نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هجدهم، شماره ۱(۶۹)، بهار ۱۴۰۳، صفحه ۱۸-۱

مقاله پژوهشی DOI:

بهبود خصوصیات کمی و کیفی دانه سویا در شرایط تنش رطوبتی با استفاده از میکوریزا و کود روی

پویا سهرابی‌نور[۱]، محمدعلی ابوطالبیان[۲*] و جواد حمزه‌ئی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۷ **تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۴** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۹**

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا و شیوه مصرف کود سولفات روی بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی دانه سویا آزمایشی در شرایط تنش رطوبتی انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از تنش رطوبتی در سه سطح آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A، شیوه مصرف کود سولفات روی با سه روش محلول‌پاشی، مصرف خاکی و عدم مصرف کود، قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد بود. نتایج نشان داد محلول‌پاشی سولفات روی در همه ترکیبات تیماری به جز تنش شدید رطوبت و شرایط عدم کاربرد میکوریزا به‌طور معنی‌داری نسبت به مصرف خاکی آن منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و غلظت روی دانه شد. کاربرد میکوریزا سبب افزایش ۱۹/۵ درصدی تعداد دانه در غلاف، ۱۷ درصدی شاخص برداشت و ۵/۱ درصدی روغن دانه شد. در شرایط عدم کاربرد میکوریزا بین مصرف و عدم مصرف خاکی سولفات روی تفاوت از نظر عملکرد دانه وجود نداشت. در پژوهش حاضر تنش ملایم رطوبت در مقایسه شرایط عدم تنش، سبب افزایش درصد پروتئین دانه شد و بالاترین میزان آن (۴۱٪) تحت شرایط تنش متوسط رطوبت و کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی به‌دست آمد. بیشترین غلظت روی دانه (۳۳/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) نیز از تیمار عدم تنش رطوبت تحت شرایط کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی حادث شد. به‌طورکلی می‌توان عملکرد، درصدهای روغن و پروتئین و مقدار روی دانه سویا را با کاربرد همزمان میکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی به‌ویژه تحت شرایط تنش رطوبت بهبود بخشید.

واژگان کلیدی: تعداد غلاف در بوته، درصد روغن، درصد پروتئین، عملکرد دانه، غلظت روی.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

(نگارنده مسئول) m.aboutalebian@basu.ac.ir

مقدمه

حدود دو میلیارد نفر از جمعیت دنیا که بیش‌تر شامل کشورهای در حال توسعه هستند از عوارض کمبود روی رنج می‌برند (Prasad, 2008). کمبود روی در انسان سبب ایجاد اختلال در افزایش قد، تکامل جنسی، بلوغ، بی‌اشتهایی، ریزش مو، دیر التیام یافتن زخم ها، ایجاد خال های سفید در ناخن، کاهش سرعت رشد و نمو در نوجوانان، کاهش فعالیت ایمنی بدن و سیستم عصبی مرکزی می‌گردد (Yamada and Alpers, 2009, Suzuki *et al*., 2011). روی در فعالیت حدود ۳۰۰ آنزیم مختلف انسان نقش دارد که از جمله می‌توان به نقش فعال کننده آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز اشاره کرد، این آنزیم سلول‌های بدن را در برابر رادیکال های آزاد محافظت می‌کند (Cherasse and Urade, 2017). کمبود روی در مواد غذایی ناشی از تغذیه نامطلوب گیاهان به دلیل دسترسی کم روی در خاک است. حمایت از مصرف کودهای نیتروژن و فسفاتی و عدم حمایت از کودهای دارای عناصر ریزمغذی در طول دهه‌های گذشته در کنار آهکی بودن اغلب خاک‌های زراعی و بی‌کربناته بودن آب آبیاری کشور، از مهم‌ترین عواملی هستند که موجب سوء تغذیه گسترده به‌ویژه کمبود روی در مردم شده است (Malakouti, 2015). عنصر روی دارای نقش کارکردی و ساختاری در واکنش‌های آنزیمی گیاه می‌باشد و بیش از ۷۰ آنزیم دارای روی شناسایی شـده اسـت (Alloway, 2008) در این آنزیم‌ها، روی فعالیت کاتالیتیکی (مانند کربنیک آنهیدراز، کربوکسی پپتیداز، الکالین فسفاتاز و فسفولیپاز) یا فعالیت ساختاری (مانند الکل دهیدروژناز، CuZn-SOD و RNA پلیمراز) دارد. همچنین حدود ۲۸۰۰ پروتئین برای فعالیت و پایـداری خـود بـه روی نیـاز دارند (Cakmak and Hoffland, 2012). روی برای حفظ یکپارچگی غشاهای زیستی مورد نیاز می‌باشد و کمبود روی به از بین رفتن یکپارچگی غشایی و افزایش نشت املاح آلی و معدنی با وزن مولکولی پایین از ریشه‌ها منجر می‌گردد (Berdanier, 2007). با توجه به طیف وسیعی از اثرات روی بر متابولیسم گیاهان، به‌ویژه دفاع آنتی‌اکسیداتیو گیاهان (Cakmak and Hoffland, 2012)، انتظار می‌رود که کمبود روی، به‌طور قابل‌توجهی واکنش‌های گیاهان را به هر نوع عامل تنش محیطی تحت‌تأثیر قرار دهد.

گزارش شده که وقوع کمبود روی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که خاک‌ها، به‌ویژه خاک سطحی، معمولاً دچار کمبود آب هستند بیش‌تر است (Broadley *et al*., 2007)، تحت شرایط خشک، تحرک روی در خاک به‌شدت پایین است، بنابراین جذب روی معمولاً به واسطه‌ی دسترسی پایین به آب کاهش می‌یابد. به‌علاوه، بازداری شدید رشد ریشه در گیاهان دارای کمبود روی، به طور قابل‌توجهی حجم خاک قابل بهره‌برداری توسط ریشه‌ها را کاهش می‌دهد و جذب مواد غذایی به‌ویژه آنهایی که بیش‌تر به دسترسی مکانی وابسته هستند، را مختل می‌کند (Broadley *et al*., 2007).

گزارش شده است که توانایی گیاه یونجه در مقابله با تنش آبی طی مراحل اولیه رشد رویشی از طریق مصرف روی، افزایش یافته است (Grewal and Williams, 2000). در گندم نیز اظهار شده است تنش کمبود روی، حساسیت به خشکی را تشدید نموده است (Bagci *et al*., 2007). در نوعی کلم نیز گزارش شده است که اثر تنش خشکی بر جلوگیری از تولید ماده خشک در گیاهان دارای کمبود روی، بیش‌تر بوده است که

دلیل آن کاهش قابل توجه هدایت روزنه‌ای بوده است (Hajiboland and Amirazad, 2010).

میکوریزا با برقراری ارتباط گسترده بین خاک و ریشه در بهبود جذب آب و عناصر غذایی موثر است. گسترش هیف قارچ میکوریزا به داخل خاک، بسیار فراتر از منطقه‌ی رایزوسفر گیاه است که دلیل آن کوچک بودن قطر هیف‌ها (۲ تا ۲۰ میکرومتر) می‌باشد. به‌علاوه، هیف این توانایی را دارد که قطر خود را بسته به‌اندازه‌ی منافذ خاک تنظیم کند (Smith *et al*, 2010). قارچ میکوریزا، به‌ویژه با توجه به جذب مواد غذایی نسبتاً غیرمتحرک که نواحی تخلیه‌ی اطراف ریشه‌ها را تشکیل می‌دهند، مهم هستند (Cavagnaro, 2008). سودمندی قارچ میکوریزا بر تغذیه‌ی گیاه در خاک‌هایی با روی پایین و جایی که توزیع عناصر غذایی خاک ناهمگن است از اهمیت خاص‌تری برخوردار است (Cavagnaro, 2008). در ذرت گزارش شده است که قارچ میکوریزا جذب عناصر غذایی توسط گیاه را در محیط‌های خشک، به طورقابل توجهی افزایش داده است (Boomsma and Vjn, 2008). بهبود تغذیه‌ی گیاهان تلقیح شده با میکوریزا به اثرات غیرمستقیم آن بر تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه‌ها به‌دلیل کلونیزاسیون و اثر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و جوامع میکروبی خاک نیز نسبت داده می‌شود (Cavagnaro, 2008).

هدف پژوهش حاضر بررسی روش کوددهی سولفات روی و کاربرد میکوریزا و تاثیر آنها بر ویژگی‌های زراعی سویا تحت تنش رطوبتی بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش مزرعه‌ای در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) انجام شد. میانگین دمای دوره رشد ۲۲/۵۸ درجه سلسیوس و حداکثر و حداقل دما به‌ترتیب ۳۵/۶ و ۷/۹ درجه سلسیوس بود. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول: تنش رطوبتی در سه سطح عدم تنش، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A؛ فاکتور دوم: میکوریزا آربوسکولار در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد؛ فاکتور سوم، شیوه مصرف سولفات روی در سه سطح عدم مصرف سولفات روی، مصرف خاکی سولفات روی و محلول‌پاشی سولفات روی اجرا شد. بذر سویا رقم هابیت از شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی لرستان تهیه شد. این رقم از ارقام با رشد محدود و زودرس و حساس به خشکی می‌باشد (Mousavi *et al*., 2015).

به‌منظور آماده‌سازی بستر بذر در تابستان ۱۳۹۸ زمین مورد نظر توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. پس از خردکردن کلوخه‌ها توسط دیسک، ردیف‌های کاشت توسط فارو مشخص شدند. زمین آماده شده بر اساس شیب به سه بلوک مساوی با فواصل دو متر از یکدیگر تقسیم و هر بلوک به ۱۸ کرت به ابعاد ۳ در ۶ متر تفکیک شد. هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول ۶ متر در نظر گرفته شد. بذور قبل از کاشت با مایه تلقیح ریزوبیوم ژاپونیکوم که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شده بود به مدت یک ساعت آغشته شدند.

مایه تلقیح باکتریایی به شکل مایع بود که در هر گرم آن $۸/۵\times۱۰^{۱۱}$ باکتری زنده و فعال وجود داشت. عملیات کاشت در تاریخ ۱۷ تیرماه انجام گرفت. بذور سویا با فاصله ۵ سانتی‌متر روی ردیف‌ها کاشته شده و در مرحله ۳ تا ۴ برگی تنک شدند تا تراکم ۴۰ بوته در متر مربع حاصل شود. گونه میکوریزا موسهآ (*Glomus mosseae*) از شرکت زیست فناوران توران شاهرود با نام تجاری مایکوپرسیکا تهیه شد. این کود در هر گرم خود حاوی ۱۵۰ اسپور قارچ بود و به میزان ۲۰ گرم در هر مترمربع زمین به‌صورت نواری در کنار بذر هنگام کاشت استفاده شد. همچنین، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات از منبع سوپر فسفات تریپل به‌صورت نواری و ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره به‌صورت پخش به‌عنوان آغازگر به خاک افزوده شد. جهت اعمال تیمار مصرف خاکی ۴۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات روی پیش از کاشت استفاده شد. تیمار محلول‌پاشی سولفات روی نیز، طی دو مرحله V_3 و R_1 با غلظت ۵ در هزار سولفات روی انجام گرفت (Malakouti, 2015). در این پژوهش آبیاری در هر یک از سطوح تنش به روش قطره‌ای و با کمک نوار تیپ‌های دارای شیر قطع و وصل آب در هر خط کاشت، انجام شد.

قبل از برداشت نهایی، تعداد ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به‌صورت تصادفی مشخص شد و اجزای عملکرد دانه شامل: تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه اندازه‌گیری گردید. برای تعیین عملکرد دانه، با رعایت اثر حاشیه‌ای، سطحی معادل دو مترمربع در تاریخ ۲۸ مهر ۱۳۹۸ برداشت شد. از نسبت وزن دانه به عملکرد بیولوژیک شاخص برداشت محاسبه شد.

غلظت روی با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (David *et al*., 2007). همچنین، برای اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش سوکسله و درصد پروتئین از روش کجلدال استفاده شد.

در این تحقیق پس از کنترل نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها؛ تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS ver. 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

تعداد غلاف در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس همه اثرات به‌غیر از اثر متقابل دوگانه تنش رطوبت و شیوه مصرف سولفات روی بر تعداد غلاف در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول۲). مقایسه میانگین حاصل از این نتایج نشان داد تنش رطوبتی بدون کاربرد میکوریزا موجب کاهش قابل توجه تعداد غلاف در بوته سویا شد. همچنین در تنش ملایم و شدید رطوبتی (آبیاری پس از ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) در شرایط عدم کاربرد میکوریزا، بین مصرف خاکی و عدم مصرف سولفات روی تفاوتی مشاهده نشد و حتی در تنش شدید رطوبتی (بدون حضور میکوریزا) محلول‌پاشی نتوانست اثری بر تعداد غلاف در بوته داشته باشد (شکل ۱). میـکوریزا با گسترش ریشه‌های خارجی و افزایش سطح جذب ریشه به‌وسیله هیف‌های خود، فاصله‌ی بین ریشه و مواد غذایی را کاهش می‌دهد (James *et al*., 2008) و همین امر موجب افزایش جذب عناصر غذایی کم‌مصرف و کم‌تحرک توسط گیاهان میکوریزایی می‌شود (Aghababaei *et al*., 2011) که این همزیستی با میکوریزا با افزایش دوره زایشی و افزایش باروری و تعداد گل و غلاف نمایان می‌شود

(Mohsenabadi *et al*., 2015). همزیستی میکوریزا موجب افزایش طول ریشه و افزایش سطح جذب توسط ریشه خارجی می‌شود، در نتیجه افزایش جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک مانند روی در گیاه را ناشی می‌شود (Coccina *et al*., 2019, Aghababaei *et al*., 2011). همچنین ممکن است میکوریزا با اثر بر روزنه‌های برگ و افزایش تعرق و هدایت آبی (Auge, 2001) موجب افزایش جذب محلول‌پاشی سولفات روی شده باشد.

از آنجا که تنش رطوبتی طول دوره رویشی و زایشی گیاهان را کاهش می‌دهد (Wakrim *et al*., 2005) در نتیجه ساخت مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد از سوی دیگر رقابت درون بوته‌ای به علت کمی مواد فتوسنتزی، افزایش می‌یابد و در نتیجه ریزش گل‌ها و کاهش تعداد غلاف در بوته در اثر تنش رطوبت حادث می‌شود. بر اساس گزارش‌ها، اعمال تنش خشکی بعد از شروع مرحله تشکیل غلاف موجب کاهش تشکیل و افزایش ریزش غلاف‌ها شده است (Thalooth *et al*., 2006). مصرف سولفات روی موجب کاهش درصد ریزش گل‌ها و افزایش دوره گلدهی شده است (Bozoglu *et al*., 2007) که علت آن ممکن است در متعادل شدن تولید هورمون‌های گیاهی باشد (Alloway, 2008). مصرف روی در باقلا نیز باعث افزایش تعداد غلاف در بوته شد (El-Gizawy and Mehasen, 2009). در سویا گزارش شده است که عنصر روی از طریق افزایش سطح برگ، وزن خشک و طول دوره گلدهی باعث افزایش تعداد غلاف در بوته گردید (Kobraee *et al*., 2011).

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تعداد دانه در غلاف فقط تحت تأثیر اثرات اصلی در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد تحت تاثیر تنش رطوبتی، بیشترین تعداد دانه در غلاف (۲/۴۵) در شرایط عدم تنش شکل گرفته است و تنش رطوبتی متوسط و شدید به‌ترتیب موجب کاهش ۷ و ۱۶/۲ درصدی تعداد دانه در غلاف گردیده است (شکل ۲a). سایر گزارش‌ها نشان می دهد تنش خشکی در مرحله زایشی از طریق کاهش کارایی دانه گرده موجب سقط و کاهش ۳۷ درصدی تعداد دانه در غلاف ماش شده است (Thomas *et al*., 2003)، در اثر اصلی شیوه مصرف سولفات روی مشاهده می‌شود که محلول‌پاشی با افزایش ۷/۷ درصدی تعداد دانه در غلاف بیشتر از مصرف خاکی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف شده است (شکل ۲b).

در ذرت محلول‌پاشی، سولفات روی با تاثیر بر تشکیل بیشتر دانه و بهبود فرایندهای زایشی سبب افزایش عملکرد شده است (Mohsin *et al*., 2014). علت اثربخشی بیشتر محلول‌پاشی روی نسبت به مصرف خاکی در این است که روی در خاک تثبیت شده و به فرم غیرقابل‌جذب تبدیل می‌شود (Malakouti, 2015). تلقیح با میکوریزا افزایش ۱۹/۵ درصدی تعداد دانه در غلاف را نسبت به عدم کاربرد میکوریزا سبب شد (شکل ۲c). میکوریزا از طریق بهبود فرایند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، افزایش حلالیت فسفر خاک، افزایش ساخت سیدروفور و هورمون‌های رشد می‌تواند موجب افزایش تعداد دانه در غلاف شود (Boomsma and Vjn, 2008) علاوه بر این میکوریزا سبب افزایش جذب عناصری مانند روی، بور و آهن می‌شود (Kamaraki and Galavi, 2012).

وزن صد دانه

وزن صد دانه تحت‌تأثیر تمام اثرات به‌غیر از اثر متقابل تنش رطوبت در شیوه مصرف سولفات روی قرار گرفت (جدول ۲). تنش رطوبت به‌طورکلی منجر به کاهش وزن صد دانه شد اما در دو سطح تنش رطوبتی ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر، محلول‌پاشی سولفات روی و کاربرد میکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار وزن صد دانه گردید و در تنش شدید رطوبتی (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و در شرایط عدم تلقیح با میکوریزا، کاربرد روی تاثیری بر وزن صد دانه نداشت البته در تنش رطوبتی متوسط (آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر) و عدم کاربرد میکوریزا نیز تنها محلول‌پاشی با سولفات روی بر وزن صد دانه افزود (شکل ۳). در شرایط تنش رطوبت، کاهش وزن دانه مربوط به اختلال در کارایی جذب و انتقال مواد فتوسنتزی به درون گیاه است (Iqbal and Asghari, 2009). همچنین، تنش رطوبتی موجب تولید دانه‌های چروکیده و سبک وزن در اثر تسریع در دوره پر شدن دانه می‌شود (Bayoumi *et al*., 2008). تنش رطوبتی موجب کاهش تعداد تارهای کشنده ریشه شده و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌کند که نتیجه آن کاهش جذب عناصر غذایی به‌وسیله سیستم ریشه‌ای خواهد بود (Wu and Zou, 2009)، که به‌نظر می رسد دلیل سودمند بودن میکوریزا در پژوهش حاضر است. هیف قارچ‌های میکوریزا می‌تواند جانشین سیستم‌های ریشه‌ای شده و عناصر غذایی را جذب نماید. این نقش همزیستی میکوریزا در شرایط تنش رطوبتی شدید و ملایم بارزتر از شرایط بدون تنش می‌باشد که می‌تواند حتی سبب بهبود کارآیی مصرف خاکی سولفات روی گردد (شکل ۳). گزارش شده در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی، قارچ میکوریزا گلوموس موسهآ بر درصد کلونیزاسیون ریشه، وزن ماده خشک اندام هوایی و ریشه، جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس در اندام هوایی و ریشه اثرگذار بوده است و اثرات منفی تنش رطوبتی را کاهش داده است (Paymaneh and Zarei, 2013). در تحقیقات آمده است که عنصر روی باعث افزایش وزن هزار دانه گندم در زراعت آبی و دیم شـــده و دلیل آن را افزایش وزن دانه بیان کرده‌اند (Ma *et al*., 2017). در این گزارش همچنین اشاره شده است که عنصـــر روی بـــا افـــزایش میـــزان رنگیـــزه‌های فتوسنتزی، حـذف گونـه‌هـای اکسـیژن فعـال و کـاهش پراکسیداسیون چربی‌ها، باعث کاهش اثر تنش رطوبتی شد. در پژوهش حاضر مشاهده شد که محلول‌پاشی روی در بیشتر شرایط، بهتر از مصرف خاکی سبب افزایش وزن دانه شده است (شکل ۳) که علت آن می‌تواند به تثبیت روی در خاک و کاهش تحرک آن برگردد (Wei *et al*., 2012).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی و متقابل دوگانه در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل سه‌گانه تنش رطوبتی، میکوریزا و شیوه مصرف سولفات روی بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان می‌دهد میکوریزا در همه سطوح آبیاری به‌ویژه تنش رطوبتی شدید عملکرد دانه را به‌صورت بسیار قابل توجهی افزایش داده است (شکل ۴a). عملکرد دانه حاصل بخش‌هایی از جمله تعداد بوته‌ها در واحد سطح، میزان تولید ماده خشک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه می‌باشد (Prasad, 2008) که با توجه به اثرات میکوریزا بر

اجزای عملکرد که جلوتر به آنها اشاره شد، افزایش عملکرد دانه قابل توجیه است. در یک آزمـایش مزرعه‌ای بر روی سـه ژنوتیپ بادام‌زمینی مشخص شده که میکوریزا سبب افـزایش ۶۶ درصدی عملکرد دانه شده است. (Atayese, 2005). در گیاه نخود نیز کاربرد میکوریزا سبب افزایش عملکرد شده است (Khosrojerdi *et al*., 2013). اثر متقابل دوگانه میکوریزا و شیوه مصرف سولفات روی نشان داد عدم تلقیح با میکوریزا منجر به عدم تفاوت مصرف خاکی با عدم مصرف سولفات روی در عملکرد سویا گردیده است (شکل 4b) به بیان دیگر میکوریز با افزایش سطح تماس ریشه با خاک می‌تواند سبب بهبود جذب روی شود که خود سبب افزایش عملکرد خواهد شد. بیان شده است که میکوریزا از طریق تغییر در شکل و حجم ریشه موجب تغییر وضعیت تغذیه‌ای و سطح ترکیبات هورمونی گیاه می‌شود (Yao *et al*., 2005). افزایش سطح ریشه میکوریزایی، خود موجب افزایش جذب روی بیش‌تر در مصرف خاکی می‌شود (Coccina *et al*., 2019). همچنین، میکوریزا سبب افزایش تعداد برگ‌ها، افزایش تعرق، تعداد روزنه‌ها و بازشدن روزنه‌های برگ می‌شود (Porcel *et al*., 2003, Sabannavar and Lakshman, 2008) که همین امر می‌تواند موجب افزایش کارآیی محلول‌پاشی سولفات روی باشد. در اثر متقابل دوگانه تنش رطوبتی و شیوه مصرف سولفات روی نیز مشاهده شد که محلول‌پاشی نسبت به مصرف خاکی، عملکرد دانه را در هر سه سطح تنش رطوبتی افزایش بیشتری داده است (شکل 4c) که نشان‌دهنده کارآیی بیشتر روش محلول‌پاشی نسبت به مصرف خاکی است و هم‌نشان از تأثیرگذاری بالای عنصر روی در افزایش عملکرد دانه و کاهش اثرات تنش در سویا است. در آزمایشی بر روی سویا مشخص شده است که محلول‌پاشی سولفات روی موجب افزایش عملکرد دانه و کاهش اثرات تنش بر روی این گیاه شده است و دلیل آن را نقش عنصر روی در تقویت جدار سلولی و در نتیجه افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش محیطی اعلام کرده‌اند (Odeley *et al*., 2007). در جو نیز مصرف روی باعث افزایش ۱۷/۵ درصدی عملکرد شده است (Babaeian *et al*., 2011).

شاخص برداشت

در این پژوهش شاخص برداشت تنها تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارها در سطح معنی‌داری یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تنها تنش رطوبتی شدید موجب کاهش ۱۹ درصدی شاخص برداشت شده است، در حالی‌که تنش رطوبتی ملایم اثری بر شاخص برداشت نداشته است (شکل 5a). در گزارشی بیان شده که تنش حاصل از ۱۲۰میلی‌متر تبخیر از تشت، شاخص برداشت ذرت را به‌شدت کاهش داده و دلیل آن را کاهش سطح برگ و کم شدن دوره پر شدن دانه اعلام نموده‌اند (Ghassemi-Golezani *et al*., 2018). محلول‌پاشی سولفات روی سبب افزایش ۱۱ و ۱۵ درصدی شاخص برداشت به‌ترتیب نسبت به مصرف خاکی و عدم مصرف سولفات روی شده است (شکل 5b). محلول‌پاشی سولفات روی با اثرگذاری بر عملکرد و وزن خشک کل موجب افزایش شاخص برداشت شده است. در کلزا محلول‌پاشی سولفات روی با افزایش تعداد خورجین در بوته موجب افزایش عملکرد دانه گردید (Afshani *et al*., 2015).

تلقیح با میکوریزا نیز سبب افزایش شاخص برداشت می‌گردد (شکل 5c). به نظر می‌رسد

بهبود جذب عناصر غذایی و رطوبت و افزایش سطح هورمون‌های گیاهی تحت‌تأثیر میکوریزا (Southavong *et al*., 2012) با افزایش بنیه گیاه و افزایش میزان انتقال مجدد ترکیبات آلی از اندام‌های هوایی به دانه ارتباط مستقیمی داشته باشد.

درصد روغن

نتایج تجزیه واریانس درصد روغن نشان داد این صفت مهم تنها تحت تأثیر اثرات اصلی قرار گرفته است (جدول ۲). مقایسه میانگین درصد روغن نشان می‌دهد تنش رطوبتی ملایم و شدید به‌ترتیب منجر به کاهش ۲/۶ و ۶ درصدی روغن دانه گردید (شکل ۶a). تنش رطوبتی با کوتاه کردن دوره رشد سبب کاهش درصد روغن دانه می‌شود (Mousavi *et al*., 2015). در آزمایشی بر روی کلزا مشخص شد که تنش رطوبتی (۷۰ درصد تخلیه رطوبتی) موجب کاهش ۱۱/۵ درصدی روغن دانه شده است (Seyed Ahmadi *et al*., 2015). همچنین، افزایش تنش رطوبتی موجب کاهش درصد روغن دانه کنجد شده است (Kazemi Poshtmasari *et al*., 2016). نتایج حاصل نشان‌دهنده افزایش درصد روغن در نتیجه استفاده خاکی و محلول‌پاشی سولفات روی است که محلول‌پاشی سولفات روی با افزایش ۳ درصدی نسبت به مصرف خاکی، بیشترین کارآیی را در افزایش درصد روغن دانه نشان داد (شکل ۶b). گزارش شده است که کمبود روی باعث جلوگیری از فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود که نهایتاً منجر به خسارات شدید و گسترده به غشای لیپیدی می‌شود، همین امر موجب کاهش درصد روغن دانه می‌شود (Cakmak and Hoffland, 2012). در تحقیقی علت افزایش روغن دانه را در اثر مصرف روی، به افزایش میزان اسیدهای چرب اشباع که مقاومت بیشتری به اکسیداسیون دارند نسبت داده‌اند (Shahsavari *et al*., 2014). همچنین، ممکن است محلول‌پاشی سولفات روی به دلیل افزایش متابولیسم چربی‌ها و رفع به‌موقع نیاز گیاه به عنصر روی، باعث افزایش بیشتر میزان روغن دانه شده باشد (Kamaraki and Galavi, 2012).

کاربرد میکوریزا سبب افزایش ۵/۱ درصدی روغن دانه شده است (شکل ۶c) که می‌تواند به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه عنصر روی در شرایط تلقیح با این نوع قارچ باشد (Yao *et al*., 2005).

درصد پروتئین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) تمامی اثرات به جز اثر متقابل شیوه مصرف سولفات روی در میکوریزا بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه نشان می‌دهد که بیشترین درصد پروتئین مربوط به تنش رطوبتی ملایم همراه با تلقیح با میکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی با ۴۱ درصد و سپس عدم تنش رطوبتی همراه با میکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی با ۴۰ درصد پروتئین می‌باشد (شکل ۷). از آنجا که در هنگام پر شدن دانه در ابتدا پروتئین تشکیل می‌شود احتمالاً در شرایط تنش ملایم رطوبتی این امر منجر به افزایش درصد پروتئین دانه شده است (Thalooth *et al*., 2006). در کلزا تخلیه ۷۰ درصدی رطوبت خاک موجب کاهش ۱۸/۵ درصدی پروتئین شده است (Seyed Ahmadi *et al*., 2015). با توجه به شکل ۷ کاربرد روی به‌ویژه بصورت محلول‌پاشی افزایش معنی‌داری را در تمام ترکیبات تیماری سبب شده است. از آنجا که عنصر روی نقشی اساسی در سنتز پروتئین‌ها، DNA و RNA ایفا

می‌کند می‌تواند موجب افزایش پروتئین دانه گردد (Alloway, 2008; Broadley *et al.*, 2007). در آزمایش گلخانه‌ای بر روی سیر، تأثیر روی را بر فعالیت‌های آنزیمی بررسی و مشخص شد که بالاترین مقدار فعالیت کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و مقدار پروتئین محلول و رنگدانه‌های کلروفیل در مصرف ۰/۳ گرم سولفات روی بر هر گلدان حاصل شد و همچنین با مصرف ۰/۲ گرم سولفات روی اسیدهای آمینه آزاد و مقدار پروتئین محلول به ترتیب ۳۳ و ۸ درصد بیشتر از شاهد گردید (Yang *et al.*, 2005). افزایش پروتئین در دانه ماش نیز در اثر مصرف سولفات روی گزارش شده است (Thalooth *et al.*, 2006). در پژوهش حاضر کاربرد میکوریزا در تمامی ترکیبات تیماری نسبت به عدم کاربرد آن افزایش قابل توجهی در پروتئین دانه ایجاد کرده است که البته این افزایش در شرایط تنش رطوبتی ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و تحت شرایط عدم مصرف سولفات روی بسیار زیاد بوده است (بیش از ۱۲ درصد افزایش) که می‌تواند به معنی سودمندی میکوریزا در جذب عناصر غذایی به‌ویژه روی در شرایط کمبود رطوبت و افزایش ساخت پروتئین دانه باشد (شکل ۷). در گیاه باقلا گزارش شده است که کاربرد میکوریزا سبب افزایش پروتئین دانه شده است (Dubova *et al.*, 2015). همچنین، میکوریزا می‌تواند با اثرگذاری بر سطح برگ و حرکت سلول‌های محافظ روزنه‌های برگ سویا موجب افزایش کارایی محلول‌پاشی روی شود (Porcel *et al.*, 2003).

غلظت روی دانه

بجز اثر متقابل دوگانه تنش رطوبتی و شیوه مصرف سولفات روی، میکوریزا و شیوه مصرف سولفات روی که معنی‌دار نشد مابقی اثرات اصلی، اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه بر غلظت روی دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین در حالت اثر متقابل سه‌گانه نشان می‌دهد عدم تنش رطوبتی همراه با کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی بیشترین میزان غلظت روی یعنی ۳۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم را حاصل کرده است (شکل ۸). در بررسی چند منبع کودی حاوی عنصر روی شامل سولفات روی، کلات روی، سیترات روی و اسیدآمینه روی و اثربخشی آنها بر روی سه رقم برنج گزارش شد که محلول‌پاشی بیشتر از شیوه‌های دیگر کاربرد، توانست موجب افزایش غلظت روی دانه شود و در میان چهار نوع کود مزبور سولفات روی و اسیدآمینه روی اثربخش‌تر بودند (Wei *et al.*, 2012). در لوبیا نیز محلول‌پاشی سولفات روی موجب افزایش غلظت روی دانه شده است (Kazemi Poshtmasari *et al.*, 2008). علت سودمندی محلول‌پاشی روی، ورود تسهیل شده و ذخیره‌سازی این عنصر در سلول‌های برگی و انتقال مجدد آن همراه با آهن توسط ناقل‌های پروتئینی خاص به درون دانه عنوان شده است (Ishimaru *et al.*, 2005). بر اساس شکل ۸، در تمام ترکیبات تیماری محلول‌پاشی سولفات روی در شرایط تلقیح با میکوریزا بیشترین غلظت روی را در دانه ایجاد کرده است. کاربرد میکوریزا سبب تغییر در انعطاف‌پذیری و بهبود پتانسیل آب سلول‌های برگ‌ها و همچنین افزایش تعداد روزنه‌های برگ و بازماندن طولانی‌تر روزنه‌ها می‌شود (Auge, 2001; Porcel *et al.*, 2003) که در نهایت می‌تواند سبب افزایش بیشتر اثربخشی محلول‌پاشی سولفات روی گردد. در تمام سطوح تنش رطوبت، حضور میکوریزا توانسته است غلظت روی را در شیوه مصرف خاکی هم افزایش دهد به نحوی که در

تنش شدید رطوبت، حضور میکوریزا غلظت روی دانه را حدود ۳ درصد افزایش داده است (شکل ۸). این نشان می‌دهد میکوریزا می‌تواند جذب روی را بهبود ببخشد (Coccina *et al*., 2019, Yao *et al*, 2005). در گندم و جو (Coccina *et al*., 2019) و نخود (Khosrojerdi *et al*., 2013) نیز همزیستی میکوریزا با موجب افزایش غلظت روی دانه شده است.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست آمده، محلول‌پاشی با سولفات روی در مقایسه با مصرف خاکی آن افزایش معنی‌داری در عملکرد، اجزای عملکرد و درصدهای روغن، پروتئین و روی دانه ایجاد کرد که البته تنش رطوبت این سودمندی را کاهش داد. اما نتیجه مهم‌تر آن است که کاربرد میکوریزا نه تنها منجر به کاهش اثرات تنش رطوبتی شد بلکه کارایی محلول‌پاشی و حتی مصرف خاکی سولفات روی را افزایش داد. لذا کاربرد میکوریزا در کنار محلول‌پاشی سولفات روی می‌تواند عوارض نامطلوب تنش رطوبتی را بر کمیت و کیفیت سویا به نحو قابل توجهی بهبود بخشد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physico-chemichal characteristics of the soil

بافت خاک Soil Texture	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل (%) Total N	کربن آلی OC (%)	pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
لومی رسی clay loam	0.36	104	6.2	0.11	1.29	8.13	0.145

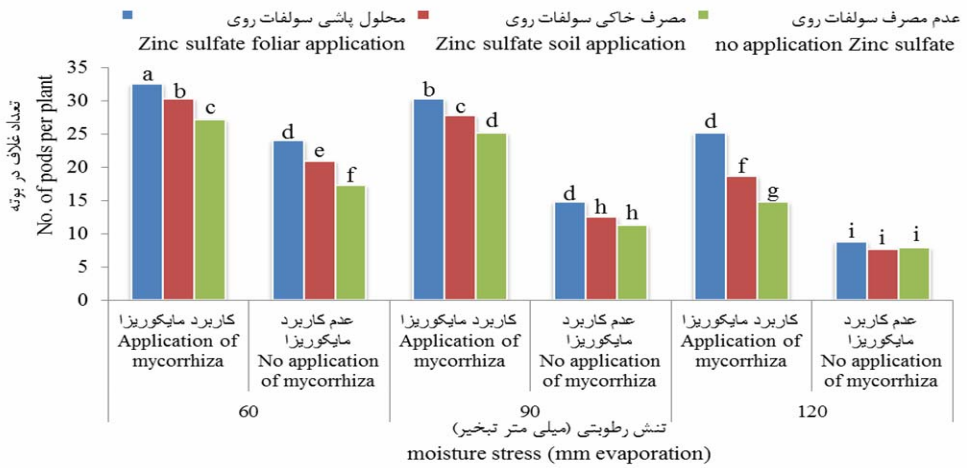
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش رطوبتی و میکوریزا و شیوه مصرف سولفات روی بر صفات زراعی سویا

Table 2- Analysis of variance of the effect of moisture stress and mycorrhiza and zinc sulfate application method on soybean agronomic traits

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f.	تعداد غلاف در بوته No. pod per plant	تعداد دانه در غلاف No. of grain per pod	وزن صد دانه Hundred seeds weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percentage	درصد پروتئین Protein percentage	غلظت روی Zinc concentration
بلوک Block	2	14.7**	0.03*	1.49**	88900.34**	19.89*	0.07^{ns}	0.11^{ns}	0.058**
تنش رطوبتی Moisture stress (ST)	2	605.15**	0.67**	94.84**	4814124.68**	180.94**	6.16**	22.77**	1.36**
شیوه مصرف روی Zinc sulfate application method (Zn)	2	128.7**	0.26**	15.71**	1568592.42**	92.36**	10.77**	15.77**	4.95**
میکوریزا Mycorrhiza(MYC)	1	1901.6**	2.06**	271.21**	16101551.1**	232.13**	10.44**	60.46**	2.77**
ST×Zn	4	2.3^{ns}	0.001^{ns}	0.15^{ns}	86892.5**	6.76^{ns}	0.06^{ns}	0.98**	0.008^{ns}
ST×MYC	2	36.78**	0.02^{ns}	9.1**	182622.9**	13.56^{ns}	0.008^{ns}	0.54**	0.12**
Zn×MYC	2	12.29**	0.02^{ns}	0.66*	157977.4**	6.46^{ns}	0.029^{ns}	0.25^{ns}	0.05^{ns}
ST×Zn×MYC	4	12.33**	0.01^{ns}	1.22**	22165.57^{ns}	2.37^{ns}	0.008 ^{ns}	1.45**	0.056*
خطای آزمایشی Error	34	1.3	0.008	0.17	14181.24	6.14	0.029	0.08	0.016
ضریب تغییرات (%) C.V.		5.75	4.08	4.05	8.87	8.56	0.89	0.78	0.4

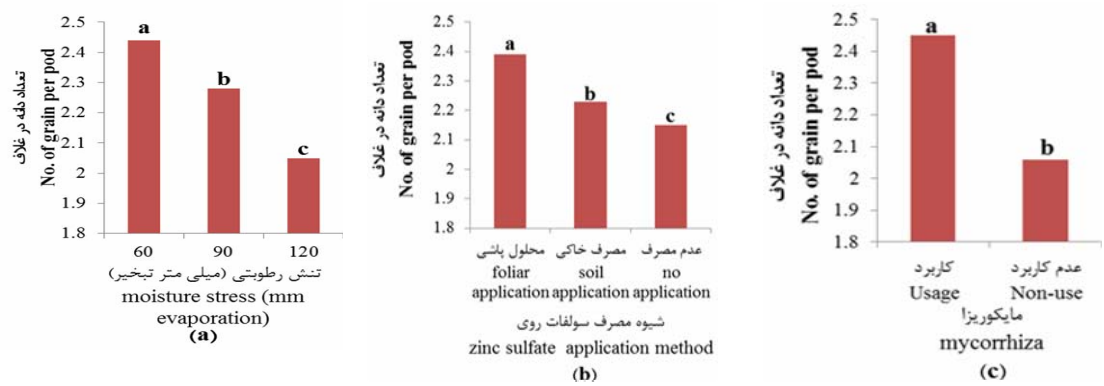
ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی عدم معنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ ٪ است.

ns, * and **: Non significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.



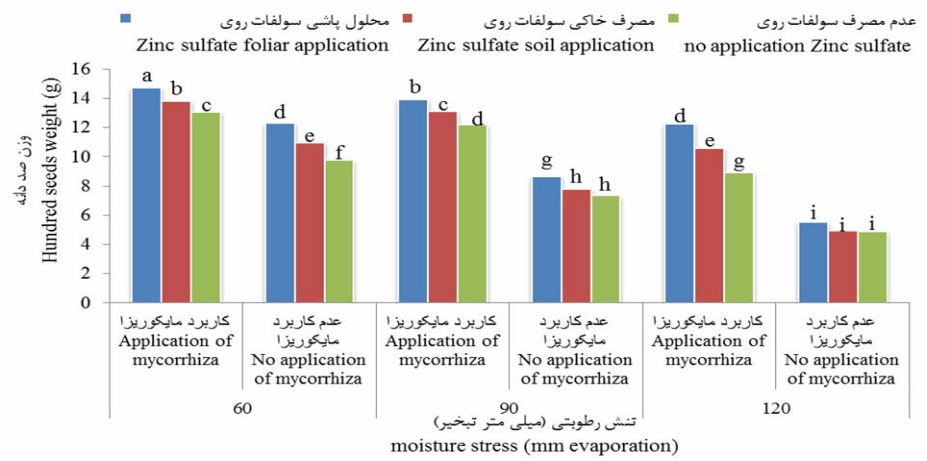
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش رطوبتی، میکوریزا و شیوه مصرف سولفات روی بر تعداد غلاف در بوته سویا

Figure 1- Comparison of the mean interaction of moisture stress, mycorrhiza and zinc sulfate consumption on the number of pods per soybean plant



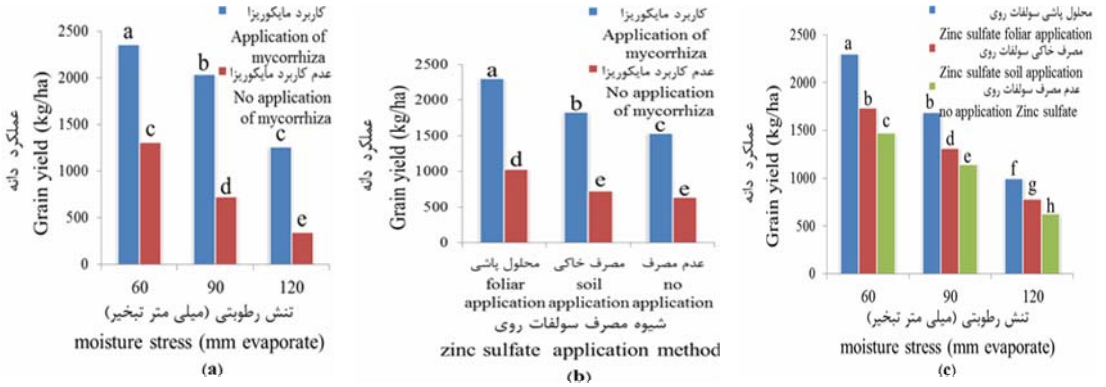
شکل ۲- اثر تنش رطوبتی (a)، شیوه مصرف سولفات روی (b) و میکوریزا (c) بر تعداد دانه در غلاف سویا

Figure 2- Effect of moisture stress (a), application method of zinc sulfate (b) and mycorrhiza (c) on the number of seeds per soybean pod



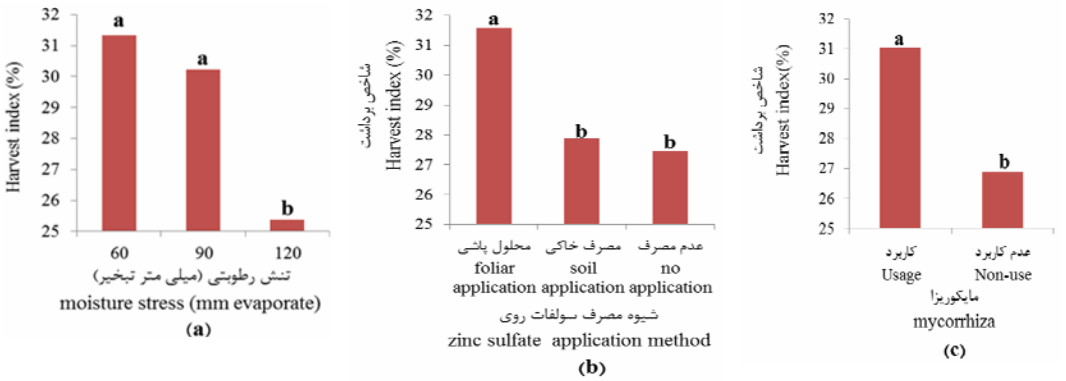
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش رطوبتی، میکوریزا و شیوه مصرف سولفات روی بر وزن صد دانه سویا

Figure 3- Comparison of the mean interaction of water stress, mycorrhiza and zinc sulfate consumption on one hundred seeds weight of soybean



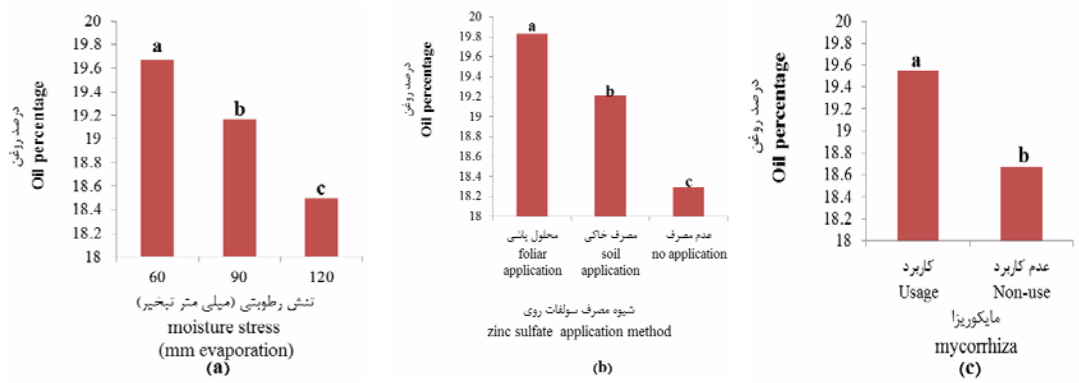
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه؛ تنش رطوبتی و میکوریزا (a)، شیوه مصرف سولفات روی و میکوریزا (b)، تنش رطوبتی و شیوه مصرف سولفات روی (c) بر عملکرد دانه سویا

Figure 4- Comparison of the mean of the dual interactions; moisture stress and mycorrhiza (a), method of application of zinc sulfate and mycorrhiza (b), moisture stress and method of application of zinc sulfate (c); on soybean yield



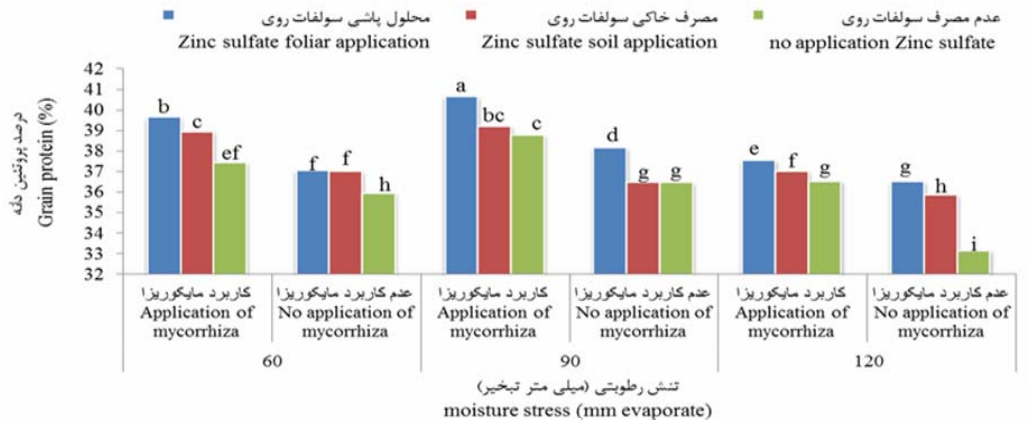
شکل ۵- اثر تنش رطوبتی (a)، شیوه مصرف سولفات روی (b) و میکوریزا (c)؛ بر شاخص برداشت سویا

Figure 5- Effect of moisture stress (a), zinc sulfate consumption (b) and mycorrhiza (c); on soybean harvest index



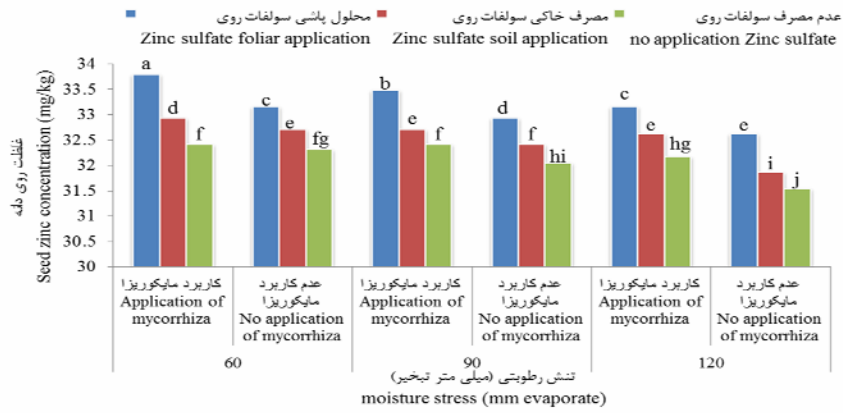
شکل ۶- اثر تنش رطوبتی (a)، شیوه مصرف سولفات روی (b) و میکوریزا (c) بر درصد روغن دانه سویا

Figure 6- Effect of moisture stress (a), zinc sulfate consumption (b) and mycorrhiza (c); on the percentage of soybean seed oil



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش رطوبتی، میکوریزا و شیوه مصرف سولفات روی بر درصد پروتئین دانه سویا

Figure 7- Comparison of the mean interaction of moisture stress, mycorrhiza and zinc sulfate consumption method on soybean seed protein percentage



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش رطوبتی، میکوریزا و شیوه مصرف سولفات روی بر غلظت روی دانه سویا

Figure 8- Comparison of the mean interaction of moisture stress, mycorrhiza and zinc sulfate consumption on soybean seed zinc concentration

References

منابع مورد استفاده

- Afshani, S., R. Amirnia, and H. Hadi. 2015. Study effect of foliar application of iron and zinc on yield and yield components of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.) under limited irrigation. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(1): 43-52. (In Persian).
- Aghababaei, F., F. Raiesi, and H. Nadian. 2011. Influence of mycorrhizal symbiosis on the uptake of nutrients in some commercial genotypes of almond in a sandy loam soil. *Journal of Soil Research*. 25(2): 137 – 147. (In Persian).
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. Second Edition. Published by IZA and IFA. France. 135 pp.
- Atayese, M.O. 2005. Field response of groundnut (*Arachis hypogea* L.) cultivars to mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer in the transitional agro-ecological zone of South West Nigeria. *Moor Journal of Agricultural Research*. 2(1):16-23.
- Auge, R.M. 2001. Water relations drought and vesicular–arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 11(1): 3–42.
- Babaeian, M., M. Heidari, and A. Ghanbari. 2011. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annus* L.). 12(4): 377-391. (In Persian).
- Bagci, S.A., H. Ekiz, A. Yilmaz, and I. Cakmak. 2007. Effect of Zn deficiency and drought on grain yield of field grown wheat cultivars in central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 193(3): 198–206.

- Bayoumi, T.Y., M.H. Eid, and E.M. Metwali. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *The African Journal of Biotechnology*. 7(14): 2341-2352.
- Berdanier, C.D., J.T. Dwyer, and E.B. Feldman. 2007. Handbook of nutrition and food. Boca Raton. Florida: CRC Press. 248pp.
- Boomsma, C.R., and T.J. Vjn. 2008. Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*. 108(1): 14-31.
- Bozoglu, H., H. Ozcelik, Z. Mut, and E. Pesken. 2007. Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to zinc and molybdenum fertilization. *Bangladesh Journal of Botany*. 36(2): 145-149.
- Broadley, M.R., P.J. White, J.P. Hammond, I. Zelko, and A. Lux. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist*. 173(4): 677–702.
- Cakmak, I., and L. Hoffland. 2012. Zinc for the improvement of crop production and human health. *Plant and Soil*. 361(1): 1-2.
- Cavagnaro, T.R. 2008. The role of arbuscular mycorrhizas in improving plant zinc nutrition under low soil zinc concentrations: a Review. *Plant and Soil*. 304(1): 315-325.
- Cherasse, Y., and Y. Urade. 2017. Dietary zinc acts as a sleep modulator. *International Journal of Molecular Sciences*. 18(11): 23-34.
- Coccina, A., T.R. Cavagnaro, E. Pellegrino, L. Ercoli, M.J. McLaughlin, and S.J. Watts-Williams. 2019. The mycorrhizal pathway of zinc uptake contributes to zinc accumulation in barley and wheat grain. *BMC Plant Biology.* 19: 133.
- David, D., N. Gerald, R. Carolyn, and R.H. Paul. 2007. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biological Agriculture and Horticulture*. 25(1): 67-78.
- Dubova, L., A. Senberga, and I. Alsiņa. 2015. The effect of double inoculation on the broad beans (*Vicia faba* L.) yield quality. *Research Rural Develoment*. 1(1): 39-34.
- El-Gizawy, N.Kh.B., and S.A.S. Mehasen. 2009. Response of faba bean to bio, mineral phosphorus fertilizers and foliar application with zinc. *World Applied Sciences Journal*. 6(10): 1359-1365.
- Ghassemi-Golezani, K., Sh. Heydari, and B. Dalil. 2018. Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *Acta Agriculturae Slovenica*. 111(1): 25-32.
- Grewal, H.S., and R. Williams. 2000. Zinc nutrition affects alfalfa responses to water stress and excessive moisture. *Journal of Plant Nutrition*. 23(7): 949-962.
- Hajiboland, R., and F. Amirazad. 2010. Drought tolerance in Zn-deficient red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata f. rubra) plants. *Horticultural Science*. 37(1): 88-98.
- Iqbal, S., and B. Asghari. 2009. Water stress induced changes in antioxidant enzymes, membrane stability and seed protein profile of different wheat accessions. *African Journal of Biotechnology.* 8(23): 6576-6587.
- Ishimaru, Y., M. Suzuki, T. Kobayashi, M. Takahashi, H. Nakanishi, S. Mori, and N. K. Nishizawa. 2005. OsZIP-4, a novel zinc-regulated zinc transporter in rice. *Journal of Experimental Botany*. 56(422): 3207-3214.

- James, B., D. Rodel, U. Lorettu, E. Reynaldo, and H. Tariq. 2008. Effect of vesicular arbescular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistavce of *Senna Spectabilis*. *Pakistan Journal of Botanicaly*. 40(5): 2217-2224.
- Kamaraki, H., and M. Galavi. 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*. 4(3): 201-206. (In Persian).
- Kazemi Poshtmasari, H., M.A. Bahmanyar, H. Pirdasht, and M.A. Ahmadi Shad. 2016. Effects of Zn rates application forms on protein and some micronutrients accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 11(7): 1042-1046.
- Khosrojerdi M., A. Shahsoni, M. Gholipour, and H.R. Asghari. 2013. Effect of rhizobium and mycorrhizal fungi inoculation on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer. *Crop Production*. 6(3): 71-87. (In Persian).
- Kobraee, S., G. Noormohamadi, H. Heidari Sharifabad, F. Darvish Kajori, and B. Delkhosh. 2011. Influence of micronutrient fertilizer on soybean nutrient composition. *Indian Journal of Science and Technology*. 4(7): 763-769.
- Ma, D., D. Sun, C. Wang, H. Ding, H. Qin, J. Hou, X. Huang, Y. Xie, and T. Guo. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 8(1): 1-12.
- Malakouti, M.J. 2015. Optimal fertilizer use recommendation for agricultural products in Iran, determining the amount, type and timing of fertilizer use with the aim of relative self-sufficiency, healthy food production and increasing farmers' incomes. Mobalagan Press. 348 pp. (In Persian).
- Mohsin, A.U., H. Ahmad, M. Farooq, and S. Ullah. 2014. Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 24(5): 1494-1503.
- Mohsenabadi, G., H. Saberi, M. Majidian, and S. Ehteshami. 2015. Integrated application of biological and chemical fertilizers on bean (*Phaseolus vulgaris*) under Rasht climate conditions. *Journal Pulses Research*. 6(1): 21-31. (In Persian).
- Mousavi S.A., M.D. Khaledian, A. Ashrafzadeh, and P. Shahinrokhsar. 2015. Effects of limited irrigation on yield and water productivity increasing of three soybean genotypes in Rasht region. *Journal of Water Research in Agriculture*. 29(4): 433-446. (In Persian).
- Odeley, F.O., O.M.O. Odeley, and M.O. Animashaun. 2007. Effects of nutrient foliar spray on soybean growth and yield (*Glycine max* L.) in south west Nigeria. *Australian Journal of Crop Science*. 35(2): 1842-4309.
- Paymaneh, Z., and M. Zarei. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth parameters and nutrients uptake of sour orange (*Citrus aurantium*) under water stress conditions. *Journal of Soil Biology*. 1(1): 13-24. (In Persian).
- Porcel, R.J.M., J. Barea, and M. Ruiz-Lozano. 2003. Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. *New Phytologist*. 157(1): 135–143.
- Prasad, A.S. 2008. Zinc deficiency: has been known of for 40 years but ignored by global health organisations. *British Medical Journal*. 326(7386): 409–410.

- Sabannavar, S.J., and H.C. Lakshman. 2008. Interactions between *Azotobacter pseudomonas* and arbuscular mycorrhizal fungi on two varieties of *Sesamum indicum* L. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 194(6): 470-478
- Seyed Ahmadi, A., A. Bakhshandeh, and M. Gharineh. 2015. Evaluation physiological characteristics and grain yield canola cultivars affected by end seasonal drought stress under weather conditions of Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(1):71-80. (In Persian).
- Shahsavari, N., H.M. Jais, and A.H. Shirani-Rad. 2014. Responses of canola oil quality characteristics and fatty acid composition to zeolite and zinc fertilization under drought stress. *International Journal of Agriscience*. 4(1): 49-59.
- Smith, S.E., E. Facelli, S. Pope, and F.A. Smith. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil*. 326(1): 3-20.
- Southavong, S., T.R. Preston, and N. Van Man. 2012. Effect of biochar and biodigester effluent on growth of water spinach (*Ipomoea aquatic*) and soil fertility. *Livestock Research Rural Development*. 24(2): 145-159.
- Suzuki, H., A.A. Sakawa, J.B. Li., M. Tsai, H. Amitani, K. Ohinata, M. Komai, and A. Inui. 2011. Zinc as an appetite stimulator - the possible role of zinc in the progression of diseases such as cachexia and sarcopenia. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*. 3(3): 226–31.
- Thalooth, A.T., M.M. Tawfik, and H. Magda Mohamed. 2006. Comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2(1): 37-46.
- Thomas, R., M.J. Robertson, S. Fukai, and M.B. Peoples. 2003. The effect of timing and severity of water deficit on growth development, yield accumulation and nitrogen fixation of mung bean. *Field Crop Research*. 86(1): 67-80.
- Wakrim, R., S. Wahabi, H. Tahi, B. Aganchich, and R. Serraj. 2005. Comparative effect of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relation and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 106(2): 275-287.
- Wei, Y., M.J.I. Shohag, and X. Yang. 2012. Biofortification and bioavailability of rice grain zinc as affected by different forms of foliar zinc fertilization. *Plos One*. 7 (9): 1-10.
- Wu, Q.S., and Y.N. Zou. 2009. Mycorrhizal influence on nutrient uptake of citrus exposed to drought stress. *The Philippine Agricultural Scientist*. 92(1): 33-38.
- Yamada, T., and D.H. Alpers. 2009. Textbook of gastroenterology (5th ed.). Blackwell Pub. 495- 2526pp.
- Yang, F.J., S. Liu, and X. Zang. 2005. Effect of zinc on physiological-biochemical indexes and nutrition quality of garlic. *Soil and Fertilizers*. 1(1): 35-38.
- Yao, Q., H.H. Zhu, and J.Z. Chen. 2005. Growth responses and endogenous IAA and iPAs changes of litchi (*Litchi chinensis*) Sonn seedlings induced by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation. *Horticultural Science*. 105(1): 145–151.

Research Article DOI:

Improving the Yield and some Agronomic Characteristics of Soybean under Water Stress Conditions using Mycorrhiza and Zinc Sulfate

Pouya Sohrabi Nour[1], Mohammad Ali Aboutalebian[2*] and Javad Hamzei[2]

Received: April 2022 , Revised: 25 June 2022, Accepted: 10 July 2022

Abstract

In order to investigate the effect of mycorrhiza inoculation and application method of zinc sulfate fertilizer on yield and some agronomic characteristics of soybean, an experiment was conducted under water stress conditions. This factorial experiment was performed based on a randomized complete block design with three replications in the research farm of Bu-Ali Sina University. Experimental factors were water stress at three irrigation levels after 60, 90 and 120 mm evaporation from the class A evaporation pan; application method of zinc sulfate fertilizer with three levels of foliar feeding, soil application and no-fertilizer and mycorrhiza (*Glomus mosseae*) in two levels of application and non-application. The results showed that foliar feeding of zinc sulfate in all treatments except severe moisture stress and no-mycorrhiza conditions better than soil application of zinc sulfate led to a significant increase in the number of pods per plant, 100-seed weight, grain yield and zinc concentration. Mycorrhiza increased the number of seeds per pod by 19.5%, harvest index by 17% and seed oil by 5.1%. In the absence of mycorrhiza, there was no difference in grain yield between soil application and non-consumption of zinc sulfate. Moderate moisture stress compared to non-stress conditions increased the grain protein percentage and the highest value (41%) was obtained under moderate moisture stress conditions and mycorrhiza and zinc sulfate foliar feeding. The highest concentration of grain zinc (33.8 $mg.kg^{-1}$) was obtained from non-stress moisture treatment under the conditions of mycorrhiza and foliar feeding of zinc sulfate In general, yield, oil and protein percentages and zinc content of soybean can be improved by the simultaneous application of mycorrhiza and zinc sulfate foliar application, especially under conditions of moisture stress.

Key words: Concentration of zinc, Grain yield, Number of pods per plant, Percentage of oil, Percentage of protein.

1- Former M.Sc. Student of Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
**Corresponding Authors: m.aboutalebian@basu.ac.ir*