نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، ص. ۱۱۱۶-۱۰۹۹

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 4, Winter 2018, p. 1099-1116

تأثیر میکوریزا بر کاهش اثرات تنش خشکی در برخی خصوصیات رشدی توده‌های محلی کنجد (*Sesamum indicum* L.)

اسماعیل قلی نژاد[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۰۷

قلی نژاد، ا. ۱۳۹۶. تأثیر میکوریزا بر کاهش اثرات تنش خشکی در برخی خصوصیات رشدی توده‌های محلی کنجد (*Sesamum indicum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۹(۴): ۱۱۱۶-۱۰۹۹.

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات دو گونه قارچ میکوریزا بر کاهش تنش خشکی روی عملکرد و صفات فیزیولوژیک هشت توده محلی کنجد (*Sesamum indicum* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی ارومیه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتور اول شامل سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری نرمال (آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه)، تنش ملایم (آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه) و تنش شدید (آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه)، فاکتور دوم شامل تلقیح گونه قارچ میکوریزا در سه سطح *گلوموس موسه‌آ*، *گلوموس اینترارادیسز* و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و فاکتور سوم شامل هشت توده محلی کنجد به نام‌های جیرفت ۱۳، محلی طارم زنجان، محلی مغان، ناز چند شاخه، TC-25، TS-3، داراب ۱۴ و دشتستان ۵ بود. نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی، تمامی صفات مورد مطالعه به جز وزن ویژه برگ، کاهش معنی‌داری یافت. تنش شدید خشکی عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ را نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۶۳ و ۳۰ درصد کاهش داد. استفاده از دو گونه قارچ میکوریزا نسبت به حالت عدم استفاده، صفات عملکرد دانه (۳۳ درصد)، شاخص سطح برگ (۴۰ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (۲۰ درصد) را افزایش داد. ژنوتیپ‌های محلی مغان و محلی طارم زنجان از نظر عملکرد دانه و شاخص‌های فیزیولوژیک بر سایر توده‌های محلی برتری داشتند. بالاترین ضریب همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص سطح برگ ($r=۰/۸۲^{**}$) به‌دست آمد. بر اساس نتایج این تحقیق، توده‌های محلی مغان و طارم زنجان جهت کشت در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی ملایم و شدید، همچنین همزیستی قارچ میکوریزای *گلوموس موسه‌آ* با بذر کنجد جهت افزایش عملکرد دانه در شرایط مطلوب آبیاری و جلوگیری از کاهش بیشتر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی شدید توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سطح ویژه برگ، شاخص سطح برگ، کم آبیاری، وزن ویژه برگ

مقدمه

سطح زیر کشت کنجد (*Sesamum indicum* L.) در ایران حدود ۴۰۰۰۰ هکتار و تولید آن حدود ۲۸۰۰۰ تن با متوسط عملکرد ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار است (FAO, 2012). کنجد به‌دلیل محتوای روغن بالا (۵۲-۴۷ درصد) و کیفیت مناسب (میزان کم کلسترول و وجود برخی آنتی اکسیدان‌ها) روغن دانه‌های آن، نقش مهمی در سلامت انسان دارد (Kassab et al., 2005). کنجد گیاهی یک‌ساله بوده و از قدیمی‌ترین گیاهان دانه روغنی که سازگار به نواحی گرم و نیمه‌گرم است، ولی تولید ارقام مناسب موجب گردیده که کشت آن در مناطق دیگر گسترش یابد (Weiss, 2000).

تنش خشکی مهمترین تنش غیرزیستی است که رشد و عملکرد

۱- دانشیار، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: gholinezhad1358@yahoo.com)
DOI:10.22067/JAG.V9I4.53336

گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Abbasi, 2003). در ارزیابی کارایی مصرف آب و عملکرد دانه ارقام کنجد در شرایط آبیاری متفاوت (آبیاری پس از ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، گزارش گردیده است که با افزایش شدت کمبود آب عملکرد دانه کاهش یافت و بالاترین کارآیی مصرف آب از ژنوتیپ TS_3 به‌دست آمد. همچنین بیشترین کارآیی مصرف آب در شرایط کمبود شدید آب به‌دست آمد که نشان می‌دهد گیاه زراعی کنجد با مصرف کم آب قادر به تولید عملکرد مناسب می‌باشد (Eskandari et al., 2010). با توجه به این‌که عمده‌ترین عامل مؤثر بر رشد و تولید گیاهان زراعی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن به مواد فتوسنتزی است، افزایش میزان سطح برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که به افزایش عملکرد منجر می‌شود (Sajadi Nik & Yadavi, 2014; Nurbakhsh et al., 2014). در مطالعات دیگر، مشخص شده است که تنش کم‌آبی، شاخص سطح برگ را به‌دلیل کاهش اندازه و تولید برگ‌های جدید و افزایش ریزش آن‌ها کاهش می‌دهد و چنین نتیجه‌گیری شده است که تولید و گسترش برگ به تنش کم‌آبی خیلی حساس می‌باشند و بنابراین در اثر تنش کمبود آب شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد (Mehrabi & Ehsanzadeh, 2012). در آزمایشی با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی و مقادیر کود نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیک ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) نشان داده شد که با افزایش طول دوره آبیاری از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان شاخص سطح برگ، نسبت سطح برگ و نسبت وزن برگ به‌وجود آمد (Tarigholeslami et al., 2013). محققان با بررسی تغییرات شاخص‌های رشد پنج هیبرید ذرت در دو رژیم مختلف آبیاری گزارش کردند که کم‌آبی اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ دارد. همچنین همبستگی مثبت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک گزارش گردیده است (Nouriazhar & Ehsanzadeh, 2007). پژوهشگران با بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک سه رقم گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) اظهار داشتند که گیاه گلرنگ با کاهش سطح ویژه برگ (افزایش ضخامت برگ) در شرایط تنش خشکی، ضمن کاهش میزان تلفات آب، محتوای نسبی آب برگ را در حد مطلوب حفظ می‌نماید (Baghkhani & Farahbakhsh, 2009). محققان در بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کنجد در منطقه جیرفت نشان دادند که با افزایش تنش خشکی، عملکرد دانه کنجد کاهش یافت و بیشترین عملکرد دانه از ژنوتیپ JI13 و از دور آبیاری پنج روز به‌دست آمد (Saeidi et al., 2012). در بررسی تأثیر مقادیر آبیاری بر خصوصیات رشدی و عملکرد چهار اکوتیپ کنجد گزارش گردید که افزایش مقدار آبیاری از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار موجب افزایش تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول، تعداد دانه و وزن ۱۰۰۰ دانه کنجد به‌ترتیب برابر با ۵۷، ۵۵ و ۳۶ درصد شد (Koocheki et al., 2016).

تحقیقات متعدد حاکی از آن است که میکوریزا قادر است اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نماید (Barea, 1992; Heidari & Karami, 2014). هدایت آبی سامانه ریشه گیاهان میکوریزایی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزایی است که این امر در اثر افزایش سطح مؤثر ریشه و یا کل طول ریشه‌ای میکوریزایی می‌باشد. همچنین هدایت آبی در واحد طول ریشه میکوریزایی می‌تواند دو تا سه برابر افزایش یابد (Troehzaloyanchan, 2003). کلنی‌سازی میکوریزایی به‌ویژه توسط گونه *گلوموس موسه‌آ*[1] سبب بهبود مقاومت به تنش خشکی و جبران بخشی از کاهش عملکرد گیاه پایه مرکبات مکزیکن لایم[2] گردیده است (Haghighatnia et al., 2013). همچنین افزایش وزن خشک اندام هوایی، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و شاخص سطح برگ در تلقیح بذر لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) با میکوریزا گزارش شده است (Rajabzadeh Motlagh, 2011). قارچ‌های میکوریزا در طی دوره تنش خشکی با افزایش محتوای نسبی آب برگ و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزبان قادر است اثرهای تنش خشکی در گیاه را کاهش دهند (Esmaeilpour et al., 2014). آزمایشی مشخص شد که تلقیح با قارچ میکوریزی کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی در گیاه مرزه شد (Esmaeilpour et al., 2014). علی‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در مورد همزیستی قارچ‌های میکوریزایی با گیاهان مختلف زراعی صورت گرفته (Mosavi, 2006; Soleimanzadeh, 2010)، هنوز اطلاعات محدودی در رابطه با همزیستی گیاه کنجد با این قارچ‌ها در شرایط بروز تنش خشکی وجود دارد، لذا این آزمایش با هدف بررسی تأثیر همزیستی دو گونه مختلف از قارچ‌های میکوریزا بر عملکرد و

1 - *Glomus mosseae*
2- Mexican lime

شاخص‌های فیزیولوژیکی توده‌های محلی کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی در ارومیه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی ارومیه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. طول جغرافیایی محل آزمایش ۴۵ درجه و۲ دقیقه، عرض جغرافیایی آن ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۲ متر می‌باشد. براساس آمار هواشناسی ۲۰ ساله منطقه با داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک با متوسط بارندگی سالانه ۲۸۰ میلی‌متر جزء رژیم رطوبتی خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. فاکتور اول سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری نرمال (آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه یا ETc)، تنش ملایم (آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه یا ETc) و تنش شدید (آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه یا ETc)، فاکتور دوم دو گونه قارچ میکوریزا *گلوموس موسه‌آ*، *گلوموس اینترارادیسز*[1] (قارچ‌های میکوریزا از شرکت تحقیقاتی زیست فناوری توران شاهرود تهیه شد و در زیر میکروسکوپ اسپورهای موجود بررسی گردید و در تیمارهای مربوطه در هر چاله ۱۰ گرم قارچ ریخته شده سپس روی قارچ با خاک به اندازه دو سانتی‌متر پوشش داده شده و بذرها روی خاک کاشته شدند و مجدداً روی بذرها حدود سه سانتی‌متر با خاک پوشانده شد. قارچ میکوریزا شامل مخلوطی از شن، ماسه استریل، خاک ریشه، هیف قارچ و تعداد ۲۰ اسپور در هر گرم بود) و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و فاکتور سوم شامل هشت توده‌های محلی کنجد به نام‌های جیرفت ۱۳ (بومی جیرفت- چند شاخه- تک گل- بدون کرک)، محلی طارم زنجان (بومی طارم- چند شاخه- تک گل- بدون کرک- مخصوص مناطق شمال)، محلی مغان (کم کرک- ارتفاع زیاد- چند شاخه- تک گل-کپسول بلند- مخصوص مناطق شمال)، ناز چند شاخه (چند شاخه- سه گل- مخصوص مناطق شمال)، TC-25 (تک گل- چند شاخه)، TS-3 (بدون کرک- چند شاخه)، داراب ۱۴ (بومی داراب- تک گل- چند شاخه- بدون کرک) و دشتستان ۵ (بومی دشتستان- تک گل- چند شاخه- بدون کرک) بود که از مؤسسه نهال و بذر کرج تهیه شد. بذرها در پنجم و ششم خرداد ماه سال ۱۳۹۳ با فاصله ردیف ۵۰ و فاصله بوته ۱۵ سانتی‌متر کشت شدند. هر کرت دارای شش خط کاشت به‌طول شش متر بود. کاشت به‌صورت جوی و پشته و آبیاری به روش نشتی انجام گرفت در موقع کاشت در هر کپه سه عدد بذر قرار داده شد که بعداً در مرحله دو تا چهار برگی بوته‌های اضافی تنک شدند. همه تیمارها تا مرحله دو تا چهار برگی و استقرار کامل گیاهچه به‌طور یکسان آبیاری شدند و بعد از این مرحله سطوح مختلف تنش خشکی اعمال شد.

کلیه اندازه‌گیری‌ها بر اساس فرمول‌ها و روش‌های استاندارد انجام گرفت (Mosavi & Akhavan, 2008).

$$RAW = \frac{FC-PWP}{100} \times \rho \times D \times MAD \qquad \text{معادله (۱)}$$

در این رابطه، RAW[2]: آب سهل الوصول (میلی‌متر)، FC: رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، PWP [3] : رطوبت خاک در حد نقطه پژمردگی دایم، ρ : وزن مخصوص ظاهری، D: عمق توسعه ریشه بر حسب میلی‌متر و MAD [4]: ضریب آب سهل الوصول می‌باشد.

جهت تعیین رطوبت وزنی خاک در شرایط ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دایم از دو عمق ۰-۳۰ سانتی متری و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک از تکرارهای هر آزمایش نمونه‌برداری شد و با استفاده از دستگاه صفحه فشار اندازه‌گیری شد. درصد رطوبت وزنی آن‌ها در شرایط ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۲ (Fajeria, 1996) تعیین گردید:

$$w_m = \frac{w_2-w_1}{w_1} \times 100 \qquad \text{معادله (۲)}$$

w_m= درصد رطوبت وزنی خاک w_2= وزن خاک مرطوب با واحد گرم و w_1: وزن خاک خشک به گرم می‌باشد.

در خاک لومی‌رسی رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی خاک ۲۷ درصد و نقطه پژمردگی دایم ۱۳ درصد به‌دست آمد. وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۵ به‌دست آمد. عمق توسعه ریشه در کنجد ۶۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. ضریب آب سهل الوصول یا F یا MAD یا θ می‌باشد.

$$RAW = \frac{27-13}{100} \times 1.35 \times 600 \times 0.65 \qquad \text{معادله (۳)}$$

در این معادله، MAD= ضریب آب سهل الوصول همان آب قابل استفاده است که بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم قرار گرفته است. این ضریب در آبیاری مطلوب ۰/۶۵ در تنش ملایم ۰/۸ و در تنش شدید ۰/۹۵ در نظر گرفته شد.

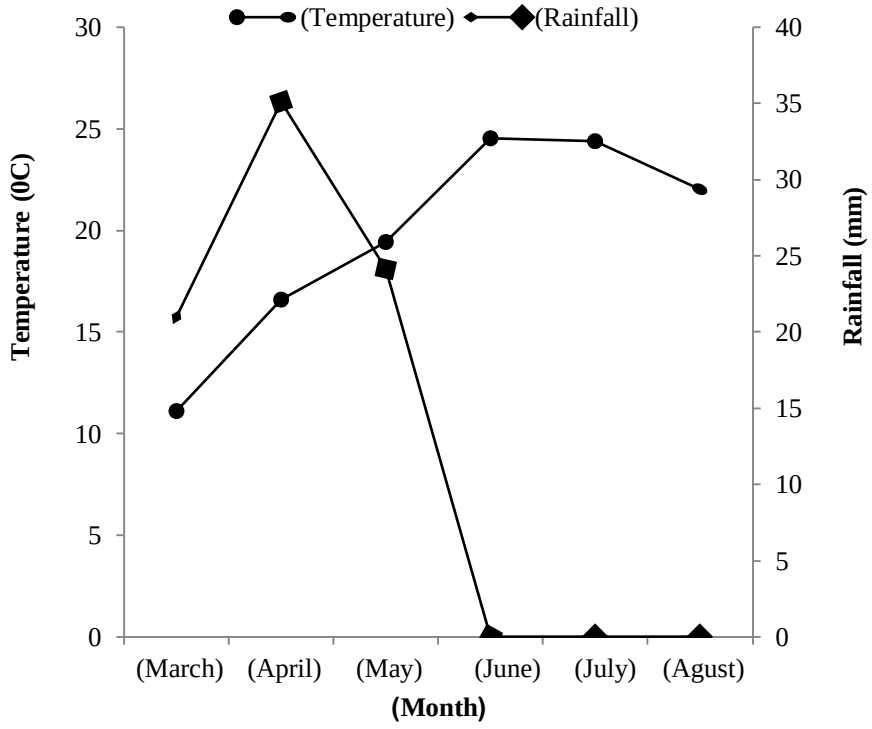
1 - *Glomus intraradices*

2 - Readily Available Water
3 - Permanent Wilting Point
4 - Management Allowed Deficit

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of site soil

بافت Texture	عمق خاک (سانتی‌متر) Sampling depth (cm)	هدایت الکتریکی (دسی-زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	رطوبت اشباع (درصد) Saturated moisture (%)	آهک (درصد) Lime (%)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K ($mg.kg^{-1}$)
لومی-رسی Loam-clay لومی Loam	0-30	0.77	7.69	30	-	38	36	26	1.11	0.11	5.21	221



شکل ۱- شرایط آب و هوایی منطقه در طول مراحل رشد گیاه در مزرعه

Fig. 1- Weather conditions of region during the stages of plant growth in the field

در شرایط آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تـنش شـدید خشـکی آب سهل الوصول یا RAW به‌ترتیب برابـر ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلـی‌متـر بـه-دست آمد که معادل تبخیر و تعرق گیـاه یـا ETc در نظـر گرفتـه شـد. مقدار آبی که برای هر تیمار داده شـد برابـر اسـت بـا (Mousavi & Akhavan, 2008):

معادله (۴) $$V = \frac{70\ mm}{1000\frac{mm}{m}} \times 30\ m^2 = 2.1\ m^3$$

معادله (۵) $$V = \frac{90\ mm}{1000\frac{mm}{m}} \times 30\ m^2 = 2.7\ m^3$$

معادله (۶) $$V = \frac{110\ mm}{1000\ mm/m} \times 30\ m^2 = 3.3\ m^3$$

در معادلات بالا، V: حجم آب آبیاری برای هر تیمار در هر نوبت آبیاری، ۷۰: تبخیر و تعرق گیاه برای آبیاری مطلوب، ۹۰: تبخیر و تعرق گیاه برای تنش ملایم خشکی، ۱۱۰: تبخیر و تعرق گیاه برای تنش شدید خشکی و ۳۰: مساحت هر بلوک در هر تیمار می‌باشد. بدین ترتیب حجم آب مورد نیاز در هر مرتبه آبیاری در هر تیمار محاسبه و بر اساس کارآیی توزیع آب ۹۰ درصد با استفاده از هیدروفلوم و کورنومتر به‌صورت یکنواخت توزیع گردید (Ashrafi et al., 1997).

$$ETo = ETp \times Kp$$ معادله (۷)

$$ETc = ETo \times Kc$$ معادله (۸)

در معادله‌های ۷ و ۸، ETo: تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه، ETp: تبخیر و تعرق تشتک تبخیر، ETc: تبخیر و تعرق گیاه، Kc: ضریب گیاهی کنجد و Kp: ضریب تشتک تبخیر می‌باشد. برداشت نهایی از ۳۰ شهریور شروع و به‌مدت یک هفته ادامه یافت. برای محاسبه عملکرد دانه از خطوط وسط به مساحت ۲ مترمربع بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای استفاده شد و نمونه‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۷۵ درجه قرار داده و سپس نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی دقیق با دقت ۰/۰۱ توزین شدند. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله ۹ محاسبه شد (Winkens & Noorfolk, 2009):

$$RWC = \frac{wf - wd}{ws - wd} \times 100$$ معادله (۹)

در معادله ۹، RWC: محتوای نسبی آب برگ، Wf: وزن تر برگ، Wd: وزن خشک برگ و Ws: وزن اشباع برگ می‌باشد. برای اندازه‌گیری فاصله اولین شاخه فرعی از زمین، پنج نمونه انتخاب شده و با استفاده از خط کش فاصله زمین تا شروع اولین شاخه فرعی اندازه‌گیری شد و سپس میانگین‌گیری به‌عمل آمد. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، پنج بوته از هر تیمار انتخاب شد ابتدا برگ‌های هر بوته از ساقه جدا گردید و با استفاده از معادله ۱۰ شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شد (Moll & Kamparth, 1977):

$$A = L \times W \times 0.75$$ معادله (۱۰)

در این معادله، A: مساحت برگ، L: طول برگ، W: بزرگترین پهنای برگ می‌باشد.

برای اندازه‌گیری سطح ویژه برگ از معادله ۱۱ استفاده شد (Arias, 2007):

معادله (۱۱)

$$\frac{\text{سطح برگ (سانتی‌متر مربع)}}{\text{وزن برگ (گرم)}} = \text{سطح ویژه برگ (سانتی‌متر مربع بر گرم)}$$

برای اندازه‌گیری وزن ویژه برگ از معادله ۱۲ استفاده شد (Arias, 2007):

معادله (۱۲)

$$\frac{\text{وزن برگ (گرم)}}{\text{سطح برگ (سانتی‌متر مربع)}} = \text{وزن ویژه برگ (گرم بر سانتی‌متر مربع)}$$

برای اندازه‌گیری نسبت سطح برگ از معادله ۱۳ استفاده شد:

$$LAR = \frac{LA}{TDW}$$ معادله (۱۳)

در این معادله، LAR: نسبت سطح برگ (سانتی‌مترمربع برگرم)، LA: سطح برگ (سانتی‌مترمربع) و TDW: وزن خشک کل (گرم) می‌باشد.

برای اندازه‌گیری نسبت وزن برگ از معادله ۱۴ استفاده شد:

$$LWR = \frac{LDW}{TDW}$$ معادله (۱۴)

در این معادله، LWR: نسبت وزن برگ (گرم برگرم)، LDW: وزن خشک برگ (گرم) و TDW: وزن خشک کل (گرم) می‌باشد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و MSTATC 1.42 انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی در سطح پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بیشترین وکمترین مقدار محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شدید به‌دست آمد (جدول ۲). تنش‌های خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، محتوای نسبی آب برگ را به‌ترتیب به میزان ۳۰ و ۱۴ درصد کاهش داد. محققان نشان دادند که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در گیاه کنجد از ژنوتیپ‌های خواف ۱ در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۵ درصد آب قابل دسترس، ژنوتیپ شهرضا در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد آب قابل دسترس و ژنوتیپ رشخوار در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۸۵ درصد آب قابل دسترس به‌دست آمد (Kadkhodaie et al., 2014). در مطالعه محققان فوق کمترین مقدار محتوای نسبی آب برگ نیز از ژنوتیپ اولتان حاصل شد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان در گیاهان گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) نیز گزارش شده است (Ganji Arjenaki et al., 2012; Talebi et al.,

2013). محتوای نسبی آب برگ یک شاخص قابل اعتماد و مؤثر است و به‌طور وسیعی برای تعیین حساسیت و تحمل گیاهان به تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gunasekera & Berkowitz, 1992; Sanchez-Rodriguez et al., 2010). قارچ میکوریزا گونه *گلوموس موسه‌آ* نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا، محتوای نسبی آب برگ را به‌میزان ۱۸ درصد افزایش داد (جدول ۵) بیشترین محتوای نسبی آب برگ از توده‌های محلی مغان و طارم زنجان با کاربرد قارچ میکوریزا گونه *گلوموس موسه‌آ* به‌دست آمد و کمترین مقدار نیز به توده محلی مغان و عدم کاربرد میکوریزا مربوط بود (جدول ۵). سایر محققان نیز گزارش کردند که قارچ میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار بدون میکوریزا در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) شد (Esmaeilpour et al., 2014). ساز و کارهای مختلفی برای تخفیف اثر منفی تنش خشکی بر رشد گیاه به واسطه همزیستی با قارچ میکوریزا عنوان گردیده است که از جمله آن‌ها به افزایش پتانسیل آب برگ، آهنگ جذب و ترکیب گاز کربنیک و آهنگ تعرق، (Emerian et al., 2001)، اصلاح تغذیه فسفر گیاه میزبان (Bethlenfalvay et al., 1988)، افزایش جذب آب به‌وسیله ریسه‌ها (Faber et al., 1991)، افزایش دانسیته طول ریشه (Brylaa & Duniway, 1997) و تنظیم اسمزی به‌وسیله افزایش جذب نمک‌های محلول کلسیم، پتاسیم، منیزیم، و نیز قندها و نشاسته قابل حل در برگ‌ها (Wu & Xia, 2006) می‌توان اشاره نمود.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری بر صفات مورد مطالعه کنجد

Table 2- Mean comparisons of simple effects of irrigation on studied traits of sesame

آبیاری Irrigation	محتوای نسبی آب برگ (درصد) Relative water content (%)	سطح ویژه برگ (سانتی‌مترمربع بر گرم) Specific leaf area ($cm^2.g^{-1}$)	وزن ویژه برگ (گرم بر سانتی-مترمربع) Specific leaf weight ($g.cm^{-2}$)	نسبت سطح برگ Leaf area ratio	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
آبیاری مطلوب Optimum irrigation	38.35 a*	73.45 ab	0.015 b	15.12 a	1934.3 a
تنش ملایم خشکی Moderate drought stress	33.18 b	79.56 a	0.013 b	18.34 a	1334.1 b
تنش شدید خشکی Severe drought stress	26.95 c	52.32 b	0.028 a	7.57 b	717.2 c

*بر اساس آزمون توکی میانگین‌هایی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد ندارند.

*Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 1% level of probability based on Tukey test.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده میکوریزا بر صفات مورد مطالعه کنجد

Table 3- Mean comparisons of simple effects of mycorrhizal on studied traits of sesame

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
Glomus mosseae mycorrhizal	0.92 a*	1553.5 a
Glomus intraradices mycorrhizal	0.67 b	1385.9 ab
بدون میکوریزا Without mycorrhizal	0.54 b	1046.2 b

*میانگین‌های که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی ندارند.

*Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 1% level of probability based on Tukey test.

فاصله اولین شاخه فرعی از زمین

فاصله اولین شاخه فرعی از زمین از نظر برداشت مکانیکی مهم می‌باشد، به‌طوری‌که هر چه فاصله اولین شاخه فرعی از سطح زمین بیشتر باشد می‌توان برداشت را به‌صورت مکانیزه به‌راحتی انجام داد. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین فاصله اولین شاخه فرعی از زمین در شرایط آبیاری مطلوب و از توده محلی مغان به

مقدار ۲۰/۵۸ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۶). کمترین فاصله اولین شاخه فرعی از زمین از شرایط تنش خشکی ملایم و از توده‌های محلی TS-3 و جیرفت ۱۳ به‌دست آمد. محققان دیگر نیز در بررسی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب رقم T.215 سویا (*Glycine max* L.) اظهار داشتند که با افزایش تنش خشکی، فاصله اولین شاخه فرعی از زمین کاهش معنی‌داری یافت، به طوری که این مقدار از ۱۰/۴۴ سانتی‌متر در شرایط آبیاری کامل به ۶/۸۳ سانتی‌متر در شرایط بدون آبیاری رسید (Aminifar et al., 2014). این نتایج با یافته‌های این تحقیق مطابقت داشت. به‌نظر می‌رسد که آبیاری با افزایش طول ساقه و فاصله میانگره‌ها موجب افزایش فاصله اولین شاخه از سطح زمین می‌گردد. سایر محققان نیز در کاهش فاصله اولین غلاف از سطح زمین را در شرایط تنش خشکی در گیاه سویا گزارش نموده‌اند (Pourmosavi et al., 2010). همچنین در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا گونه *گلوموس موسه‌آ* بیشترین مقدار فاصله اولین شاخه فرعی از زمین به توده محلی مغان مربوط بود (جدول ۵). احتمالاً دلیل این افزایش با تلقیح قارچ میکوریزا، تأثیر مثبت میکوریزا بر افزایش ارتفاع گیاه و افزایش فاصله میانگره‌ها بوده است که باعث افزایش فاصله اولین شاخه فرعی از زمین می‌گردد نتایج سایر محققان نیز یافته‌های این تحقیق را تأیید می‌کنند (Pourmosavi et al., 2010; Aminifar et al., 2014).

شاخص سطح برگ

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری مطلوب و از توده محلی مغان به مقدار ۲/۴۳ حاصل شد (جدول ۶). کمترین شاخص سطح برگ از شرایط تنش خشکی شدید و از توده‌های محلی TS-3 به‌دست آمد در شرایط تنش خشکی شدید بین توده‌های محلی ناز چند شاخه، TC-25، داراب ۱۴ و دشتستان ۵ با توده TS-3 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). علت زیاد بودن شاخص سطح برگ در توده محلی مغان و کمتر بودن شاخص سطح برگ توده TS-3 احتمالاً توانایی بالای توده مغان در جذب منابع بوده و به سرعت سطح برگ خود را توسعه داده و استفاده بیشتری از نور برده و به تبع آن حداکثر عملکرد دانه را نیز تولید کرده است که با نتایج سایر محققان نیز مطابقت دارد (Foroghi et al., 2016). ضریب همبستگی بالای شاخص سطح برگ با عملکرد دانه ($r=۰/۹۱^{**}$) نیز نشان‌دهنده همین موضوع است (جدول ۸).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده ژنوتیپ بر صفات مورد مطالعه کنجد

Table 4- Mean comparisons of simple effects of genotype on studied traits of sesame

تیمار Ttreatment	نسبت سطح برگ Leaf area ratio	عملکرد دانه (کیلوگرم بر مترمربع) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
ژنوتیپ **Genotype**		
جیرفت ۱۳ Jiroft 13	13.91 a*	9304 e
محلی طارم زنجان Zanjan Tarom landrace	16.12 a	1779.6 b
محلی مغان Moghan landrace	16.50 a	2063.6 a
ناز چند شاخه Naz of several branches	11.60 a	1052.6 de
TC-25	15.05 a	1474.4 c
TS-3	11.80 a	861.5 e
داراب ۱۴ Darab 14	11.92 a	1282.9 cd
دشتستان ۵ Dashtestan 5	12.52 a	1183.3 d

* میانگین‌های که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی ندارند.

*Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 1% level of probability based on Tukey test.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش میکوریزا و ژنوتیپ بر صفات مورد مطالعه کنجد

Table 5- Mean comparisons of interaction effects of mycorrhizal and genotype on studied traits studied traits of sesame

میکوریزا × ژنوتیپ Mycorrhizal × genotype	محتوای نسبی آب برگ (٪) Relative water content (%)	فاصله اولین شاخه فرعی از زمین (سانتی‌متر) First sub branches distance from ground level (cm)
Glomus mosseae × جیرفت ۱۳ *Glomus mosseae* × Jiroft 13	32.44 $^{b-f*}$	8.27 ^{fgh}
Glomus mosseae × محلی طارم زنجان *Glomus mosseae* × Zanjan Tarom landrace	39.43 ^{ab}	18.62 ^{ab}
Glomus mosseae × محلی مغان *Glomus mosseae* × Moghan landrace	41.96 ^{a}	21.38 ^{a}
Glomus mosseae × ناز چند شاخه *Glomus mosseae* × Naz of several branches	33.81 $^{b-e}$	9.15 $^{e-n}$
Glomus mosseae × TC-25	37.65 ^{abc}	15.40 ^{bcd}
Glomus mosseae × TS-3	31.35 $^{c-f}$	7.64 ^{fgh}
Glomus mosseae × داراب ۱۴ *Glomus mosseae* × Darab 14	36.66 ^{abc}	12.51 $^{c-f}$
Glomus mosseae × دشتستان ۵ *Glomus mosseae* × Dashtestan 5	35.49 $^{a-d}$	10.13 $^{d-g}$
Glomus intraradices × جیرفت ۱۳ *Glomus intraradices* × Jiroft 13	30.91 $^{c-f}$	7.70 ^{fgh}
Glomus intraradices × محلی طارم زنجان *Glomus intraradices* × Zanjan Tarom landrace	37.00 ^{abc}	13.89 $^{b-e}$
Glomus intraradices × محلی مغان *Glomus intraradices* × Moghan landrace	32.21 $^{c-f}$	17.35 ^{abc}
Glomus intraradices × ناز چند شاخه *Glomus intraradices* × Naz of several branches	33.03 $^{b-f}$	8.90 $^{e-n}$
Glomus intraradices × TC-25	35.56 $^{a-d}$	12.54 $^{c-f}$
Glomus intraradices × TS-3	29.47 ^{def}	6.10 ^{gh}
Glomus intraradices × داراب ۱۴ *Glomus intraradices* × Darab 14	32.17 $^{c-f}$	6.62 ^{gh}
Glomus intraradices × دشتستان ۵ *Glomus intraradices* × Dashtestan 5	30.95 $^{c-f}$	9.19 $^{e-n}$
بدون میکوریزا × جیرفت ۱۳ without mycorrhizal × Jiroft 13	29.20 ^{def}	6.64 ^{gh}
بدون میکوریزا × محلی طارم زنجان without mycorrhizal × Zanjan Tarom landrace	33.70 $^{b-e}$	8.22 ^{fgh}
بدون میکوریزا × محلی مغان without mycorrhizal × Moghan landrace	26.02 ^{f}	9.87 $^{e-n}$
بدون میکوریزا × ناز چند شاخه without mycorrhizal × Naz of several branches	31.51 $^{c-f}$	7.27 ^{fgh}
بدون میکوریزا × TC-25 without mycorrhizal × TC-25	31.91 $^{c-f}$	8.10 ^{fgh}
بدون میکوریزا × TS-3 without mycorrhizal × TS-3	26.85 ^{ef}	4.76 ^{h}
بدون میکوریزا × داراب ۱۴ without mycorrhizal × Darab 14	30.69 $^{c-f}$	5.64 ^{gh}
بدون میکوریزا × دشتستان ۵ without mycorrhizal × Dashtestan 5	27.81 ^{ef}	8.24 ^{fgh}

* میانگین‌های که در هر ستون حروف مشابه دارند بر اساس آزمون توکی، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد ندارند.

*Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 1% level of probability based on Tukey test.

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و ژنوتیپ بر صفات مورد مطالعه کنجد

Table 6- Mean comparisons of interaction effects of irrigation and genotype on studied traits of sesame

آبیاری × ژنوتیپ Irrigation × Genotype	فاصله اولین شاخه فرعی از زمین (سانتی‌متر) First sub branches distance from ground level (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area index	نسبت وزن برگ Leaf weight ratio	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
آبیاری مطلوب × جیرفت ۱۳ Optimum Irrigation × Jiroft 13	9.75 $^{c-g*}$	0.47 ^{de}	0.187 $^{a-h}$	1325.5 $^{e-j}$
آبیاری مطلوب × محلی طارم زنجان Optimum Irrigation × Zanjan Tarom landrace	17.81 ^{ab}	1.81 ^{ab}	0.253 ^{abc}	2603.6 ^{b}
آبیاری مطلوب × محلی مغان Optimum Irrigation × Moghan landrace	20.58 ^{a}	2.43 ^{a}	0.263 ^{ab}	3179.4 ^{a}
آبیاری مطلوب × ناز چند شاخه Optimum Irrigation × Naz of several branches	9.88 $^{c-g}$	0.50 ^{de}	0.181 $^{b-h}$	1467.9 $^{d-h}$
آبیاری مطلوب × TC-25 Optimum Irrigation × TC-25	12.75 $^{b-e}$	1.28 ^{bc}	0.240 $^{a-e}$	2179.0 ^{bc}
آبیاری مطلوب × TS-3 Optimum Irrigation × TS-3	6.60 ^{fg}	0.35 ^{e}	0.186 $^{a-h}$	1222.2 $^{g-k}$
آبیاری مطلوب × داراب ۱۴ Optimum Irrigation × Darab 14	9.14 $^{d-g}$	0.77 ^{cde}	0.183 $^{a-h}$	1815.6 ^{cde}
آبیاری مطلوب × دشتستان ۵ Optimum Irrigation × Dashtestan 5	11.41 $^{c-f}$	0.61 ^{cde}	0.157 $^{e-i}$	1681.1 $^{d-g}$
تنش ملایم خشکی × جیرفت ۱۳ Moderate drought stress × Jiroft 13	5.85 ^{g}	0.54 ^{cde}	0.237 $^{a-e}$	1027.9 $^{h-l}$
تنش ملایم خشکی × محلی طارم زنجان Moderate drought stress × Zanjan Tarom landrace	13.41 ^{bcd}	1.28 ^{bc}	0.238 $^{a-e}$	1755.1 $^{c-f}$
تنش ملایم خشکی × محلی مغان Moderate drought stress × Moghan landrace	14.89 ^{bc}	1.65 ^{b}	0.265 ^{a}	1875.7 ^{cd}
تنش ملایم خشکی × ناز چند شاخه Moderate drought stress × Naz of several branches	6.83 ^{fg}	0.49 ^{de}	0.218 $^{a-f}$	1128.1 $^{h-k}$
تنش ملایم خشکی × TC-25 Moderate drought stress × TC-25	13.70 ^{bcd}	1.12 ^{bcd}	0.242 $^{a-d}$	1408.6 $^{d-i}$
تنش ملایم خشکی × TS-3 Moderate drought stress × TS-3	5.24 ^{g}	0.37 ^{e}	0.200 $^{a-g}$	956.0 $^{i-l}$
تنش ملایم خشکی × داراب ۱۴ Moderate drought stress × Darab 14	8.50 $^{d-g}$	0.71 ^{cde}	0.230 $^{a-e}$	1281.3 $^{f-j}$
تنش ملایم خشکی × دشتستان ۵ Moderate drought stress × Dashtestan 5	7.72 ^{efg}	0.60 ^{cde}	0.217 $^{a-f}$	1239.4 $^{g-k}$
تنش شدید خشکی × جیرفت ۱۳ Severe drought stress × Jiroft 13	7.00 ^{fg}	0.11 ^{e}	0.133 ^{ghi}	437.7 ^{m}
تنش شدید خشکی × محلی طارم زنجان Severe drought stress × Zanjan Tarom landrace	9.52 $^{d-g}$	0.52 ^{d}	0.237 $^{a-e}$	980.3 $^{h-l}$
تنش شدید خشکی × محلی مغان Severe drought stress × Moghan landrace	13.13 ^{bcd}	0.72 ^{cde}	0.211 $^{a-g}$	1134.2 $^{h-k}$
تنش شدید خشکی × ناز چند شاخه Severe drought stress × Naz of several branches	8.61 $^{d-g}$	0.12 ^{e}	0.116 ^{hi}	561.7 ^{lm}
تنش شدید خشکی × TC-25 Severe drought stress × TC-25	9.59 $^{c-g}$	0.26 ^{e}	0.174 $^{c-h}$	835.5 $^{j-m}$
تنش شدید خشکی × TS-3 Severe drought stress × TS-3	6.66 ^{fg}	0.04 ^{e}	0.077 ^{i}	406.5 ^{m}
تنش شدید خشکی × داراب ۱۴ Severe drought stress × Darab 14	7.12 ^{fg}	0.18 ^{e}	0.167 $^{d-h}$	751.8 ^{klm}
تنش شدید خشکی × دشتستان ۵ Severe drought stress × Dashtestan 5	8.42 $^{d-g}$	0.14 ^{e}	0.142 $^{f-i}$	629.4 ^{lm}

*اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی ندارند.

*Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 1% level of probability based on Tukey test.

تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص سطح برگ توده‌های محلی را به ترتیب به‌میزان ۷۵ و ۱۸ درصد کاهش داد (جدول ۶). احتمالاً دلیل عمده کاهش میزان سرعت و گسترش سطح برگ‌ها به واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش آماس سلولی و مخصوصاً زردی برگ‌ها و ریزش آن‌ها در زمان شروع رشد زایشی بوده است که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Rezvani Moghaddam et al., 2006; Moghanibashi & Razmjoo, 2013). سایر محققان نیز نشان دادند که تأثیر رژیم آبیاری بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بوده است به‌طوری‌که سطح آبیاری اول (آبیاری بعد از ۷۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) با ۲/۴۶ بیشترین و سطح آبیاری سوم (آبیاری بعد از ۱۴۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) با ۱/۱۰ کمترین مقدار شاخص سطح برگ را داشتند (Mehrabi & Ehsanzadeh, 2012). در مطالعه این محققان ارقام کنجد نیز اختلاف معنی‌داری را از نظر شاخص سطح برگ نشان دادند و رقم ناز تک شاخه با ۱/۹۸ بالاترین و رقم ورامین با ۱/۴۵ کمترین مقدار را داشتند. کاربرد قارچ میکوریزا گونه *گلوموس موسه‌آ* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، شاخص سطح برگ را به میزان ۴۲ درصد افزایش داد به نظر می‌رسد میسیلیوم‌های قارچ با گسترش مناسب در خاک میزان جذب آب، نیتروژن و فسفر را در گیاهان تلقیح شده افزایش داده و برآیند آن‌ها باعث گسترش بیشتر سطح برگ شده و شاخص سطح برگ نیز افزایش می‌یابد (Alizadeh & Alizadeh, 2008). بین کاربرد قارچ میکوریزا گونه *گلوموس اینترارادیسز* و عدم کاربرد میکوریزا از نظر شاخص سطح برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در سویا نیز بیشترین میزان شاخص سطح برگ در تیمار کود سوپر فسفات تریپل به همراه میکوریزا مشاهده شد (Rezvani et al., 2011). تحقیقات فوق نتایج این مطالعه را تأیید می‌کنند.

سطح و وزن ویژه برگ

مقایسه میانگین نشان داد که تنش خشکی شدید در مقایسه با آبیاری مطلوب، سطح ویژه برگ را به میزان ۳۰ درصد کاهش داد به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن از تیمار تنش ملایم خشکی (۷۳/۴۵ سانتی‌مترمربع بر گرم) و کمترین مقدار آن از تیمار تنش خشکی شدید (۵۲/۳۲ سانتی‌مترمربع برگرم) به‌دست آمد بین تیمار تنش خشکی ملایم با آبیاری مطلوب از نظر سطح ویژه برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲).

سطح ویژه برگ، نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ بوده و در اصل، نشان دهنده ضخامت برگ است و هرچه مقدار آن بزرگ‌تر باشد برگ نازک‌تر و هر چه کوچک‌تر باشد برگ ضخیم‌تر است و در واقع، غلظت کلروپلاست، کلروفیل و تعداد سلول‌های مزوفیل آن بیشتر می‌باشد لذا نوری که از آن عبور می‌کند، کمتر بوده و توان فتوسنتزی آن بیشتر است. در شرایط تنش خشکی، گیاه با کاهش تعداد و کوچک‌تر کردن برگ، سطح فتوسنتز کننده خود را کاهش می‌دهد و متعاقب کاهش سطح برگ، ظرفیت فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد (Gordner et al., 1985) و این عمل باعث تلفات بیشتر برگ و کاهش سطح فتوسنتز کننده می‌گردد. محققان اعلام کردند سازگاری بالقوه باقلا به تنش خشکی، کاهش میزان توسعه برگ و تولید برگ‌های با سطح ویژه پایین و کاهش ارتفاع گیاه می‌باشد (Husain et al., 1988). تنش خشکی، میزان فتوسنتز برگ و کارایی مصرف نور را کاهش می‌دهد (Xia, 1997). کاهش سطح ویژه برگ موجب کاهش تعداد کلروپلاست در واحد سطح و افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد که به‌دلیل سطح برگ کمتر همراه با کلروپلاست بیشتر می‌باشد. می‌توان گفت به منظور کاهش تعرق و حفظ رطوبت گیاه در مناطق خشک باید سطح برگ کاهش یابد که همراه با افزایش در ضخامت برگ می‌باشد (Abbasi, 2003).

به‌طور کلی، در این تحقیق تأثیر بیشتر تنش آب بر سطح برگ نسبت به وزن برگ باعث کاهش سطح ویژه برگ یا به‌عبارت دیگر، افزایش وزن ویژه برگ در گیاهان تحت تنش نسبت به شاهد شد. کاهش سطح ویژه برگ به دلیل تنش خشکی احتمالاً ناشی از تأثیر بیشتر تنش خشکی بر رشد و توسعه سلول نسبت به تقسیم سلولی است (Kriedman, 1986). همبستگی مثبت معنی‌داری بین عملکرد دانه با سطح ویژه برگ وجود داشت (جدول ۸). مقایسه میانگین وزن ویژه برگ هم نشان داد تنش خشکی شدید در مقایسه با آبیاری مطلوب، وزن ویژه برگ را به‌میزان ۴۷ درصد افزایش داد به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن از تیمار تنش شدید خشکی (۰/۰۲۸ گرم بر سانتی-مترمربع) و کمترین مقدار آن از تیمار تنش خشکی ملایم (۰/۰۱۳ گرم بر سانتی‌مترمربع) بدست آمد بین تیمار تنش خشکی ملایم با آبیاری مطلوب از نظر وزن ویژه برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). بررسی ضرایب همبستگی نیز نشان داد (جدول ۸) بین

وزن ویژه برگ با عملکرد دانه همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت (r= −۰/۴۳**) بنابراین، می‌توان توده‌هایی را جهت کشت انتخاب کرد که وزن ویژه برگ کمتری داشته به‌عبارت دیگر برگ‌های نازک‌تری، سطح برگ بیشتر و فتوسنتز بیشتری داشته و از این طریق بتوان عملکرد دانه بیشتری را تولید کرد.

نسبت سطح برگ

مقایسه میانگین نشان داد تنش خشکی شدید در مقایسه با آبیاری مطلوب، نسبت سطح برگ را به میزان ۵۰ درصد کاهش داد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن از تیمار تنش ملایم خشکی (۱۸/۳۴ سانتی‌مترمربع بر گرم) و کمترین مقدار آن از تیمار تنش خشکی شدید (۷/۵۷ سانتی‌مترمربع بر گرم) به‌دست آمد بین تیمار تنش خشکی ملایم با آبیاری مطلوب از نظر نسبت سطح برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). نسبت سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح پهنک برگ (بافت‌های فتوسنتز کننده) به وزن خشک کل گیاه (بافت‌های تنفس‌کننده) می‌باشد همچنین این شاخص نشان‌دهنده پربرگی یک گیاه است و میزان سرمایه‌گذاری گیاه در تولید برگ‌ها را نشان می‌دهد و بر حسب سانتی‌مترمربع برگرم بیان می‌شود (Karimi & Azizi, 1994). گیاه در مراحل ابتدایی رشد سرمایه‌گذاری را در برگ‌ها افزایش داده و سپس آن را کاهش می‌دهد پس در ابتدای فصل رشد میزان نسبت سطح برگ (LAR[1]) افزایش یافته تا به حداکثر میزان خود برسد و در اواخر فصل رشد با کاهش میزان سطح برگ به علت خشک شدن برگ‌ها و همچنین افزایش وزن خشک گیاه، نسبت سطح برگ کاهش می‌یابد. محققان معتقدند که تنش خشکی از طریق تسریع پیری و ریزش برگ‌ها اثر خود را روی کاهش سطح برگ می‌گذارد که به این ترتیب نسبت سطح برگ را متأثر می‌کند (Silim et al., 1993). در بین توده‌های محلی نیز بیشترین مقدار نسبت سطح برگ از توده‌های محلی مغان و طارم زنجان حاصل شد (جدول ۴). زیادتر بودن نسبت سطح برگ به این مفهوم است که نسبت بافت‌های فتوسنتزکننده به مجموع بافت‌های تنفس‌کننده در این توده‌های محلی بیشتر می‌باشد. به‌عبارت دیگر، این امر نشان دهنده پربرگی گیاهان در این توده‌ها می‌باشد. بررسی ضرایب همبستگی نیز نشان داد (جدول ۸) بین نسبت سطح برگ با عملکرد دانه همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت (r= ۰/۵۱**) بنابراین، می‌توان با افزایش نسبت سطح برگ و انتخاب توده‌هایی که نسبت سطح برگ بالاتری داشته باشند عملکرد دانه کنجد را بهبود بخشید.

نسبت وزن برگ

مقایسه میانگین نشان داد که تنش خشکی شدید در مقایسه با آبیاری مطلوب، نسبت وزن برگ را به میزان ۲۵ درصد کاهش داد به‌طوری که بیشترین مقدار آن از تیمار تنش ملایم خشکی و بدون میکوریزا (۰/۲۶ گرم برگرم) و کمترین مقدار آن از تیمار تنش خشکی شدید و بدون میکوریزا (۰/۱۳ گرم برگرم) به‌دست آمد (جدول ۶). در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین مقدار نسبت وزن برگ از توده‌های محلی مغان و طارم زنجان به‌دست آمد که این تیمارها در شرایط تنش خشکی ملایم نیز تفاوت معنی‌داری با شرایط نرمال نداشتند (جدول ۶). نکته مهمی که می‌توان از جدول ۷ استنباط کرد این است که در شرایط تنش خشکی شدید در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی ملایم کاربرد قارچ میکوریزا در مقایسه با شرایط عدم کاربرد قارچ، نسبت وزن برگ را افزایش داده است. به عبارتی، استفاده از قارچ میکوریزا توانسته است تأثیر تنش خشکی شدید روی نسبت وزن برگ را تعدیل نماید. نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک کل گیاه را نسبت وزن برگ می‌گویند. نسبت وزن برگ (LWR[2]) نشان دهنده پربرگی است و واحد آن گرم بر گرم می‌باشد. شاخصی از میزان دارایی برگ در قبال وزن خشک گیاه است. چون هزینه نسبی مصرف در اندام‌های بالقوه فتوسنتز کننده را شامل می‌شود معیاری از سرمایه تولیدکننده گیاه محسوب می‌شود. در مناطقی که شدت نور بالاست نیاز به گیاهانی می‌باشد که نسبت وزن برگ آن‌ها بالاست در مناطقی که هوا ابری و نور کم است نیاز به واریته‌هایی می‌باشد که دارای برگ‌های پهن و نازک باشند تا بتوانند نور بیشتری را دریافت نمایند (Rahnama Ghahfarkhani, 2003). با توجه به وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین نسبت وزن برگ با عملکرد دانه (جدول ۸)، هرعاملی که بتواند نسبت وزن برگ را افزایش دهد به‌طور مستقیم تأثیر مثبتی روی عملکرد دانه خواهد داشت.

1 - Leaf area ratio

2 - Leaf weight ratio

جدول ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و میکوریزا بر نسبت وزن برگ کنجد

Table 7- Mean comparisons of interaction effects of irrigation and mycorrhizal on leaf weight ratio of sesame

تیمار Treatment			نسبت وزن برگ Leaf weight ratio
آبیاری × میکوریزا		Irrigation × Mycorrhizal	
آبیاری مطلوب	×	*Glomus mosseae*	0.18 bc*
		Glomus intraradices	0.20 abc
		Optimum irrigation بدون میکوریزا (شاهد) Without mycorrhizal	0.23 ab
تنش ملایم خشکی	×	*Glomus mosseae*	0.20 abc
		Glomus intraradices	0.22 ab
		Moderate drought stress بدون میکوریزا (شاهد) Without mycorrhizal	0.26 a
تنش شدید خشکی	×	*Glomus mosseae*	0.17 bc
		Glomus intraradices	0.16 bc
		Severe drought stress بدون میکوریزا (شاهد) Without mycorrhizal	0.13 c

*بر اساس آزمون توکی اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد ندارند.

*Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 1% level of probability based on Tukey test.

جدول ۸- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه کنجد

Table 8- Corrolation coefficients of studied traits of sesame

	1	2	3	4	5	6	7	8
۱- عملکرد دانه 1- Seed yield	1							
۲- محتوای نسبی آب برگ 2- Biological yield	0.82**	1						
۳- فاصله اولین شاخه فرعی از زمین 3- First sub branches distance from ground level	0.78**	0.67**	1					
٤- شاخص سطح برگ 4- Leaf area index	0.91**	0.71**	0.84**	1				
٥- سطح ویژه برگ 5- Specific leaf area	0.42**	0.45**	0.18ns	0.44**	1			
٦- وزن ویژه برگ 6- Specific leaf weight	−0.43**	−0.48**	−0.20ns	−0.40**	−0.70**	1		
۷- نسبت سطح برگ 7- Leaf area ratio	0.51**	0.51**	0.27*	0.60**	0.82**	−0.58**	1	
۸- نسبت وزن برگ 8- Leaf weight ratio	0.51**	0.47**	0.34**	0.60**	0.37**	−0.32**	0.79**	1

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

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

عملکرد دانه

مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که تنش خشکی شدید و ملایم نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، عملکرد دانه را به‌میزان ۶۳ و ۳۱ درصد کاهش داد (جدول ۲). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از بسته شدن روزنه‌ها، افزایش آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها و کلروفیل‌ها باشد که باعث کاهش سرعت و میزان فتوسنتز، مقدار مواد فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه گردد

(Fayaz & Talebi, 2010; Gholinezhad et al., 2011). علت بیشتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب به‌دلیل کاهش رقابت بین گیاهان، افزایش علت بیشتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب به دلیل کاهش رقابت بین گیاهان، افزایش شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک بیشتر می‌باشد وجود همبستگی مثبت بین شاخص سطح برگ با عملکرد دانه نیز نشان‌دهنده این نتیجه است (جدول ۶).

تلقیح قارچ میکوریزا گونه *گلوموس موسه‌آ* و *گلوموس اینترارادیسز* نسبت به‌عدم مصرف قارچ میکوریزا، عملکرد دانه را به میزان ۳۳ و ۱۱ درصد بهبود بخشید دلیل این امر ممکن است با تأثیر میکوریزا بر تثبیت فسفر، ماندگاری بیشتر برگ‌ها روی گیاه، حفظ و افزایش اندازه برگ و نیز انجام فتوسنتز بیشتر به واسطه کلروفیل بیشتر مرتبط باشد. سایر پژوهشگران نیز در بررسی تأثیر کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گیاه گلرنگ به چنین نتایجی دست یافتند (Haghighatnia et al., 2013). تأثیر میکوریزا در بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی شدید مؤثرتر از شرایط آبیاری مطلوب بوده است.

جدول۹- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی توده‌های محلی کنجد تحت تأثیر میکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی کنجد

Table 9-The results of variance analysis (mean of squares) of physiological traits of sesame landraces under mycorrhizal and different drought stress levels of sesame

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	فاصله اولین شاخه فرعی از زمین First sub branches distance from ground level	شاخص سطح برگ Leaf area index	سطح ویژه برگ Specific leaf area	وزن ویژه برگ Specific leaf weight	نسبت سطح برگ Leaf area ratio	نسبت وزن برگ Leaf weight ratio	عملکرد دانه Seed yield
بلوک Block	2	155.04^{**}	49.23^{ns}	0.97^{*}	4989.29^{ns}	0.0021^{*}	202.85^{ns}	0.012^{ns}	167556.78^{*}
آبیاری Irrigation (I)	2	2347.46^{**}	241.73^{**}	11.50^{**}	14715.52^{*}	0.0046^{**}	2198.29^{**}	0.101^{**}	1908992.48^{**}
میکوریزا Mycorrhizal (M)	2	736.04^{**}	554.00^{**}	2.61^{**}	868.24^{ns}	0.0005^{ns}	59.30^{ns}	0.0087^{ns}	1316265.33^{**}
آبیاری × میکوریزا I × M	4	5.03^{ns}	3.35^{ns}	0.22^{ns}	1935.88^{ns}	0.0001^{ns}	178.12^{ns}	0.0160^{*}	90166.85^{ns}
خطای اصلی (E_{ab}) Main error	16	19.61	16.98	0.27	3503.34	0.00051	159.50	0.0048	33869.81
ژنوتیپ Genotype (G)	7	151.63^{**}	316.11^{**}	6.14^{**}	206.17^{ns}	0.00022^{ns}	108.56^{*}	0.031^{*}	1465993.13^{**}
آبیاری × ژنوتیپ I × G	14	20.81^{ns}	28.34^{**}	0.61^{**}	582.42^{ns}	0.00032^{ns}	40.45^{ns}	0.0048^{**}	35806.38^{**}
میکوریزا × ژنوتیپ M × G	14	42.68^{**}	40.73^{**}	0.14^{ns}	340.67^{ns}	0.000077^{ns}	17.41^{ns}	0.0010^{ns}	34119.25^{**}
آبیاری × میکوریزا × ژنوتیپ I × M × G	28	8.56^{ns}	4.26^{ns}	0.019^{ns}	405.33^{ns}	0.000083^{ns}	23.63^{ns}	0.00092^{ns}	4646.09^{ns}
خطای فرعی (E_c)	126	15.41	8.65	0.17	890.63	0.00023	48.88	0.00211	4658.27
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	–	11.95	26.90	20.87	23.09	24.46	21.10	23.13	14.33

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

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

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، نسبت سطح برگ، نسبت وزن برگ، فاصله اولین شاخه فرعی از زمین و سطح ویژه برگ کاهش معنی‌داری یافت، اما وزن ویژه برگ، افزایش معنی‌داری داشت. استفاده از دو گونه قارچ میکوریزا نسبت به‌حالت عدم مصرف میکوریزا صفات عملکرد دانه، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. همچنین مشخص گردید که بخش عمده‌ای از کاهش عملکرد دانه در نتیجه تنش خشکی ناشی از کاهش شاخص‌ها و صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه بوده است. وجود همبستگی مثبت بین عملکرد دانه با شاخص‌های فیزیولوژیک (به جز وزن ویژه برگ) نشان می‌دهد که از عوامل مؤثر بر رشد و تولید گیاهی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها با مواد فتوسنتزی است، افزایش میزان سطح برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که در نهایت، منجر به افزایش عملکرد دانه می‌گردد. در بین هشت توده محلی کنجد مورد بررسی در این تحقیق، ژنوتیپ-های محلی مغان و محلی طارم زنجان از نظر عملکرد دانه و شاخص-های فیزیولوژیک بر سایر توده‌های محلی برتری داشتند. با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از قارچ‌های میکوریزا به خصوص گونه *گلوموس موسه‌آ* جهت افزایش عملکرد دانه و بهبود صفات فیزیولوژیک مؤثر در عملکرد دانه توصیه می‌گردد.

منابع

Abbasi, P. 2003. Effects of different levels salinity and water stress on growth characteristics and physiological traits *Aeluropus* spp. Ph.D thesis. Islamic Azad University of Tehran. Iran. (In Persian with English Summary)

Aien, A. 2014. Effect of eliminating of irrigation at different growth stages on seed yield and some agronomic traits of two sesame genotypes. Seed and Plant 29(1): 67-79. (In Persian with English Summary)

Alizadeh, O., and Alizadeh, A. 2008. Effect of mycorrhizal in different moisture of soil on absorption nutrients in maize. Research in Agricultural Sciences 3(1): 101-108. (In Persian with English Summary)

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

Aminifar, J., Mohsen Abadi, G., Beigloii, M.H., and Samizadeh, H. 2014. Effect of deficit irrigation on yield, yield components and water productivity of soybean T.215 cultivar. Journal of Irrigation Engineering and Water 3(11): 24-34. (In Persian with English Summary)

Arias, D. 2007. Calibration of LAI -2000 to estimate leaf area index and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costarica. Forest, Ecology and Management 247: 85-193.

Ashrafi, S., Heidari N., and Abbasi, F. 1997. Build design and calibration flume WSC. Proceedings of the 2th National Congress of the Soil and Water Issues 27-30 Feb. Tehran, Iran. (In Persian)

Baghkhani, F., and Farahbakhsh, H. 2009. Effects of drought stress on yield and some physiological characters of three spring safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties. Agricultural Research 8(2): 45-57. (In Persian with English Summary)

Barea, L.M. 1992. VAM as modifier of soil fertility. Advances in Soil Science 15: 1-40.

Bethlenfalvay, G.J., Brown, M.S., Ames, R.N., and Thomas, R.S. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. Physiologia Plantarum 72: 565-571.

Bryla, D.R., and Duniway, J.M. 1997. Growth, phosphorus uptake, and water relations of safflower and wheat infected with an arbuscular mycorrhizal fungus. New Phytology 136: 581-590.

Eskandari, H., Zehtab Salmasi, 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.

Esmaeilpour, B., Jalilvand, P., and Hadian, J. 2014. Effect of drought stress and mycorrhizal fungus on some morpho physiological traits and yield of Savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 5(29): 169-177. (In Persian with English Summary)

Faber, B.A., Zasoske, R.J., Munns, D.N., and Shackel, K. 1991. A method for measuring hyphal nutrition and water uptake in mycorrhizal plants. Canadian Journal of Botany 69: 87-94.

FAO. 2012. Yearbook Production. FAO Publication. Rome, Italy. Available at http://faostat.fao.org/

Fayyaz, F., and Talebi, R. 2010. Determining relationships among yield and some yield components using path coefficient analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 135-141. (In Persian with English Summary)

Frooghi, A., Gharakhloo, J., and Ghaderifar, F. 2016. Evaluation competitive power of two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivar with cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) in different row intervals of crops. Electronic Journal of Crop Production 8(3): 19-40. (In Persian with English Summary)

Ganji Arjenaki, F., Jabbari, R., and Morshedi, A. 2012. Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4: 726-729.

Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L. 1985. Physiology of Crop Plants. Publication of Iowa State University. p. 327.

Gholinezhad, E., Ayenehband, A., Hassanzadeh Ghourt Tapeh, A., Noormohammadi, G., and Bernousi, I. 2011. Effect of irrigation regime on water and nitrogen use efficiency in sunflower at various levels of n-application and plant density under Urmia climate conditions. Water and Soil Science 20(1): 27-45. (In Persian with English Summary)

Gunasekera, D., and Berkowitz, G.A. 1992. Evaluation of contrasting cellular level acclimation responses to leaf water deficits in three wheat genotypes. Plant Science 86: 1-12.

Haghighatnia, H., Ndian, H., Rejali, F., and Tavakoli, A.R. 2013. Effect of two species of arbuscular-mycorrhizal fungi on vegetative growth and phosphorous uptake of Mexican lime rootstock (*Citrus aurantifolia*) under drought stress conditions. Seed and Plant 2(28): 403-417. (In Persian with English Summary)

Heidari, M., and Karami, V. 2014. Effect of drought stress and mycorrhizal species on yield and grain yield components, chlorophyll rate and biochemical compounds of sunflower. Evironmental Stresses in Crop Sciences 6(1): 17-26. (In Persian)

Husain, M.M., Hill, G.D., and Gallagher, J.N. 1988. The response of field beans (*Vicia faba* L.) to irrigation and sowing date. 1. Yield and yield components. Journal of Agricultural Science 111: 221-232.

Kadkhodaie, A., Razmjoo, J., Zahedi, M., and Pessarakli, M. 2014. Selecting sesame genotypes for drought tolerance based on some physiochemical traits. Agronomy Journal 106(1): 111-118. (In Persian)

Karimi, M., and Azizi, M. 1994. Analyses of Growth of Crop Plants. JDM Press. Iran. p. 111.

Kassab, O., Noernani, E., and El-Zeiny, A.H. 2005. Influence of some irrigation system andwater regimes on growth and yield of sesame plants. Journal of Agronomy 4: 220-224.

Koocheki, A., Mokhtari, V., Khorramdel, S., and Taherabadi, S. 2016. Evaluation effect of irrigation on growth traits and yield of four sesame ecotype. Iranian Journal of Field Crops Research 13(2): 239-247. (In Persian with English Summary)

Kriedman, P.E. 1986. Stomatal and photosynthetic limitations to leaf growth. Australian Journal of Plant Physiology 13: 15-31.

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.

Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2012. 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 Summary)

Moghanibashi, M., and Rajmjoo, J. 2013. The effect of seed treatment with PEG and irrigation regimes on yield, yield components and seed oil of sesame. Iranian Journal of Field Crops Research 10(1): 91-99. (In Persian with English Summary)

Moll, R.H., and Kamparth, E.J. 1977. Effect of population density up on agronomic traits associated with genetic increases in yield of Maize. Agronomy Journal 69: 81-84.

Mosavi, J. 2006. The effect of phosphate solubilizing and mycorrhizal fungi on corn yield and its components. Agricultural Science of Iran 1(1): 46-60. (In Persian with English Summary)

Mousavi, S.F., and Akhavan, S. 2008. Irrigation Principles. Publication of Kankash. P: 414. (In Persian)

Nouriazhar, J., and Ehsanzedeh, P. 2007. Study of relationship of some growth indices and yield of five corn hybrids at

two irrigation regimen in Esfahan region. Iranian Journal of Science and Technology 41: 261-272.

Nurbakhsh, F., Koocheki, A.R., and Nassiri Mahallati, M. 2014. Effects of planting pattern and seed ratio on growth indices of intercropped sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 7(3): 285-298. (In Persian with English Summary)

Pagter, M., Bragato, C., and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of (*Phragmites australisi*) to water deficit. Aquatic Botany 81: 285-299.

Pourmoosavi, S.M., Galavi, M., Daneshian, J., Ghanbari, A., Basirani, N., and Jonobi, P. 2010. Effect of animal manure application on quantitative and qualitative yield of soybean in drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 40(1): 133-145. (In Persian with English Summary)

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. Agricultural Science and Sustainable Production 25(1): 65-84. (In Persian with English Summary)

Rahnama Ghahfarkhani, A. 2003. Effect of drought stress at different growth stages and its impact on corn yield and quality. School of agriculture. Tehran university, tehran, iran p. 150. (In Persian)

Rajabzadeh motlagh, F. 2011. Evaluation application of arbuscular mycorrhiza, nitrogen fixing bacteria and nitrogen fertilizer on yield and yield component of *Phaseolus vulgaris*. MSc thesis. Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., Norouzpour, G., Nabati, J., and Mohammad Abadi, A.A. 2006. 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)

Rezvani, M., Afshang, B., Gholizadeh, B., and Zaefarian, F. 2011. Evaluation of mycorrhizal fungus and phosphate rock effectiveness on growth and uptake of phosphorus in soybean (*Glycine max* Merr.). Journal of Soil Management and Sustainablc Production 1(2): 97-111. (In Persian with English Summary)

Saeidi, A., Tohidi-Nezhad, E., Ebrahimi, F., Mohammadi-Nejad, G., and Shirzadi, M.H. 2012. Investigation of water stress on yield and some yield components of sesame genotypes in Jiroft region. Journal of Applied Sciences Research 8(1): 243-246.

Sajadi Nik, R., and Yadavi, A.R. 2014. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indexes, phonological stages and grain yield of sesame. Electronic Journal of Crop Production 6(2): 73-99. (In Persian with English Summary)

Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., and Rosales, M.A. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Science 178: 30-40.

Silim, S.N., Saxana, M.C., and Singh, K.B. 1993. Adaptation of spring-sown chickpea to the mediterranean basin. ii. factors influencing yield under drought. Field Crops Research 34: 137-141.

Soleimanzadeh, H. 2010. Effect of VA-Mycorrhiza on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) at different phosphorus levels. World Academic of Science Engineering Technology 71: 414-417.

Talebi, R., Ensafi, M.H., Baghebani, N., Karami, E., and Mohammadi, K. 2013. Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress. Environmental and Experimental Biology 11: 9-15.

Tarigholeslami, M., Zargham, R., Mashhadi Akbar Bojar, M., and Ovaisi, M. 2013. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). Agronomy and Plant Breeding 8(1): 161-174. (In Persian with English Summary)

Troehzaloyanchan, T.E. 2003. Endo mycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. Agronomy Journal 95(1): 224-230.

Weiss EA. 2000. Oilseed crops. 2nd Ed. Oxford, Blackwell Science. Oxford, U.K.

Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163(4): 417-425.

Xia, M.Z. 1997. Effects of drought during the generative development phase on seed yield and nutrient uptake of faba bean (*Vicia faba* L.). Australian Journal of Agricultural Research 48: 447-451.

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 4, Winter 2018, p. 1099-1116

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، ص. ۱۱۱۶-۱۰۹۹

Effect Mycorrhizal Fungi on Reduction of Drought Stress Effect in Some Growth Traits of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes

E. Gholinezhad[1]*
Submitted: 06-02-2016
Accepted: 27-06-2016

Gholinezhad, E. 2018. Effect mycorrhizal fungi on reduction of drought stress effect in some growth traits of Sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. Journal of Agroecology 9(4): 1099-1116.

Introduction

Sesame (*Sesamum indicum*) plays an important role in human health because of its high oil capacity (47 - 52%).. Arbuscular mycorrhizal symbiosis protects host plants against the detrimental effects of drought stress through mechanisms of drought avoidance. Strategies of drought avoidance in mycorrhizal plants rely on the ability to maintain an adequate hydration status on the level of whole plants as characterized by relative water content. So the aim of current study was to evaluate the symbiosis effect of two different species of mycorrhizae fungi on yield and physiological characteristics of sesame landraces under different drought stress levels in Urmia.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 2014-2015 by using factorial split plot based on randomized complete block design with three replications in the research field of Urmia agricultural high school with 12 Km distance from Urmia. The main plot factor was consisted of different irrigation levels: normal irrigation (irrigation after 70 mm evaporation of crop (ET_C)), moderate drought stress (irrigation after 90 mm evaporation of crop (ET_C)) and severe drought stress (irrigation after 110 mm evaporation of crop (ET_C)). Also three levels of Sub plot factors included two species of mycorrhizae fungi (*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*) and no -inoculation (control). Sub-sub plot factorss consisted of eight landraces of sesames (named Jiroft13, Zanjan Tarom landrace, Moghan landrace, Naz of several branches, TC-25,TS-3, Darab 14 and Dashtestan 5). Then Leaf Area Index (LAI), Total Dry Matter (TDM), Leaf relative water content (RWC), Specific leaf area (SLA), Specific leaf weight (SLW), Leaf Area Ratio (LAR), Leaf Weight Ratio (LWR) of different landraces calculated using SAS and MSTATC.

To compare the means, Tukey's test at 5% probability level was used.

Results and Discussion

The results of the experiment showed that with increasing the levels of drought stress, RWC, LAI, seed yield and LAR decreased significantly. Severe drought stress reduced RWC, LAI and LAR about 30 and 75 and 50 percent, respectively. The reason of LAI reduction in drought stress conditions was due to decreasing cellular turgecense and falling leaves at the onset of reproductive growth stage. By inoculation with mycorrhizal fungi species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* in compare to non-inoculation, seed yield improved about 33 and 11 percent, respectively. It may be due to the effects of mycorrhizae on absorption of phosphorus and sulfur, lasting more leaves on the plant, maintaining and increasing the leaf size and improving the photosynthesis by more chlorophylls. Mycorrhizae application caused an increase in seed yield and improvement of physiological traits in compare to no inoculation (control). Among different sesame landraces studied in this research, Moghan and Zanjan Tarom landraces showed a superiority in seed yield, LAI, RWC, LWR and the first lateral stem above ground in compare to other landraces. It was also found that a significant proportion of seed yield reduction caused by drought stress was due to deterioration of physiological traits studied in this study.

1- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding author Email: gholinezhad1358@yahoo.com)
DOI:10.22067/JAG.V9I4.53336

Conclusion

The results showed that increasing LAI caused more absorption of light and ultimately seed yield incensement. Among different sesame landraces studied in this research, Moghan and Zanjan Tarom landrace showed a superiority in yield and physiological indices in compare to other landraces. Also it was found that a significant proportion of yield reduction caused by drought stress was due to deterioration of physiological indices studied in this study. Based on the results of this study, application of Mycorrhizae species, especially *G. mosseae*, is recommended as an effective approach for increasing seed yield and improvement physiological traits in sesame.

Keywords: Deficit-Irrigation, Genotype, Leaf Area Index, Specific Leaf Area, Specific Leaf Weight