محتوای کلروفیل b از تیمار تنش کم آبی شدید و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا حاصل شد. در هر سه شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ

میکوریزا محتوای کلروفیل b را افزایش داد (جدول ۴). بیشترین محتوای کلروفیل b از تیمار تلقیح با *F. mosseae* و باکتری به دست آمد. کمترین محتوای کلروفیل b هم از تیمار عدم تلقیح با قارچ و باکتری به دست آمد (جدول ۶). در بررسی سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed Sharifi and

۵ درصدی کلروفیل را در مقایسه با عدم تلقیح میکوریزا باعث شد. علت این امر را می‌توان به جذب نیتروژن بیشتر در گیاهان میکوریزایی نسبت داد (Tang et al., 2009).

(Seyed Sharifi, 2017) با افزایش محدودیت آبی، محتوای کلروفیل a و b در مقایسه با آبیاری کامل به‌ترتیب حدود ۳۳/۳ و ۳۸/۷ درصد کاهش داشت و کاربرد میکوریزا افزایش

جدول ۴. مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و قارچ میکوریزا بر صفات فیزیولوژیک گیاه سویا

Table 4. Mean comparisons of interaction of irrigation × mycorrhiza fungi on physiological traits of soybean

تیمار	دمای برگ	محتوای نسبی آب برگ	کلروفیل b
Treatment	Leaf temperature (°C)	Relative water content (%)	Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)
I ₁ M ₁	18.79 ^e	78.52 ^a	0.423 ^a
I ₁ M ₂	18.60 ^e	73.75 ^b	0.378 ^c
I ₁ M ₃	18.83 ^{de}	69.00 ^c	0.310 ^e
I ₂ M ₁	19.32 ^d	77.83 ^{ab}	0.388 ^b
I ₂ M ₂	19.95 ^c	69.50 ^c	0.346 ^d
I ₂ M ₃	19.91 ^c	63.83 ^d	0.260 ^f
I ₃ M ₁	20.13 ^c	57.00 ^e	0.245 ^g
I ₃ M ₂	20.83 ^b	49.33 ^f	0.243 ^g
I ₃ M ₃	21.36 ^a	38.33 ^g	0.165 ^h
LSD _{5%}	0.52	4.18	0.0081

I₁= آبیاری مطلوب، I₂= تنش ملایم، I₃= تنش شدید؛ M₁= فالانلی فرمیس موسه‌آ، M₂= رازیروفاگوس اینترارادیسز، M₃= بدون میکوریزا (شاهد)

بر اساس آزمون LSD اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

I₁= Optimum irrigation, I₂= Moderate drought stress, I₃= Severe drought stress; M₁= *F. mosseae*, M₂= *R. intraradices*, M₃= without mycorrhiza

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و باکتری بر صفات فیزیولوژیک سویا

Table 4. Mean comparisons of interaction of irrigation × bacteria on physiological traits of soybean

تیمار	دمای برگ (°C)	کلروفیل a	عملکرد دانه
Treatment	Leaf temperature (°C)	(میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) Chlorophyll a (mg g ⁻¹ FW)	(گرم بر مترمربع) Seed yield (g m ⁻²)
I ₁ ×B ₁	18.37 ^d	1.04 ^a	446.78 ^a
I ₁ ×B ₂	19.10 ^c	0.80 ^c	372.44 ^c
I ₂ ×B ₁	19.12 ^c	0.95 ^b	431.11 ^b
I ₂ ×B ₂	20.33 ^b	0.70 ^d	351.55 ^d
I ₃ ×B ₁	20.02 ^b	0.47 ^e	351.77 ^d
I ₃ ×B ₂	21.53 ^a	0.30 ^f	294.79 ^e
LSD _{5%}	0.43	0.043	12.80

I₁= آبیاری مطلوب، I₂= تنش ملایم کم‌آبی، I₃= تنش شدید کم‌آبی، B₁= تلقیح با باکتری، B₂= عدم تلقیح با باکتری

بر اساس آزمون LSD اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

I₁= Optimum irrigation, I₂= Moderate drought stress, I₃= Severe drought stress; B₁= Inoculation with bacteria, B₂= Non-inoculation with bacteria,

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test

تیمار تنش کم‌آبی شدید بدون تلقیح با باکتری حاصل شد. در هر سه شرایط آبیاری، تلقیح با باکتری محتوای کلروفیل a را افزایش داد (جدول ۵). بر اساس جدول ۶، بیشترین

کلروفیل a

بیشترین محتوای کلروفیل a از تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با باکتری به‌دست آمد. کمترین محتوای کلروفیل a نیز از

در واقع گلو تامات که پیش ساز کلروفیل نیز می باشد از دسترس خارج و سنتز کلروفیل دچار نقصان می شود. تشدید فعالیت کلروفیل از به هنگام تنش های اسمزی از جمله خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل سلول گیاهی می شود. کلروفیل a حساس تر از کلروفیل b است و بیشتر تحت تأثیر قرار می گیرد (Kamrava et al., 2017). جباری و همکاران (Jabbari et al., 2015) کاهش کلروفیل a در اثر تنش کم آبی را در گیاه کلزا گزارش کردند.

محتوای کلروفیل a از تیمار تلقیح با *F. mosseae* و باکتری به دست آمد. کمترین محتوای کلروفیل a هم از تیمار عدم تلقیح با قارچ و باکتری به دست آمد. کلالی و همکاران (Kalali et al., 2014) معتقدند که کاهش غلظت کلروفیل به دلیل اثر کلروفیل از، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد. کاهش غلظت کلروفیل a به هنگام تنش کمبود آب می تواند به دلیل تحریک آنزیم بیوسنتز پرولین یعنی گلو تامین کیناز در تغییرات میزان نسبی آب پایین باشد. با افزایش تبدیل گلو تامات به پرولین به هنگام تنش خشکی،

جدول ۶. مقایسه میانگین برهم کنش میکوریزا و باکتری بر صفات فیزیولوژیک سویا
Table 6. Mean comparisons of interaction of mycorrhiza × bacteria on physiological traits of soybean

تیمار Treatment	دمای برگ Leaf temperature (°C)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g ⁻¹ FW)	عملکرد دانه Seed yield (g m ⁻²)
M ₁ ×B ₁	18.96 ^c	73.57 ^a	0.383 ^a	0.89 ^a	443.23 ^a
M ₁ ×B ₂	19.86 ^b	68.66 ^b	0.321 ^c	0.70 ^c	355.80 ^d
M ₂ ×B ₁	19.33 ^c	66.33 ^{bc}	0.368 ^b	0.84 ^b	407.77 ^b
M ₂ ×B ₂	20.25 ^b	62.05 ^d	0.276 ^c	0.63 ^d	344.58 ^d
M ₃ ×B ₁	19.22 ^c	64.00 ^{cd}	0.296 ^d	0.72 ^c	378.66 ^c
M ₃ ×B ₂	20.85 ^a	50.11 ^e	0.193 ^f	0.46 ^e	318.40 ^e
LSD _{5%}	0.43	3.41	0.006	0.043	12.80

M₁= *R. intraradices*، M₂= *R. irizogonos* / *intraradices*، M₃= بدون میکوریزا (شاهد)؛ B₁= تلقیح با باکتری، B₂= عدم تلقیح با باکتری.

بر اساس آزمون LSD اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

M₁= *R. intraradices*, M₂= *F. mosseae*, M₃= without mycorrhiza; B₁= Inoculation with bacteria, B₂= Non-inoculation
Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test.

Abdelmoneim et al., 2017). عبدالمنعم و همکاران (2017) نشان دادند که کاهش مصرف آب به یک سوم ظرفیت زراعی در ذرت در شرایط آزمایشگاه باعث افزایش میزان پرولین به میزان ۲۹/۱۹ درصد شد. تلقیح بذر با قارچ میکوریزا میزان پرولین را کاهش داد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. کامروا و همکاران (Kamrava et al., 2017) نیز نشان دادند که اعمال تنش کم آبی شدید در مرحله گلدهی و همچنین مراحل گلدهی و غلافدهی سویا نسبت به آبیاری معمولی میزان پرولین را ۳/۳۷۵ برابر افزایش داد.

نشت الکترولیت

با افزایش تنش کم آبی، نشت الکترولیت افزایش معنی داری پیدا کرد. حداکثر نشت الکترولیت از تیمار عدم تلقیح با قارچ و باکتری در تنش کم آبی شدید به دست آمد. حداقل نشت الکترولیت از تیمار تلقیح با قارچ *F. mosseae* و باکتری در شرایط آبیاری مطلوب حاصل گردید (جدول ۷). تنش کم آبی

پرولین

با بررسی جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه مشاهده گردید که با افزایش تنش کم آبی با حضور و یا عدم حضور قارچ و باکتری مقدار پرولین افزایش معنی داری پیدا کرد. بیشترین مقدار پرولین از تیمار بدون میکوریزا و بدون باکتری در شرایط تنش کم آبی شدید به دست آمد. کمترین مقدار پرولین از تیمار تلقیح با قارچ *F. mosseae* و باکتری در شرایط آبیاری مطلوب حاصل گردید (جدول ۷). *F. mosseae* در کاهش اثر خشکی موفق تر از *R. intraradices* بود.

در شرایط آبیاری مطلوب، تنش کم آبی ملایم و شدید، تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح با باکتری، مقدار پرولین را به ترتیب ۲۹، ۲۷ و ۲۰ درصد کاهش داد. محدودیت آبی محتوای پرولین را افزایش داد و کاربرد میکوریزا این صفت را تحت شرایط محدودیت آبی همانند آبیاری نرمال بهبود بخشید (Seyed Sharifi and Seyed Sharifi).

داد. در شرایط تنش خشکی ملایم، استفاده از قارچ *F. mosseae* و *R. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح، نشأت الکترولیت را به ترتیب ۱۴ و ۸ درصد کاهش داد. در شرایط تنش خشکی شدید، استفاده از قارچ *F. mosseae* و *R. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح، نشأت الکترولیت را به ترتیب ۱۲ و ۵ درصد کاهش داد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح، نشأت الکترولیت را به ترتیب ۱۲، ۵ و ۵ درصد کاهش داد. به نظر می‌رسد همزیستی باکتریایی سبب کاهش آسیب‌های اکسیداتیو شده و نشأت الکترولیت را در سویا کاهش داد (Bahari Saravi et al., 2018). فرهودی و همکاران (Farhoudi et al., 2016) تخریب غشاهای سلولی در شرایط تنش کم‌آبی سویا را گزارش نمودند و یکی از دلایل کاهش رشد و فتوسنتز سویا را افزایش نشأت الکترولیت گزارش کرده‌اند.

شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، نشأت الکترولیت را ۵۱ و ۳۵ درصد افزایش داد. از آنجایی که غشای پلاسمایی از اولین بخش‌های گیاهی است که تحت تنش خشکی آسیب می‌بیند (Liang et al., 2003). در شرایط تنش خشکی، تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن نظیر سوپر اکسید، هیدروژن پراکسید و رادیکال‌های اکسیژن افزایش می‌یابد و به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زنند. با تغییر ساختمان غشا، در اثر پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها تراوایی غشای سلولی را افزایش می‌دهند که منجر به نشأت الکترولیت‌های موجود از داخل سلول به بیرون سلول می‌شود (Foyer et al., 1994). در هر سه شرایط آبیاری، تلقیح با قارچ و باکتری در مقایسه با عدم تلقیح با قارچ و باکتری باعث کاهش نشأت الکترولیت شد. در شرایط آبیاری مطلوب، استفاده از قارچ *F. mosseae* و اینترادیسز در مقایسه با عدم تلقیح، نشأت الکترولیت را به ترتیب ۹ و ۷ درصد کاهش

جدول ۷. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × میکوریزا × باکتری بر پرولین و نشأت الکترولیت

Table 6. Mean comparisons of interaction of irrigation × mycorrhiza × bacteria on proline and electrolyte leakage

تیمار Treatment	پرولین Proline (mmol kg ⁻¹ DW)			نشأت الکترولیت Electrolyte leakage (%)		
	آبیاری مطلوب Optimum irrigation	کم‌آبی ملایم Moderate drought stress	کم‌آبی شدید Severe drought stress	آبیاری مطلوب Optimum irrigation	کم‌آبی ملایم Moderate drought stress	کم‌آبی شدید Severe drought stress
M ₁ ×B ₁	61.47 ^k	73.00 ^j	117.60 ^f	20.80 ^k	33.60 ^{fg}	45.03 ^c
M ₁ ×B ₂	93.82 ^h	114.86 ^f	164.96 ^b	23.66 ^{ij}	32.36 ^g	42.36 ^d
M ₂ ×B ₁	70.22 ^j	83.40 ⁱ	131.00 ^e	21.70 ^{jk}	34.03 ^{e-g}	45.16 ^c
M ₂ ×B ₂	92.62 ^h	104.20 ^g	156.33 ^c	24.10 ^{hi}	36.03 ^e	48.73 ^b
M ₃ ×B ₁	106.49 ^g	118.00 ^f	168.23 ^b	22.86 ^{i-k}	35.66 ^{ef}	46.30 ^c
M ₃ ×B ₂	147.03 ^d	156.66 ^g	197.16 ^a	25.96 ^h	40.33 ^d	52.46 ^a
LSD _{5%}		8.14			2.27	

M₁= فالنلی فرمیس موسه، M₂= رازیوفالگوس اینترادیسز، M₃= بدون میکوریزا (شاهد)؛ B₁= تلقیح با باکتری، B₂= عدم تلقیح با باکتری.

بر اساس آزمون LSD اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

M₁= *F. mosseae*, M₂= *R. intraradices*, M₃= Without mycorrhiza; B₁= Inoculation with bacteria, B₂= Non-inoculation with bacteria.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test.

عملکرد دانه

تیمار عدم تلقیح با قارچ و باکتری به دست آمد. تلقیح با قارچ *F. mosseae* و *R. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح میکوریزا، عملکرد دانه را به ترتیب ۱۳ و ۸ درصد افزایش داد. شرایط آبیاری کامل، سبب افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده می‌شود و بر سرعت پر شدن دانه، وزن دانه و عملکرد نهایی تأثیر مثبت دارد. قارچ‌های میکوریزا قادر هستند آثار

در شرایط آبیاری مطلوب، تنش کم‌آبی ملایم و شدید، تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح، عملکرد دانه را به ترتیب ۱۷، ۱۹ و ۱۷ درصد افزایش داد (جدول ۵). بر اساس جدول ۶، بیشترین عملکرد دانه از تیمار تلقیح با قارچ *F. mosseae* باکتری به دست آمد. کمترین عملکرد دانه هم از

نتیجه گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد تنش کم آبی عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک مانند محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل گیاه سویا رقم کوثر را به طور معنی داری کاهش داد در حالی که موجب افزایش دمای داخلی برگ، پرولین و نشت الکترولیت گردید. تلقیح با قارچ میکوریزا بهویژه *F. mosseae* و تلقیح با باکتری ریزوبیوم باعث افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی شده و محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل گیاه سویا رقم کوثر را افزایش داد. همچنین، در هر سه شرایط آبیاری، دمای داخلی برگ، پرولین و نشت الکترولیت و عملکرد دانه کاهش یافت. با توجه به نتایج این پژوهش، تلقیح میکوریزایی و باکتری جهت کاهش اثرات تنش کم آبی و بهبود عملکرد گیاه سویا رقم کوثر مناسب به نظر می رسد.

نامطلوب تنش خشکی را به دلیل بهبود توسعه سیستم ریشه ای در گیاهان کاهش دهند (Seyed Sharifi and Namvar, 2015). از مهم ترین اثرات مطلوب تلقیح میکوریزا می توان به جذب مستقیم آب توسط هیف های قارچ در خاک و انتقال آن به گیاه میزبان (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008) اشاره کرد. نواب پور و همکاران (Navabpour et al., 2017) کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی را در ارقام سویا گزارش کردند. در بررسی جباری و همکاران (Jabbari et al., 2015) نیز تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه کلزا گردید.

منابع

- Abdelmoneim, T.S., Tarek, A.A.M., Almaghrabi, O.A., Alzahrani, H.S., Abdelbagi, I., 2014. Increasing plant tolerance to drought stress by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. Life Science Journal. 11(1), 10-17.
- Ahmadi, A., Sio-Semardeh, A., 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 35, 753-763. [In Persian with English summary].
- Aliasgharzad, N., Barin, M., Samadi, A., 2005. Effects of NaCl-induced and mixture salinities on leaf proline and growth of tomato in symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi, pp. 203-207. In: Proceeding of the International Conference on Environmental Management. 28-30 October 2005, Hyderabad, India.
- Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M. R., Salimi, G., 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. Biologia Bratislava. 19, 324-328.
- Arnon, D.I., 1975. Copper enzymes increased isolated chloroplast polyphenoxidase increased *Beta vulgaris* L. Plant Physiology. 45, 1-15.
- Auge, R. M., 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza. 11, 3-42.
- Bahari Saravi, S.H., Pirdashti, H., Yaghoobian, Y., 2018. Response of parameters of chlorophyll fluorescence and physiological of Basil plant to application of growth enhancing bacteria under salt stress. Process and Plant Function, 6(19), 89-104.
- Bai, B.Z., Yu, S.Q., Tian, W.X., Zhao, J.Y., 1996. Plant physiology. China Agricultural Science Press. Beijing. China.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39(1), 205-207.
- Farhoudi, R., Modhej, A., Khoshnaz, P., 2016. Effect of drought stress at the end of the season on photosynthesis, grain yield and seed vigor of five soybean cultivars. Quarterly Journal of physiology of Crops. 6(24), 41-55. [In Persian with English summary].
- Flexas, J., Medran, H., 2008. Drought-inhibition of photosynthesis in C3-plants: stomatal and nonstomatal limitation revisited. Annual Botany. 183, 183-189.
- Flowers, T.J., Troke, P.F., Yeo, A.R., 2000. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annual Journal of Plant Physiology. 28, 89-121.
- Foyer, C.H., Leadis, M., Kunert, K.J., 1994. Photo oxidative stress in plants. Plant Physiology. 92, 696-717.
- Habibi, S., Meskarbashee, M., Farzaneh, M., 2015. Effect of mycorrhizal fungus (*Glomus*

- spp) on wheat (*Triticum aestivum*) yield and yield components with regard to irrigation water quality. Iranian Journal of Field Crops Research. 13(3), 471-484. [In Persian with English summary].
- Jabbari, H., Akbari, G.A., Khosh Kholgh Sima, N. A., Shiranirad, A. H., Alahdadi, I. Tajodini, F., 2015. Study of agronomical, physiological and qualitative characteristics of canola (*Brassica napus*) under water stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 8(1), 35-49. [In Persian with English Summary].
- Jahangirinia, E., Syadat, A., Koochakzadeh, A., Sayyahfar, M., Moradi Telavat, M.R., 2017. The effect of vermicompost and mycorrhizal inoculation on grain yield and some physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress condition. Journal of Agroecology. 8(4), 583-597. [In Persian with English Summary].
- Kalali, T., Lahoti, M., Mahmoudzadeh, H., 2014. Effect of salicylic acid on morphological and physiological traits of soybean under drought stress conditions. Quarterly Journal of Plant Physiology. 7(25), 75-88. [In Persian with English summary].
- Kamrava, S., Babaeian Jolodar, N., Bagheri, N., 2017. Evaluation of drought stress on chlorophyll and proline traits in soybean genotypes. Journal of Crop Breeding. 9(23), 95-104. [In Persian with English summary].
- Khalafallah, A.A., Abo-Ghalia, H.H., 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 Science Research. 4, 559-569.
- Kunert, K.J., Vorster, B.J., Fenta, B.A., Kibido, T., Dionisio, G., Foyer, C.H., 2016. Drought stress responses in soybean roots and nodules. Frontiers in Plant Science. 7(1015), 1-7.
- Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., Ding, R., 2003. Exogenous silicone (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Plant Physiology. 160, 1157-1164.
- Loreto, F., Centritto, M., 2008. Leaf carbon assimilation in a water-limited world. Plant Biosystems. 142, 154-161.
- Mehraban, A., Azizian Sharmeh, O., Kamali Deljoo, A., 2016. Investigation of stress on yield and quality of eight soybean cultivars in Sistan region. Journal of Plant Environmental Physiology. 11(43), 99-90. [In Persian with English summary].
- Navabpour, S., Hezarjaribi, E., Mazandarani, A., 2017. Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10(4), 491-503. [In Persian with English sSummary].
- Potters, G., Pasternak, T.P., Guisez, Y., Palme, K.J., Jansen, M.A.K., 2007. Stress induced morphogenic responses: growing out of trouble? Trends in Plant Science. 12, 98-105.
- Seyed Sharifi, R., Namvar, A., 2015. Biodiversity in agriculture. University of Mohaghegh Ardebil University Press. P. 282.
- Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R., 2017. The effect of mycorrhiza and foliar nano (Fe and Zn) oxide spraying on yield, oil percentage and some biochemical traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water limitation condition. Crops Improvement. 19(3), 733-749. [In Persian with English summary].
- Shahkoh Mahali, A., Masoumi, A., Raeisi, S., Mostafavi, A., Pashayee, Kh., 2016. Evaluation of drought stress on plant yield and some traits in soybean cultivars. Iranian Journal of Oilseed Researches. 5(1), 27-40. [In Persian with English summary].
- Singh, D. P., Singh, P., Kumar, A., Sharma, H. C., 1985. Transpiration cooling as a screening technique for drought tolerance in oilseed Brassica. Annual Botany. 56, 815-820.
- Suliman, S., Van Ha, C., Nasr Esfahani, M., Watanabe, Y., Nishiyama, R., Pham, C.T.B., Van Nguyen, D., Tran. L.S., P.2015. DT2008: A promising new genetic resource for improved drought tolerance in soybean when solely dependent on symbiotic N₂ fixation. Biomed Research International. Article 687213. 7p.
- Tang, M., Chen, H., Huang, J.C., Tian, Z.Q., 2009. Arbuscular mycorrhiza fungi effects on the growth and physiology of (*Zea mays* L.) seedlings under diesel stress. Soil Biology Biochemistry. 41, 936-940.
- Zhang, B., Chen, P., Florez-Palacios, S.L., Shi, A., Hou, A., Ishibashi, T., 2010. Seed quality attributes of food-grade soybeans from the US and Asia. Euphytica. 173, 387-396.

Original article

Effect of irrigation on physiological traits and seed yield of soybean under inoculation with mycorrhiza fungi and rhizobium bacteria

A. Nakhzari Moghaddam^{1*}, N. Samsami², A. Rahemi Karizaki¹, E. Gholinezhad³

1. Assistant Professors of Gonbad Kavous University, Iran

2. M.Sc. Student of Agroecology, Iran

3. Associate Professor, Department of Agricultural Science, Payam e Noor University, Tehran, Iran

Received 17 December 2018; Accepted 16 January 2019

Abstract

In order to investigate the effects of irrigation regimes and inoculation with mycorrhiza fungi and rhizobium bacteria on physiological traits and seed yield of soybean, an experiment was conducted as a factorial split plot design based on a randomized complete block design with three replications at research farm of agricultural highschool of Urmia during 2017. The main factor was three irrigation levels such as optimum, moderate and severe drought stress (irrigation after 70, 110 and 150 mm evaporation from class A evaporation pan), subplots was inoculation with mycorrhiza fungi including without mycorrhiza, and inoculation with *F. mosseae* and *R. intraradices* and rhizobium bacteria inoculation in two levels of non inoculation and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*. The results showed that by increasing drought stress with or without inoculation with mycorrhiza increased leaf temperature but decreased relative water content and Chlorophyll b were decreased. By increasing drought stress with or without inoculation with bacteria was increased leaf temperature but decreased Chlorophyll b and seed yield. Inoculation with bacteria decreased leaf temperature with or without inoculation with mycorrhiza. Similar results was obtained about leaf relative water content, Chlorophyll b and a, but seed yield was increased by inoculation with bacteria with or without inoculation with mycorrhiza. On the other hand, by inoculation with bacteria and mycorrhiza especially *F. mosseae*, maximum seed yield was obtained. Proline and electrolyte leakage in treatment of severe drought stress and non inoculation with mycorrhiza and bacteria was greater than other treatments. Minimum proline and electrolyte leakage observed in treatment of optimum irrigation and inoculation with bacteria and mycorrhiza *F. mosseae*. In addition, water stress caused unsuitable conditions for soybean that led to loses of seed yield but inoculation with bacteria and mycorrhiza reduced unsuitable conditions and soybean growth was improved.

Keywords: Chlorophyll, Electrolyte leakage, Leaf temperature, Proline.

*Correspondent author: Ali Nakhzari Moghaddam; E-Mail: a_nakhzari@yahoo.com