نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد دوازدهم، شماره ۱(۴۵)، بهار ۱۳۹۷، صفحه ۷۴ـ۵۷

اثر گونه‌های میکوریزا بر صفات کمی و کیفی سویا (*Glycine max* L.) با اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار

نادیا درستکار[۱] و علیرضا پیرزاد[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی همزیستی میکوریزایی گیاه سویا رقم ویلیامز، تحت سیستم‌های مختلف آبیاری آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه طی سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سیستم‌های آبیاری (قطره‌ای و بارانی) به‌عنوان فاکتور اصلی و گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا (بدون تلقیح، *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus intraradices* و *Simiglomus hoi*) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته، وزن غلاف، عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد گره در ساقه اصلی، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت روغن، درصد و عملکرد روغن در آبیاری قطره‌ای، و بالاترین مقادیر LWR (نسبت وزن برگ به وزن کل گیاه) و SPAD (شاخص کلروفیل) در سیستم بارانی به دست آمدند. اثرات متقابل معنی‌دار نشان‌دهنده پاسخ متفاوت گیاه به گونه‌های قارچی در سیستم‌های آبیاری می‌باشد. رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل) و کارتنوئید برگ سویا در شرایط همزیستی با هر سه گونه قارچی در آبیاری بارانی وضعیت مطلوب‌تری داشتند. بیشترین مقدار فسفر برگ در گیاهان آبیاری شده با سیستم بارانی و همزیست با *F. mosseae* مشاهده شد. گیاهان میکوریزایی در هر سه گونه قارچ به یک اندازه پروتئین برگ را افزایش دادند، در حالی که مقدار پتاسیم برگ در گیاهان میکوریزایی تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت. با وجود بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه با گونه *R. intraradices* در آبیاری بارانی، هر سه گونه قارچ در سیستم‌های قطره‌ای و بارانی کلونیزاسیون بالاتری نسبت به شاهد داشتند. نسبت ترکیبات اسیدهای چرب روغن سویا (اسیدهای چرب غیراشباع حدود چهار برابر اسیدهای چرب اشباع بودند) در هر دو سیستم آبیاری برای گیاهان میکوریزایی مشابه شاهد بودند. بدون توجه به وجود پاسخ متفاوت سویا به گونه‌های میکوریزا، عملکردهای بیولوژیک، دانه و روغن در سیستم آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب ۲۳، ۵۳ و ۸۴ درصد بیشتر از آبیاری بارانی به‌دست آمدند.

واژگان کلیدی: آبیاری قطره‌ای، اسید چرب، کلروفیل، فسفر، میکوریزا.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران * نگارنده‌ی مسئول a.pirzad@urmia.ac.ir

مقدمه

سویا (*Glycine max* L.) با حدود ۲۰ درصد روغن و ۴۰ درصد پروتئین، همراه با عملکرد بالا دارای اهمیت زیادی در بین گیاهان زراعی است (Seyedsharifi, 2009). معمول‌ترین روش حفظ رطوبت خاک در یک وضعیت مطلوب و به حداقل رساندن تنش رطوبتی وارد شده به گیاه زراعی در طول فصل رشد، آبیاری است (Kumudini *et al*., 2002). با توجه به اینکه ایران در منطقه خشک و نیمه خشک (با بیشترین زمان بدون بارندگی) واقع شده و آبیاری گیاهان زراعی نقش مهم‌تری در جبران خسارت تنش کمبود آب دارد. بنابراین، طراحی روش‌های آبیاری مزارع با این هدف صورت می‌گیرد که آب مورد نیاز کشت را با حداقل هدر رفت آب تأمین نمایند (Shahinrokhsar and Esmaeil-Asadi, 2014). آبیاری قطره‌ای- نواری (Drip) با توجه به راندمان و یکنواختی توزیع بالاتر، می‌تواند گزینه مناسبی برای آبیاری گیاهان زراعی باشد. سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای- نواری علاوه بر تفاوت در راندمان و تلفات، دو فرآیند مختلف جریان‌های اشباع و غیراشباع را در بستر خاک ایجاد نموده و با تأثیر گذاشتن بر تهویه خاک و سهولت دسترسی گیاه به آب، موجب بهبود بهره‌وری آب می‌شوند (Mousavi and Akhavan, 2007). در ذرت بیشترین عملکرد دانه با آبیاری قطره‌ای- نواری به‌دست آمد. دلیل افزایش عملکرد در آبیاری قطره‌ای توزیع یکنواخت آب می‌باشد (Afzali Gorouh *et al*., 2012). مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه در روش آبیاری بارانی طولانی‌تر و با تأخیر نسبت به آبیاری قطره‌ای می‌باشد. لذا، گیاه در آبیاری قطره‌ای سریع‌تر وارد مرحله رشد رویشی می‌شود. همچنین، کلیه زمان‌های ورود به هر مرحله رشد در گیاهان آبیاری شده به روش قطره‌ای زودتر از گیاهان آبیاری شده به روش بارانی انجام گرفت (Molaei *et al*., 2015). در روش آبیاری بارانی به دلیل تأخیر در سپری نمودن مراحل فیزیولوژیک، گیاه شاداب می‌باشد. همچنین، فصل رشد گیاه در روش آبیاری بارانی طولانی‌تر است (Cavero *et al*., 2008). البته خاکدانه‌های واقع در سطح خاک در اثر برخورد قطرات آب به سطح خاک، مرطوب شده و می‌شکنند و یک لایه گل مرکب از ذرات پراکنده به ضخامت چند میلی‌متر به‌وجود می‌آورند و این شرایط، تأخیر در سبز شدن بذر و همچنین رشد رویشی را به دنبال دارد (Lehrsch and Kincaid, 2010). نتایج مطالعات قدمی‌فیروزآبادی و میرزایی (Ghadami Firouzabadi and Mirzaei, 2006) نشان داد که آبیاری قطره‌ای با ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به آبیاری نشتی موجب کاهش ۴۷ درصدی در آب مصرفی و نیز افزایش ۷۲ درصدی کارآیی مصرف آب در محصول چغندرقند می‌شود. همچنین راندمان استفاده از آب و کود در سیستم قطره‌ای بیشتر از آبیاری نشتی است (Cassel *et al*., 2001).

میکوریزا اغلب در زمان بروز کم آبی و یا حد تعادل آب در انتقال عناصر غذایی، به گیاه کمک می‌کند و افزایش جذب عناصر غذایی بیشتر به دلیل انتشار میسلیوم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به‌صورت مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه، می‌باشد که بهره‌گیری از حجم بیشتری از خاک که ریشه‌های تغذیه کننده به آن دسترسی ندارند را ممکن می‌سازد (Smith and Read, 2008; Suri *et al*., 2011). افزایش جذب فسفر مهم‌ترین ویژگی سودمند میکوریزا در ارتباط

همزیستی با سویا می‌باشد (Djebali *et al*., 2010; Gianinazzi *et al*., 2010; Schroeder and Janos, 2005). هیف‌های توسعه یافته قارچ‌های میکوریزا با رشد در منافذ خاک که تارهای کشنده قادر به نفوذ در آنها نیستند، دسترسی گیاه به عناصر غیرمتحرک مانند فسفر را افزایش می‌دهند (Grant *et al*., 2002). میکوریزا ساختمان خاک را به‌وسیله پوشاندن ماده گلیکوپروتئینی لزجی به نام گیلومالین که یک نقش کلیدی در تشکیل خاکدانه‌ها و ایجاد حفرات بزرگ برای رشد بهتر هیف‌ها دارد، بهبود می‌بخشد. این حفرات اجازه می‌دهند که نفوذ آب و هوا به راحتی صورت گیرد و همچنین به جلوگیری از فرسایش خاک کمک می‌کنند (Piotrowski *et al*., 2004). مطالعات نشان دادند که به‌کارگیری قارچ میکوریزا از جمله *F. mosseae* در سورگوم دانه‌ای باعث افزایش ارتفاع بوته و ذخایر کربوهیدراتی می‌گردد (Hamzei and Sadeghi Meabadi, 2013). حبیب‌زاده و همکاران (Habibzadeh *et al*., 2012) بیان نمودند که قارچ‌های میکوریزایی به علت جذب بیشتر آب و عناصر غذایی معدنی عملکرد محصول را افزایش می‌دهند.

با توجه به اینکه کارآیی گونه‌های مختلف میکوریزا در سیستم‌های آبیاری در سویا مورد بررسی قرار نگرفته است، بنابراین بررسی همزیستی ریشه با سه گونه قارچ میکوریزا در دو سیستم آبیاری بارانی و قطره‌ای- نواری، و تأثیر آن بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی، و عملکرد (کمی و کیفی) سویا در مقایسه با گیاهان شاهد از اهداف این تحقیق می‌باشند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه به مختصات ۴۵/۰۸ درجه شرقی، ۳۷/۵۳ درجه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر بالاتر از سطح دریا طی سال ۱۳۹۴ انجام شد. محل اجرای آزمایش از نظر شرایط اقلیمی با استفاده از روش جغرافیایی دومارتن مشخص گردید. بر اساس این روش ارومیه دارای اقلیم نیمه خشک، شاخص خشکی ۱۶/۱، میانگین دمای سالیانه ۱۱/۲ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالیانه ۳۴۱ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس آمار هواشناسی، منطقه با داشتن ۱۸۰-۱۵۰ روز خشک، جزو مناطق آب و هوایی گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک و نیمه خشک محسوب می‌گردد. مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است. در این آزمایش اثر دو روش آبیاری شامل (قطره‌ای و بارانی) و تلقیح با سه گونه قارچ میکوریزا *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus intraradices* و *Simiglomus hoi* در مقایسه با شاهد) به‌صورت کرت‌های خرد شده و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی رقم ویلیامز سویا بررسی شدند.

پس از تهیه زمین در پاییز سال قبل، بذرهای سویا در هر کرت در شش ردیف به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و هر ردیف به طول دو متر، با فاصله هشت سانتی‌متر از یکدیگر و به عمق چهار سانتی‌متر در تاریخ ششم اردیبهشت به صورت دستی کاشته شدند. برای جلوگیری از اختلاط قارچ‌ها سه خط نکاشت (۱/۵ متر) به عنوان مرز، بین کرت‌ها قرارگرفت. در محل کاشت بذر مقدار پنج گرم مایه تلقیح از هر نمونه قارچ میکوریزا (تهیه شده از گروه گیاهپزشکی دانشگاه ارومیه) شامل ریشه، خاک و اسپور، برای تلقیح هر بوته استفاده شد. سپس سه عدد بذر سویا بلافاصله روی مایه تلقیح کاشته شد. اولین آبیاری بلافاصله

پس از کاشت (روز بعد از کاشت) انجام شد. گیاهان در مرحله سه برگی تنک شدند. در طول فصل رشد، عملیات داشت شامل آبیاری بر اساس تیمارهای آزمایش، وجین و کنترل علف‌های هرز به‌صورت یکنواخت انجام گرفت. زمان رسیدگی بوته‌ها، ۱۸ مهر ماه برای گیاهان سیستم قطره‌ای، و هشتم آبان ماه برای گیاهان سیستم بارانی بود. برای ارزیابی صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی و تعداد گره در ساقه اصلی) در انتهای فصل رشد تعداد ۱۰ بوته از هر کرت که نماینده آن کرت بودند به‌طور تصادفی برداشت و ارتفاع بوته (سانتی‌متر) توسط خط‌کش، قطر ساقه اصلی (میلی‌متر) توسط کولیس اندازه‌گیری و تعداد گره در ساقه اصلی هر بوته شمارش و ثبت گردید. برای محاسبه وزن صد دانه (گرم) از دانه‌های برداشت شده به ازای هر کرت، چهار تکرار ۱۰۰ تایی شمارش و توزین شدند. در مرحله رسیدگی کامل دانه، از هر کرت ۳۰ بوته (۱/۲ مترمربع) از وسط ردیف‌ها (پس از حذف اثر حاشیه‌ای) به‌طور تصادفی برداشت و وزن غلاف، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) گزارش گردید. برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کارتنوئید برگ) و تنظیم کننده‌های اسمزی (پرولین و قند) نمونه‌برداری از برگ‌های سویا در مرحله R_5 فهر که اندازه غلاف‌ها ۴/۵ سانتی‌متر بودند، در تاریخ ۱۴ شهریور ماه انجام شد و جهت اندازه‌گیری کارتنوئید دانه، نمونه‌برداری از غلاف‌ها در اوایل مرحله R_7 که رطوبت دانه‌ها ۶۰ درصد می‌باشد، در تاریخ دوم مهر ماه و ۱۸ مهر به‌ترتیب برای سیستم قطره‌ای و سیستم بارانی صورت گرفت. اندازه‌گیری کلروفیل برگ و کارتنوئید برگ و دانه، با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (PD-303)، مقدار جذب آن در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ قرائت گردید. غلظت کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (Lichtenthaler and Buschmann, 2001):

Chlorophyll a (g/l) = 1000 × (12.25 × OD663.2) – (2.79 × OD646.8)
Chlorophyll b (g/l) = 1000 × (21.50 × OD646.8) – (5.10 × OD663.2)
Total chlorophyll (g/l) = 1000 × (0.0202 × OD663.2) + (0.00802 × OD646.8)
Clorophyll b} / 198 Carotenoid (g/l)=1000 ×{(1000 × OD470) – 1.82 Clorophyll a – 85.02

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD مدل 200-ccm در تاریخ ۱۴ شهریور ماه (همزمان با اندازه‌گیری کلروفیل برگی) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری قند محلول کل، از روش پاکوئین و لچاسر (Pakuin and Lechasseur, 1979) میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید. از روش بتز و همکاران (Bates *et al.*, 1973) جهت به‌دست آوردن پرولین استفاده شد و میزان جذب نمونه‌ها از طریق دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Shimadzu UV-۱۲۰-۰۲ در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از محلول تولوئن قرائت شدند. برای اندازه‌گیری عناصر برگ، نمونه‌برداری از برگ‌های سویا در مرحله R_6 در تاریخ ۲۳ شهریور ماه انجام شد. مقدار نیتروژن و پروتئین با استفاده از روش کجلدال و با استفاده از روابط زیر به‌دست آمد (Anonymous, 2000):

درصد نیتروژن =
مقدار اسید مصرف شده در تیتراسیون× وزن نمونه/۰/۰۰۱۴ ×۱۰۰
درصد نیتروژن × ۵/۷۱ = درصد پروتئین

اندازه‌گیری پتاسیم برگ با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (Clinical pfp7) به‌روش نشر شعله‌ای، و فسفر برگ به روش رنگ‌سنجی

(وانادات-مولیبدنات) با دستگاه اسپکتوفتومتر (PD-303) در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام شد (Tenninghoff and Houba, 2004). برای به دست آوردن مقدار روغن دانه‌های رسیده سویا از دستگاه سوکسله و حلال دی اتیل اتر استفاده شد. عملکرد روغن از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به‌دست آمد. شاخص برداشت (دانه و روغن) از نسبت بین عملکرد (دانه و روغن) به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. اجزای روغن با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل (Agilent-6890) انجام گردید (Rosenfeld, 2002; Carvalho and Malcata, 2005). به دلیل اینکه اسیدهای چرب روغن در گیاهان میکوریزایی یکسان بودند، بنابراین ترکیبات تشکیل دهنده روغن در هر دو سیستم آبیاری به‌صورت گیاهان میکوریزایی و شاهد گزارش می‌شود. درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها با استفاده از روش‌های فیلیپس و هایمن (Phillips and Hayman, 1970) و گیووانتی و موسه (Giovannetti and Mosse, 1980) به‌دست آمد. برخی شاخص‌های فیزیولوژیک برگ با نمونه‌برداری در شروع مرحله R_5 فهر در تاریخ دوم شهریور ماه به شرح زیر محاسبه شدند (Hunt, 1982):

LAI = نسبت سطح برگ به سطح زمینی که توسط آن برگ‌ها پوشش داده شده است.

SLA = نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ (m^2/g leaf weight).

LAR = نسبت سطح برگ به وزن خشک کل گیاه (m^2/g plant weight).

LWR = نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک کل گیاه (g/g).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) و MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل آبیاری×میکوریزا بر روی کلروفیل a و کلروفیل b برگ در سطح احتمال پنج درصد و کلروفیل کل و کارتنوئید برگ، مقدار فسفر برگ و کلونیزاسیون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. اثر آبیاری بر روی شاخص کلروفیل (SPAD)، مقدار پتاسیم، ارتفاع بوته، تعداد گره در ساقه اصلی، وزن صد دانه، وزن غلاف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، مقدار روغن، عملکرد روغن، شاخص برداشت روغن و شاخص برداشت دانه در سطح احتمال یک درصد و LWR و مقدار نیتروژن برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. همچنین، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر میکوریزایی بر مقدار پروتئین و کلونیزاسیون در سطح احتمال یک درصد و مقدار پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌داری را نشان داد (جدول‌های ۲، ۳ و ۴). علی‌رغم اثر آبیاری معنی‌دار فاکتورهای آزمایش، مقایسات میانگین‌ها تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای آزمایش از نظر مقدار نیتروژن و پتاسیم، شاخص برداشت دانه نشان ندادند (جدول ۳). عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، مقدار روغن، عملکرد روغن، شاخص برداشت روغن، وزن غلاف، وزن صد دانه، ارتفاع بوته و تعداد گره در ساقه اصلی در سیستم آبیاری قطره‌ای افزایش معنی‌داری را نسبت به سیستم آبیاری بارانی نشان دادند. در حالی‌که نسبت وزن برگ بیشترین مقدار را در سیستم بارانی داشت (جدول ۵). یکی از راه‌های مؤثر تامین آب و مواد غذایی برای گیاه، استفاده از آبیاری قطره‌ای می‌باشد که علاوه بر کاهش آب

مصرفی به دلیل افزایش بازده آبیـاری، موجب می‌شود که آب با یکنواختی و دقت بیشتری در سطح مزرعه، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، این روش می‌تواند سبب کاهش تلفات عمقی آب و افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی شود (Hanson and May, 2004). هانسون و می (Hanson and May, 2004) عملکرد محصول در گیاه گوجه‌فرنگی را در آبیاری بارانی ۴۲ درصد کمتر از آبیاری قطره‌ای گزارش کردند که این افزایش عملکرد در آبیاری قطره‌ای مربوط به ایجاد سطح برگ و ماده خشک زیاد می‌باشد (Malek *et al.*, 2012) که به دنبال تأخیر در استقرار گیاه و عقب‌تر بودن مراحل مختلف رشد گیاه در آبیاری بارانی نسبت به آبیاری قطره‌ای است (Molaei *et al.*, 2015). در آبیاری قطره‌ای LWR کمتر از سیستم بارانی به‌دست آمد و این به دلیل بالا بودن وزن خشک اندام‌های هوایی (وزن غلاف، دانه‌ها و ساقه) نسبت به سطح برگ در سیستم قطره‌ای می‌باشد.

بیشترین مقدار پروتئین دانه از گیاهان تلقیح شده با گونه *R. intraradices* (۳۳/۳ درصد) به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با پروتئین حاصل از گیاهان تلقیح شده توسط سایر گونه‌های قارچی نشان نداد. گیاهان غیرمیکوریزایی کمترین مقدار پروتئین دانه را داشتند (شکل ۱- الف). بیشترین مقدار پتاسیم برگ از گیاهان تیمار شده با گونه *F. mosseae* (۱/۲ درصد) که تفاوت معنی‌داری با *R. intraradices* نداشت، به‌دست آمد و کمترین مقدار پتاسیم در گیاهان تلقیح شده با قارچ گونه *S. hoi* (۰/۹ درصد) مشاهده شد که با گیاهان غیرمیکوریزایی از نظر آماری تفاوتی نداشتند (شکل ۱- ب).

کاربرد میکوریزا از طریق افزایش طول ریشه و فراهمی بیشتر فسفر، نیتروژن، روی، پتاسیم و سایر عناصر باعث پایداری بیشتر دیواره سلولی و بالا رفتن میزان پروتئین دانه می‌شود. این امر باعث افزایش آسیمیلات‌های تولیدی از فتوسنتز می‌گردد (Bajji *et al.*, 2001). ایلباس و ساهین (Ilbas and Sahin, 2005) در مطالعه‌ای بر روی گیاه سویا، شاهد بهبود محسوس غلظت پروتئین دانه در تیمار حاوی تلقیح میکوریزایی بودند. آنها در تفسیر نتیجه حاصله، اظهار داشتند که افزایش غلظت پروتئین دانه و تحریک رشد اندام‌های هوایی گیاه با افزایش تغذیه فسفری همراه است. از این رو تأثیر قارچ میکوریزا بر روی میزان غلظت پروتئین، احتمالاً به‌طور غیرمستقیم از طریق بهبود وضعیت فسفر گیاه که ناشی از همزیستی میکوریزایی می‌باشد، اعمال می‌شود.

در سیستم بارانی، مقدار فسفر برگ در تیمار *F. mosseae* (۰/۲درصد) نسبت به گیاهان شاهد در حدود ۹۲ درصد افزایش داشت. گیاهان غیرمیکوریزایی سیستم قطره‌ای بیشترین مقدار فسفر را در بین گیاهان آبیاری شده با این سیستم نشان دادند که تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری با *F. mosseae* سیستم بارانی نداشتند (شکل ۲). در آبیاری قطره‌ای گیاهان غیرمیکوریزایی در مقایسه با گیاهان تلقیح شده با میکوریزا فسفر بیشتری را در برگ نشان دادند. پس می‌توان بدون مصرف کودهای بیولوژیکی، با استفاده از سیستم قطره‌ای به مقدار بالای فسفر در اندام‌های هوایی سویا، دست یافت.

نقش قارچ‌های میکوریزا در جذب فسفر و رشد گیاه تحت تأثیر بر همکنش بین گونه گیاه میزبان و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و نیز سایر فاکتورهای محیطی تعیین می‌گردد (Fitter *et al.*,

2011). نتایج آزمایش علی‌آبادی فراهانی و ولدآبادی (Aliabadi Farahani and Valadabadi, 2010) حاکی از آن است که کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش مقدار فسفر اندام هوایی می‌گردد که دلیل این امر سازوکار عمل قارچ میکوریزا در جذب فسفر می‌باشد. تلقیح با گونه‌های *R. intraradices* و *F. mosseae* در گیاه ذرت به ترتیب ۴/۱۸ و ۳/۳۴ درصد غلظت فسفر اندام هوایی را نسبت به شاهد افزایش دادند (Gholami *et al*., 2015).

بیشترین مقدار کلروفیل a (۰/۸ میلی‌گرم در لیتر)، کلروفیل b (۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) و کلروفیل کل (۱/۱ میلی‌گرم در لیتر) در همزیستی با گونه *S. hoi* و سیستم بارانی به دست آمدند که تفاوت معنی‌داری با کلروفیل a، b و کل در گیاهان غیرمیکوریزایی سیستم قطره‌ای نداشتند. این مقادیر نسبت به گیاهان شاهد غیرمیکوریزایی سیستم بارانی به‌ترتیب ۱/۵ و ۱/۲ و ۱/۲ برابر افزایش داشتند. کمترین مقادیر کلروفیل a، b و کل در گیاهان شاهد سیستم بارانی و گونه *G. mosseae* سیستم قطره‌ای مشاهده شدند (شکل ۳- الف، ب و ج). شاخص کلروفیل (SPAD) در آبیاری بارانی بسیار بیشتر از آبیاری قطره‌ای بود. نتایج شکل ۳ مؤید برتری نسبی کلروفیل در آبیاری بارانی می‌باشد. کاروتنوئید گیاهان غیرمیکوریزایی سیستم قطره‌ای (۰/۴ میلی‌گرم در لیتر) نسبت به کاروتنوئید گیاهان غیرمیکوریزایی سیستم بارانی ۸۷ درصد افزایش داشت. ترتیب کاروتنوئید برگی از بیشترین به کمترین مقدار در سیستم قطره‌ای به‌صورت گیاهان شاهد، *R. intraradices*، *S. hoi* و *F. mosseae* مشاهده گردید که این ترتیب در سیستم بارانی تفاوت زیادی نشان داد، به‌طوری که ترتیب نزولی غلظت کارتنوئید در گیاهان همزیست با گونه *S. hoi*، *R.intraradices*، *F. mosseae* و گیاهان شاهد به‌دست آمد (شکل ۳- د).

پارسا مطلق و همکاران (Parsa-Motlag *et al*., 2011) نتیجه گرفتند که گونه قارچ میکوریزایی *R. Intraradices* عملکرد بهتری در افزایش غلظت کلروفیل داشته است. گونه‌های مختلف میکوریزا باعث افزایش میزان کاروتنوئید نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردیدند (Khorshidi *et al*., 2014). مقدار کلونیزاسیون ریشه سویا در گیاهان تلقیح شده با *R. intraradices* (۷۱ درصد)، تقریباً ۳ برابر مقدار کلونیزاسیون گیاهان شاهد سیستم بارانی بود. گیاهان غیرمیکوریزایی آبیاری قطره‌ای از لحاظ آماری با گیاهان همزیست با سه گونه قارچ میکوریزایی این سیستم، تفاوت معنی‌داری نداشتند. در هر دو سیستم آبیاری بارانی و قطره‌ای گونه‌های *F. mosseae* و *R. Intraradices* به یک اندازه نسبت به گونه *S. hoi* کلونیزاسیون بالاتری را داشتند (شکل ۴).

درصد همزیستی گونه‌های متفاوت قارچی در یک گونه گیاهی و همچنین در گیاهان زراعی مختلف، بسیار متغیر می‌باشد. گزارش‌های قبلی برتری گونه *F. mosseae* در سورگوم (Hamzei and Sadeghi Meabadi, 2013) و ذرت (Amerian *et al*., 2001)، در اسطوخودوس (Marulanda *et al*., 2007) نسبت به گونه *R. intraradices* از نظر کلونیزاسیون ریشه را نشان داده‌اند. در مطالعه رحیم‌زاده و پیرزاد (Rahimzadeh and Pirzad, 2017) مقدار بالاتر همزیستی گونه *R. intraradices* نسبت به *F. mosseae* در شرایط تنش گزارش شده است. این

توانایی‌ها به خصوصیات کورتکس و اپیدرم ریشه گیاه بستگی دارند و به دلیل توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای و افزایش سطح جذب ریشه‌ها که به علت نفوذ بیشتر هیف‌های قارچ در خاک می‌باشد، کارآیی گیاه در جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد (Atayese, 2007). نتایج متفاوت در کلونیزاسیون ریشه ممکن است به خاطر سازگاری قارچ‌های میکوریزا آربسکولار به بسترهای مختلف و رفتارهای متفاوت گیاهان باشد (El-Mesbahi *et al*., 2012; Zhao *et al*., 2015). گیاهان غیرمیکوریزایی سیستم قطره‌ای بالاترین مقدار اسیدهای چرب پالمیتیک، پالمیتولئیک و اولئیک را دارا بودند. در حالی که بیشترین مقدار اسید چرب استئاریک، لینولنیک و آراشیدیک در گیاهان میکوریزایی سیستم قطره‌ای مشاهده شدند. مریستیک اسید در گیاهان غیرمیکوریزایی سیستم بارانی، و اسید چرب لینولئیک و گادولیک در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در همین سیستم بالاترین مقدار را داشتند. در کلیه گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی اسیدهای چرب غیراشباع خیلی بیشتر بودند. با این حال بین تیمارهای میکوریزا در آبیاری قطره‌ای و بارانی از نظر مجموع اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود (جدول ۶).

نتیجه‌گیری کلی

پاسخ گیاه سویا به گونه‌های قارچی در سیستم‌های آبیاری متفاوت می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص‌های رشدی و عملکرد (بیولوژیک، دانه و روغن) سویا در آبیاری قطره‌ای (به‌ترتیب ۶۱۳۳/۱، ۲۷۲۰/۱ و ۵۳۶/۵۴ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از مقدار آنها در آبیاری بارانی (به‌ترتیب ۴۹۹۰/۷، ۱۷۸۱/۴ و ۲۹۱/۳۲ کیلوگرم در هکتار) بودند. از نظر رنگیزه‌های فتوسنتزی و کارتنوئید، هر سه گونه قارچی در آبیاری قطره‌ای وضعیت مطلوب‌تری داشتند. گونه‌های قارچی از نظر صفت‌های مورفولوژیکی، زراعی و فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد در آبیاری بارانی بهتر نمود داشتند. به‌طوری که بیشترین مقدار فسفر و پروتئین برگ در آبیاری قطره‌ای به دست آمد. این سیستم آبیاری همزمان با کاهش آب مصرفی در مزرعه، تولید (دانه، بیوماس و روغن) را از طریق بهبود اجزای عملکرد افزایش داده است.

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش

Table 1- Soil characteristics of experimental site

عمق نمونه‌برداری Depth (cm)	Texture	EC dS/m	O.C	O.M	$CaCo_3$	clay	silt	sand	FC	pH	K	P
			%								mg/kg	
0-30	Clay	1.4	0.52	0.90	8	50	33	17	22	7.65	238	22.78
30-60	Clay	1.4	0.48	0.83	12	51	32	17	22	7.73	88	15.91

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر سیستم‌های آبیاری و همزیستی گونه‌های میکوریزا بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و رنگیزه‌های فتوسنتزی سویا رقم ویلیامز

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of effect of irrigation system and mycorrhizal species symbiosis on the physiological traits and photosynthetic pigments of soybean (*Glycine max* L.cv. Williams)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a برگ Leaf chlorophyll a	کلروفیل b برگ Leaf chlorophyll b	کلروفیل کل برگ Leaf total chlorophyll	کارتنوئید برگ Leaf carotenoids	کارتنوئید دانه Seed carotenoids
بلوک Block	2	0.13	0.0049	0.14	0.006	0.003
آبیاری Irrigation	1	0.02^{ns}	0.0004^{ns}	0.05^{ns}	0.000001^{ns}	0.001^{ns}
خطای اصلی Error a	2	0.02	0.000009	0.05	0.001	0.0001
میکوریزا Mycorrhizal	3	0.05^{ns}	0.0012^{ns}	0.05^{ns}	0.003^{ns}	0.0005^{ns}
میکوریزا×آبیاری Irrigation×Mycorrhizal	3	0.15^{*}	0.0055^{*}	0.33^{**}	0.024^{**}	0.001^{ns}
خطای آزمایشی Error b	12	0.03	0.0015	0.04	0.002	0.002
ضریب تغییرات C.V. (%)		29.75	34.71	25.22	13.72	22.93

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪ می‌باشد.

ns, not significant, * and ** significant at 5% and 1% probability level, respectively.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	SPAD	LAI	SLA	LAR	LWR
بلوک Block	2	0.019	0.022	0.036	0.015	0.005
آبیاری Irrigation	1	0.465^{**}	0.018^{ns}	0.006^{ns}	0.002^{ns}	0.015^{*}
خطای اصلی Error a	2	0.019	0.004	0.005	0.005	0.0007
میکوریزا Mycorrhizal	3	0.006^{ns}	0.019^{ns}	0.016^{ns}	0.006^{ns}	0.004^{ns}
میکوریزا×آبیاری Irrigation×Mycorrhizal	3	0.031^{ns}	0.005^{ns}	0.013^{ns}	0.026^{ns}	0.004^{ns}
خطای آزمایشی Error b	12	0.015	0.007	0.010	0.010	0.002
ضریب تغییرات C.V. (%)		13.48	12.59	8.86	12.70	12.64

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪ می‌باشد.

ns, not significant, * and ** significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر سیستم‌های آبیاری و همزیستی گونه‌های میکوریزا بر عناصر برگی، اسمولیت‌ها و کلونیزاسیون سویا رقم ویلیامز

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of effect of irrigation system and mycorrhizal species symbiosis on the leaf nutrients, osmolytes and root colonization of soybean (*Glycine max* L.cv. Williams)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	فسفر برگ Leaf P	نیتروژن برگ Leaf N	پتاسیم برگ Leaf K	پروتئین دانه Seed Pr
بلوک Block	2	0.00818	0.030	0.08	0.29
آبیاری Irrigation	1	0.00004^{ns}	0.205^{*}	0.34^{**}	0.13^{ns}
خطای اصلی Error a	2	0.00006	0.054	0.04	0.39
میکوریزا Mycorrhizal	3	0.00273	0.036^{ns}	0.10^{*}	4.43^{**}
میکوریزا×آبیاری Irrigation×Mycorrhizal	3	0.00704^{**}	0.019^{ns}	0.07	1.92^{ns}
خطای آزمایشی Error b	12	0.00080	0.028	0.02	0.85
ضریب تغییرات C.V. (%)		15.18	2.91	14.05	2.83

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪ می‌باشد.

ns, not significant, * and ** significant at 5% and 1% probability level, respectively.

ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت دانه Seed HI	کلونیزاسیون Colonization	قند محلول Soluble sugar	پرولین Prolin
بلوک Block	2	26.21	101.04	673.29	6.12
آبیاری Irrigation	1	337.05^{**}	126.04^{ns}	61.34^{ns}	0.20^{ns}
خطای اصلی Error a	2	27.07	16.79	313.01	1.56
میکوریزا Mycorrhizal	3	24.75^{ns}	1035.49^{**}	719.53^{ns}	0.66^{ns}
میکوریزا×آبیاری Irrigation×Mycorrhizal	3	2.57^{ns}	544.71^{**}	31.27^{ns}	0.84^{ns}
خطای آزمایشی Error b	12	9.22	119.97	713.90	0.47
ضریب تغییرات C.V. (%)		7.49	24.78	18.29	3.98

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪ می‌باشد.

ns, not significant, * and ** significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر سیستم‌های آبیاری و همزیستی گونه‌های میکوریزا بر اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن سویا رقم ویلیامز

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of effect of irrigation system and mycorrhizal species symbiosis on the yield components, oil percentage and yield of soybean (*Glycine max* L.cv. Williams)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد گره ساقه اصلی Nod No. /stem	قطر ساقه Stem diameter	وزن صد دانه 100 seeds weight	وزن غلاف Pod weight
بلوک Block	2	9.95	0.20	1.557	2.13	0.038
آبیاری Irrigation	1	1005.57**	9.88**	0.213^{ns}	46.43**	0.325**
خطای اصلی Error a	2	39.97	0.17	0.002	0.13	0.033
میکوریزا Mycorrhizae	3	35.33^{ns}	0.51^{ns}	0.488^{ns}	0.44^{ns}	0.002^{ns}
میکوریزا×آبیاری Irrigation×Mycorrhizae	3	50.60^{ns}	1.75^{ns}	0.116^{ns}	1.06^{ns}	0.001^{ns}
خطای آزمایشی Error b	12	19.29	1.01	0.689	1.09	0.025
ضریب تغییرات C.V. (%)		8.04	5.36	10.12	7.73	5.25

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪ می‌باشد.

ns, not significant, * and ** significant at 5% and 1% probability level, respectively.

ادامه جدول ۴

Table 4- Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yeild	عملکرد بیولوژیک Biological yeild	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yeild	شاخص برداشت روغن Oil HI
بلوک Block	2	74211.74	832726.87	0.71	405.67	1.20
آبیاری Irrigation	1	5287395.79**	7830536.25**	113.39**	360797.16**	55.97**
خطای اصلی Error a	2	136905.79	304397.44	4.53	2930.45	1.24
میکوریزا Mycorrhizae	3	180513.08^{ns}	299643.49^{ns}	0.53^{ns}	9012.43^{ns}	1.21^{ns}
میکوریزا×آبیاری Irrigation×Mycorrhizae	3	138885.48^{ns}	1107269.23^{ns}	2.73^{ns}	10326.04^{ns}	0.24^{ns}
خطای آزمایشی Error b	12	181839.37	767277.56	5.88	19311.30	1.68
ضریب تغییرات C.V. (%)		18.94	15.75	13.95	33.57	18.17

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪ می‌باشد.

ns, not significant, * and ** significant at 5% and 1% probability level, respectively.

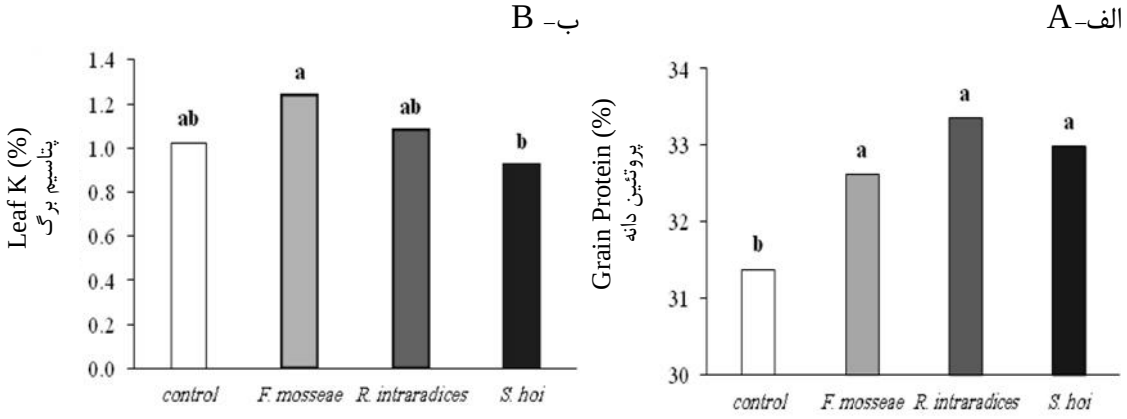
جدول ۵- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های فیزیولوژیک، اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن در سویا رقم ویلیامز تحت اثر دو سیستم‌آبیاری

Table 5- Mean comparison of physiological traits, yield components, oil percentage and yield of soybean (*Glycine max* L.cv. Williams) under two irrigation systems

سیستم آبیاری Irrigation System	LWR	SPAD	تعداد گره ساقه اصلی Nod No. /stem	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن صد دانه 100 seeds Weight (g)	شاخص برداشت روغن Oil HI (%)	درصد روغن Oil percent	وزن غلاف Pod weight	عملکرد روغن Oil yeild	عملکرد بیولوژیک Biological yeild	عملکرد دانه Seed yeild
								kg.ha^{-1}			
قطره‌ای Drip	0.387^{b}	5.24^{b}	19.4^{a}	61.1^{a}	14.8^{a}	8.67^{a}	19.56^{a}	1309.7^{a}	536.54^{a}	6133.1^{a}	2720.1^{a}
بارانی Rainy	0.437^{a}	10.30^{a}	11.8^{b}	48.2^{b}	12.1^{b}	5.62^{b}	15.21^{b}	830.9^{b}	291.32^{b}	4990.7^{b}	1781.4^{b}

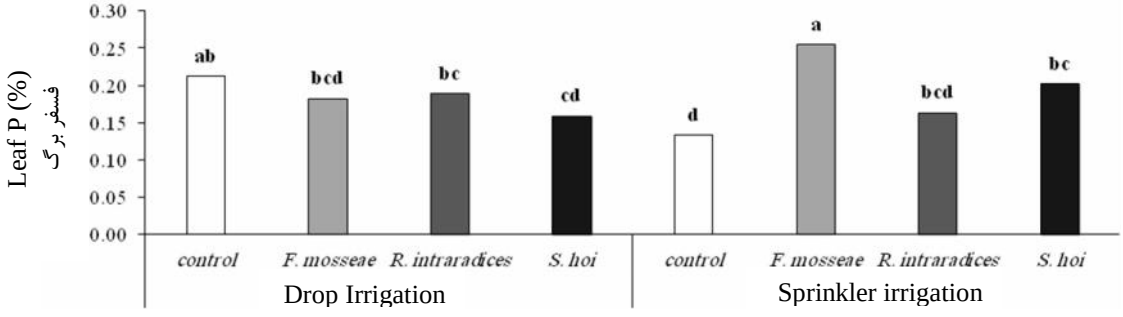
حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ با آزمون دانکن می‌باشد.

The dissimilar letters in each column show significant differences at $P \leq 0.05$ (Duncan's Multiple Range Test).



شکل ۱- مقایسه میانگین پروتئین دانه (٪) (الف) و پتاسیم برگ (٪) (ب) سویا رقم ویلیامز تحت تاثیر اثر گونه‌های میکوریزا

Figure 1- Means comparison of grain protein content (A) and leaf K content (B) of soybean (*Glycine max* L. *cv.* Williams) affected by "mycorrhizal species"

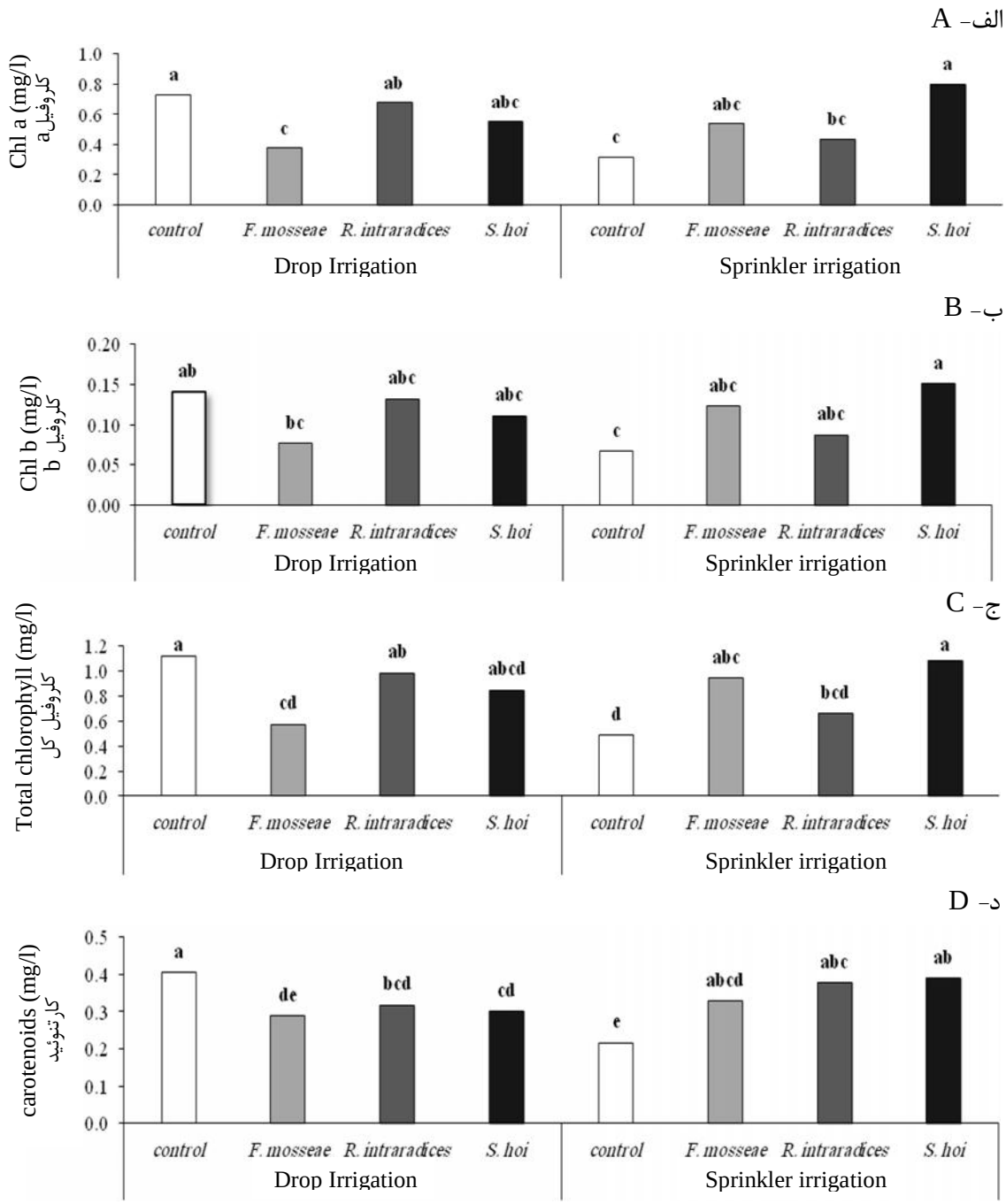


شکل ۲- مقایسه میانگین فسفر برگ (٪) سویا رقم ویلیامز تحت اثر متقابل آبیاری×میکوریزا

Figure 2- Mean comparison of leaf P content of soybean (Glycine max L. cv. Williams) affected by "irrigation×mycorrhizal species"

(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن می‌باشد).

(The same letters show non significant effect at P≤0.05).

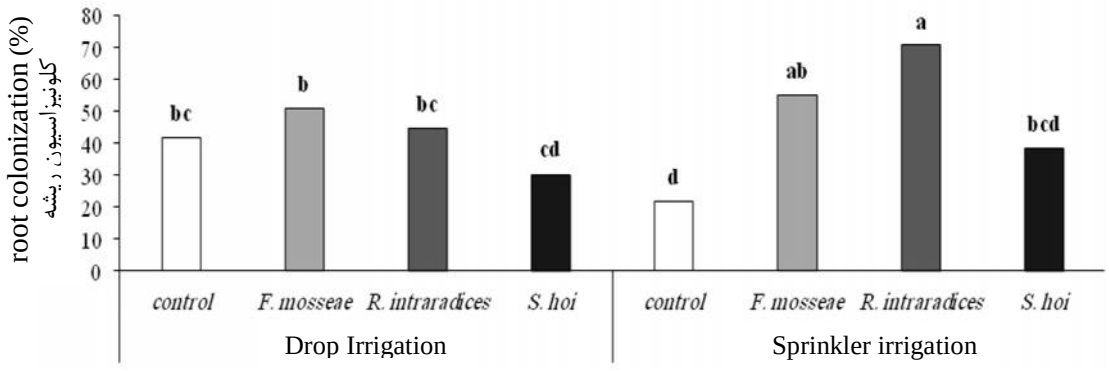


شکل ۳- مقایسه میانگین‌های غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a (الف)، کلروفیل b (ب)، کلروفیل کل (ج) و کارتنوئید (د) برگ سویا رقم ویلیامز تحت اثر متقابل آبیاری×میکوریزا

Figure 3- Means comparison of leaf chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), total chlorophyll (C) and carotenoids (D) of soybean (*Glycine max* L. *cv.* Williams) affected by "irrigation×mycorrhizal species"

(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن می‌باشد).

(The same letters show non significant effect at $P \leq 0.05$).



شکل ۴- مقایسه میانگین کلونیزاسیون ریشه (٪) سویا رقم ویلیامز تحت اثر متقابل آبیاری×میکوریزا

Figure 4- Mean comparison of root colonization of soybean (*Glycine max* L. *cv*. Williams) affected by "irrigation×mycorrhizal species"

(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن می‌باشد).

(The same letters show non significant effect at $P \leq 0.05$).

جدول ۶- ترکیبات اسیدهای چرب سویا در گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در دو سیستم آبیاری قطره‌ای و بارانی

Table 6- Soybean fatty acids components in AMF inoculated and non-AMF inoculated) plants in both two drip and rainy irrigation systems

آبیاری Irrigation	میکوریزا Mycorrhiza	Fatty Acids اسیدهای چرب								
		Unsaturated غیراشباع					Saturated اشباع			
		گادولئیک Gadoleic	پالمیتولئیک Palmitoleic	لینولنیک Linolenic	لینولئیک Linoleic	اولئیک Oleic	میریستیک Myristic	پالمیتیک Palmitic	آراشیدیک Arashidic	استئاریک Stearic
		C20:1	C16:1	C18:3	C18:2	C18:1	C14:0	C16:0	C20:0	C18:0
قطره ای Drip	شاهد non-AMF control	0.64	0.13	4.14	44.44	30.85	0.10	11.30	0.67	6.89
	میکوریزا Mycorrhiza	0.63	0.12	5.21	44.57	28.26	0.09	10.71	0.99	7.18
بارانی Rainy	شاهد non-AMF control	0.61	0.09	5.11	44.28	28.07	0.13	10.59	0.73	6.86
	میکوریزا Mycorrhiza	0.69	0.11	5.08	45.90	28.90	0.09	10.58	0.55	6.48

References منابع مورد استفاده

- Afzali Gorouh, H., M.A. Asoodar, and Z. Khodarahmpoor. 2012. Effect of irrigation method and tillage level on water use efficiency and corn grain yield (*Zea Mays* L.) in Kerman. *Water and Soil Science*. 22(3): 47-58. (In Persian).
- Aliabadi Farahani, H., and S.A.R. Valadabadi. 2010. The role of arbuscular mycorrhizal fungi on the medicinal plant coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Soil Research*. 24(1):69-80. (In Persian).
- Amerian, M.R., W.S. Stewart, and H. Griffits. 2001. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth assimilation and leaf water relation in maize. *Aspect of Applied Biology*. 63:73-76.
- Anonymous. 2000. AOAC. Analysis - Prosky (985.29) or similar method should be used for dietary fibre analysis.
- Atayese, M.O. 2007. Field response of sorghum cultivars to mycorrhizal inoculation phosphorus fertilizer in Abeokuta, South West Nigeria. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*. 2:16-23.
- Bajji, M., S. Lutts, and J.M. Kinet. 2001. Water deficit effect on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat cultivars performing differently in arid condition. *Plant Science*. 160(4): 669-681.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free prolin for water stress studies. *Plant and Soil*. 39(1): 205-207.
- Carvalho, A.P., and F.X. Malcata. 2005. Preparation of fatty acid methyl esters for gas-chromatographic analysis of marine lipids: insight studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(13): 5049-5059.
- Cassel, F., F.C. Sharmasarkar, and S.D. Miller. 2001. Assessment of drip and flood irrigation on water and fertilizer use sufficiencies for sugar beets. *Agricultural Water Management*. 46: 241-251.
- Cavero, J., E.T. Medina, M. Puig, and A. Martinez. 2008. Sprinkler irrigation changes maize canopy microclimate and crop water status, transpiration and temperature. *Agronomy Journal*. 101(4): 854-864.
- Djebali, N., S. Turki, M. Zid, and M.R. Hajlaoui. 2010. Growth and development responses of some legume species inoculated with a mycorrhiza-based biofertilizer. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 1(5): 748-754.
- El-Mesbahi, M.N., R. Azcon, J.M. Ruiz-Lozano, and R. Aroca. 2012. Plant potassium content modifies the effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis on root hydraulic properties in maize plants. *Mycorrhiza*. 22(7): 555-564.
- Fitter, A. H., T. Helgason, and A. Hodge. 2011. Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: implications for sustainable agriculture. *Fungal Biology Reviews*. 25(1): 68–72.
- Ghadami Firouzabadi, A., and M.R. Mirzaei. 2006. Investigation effects of trickle irrigation (Tape) on quantity and quality of sugar beet. *Pajouhesh and Sazandegi*. 71(1): 6-11. (In Persian).
- Gholami, A., A. Ansouri, H. Abbas dokht, and A. R. Fallah. 2015. Co-Inoculation effects of thiobacillus thiooxidans bacteria and mycorrhiza (*Glomus spp*.) on Maize

nutrition at different levels of sulfur. *Journal of Water and Soil*. 29(3): 718-729. (In Persian).

- Gianinazzi, S., A. Gollotte, M.N. Binet, D. Tuinen, D. Redecker, and D. Wipf. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*. 20(8): 519-530.
- Giovannetti, M., and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*. 84(3): 489-500.
- Grant, C.A., G.A. Peterson, and C.A. Campbell. 2002. Nutrient consideration for diversified cropping systems in the northern great plains. *Agronomy Journal*. 94(2): 186-198.
- Habibzadeh, Y., M.R. Zardoshti, A. Pirzad, and J. Jalilian. 2012. Effect of mycorrhizae fungi on growth indices and grain yield of Mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczk] under water deficit stress. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*. 16(60):57-68. (In Persian).
- Hamzei, J., and F. Sadeghi Meabadi. 2013. Study of root colonization percentage of grain sorghum cultivars by two species of mycorrhizal fungi and its effect on some morphological and agronomic traits. *Journals of Agronomy Science*. 5(9): 25-36. (In Persian).
- Hanson, B., and D. May. 2004. Effect of subsurface drip irrigation on procedding tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*. 68(1): 1-17.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves: the functional approach to growth analysis. London, UK: Edward Arnold Ltd. 248 pp.
- Ilbas, A.I., and S. Sahin. 2005. *Glomus fasiculatum* inoculation improves soybean production. *Acta Agriculture Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*. 55(4): 287-292.
- Khorshidi, M., B. Bicharanlou, and M. Bagheri. 2014. Elevated the tolerance of maize plants to temperature changes through symbiosis with three species of mycorrhiza. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*. (23)4.1: 187-200. (In Persian).
- Kumudini, S., D.J. Hume, and G. Chu. 2002. Genetic improvement in short-season soybean (nitrogen accumulation, remoblizatioin and partitioning). *Crop Science*. 42(1): 141-145.
- Lehrsch, G.A., and D.C. Kincaid. 2010. Sprinkler irrigation effects on infiltration and near surface unsaturate hydraulic conductivity. *Journal of American Socciety of Agriculture and Biology Enginnier*. 53(2): 397-404.
- Lichtenthaler, H.K., and C. Buschmann. 2001. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. Curr Protocol Food Anal Chem. Suppliment 1: F4.3.1-F4.3.8.
- Malek, M.M., S. Galeshi, A. Zeinali, H. Ajamnorozi, and M. Malek. 2012. Investigation of leaf area index, dry matter and crop growth rate on the yield and yield components of soybean cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*. 5(4): 1-17. (In Persian).

- Marulanda, A., R. Porcel, J.M. Barea, and R. Azcón. 2007. Drought tolerance and antioxidant in lavender plants colonized by activities native drought-tolerant or drought sensitive *Glomus* species. *Microbiology Ecology*. 54: 543-552.
- Molaei, B., M. Gheysari, B. Mostafazadeh-Fard, E. Landi, and M.M. Majidi. 2015. Evaluation of yield characteristics of two Potato varieties under sprinkler and trickle irrigation systems. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*. 19(71):241-251. (In Persian).
- Mousavi, S.F., and S. Akhavan. 2007. Irrigation principles. Kankash Publishers, Esfahan. 419 pp. (In Persian).
- Pakuin, R., and P. Lechasseur. 1979. Observationssur une method de dosage de la peoline libre dans les extraits de plants. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne de Botanique*. 57(18): 1851-1854.
- Parsa-Motlag, B., S. Mahmoodi, M.H. Sayyari-Zahan, and M. Naghizadeh. 2011. Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. *Journal of Agroecology*. 3(2):237-248. (In Persian).
- Phillips, J.M., and D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55(1):158-161.
- Piotrowski, J. S., T. Denich, J. Klironomos, J.M. Graham, and M.C. Rillig. 2004. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. *New Phytologist*. 164: 365-373.
- Rahimzadeh, S., and A. Pirzad. 2017. Microorganisms (AMF and PSB) interaction on linseed productivity under water-deficit condition. *International Journal of Plant Production*. 11(2): 259-274.
- Rosenfeld, J.M. 2002. Application of analytical derivatizations to the quantitative and qualitative determination of fatty acids. *Analytica Chimica Acta*. 465(1-2):93-100.
- Schroeder, M.S., and D.P. Janos. 2005. Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization, and intraspecific density. *Mycorrhiza*. 15(3): 203-216.
- Seyedsharifi, R. 2009. Industrial plants. Amidi Publishers, Tabriz. 432 pp. (In Persian).
- Shahinrokhsar, P., and M. Esmaeil-Asadi. 2014. Evaluation in strip system irrigation system under various moisture regimes. *Journal of Water Research in Agriculture*. 1: 89-100. (In Persian).
- Smith, S.E., and D.J. Read. 2008. Mycorrhizal symbiosis. Third Edition. Elsevier 815 pp.
- Suri, V.K., A.K. Choudhary, C. Girish, T.S. Verma, M.K. Gupta, and N. Dutt. 2011. Improving phosphorus use through co-inoculation of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria in maize in an acidic Alfisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 42(18):2265-2273.
- Tenninghoff, E., and V. Houba. 2004. Plant analysis procedures (second Edition). Kluwer Academic Publishers. 180 pp.
- Zhao, R., W. Guo, N. Bi, J. Guo, L. Wang, J. Zhao, and J. Zhang. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) growth in two types of coal mine spoils under drought stress. *Applied Soil Ecology*. 88: 41-49.

Effect of Mycorrhizae Species on the Quantitative and Qualitative Charachteristics of Soybean (*Glycine max* L.) under Different Irrigation Systems

Nadia Dorostkar[1], and Alireza Pirzad[2*]

Received: July 2017 , Revised: 4 February 2018, Accepted: 8 February 2018

Abstract

To evaluate mycorrhizal symbiosis of soybean plants (*Glycine max* L. cv. Williams) under different irrigation systems, a split plot experiment was conducted based on randomized complete block design (RCBD) with three replications at Urmia University in 2015. Treatments were irrigation systems (drip and sprinkler irrigation) assigned to main plots, and mycorrhizal fungi species (non-inoculated as control, *Funneliformis mosseae, Rhizophagus intraradices* and *Simiglomus hoi*) to sub-plots. Results indicated that the highest plant height, pod weight, seed yield, 100 seed weight, number of nods per stem, biological yield, harvest index of oil, oil percent and oil yield were obtained by using drip irrigation. The highest LWR (ratio of leaf/aerial parts weight) and SPAD (chlorophyll index) were observed in sprinkler irrigation system. The significant interaction effects were exhibited variable responses of soybean plants to mycorrhizal species under irrigation systems. The highest photosynthetic pigments (chlorophyll-a, -b and total chlorophyll) and carotenoids were obtained from AMF-inoculated plants under sprinkler system, regardless of fungal species. The highest leaf phosphorus belonged to inoculated plants (*F. mosseae*) in sprinkler irrigation system. All fungi species increased leaf protein, similarly. While the leaf potassium did not show significant differences with non-AMF inoculated control plants. Despite highest root colonization with *R. intraradices* under sprinkler irrigation system, colonization by all three species of fungi under both irrigation systems were higher than non-AMF inoculated soybean plants. In both irrigation systems, the ratio of fatty acids (unsaturated fatty acids which were four times higher than of saturated fatty acids) in AMF-inoculated plants were equal to that of non-mycorrhizal control soybean. Regardless of different responses of soybean plants to mycorrhizal species, biological seed and oil yields, under drip irrigation system were about 23, 53 and 84% higher than that of sprinkler irrigation system.

Key words: Chlorophyll, Drip irrigation, Fatty acid, Mycorrhizae, Phosphorus.

1- M.Sc. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.
* *Corresponding Author: a.pirzad@urmia.ac.ir*