نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۱۲۴۴-۱۲۲۹

Journal of Agroecology
Vol. 10, No. 4, Winter 2019, p. 1229-1244

اثر همزیستی با گونه‌های میکوریزا و پرایمینگ بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سطوح تنش خشکی

عبدالحسین عسکری[۱]، محمدرضا اردکانی[۲*]، سعید وزان[۳]، فرزاد پاک نژاد[۴] و یعقوب حسینی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸

عسکری، ع.، اردکانی، م. ر.، وزان، س.، پاک نژاد، ف.، و حسینی، ی. ۱۳۹۷. اثر همزیستی با گونه‌های میکوریزا و پرایمینگ بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سطوح تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۴): ۱۲۴۴-۱۲۲۹.

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی، پرایمینگ بذر و همزیستی با گونه‌های قارچ میکوریزا آربوسکولار بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.) به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی حاجی‌آباد هرمزگان اجرا گردید. فاکتور اصلی تنش خشکی شامل: آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد (آبیاری نرمال)، ۷۰ درصد (تنش ملایم) و ۵۰ درصد نیازآبی (تنش شدید)، فاکتور فرعی پرایمینگ در سه سطح: بدون پرایمینگ (شاهد)، هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ و دیگر فاکتور فرعی شامل سطوح قارچ میکوریزا بدون استفاده از قارچ میکوریزا (شاهد)، استفاده از گونه‌های *Glomus mosseae* و *G. intraradices* بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی تأثیری معنی‌داری ($p\leq0.01$) بر کلیه صفات مورد بررسی داشت. اثر تلقیح میکوریزا بر تمامی پاسخ‌های گیاهی اندازه‌گیری شده ($p\leq0.01$) و تیمار پرایمینگ بر صفت تعداد دانه در هر کپسول ($p\leq0.01$) و همچنین بر صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک دارای تأثیری معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. اثرات برهمکنش آبیاری × میکوریزا فقط بر صفت عملکرد دانه ($p\leq0.05$)، اثرات برهمکنش میکوریزا × پرایمینگ بر صفات تعداد دانه در هر کپسول و عملکرد بیولوژیکی ($p\leq0.01$) و بر صفت وزن هزاردانه ($p\leq0.05$) معنی‌دار بود. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و تمامی صفات اندازه‌گیری شده، مربوط به آبیاری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (آبیاری نرمال) به‌دست آمد. افزایش مقدار آبیاری از ۵۰ درصد نیازآبی گیاه به ۱۰۰ درصد نیازآبی، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی را به میزان‌های ۳۹/۴ و ۲۶/۷ درصد بهبود بخشید. تلقیح با قارچ میکوریزا گونه‌های *G. mosseae* و *G. Intraradices* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، عملکرد دانه را به میزان‌های ۱۰/۴ و ۴/۷ درصد بهبود داد. پرایمینگ بذر نسبت به عدم پرایم بذر، عملکرد دانه را ۲ درصد افزایش داد. هر چند تنش خشکی باعث کاهش عملکرد کنجد شد، ولی استفاده از قارچ میکوریزا شدت اثر آن را کاهش داد. همچنین، تأثیر دو گونه میکوریزا بر عملکرد کنجد و اثر آن‌ها بر کاهش خسارت تنش متفاوت بود، به‌طوری‌که قارچ میکوریزا *G. mosseae* دارای قدرت همزیستی بیشتری در مقایسه با *G. intraradices* بود و از کاهش شدید عملکرد کنجد در شرایط تنش خشکی جلوگیری نمود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد بیولوژیک، نیازآبی، همزیستی میکوریزایی، هیدروپرایمینگ

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. پاسخ گیاهان به تنش خشکی بستگی به شدت و مدت تنش و همچنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش و همچنین مدیریت مزرعه دارد (Good & Zaplachiniski, 1994). تنش خشکی تأثیر زیادی بر عملکرد گیاهان زراعی دارد، این تأثیر به‌طور عمده با کاهش فتوسنتز

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری زراعت، استاد و دانشیاران دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mreza.ardakani@gmail.com)

DOI:10.22067/jag.v10i4.63405

صورت می‌گیرد. در این شرایط، تنش خشکی با عامل‌های روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای بر شدت فتوسنتز تأثیر می‌گذارد. از آنجا که برای انجام فتوسنتز و تبادل‌های گازی باز بودن روزنه‌ها لازم است، بنابراین در اثر کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها، تبادل‌های گازی کاهش یافته، دی‌اکسیدکربن کمتری توسط گیاه جذب و در نتیجه مقدار فتوسنتز کاهش می‌یابد. کاهش فتوسنتز همراه با کاهش رشد و عملکرد در گیاه خواهد بود (Reddy et al., 2004).

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی است که در بیشتر مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت می‌شود، در ایران کشت کنجد در استان‌های خوزستان، بوشهر، سیستان و بلوچستان، فارس و سمنان متداول است. به‌دلیل نیازآبی کم، کنجد به صورت زراعت اصلی یا کشت همراه با پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) در بهار و همچنین به‌عنوان کشت دوم پس از برداشت غلات کشت می‌شود (Bagheri et al., 2012).

در بین گیاهان زراعی کنجد به‌دلیل مقاومت به خشکی و گرما اهمیت زیادی در توسعه کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان کشت تابستانه دارد، اما این گیاه در مرحله استقرار گیاهچه و همچنین در طول دوره گلدهی تا پر شدن دانه به تنش خشکی حساس است (Weiss, 2000). فواصل طولانی دور آبیاری باعث کاهش رشد و کاهش عملکرد دانه کنجد به‌دلیل تأثیر بر مراحل مختلف فتوسنتز می‌شود (Al-Palsan et al., 2001; Mensah et al., 2006). برای غلبه بر تنش خشکی، راهکار زیستی یکی از راهکارهای اساسی است که باید مورد توجه قرار گیرد، در این بین می‌توان به قارچ‌های میکوریزا، اشاره کرد.

یکی از مهم‌ترین انواع میکوریزا، میکوریزای آربوسکولار می‌باشد که از نظر کشاورزی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا اغلب گیاهان زراعی و باغی توانایی همزیستی با این نوع میکوریزا را دارند (Azcon et al., 1997). در بررسی تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط مشهد گزارش گردید که با افزایش مقدار آب آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار، عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌ترتیب برابر با ۵۲ و ۱۱۸ درصد بهبود یافت و تلقیح با *G. mosseae* در مقایسه با *G. intraradices* و شاهد عملکرد دانه را به‌ترتیب برابر با ۷ و ۱۲ درصد بهبود بخشید (Koocheki et al., 2015). نتایج تحقیقات بر روی گیاه میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزایی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزایی است که این امر در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزایی می‌باشد. همچنین هدایت آبی در واحد طول ریشه ۳-۲ برابر افزایش نشان می‌دهد (Troehza loynachan, 2003). قارچ میکوریزا ارتباط آب با گیاه میزبان را به‌وسیله افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، کاهش مقاومت روزنه‌ای به‌وسیله تغییر در تعادل هورمون‌های گیاهی بهبود می‌بخشد. این تغییرات سبب بهبود تغذیه فسفر گیاهان میکوریزایی تحت تنش خشکی می‌شود (Elwan, 2001).

روش‌های پیش تیمار کردن بذرها می‌تواند در بهبود کیفیت تولید و تحمل گیاه به تنش خشکی مؤثر باشد. بذور پرایم شده زودتر جوانه زده و مراحل مختلف رشد و نمو خود را نیز سریع‌تر طی می‌نمایند که به‌موجب آن تطابق طبیعی عوامل زنده تنش‌زا با مراحل فنولوژیک گیاه تغییر و خسارتی که به هنگام هجوم عوامل بیماری‌زا به بذرهای پرایم شده و گیاهان حاصل از آنها وارد می‌شود، کاهش خواهد یافت. پرایمینگ قدرت جوانه‌زنی و رویش بذر را در شرایط برخورد با تنش افزایش می‌دهد (Bradford et al., 1990). علی‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در مورد همزیستی قارچ‌های میکوریزایی با گیاهان مختلف زراعی صورت گرفته است، هنوز اطلاعات محدودی در رابطه با همزیستی گیاه کنجد با این قارچ‌ها در شرایط تنش خشکی به هنگام استفاده از بذرهای پرایم‌شده وجود دارد.

این آزمایش با هدف بررسی تأثیر همزیستی دو گونه مختلف از قارچ‌های میکوریزایی و پرایمینگ بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی در هرمزگان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌منظور بررسی اثرات قارچ‌های میکوریزا و پرایمینگ بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی حاجی‌آباد هرمزگان در طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، اجرا گردید. طول جغرافیایی محل آزمایش ۵۵ درجه و ۵۴ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۲۸ درجه و ۱۹ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۹۲۰ متر، میانگین بارندگی سالانه ۲۲۶/۷ و میانگین تبخیر در سال ۳۲۰۰ میلی‌متر (جدول ۲) و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق گرم و خشک به‌شمار می‌رود.

نتایج تجزیه برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت، درجدول ۱ ارائه شده است.

فاکتور اصلی تنش خشکی شامل آبیاری بر اساس تأمین ۱۰۰ درصد (آبیاری نرمال، معادل ۶۳۷۶/۷۷ مترمکعب آب در هکتار)، ۷۰ درصد (تنش ملایم، معادل ۴۴۶۳/۷۴ مترمکعب آب در هکتار) و ۵۰ درصد نیازآبی گیاه (تنش شدید، معادل ۳۱۸۸/۳۸ مترمکعب آب در هکتار) و فاکتور فرعی پرایمینگ در سه سطح بدون پرایمینگ (شاهد)، هیدروپرایمینگ (۲۴ ساعت در آب مقطر و بعد در هوای آزاد

به مدت ۲۴ ساعت جهت خشک شدن قرار داده شد) و اسموپرایمینگ (با استفاده از محلول PEG 6000، ۰/۲ مگاپاسکال و قرار دادن بذرها به مدت ۲۴ ساعت در محلول و بعد ۲۴ ساعت در هوای آزاد خشک شد) و تیمار فرعی دیگر شامل سطوح مختلف استفاده از میکوریزا: بدون کاربرد میکوریزا (شاهد)، استفاده از گونه‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* بودند. مایه تلقیح مورد استفاده که با روش کشت گلدانی گیاه ذرت توسط کلینیک گیاه‌پزشکی ارگانیک اسدآباد همدان بدست آمده بود، شامل قطعات ریز ریشه ذرت همزیست، حاوی ریسه‌ها، وزیکول‌ها، آربوسکول‌ها، اسپورهای قارچ و خاک چسبیده به آن‌ها بود. به‌هنگام کاشت، مقدار ۱۰ گرم از هر گونه میکوریزا به‌ازای هر بذر در عمق ۴-۳ سانتی‌متری خاک قرار داده شد، سپس بذرها کاشته و حدود دو سانتی‌متر خاک بر روی بذرها داده شد. عملیات تهیه بسترکاشت شامل شخم، دیسک و تسطیح در خرداد ماه و عملیات کاشت در نیمه اول تیر ماه برای هر دو سال آزمایش انجام شد. هر کرت شامل شش ردیف به طول پنج متر و فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بوته بر روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. به‌منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، فاصله تیمارهای فرعی از یکدیگر ۱/۵ متر و تیمارهای اصلی دو متر و فاصله بین تکرارها نیز سه متر بود. تا مرحله ۳-۲ برگی و استقرار کامل گیاه همه تیمارها به‌طور یکسان آبیاری شدند و بعد از این مرحله سطوح مختلف تنش خشکی اعمال شد. برای تعیین مقدار آبیاری در سطوح آبیاری مورد نظر، از نتایج پژوهش تعیین نیازآبی گیاه مرجع چمن (ETo) در منطقه حاجی‌آباد که به‌وسیله مرادی‌دالینی (Moradi-Dalini, 2012) تعیین شده بود و مقدار ضریب گیاهی (K_c) کنجد در مراحل مختلف رشد (Farshi et al., 1998)، استفاده گردید. در نهایت، با در نظر گرفتن باران مؤثر، مقدار آب آبیاری کنجد برای آبیاری کامل (بدون تنش، معادل ۶۳۷۶/۷۷ متر مکعب آب در هکتار) محاسبه و با توجه به آن مقدار، آب مورد استفاده در هر سطح تنش خشکی محاسبه گردید. این مقادیر محاسبه شده با کمک کنتور حجمی آب به فاصله هر پنج روز یک‌بار و به‌طور جداگانه برای هر سطح تنش خشکی اعمال گردید. روش آبیاری به صورت قطره‌ای- نواری (تیپ) بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical soil properties of the experimental site

سال Year	عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	واکنش pH	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available K ($mg.kg^{-1}$)
2014	0-30	لومی شنی Sandy loam	2.43	8.01	0.63	6.3	185
2015	0-30	لومی شنی Sandy loam	2.22	7.98	0.77	5.9	203

در هنگام برداشت، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از ردیف‌های سوم و چهارم پس از حذف نیم‌متر از هر دو انتهای خطوط کاشت و به مساحت ۳/۲ مترمربع بدست آمد. برای تعیین اجزای عملکرد از هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و متوسط تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد شاخه جانبی در هر بوته و ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه از ۱۰ نمونه صدتایی که به‌طور تصادفی از هر تیمار شمارش شدند، استفاده گردید.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و برای رسم نمودارها از برنامه کامپیوتری Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با کمک آزمون LSD ($p\leq0.05$) انجام گرفت.

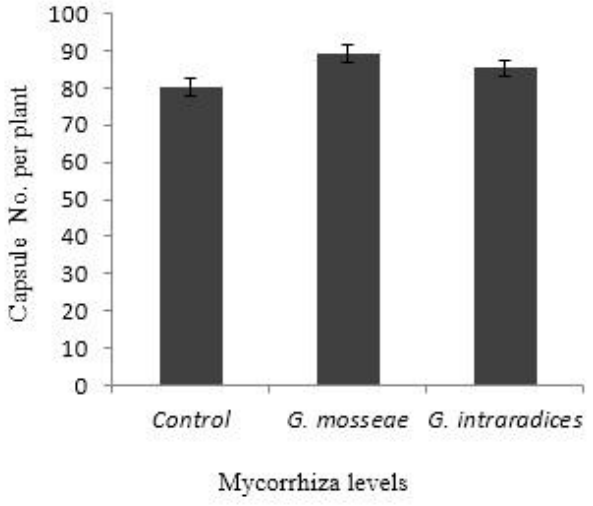
جدول ۲- داده‌های هواشناسی مربوط به ماه‌های رشد کنجد در سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹٤

Table 2- Meteorological data for sesame-growing seasons in 2014 and 2015

داده‌های هواشناسی Meteorological parameters	ماه Month									
	تیر July		مرداد August		شهریور September		مهر October		آبان November	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	42.2	41.9	42.3	41.7	39.4	43.9	35	35.3	26.4	26.7
دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	25.4	25.6	25.5	26.9	22.3	17.7	17.3	18.1	9	12.6
متوسط دما (درجه سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	35.1	33.8	35	34.3	30.9	31.1	26.2	26.7	18	19.7
میزان بارندگی (میلی‌متر) Total rainfall (mm)	1.3	9.3	0	0	0	2.7	0	1.5	0.2	11.4
تبخیر کل (میلی‌متر) Total evaporation (mm)	522.3	506.4	490.5	510.1	409.4	424.7	312.7	339.2	202.8	189
متوسط رطوبت نسبی (درصد) Average relative humidity (%)	24	31	29	26	33	31	32	33	32	56

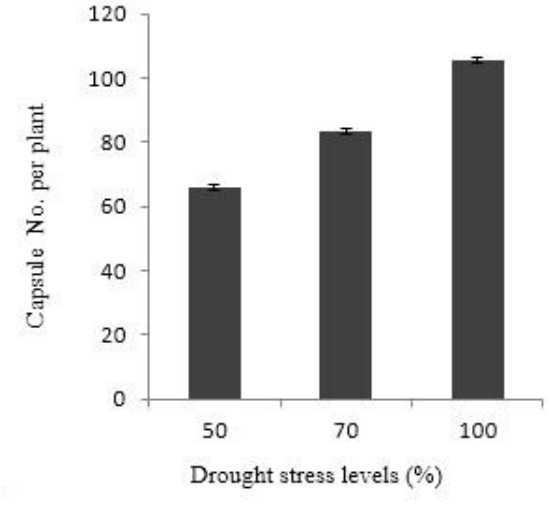
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و میکوریزا بر تعداد کپسول در هر بوته، تعداد دانه در هر کپسول، وزن هزاردانه، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود. تیمار پرایمینگ بر صفت تعداد دانه در هر کپسول ($p\leq0.01$) و همچنین بر صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی دارای تأثیری معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. برهمکنش آبیاری × میکوریزا فقط بر صفت عملکرد دانه ($p\leq0.05$)، برهمکنش میکوریزا × پرایمینگ بر صفات تعداد دانه در هر کپسول و عملکرد بیولوژیکی ($p\leq0.01$) و بر صفت وزن هزاردانه ($p\leq0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳).



شکل ۱- اثر همزیستی با قارچ میکوریزا بر تعداد کپسول در بوته کنجد

Fig. 1- Effect of mycorrhiza inoculation on the number of capsules per plant of sesame (LSD=1.594)



شکل ۲- اثر سطوح تنش خشکی بر تعداد کپسول در بوته کنجد

Fig. 2- Effect of drought stress levels on number of capsules per plant of sesame (LSD=1.905)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، پرایمینگ بذر و تلقیح با میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد

Table 3- Analysis of variance for the effects of irrigation levels, seed priming and mycorrhiza inoculation on yield and yield components of sesame

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of lateral branches per plant	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
سال (Y) Year (Y)	1	204.47*	244.45*	0.002ns	0.029 ns	45.65 ns	34818.67*	437008.62*
خطای سال Year error	4	2.006	17.48	0.039	0.015	9.67	3093.08	58471.49
آبیاری (I) Irrigation (I)	2	21348.09**	8488.02**	6.132**	5.789**	2823.04**	8661268.56**	46920532.91**
Y×I	2	0.49 ns	75.12**	0.005 ns	0.045 ns	9.37 ns	5162.15 ns	50575.56 ns
R×I	8	32.73	13.34	0.017	0.024	22.16	1435.84	8096.73
پرایمینگ (P) Priming (P)	2	36.72 ns	257.02**	0.066*	0.036 ns	32.15 ns	17226.78*	163463.72*
میکوریزا (M) Mycorrhizal (M)	2	1128.66**	725.17**	0.488**	0.282**	914.71**	434858.97**	4603237.85**
Y×P	2	3.08 ns	1.67 ns	0.001 ns	0.009 ns	1.86 ns	5519.27 ns	4712.34 ns
Y×M	2	27.95 ns	4.19 ns	0.004 ns	0.007 ns	161.48**	599.19 ns	10264.47 ns
Y×I×P	4	5.35 ns	6.45 ns	0.007 ns	0.004 ns	17.08 ns	2319.64 ns	24169.51 ns
Y×I× M	4	2.97 ns	19.8 ns	0.002 ns	0.0008 ns	6.15 ns	1576.65 ns	18037.52 ns
Y× P × M	4	8.14 ns	2.35 ns	0.032 ns	0.011 ns	21.99 ns	268.62 ns	9005.41 ns
I×P	4	32.82 ns	4.81 ns	0.012 ns	0.008 ns	15.82 ns	4416.52 ns	62839.19 ns
I×M	4	8.79 ns	12.41 ns	0.022 ns	0.023 ns	24.09 ns	9947.79*	121463.09 ns
P×M	4	13.91 ns	74.18**	0.046*	0.017 ns	38.68 ns	1905.21 ns	17339.69 **
I×P×M	8	34.27 ns	4.13 ns	0.010 ns	0.007 ns	48.09 ns	2882.3 ns	42290.31 ns
Y×I×P×M	8	2.75 ns	2.79 ns	0.015 ns	0.003 ns	4.49 ns	1781.58 ns	32599.19 ns
خطا Error	96	17.41	10.78	0.016	0.020	32.72	3997.26	50407.00
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		4.84	4.95	3.81	3.51	4.07	3.87	3.72

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

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

تعداد کپسول در هر بوته

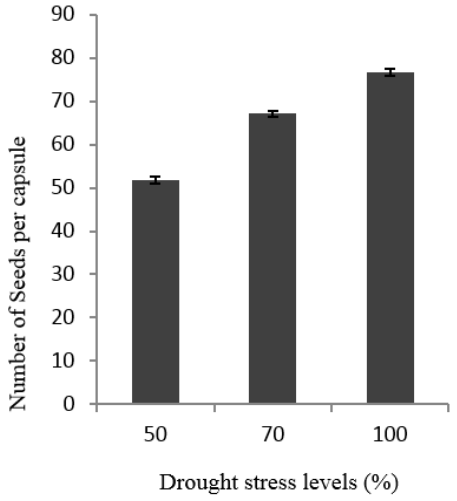
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی از تعداد کپسول در هر بوته کاسته شد، به‌طوری که بیشترین و کمترین تعداد کپسول در هر بوته به‌ترتیب در تیمار آبیاری مطلوب ۱۰۵/۴۳ و تنش شدید خشکی ۶۵/۷۴ بدست آمد. در واقع سطح آبیاری ۵۰ درصد نیازآبی گیاه (تنش شدید) منجر به ۳۷/۶ درصد کاهش در تعداد کپسول در هر بوته نسبت به آبیاری معادل نیازآبی گیاه (شاهد) گردید (شکل ۲). در تیمار میکوریزا، بیشترین تعداد کپسول در هر بوته ۸۹/۱۸ مربوط به گونه *G. mosseae* و کمترین تعداد کپسول در هر بوته ۸۰/۰۷ مربوط تیمار بدون میکوریزا بود (شکل ۱). کاربرد قارچ *G. mosseae* در واقع باعث افزایش ۱۰/۲ درصد تعداد کپسول در هر بوته نسبت به شاهد (بدون میکوریزا) شد. در بررسی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد چهار رقم کنجد در تیمارهای مختلف رطوبتی خاک بیان شد که در شرایط تنش خشکی، تعداد کپسول در هر بوته به میزان ۴۲ درصد کاهش یافت و همچنین کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش تعداد کپسول در هر بوته شد و بیشترین تعداد کپسول در هر بوته در تلقیح با قارچ *G. mosseae* مشاهده شد (Mehrabi & Ehsanzadeh, 2011). ساینز و همکاران (Sainz et al., 1998) بیان کردند که قارچ‌های میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و عناصر ریزمغذی، افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده، سبب بهبود رشد و اجزای عملکرد گیاه میزبان می‌شوند.

تعداد دانه در هر کپسول

اثر متقابل میکوریزا و پرایمینگ بر تعداد دانه در کپسول ($p\leq0.01$) معنی‌دار بود. بیشترین تعداد دانه در کپسول با ۶۸/۸ دانه مربوط به تیمار هیدروپرایمینگ و قارچ گونه *G. mosseae* و کمترین آن با ۵۵/۹۴ دانه در کپسول مربوط به تیمارهای بدون پرایمینگ و بدون قارچ میکوریزا (شاهد) بود (شکل ۶). در نتیجه این تحقیق به‌وضوح مشاهده می‌شد که در تیمارهای پرایمینگ در اثر بالاتر بودن سرعت و درصد جوانه‌زنی در مراحل ابتدایی رشد و گسترش بهتر و سریع‌تر تاج پوشش گیاهی اثر مثبتی بر اجزای عملکرد دانه (تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه) طی مراحل مختلف رشدی داشتند که در انتهای فصل رشد موجب حصول حداکثر عملکرد دانه در این تیمارها گردید. کاربرد تیمارهای اسموپرایمینگ، هاردنینگ و ماتریک پرایمینگ در مورد کلزا (*Brassica napus* L.) سبب افزایش عملکرد

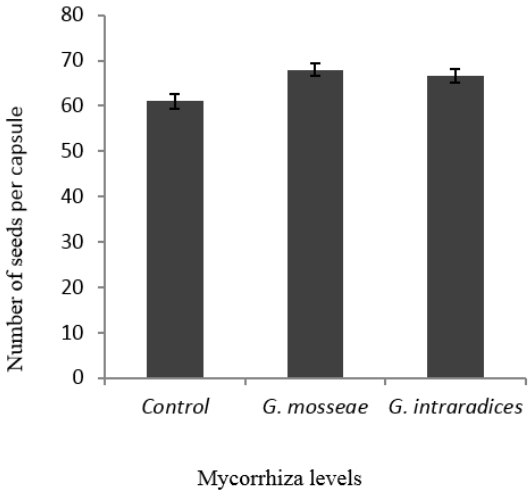
از طریق بهبود شاخص‌هایی چون تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه گردید (Afzal et al., 2004).

قارچ‌های میکوریزا به‌واسطه شبکه هیف‌های تولیدی باعث دسترسی به حجم بیشتری از خاک و جذب بیشتر آب و مواد غذایی و در نتیجه باعث افزایش مقاومت به خشکی و افزایش عملکرد گیاه می‌شوند. نتایج تحقیقات نشان داده است که اصلاح روابط آبی گیاه توسط قارچ‌های میکوریزا می‌تواند به‌واسطه افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق، اثر هورمونی و تعادل هورمونی، افزایش سریع جذب آب و رساندن پتانسیل گیاه به حد تعادل باشد (Manafi, 2010). مقایسات میانگین بین داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی تعداد دانه در هر کپسول همانند تعداد کپسول در هر بوته کاهش پیدا کرد، به‌طوری که بیشترین و کمترین تعداد دانه در هر کپسول به‌ترتیب به‌میزان‌های ۷۶/۶۷ و ۵۱/۸۱ دانه در هر کپسول در تیمارهای آبیاری مطلوب (شاهد) و تنش شدید خشکی بدست آمد. در واقع سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش شدید) منجر به ۳۲/۴ درصد کاهش در تعداد دانه در هر کپسول نسبت به سطح آبیاری معادل نیازآبی گیاه (شاهد) گردید (شکل ۳). کاهش در تعداد دانه در هر کپسول در اثر بروز تنش، با یافته‌های (Hassanzadeh et al., 2009) مطابقت داشت. بیشترین تعداد دانه در هر کپسول در شرایط آبیاری مطلوب و تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* به میزان ۶۷/۹۲ مشاهده شد. در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، تعداد دانه در هر کپسول را به میزان ۷/۶ درصد افزایش داد، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی شدید و ملایم، تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، تعداد دانه در هر کپسول را به‌ترتیب به میزان‌های ۱۵/۸ و ۸/۴ درصد افزایش داد که نشان می‌دهد در شرایط کمبود آب، استفاده از قارچ میکوریزا تا حدودی اثر نامطلوب کمبود آب را جبران و از کاهش بیشتر تعداد دانه در هر کپسول جلوگیری می‌نماید (شکل ۴). در یک تحقیق در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گزارش شد که کاربرد میکوریزا باعث افزایش تعداد دانه در طبق شد (Raei et al., 2016).



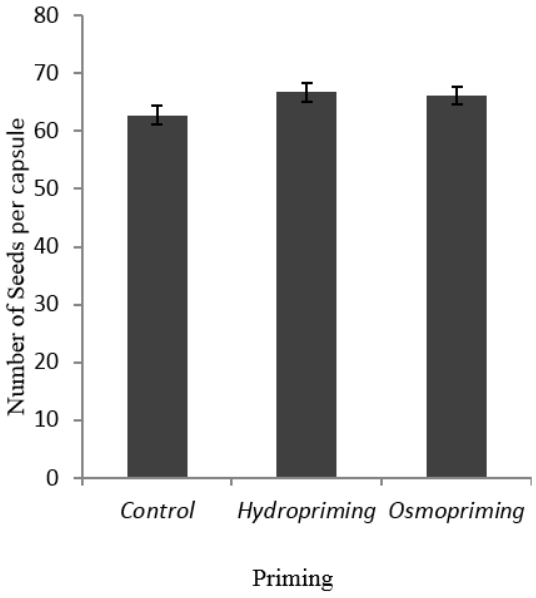
شکل ۳- اثر سطوح تنش خشکی بر تعداد دانه درکپسول کنجد

Fig. 3- Effect of drought stress levels on number of seeds per capsule of sesame (LSD=1.225)



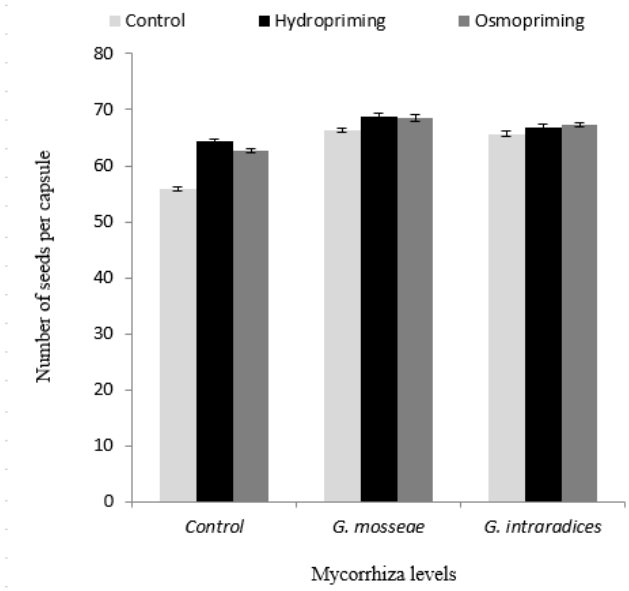
شکل ٤- اثر همزیستی با قارچ میکوریزا بر تعداد دانه در کپسول

Fig. 4- Effect of mycorrhiza inoculation on number of seeds per capsule of sesame (LSD=1.254)



شکل ۵- اثر سطوح پرایمینگ بر تعداد دانه در کپسول کنجد

Fig. 5- Effect of priming levels on number of seeds per capsule of sesame (LSD=1.254)

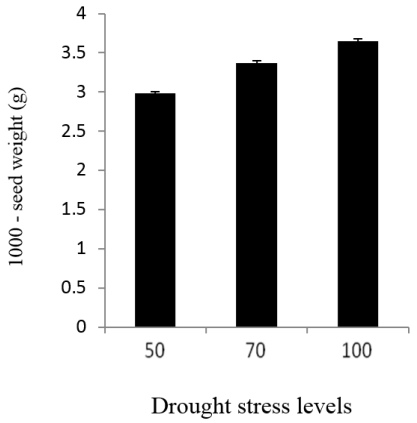


شکل ٦- اثر متقابل همزیستی با قارچ میکوریزا و پرایمینگ بر تعداد دانه در کپسول کنجد

Fig. 6- Interaction of mycorrhiza inoculation and priming on number of seeds per capsule of sesame (LSD=7.34)

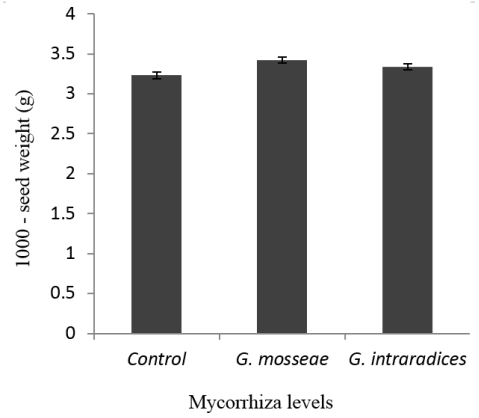
وزن هزار دانه

اثر متقابل میکوریزا و پرایمینگ بر وزن هزار دانه ($p\leq0.05$) معنی‌دار بود. بیشترین وزن هزار دانه با ۳/۴۲ گرم مربوط به هیدرو پرایمینگ و قارچ *G. mosseae* و کمترین آن با ۳/۱۳ گرم مربوط به تیمارهای بدون پرایمینگ و بدون قارچ میکوریزا (شاهد) بود (شکل ۱۰). به‌نظر می‌رسد کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی به‌علت پیری زودرس وکوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه باشد. جمشیدی و همکاران (Jamshidi et al., 2009) بیان داشتند که کاربرد میکوریزا باعث افزایش وزن هزار دانه شده و از این طریق عملکرد دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شرایط تنش خشکی و نرمال افزایش می‌یابد. نتایج مقایسه ساده تیمارها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، وزن هزاردانه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، وزن هزار دانه را به‌ترتیب به میزان‌های ۱۸/۳ و ۷/۷ درصد کاهش دادند (شکل ۷). به‌نظر می‌رسد کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی به علت زودرسی وکوتاه شدن دوره پر شدن دانه باشد. این نتایج با یافته‌های (Fereres & Soriano, 2007) مطابقت داشت.کاهش وزن دانه در تنش کمبود آب بیشتر به‌دلیل کاهش دوره پرشدن دانه می‌باشد (Nesmith & Ritchie, 1992). در آزمایش دیگری نیز مشاهده شد که در تنش خشکی به‌علت کاهش آب قابل دسترس گیاه، مدت زمان پر شدن دانه کاهش می‌یابد و دانه‌ها نمی‌توانند به طورکامل پر شوند (Fischer et al., 1981). تلقیح با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی شدید، سبب گردید تا کاهش وزن هزاردانه تا حدودی جبران گردد، به‌طوری‌که همزیستی با قارچ‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح، وزن هزار دانه را به‌ترتیب ۵/۵ و ۳/۲ درصد بهبود بخشیدند. در شرایط تنش ملایم این قارچ‌ها به ترتیب با ۳ و ۰/۷ درصد وزن دانه را بهبود دادند و در شرایط آبیاری مطلوب تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* نسبت به عدم تلقیح، وزن هزار دانه را حدود ۲/۹ درصد افزایش داد (شکل ۸). به‌نظر می‌رسد تلقیح با قارچ میکوریزا هرچند در هر سه شرایط مختلف آبیاری، وزن هزار دانه را افزایش داد، ولی در شرایط تنش خشکی شدید تلقیح موثرتر بوده است. در یک تحقیق گزارش شد که کاربرد میکوریزا باعث افزایش وزن هزار دانه شد و از این طریق عملکرد دانه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی و نرمال افزایش یافت (Jamshidiet al., 2009). در همین راستا محققین دیگر نیز به کاهش وزن هزار دانه با اعمال تنش رطوبتی در گیاه آفتابگردان و گلرنگ اذعان داشته‌اند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد (Haidari & Karami, 2014; Kargar, 2014).



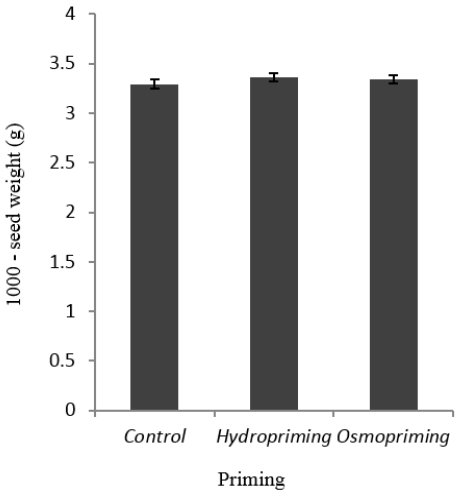
شکل ۷- اثر سطوح تنش خشکی بر وزن هزار دانه کنجد

Fig. 7- Effect of drought stress levels on 1000- seed weight of sesame (LSD=1.056)



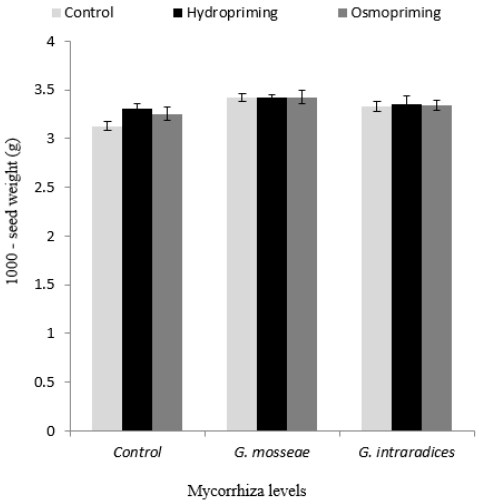
شکل ۸- اثر همزیستی با قارچ میکوریزا بر وزن هزار دانه کنجد

Fig. 8- Effect of mycorrhiza inoculation on 1000-seed weight of sesame (LSD=1.049)



شکل ۹- اثر سطوح پرایمینگ بر وزن هزار دانه کنجد

Fig. 9- Effect of priming levels on 1000-seed weight of sesame (LSD=0.049)

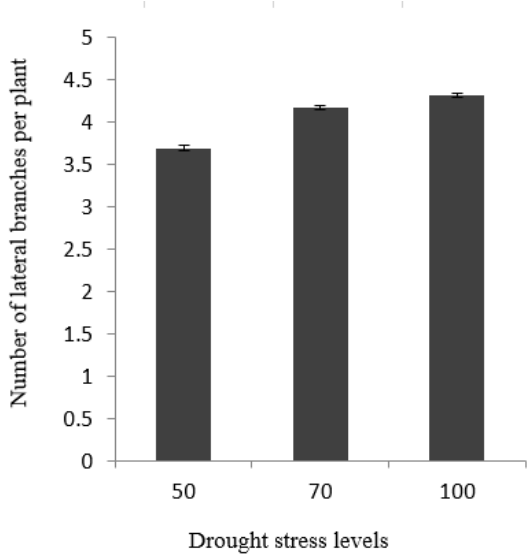


شکل ۱۰- اثر متقابل همزیستی با قارچ میکوریزا و پرایمینگ بر وزن هزار دانه کنجد

Fig. 10- Interaction of mycorrhiza inoculation and priming on 1000-seed weight of sesame (LSD=0.204)

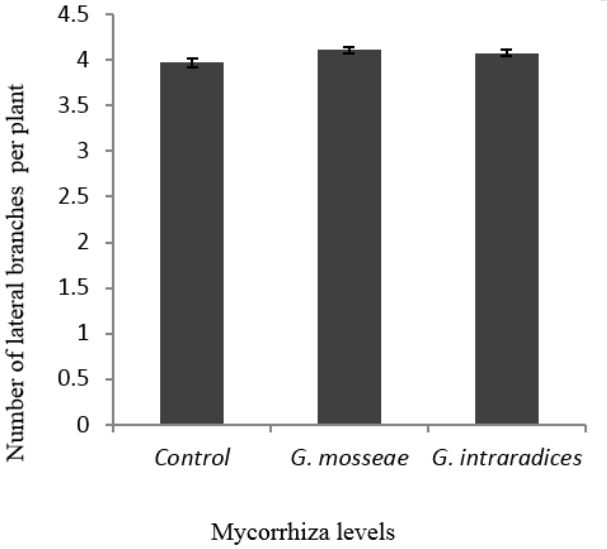
تعداد شاخه فرعی

مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی تعداد شاخه فرعی کاهش پیدا کرد؛ به‌طوری‌که بیشترین وکمترین تعداد شاخه فرعی به‌ترتیب در تیمار آبیاری مطلوب ۴/۳۱ و تنش شدید خشکی ۳/۶۹ بدست آمد. در واقع، سطح آبیاری ۵۰ درصد نیازآبی‌گیاه (تنش شدید) منجر به ۱۴/۴ درصد کاهش در تعداد شاخه فرعی نسبت به سطح آبیاری معادل نیاز آبی‌گیاه (شاهد) گردید (شکل ۱۱). بررسی انجام شده توسط رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani-Moghaddam et al., 2005) نیز نشان داد که با افزایش فواصل آبیاری و تراکم بوته در واحد سطح، تعداد شاخه فرعی کنجد کاهش یافت. همچنین شیرانی‌راد و همکاران (Shirani-Rad et al., 2010) گزارش دادند که تنش خشکی بخصوص قطع آبیاری از مرحله گلدهی و خورجین‌دهی به بعد در کلزا توانست تعداد شاخه فرعی را کاهش دهد. در تیمار میکوریزا بیشترین تعداد شاخه‌فرعی با ۴/۱۲ شاخه‌فرعی مربوط به گونه *G. mosseae* و کمترین آن با ۳/۹۷ شاخه‌فرعی مربوط به تیمار بدون میکوریزا بود. تیمار میکوریزا باعث افزایش ۳/۴ درصد شاخه فرعی نسبت به تیمار بدون میکوریزا گردید (شکل ۱۲).



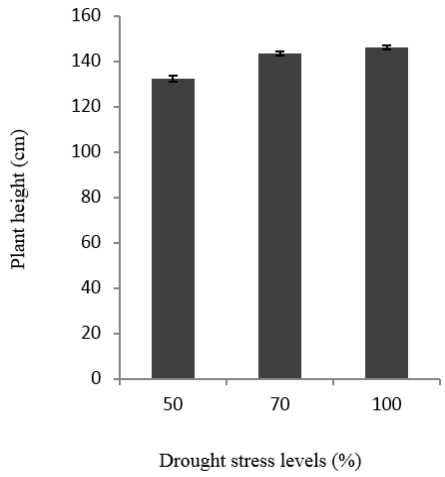
شکل ۱۱- اثر سطوح تنش خشکی بر تعداد شاخه فرعی کنجد

Fig. 11- Effect of drought stress levels on number of lateral branches of sesame (LSD=1.074)



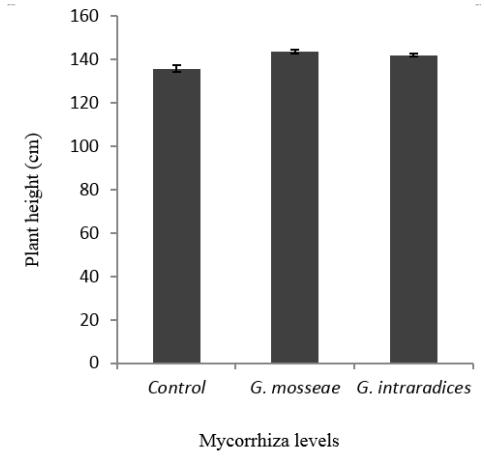
شکل ۱۲- اثر همزیستی با قارچ میکوریزا بر تعداد شاخه فرعی در بوته کنجد

Fig. 12- Effect of mycorrihiza inoculation on number of lateral branches per plant of sesame (LSD=1.054)



شکل ۱۳- اثر سطوح تنش خشکی بر ارتفاع گیاه کنجد

Fig. 13- Effect of drought stress levels on plant hieght of sesame (LSD=2.282)



شکل ۱۴- اثر همزیستی با قارچ میکوریزا بر ارتفاع گیاه کنجد

Fig. 14- Effect of mycorrihiza inoculation on plant hieght of sesame (LSD=2.185)

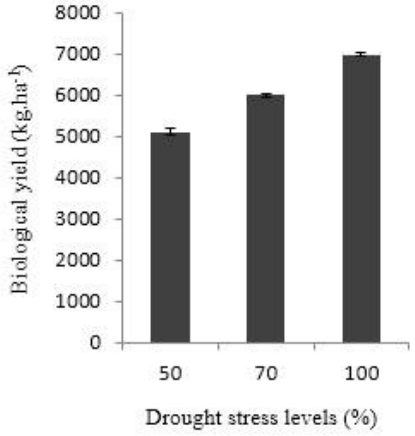
ارتفاع بوته

ارتفاع بوته در تمامی تیمارهای تنش نسبت به شاهد کاهش نشان داد. بیشترین کاهش به میزان ۹/۴ درصد مربوط به تیمار تنش شدید (۵۰ درصد نیازآبی گیاه) بود (شکل ۱۳). تنش خشکی از طریق کاهش سرعت رشدگیاه، موجب کاهش ارتفاع می‌شود (Rostami et al., 2004). تعدادی از محققین گزارش نمودند که با افزایش دور آبیاری و افزایش شدت کمبود آب ارتفاع بوته کنجد کاهش یافت (Rezvani Moghaddam et al., 2005; Eskandari et al., 2010). در یک تحقیق گزارش شد که تنش خشکی در مرحله گلدهی کنجد باعث کاهش ارتفاع بوته شد (Jain et al., 2010). در شرایط اعمال تنش خشکی جریان آسیمیلات‌ها به اندام‌های در حال رشد کاهش یافته و از توسعه سلولی ممانعت به‌عمل می‌آید، این امر منجر به کاهش سطح برگ و سپس کاهش ارتفاع گیاه می‌شود که حتی با کاهش تنش نیز اندام‌های تحت تأثیر قرار گرفته دیگر به توسعه کامل سلولی نمی‌رسند (Banziger et al., 2000). مقایسه میانگین تیمار میکوریزا بر ارتفاع بوته نشان داد که قارچ گونه *G.mosseae* بر ارتفاع بوته نسبت به شاهد (بدون میکوریزا) ۵/۴ درصد برتری داشت، ولی بین دو گونه قارچ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱۴). در یک تحقیق در گیاه آفتابگردان بر خلاف نتایج

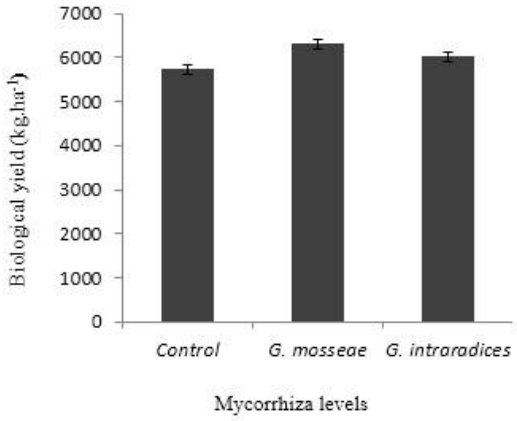
این مطالعه گزارش شد که قارچ گونه *G. intraradices* نسبت به قارچ گونه *G. mosseae* بر ارتفاع بوته تأثیر بیشتری داشت (Veysi et al., 2017).

عملکرد بیولوژیکی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی در شرایط آبیاری مطلوب با ۶۹۷۰/۵۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد بیولوژیکی در شرایط تنش خشکی شدید با ۵۱۰۷/۰۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۱۵). دلیل کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در شرایط کمبود آب، کاهش شاخص سطح برگ، کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش دوام سطح برگ گزارش شده است. کاهش وزن خشک گیاه تحت رطوبت پایین خاک ممکن است به‌دلیل کاهش سطح برگ و کاهش میزان فتوسنتز باشد (Sinaki et al., 2007; Zubarer et al., 2007). اشکانی و همکاران (Ashkani et al., 2007) بیان داشتند که صفت عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و باعث کاهش معنی‌دار آن شد. دلیل افزایش عملکرد بیولوژیکی در شرایط آبیاری مطلوب، گسترش بیشتر و دوام بهتر سطح برگ بوده که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک می‌شود. این نتایج با نتایج (Gholinezhad et al., 2010) نیز مطابقت داشت. در آزمایشی مشاهد گردید که در ذرت در شرایط آب و هوایی اهواز، حداکثر عملکرد دانه و بیولوژیک در تیمار آبیاری مطلوب حاصل شد و با اعمال تنش‌های رطوبتی، کاهش این صفات معنی‌دار بود (Mojdam, 2006). تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و گونه *G. intraradices* نسبت به عدم تلقیح با قارچ میکوریزا، عملکرد بیولوژیکی را به میزان‌های ۹/۲ و ۵ درصد بهبود بخشیدند (شکل ۱۶). تأثیر قارچ میکوریزا بر افزایش رشد گیاه میزبان تحت شرایط تنش خشکی از طریق بهبود دسترسی فسفر می‌باشد، زیرا دسترسی به فسفر در خاک‌های خشک کاهش می‌یابد (Subramanian et al., 2006). کاهش رطوبت خاک باعث کاهش سرعت انتشار مواد مغذی مخصوصاً فسفر از خاک به سطح جذبی ریشه شده، لذا کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش جذب فسفر توسط ریشه گیاه هم در شرایط تنش خشکی و هم بدون تنش می‌شود (Hetrick et al., 1996).



شکل ۱۵- اثر سطوح تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیک کنجد
Fig. 15- Effect of drought stress levels on biological yield of sesame (LSD=74.223)

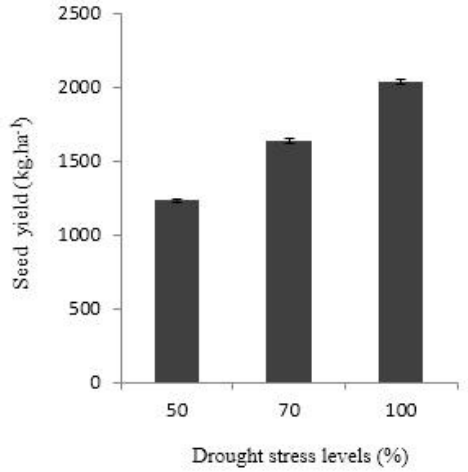


شکل ۱۶- اثر همزیستی با قارچ میکوریزا برعملکرد بیولوژیک کنجد
Fig. 16- Effect of mycorrhiza inoculation on biological yield of sesame (LSD=85.767)

عملکرد دانه

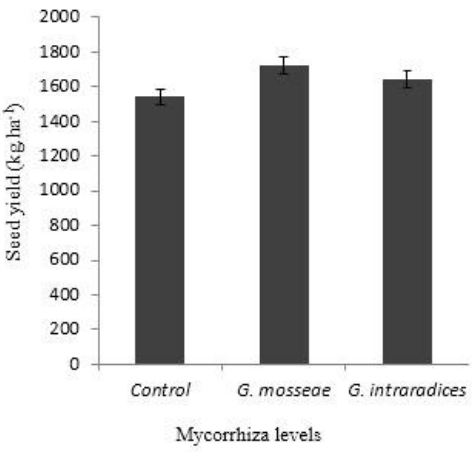
مهم‌ترین عامل در تولید گیاهان زراعی میزان عملکرد دانه محسوب می‌شود. اثر متقابل تنش خشکی و میکوریزا بر عملکرد دانه ($p\leq0.05$) معنی‌دار بود. این موضوع نشان دهنده آن است که اثر قارچ بر عملکرد دانه مستقل از اثر تنش نبوده و تحت تاثیر آن واقع شده است. بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* به میزان ۲۱۳۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن به میزان ۱۱۷۱ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش شدید خشکی و بدون میکوریزا مشاهده شد. در شرایط آبیاری مطلوب تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، عملکرد دانه را به میزان ۹/۹۷ درصد افزایش داد؛ درحالی‌که در شرایط تنش خشکی شدید و ملایم، تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، عملکرد دانه را به‌ترتیب به میزان‌های ۱۱/۳۹ و ۹/۷۱ درصد افزایش داد که نشان می‌دهد در شرایط محدودیت آب، تلقیح با قارچ میکوریزا تا حدودی اثر نامطلوب کمبود آب را جبران و از کاهش بیشتر عملکرد دانه جلوگیری می‌شود (شکل ۲۰). نتایج مطالعات نشان می‌دهد قارچ‌های میکوریزا در طی دوره تنش خشکی با افزایش پتانسیل آب برگ (Ladjal & Ducrey, 2005)، افزایش سرعت مصرف دی‌اکسید کربن (Amerian et al., 2001) و افزایش میزان تعرق (Bathlenfalvay

et al., 1998) قادرند اثر تنش خشکی در گیاه را کاهش دهند. نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش معنی‌داری می‌یابد، به‌طوری‌که تنش خشکی شدید و ملایم نسبت به شرایط آبیاری مطلوب،عملکرد دانه را به میزان ۳۹/۴ و ۱۹/۳ درصد کاهش داد (شکل ۱۷). بیشتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل افزایش تعداد کپسول در بوته، افزایش تعداد دانه در کپسول و افزایش تعداد شاخه-های فرعی باشد. در بسیاری از گزارشات نشان داده شده است که عملکرد کنجد، در تنش‌های شدید خشکی و کم‌آبیاری تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در طی یک تحقیق گزارش شده است که با افزایش شدت کمبود آب از ۱۵۰ به ۳۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، عملکرد دانه در واحد سطح کاهش یافت (Eskandari et al., 2010). در آزمایشی دیگری نیز کاهش قابل ملاحظه عملکرد را در تنش شدید خشکی گزارش شده است(Murty & Bhatia, 1990). تنش کم‌آبی به‌طور بسیار مؤثری سبب کاهش مقدار عملکرد دانه در گیاه سویا (*Glycine max* L.) شد (Jahangiri Nia et al., 2017). در یک پژوهش دیگر، اثر سطوح مختلف آب، رقم و اثر متقابل آنها برعملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) معنی‌دار بود، همچنین تیمار برتر از نظر سطوح مختلف آب بر عملکرد، تیمارهای تأمین ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیازآبی گیاه بودند که به‌صورت مشترک جایگاه برتر را به خود اختصاص دادند (Salamati & Delbari, 2014). پرایمینگ بذر نسبت به‌عدم پرایم بذر عملکرد دانه را به میزان ۲ درصد افزایش داد (شکل ۱۹). در تیمارهای پرایمینگ در اثر بالاتر بودن سرعت و درصد جوانه‌زنی در مراحل ابتدایی رشد و گسترش بهتر و سریع‌تر تاج پوشش گیاهی از طریق اثر مثبتی که بر اجزای عملکرد دانه طی مراحل مختلف رشدی داشت، در انتهای فصل رشد موجب حصول حداکثر عملکرد دانه در این تیمارها گردید. در یک تحقیق ملاحظه گردید که پرایمینگ باعث افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه وکاهش گیاهچه‌های غیرنرمال آفتابگردان در شرایط تنش خشکی گردید(Demir et al., 2006). افزایش عملکرد به‌وسیله پرایمینگ بذر همچنان که محققان دیگر نیز گزارش کرده‌اند، می‌تواند به‌دلیل جوانه‌زنی بهتر، رشد سریع گیاهچه، استقرار مناسب و در نهایت، استفاده مطلوب از مواد غذایی و عوامل محیطی باشد (Hozayn et al., 2007). تلقیح با قارچ‌های میکوریزا گونه‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، عملکرد دانه را به میزان ۱۰/۴ و ۴/۷ درصد بهبود بخشیدند (شکل ۱۸). علت افزایش عملکرد دانه در اثر استفاده از قارچ را می‌توان به بهبود اجزای عملکرد دانه، مانند تعداد کپسول در هر بوته، تعداد دانه در هر کپسول و وزن هزار دانه ارتباط داد. به‌عبارتی مصرف قارچ میکوریزا در مقایسه با حالت عدم مصرف قارچ میکوریزا، باعث افزایش اجزای عملکرد دانه شد. رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2016) اثر کاربرد همزمان میکوریزا و کودهای آلی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی کنجد گزارش کردند که میکوریزا چه به تنهایی و چه در ترکیب با کودهای آلی گرانوله گوگردی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد (بدون کود) شد. همچنین گزارش شده است میکوریزا به‌دلیل تولید انواع هورمون‌ها و مواد بیولوژیکی محرک رشد گیاه و همچنین بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای باعث فراهمی رطوبت و دسترسی به عناصر غذایی به‌ویژه فسفرگردید که در نتیجه بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد را به‌دنبال داشت (Koocheki et al., 2015).



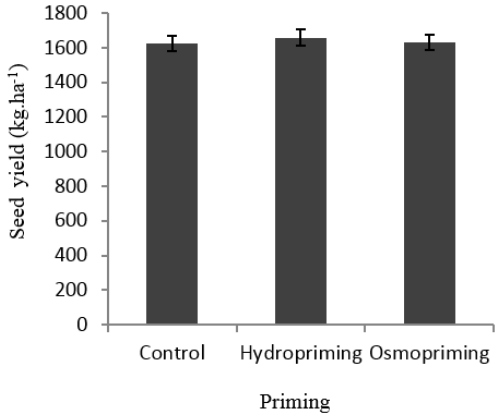
شکل ۱۷- اثر سطوح تنش خشکی بر عملکرد دانه کنجد

Fig. 17- Effect of drought stress levels on seed yield of sesame (LSD=23.745)



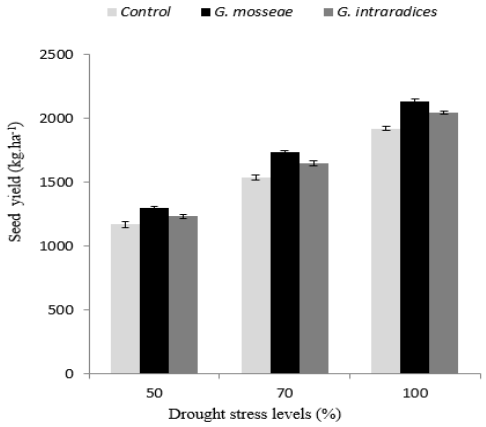
شکل ۱۸- اثر همزیستی با قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه کنجد

Fig. 18- Effect of mycorrhiza inoculation on seed yield of sesame (LSD=24.152)



شکل ۱۹- اثر سطوح پرایمینگ بر عملکرد دانه کنجد

Fig. 19- Effect of priming levels on seed yield of sesame (LSD=24.159)



شکل ۲۰- اثر متقابل تنش خشکی و همزیستی با قارچ میکوریزا برعملکرد دانه کنجد

Fig. 20- Interaction of drought stress and mycorrhiza inoculation on seed yield of sesame (LSD=4.96)

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. به‌طورکلی، نتایج این تحقیق نشان داد که با کاهش میزان آب، عملکرد دانه و بیولوژیک، ارتفاع بوته و اجزای عملکرد کاهش یافت. تلقیح با گونه‌های میکوریزا باعث بهبود عملکرد دانه و بیولوژیک و اجزای عملکرد گردید که در این میان تلقیح با گونه *G. mosseae* تأثیر بیشتری بر کلیه صفات مورد بررسی نسبت به گونه *G. intraradices* به‌همراه داشت. استفاده از قارچ میکوریزا نه تنها در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه می‌شود و اثر کمبود آب را کاهش می‌دهد بلکه در شرایط مطلوب آبیاری نیز می‌توان با مصرف قارچ میکوریزا مخصوصاً گونه *G. mosseae* عملکرد و صفات وابسته به عملکرد را بهبود بخشید. بدین‌ترتیب، 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 اثر کمبود آبیاری در گیاه کنجد تأثیرات مثبتی داشته باشد. پرایمینگ بذر نیز به دلیل جوانه‌زنی بهتر، رشد سریع گیاهچه، استقرار مناسب و در نهایت، استفاده مطلوب از مواد غذایی و عوامل محیطی، در نهایت باعث افزایش عملکرد شد. بنابراین، به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب و مواد غذایی، می‌توان با آبیاری کمتر و مصرف قارچ گونه *G. mosseae* نیاز آبی گیاه کنجد را فراهم و به نتایج قابل قبولی دست یافت.

منابع

Afzal, I., Aslam, N., Mabood, F., Hussain, A., and Irfan, S. 2004. Enhancement of canola seed by different priming techniques. Caderno de Pesquisa Ser. Bio. Santa Cruz do Sul 16: 19-34.

Al-Palsan, M., Boydak, E., Hayta, M., Gercek, S., and Simsek, M. 2001. Effect of row space and irrigation on seed composition of Turkish Sesame. Journal of Crop Science 78: 933-935.

Amerian, M.R., Stewart, W.S., and Griffiths, H. 2001. Effect of two species of *arbuscular mycorrhiza* fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). Aspects of Applied Biology 63: 71-76.

Ashkani, J., Pakniyat, H., Emam, Y., Assad, M.T., and Bahrani, M.J. 2007. The evaluation and relationships of some physiological traits in spring safflower under stress and non-stress water regimes. Journal of Agricultural Science and Technology 9: 267-277.

Azcon, R., and El-Atrash, F. 1997. Influence of *arbuscular mycorrhizae* and phosphorus fertilization on growth, nodulation and N_2 fixation in *Medicago sativa* at four salinity levels. Biology and Fertility of Soils 24: 81-86.

Bagheri, V., Shamshiri, M.H., Shirani, H., and Roosta, H.R. 2012. Nutrient uptake and distribution in mycorrhizal pistachio seedlings under drought stress. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 1591-1604.

Banzigar, M., Edmeades, G.O., Beck, D., and Bellon, M. 2000. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize from theory to practice. Plant Genetics and Breeding 633-1553.

Bathlenfalvay, G.J., Brown, M.S., Ames, R.N., and Thomas, R.S. 1998. Effect of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybean in relation to water use and phosphate uptake. Physiologia Plantarum 72: 565-571.
Bradford, K.J., Steiner, J.J., and Trawatha, S.E. 1990. Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots. Crop Science 30: 718-721.
Demir, K.M., Gamze, O., Atak, M., Cikili, Y., and Kolsarici, O. 2006. Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy 24: 291-295.
Elwan, L.M. 2001. Effect of soil water regimes and inoculation with mycorrhizae on growth and nutrients content of maize plants. Zagazig Journal Agriculture Research 28: 163-172.
Eskandari, H., ZehtabSalmasi, S., and Ghasemi-Golozani, K. 2010. Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. Journal of Sustainable Agriculture Science 20(1): 39-51. (In Persian with English Summary)
Farshi, A., Shariati, M., Jarollahi, R., Ghaemi, M., Shahabifar, M., and Tallaei, M.M. 1998. An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran (Vol. I: field crops). Soil and Water Research Institute, Agricultural Education Publication 918 p. (In Persian)
Fereres, E., and Soriano, M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany 58: 147-159.
Fischer, K.S., Johnson, E.C., and Edmeades, G.O. 1981. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. Mexico, D.F. CIMMYT.
Gholinezhad, E., Aynband, A., Hassanzadeh Ghrthapeh, E., Bernousi, A., and Rezaee, H. 2010. Evaluation of effective drought stress on yield, yield components and harvest index of sunflower hybrid Iroflor at different levels of nitrogen and plant population in Urmia climate conditions. Journal of Plant Production Research 16(3): 1-28. (In Persian with English Summary)
Good, A., and Zaplachiniski, S. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. Physiologia Plantarum 90: 9-14.
Haidari, M., and Karami, A. 2014. Effects of water stress and different mycorrhiza species on yield and yield components, Chlorophyll and biochemical components of sunflower. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 6(1): 17-26. (In Persian with English Summary)
Hassanzadeh, M., Asghari, A., Jamaati-e-Somarin, S.H., Saeidi, M., Zabihi- Mahmoodabad, R., and Hokmalipour, S. 2009. Effects of water deficit on drought tolerance indices of sesame genotypes in Moghan Region. Research Journal of Environmental Sciences 3: 116-121.
Hetrick, B.A.D., Wilson, G.W.T., and Todd, T.C. 1996. Mycorrhiza response in wheat cultivars: Relationship to phosphorus. Canadian Journal of Botany 74: 19-25.
Hozayn, M., Zeidan, S.M., Abd El-Lateef, E.M., and Abd El-Salam, M.S. 2007. Performance of some mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes under late sowing condition in Egypt. Research Journal Agriculture Biotechnology Science 3: 972-978.
Jahangiri Nia, E., Syyadat, A., Koochakzadeh, A., Sayyahfar, M., and Moradi Telavat, M.R. 2017. The Effect of vermicompost and mycorrhizal inoculation on grain yield and some physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress condition. Journal of Agroecology 8(4): 583-597. (In Persian with English Summary)
Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L.E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., and Hong-Ving, Z. 2010. Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. Chinese Journal of Oil Crops Sciences 4: 42-48.
Jamshidi, E., Ghalavnd, A., Salahi, A., Zare, M.G., and Jamshidi, A.R. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. Iranian Journal of Crop Sciences 11(1):136-150. (In Persian with English Summary)
Kargar, F. 2014. Effects of drought stress and methanol spray on quantitative and qualitative characteristics of safflower. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian with English Summary)
Koocheki, A., Bakhshaie, S., Khorramdel, S., Mokhtari, V., and Taher Abadi, S. 2015. 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. Iranian Journal of Field Crops Research 13(3): 448-460. (In Persian with English Summary)
Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Najafi, F. 2015. Effect of inoculation with mycorrhiza and irrigation water volumes on yield, yield components and essential oils of two species ajwain (*Trachyspermum ammi* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Journal of Agroecology 7(1): 20-37. (In Persian with English Summary)
Ladjal, M., Huc, R., and Ducrey, M. 2005. Drought effects on hydraulic conductivity and xylem vulnerability to embolism in diverse species and provenances of Mediterranean cedars. Tree Physiology 25: 1109-1117.
Manafi, H. 2010. Influence of mycorrhizosphere on soil hydraulic properties and tomato tolerance to water deficit stress. MS Thesis, University of Tabriz, Iran. (In Persian with English Summary)

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 3(2): 75-88. (In Persian with English Summary)
Mensah, J.K., Obadoni, B.O., Eruotor, P., and Onome-Trieguna, F. 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame. African Journal of Biotechnology 5: 1249-1253.
Mojdam, M. 2006. Effects of water deficit stress and nitrogen use management on agrophysiological characteristic and grain yield SC704 in Khuzestan. PhD Thesis Islamic Azad University. Research and Science Unit. Ahvaz. Iran. (In Persian with English Summary)
Moradi-Dalini, A. 2012. Determination of reference crop evapotranspiration using lysimeter measurements and comparison with calculating by climate methods in Haji Abad Climate. Final Report of Research Project, No. 1807, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran. (In Persian)
Murty, G.S.A., and Bhatia, C.R. 1990. Effect of recurring water stress on growth, yield and other agronomic characters in sesame. Sesame and Safflower Newsletter 5: 4-10.
Nesmith, D.S., and Ritchie, J.T. 1992. Short and long term responses of corn to apre-anthesis soil water deficit. Agronomy Journal 84: 106-113.
Raei, Y., Shariati, J., and Weisany, W. 2016. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25(1): 65-84. (In Persian with English Summary)
Reddy, A., Chaitanya, K., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M.B., and Ehyaee, H.R. 2016. Effect of simultaneous application of mycorrhiza with compost, vermicompost and sulfural granola on some quantitative and qualitative characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) in a low input cropping system. Journal of Agroecology 8(4): 583-597. (In Persian with English Summary)
Rezvani-Moghaddam, P., Norozpoor, G., Nabati, J., and Mohammad-Abadi, A.A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 3(1): 57-68. (In Persian with English Summary)
Rostami, M., Mirzaee, R., and Kafi, M. 2004. Evaluation of drought tolerance in four cultivars saffron at germination stage. 7thInternational Conference on the development of arid regions. Tehran, Iran, p. 125-128. (In Persian)
Sainz, M.J., Taboada-Castro, M.T., and Vilarino, A. 1998. Growth, mineral and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. Plant and Soil 205: 85-92.
Salamati, N., and Delbari, M. 2014. Effects of the amount of water in tape drip irrigation on quality and quantity of yield of two canola varieties in Behbahan region. Journal of Water Research in Agriculture 28(3): 329-340. (In Persian with English Summary)
Shirani-Rad, A.H., Naeemi, M., and Nasr-Esfahani, S.H. 2010. Evaluation of terminal drought stress tolerance in spring and winter rapeseed genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 12(2): 112-126. (In Persian with English Summary)
Sinaki, J.M., Heravan, E.M., Rad, A.H.S., Noormohammadi, G., and Ghasem Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian. Journal of Agricultural and Environmental Science, Biotechnology 17(2): 113-122.
Subramanian, K.S., Santhanakrishnan, P., and Balasubramanian, P. 2006. Response of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulturae 107: 245-253.
Tohidi-Moghaddam, H., Sani, B., and Ghooshchi, F. 2004. The effect of nitrogen fixing and phosphate solubilizing microorganism on some quantitative parameters on soybean from sustainable agricultural point of views. Proceeding of 8th Agronomy and Plant Breeding Congress of Iran, Guilan University, Iran. (In Persian)
Troehza Loynachan, T.E. 2003. Endomycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. Agronomy Journal 95(1): 224-230.
Veysi, H., Heidari, G.R., and Sohrabi, Y. 2017. The effect of mycorrhizal fungi and humic acid on yield and yield components of sunflower. Journal of Agroecology 8(4): 567-582. (In Persian with English Summary)
Weissn, E.A. 2000. Oilseed crops. 2nd Edition. Oxford, Blackwell Science. Oxford, U.K. 42: 1-13. 5: 4-10. 594.
Zubarer, M.A., Chowdhury, A.K. M.M.B., Islam, M.Z., Ahmed, T., and Hasan, M.A. 2007. Effects of water stress on growth and yield attributes of Aman rice genotypes. International Journal of Sustainable Crop Production 2(6): 25-30.

Journal of Agroecology
Vol. 10, No. 4, Winter 2019, p. 1229-1244

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۱۲۴۴-۱۲۲۹

Effect on Mycorrhizal Fungi Symbiosis and Priming on Yield and Yield Components of Sesame Seeds at Levels of Drought Stress

A. Askari[1], M.R. Ardekani[2*], S. Vazan[3], F. Paknejad[4], and Y. Hosseini[5]

Submitted: 26-03-2017
Accepted: 09-07-2017

Askari, A., Ardekani, M.R., Vazan, S., Paknejad, F., and Hosseini, Y. 2019. Effect on Mycorrhizal fungi symbiosis and priming on yield and yield components of sesame seeds at levels of drought stress. Journal of Agroecology. 10(4): 1229-1244.

Introduction

Drought stress is one of the most important factors limiting growth and crop production in the arid and semi-arid world. Plant response to drought stress depends on the type, severity, and duration of stress, plant species, and stress occurrence stage and farm management.

The sesame, among crop plants, is resistant to drought and heat stress and has great importance in the agriculture development of arid and semi-arid region for summer planting. But this plant is sensitive to drought stress at seedling stage and during flowering to seed filling. To overcome the drought stress, the biological solution is one of the basic strategies that should be considered and can be noted the mycorrhizal fungi. One of the most important types of mycorrhizal is arbuscular mycorrhizal Fungi, which is important in terms of agriculture; because most crops and horticultural ability to coexist with this type of mycorrhiza.

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of irrigation levels and arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis on yield and yield components of sesame, an experiment was carried out as split-factorial based on a randomized complete block design with three replications at Agricultural Research Station of Haji Abad, Hormozgan province, Iran during growing season 2014-2015. Experimental factors included: drought stress as main factor in three levels: 100% water requirement (normal irrigation), 70% water requirement (moderate stress)and 50% water requirement (Severe stress), the priming as sub factor in three3 levels: without priming (control treatment), hydropriming and osmopriming and the mycorrihizal fungi application as other sub-factor in three levels: [without mycorrihizal fungi application (control), mycorrihizal fungi application (*Glomus mosseae*) and mycorrihizal fungi application (*G. intraradices*)].

Results and Discussion

Analysis of variance data showed that the effect of drought stress had significant effect ($p\leq0.01$) on all traits were studied. The effect of mycorrhizal inoculation was significant on measured plant responses ($p\leq0.01$). Priming treatments were significant on seed number per capsule ($p\leq0.01$) and 1000- seed weight and seed yield, biological ($p\leq0.05$). Interaction effects of mycorrhiza × irrigation was only significant on seed yield ($p\leq0.05$), the effects of the interaction of mycorrhiza × priming on seed number per capsule and biological yield ($p\leq0.01$) and the 1000-seed weight ($p\leq0.05$) were significant. The results also showed that the highest seed yield and all measured traits obtained when using irrigation water requirement by 100 percent (normal irrigation). Inoculation with mycorrhizal fungi species *G. mosseae* and *G. intraradices* compared to lack of mycorrhizal fungi (control treatment) improved yield by 10.4 and 4.7 percent. Priming treatments compared to non-primed (control treatment) increased seed yield by as much as 2 percent. Drought stress decreased sesame yield, however, the using mycorrhizal fungus can be reduced that effect. The effect of two species of mycorrhizal on sesame yield and their effect on reducing stress damage was different; So that

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student in Agronomy Science, Professor and Associate Professors, Agricultural Faculty, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, respectively.
5- Research Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran.
(*- Corresponding Author Email: mreza.ardakani@gmail.com)
DOI:10.22067/jag.v10i4.63405

mycorrhizal symbiosis *G. mosseae* has more than the *G. intraradices* and avoided the sharp drop in sesame yield in drought stress treatments.

Conclusion

The results of this study showed that drought stress and water shortage decreased significantly yield and yield components of sesame. Mycorrhizal fungi improved the absorption of moisture and nutrients under water stress and increased plant resistance to water stress, therefore increased yield and yield components of sesame. The species of *G. intraradices* fungi compared to *G. mosseae* was more efficient in terms of resistance to water stress. Thus, it seems that mycorrhizal, in addition to improving the yield due to increased root system development and consequently increasing the availability of moisture and access to nutrients, can have a positive effect on reducing the effects of irrigation deficiency on sesame plants. Seed priming, due to better germination, rapid seedling growth, proper establishment and, finally, the optimal use of nutrients and environmental factors, ultimately increased yield.

Keywords: Biological yield, Hydropriming, Mycorrhizal symbiosis, Water requirements