نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۶۰-۴۴۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 448-460

تأثیر همزیستی با گونه‌های قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط مشهد

علیرضا کوچکی[1*]- سارا بخشائی[2]- سرور خرم‌دل[3]- ویدا مختاری[2]- شهربانو طاهر آبادی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۲۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت اصلی سه سطح آبیاری شامل ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ متر مکعب آبیاری در هکتار و کرت‌های فرعی تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا شامل *Glomus mosseae* و *G. intraradices* و شاهد بود. نتایج نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر تمام اجزای عملکرد به‌جز وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب براساس عملکرد بیولوژیک و دانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. با افزایش مقدار آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار عملکرد بیولوژیک و دانه به‌ترتیب برابر با ۵۲ و ۱۱۸ درصد بهبود یافت. افزایش مقدار آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار بهبود ۲۲ درصدی کارایی مصرف آب کنجد براساس عملکرد دانه را موجب شد. تلقیح با گونه‌های میکوریزا اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک و دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب کنجد براساس عملکرد بیولوژیک و دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p\leq$۰/۰۵). تلقیح با*G. mosseae* عملکرد دانه را به‌ترتیب برابر با ۷ و ۱۲ درصد در مقایسه با *G. intraradices* و شاهد بهبود بخشید. میزان این بهبود برای کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه به‌ترتیب برابر با ۷ و ۲۴ درصد بود. تلقیح با میکوریزا با بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای و در نتیجه افزایش فراهمی رطوبت و دسترسی به عناصر غذایی موجب بهبود کارایی مصرف آب گردیده است که این تأثیر برای گونه *G. mosseae* بالاتر از گونه *G. intraradices* بود.

واژه‌های کلیدی: توسعه سیستم ریشه‌ای، دانه روغنی، کشاورزی پایدار، همزیستی میکوریزایی

مقدمه

ازجمله راهکارهای مهم در زمینه حفظ محیط زیست و بهره‌برداری متعادل از طبیعت در راستای توجه به اصول کشاورزی پایدار، استفاده از پتانسیل ژنتیکی گیاهان برای دستیابی به بالاترین عملکرد و بهبود کارآیی مصرف منابع و استفاده از ریزموجودات همزیست و همیار به‌منظور افزایش رشد گیاه و جذب عناصر غذایی می‌باشد (۱۳). نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که امروزه بزرگترین چالش، افزایش تولید غذا است؛ به‌طوری‌که به محیط زیست آسیب وارد نشود و سلامت مصرف‌کنندگان نیز حفظ شود (۳۶).

همزیستی گیاهان با قارچ میکوریزا، پس از همزیستی تیره بقولات با *ریزوبیوم*‌ها، یکی از مهم‌ترین روابط دوگانه‌ای است که بین گیاهان و قارچ‌ها وجود داشته و برای افزایش رشد و بهبود جذب عناصر غذایی به میزان زیادی مورد توجه اکثر محققین قرار گرفته است. قارچ‌های میکوریزا عمدتاً رشد گیاهان را از طریق بهبود جذب عناصر غذایی تحت تأثیر افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای بهبود می‌بخشند (۴ و ۳۳). بدین‌ترتیب، یکی از مهم‌ترین اثرات میکوریزا، افزایش عملکرد گیاهان زراعی است که این امر تحت تأثیر افزایش سطح جذب فعال سیستم ریشه‌ای از طریق نفوذ میسلیوم قارچ در خاک بوده و در نتیجه به دلیل تماس بیشتر با خاک منجر به بهبود دسترسی به آب و عناصر غذایی می‌شود (۱۴). نتایج برخی بررسی‌ها مؤید این مطلب است که تلقیح با قارچ میکوریزا جذب عناصر غیرمتحرک به‌ویژه فسفر و گوگرد را توسط گیاه میزبان افزایش می‌دهد (۲۸). تأثیر مثبت تلقیح با قارچ میکوریزا بر بهبود رشد و تغذیه برخی گیاهان زراعی و علوفه‌ای ازجمله گندم، سورگوم، پیاز، شبدر، یونجه و ذرت بررسی و تأیید شده است (۱۳).

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب استاد، دانشجوی دکتری بوم شناسی، استادیار و دانشجوی سابق کارشناس ارشد زراعت گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir

شرایط خاص اقلیمی کشور ایران ازجمله بروز تنش‌های ناگهانی خشکی که منجر به پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی شده است، واقعیتی گریزناپذیر است که در نتیجه تولید مواد غذایی و محصولات کشاورزی را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود نظیر آب نموده است. بر این اساس، چنین به‌نظر می‌رسد که در شرایط اقلیمی کشور، آبیاری مهم‌ترین نهاده به‌منظور حفظ سطح تولید محصولات کشاورزی است (۲۲). با توجه به کارایی پایین آبیاری در بخش کشاورزی، می‌توان با انتخاب و به‌کارگیری راهکارهای پایدار و مناسب در زمینه بهبود کارایی مصرف آب و بهینه‌سازی آن در گیاهان، علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، با حفظ آب، کارایی مصرف آن را به میزان زیادی بهبود بخشید (۱۶).

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از مهمترین و قدیمی‌ترین گیاهان دانه روغنی- صنعتی شناخته شده است (۱۰) که به‌دلیل محتوی روغن نسبتاً بالا (۵۲-۴۷ درصد) و همچنین مقاومت نسبتاً بالا نسبت به بروز تنش خشکی مورد توجه برخی محققین قرار گرفته است (۲۱). عملکرد دانه در کنجد به تعداد بوته، شاخه‌های فرعی، کپسول، دانه و وزن هزار دانه بستگی دارد (۷). دیلیپ و همکاران (۸) گزارش کردند که افزایش دفعات آبیاری به‌طور معنی‌داری تعداد شاخه‌های فرعی، دانه و زیست توده کنجد را افزایش داد. کیومار و همکاران (۲۴) گزارش کردند که آبیاری در ۳۰ و ۶۰ روز بعد از کاشت، سطح برگ، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد کنجد را بهبود بخشید.

هاول (۱۶) کارایی مصرف آب (WUE)[1] را با مفهوم نسبت ماده خشک تولید شده در گیاه به میزان آب مصرف شده به‌صورت تبخیر و تعرق تعریف کرد که بر حسب گرم ماده خشک به‌ازای متر مکعب آب مصرف شده بیان می‌شود. کارایی مصرف آب در گیاهان زراعی سه کربنه و چهارکربنه به‌ترتیب برابر با ۳-۱ و ۵-۲ گرم ماده خشک بر مترمکعب آب مصرفی گزارش شده است (۵). کاساب و همکاران (۲۱) با بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری براساس ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی کنجد دریافتند که تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری باعث بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد شد که درنتیجه بالاترین کارایی مصرف آب را نیز به همراه داشت. بدین ترتیب، این محققین نتیجه گرفتند که با افزایش آبیاری، عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد بهبود یافت.

بدین ترتیب، با توجه به تعریف کارایی مصرف آب (۱۶) و همچنین وجود همبستگی مثبت بین عملکرد و محتوی رطوبتی خاک (۳۵)، مشخص است که به‌کارگیری هر عامل مدیریتی که منجر به بهبود عملکرد گردد، افزایش کارایی مصرف آب را به دنبال دارد. در همین راستا، به نظر می‌رسد که عملیات زراعی از قبیل مدیریت مناسب گیاه در مرحله داشت و انتخاب گونه‌ها و ارقام مناسب (۱) با جلوگیری از هدررفت آب می‌تواند کارایی مصرف آب را به میزان زیادی بهبود بخشد (۳۰). نتایج برخی بررسی‌ها تأیید نموده است که به‌کارگیری هرگونه عملیات مدیریتی که موجب افزایش دسترسی گیاه به محتوی رطوبتی بیشتر و بهبود جذب آن شود، می‌تواند افزایش کارآیی مصرف آب را به دنبال داشته باشد (۱۲). نتایج دیگر مطالعات (۱۷) مؤید این مطلب است که بهبود حاصلخیزی خاک از طریق مصرف کودهای آلی به دلیل تأثیر مثبت بر بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد، قادر است میزان کارایی مصرف آب را بهبود بخشد.

میکوریزا به‌عنوان یکی از قارچ‌های همزیست اثرات مثبتی بر بهبود خصوصیات رویشی و عملکرد گیاهان میزبان دارد. برخی بررسی‌ها مؤید این مطلب است که همزیستی با میکوریزا، موجب بهبود سطح فعال سیستم ریشه‌ای برای افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌ویژه در شرایط پایین بودن محتوی فسفر خاک (۲۰) می‌شود، همچنین افزایش کارایی مصرف آب (۳۲)، بهبود مقاومت گیاه میزبان نسبت به تنش‌های محیطی نظیر شوری و خشکی (۱۹) و بهبود خصوصیات خاک (۲۶) را به دنبال دارد. بدین ترتیب، چنین به‌نظر می‌رسد که تلقیح با قارچ میکوریزا علاوه بر بهبود رشد و عملکرد گیاهان، از طریق افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای نیز قادر است کارایی مصرف آب را بهبود بخشد.

از آنجا که برقراری همزیستی در روابط آب، خاک و گیاه (۱) و همچنین مطالعات اکولوژیکی، از اهمیت زیادی برخوردار است، این تحقیق به‌منظور بررسی و مطالعه اثر همزیستی دو گونه قارچ میکوریزا در سطوح آبیاری و تأثیر این قارچها بر کارایی مصرف آب گیاه دانه روغنی کنجد در شرایط آب و هوایی مشهد طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف ارزیابی اجزای عملکرد، عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد در شرایط تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ´۲۸ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۵ °۳۶ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا)، در دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سه سطح ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ متر مکعب آبیاری در هکتار و تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا شامل *Glomus mosseae* و *G. intraradices* و شاهد به‌ترتیب به‌عنوان فاکتورهای اصلی و فرعی مد نظر قرار گرفتند. به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمل ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک به‌صورت تصادفی با استفاده از آگر انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

1- Water Use Efficiency

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)	پتاسیم در دسترس Available K	فسفر در دسترس Available P	نیتروژن کل Total N
			(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)		
سیلتی–لوم Silty- loam	8.03	1.04	117	34	395

ابعاد هر کرت فرعی ۲×۱/۵ متر انتخاب شد. به‌منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب برابر با یک و دو متر در نظر گرفته و به‌طور کامل مسدود شد. پس از عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح، فاروهایی با فاصله‌ی ۰/۵ متر ایجاد شد. به‌ازای هر بوته، ۱۵۰ گرم مایه تلقیح شده میکوریزایی (به‌صورت خاک میکوریزایی شده) همزمان با کاشت زیر بذر قرار داده شد. عملیات کاشت دستی به‌صورت ردیفی با فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نیمه دوم خرداد ماه هر دو سال انجام گرفت. به‌منظور تسهیل و یکنواختی در سبز شدن، اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت. پس از اطمینان از سبز شدن کامل و رسیدن به مرحله ۴-۳ برگی، بوته‌ها برای رسیدن به تراکم موردنظر تنک شدند. میزان آب مورد نیاز برای آبیاری کنجد در شرایط آب و هوایی مشهد توسط نرم‌افزار AGWAT (۲) برابر با ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار محاسبه شد. از سیستم آبیاری لوله‌کشی به‌صورت نشتی تحت فشار با کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ متر مکعب، به فاصله هر هفت روز یکبار و به‌طور جداگانه برای هر تیمار استفاده شد. قابل ذکر است به‌منظور جلوگیری از تأثیر بارندگی بر تأمین آب مورد نیاز گیاه، میزان آب وارده به خاک از طریق بارندگی در طول فصل رشد با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مشهد به‌طور دقیق محاسبه و مقادیر آن از آب آبیاری کسر شد.

در پایان فصل رشد، بوته‌ها از سطح ۰/۵ متر مربع جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی، کپسول، دانه، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک و اقتصادی (دانه) به آزمایشگاه انتقال داده شدند. شاخص برداشت براساس نسبت عملکرد دانه به بیولوژیک و میزان کارایی مصرف آب براساس عملکرد بیولوژیک و دانه کنجد بر حسب کیلوگرم عملکرد بر متر مکعب آب مصرفی (آب آبیاری+بارندگی) طبق معادله (۱) محاسبه شد (۲۳):

(۱) آب بارندگی (میلی‌متر)+ آب آبیاری (متر مکعب در هکتار) / عملکرد (کیلوگرم در هکتار) = کارآیی مصرف آب

آنالیز واریانس و تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Mstat-C صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس مقدار آبیاری و تلقیح با گونه‌ها قارچ میکوریزا بر اجزای عملکرد، عملکرد، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب گیاه دانه روغنی کنجد در جدول ۲ نشان داده شده است.

اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد اجزای عملکرد کنجد

اثر سطوح آبیاری بر تمام اجزای عملکرد کنجد به‌جز وزن هزار دانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۲)؛ به‌طوری‌که با افزایش مقدار آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار، تعداد شاخه جانبی، کپسول و دانه به‌ترتیب ۵۰، ۷۱ و ۳۹ درصد بهبود یافت (جدول ۳). افزایش آبیاری با بهبود شرایط برای رشد بوته‌ها تحت تأثیر تحریک رشد رویشی، موجب افزایش تولید و تجمع ماده خشک شده (۱۹) که این امر در نهایت، افزایش اجزای عملکرد را به دنبال داشته است. البته به نظر می‌رسد از آنجا که وزن هزار دانه آخرین جزء عملکرد است، لذا گیاه با تحمل کم‌آبی سعی نموده است تا این جزء کمتر تحت تأثیر قرار گیرد. البته با مقایسه اثر سطوح آبیاری بر وزن هزار دانه مشخص است که افزایش آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار با بهبود شرایط رشدی و تجمع ماده خشک، بهبود سه درصدی وزن هزار دانه را به دنبال داشته است. مهرابی و احسان زاده (۲۵) اظهار داشتند که وزن هزار دانه تحت کنجد تأثیر رژیم آبیاری قرار نگرفت. جویبان و موسوی (۱۹) نیز اعلام نمودند که با کاهش فاصله آبیاری از ۸ به ۶ روز تعداد کپسول و دانه کنجد به‌ترتیب برابر با ۳۴/۸ و ۲۰/۷ درصد بهبود یافت. این محققین اظهار داشتند که با افزایش فاصله آبیاری به دلیل کاهش رشد رویشی، اجزای عملکرد کنجد ازجمله تعداد شاخه جانبی و کپسول کاهش یافت (۱۹). نتایج مطالعه دیوتا و همکاران (۹) نیز نشان داد که افزایش بروز تنش خشکی تحت تأثیر افزایش فاصله آبیاری، اجزای عملکرد دانه کنجد به‌ویژه تعداد کپسول را کاهش داد. ال- نعیم و همکاران (۱۷) نیز پی بردند که با افزایش میزان آبیاری، اجزای عملکرد کنجد بهبود یافت.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقدار آبیاری و تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر اجزای عملکرد، عملکرد، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب کنجد

Table 2- Analysis of variance for the effect of irrigation level and inoculation with mycorrhiza species on components yield, yield, harvest index and water use efficiency of sesame

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		تعداد شاخه جانبی Branches number	تعداد کپسول Capsules number	تعداد دانه Seeds number	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب Water use efficiency	
									براساس عملکرد بیولوژیک Based on biological yield	براساس عملکرد دانه Based on biological yield
سال (Y) Year (Y)	1	0.167	26.727	31.130	0.021	23276917.653	957742.556	36.671	2.9455	0.144
تکرار (R) Replication (R)	4	2.259	16.326	418.352	0.364	920273.243	53096.774	9.505	0.151	0.005
مقدار آبیاری (A) Irrigation level (A)	2	21.352**	736.178**	1437.798**	0.017ns	2564.268.548**	7159781.334**	416.001**	1.100*	0.011*
R×A	2	0.056	5.287	21.130	0.054	2420909.948	48978.137	13.212	0.341	0.020
خطای اصلی Main error	8	0.176	21.635	40.323	0.046	684287.077	11133.005	13.548	0.163	0.004
تلقیح با میکوریزا (B) Inoculation with mycorrhizal (B)	2	7.352**	1486.813**	7163.352**	5.065**	449817.643*	965153.587**	209.447**	0.065*	0.113**
Y×B	2	0.056	20.802	13.463	0.142	1553900.368	9967.198	0.170	0.146	0.0001
A×B	4	0.0046**	17.9596ns	4.2546ns	0.008ns	93707.4818ns	17323.3583ns	6.344ns	0.0076ns	0.0009ns
Y×A×B	4	0.028	4.817	16.880	0.028	4149618.935	29059.845	17.587	0.215	0.003
خطای فرعی Sub error	24	0.204	27.677	11.306	0.062	740877.577	11697.921	4.090	0.031	0.002
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		8.89	17.28	12.52	9.35	12.27	17.56	13.20	8.90	11.58

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1 probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح آبیاری و تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر اجزای عملکرد کنجد

Table 3- Mean comparisons for the simple effect of irrigation levels and inoculation with mycorrhiza species on the yield components of sesame

تیمار Treatment		تعداد شاخه جانبی (تعداد در بوته) Number of branches (No.plant^{-1})	تعداد کپسول (تعداد در بوته) Number of capsules (No.plant^{-1})	تعداد دانه (تعداد در کپسول) Number of seeds (No.capsule^{-1})	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000-seed weight (g)
مقدار آبیاری (متر مکعب بر هکتار) Irrigation level ($m^3.ha^{-1}$)	2000	3.44c*	20.76b	45.89b	2.52a
	3000	4.33b	30.62ab	56.39ab	2.54a
	4000	5.61a	35.42a	63.67a	2.60a
تلقیح با میکوریزا Inoculation with mycorrhiza	*G. mosseae*	5.11a	37.20a	65.67a	3.16a
	G. intraradices	4.44ab	32.07a	54.33b	2.45b
	شاهد Control	3.83b	19.54b	45.94c	2.12c

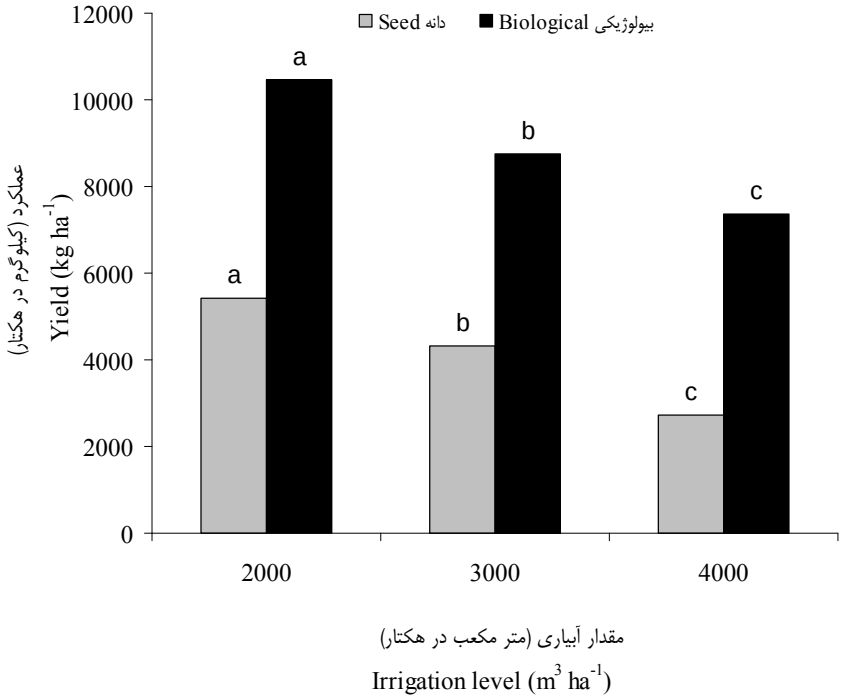
*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر فاکتور، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند (p≤۰/۰۵).

* Means with the same letter(s) in each column are not significantly different based on Duncan's test (p≤0.05).

آنها بیان داشتند که با افزایش فراهمی رطوبت، دسترسی و انتقال مواد غذایی در خاک بهبود یافت که این امر به دلیل تولید بیشتر مواد فتوسنتزی و انتقال بهتر آنها، موجب تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها به‌عنوان مخزن گردیده که افزایش اجزای عملکرد را به دنبال داشته است.

مقدار آبیاری به‌طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک و اقتصادی کنجد را تحت تأثیر قرار داد (p≤۰/۰۱) (جدول ۲). افزایش مقدار آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ متر مکعب موجب بهبود عملکرد بیولوژیک و اقتصادی به‌ترتیب برابر با ۵۲ و ۱۱۸ درصد شد (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد که افزایش آبیاری با تحریک رشد اندام‌های فتوسنتزی و بهبود ارتفاع گیاه، بهبود عملکرد بیولوژیک و دانه را تحت تأثیر افزایش میزان تولید و تجمع مواد فتوسنتزی موجب شده است. هانگ و همکاران (۱۵) نیز اظهار داشتند که کاهش حجم آبیاری با بروز تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه کنجد از ۸/۵ تن به ۳/۴ تن در هکتار گردید. آنها دلیل اصلی این امر را به کاهش ارتفاع بوته اصلی نسبت دادند. ال- نعیم و همکاران (۱۰) نیز پی بردند که با افزایش میزان آبیاری، عملکرد دانه کنجد به‌طور معنی‌داری بهبود یافت. این محققین دلیل این امر را به بهبود تعداد کپسول در مرحله رسیدگی گیاه تحت تأثیر افزایش طول دوره رسیدگی نسبت دادند. نتایج مطالعه جویبان و موسوی (۱۹) نیز مؤید این مطلب است که کاهش فاصله آبیاری از ۸ به ۶ روز موجب بهبود عملکرد بیولوژیک و دانه کنجد به‌ترتیب برابر با ۴۴/۵ و ۴۴/۱ درصد شد.

اثر مقدار آبیاری بر شاخص برداشت کنجد معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲)؛ به‌طوری‌که افزایش مقدار آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار بهبود ۵۶ درصدی شاخص برداشت را موجب گردید (شکل ۲). اگرچه شاخص برداشت تا حد زیادی به قابلیت ژنتیکی گیاه در تبدیل و تخصیص ماده فتوسنتزی به مخزن ارتباط دارد، ولی نتایج برخی تحقیقات نشان‌دهنده این مطلب است که شاخص برداشت متأثر از عوامل مختلفی از جمله رقم، مقدار آب، کود نیتروژن، تراکم و تاریخ کاشت می‌باشد (۳۲). طبق نتایج به‌دست آمده مشخص شد که کاهش مقدار آبیاری، افت شاخص برداشت کنجد را به دنبال داشته است. بنابراین، به نظر می‌رسد که تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری به میزان تنش خشکی وارد شده بر اندام‌های رویشی و زایشی بستگی دارد؛ به‌طوری‌که اگر کاهش آبیاری تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک داشته باشد، کاهش شاخص برداشت را موجب خواهد شد، در صورتی‌که اگر تأثیر کاهش سطوح آبیاری بر عملکرد بیولوژیک بیشتر باشد باعث افزایش شاخص برداشت خواهد گردید. بنابراین، در این آزمایش به‌نظر می‌رسد که تأثیر منفی کاهش سطوح آبیاری بر اندام‌های زایشی بیشتر از رویشی بوده است، لذا در اثر کاهش سطوح آبیاری، شاخص برداشت کاهش یافته است. از طرف دیگر، نتایج برخی پژوهش‌ها (۲۱) مؤید این مطلب است که با افزایش میزان آبیاری و کاهش فاصله آبیاری، به دلیل افزایش تولید ماده فتوسنتزی تحت تأثیر تحریک رشد رویشی و در نتیجه عملکرد، شاخص برداشت افزایش یافت. البته بیشتر محققین (۱۹ و ۲۱) بر این عقیده‌اند که افزایش آبیاری با افزایش تولید ماده فتوسنتزی و بهبود ذخیره آن در مخزن موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردد که این امر افزایش شاخص برداشت را به دنبال دارد. سخارا و ردی (۳۲) نیز بیان داشتند که به منظور انتخاب رقم مناسب برای کاشت کنجد بایستی از ارقام دارای شاخص برداشت بالاتر استفاده کرد، زیرا هرچه قابلیت گیاه برای ذخیره ماده فتوسنتزی بیشتر باشد، میزان عملکرد دانه افزایش خواهد یافت. بدین ترتیب، مشخص است که برای انتخاب ارقام و گونه‌های مناسب برای کاشت در مناطق نیمه‌خشک می‌توان از گیاهان دارای شاخص برداشت بالاتر برای دستیابی به عملکرد اقتصادی بهره جست.

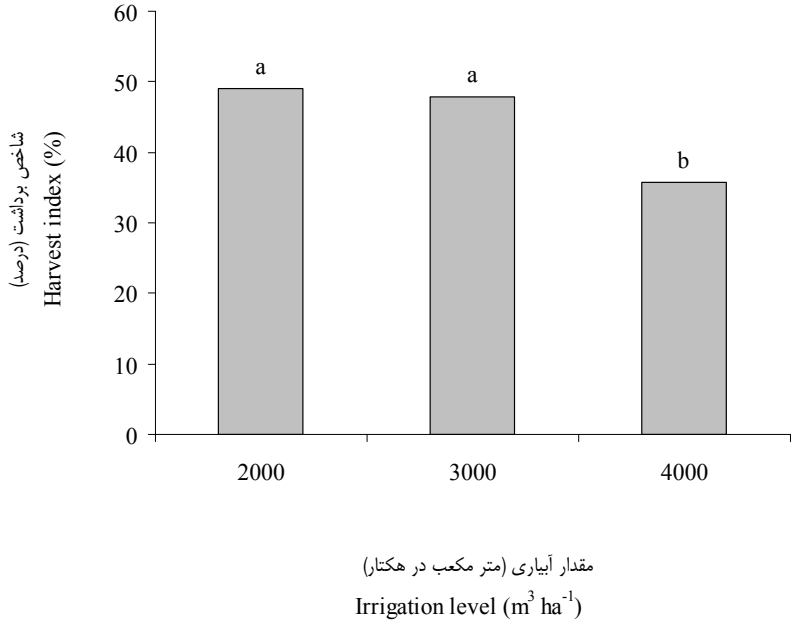


شکل ۱- اثر مقادیر آبیاری بر عملکرد دانه و بیولوژیک کنجد

Figure 1- Effect of irrigation level on seed and biological yield of sesame

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤۰/۰۵).

Means with the same letter(s) in each component have not significantly difference based on Duncan's test (p≤0.05).



شکل ۲- اثر مقادیر آبیاری بر شاخص برداشت کنجد

Figure 2- Effect of irrigation level on harvest index of sesame

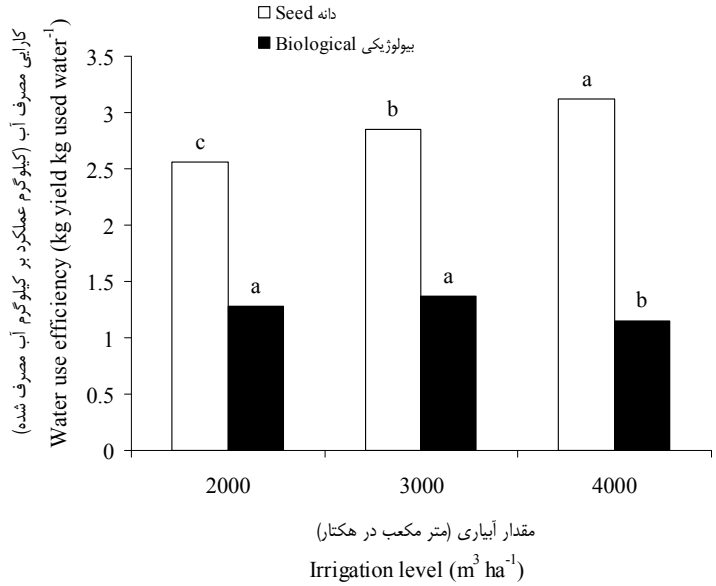
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤۰/۰۵).

Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test (p≤0.05).

سطوح آبیاری به‌طور معنی‌داری کارایی مصرف آب کنجد براساس عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دادند (p≤۰/۰۵) (جدول ۲)؛ به‌طوری‌که افزایش مقدار آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار بهبود ۲۲ درصدی کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه را موجب شد؛ در حالی‌که با افزایش مقدار آبیاری کارایی مصرف آب براساس عملکرد بیولوژیک ۱۰ درصد کاهش یافت (شکل ۳). به نظر می‌رسد که با افزایش آبیاری، به‌دلیل بهبود فراهمی آب در دسترس گیاه، جذب مواد غذایی افزایش یافته که این امر افزایش کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه را در پی داشته است. از طرف دیگر، با توجه به معادله کارایی مصرف آب (۱۶) به نظر می‌رسد که افزایش آبیاری به دلیل تحریک رشد رویشی و افزایش عملکرد بیولوژیک، موجب افزایش تعرق و مصرف آب (مخرج کسر) شده است که این امر در نهایت، کاهش کارایی مصرف آب براساس عملکرد بیولوژیک را موجب گردیده است. کاساب و همکاران (۲۱) با بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری براساس نیاز آبی کنجد اعلام نمودند که با افزایش مقدار آبیاری از ۶۰ به ۱۰۰ درصد آبیاری، شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه بهبود یافت که این امر موجب بهبود کارایی مصرف آب از ۰/۵۳ به ۰/۵۷ کیلوگرم ماده خشک به‌ازای متر مکعب آب مصرف شده براساس عملکرد دانه گردید؛ در حالی‌که نتایج مطالعه آلن و موزیک (۳) نشان داد که کارایی مصرف آب براساس عملکرد بیولوژیک در سطوح پایین آبیاری به مراتب بالاتر از دیگر سطوح بود.

اثر تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر عملکرد اجزای عملکرد کنجد

تلقیح با گونه‌های میکوریزا کلیه اجزای عملکرد کنجد را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (p≤۰/۰۱) (جدول ۲)؛ به‌طوری‌که تلقیح با *G. mosseae* باعث بهبود اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی، کپسول، دانه و وزن هزار دانه به‌ترتیب برابر با ۱۵، ۱۶، ۲۱ و ۲۹ درصد در مقایسه با دیگر گونه میکوریزا شد؛ در حالی‌که میزان این بهبود به‌ترتیب برابر با ۳۳، ۹۰، ۴۳ و ۴۹ درصد در مقایسه با شاهد بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای در شرایط تلقیح با گونه‌های میکوریزا (۲۰)، دسترسی به منابع از جمله رطوبت و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر را بهبود بخشیده است که این امر در نهایت، افزایش اجزای عملکرد را به دنبال داشته است. جمشیدی و همکاران (۱۸) نیز تأثیر معنی‌دار تلقیح با قارچ همزیست میکوریزا را بر اجزای عملکرد آفتابگردان گزارش کردند.



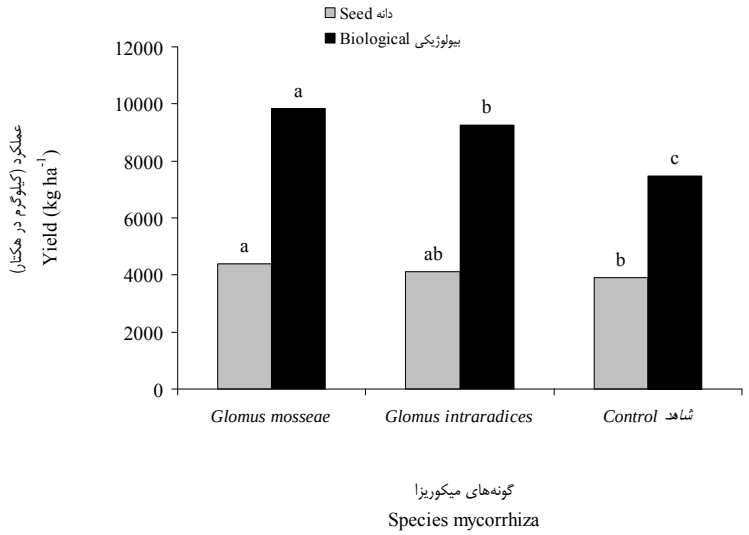
شکل ۳- اثر مقادیر آبیاری بر کارایی مصرف آب کنجد براساس عملکرد دانه و بیولوژیک

Figure 3- Effect of irrigation level on water use efficiency based on seed and biological yield of sesame

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤۰/۰۵).

Means with the same letter(s) in each component have not significantly difference based on Duncan's test (p≤0.05).

اثر تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک و دانه کنجد معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۲). تلقیح با *G. mosseae* عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با *G. intraradices* و شاهد به‌ترتیب برابر با ۳۲ و ۳۲ درصد و عملکرد دانه را به‌ترتیب برابر با ۷ و ۱۲ درصد بهبود بخشید (شکل ۴). به نظر می‌رسد که همزیستی با گونه‌های میکوریزا به دلیل افزایش فتوسنتز (۲۹)، باعث تحریک تولید مواد فتوسنتزی و افزایش راندمان انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی شده که این امر در نهایت، منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شده است. نتایج مطالعه جمشیدی و همکاران (۱۸) نشان داد که تلقیح با میکوریزا عملکرد بیولوژیک و دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید.

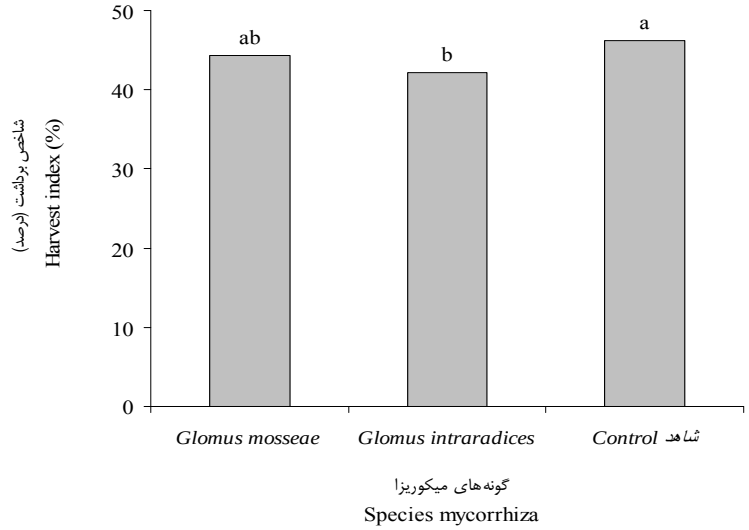


شکل ٤- اثر تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک و دانه کنجد

Figure 4- Effect of inoculation with mycorrhiza species on seed and biological yield of sesame

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p\leq$۰/۰۵).

Means with the same letter(s) in each component have not significantly difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).



شکل ٥- اثر تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر شاخص برداشت کنجد

Figure 5- Effect of inoculation with mycorrhiza species on harvest index of sesame

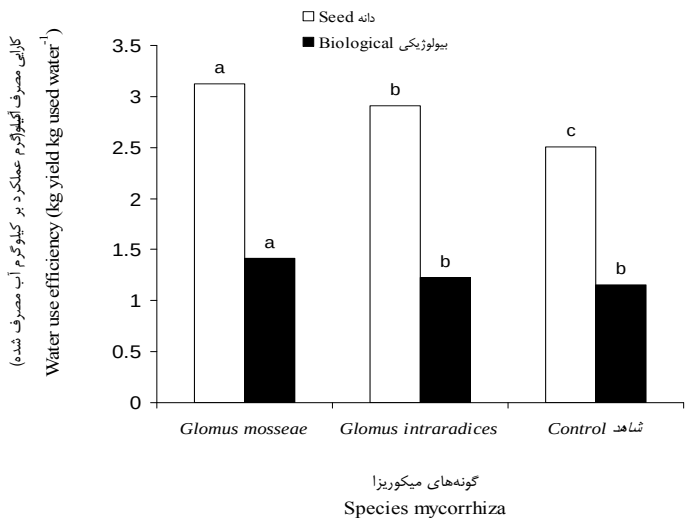
میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p\leq$۰/۰۵).

Means with the same letter (s) have not significantly difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

شاخص برداشت کنجد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تلقیح با گونه‌های میکوریزا قرار گرفت (p≤۰/۰۱) (جدول ۲). با توجه به کاهش ۴ و ۹ درصدی شاخص برداشت کنجد به‌ترتیب برای گونه‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* میکوریزا در مقایسه با شاهد به‌نظر می‌رسد که تلقیح با این قارچ‌های همزیست، به دلیل تأثیر بیشتر بر بهبود عملکرد بیولوژیک در مقایسه با عملکرد دانه، کاهش شاخص برداشت کنجد در مقایسه با شاهد را موجب گردیده است (شکل ۵).

اثر تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر کارایی مصرف آب براساس عملکرد بیولوژیک و دانه کنجد معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود (جدول ۲). تلقیح با قارچ همزیست گونه *G. mosseae* کارایی مصرف آب را براساس عملکرد بیولوژیک در مقایسه با *G. intraradices* و شاهد به‌ترتیب برابر با ۱۵ و ۲۲ درصد بهبود بخشید؛ در حالی‌که میزان این افزایش برای کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه به‌ترتیب برابر با ۷ و ۲۴ درصد بود (شکل ۶). بدین ترتیب، چنین به‌نظر می‌رسد که تلقیح با میکوریزا با توسعه سیستم ریشه‌ای و درنتیجه افزایش فراهمی رطوبت و دسترسی به عناصر غذایی در نهایت، موجب بهبود کارایی مصرف آب گردیده است.

با مقایسه تأثیر دو گونه قارچ همزیست میکوریزا در شرایط تلقیح با کنجد مشخص است که گونه *G. mosseae* در برقراری رابطه همزیستی به مراتب مؤثرتر از *G. intraradices* عمل کرده است. با توجه به نتایج برخی بررسی‌ها (۱۹) که نشان داده است در محدوده وسیعی از خاک‌ها با افزایش ماده آلی، قابلیت دسترسی به آب افزایش پیدا می‌کند، به نظر می‌رسد به‌کارگیری هر عملیاتی که موجب افزایش محتوی آب در منطقه ریزوسفر شود، با افزایش دسترسی به آب و جذب عناصر غذایی اثرات مثبتی روی کارآیی مصرف آب خواهد داشت. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که همزیستی با میکوریزا به‌ویژه در شرایط حاصلخیزی پایین خاک باعث افزایش دسترسی به عناصر غذایی و انتقال بهتر آن به گیاه شده که در نتیجه افزایش عملکرد را موجب می‌شود. کلیک و همکاران (۶) نتیجه گرفتند که تلقیح با میکوریزا باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش عملکرد گیاه شد. جمشیدی و همکاران (۱۸) بیان داشتند که عملکرد آفتابگردان به‌واسطه همزیستی با گونه‌های میکوریزا در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط بدون تنش بهبود یافت. همچنین، تلقیح با میکوریزا به دلیل بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه باعث افزایش تحمل در برابر تنش کم‌آبی شد؛ به‌طوری‌که از افت زیاد عملکرد در مقایسه با گیاهان شاهد جلوگیری نمود. این محققین نتیجه گرفتند که تأثیر گونه‌های میکوریزا بر عملکرد و تحمل شدت خسارت تنش خشکی متفاوت بود؛ به‌طوری‌که قارچ *G. mosseae* قدرت همزیستی بالاتری با آفتابگردان نسبت به *G.hoi* داشت. آنها دلیل این امر را به تأثیر بیشتر این قارچ بر بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای آفتابگردان در مقایسه با دیگر گونه میکوریزا نسبت دادند که در نتیجه موجب افزایش فراهمی و دسترسی به آب برای بوته‌ها شده است.



شکل ٦- اثر تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر کارایی مصرف آب کنجد براساس عملکرد دانه و بیولوژیک

Figure 6- Effect of inoculation with mycorrhiza species on water use efficiency based on seed and biological yield of sesame

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤۰/۰۵).

Means with the same letter (s) in each component have not significantly difference based on Duncan's test (p≤0.05).

با توجه به این موضوع که بهبود روش‌های مدیریت خاک همچون افزایش میزان ماده آلی، تأثیر به‌سزایی بر میزان تأثیر تلقیح با این قارچ برای گونه همزیست به همراه دارد (۱۷)، قابل ذکر است که با در نظر گرفتن معادله کارایی مصرف آب، به‌کارگیری هر عامل مدیریتی که باعث بهبود عملکرد شود، افزایش کارایی مصرف آب را به دنبال خواهد داشت. عوامل متعددی از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، عملکرد دانه و همچنین میزان تلفات آب از گیاه را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه کارایی مصرف آب را متأثر می‌سازند (۳۰ و ۳۴). ساجدی و ساجدی (۳۱) بیشترین میزان کارآیی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) را در شرایط استفاده از تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی برابر با ۱/۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب بدون تلقیح با میکوریزا گزارش نمودند. نامبردگان اظهار نمودند که به‌منظور دستیابی به عملکرد قابل قبول معادل با عملکرد دانه و بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب، در راستای استفاده بهینه از منابع آب و عناصر غذایی، می‌توان با آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و مصرف کودهای بیولوژیک به‌ویژه میکوریزا به نتایج قابل قبولی دست یافت.

نتیجه‌گیری

از آنجا که توجه بیشتر به مدیریت خاک و به‌کارگیری عملیاتی که تنوع زیستی و جمعیت میکروبی خاک را بهبود می‌بخشد، موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک خواهد شد، لذا استفاده از هر عملیاتی که به نوعی بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای را به دنبال داشته باشد، موجب افزایش کارایی مصرف آب و بهبود جذب عناصر غذایی می‌گردد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش آبیاری خصوصیات رشدی، عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد بهبود یافت. همچنین، تلقیح با گونه‌های میکوریزا علاوه بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد، موجب افزایش کارایی مصرف آب گردید که در این میان تلقیح با گونه *G. mosseae* تأثیر بیشتری بر خصوصیات رشدی، عملکرد و فیزیولوژیکی کنجد نسبت به *G. intraradices* به همراه داشت. بدین ترتیب، چنین به‌نظر می‌رسد که میکوریزا علاوه بر بهبود عملکرد تحت تأثیر افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای و در نتیجه افزاش فراهمی رطوبت و دسترسی به عناصر غذایی، می‌تواند در کاهش اثرات کمبود آبیاری در گیاه کنجد نیز تأثیر مثبتی داشته باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۱۵۲۲۷/۲ مصوب ۱۳۸۹/۴/۱ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Alizadeh, A., and Alizadeh, A. 2007. Effects of mycorrhiza in different conditions of soil humidity on nutrient absorption in cor. Research in Agricultural Sciences 3 (1): 101-108. (in Persian with English abstract).
2. Alizadeh, A., and Kamali, G. A. 2007. Water Requirement of Crops in Iran. Astan Qods of Razavi Publication, Mashhad, Iran. (in Persian).
3. Allen, R. R., and Musik, J. T. 1993. Planting date, Water management, and maturity length relations for corn yield and water use efficiency. European Journal of Agronomy 95: 1475-1482.
4. Bolan, N. S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil 134: 189-207.
5. Candon, A. G., Richards, R. A., Rebetzek, G. J., and Farquhar, G. D. 2004. Breeding for high water use efficiency. Journal of Experimental Botany 55: 2447-2460.
6. Celik, I., Ortas, I., and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a chromoxerert soil. Soil and Tillage Research 78: 59-67.
7. Chanbdrakar, B. L., Sekhar, N., Tuteja, S. S., and Tripathi, R. S. 1994. Effect of irrigation and nitrogen on growth and yield of summer sesame (*Sesamum indicum*). Indian Journal of Agronomy 39: 701-702.
8. Dilip, K., Ajumdar, M., and Roy, S. 1991. Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation, row spacing and plant population. Indian Journal of Agronomy 37: 758-762.
9. Dutta, P. K., Bandyopadhyay, P., and Maity, D. 2000. Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation. Indian Journal of Agronomy 54: 613-616.
10. El Naim, A. M., Ahmed, M. F., and Ibrahim, K. A. 2010. Effect of irrigation and cultivar on seed yield, yield's components and harvest index of sesame (*Sesamum indicum* L.). Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 6 (4): 492-497.
11. Estrada-Luna, A., and Davies, A. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water, relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. Journal of Plant Physiology 160: 1073-1083.
12. Gregory, P. T., Simond, L. P., and Pilbeam, C. J. 2000. Soil type, climatic regime and the response of water use efficiency to crop management. Journal of Agricultural Science 92: 814-820.

13. Haji Boland, R., Ali Asgharzadeh, N., and Barzegar, R. 2007. Effect of rice inoculation with two arbuscular mycorrhizal species on growth, P and K absorption and pH changes in rhizosphere. Journal of Soil and Water Sciences 21 (1): 119-129. (in Persian with English abstract).
14. Harrison, M. J. 2005. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Annual Review of Microbiology 59:19-42.
15. Hong, Y., Yu, J. M., and Chai, K. C. 1985. Effect of drought stress on major upland crops. Research Report of the Rural Development Administration Crop, Korea Republic (C.F. Computer Res.). International Agricultural Center and International Information 27: 148-155.
16. Howell, T. A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Journal of Agricultural Science 93: 281-289.
17. Htfield, J. L., Sauer, T. J., and Prueger, J. H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. A Review Journal of Agricultural Science 93: 971-280.
18. Jamshidi, A., Ghalavand, A., Salehi, A., Zare, M., and Jamshidi, A. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal in yield and yield components and agronomic traits of sunflower (*Helianthus annus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 11 (2): 136-142. (in Persian with English abstract).
19. Jouyban, Z., and Moosavi, S. G. 2012. Effect of different irrigation intervals, nitrogen and superabsorbent levels on chlorophyll index, yield and yield components of sesame. Food, Agriculture and Environment 10 (1): 360-364.
20. Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K. G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in (*Foeniculum vulgare* Mill.) on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.
21. Kassab, O. M., El-Noemani, A. A., and El-Zeiny, H. A. 2005. Influence of some irrigation systems and and water regimes on growth and yield of sesame plants. Journal of Agronomy 4 (3): 220-224.
22. Keshavarz, A., and Sadeghzadeh, K. 2000. Water management in agriculture, estimated future demand for drought crisis, current situation, future prospects and strategies to optimize water use. Organization f Agricultural Research, Education and Extension, Jihad-e- Keshavarzi. (in Persian).
23. Koocheki, A., and Khajeh Hosseini, M. 2008. Modern Agronomy. Jihad-e- Daneshgahi Publication, Mashhad, Iran. (in Persian).
24. Kumar, A. S., Prasad, T. N., and Prasad, U. K. 1996. Effect of irrigation and nitrogen on growth, yield/oil content, nitrogen uptake and water-use of summer sesame (*Sesamum indicum*). Indian Journal of Agronomy 41: 111-115.
25. Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2011. A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. Journal of Crops Improvement 13 (2): 75-88. (in Persian with English abstract).
26. Oehl, F., Sieverding, E., Mader, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., and Wiemken, A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. Oecologia 138: 574-583.
27. Pinior, A., Grunewaldt-Stocker, G., Von Alten, H., and Strasser, R. J. 2005. Mycorrhizal impact on drought stress tolerance of rose plants probed by chlorophyll fluorescence, proline content and visual scoring. Mycorrhiza 15: 596-605.
28. Rice, R., Datnoff, L., Raid, R., and Sanchez, C. 2002. Influence of vesicular-arbuscular quality in *Foenisulum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.
29. Richte, J., Stutzer, M., and Schellenberg, I. 2005. Effects of mycorrhization on the essential oil content and composition of aroma components of marjoram (*Marjorana hortensis*), thyme (*Thymus vulgaris* L.) and ajwain (*Trachyspermum carvi* L.). 36th International Symposium on Essential Oils, 4-7 September, Budapest, Hungary.
30. Ritchie, J. T., and Basso, B. 2007. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: The role of agronomic management. European Journal of Agronomy 28 (3): 273-281.
31. Sajedi, N. A., and Sajedi, A. 2009. Effect of drought stress, mycorrhiza and zinc rates on agro-physiologic characteristics of maize cv. KSC704. Iranian Journal of Crop Sciences 11 (3): 202-221. (in Persian with English abstract).
32. Sekhara, B. C., and Reddy, C. R. 1993. Correlation and path coefficient analysis in sesame (*Sesamum indicum* L.). Annals of Agricultural Research 14: 178-184.
33. Smith, S. E., and Read, D. J. 1996. Mycorrhizal symbiosis. 2nd Edition, Academic Press, London.
34. Soltani, A., and Faraji, A. 2007. Principles of Soil and Plant Water Relations. Jihad-e- Daneshgahi Publication, Mashhad, Iran. (in Persian).
35. Tantawy, M. M., Ouda, S. A., and Khalil, F. A. 2007. Irrigation optimization for different sesame varieties grown under water stress conditions. Journal of Applied Sciences Research 3 (1): 7-12.
36. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., and Polaskt, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive protection practices. Nature 418: 671-677.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 448-460

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۶۰-۴۴۸

Effect of Mycorrhiza Symbiosis on Yield, Yield Components and Water Use Efficiency of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Affected by Different Irrigation Regimes in Mashhad Condition

A. Koocheki[1*]- S. Bakhshaie[2]- S. Khorramdel[3]- V. Mokhtari[2]- Sh. Taher Abadi[4]

Received: 12-03-2012
Accepted: 20-08-2013

Introduction

Plant association with mycorrhiza has been considered as one of the options to improve input efficiency particularly for water and nutrient - (Allen and Musik, 1993; Bolan, 1991). This has been due to kncreasing the absorbing area of the root and therefore better contact with water and nutrients. Inoculation with mycorrhiza enhances nutrient uptake with low immobility such as phosphorus and solphur-, improve association and could be an option to drought and other environmental abnormalities such as salinity (Rice et al., 2002). Moreover, higher water use efficiency (WUE) for crops -has been reported in the literatures (Sekhara and Reddy, 1993).The sustainable use of scarce water resources in Iran is a priority for agricultural development. The pressure of using water in agriculture sector is increasing, so creating ways to improve water-use efficiency and taking a full advantage of available water are crucial.

Water stress reduce crop yield by impairing the growth of crop canopy and biomass. Scheduling water application is very crucial for efficient use of drip irrigation system, as excessive irrigation reduces yield, while inadequate irrigation causes water stress and reduces production.

The aim of present study was to evaluate the symbiotic effect of mycorrhiza on yield, yield components and water use efficiency of sesame under different irrigation regimes in Mashhad.

Material and Methods

In order to investigate the impact of inoculation with two species of Arbuscular mycorrhiza fungi on yield, yield components and water use efficiency (WUE) of sesame (*Sesamum indicum* L.) under different irrigation regimes, an experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications during two growing seasons 2009-2010 and 2010-2011 at the Agricultural Research Station, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.. The experimental factors were three irrigation regimes include 2000, 3000 and 4000 m^3 ha^{-1}, inoculation with two species of mycorrhiza fungi (*Glomus mosseae* and *G. intraradices*) and control allocated to the main and sub plots, respectively.

Results and Discussion

Results showed that the effect of irrigation regimes were significant ($p \leq 0.05$) on yield components except 1000-seed weight, biological yield, seed yield, harvest index (HI) and WUE based on biological yield and seed yield. By increasing the irrigation level from 2000 to 4000 m^3 ha^{-1} biological and seed yield enhanced up to 52% and 118%, respectively. Increasing the irrigation level from 2000 to 4000 m^3 ha^{-1} also improved WUE based on seed yield up to 22%. Inoculation with mycorrhiza species had significant effect on yield components, biological yield, seed yield, HI and WUE based on biological yield and seed yield $P \leq 0.05$). Inoculation with *G. mosseae* improved seed yield compared to *G. intraradices* and control with 7 and 12%, respectively. These improvement of WUE based on seed yield were 7% and 24%, respectively. In general, mycorrhiza inoculation enhanced WUE through root system development and nutrient availability as this effect for *G. mosseae* was higher than *G. intraradices*.

Conclusions

Yield and yield components of sesame were generally more responsive to irrigation level under mycorhiza inoculation. Sesame yield and its components were significantly affected by irrigation treatments. Increase the

1, 2, 3 and 4- Professor, PhD student in Agroecology, Graduated student in Agronomy and Assistant Professor in Agronomy Department respectively, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

irrigation level enhanced biological and seed yield- and also improved WUE. The water was used more efficiently in the deficit irrigation treatments where WUE increased with lower amounts of water. Inoculation with *G. mosseae* improved seed yield compared to *G. intraradices* and control. Mycorrhiza inoculation enhanced WUE due to root system development and nutrient availability. These results highlight the importance of determining the interaction effects between water level and mycorrhiza inoculation on yield of sesame to formulate proper management practices for sustainable production.

Keywords: Mycorrhiza symbiosis, Oil crop, Root system development, Sustainable agriculture