Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Physiologic and agronomic response of grain sorghum cultivars to drought stress and mycorrhizal fungus in summer cropping

Sadegh Azadbakht[1], Masoud Rafiee[2*], Ali Khorgami[3]

[1] PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran, Email:sadegh2553@yahoo.com

[2] Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran, Email: rafieemasoud@yahoo.com

[3]Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran, Email: khorgami.A@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/10/08
Revised: 2022/12/31
Accepted: 2023/01/06

Keywords:
Irrigation regime
Leaf area index
Proline
Seed yield
Yield components

ABSTRACT

Background and purpose: Sorghum is the fifth most important grain in the world and is the main food of more than 500 million people in more than 30 countries. This plant has been introduced as a good substitute for corn in water shortage conditions; because it has a higher tolerance to drought. On the other hand, choosing a variety adapted to the region and with greater tolerance to drought helps to increase production and reduce water consumption. Also, the use of arbuscular mycorrhizal fungi through the development of the root system, improving the absorption and transfer of nutrients and the production of metabolites and plant hormones has an important role in increasing the tolerance of plants to drought and on quantitative, qualitative, the growth and performance of agricultural plants has a positive effect. Considering the reduction of atmospheric precipitation in Iran and as a result of the water crisis in the country, the need for irrigation water management, especially in the agricultural sector, which is considered to be the main consumer of water, is of considerable importance. On the other hand, due to the fact that mycorrhizal fungi help the crop to absorb water, the above experiment aims to investigate the use of mycorrhiza in reducing the effects of drought stress on the yield and morphophysiological characteristics of three varieties of grain sorghum in moderate weather conditions. Kouhdash Lorestan was done.

Materials and methods: This experiment was carried out in the summer of 2015 and 2016 in Kohdasht city of Lorestan in the form of split-plot-factorial with four replications. The main factor includes three irrigation regimes after 80 (control), 120 and 160 mm cumulative evaporation from the class A evaporation pan and sub-factors include mycorrhizal biological fertilizer in two levels of application and non-application of fertilizer and three grain sorghum varieties including Kimia, Payam and Sepideh.

Results: The results showed that the morphophysiological characteristics of sorghum such as leaf area index, spike length, number of seeds per spike, 1000 seed weight, seed yield, biological yield and harvest index decreased significantly with the increase in

the intensity of drought stress. The highest seed yield was obtained under normal irrigation conditions and this trait decreased significantly under severe drought stress conditions. The comparison of the average of the simple effect of the factors showed that the application of mycorrhiza produced the highest seed yield among the cultivars, Sepideh cultivar was the best and Payam cultivar had the lowest seed yield. The trend of changes in grain yield and leaf proline content with the increase in drought stress followed a significant linear relationship, negative and positive, respectively.

Conclusion: In general, the Sepideh variety with the use of mycorrhiza in the irrigation regime after 120 mm of evaporation without significant difference producing the most desirable grain yield with less irrigation water requirement can be recommended for the region.

Cite this article: Azadbakht, S., Rafiee, M., Khorgami, A. 2022. Physiologic and agronomic response of grain sorghum cultivars to drought stress and mycorrhizal fungus in summer cropping. *Crop Production Journal*, 15 (4), 63-80.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2023.19475.2450
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

واکنش فیزیولوژیک و زراعی ارقام سورگوم دانه‌ای به تنش خشکی و قارچ مایکوریزا در کشت تابستانه

صادق آزادبخت[۱]، مسعود رفیعی[۲*]، علی خورگامی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران، رایانامه:sadegh2553@yahoo.com

[۲] استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران، رایانامه:rafieemasoud@yahoo.com

[۳] دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران، رایانامه: khorgami.A@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶

واژه‌های کلیدی:
اجزای عملکرد
پرولین
رژیم آبیاری
شاخص سطح برگ
عملکرد دانه

چکیده

سابقه و هدف: سورگوم پنجمین غله مهم در جهان بوده و جزو غذای اصلی بیش از ۵۰۰ میلیون نفر در بیش از ۳۰ کشور محسوب می‌شود. این گیاه به‌عنوان جایگزین خوبی برای ذرت در شرایط کمبود آب معرفی شده است؛ زیرا تحمل بالاتری نسبت به خشکی دارد. از طرفی، انتخاب رقم سازگار به منطقه و با تحمل بیش‌تر به خشکی، به افزایش تولید و کاهش مصرف آب کمک می‌نماید. همچنین، به‌کارگیری قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار از طریق توسعهٔ سیستم ریشه‌ای، بهبود جذب و انتقال عناصر غذایی و تولید متابولیت‌ها و هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در افزایش تحمل گیاهان به خشکی داشته و بر خصوصیات کمی، کیفی، رشد و عملکرد گیاهان زراعی اثر مثبت دارد. با توجه به کاهش نزولات جوی در ایران و در نتیجه بحران آب در کشور، لزوم مدیریت آب آبیاری به‌ویژه در بخش کشاورزی که مصرف کنندهٔ عمدهٔ آب محسوب می‌شود، اهمیت قابل توجهی دارد. از طرفی با عنایت به اینکه قارچ‌های مایکوریزا در جذب آب به گیاه زراعی کمک می‌کنند، آزمایش فوق با هدف بررسی کاربرد مایکوریزا در کاهش اثرات تنش خشکی بر عملکرد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک سه رقم سورگوم دانه‌ای در شرایط آب و هوائی معتدل کوهدشت لرستان انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در تابستان سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در شهرستان کوهدشت لرستان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت اسپلیت پلات –فاکتوریل با چهار تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی شامل سه رژیم آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس الف و فاکتورهای فرعی شامل کود زیستی مایکوریزا در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد کود و سه رقم سورگوم دانه‌ای شامل کیمیا، پیام و سپیده بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد خصوصیات مورفوفیزیولوژیک سورگوم همچون شاخص سطح برگ، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص

برداشت با افزایش شدت تنش خشکی کاهش معنی‌دار یافت. بیش‌ترین عملکرد دانه از شرایط نرمال آبیاری حاصل شد و در شرایط تنش خشکی شدید این صفت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مقایسه میانگین اثر ساده عامل‌ها نشان داد کاربرد مایکوریزا بیش‌ترین عملکرد دانه را تولید نمود و در میان ارقام، رقم سپیده برترین بود و رقم پیام کم‌ترین عملکرد دانه را داشت. روند تغییرات عملکرد دانه و میزان پرولین برگ با افزایش شدت تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی‌دار و به ترتیب منفی و مثبت پیروی نمود.

نتیجه‌گیری: در مجموع رقم سپیده با کاربرد مایکوریزا در رژیم آبیاری پس ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بدون تفاوت معنی‌دار ضمن تولید بیش‌ترین عملکرد دانه مطلوب موجب صرفه جوئی در آب آبیاری گردید که برای منطقه قابل توصیه است.

استناد: آزادبخت، ص.، رفیعی، م.، خورگامی، ع. (۱٤۰۱). واکنش فیزیولوژیک و زراعی ارقام سورگوم دانه‌ای به تنش خشکی و قارچ مایکوریزا در کشت تابستانه. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (٤)، ۸۰-٦۳.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.19475.2450

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

تنش خشکی را می‌توان به‌صورت فقدان آب کافی مورد نیاز برای رشد طبیعی و تکمیل چرخه زندگی گیاه تعریف نمود (۱). سورگوم پنجمین غله مهم در جهان است و جزو غذای اصلی بیش از ۵۰۰ میلیون نفر در بیش از ۳۰ کشور است و چهارمین دانه غذائی در جهان محسوب می‌شود (۲، ۳). گیاهان متحمل به خشکی، مانند سورگوم، نیازمند به کارگیری مدیریت بهتر در شرایط تغییرات آب‌وهوایی هستند (٤). این گیاه به‌عنوان جایگزین خوبی برای ذرت در شرایط کمبود آب معرفی شده است؛ زیرا تحمل بالاتری نسبت به خشکی دارد. از طرفی، انتخاب رقم سازگار به منطقه و با تحمل بیش‌تر به خشکی، به افزایش تولید و کاهش مصرف آب کمک می‌نماید.

در تحقیقی روی سورگوم مشاهده شد که تنش در مرحله رشد زایشی تا ۵۰ درصد عملکرد دانه را کاهش داد، اما بروز تنش در مرحله رشد رویشی ۳۰ درصد عملکرد را پایین آورد (۵). آبیاری در مرحله گل‌دهی بر باروری گلچه‌ها و افزایش تعداد دانه‌ها تأثیر دارد. درحالی‌که در مرحله دانه‌بندی، آبیاری بر افزایش اندوخته غذایی و پرشدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن آن‌ها تأثیر می‌گذارد (٦).

در بررسی معیارهای مؤثر در تحمل ده ژنوتیپ سورگوم به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای و بعد از مرحله گل‌دهی معلوم شد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر همه صفات مورفوفیزیولوژیک مورد بررسی مانند وزن خشک ریشه، طول ریشه، طول کلئوپتیل، نسبت ریشه به ساقه، سطح برگ پرچم، شاخص سطح و وزن برگ پرچم، ماده خشک برگ، محتوی نسبی آب، پایداری غشای سلولی و عملکرد دانه در هر بوته تفاوت معنی‌داری وجود داشت (۵). بررسی اثر تنش خشکی روی ذرت نشان داد که آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر عملکرد دانه و زیست‌توده در ذرت را به ترتیب ۷/٤ درصد و ۲۵/۳ درصد کاهش داد، ولی به‌دلیل کاهش در میزان آب مصرفی، راندمان مصرف آب هم برای دانه و هم زیست‌توده به ترتیب ۱۱/۸ درصد و ۱۲/٦ درصد افزایش یافت. در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ میلیمتر تبخیر، راندمان مصرف آب دانه تغییر معنی‌داری پیدا نکرد (۷).

مطالعه ۵۲ ساله سورگوم در ایالت کنزاس آمریکا نشان داد که تنش خشکی مهم‌ترین عاملی محدودکننده عملکرد سورگوم در حدود ۳۰ سال از ۵۲ سال مطالعه بود. خشکی از نظر شدت، زمان، طول مدت و ارتباطش با دیگر عوامل مانند یخبندان و درجه حرارت بسیار بالا پیچیدگی خاصی دارد (۸). در بررسی اثر تنش خشکی و درجه حرارت بالا بر ٤۹ هیبرید سورگوم دانه‌ای معلوم شد که عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، روز تا گل‌دهی، و ارتفاع تحت‌تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، به‌طوری‌که عملکرد دانه بیش‌ترین کاهش نسبی را یافت، اما برخی ژنوتیپ‌ها از کاهش عملکرد کم‌تری برخوردار بودند (٤). ژنوتیپ‌های سورگوم به‌طور معنی‌داری از نظر واکنش به تنش خشکی و تحمل خشکی متفاوت‌اند و درجه تحمل به تنش به اثر متقابل میان ژنوتیپ و سطح تنش کمبود آب بستگی دارد (۱).

بسیاری از پژوهشگران به نقش مثبت کودهای زیستی حاوی قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار بر خصوصیات کمی، کیفی، رشد و عملکرد گیاهان زراعی اشاره کرده‌اند که از طریق توسعهٔ سیستم ریشه‌ای، بهبود جذب و انتقال عناصر غذایی، تولید متابولیت‌ها، هورمون‌های گیاهی، امکان افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی را فراهم کنند (۹، ۱۰).

افزایش ارتفاع بوته، تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ را در مراحل مختلف رشد (گل‌دهی، غلاف‌دهی، پرشدن دانه) و کاهش ۵۰

درصدی مصرف کودهای شیمیایی در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم هاشم در اثر تلقیح بذر با مایکوریزا گونه *Glomus intraradices* را گزارش شده است (۱۱).

به‌کارگیری قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار درکشت مزرعه‌ای ذرت توانست ارتفاع بوته، طول بلال، جذب پتاسیم، نیتروژن و فسفر و همچنین درصد کلونیزاسیون ریشه را در سطح معنی‌داری افزایش دهد (۲). کاربرد قارچ میکوریزا به‌دلیل افزایش جذب آب، مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی و همچنین افزایش کارایی فتوسنتز گیاه، باعث افزایش شاخص‌های مورفولوژی و زراعی گیاه سورگوم شد (۱۲).

در پژوهشی، اثر قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار را بر رشد اندام هوایی، رشد ریشه، درصد فسفر اندام هوایی، درصد نیتروژن اندام هوایی و درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه لوبیا معنی‌دار گزارش شد (۱۳). پژوهشگران گزارش کردند که همزیستی مایکوریزایی می‌تواند از طریق توسعهٔ سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب بهبود غلظت عناصر در اندام‌های هوایی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گردد (۱٤). همچنین گزارش شده که به‌کارگیری قارچ مایکوریزا آربوسکولار می‌تواند ارتفاع بوته و عملکرد زراعی گیاه لوبیا را افزایش دهد (۱۵). افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای گیاهان (۹)، افزایش فتوسنتز (۱٦) با افزایش مقاومت میزبان به آفات و بیماری‌ها (۱۲، ۱۷)، افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی و محتوای کلروفیل (۱۸)، تسریع در گلدهی گیاهان میزبان، افزایش مقاومت به تنش خشکی و تنش شوری، ایجاد واکنش‌های مورفولوژیک در گیاهان (۱۹) مهم‌ترین نقش قارچ‌های مایکوریزا در نظام زراعتی بیان شده است.

با توجه به کاهش نزولات جوی در ایران و در نتیجه بحران آب در کشور، لزوم مدیریت آب آبیاری به‌ویژه در بخش کشاورزی که مصرف کنندهٔ عمدهٔ آب محسوب می‌شود، اهمیت قابل توجهی دارد. از طرفی با عنایت به اینکه قارچ‌های مایکوریزا در جذب آب به گیاه زراعی کمک می‌کنند، آزمایش فوق با هدف بررسی کاربرد مایکوریزا در کاهش اثرات تنش خشکی بر عملکرد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک سه رقم سورگوم دانه‌ای در شرایط آب و هوایی معتدل کوهدشت لرستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ در شهرستان کوهدشت با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳٦ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤۷ درجه و ٤۰ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا اجرا گردید که طبق تقسیم‌بندی اقلیمی این منطقه دارای اقلیم نیمه گرمسیری با تابستان گرم و خشک می‌باشد. فاکتور اصلی شامل سه رژیم آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۲۰ و ۱٦۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس الف و فاکتورهای فرعی شامل کود زیستی مایکوریزا در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد کود و سه رقم سورگوم دانه‌ای شامل پیام، کیمیا و سپیده بودند.

زمین قبل از اجرای آزمایش طی هر دو سال تحت کشت گندم بود. قبل از کاشت، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نقاط مختلف مزرعه، پنج نمونه خاک تهیه شد و نمونه‌ای مرکب یک کیلوگرمی به آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی لرستان ارسال شد. خصوصیات خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده

است. بافت خاک مزرعه لومی سیلتی بود. بر اساس نتایج آزمون خاک نیمی از کود شیمیایی نیتروژن، و تمام فسفر و پتاسیم خالص بر اساس آزمون خاک به‌ترتیب اوره (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپر فسفات تریپل (٦۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۷۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان کاشت تأمین گردید. در کرت‌هایی که قارچ مایکوریزا بکار گرفته شد، ۲۵ درصد میزان توصیه شده کود فسفره استفاده گردید. نیم دیگر کود اوره به‌صورت سرک در مرحله ٦-٤ برگی مصرف شد. فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و هر کرت مشتمل بر ۵ خط کاشت به طول ٦ متر بود. فاصله تکرارها ۲/۵ متر، بین پلات‌های اصلی ۲ متر و بین پلات‌های فرعی یک خط نکاشت درنظر گرفته شد. کاشت هر سال در تاریخ ۷ تیر ماه انجام گردید. تراکم مورد استفاده ۲۰۰ هزار بوته در هکتار بود. مراقبت‌های زراعی شامل وجین بسته به نیاز در طول فصل رشد انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه محل انجام آزمایش

Table1- Soil farm properties in the experiment place.

سال	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	واکنش خاک	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
Year	Nitrogen (%)	Phosphorus (mg.kg-1)	Potassium (mg.kg-1)	pH	EC (ds/m)
2016 ۱۳۹۵	0.31	12.1	332	7.6	1.27
2017 ۱۳۹٦	0.42	13.5	361	7.5	1.25

تیمارهای مختلف تنش خشکی در مرحله ٦-٤ برگی، یعنی پس از استقرار کامل گیاه در مزرعه اعمال گردید. حجم آب در هر بار آبیاری و برای هر پلات اصلی بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

رابطه ۱: $VW = (FC - \theta) \times BD \times A \times D / Ea$

که در آن VW، حجم آب آبیاری (مترمکعب)؛ FC، درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (۲۸ درصد)؛ θ، درصد وزنی رطوبت خاک در زمان آبیاری؛ BD، وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛ A، مساحت پلات اصلی آزمایش؛ D، عمق ریشه (متر) و Ea، راندمان کاربرد آب آبیاری (۹۰ درصد) بود. پس از محاسبهٔ مقدار آب لازم بر اساس تیمارهای تنش خشکی، کرت‌های اصلی با استفاده از پمپ آب که از دبی خروجی مشخص برخوردار بود تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه آبیاری می‌شدند.

برای تعیین طول مدت (t) آبیاری هر پلات از رابطهٔ زیر استفاده شد:

رابطه ۲: $t = V / Q$

که در آن V، حجم آب آبیاری بر حسب لیتر و Q، دبی خروجی پمپ آب بر حسب لیتر در ثانیه بود.

با توجه به محصور بودن کرت‌های آزمایشی هدررفت آب صفر بود. به‌منظور توزیع یکنواخت آب در هر پلات، ابتدا و انتهای جوی‌ها مسدود گردید و زمان مورد نیاز برای آبیاری هر پلات بر تعداد جوی‌های تقسیم شد تا سهم هر جوی از آب آبیاری مساوی باشد. برای تعیین درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج استفاده شد. در مرحله گلدهی نمونه‌هایی از برگ‌های جوان گیاه از هر کرت فرعی جهت انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید و مقدار پرولین به‌روش بیتس و همکاران اندازه‌گیری گردید (۲۰). پس از رسیدن فیزیولوژیک، یعنی زمانی که لایه یا نقطه سیاه در محل

اتصال دانه به گلوم‌ها به وجود آمد، با رعایت اثر حاشیه و به طور تصادفی ۱۰ بوته جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد برداشت گردید و صفاتی نظیر طول خوشه، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه برای هر یک از نمونه‌ها به طور مجزا محاسبه گردید. در زمان برداشت عملکرد دانه از ردیف‌های میانی هر پلات با رعایت نیم متر حاشیه از طرفین پس از جداسازی دانه‌ها از محور خوشه و بر اساس رطوبت استاندارد ۱۲ درصد تعیین گردید. پس از آزمون بارتلت و اطمینان از همگن بودن واریانس خطای آزمایشی، آنالیز واریانس مرکب داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و پردازش داده‌ها با Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

پرولین: میزان پرولین اندام هوایی به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر ساده تنش خشکی و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در رقم و مایکوریزا در رقم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در مایکوریزا در رقم قرار گرفت. دیگر اثرات ساده و متقابل بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین اندام هوایی از شرایط تنش شدید خشکی و کاربرد مایکوریزا در رقم کیمیا با میانگین ۰/۰۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه حاصل شد و در شرایط نرمال آبیاری و عدم کاربرد مایکوریزا در رقم پیام با میانگین ۰/۰۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه به کم‌ترین مقدار خود رسید (جدول ٤). این نتایج نشان می‌دهد میزان پرولین با افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت و کاربرد مایکوریزا و رقم واکنش متفاوتی در پی داشته است. تجمع پرولین به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی در تنظیم اسمزی گیاهان در شرایط تنش خشکی حائز اهمیت است (۲۱، ۲۲). محققان تجمع پرولین را به وجود ترکیبات پر انرژی حاصل از فتوسنتز ربط می‌دهند که سبب تحریک سنتز پرولین می‌شود (۱۵، ۲۳).

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و رقم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در رقم و مایکوریزا در رقم قرار گرفت (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد که رقم سپیده در شرایط نرمال رطوبتی بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۳/۱۵) و رقم پیام در شرایط تنش شدید خشکی کم‌ترین شاخص سطح برگ (۱/۹۷) بدون تفاوت معنی‌دار در سطوح دیگر تنش خشکی را داشت (جدول ۵). مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مایکوریزا در رقم نشان داد رقم سپیده با کاربرد مایکوریزا بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۲/۸٤) و رقم پیام در هر دو تیمار کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا کم‌ترین شاخص سطح برگ (۱/۸۳) را نشان داد (جدول ٦). کاهش شاخص سطح برگ در تیمارهای تنش خشکی به دلیل کاهش سطح و تعداد برگ در گیاه می‌باشد که با نتایج به‌دست آمده قبلی (۱۹) مطابقت دارد. همچنین، این نتایج توسط برخی محققین (۱۱، ۱۸) که کاربرد مایکوریزا را موجب تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه طی دوره رشد و افزایش شاخص سطح برگ عنوان نمودند تأیید شده است.

طول خوشه: طول خوشه به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر تنش خشکی و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در رقم قرار گرفت (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد رقم کیمیا در شرایط نرمال رطوبتی بیش‌ترین طول خوشه (۲٦/۱۵ سانتی‌متر) و رقم پیام در شرایط تنش شدید خشکی کم‌ترین طول خوشه (۱۷/۵ سانتی‌متر) را داشت (جدول ۵). تنش خشکی قبل و در زمان گل‌دهی در ژنوتیپ‌های حساس منجر به تأخیر در

گلدهی، عقیم شدن گلچه‌ها، کاهش اندازه خوشه، تعداد دانه در خوشه و کاهش ارتفاع می‌شود (۵). این نتایج با یافته‌های قبلی ما در خصوص کاهش طول بلال در ذرت در اثر تنش خشکی (۷) مطابقت دارد. گزارش شده است که عدم کاربرد کود زیستی مایکوریزا موجب کاهش طول خوشه در سورگوم (۱۲) و طول بلال در ذرت (۲) در اثر کاهش جذب آب و عناصر غذایی می‌گردد.

تعداد دانه در خوشه: تعداد دانه در خوشه به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تنش خشکی و رقم و اثر متقابل دو گانه مایکوریزا در رقم قرار گرفت (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین دوساله نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خوشه بدون تفاوت معنی‌دار از شرایط نرمال و تنش متوسط خشکی با میانگین به ترتیب ١٦٥٤ و ١٦٠٠ دانه حاصل شد و در شرایط تنش شدید خشکی به کم‌ترین تعداد (١٠٦٠ دانه) کاهش یافت. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مایکوریزا در رقم نشان داد رقم سپیده با کاربرد مایکوریزا بیش‌ترین تعداد دانه در خوشه (١٦٤٦ دانه) و رقم پیام بدون کاربرد مایکوریزا کم‌ترین تعداد دانه در خوشه (١٠٥٥ دانه) را داشت (جدول ٦). برخی محققین (١، ٢٤) کاهش در تعداد دانه در غلات دانه‌ریز همچون سورگوم تحت تنش خشکی را عمدتاً ناشی سقط جنین یا ناباروری دانه بیان نموده‌اند. نقش مثبت کاربرد کود زیستی مایکوریزا در افزایش تعداد دانه در سورگوم (۱۲) و ذرت (۲) به‌واسطه افزایش جذب آب و عناصر غذایی پیش از این گزارش شده است.

وزن هزاردانه: وزن هزار دانه به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد دانه تابع محیط و ژنتیک می باشد. وزن دانه جزیی از عملکرد است که بیانگر رابطه میان منبع و مخزن مواد فتوسنتزی در طول مرحله پرشدن دانه است. در این آزمایش، وزن هزار دانه به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر سال و تنش خشکی و اثر متقابل دو گانه مایکوریزا در رقم قرار گرفت (جدول ۲). میانگین وزن هزار دانه در سال دوم (۱۷/۹ گرم) برتری معنی‌داری نسبت به سال اول (١٦/٧ گرم) داشت (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین دوساله نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه بدون تفاوت معنی‌دار از شرایط نرمال و تنش متوسط خشکی با میانگین به ترتیب ۱۸/۱ و ۱۷/۵ گرم حاصل شد و در شرایط تنش شدید خشکی به کم‌ترین میزان (١٦/٢ گرم) کاهش یافت (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مایکوریزا در رقم نشان داد رقم سپیده با کاربرد مایکوریزا بیش‌ترین وزن هزار دانه (۱۷/۱ گرم) و رقم پیام بدون کاربرد مایکوریزا کم‌ترین وزن هزار دانه (۱۵/۱ گرم) را داشت (جدول ٦). کاهش وزن دانه در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش در تعداد هسته‌های آندوسپرم در نهایت کاهش تجمع نشاسته و وزن خشک آندوسپرم در مرحلهٔ رسیدگی است (۲۵) که توسط سایر محققین (۱، ۳) گزارش شده است. همچنین، نقش مثبت همزیستی مایکوریزایی از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی از خاک موجب بهبود رشد (۱۸) و افزایش وزن دانه می‌شود (۲).

عملکرد دانه: عملکرد دانه سورگوم برآیند اجزای عملکرد می‌باشد. در این آزمایش تأثیر سال، تنش خشکی، مایکوریزا و رقم و اثرات متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم و مایکوریزا در رقم بر این صفت معنی‌داری بود (جدول ۲). میانگین عملکرد دانه در سال دوم (٤٢٩٢ کیلوگرم در هکتار) برتری معنی‌داری نسبت به سال اول (٣٨٩٤ کیلوگرم در هکتار) داشت (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم نشان داد بیش‌ترین عملکرد دانه از رقم سپیده در شرایط نرمال رطوبتی (۷۰۳۷ کیلوگرم در هکتار) بدون تفاوت معنی‌دار با دیگر سطوح تنش خشکی حاصل شد که در رقم پیام و تنش شدید خشکی به حداقل مقدار (۲۰۵۵

کیلوگرم در هکتار) کاهش یافت (جدول ۵). ارقام واکنش متفاوتی به کاربرد مایکوریزا نشان دادند، به‌طوری‌که در مقایسهٔ میانگین اثر متقابل دو گانه، بیش‌ترین عملکرد دانه از کاربرد مایکوریزا در رقم سپیده (۷۲٤٤ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که در شرایط کاربرد مایکوریزا در رقم پیام به حداقل مقدار (۲۵٦۳ کیلوگرم در هکتار) کاهش یافت (جدول ٦).

علت کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی را می‌توان به اثر منفی تنش بر اجزای عملکرد دانه مانند تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، وزن خوشه و وزن دانه در گیاه نسبت داد (۱). تسریع در گل‌دهی و کوتاه شدن دوره رشد به‌عنوان یکی از دلایل کاهش عملکرد گیاهی است. زمان بروز تنش خشکی نیز در نوع و میزان خسارت وارده اثر زیادی دارد. تحقیق انجام شده روی ارزن و سورگوم نشان داد که تنش در مرحله رشد زایشی تا ۵۰ درصد عملکرد دانه را کاهش داد اما بروز تنش در مرحله رشد رویشی در ارزن ۲۵ درصد و در سورگوم ۳۰ درصد عملکرد را پایین آورد (۵). کاهش عملکرد دانه سورگوم تحت تنش خشکی توسط سایر محققین (۱، ۵، ٦، ۲٦) گزارش شده است. کاربرد کودهای زیستی می‌تواند در شرایط تنش خشکی، کاهش عملکرد گیاهان زراعی را تا حدودی تعدیل نماید و مقاومت گیاه را به تنش خشکی افزایش دهد (۹، ۱۰). برخی محققین نیز معتقدند که همزیستی مایکوریزایی، روابط آبی گیاه را اصلاح و باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی از خاک می‌شود و رشد و عملکرد را بهبود می‌بخشد (۱۸).

عملکرد زیستی: در خصوص عملکرد زیستی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش خشکی، مایکوریزا و رقم و اثر متقابل دو گانه مایکوریزا در رقم بر این صفت معنی‌داری بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک از کاربرد مایکوریزا در رقم سپیده در شرایط نرمال رطوبتی (۲۳۰۵۳ کیلوگرم در هکتار)، تنش متوسط خشکی (۲۲٦۲٤ کیلوگرم در هکتار) و تنش شدید خشکی (۲۱۸۱۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. همانند عملکرد دانه، رقم کیمیا با کاربرد مایکوریزا و در شرایط تنش شدید خشکی از کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک (۸٤۸۵ کیلوگرم در هکتار) برخوردار بود (جدول ۵). استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر مثبتی خواهد داشت، به‌طوری‌که با افزایش جذب عناصر غذایی، وزن خشک اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد (۱۸، ۲۷).

شاخص برداشت: شاخص برداشت که سهم عملکرد دانه از عملکرد زیستی است، اختلاف معنی‌داری در سطوح ساده سال، تنش خشکی و رقم و اثرات متقابل دو گانه سال در رقم، تنش خشکی در مایکوریزا، تنش خشکی در رقم و مایکوریزا در رقم و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در مایکوریزا در رقم نشان داد (جدول ۲). میانگین شاخص برداشت در سال دوم (۲۹/۸ درصد) برتری معنی‌داری نسبت به سال اول (۲۷/٤ درصد) داشت (جدول ۳). ارقام واکنش متفاوتی به کاربرد مایکوریزا در سطوح تنش خشکی نشان دادند، به‌طوری‌که در مقایسهٔ میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در مایکوریزا در رقم، بیش‌ترین شاخص برداشت در شرایط نرمال رطوبتی از کاربرد مایکوریزا در رقم سپیده (۳٤/۲ درصد) حاصل شد و کم‌ترین آن در شرایط تنش شدید خشکی با کاربرد مایکوریزا در رقم پیام (۲۱/۱ درصد) به‌دست آمد (جدول ٤). کاهش در شاخص برداشت ناشی از اعمال تنش خشکی در سورگوم گزارش شده است (۱). در بررسی اثر تنش خشکی روی شاخص برداشت در ذرت (۷) و سورگوم دانه‌ای (۵، ٦)، نتایج مشابهی به‌دست آمده است. اثر معنی‌دار قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار بر شاخص برداشت در سورگوم (۱۳) و ذرت (۲) گزارش شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم دانه‌ای.

Table 2- Combined analysis of variance of morphophysiological traits in grain sorghum.

منابع تغییر S.O.V		درجه آزادی df	پرولین Proline	شاخص سطح برگ Leaf area Index	طول خوشه Head length	تعداد دانه در خوشه Grain per head	وزن هزار دانه Thousand grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest Index
سال	Year (Y)	1	0.000061	0.051	5.921111	89002.78	57.6*	5712100**	5094425	186.7**
تکرار (سال)	Replication (Y)	6	0.000015	0.0733	3.278519	95209.91	13.89	1433.3	1411	0.12963
تنش خشکی	Drought Stress (S)	2	0.00071**	0.43**	125.2**	5170181**	48.47**	19241952.8**	9461652**	817.0**
سال×تنش	Y×S	2	0.00002122	0.000749	0.486736	97994.63	5.92	1225	6156	2.090278
خطای الف	Error a	6	0.00002076	0.068	1.54831	22751.05	5.453	81671.3	31149	7.224537
مایکوریزا	Mycorrhiza (M)	1	0.00000086	0.59	44.6	1188100	25.65	8880400**	110542444*	26.6
رقم	Variety (V)	2	0.000094	13.51**	376.8	3148550**	18.32	201028934.5**	1551013457**	310.6**
سال× مایکوریزا	Y×M	1	0.00000035	0.045547	1.521111	34969	0.656	400	812252	5.444444
سال×رقم	Y×V	2	0.00005	0.002547	0.915903	6245.51	2.646	3325	23	8.79*
تنش ×مایکوریزا	S×M	2	0.000023	0.20572	5.082569	405666.9	1.005	75	37895	27.9**
تنش × رقم	S×V	4	0.00034*	0.1327**	1.9698**	365533.1	3.559	29665.3*	35750	41.7**
مایکوریزا × رقم	M×V	2	0.00018*	0.1211*	5.1138	226933.2*	5.215*	12506732.6**	87549072*	57.6**
سال×تنش× مایکوریزا	Y×S×M	2	0.0000689	0.091306	0.695069	120114.4	0.340	2275	76886	0.881944
سال × تنش × رقم	Y×S×V	4	0.000038	0.00055	0.054965	141090.7	2.775	2612.5	4400	0.548611
سال * مایکوریزا * رقم	Y*M*V	2	0.00002	0.0039	0.27	9517.8	0.2095	2275	71947	1.174
تنش × مایکوریزا × رقم	S×M×V	4	0.00035**	0.018173	2.143507	180142	4.470	23870	231649	5.92**
سال×تنش×مایکوریزا×رقم	Y×S×M×V	6	0.000021	0.021804	0.893333	29348.23	1.822	1050	39882	0.590278
خطای ب	Error b	96	0.00001276	0.096643	2.739217	63522.56	8.996	283855.6	3301955	2.566696
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)		5.34	11.3	7.964	17.52	17.33	13.01	13.01	5.596

* and **: significant at 5% and 1% probability level, respectively

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین دوساله اثر سال، تنش خشکی، مایکوریزا و رقم بر صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم دانه‌ای.

Table 3- Two years mean comparison of year, drought stress, Mycorrhiza and variety effects on morphophysiological traits in grain sorghum.

تیمار Treatment		پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) Proline (mg g-1 FW)	شاخص سطح برگ Leaf area Index	طول خوشه(سانتی-متر) Head length (cm)	تعداد دانه در خوشه Grain per head	وزن هزار دانه(گرم) Thousand grain weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest Index (%)
سال Year	۱۳۹۵ 2016	0.028a	2.57a	20.57a	1413.1a	16.67b	3893.8b	13769.2	27.43b
	۱۳۹۶ 2017	0.027a	2.59a	20.98a	1462.9a	17.93a	4292.1a	14145.3	29.80a
تنش خشکی Drought stress	۸۰ میلیمتر 80 mm	0.025c	2.68a	22.4a	1653.7a	18.1a	4661.4a	14367.2a	32.2a
	۱۲۰ میلیمتر 120 mm	0.028b	2.57ab	20.6b	1600.1a	17.5a	4206.8b	14018.6ab	29.5b
	۱۶۰ میلیمتر 160 mm	0.032a	2.49b	19.3c	1060.3b	16.2b	3410.6c	13485.7b	24.1c
	LSD (5%)	0.0017	0.0012	0.6706	102.1	1.22	215.87	736.27	0.6491
مایکوریزا Mycorrhiza	**مایکوریزا** Mycorrhiza	0.0289a	2.65a	21.33a	1528.9a	17.72a	4341.22a	14833.4a	28.21a
	شاهد Control	0.0286a	2.52a	20.22b	1347.2a	16.88a	3844.72b	13081.0b	29.02a
رقم Variety	پیام Payam	0.0289a	1.99c	19.0b	1182.1c	16.92a	2782.6c	9974.6c	27.6b
	کیمیا Kimia	0.0281a	2.75b	24.0a	1437.6b	16.97a	3044.9b	11429.8b	26.7c
	سپیده Sepideh	0.0293a	3.01a	19.3b	1694.3a	18.01a	6451.2a	20467.0a	31.4a
	LSD (5%)		0.126	0.6706	102.12		215.87	736.27	0.6491

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using LSD at 5%.

جدول ٤- مقایسه میانگین دوساله اثر متقابل تنش خشکی × مایکوریزا × رقم بر صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم دانه‌ای.

Table 4- Two years mean comparison of drought stress×Mycorrhiza×variety interaction on morphophysiological traits in grain sorghum.

تیمار Treatment			پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	شاخص برداشت (درصد)
تنش خشکی Drought stress	مایکوریزا Mycorrhizae	رقم Variety	Proline (mg g-1 FW)	Harvest Index (%)
۸۰ میلی‌متر 80 mm	مایکوریزا Mycorrhiza	پیام Payam	0.023ef	31.2bcd
		کیمیا Kimia	0.028a-d	28.0ef
		سپیده Sepideh	0.025c-f	34.2a
	شاهد Control	پیام Payam	0.026c-f	33.7a
		کیمیا Kimia	0.022f	32.8abc
		سپیده Sepideh	0.025def	33.0ab
۱۲۰ میلی‌متر 120 mm	مایکوریزا Mycorrhiza	پیام Payam	0.028b-e	28.1ef
		کیمیا Kimia	0.023f	25.9g
		سپیده Sepideh	0.032ab	32.5abc
	شاهد Control	پیام Payam	0.029abc	29.6def
		کیمیا Kimia	0.030abc	29.6def
		سپیده Sepideh	0.029a-d	31.0cd
۱٦۰ میلی‌متر 160 mm	مایکوریزا Mycorrhiza	پیام Payam	0.033a	21.4h
		کیمیا Kimia	0.032ab	22.1h
		سپیده Sepideh	0.032ab	29.9de
	شاهد Control	پیام Payam	0.032ab	21.5h
		کیمیا Kimia	0.031ab	21.7h
		سپیده Sepideh	0.031ab	27.7fg
LSD (5%)			**0.46**	**2.0186**

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using LSD at 5%.

جدول ۵- مقایسه میانگین دوساله اثر متقابل تنش خشکی × رقم بر صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم دانه‌ای.

Table 5- Two years mean comparison of drought stress ×variety interaction on morphophysiological traits in grain sorghum.

تیمار Treatment		شاخص سطح برگ	طول خوشه (سانتی‌متر)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
تنش خشکی Drought stress	رقم Variety	Leaf area Index	Head length (cm)	Grain yield (kg/ha)
۸۰ میلی‌متر 80 mm	پیام Payam	2.00e	20.5cd	3375b
	کیمیا Kimia	2.90bc	26.1a	3571b
	سپیده Sepideh	3.14a	20.7c	7037a
۱۲۰ میلی‌متر 120 mm	پیام Payam	1.99e	19.0ef	2917bc
	کیمیا Kimia	2.66d	23.4b	3158b
	سپیده Sepideh	3.05ab	19.3de	6544a
۱٦۰ میلی‌متر 160 mm	پیام Payam	1.97e	17.5g	2055d
	کیمیا Kimia	2.67cd	22.4b	2405cd
	سپیده Sepideh	2.84bcd	17.8fg	5771a
LSD (5%)		**0.2367**	**1.3705**	**476.5**

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using LSD at 5%.

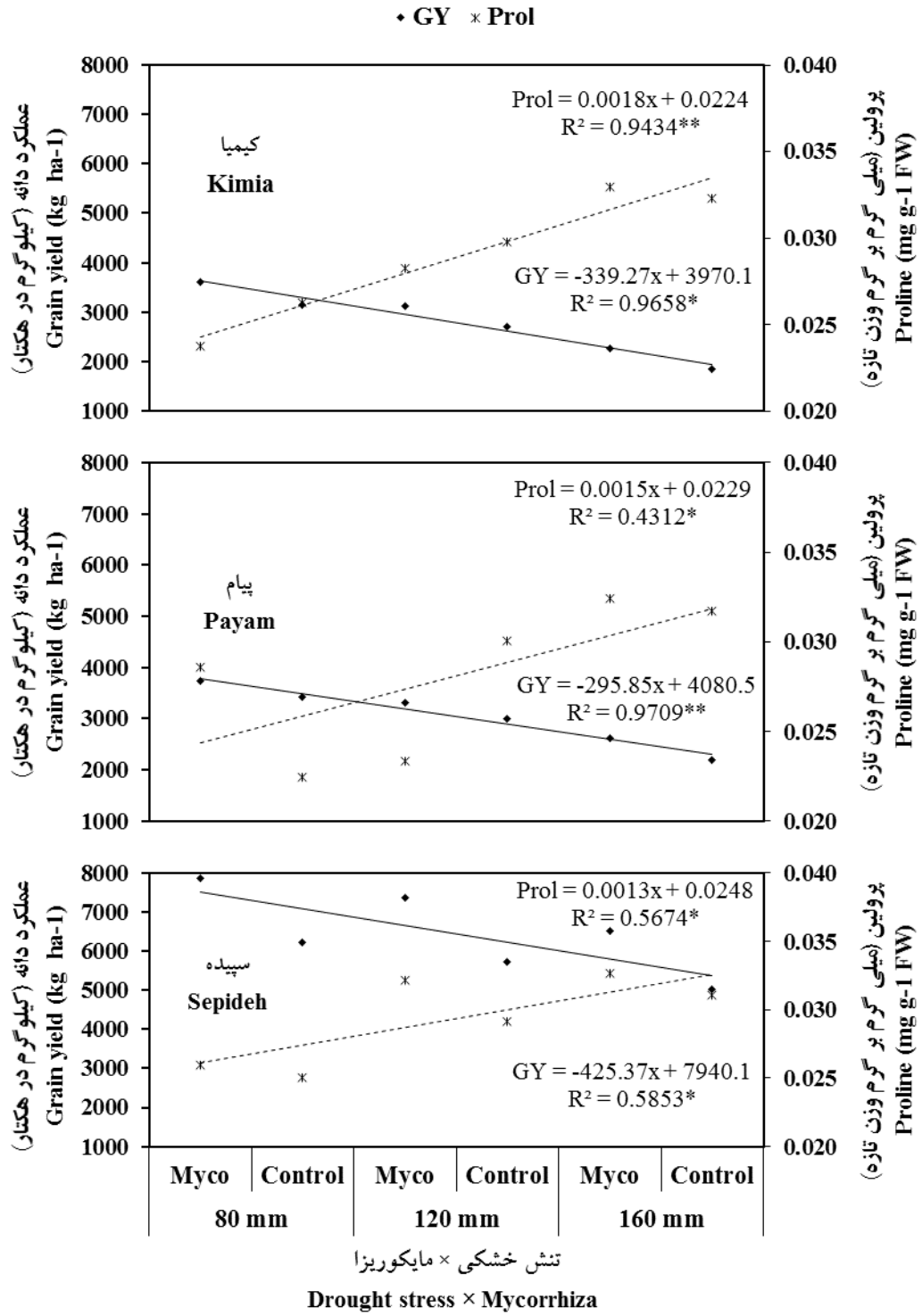
جدول ٦- مقایسه میانگین دوساله اثر متقابل مایکوریزا × رقم بر صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم دانه‌ای.

Table 6- Two years mean comparison of Mycorrhiza×variety interaction on morphophysiological traits in grain sorghum.

تیمار Treatment		شاخص سطح برگ Leaf area Index	تعداد دانه در خوشه Grain per head	وزن هزار دانه (گرم) Thousand grain weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم درهکتار) Grain yield (kg/ha)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)
مایکوریزا Mycorrhizae	رقم Variety					
مایکوریزا Mycorrhiza	پیام Payam	2.00d	1068.48c	16.9b	9366e	2563d
	کیمیا Kimia	2.835bc	1429.19b	17.5ab	12634c	3215c
	سپیده Sepideh	3.117a	1646.9a	18.70a	22499a	7244.a
شاهد Control	پیام Payam	1.985d	1055.15c	16.8b	10583d	3001c
	کیمیا Kimia	2.667c	1216.75c	16.4b	10225de	2874cd
	سپیده Sepideh	2.912b	1416.4b	17.3ab	18434b	5658b
LSD (5%)		0.1961	169.71	1.6069	920.7	417.4

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using LSD at 5%.



شکل ۱- روند تغییرات عملکرد دانه و پرولین سورگوم دانه‌ای به روش برش‌دهی برای رقم در سطوح مختلف اثر متقابل تنش خشکی در مایکوریزا.

Figure 1- The trend of change for grain yield (GY) and proline (Prol) by slice method for variety under different levels of drought stress and Mycorrhiza interactions.

روند تغییرات عملکرد دانه و پرولین: روند تغییرات عملکرد دانه سورگوم دانه‌ای تحت‌تأثیر متقابل تنش خشکی و مایکوریزا (شکل ۲) نشان داد که عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی‌دار و منفی در هر سه رقم پیام (R^2= 0.966*)، سپیده (R^2= 0.971**) و کیمیا (R^2= 0.585*) پیروی نمود. اما روند تغییرات میزان پرولین سورگوم دانه‌ای تحت‌تأثیر متقابل تنش خشکی و مایکوریزا بیان‌گر آن بود که میزان پرولین با افزایش شدت تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی‌دار و مثبت در هر سه رقم پیام (R^2= 0.943**)، سپیده (R^2= 0.431*) و کیمیا (R^2= 0.567*) تبعیت نمود (شکل ۱).

این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد مایکوریزا تا حدی توانست عملکرد دانه را بهبود بخشد، ولی با افزایش شدت تنش خشکی حتی با کاربرد مایکوریزا از عملکرد دانه کاسته شده است. در میان ارقام، رقم کیمیا علی‌رغم پتانسیل ژنتیکی و سازگاری بالاتر به شرایط آب‌وهوایی منطقه و در نتیجه تولید عملکرد بالاتر، از شدت کاهش عملکرد بیش‌تری با تشدید تنش خشکی برخوردار بود (شیب خط منفی‌تر)، در حالی‌که این کاهش برای رقم زودرس‌تر پیام کم‌تر بود. از طرفی، میزان افزایش پرولین با تشدید تنش خشکی در رقم زودرس‌تر پیام بیش‌تر از دو رقم دیگر بود (شیب خط مثبت‌تر). پرولین با مشارکت در تنظیم اسمزی موجب تعدیل خسارات تنش (۲۸) می‌شود، لیکن تنش وارده در اثر کمبود آب موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد. چنین استنباط می‌شود که قدرت تنظیم اسمزی بیش‌تر ارقام زودرس نسبت به دیررس مانع از کاهش بیش‌تر عملکرد این ارقام با افزایش شدت تنش خشکی می‌شود. نتایج تحقیقات مختلف نیز حاکی از افزایش میزان پرولین (٤، ٥) و کاهش عملکرد دانه (۳، ۸) در گیاه سورگوم دانه‌ای در اثر تنش خشکی است، که با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش تنش خشکی بر میزان پرولین برگ سورگوم افزوده شد، ولی تشدید تنش خشکی اجزای عملکرد، عملکرد دانه و شاخص برداشت با بطور معنی‌داری کاهش داد. میزان پرولین برگ با افزایش شدت تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی‌دار و مثبت پیروی نمود، که حاکی از اقدام گیاه سورگوم دانه‌ای به تنظیم اسمزی جهت تعدیل تنش خشکی بود. کاربرد مایکوریزا با حمایت گیاه در جذب آب و املاح بیش‌تر حتی در شرایط تنش متوسط نیز موجب افزایش عملکرد دانه گردید و عملکرد دانه را حتی در شرایط تنش خشکی بهبود بخشید. در مجموع، رقم سپیده با رژیم آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر با کاربرد مایکوریزا ضمن تولید عملکرد اقتصادی مطلوب موجب صرفه جویی در آب آبیاری گردید که برای منطقه معتدل کوهدشت و مناطق مشابه قابل توصیه است.

References

1. Jabereldar, A. A., El Naim, A. M., Abdalla, A. A. and Dagash, Y. M. 2017. Effect of Water Stress on Yield and Water Use Efficiency of Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) in Semi-Arid Environment. Int J Agric Forest. 7: 1. 1-6.
2. Amirabadi, M., Ardakani, M.R., Rejali, F. and Borji, M. 2010. Effects of Azotobacter chroococcum and mycorrhizal Fungus along with different levels of phosphorus on qualitative and morphological characteristics of forage maize (KSC 704). Ir J Soil Water Res. 41: 1. 49-56.

3. El Naim A. M., Baldu, M. A. M. and Zaied, M. M. B. 2012. Effect of tillage depth and pattern on growth and yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under rain-fed. J Nov Appl Sci. 1: 3. 68-73.
4. Menezes, C.B., Saldanha, D.C., Santos, C.V., Andrade, L.C., Mingote Júlio, M.P., Portugal, A.F. and Tardin, F.D. 2015. Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. Genet Mol Res. 14: 4. 12675-12683.
5. Amjad Ali, M., Abbas, A., Niaz, S., Zulkiffal, M. and Ali, S. 2009. Morphophysiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis Ssages. Int J Agric Biotechnol. 11: 674-680.
6. Mazaherilaghab, H., Nori, F., Zare- Abyane, H. and Vafaei, H. 2001. Effect of final irrigation on important traits of three varieties of sunflower in dry land farming. Ir J Agric Res. 1: 41-44 (In Persian)
7. Rafiee, M. and Kalhor, M. 2015. Economic water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) hybrids as affected by irrigation regimes: A case study in west iran. Archiv Agron Soil Sci. 1-9.
8. Assefa, Y. and Staggenborg, S.A. 2010. Grain sorghum yield with hybrid advancement and change in agronomic practices from 1957 through 2008. Agron J. 102: 703-706.
9. Benabdellah, K., Abbas, Y., Abourouh, M., Aroca, R. and Azcon, R. 2011. Influence of two bacterial isolates from degraded and non-degraded soils and arbuscular mycorrhizae fungi isolated from semi-arid zone on the growth of Trifolium repens under drought conditions: Mechanisms related to bacterial effectiveness. Eur J Soil Biol. 47: 303-309.
10. Latef, A.A. and Chaoxing, H. 2010. Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. Acta Physiol Planta. 33: 1217-1225.
11. Mohammadi, E., Asghari, H.R. and Gholami, A. 2013. Effect of mycorrhiza inoculation and phosphorus fertilizer on some growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Hashem cultivar. Agroecol. 5: 3. 263-271
12. Hamzei, J. and Sadeghi Meabadi, F. 2014. The effect of irrigation intervals and arbuscular mycorrhizal fungi on chlorophyll index, yield and yield components of grain sorghum. J Crop Prod Process, Isfahan University of Technology. 4: 12. 211-221.
13. Tajini, F. and Drevon, J. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizas on P use efficiency for growth and N2 fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Sci Res Essays. 7: 16. 1681-1689.
14. Parsa-Motlagh, B., Mahmoodi, S., Sayyari-Zahan, M.H. and Naghizadeh, M. 2011. Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Agroecol. 3: 2. 233-244. (In Persian)
15. Staden, J., Here, P.D. and Cress, W.A. 1999. Proline synthesis and degradation a model system for elucidating stress- related signal transduction. J Exp Bot. 50: 413-434.
16. Valentine, A. J., Mortimer, P. E., Lintnaar, A. and Borga, R. 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhiza grapevines. Symbiosis. 41: 127-133.
17. Castellanos-Morales, V., Keiser, C., Cardenas- Navarro, R., Grausgruber, H., Glauninger, J., Garcia-Garrido, J.M., Steinkellner, S., Sampedro, I., Hage-Ahmed. K., Illana, A., Ocampo, J.A. and Vierheilig, H. 2011. The bio protective effect of AM root colonization against the soil-borne fungal pathogen Gaeumannomyces graminis var. tritici in barely depends on the barely variety. Soil Biol Biochem. 43: 831-834.
18. Smith, S.E. and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third ed. Academic Press. Oxford.
19. Varma, A. 2008. Mycorrhizae: State of the Art, Genetics and Molecular Biology Eco-Function, Biotechnology, Eco-physiology, structure and systematic. Springer –verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-78824-9.
20. Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

21. Bahrami Chegni, Z., Amiri, H. and Lari Yazdi, H. 2012. Effect of drought stress on some physiological parameters of basil. National Conference on Agricultural Science and Technology. Pp: 419-430.
22. Irigoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Dias, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. Physiol Plant. 84: 55-60.
23. Zhang, H., Pala, M., Oweis, T. and Harris, H. 2000. Water use and water use efficiency of chickpea and lentil in a Mediterranean environment. Aust J Agric Res. 51: 295-304.
24. Boyer, J. and Westgate, M. 2004. Grain yields with limited water. J Exp Bot. 55: 2385-2394.
25. Ober. E.S., Setter, T.L., Medison, G.T. and Shopiro, S.P. 1991. Influence of water deficit on maize endosperm development enzyme activities and RNA transcripts of starch ane zein synthesis abcisic acid and cell devision. Plant physiol. 97: 1. 154-164.
26. Ahmed, A.A., Hassan, M.S.M. and El Naim, A.M. 2016. Evaluation of some local sorghum genotypes in north Kordofan of Sudan semi-arid agro-ecological environment. Int J Agric Forest. 6: 1. 54-57.
27. Turk, M.A., Assaf, T.A., Hameed, K.M. and Tawaha, A.M. 2006. Significance of mycorrhizae. World J Agric Sci. 2: 1. 16-20.
28. Cha-um, S. and Kirdmanee, C.H. 2009. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. Agric Sci China. 8: 1. 51-58.