

تأثیر نیتروژن بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های سورگوم (*Sorghum sp.*) تحت تنش خشکی

مرضیه اسدی و حمیدرضا عشقی‌زاده*

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳)

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد نیتروژن بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های سورگوم، آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو رژیم آبیاری (تخلیه ۵۰ و ۸۵ درصد از رطوبت قابل استفاده در خاک)، دو سطح کود نیتروژن (مقدار موجود، ۱۱۲/۵ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره) و ۱۵ ژنوتیپ سورگوم (پگاه، سپیده، GS4، GS5، GS24، GS25، GS26، GS28، KGS29، KGS33، MGS1، MGS5، SF001، SF002، SF003) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی با کاهش سطح برگ بوته، ارتفاع بوته، کارایی کوانتومی فتوسنتز II و محتوای کلروفیل منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد. در مقابل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز تحت شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد کود نیتروژن در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی منجر به افزایش کلیه صفات مذکور بجز نسبت کلروفیل a/b و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شد ولی میزان این افزایش در شرایط تنش خشکی کمتر بود. بنابراین کاربرد کود نیتروژن در شرایط تنش خشکی می‌تواند موجب تعدیل اثر تنش و افزایش عملکرد شود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های SF001، SF002 و MGS5 از نظر صفات مورد بررسی بیشترین واکنش به کود نیتروژن و در عین حال کمترین حساسیت به تنش خشکی را داشتند. بنابراین می‌تواند در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سورگوم، نیتروژن، محتوای کلروفیل، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

(al., 2004). تنش خشکی تأثیر مستقیمی بر دستگاه فتوسنتزی دارد و با مختل کردن کلیه مؤلفه‌های اصلی فتوسنتز از جمله انتقال الکترونی تیلاکوئید، چرخه کربن و تبادل CO₂ می‌تواند منجر به توقف فتوسنتز شود. به‌طور کلی، کاهش میزان فعالیت فتوسنتزی در اثر تنش خشکی به دلیل مکانیسم‌های روزنه یا غیرروزنه‌ای است. از جمله مکانیسم‌های غیرروزنه‌ای می‌توان

تنش خشکی تأثیرگذارترین تنش غیرزننده محیطی است، که از طریق تأثیر بر فرآیندهای متعدد فیزیولوژیکی و نهایتاً رشدی، میزان تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی میزان تأثیر آن بسته به گونه، زمان وقوع تنش خشکی و شدت آن متفاوت است (Askari and Ehsanzadeh, 2015; Thomas Robertson et al.)

*نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: hr.eshghizadeh@iut.ac.ir

به اختلال در تولید کلروفیل اشاره کرد. کاهش کلروفیل در طول تنش خشکی، بسته به مدت و شدت خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است. بنابراین کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند به‌طور مستقیم پتانسیل فتوسنتزی و از این‌رو تولید اولیه را محدود کند (Anjum et al., 2011).

علاوه بر این، در تنش خشکی، سطح گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به‌طور چشمگیری افزایش و در نتیجه تنش اکسیداتیو ایجاد می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن شامل یون‌های اکسیژن، رادیکال‌های آزاد و پراکسیدها هستند که موجب آسیب به پروتئین‌ها، DNA و لیپیدها می‌شوند (Apel and Hirt, 2004). گیاهان در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن دارای سیستم دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی هستند و بنابراین عملکرد طبیعی سلول را تضمین می‌کنند. سیستم دفاعی آنزیمی شامل آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) است (Anjum et al., 2011; Apel and Hirt, 2004).

یکی از راهکارهای مقابله با تنش خشکی، معرفی ارقام متحمل و سازگار با تنش است. بنابراین، با توجه به اینکه امروزه گیاه سورگوم تحمل بالایی به خشکی و گرما دارد، در شرایط تغییر اقلیم و کم‌آبی پیش‌بینی شده در آینده نزدیک، مدیریت کودی مناسب، این گیاه زراعی می‌تواند راهگشا باشد (معاونی و حیدری، ۱۳۸۳). سورگوم دارای دو استراتژی برای انطباق با شرایط کم‌آبی است؛ تحمل کاهش پتانسیل آب و مکانیسم فرار از تنش کمبود آب به‌دلیل ایجاد ریشه عمیق و گسترده (Tari et al., 2013). به‌طور کلی سیستم فتوسنتزی، نحوه فعالیت روزنه‌ای و سیستم ریشه‌ای گیاه سورگوم به گونه‌ای است که این گیاه قادر است آب را بهتر جذب کند و هم این‌که تلفات آب به اتمسفر را کمتر نماید و حتی بعد از یک دوره خشکی طولانی روزنه‌ها قادر خواهند بود فعالیت دوباره خود را بدون آسیب شروع کند. ویژگی دیگری که باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی در گیاه سورگوم می‌شود وجود پوشش مومی بر سطح برگ‌ها است که تلفات

تعرقی آب را کاهش می‌دهد (کوچکی، ۱۳۶۴).

علاوه بر کمبود آب، کمبود نیتروژن مورد نیاز می‌تواند فشار مضاعفی را بر رشد و عملکرد گیاه وارد آورد. نیتروژن عنصر ضروری برای رشد بوده و تغییر در مقادیر قابل دسترس آن به‌ویژه در شرایط تنش آب، عملکرد گیاه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار نیتروژن قابل دسترس بر توزیع مقدار مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی مؤثر بوده و مراحل فنولوژیکی رشد و نمو در اثر کمبود نیتروژن به تأخیر می‌افتد (سپهری و همکاران، ۱۳۸۱). بنابراین افزایش نیتروژن منجر به گسترش و حجیم‌شدن ریشه‌ها، جذب بیشتر رطوبت از خاک، تسریع رشد سبزینه‌ای، افزایش حجم بخش هوایی گیاه و تولید مقدار بیشتر ماده خشک و عملکرد دانه می‌شود (فولادمنند و همکاران، ۱۳۸۵). گزارشات متعددی در خصوص تأثیر مثبت نیتروژن بر افزایش عملکرد ثبت شده است، از این‌رو تمایل به استفاده از مقادیر بیشتر کود نیتروژن وجود دارد (Beyaert and Roy, 2005). از طرف دیگر، تحت شرایط کمبود آب در خاک که جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن کاهش می‌یابد، لزوم برقراری تناسب میان فراهمی رطوبت در خاک و نیتروژن مصرفی ضروری به‌نظر می‌رسد (علیزاده اقیانوس و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به اهمیت مطالب ذکرشده، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام سورگوم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی، ۱۶۳۰ متر ارتفاع از سطح دریاهای آزاد، میانگین دمای سالانه ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۴۰ میلی‌متر بارندگی سالانه) به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش تأثیر دو سطح کود نیتروژن (مقدار موجود، ۱۱۲/۵ کیلوگرم نیتروژن خالص از

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک مورد آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	پتاسیم (میلی-گرم/کیلوگرم)	فسفر (میلی-گرم/کیلوگرم)	نیتروژن کل (درصد)	ماده آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس/متر)	pH	بافت خاک
۰-۳۰	۳۲۵	۴۸/۷	۰/۰۳	۰/۵۴	۲/۱۶	۷/۷	لومی‌رسی

(۱۹۶۷) استفاده شد. در این روش ۰/۳ گرم از قسمت پهنک برگ به قطعات کوچکی خرد و در داخل هاون چینی به‌وسیله استون ۸۰٪ له می‌شود. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب نوری هر یک از عصاره‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Hitachi-U-1800, Made in Japan) در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر خوانده شد. داده‌های حاصل جهت محاسبه غلظت کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) به ترتیب در روابط زیر وارد شدند.

$$\text{Chl a} = ((0.0127 \times \text{Abs663}) - (0.00269 \times \text{Abs645})) \times \text{ml acetone/mg leaf}$$

$$\text{Chl b} = ((0.0229 \times \text{Abs645}) - (0.00468 \times \text{Abs663})) \times \text{ml acetone/mg leaf}$$

$$\text{Chl total} = 0.0202 \times \text{Abs645} + 0.00802 \times \text{Abs663}$$

در این روابط Chl a، Chl b، و Chl total به ترتیب کلروفیل a، b و کل و ۶۴۵ و ۶۶۳ Abs جذب در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر است.

حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m): از تقسیم

فلورسانس کلروفیل متغیر (F_v) به فلورسانس کلروفیل بیشینه (F_m)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II محاسبه می‌شود. برای این منظور، سه برگ جوان و کاملاً توسعه‌یافته از هر واحد آزمایشی انتخاب و به مدت ۲۰ دقیقه با تاریکی سازگار شد. سپس حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II با استفاده از کلروفیل فلورومتر (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, USA) بین ساعت ۱۰-۱۲ اندازه‌گیری و میانگین هر سه اندازه‌گیری برای هر واحد آزمایشی استفاده شد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: برای این منظور از

برگ‌های جوان بالغ نمونه‌گیری صورت گرفت. به منظور استخراج آنزیم‌های مورد بررسی بافر استخراجی به روش تغییر یافته Nakano و Asada (۱۹۸۱) تهیه شد. بعد از تهیه بافر

منبع اوره) بر پانزده ژنوتیپ سورگوم (پگاه، سپیده، GS4، GS5، GS24، GS25، GS26، GS28، KGS29، KGS33، MGS1، MGS5، SF001، SF002، SF003)، تحت دو رژیم آبیاری (تخلیه ۵۰ و ۸۵ درصد از رطوبت قابل استفاده در خاک) مورد بررسی قرار گرفت. قبل از کاشت گیاه، خاک مزرعه مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج در جدول ۱ گزارش شده است. دو رژیم آبیاری (آبیاری نرمال و کم آبیاری به ترتیب پس از تخلیه ۵۰ و ۸۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) براساس حداکثر تخلیه رطوبتی مجاز از خاک برای گیاه سورگوم طی دوره رشد اعمال شدند. از زمان کاشت تا استقرار کامل گیاه (مرحله ۶-۴ برگی)، هر دو محیط رطوبتی همزمان و به یک میزان آبیاری شدند و بعد از مرحله استقرار (مرحله ۶-۴ برگی)، رژیم‌های آبیاری در نظر گرفته شد. تیمار نیتروژن نیز دو هفته پس از کاشت، در مرحله به ساقه‌رفتن و ظهور خوشه همراه با آب آبیاری اعمال شد.

اندازه‌گیری صفات، عملکرد بیولوژیک: پس از رسیدن

کامل محصول و حذف اثر حاشیه، خطوط وسط در هر واحد آزمایشی برداشت شد. سپس نمونه‌های برداشت شده به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و با ترازوی دقیق توزین شدند.

اندازه‌گیری سطح برگ بوته: برای این منظور، برگ‌های ۵

بوته در هر واحد آزمایشی به روش تخریبی جدا و سطح برگ آنها با دستگاه سطح برگ‌سنج الکترونیکی (Model Winarea- ut-11 made in Iran)، برحسب سانتی‌متر مربع در بوته اندازه‌گیری شد.

ارتفاع بوته: ۵ بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب شد و

میانگین ۵ بوته برای صفت مذکور ثبت شد.

محتوای کلروفیل برگ: برای این منظور از روش Arnon

تحقیقی واکنش ذرت به سطوح کم آبیاری و نیتروژن را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در سیستم کم آبیاری با کاربرد کود نیتروژن به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم درهکتار ماده خشک گیاه افزایش یافت.

در بین ژنوتیپ‌ها، بیشترین (۵۹٪) و کمترین (۳۳٪) درصد کاهش عملکرد بیولوژیک در نتیجه تنش خشکی به ترتیب در ژنوتیپ MGS1 و KGS33 مشاهده شد (جدول ۵). کاهش ناشی از تنش خشکی در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌تواند به بسته‌شدن روزنه‌ها در پاسخ به کاهش محتوای آب خاک، که باعث کاهش مصرف CO₂ و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود، نسبت داده شود. به‌طور خلاصه، خشکی با کاهش رشد و توسعه گیاه، منجر به اختلال در تولید گل و پرشدن دانه می‌شود (Anjum et al., 2011). در عین حال، تحمل به خشکی تقریباً در تمام گیاهان دیده می‌شود، اما میزان آن از گونه‌ای به گونه دیگر و حتی در درون گونه‌ها متفاوت است (Jaleel et al., 2009). در مطالعه Nxele و همکاران (۲۰۱۷) نیز تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد گیاه سورگوم شد. همچنین، آذری نصرآباد و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌های سورگوم بیان کردند که ژنوتیپ KGFS13 با میانگین ۲۲۳۶۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین و ژنوتیپ سپیده با میانگین ۹۷۵۸ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند. علاوه بر این، احمدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که با افزایش دور آبیاری کاهش معنی‌داری در عملکرد بیولوژیک ارقام سورگوم مشاهده شد.

با کوددهی نیتروژن، ژنوتیپ‌های MGS1 و MGS5 به ترتیب با ۳۹ و ۱۷٪، بیشترین و کمترین افزایش عملکرد را داشتند (جدول ۶). Roy و Beyaert (۲۰۰۵) نیز با بررسی تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد سورگوم گزارش کردند که حداکثر عملکرد با ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد. در مطالعه کرامت (۱۳۹۴) نیز کاربرد کود نیتروژن منجر به افزایش ماده خشک تولیدی در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم شد.

سطح برگ بوته: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر

استخراج، ۰/۱ گرم از نمونه برگی با استفاده از نیتروژن مایع درون هاون، پودر شده و به آن ۱ میلی‌لیتر از بافر استخراج اضافه شد و درون ویال‌های استریل ریخته و ویال‌ها به دستگاه سانتیفریوژ مدل Eppendorf 5810 R به مدت ۳۰ دقیقه با ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، منتقل شد. بعد از گذشت این مدت از قسمت رویی محلول موجود در ویال برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد.

اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز (CAT): اندازه‌گیری فعالیت

آنزیم کاتالاز با روش تغییر یافته Aebi (۱۹۸۳) در طول موج ۲۴۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت میزان فعالیت آنزیم به صورت $\Delta A_{240} \text{ min}^{-1} \cdot \text{Mg}^{-1} \text{ protein}$ بیان شد.

اندازه‌گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX):

فعالیت آنزیم طبق روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) با کمی تغییرات در طول موج ۲۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم به صورت $\Delta A_{290} \text{ min}^{-1} \cdot \text{Mg}^{-1} \text{ protein}$ گزارش شد.

اندازه‌گیری فعالیت پراکسیداز (POX): به‌منظور تعیین

مقدار فعالیت پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ نانومتر، از روش تغییر یافته Herzog و Fahimi (۱۹۷۳) استفاده شد. در نهایت فعالیت آنزیم به صورت $\Delta A_{470} \text{ min}^{-1} \cdot \text{Mg}^{-1} \text{ protein}$ بیان شد.

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک: اثر اصلی رژیم آبیاری، نیتروژن، ژنوتیپ و اثر متقابل رژیم آبیاری × نیتروژن، ژنوتیپ × رژیم آبیاری و ژنوتیپ × نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش ۴۳ درصدی عملکرد بیولوژیک در مقایسه با آبیاری نرمال شد (جدول ۳). با کاربرد کود نیتروژن در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۳۳ و ۱۷٪ افزایش یافت (جدول ۴). Azizian و Sepaskhah (۲۰۱۴) نیز در

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری و نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده در ارقام سورگوم

منابع تغییرات		درجه آزادی	میانگین مربعات			
عملکرد بیولوژیک	سطح برگ بوته	ارتفاع	F_v/F_m	کلروفیل a	کلروفیل b	
بلوک (ب)	۲	۰/۱۲۲**	۲۲۰۵۵۳/۵۷*	۵۲۶/۶۰**	۰/۰۰۳ ^{ns}	
آبیاری (آ)	۱	۲۴/۴۵۷**	۳۸۲۶۵۵۲۵/۵۲**	۱۱۸۸۸۸/۲۰**	۰/۵۲۹**	
خطای اصلی (آ×ب)	۲	۰/۰۰۷	۲۶۲۸۶/۷۹	۱۲۶/۸۱	۰/۰۰۲	
نیتروژن (ن)	۱	۴/۷۷۲**	۶۷۷۵۶۱۸/۵۲**	۱۲۹۳۷/۰۸**	۰/۱۹۰**	
آ×ن	۱	۱/۲۶۲**	۱۶۰۳۵۱۰/۴۳**	۱۸۶۸/۸۸**	۰/۰۱۹**	
خطای فرعی (ن×ب(آ))	۱	۰/۰۴۰	۵۰۱۷/۶۴	۳۴/۱۲	۰/۰۰۰۷	
ژنوتیپ (ژ)	۱۴	۲/۶۱۰**	۱۹۸۳۷۸۲/۸۹**	۲۴۹۶۸/۳۲**	۰/۰۰۶**	
ژ×آ	۱۴	۰/۱۶۹**	۱۳۱۰۲۸/۴۵**	۴۸۵/۵۵**	۰/۰۰۴**	
ژ×ن	۱۴	۰/۰۷۷**	۶۸۳۳۹/۷۹ ^{ns}	۱۹۰/۰۶*	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	
ژ×آ×ن	۱۴	۰/۰۱۲ ^{ns}	۸۳۹۷/۹۵ ^{ns}	۱۱/۷۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	
خطای فرعی فرعی	۱۱۲	۰/۰۲۵	۵۱۶۵۷/۹۳	۱۰۲/۴۱	۰/۰۰۱	

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات		درجه آزادی	میانگین مربعات			
کلروفیل (a+b)	کلروفیل a/b	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز		
بلوک (ب)	۲	۰/۰۷۰**	۰/۲۵۸ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	
آبیاری (آ)	۱	۰/۰۳۸**	۰/۵۰۷*	۱۱۶/۲۲۶**	۱۸۷/۱۰۸**	
خطای اصلی (آ×ب)	۲	۰/۰۰۲	۰/۱۲۰	۰/۰۵۳	۰/۰۰۶	
نیتروژن (ن)	۱	۱/۴۰۴**	۰/۰۷۳ ^{ns}	۰/۷۴۷**	۰/۸۰۲**	
آ×ن	۱	۰/۲۹۲**	۰/۰۲۰ ^{ns}	۰/۱۶۶*	۰/۱۸۱*	
خطای فرعی (ن×ب(آ))	۱	۰/۰۰۱	۰/۱۴۷	۰/۰۵۳	۰/۰۲۲	
ژنوتیپ (ژ)	۱۴	۰/۰۶۰**	۰/۳۰۰**	۰/۲۵۲**	۰/۲۴۴**	
ژ×آ	۱۴	۰/۰۰۹*	۰/۰۵۵ ^{ns}	۰/۱۷۶**	۰/۱۲۴**	
ژ×ن	۱۴	۰/۰۰۷*	۰/۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}	
ژ×آ×ن	۱۴	۰/۰۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	
خطای فرعی فرعی	۱۱۲	۰/۰۰۴	۰/۱۰۵	۰/۰۲۷	۰/۰۲۹	

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

رژیم آبیاری، نیتروژن، ژنوتیپ و برهمکنش رژیم آبیاری × نیتروژن و ژنوتیپ × رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). کوددهی نیتروژن نسبت به عدم‌کاربرد آن سبب افزایش ۲۷ و ۱۴ درصدی سطح برگ بوته به ترتیب در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی شد (جدول ۴). نیتروژن به دلیل افزایش توسعه و دوام سطح برگ باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده در ارقام سورگوم

عوامل آزمایش	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر مترمربع)	سطح برگ بوته (سانتی مترمربع)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	F_v/F_m	کلروفیل a (میلی-گرم بر گرم برگ تازه)	کلروفیل b (میلی-گرم بر گرم برگ تازه)
رژیم آبیاری						
نرمال	۱/۷۰۰ ^a	۲۴۱۹ ^a	۱۴۷/۱ ^a	۰/۷۱۳ ^{ad}	۰/۷۰۵ ^a	۰/۲۹۸ ^a
تنش خشکی	۰/۹۶۳ ^b	۱۴۹۷ ^b	۱۳۰/۲ ^b	۰/۶۰۵ ^b	۰/۴۵۲ ^b	۰/۱۸۴ ^b
کود نیتروژن						
صفر	۱/۱۶۹ ^b	۱۷۶۴ ^b	۱۳۰/۲ ^b	۰/۶۲۷ ^b	۰/۵۱۷ ^b	۰/۲۱۴ ^b
۱۱۲/۵	۱/۴۹۵ ^a	۲۱۵۲ ^a	۱۴۷/۱ ^a	۰/۶۹۲ ^a	۰/۶۴۰ ^a	۰/۲۶۹ ^a
ژنوتیپ						
پگاه	۲/۷۳۲ ^a	۲۷۳۵ ^a	۱۸۸/۹ ^b	۰/۶۳۲ ^{de}	۰/۵۰۴ ^g	۰/۲۳۱ ^{defg}
سپیده	۱/۰۲۶ ^{hi}	۱۶۹۱ ^f	۱۰۲/۰ ^{fg}	۰/۶۳۵ ^{de}	۰/۵۲۷ ^{fg}	۰/۲۲۵ ^{defg}
GS4	۱/۲۱۵ ^{ef}	۱۷۰۱ ^f	۱۲۱/۹ ^e	۰/۶۵۱ ^{bcde}	۰/۵۸۰ ^{cde}	۰/۲۳۲ ^{def}
GS5	۰/۹۱۱ ^{ij}	۱۴۴۲ ^g	۱۱۷/۱ ^e	۰/۶۴۱ ^{de}	۰/۵۴۳ ^{ef}	۰/۲۱۵ ^{efg}
GS24	۱/۹۲۸ ^b	۲۵۷۲ ^{ab}	۱۷۷/۲ ^c	۰/۶۶۱ ^{abcd}	۰/۵۷۷ ^{cde}	۰/۲۴۰ ^{cde}
GS25	۱/۰۶۱ ^{gh}	۱۵۸۱ ^{fg}	۱۰۰/۷ ^{fg}	۰/۶۹۱ ^a	۰/۵۹۸ ^{bcd}	۰/۲۶۳ ^{bc}
GS26	۱/۲۹۱ ^{def}	۱۹۹۵ ^e	۹۹/۰ ^g	۰/۶۷۸ ^a	۰/۵۱۰ ^{fd}	۰/۲۰۵ ^g
GS28	۱/۳۰۷ ^{de}	۲۰۵۰ ^e	۱۴۰/۲ ^d	۰/۶۴۰ ^{cde}	۰/۵۶۷ ^{de}	۰/۲۳۲ ^{def}
KGS29	۰/۸۶۵ ^j	۱۴۴۵ ^g	۱۰۸/۴ ^f	۰/۶۴۹ ^{bcde}	۰/۵۴۷ ^{ef}	۰/۲۱۲ ^{fg}
KGS33	۱/۱۷۶ ^{fg}	۱۶۶۸ ^f	۱۰۲/۳ ^{fg}	۰/۶۷۰ ^{abc}	۰/۶۰۹ ^{bc}	۰/۲۶۱ ^{bc}
MGS1	۱/۰۶۶ ^{gh}	۱۶۸۴ ^f	۱۰۴/۱ ^{fg}	۰/۶۲۳ ^e	۰/۵۸۰ ^{cde}	۰/۲۴۸ ^{cd}
MGS5	۱/۳۹۱ ^{dc}	۲۱۱۱ ^{de}	۹۷/۴ ^g	۰/۶۷۸ ^a	۰/۶۵۵ ^a	۰/۲۷۶ ^{ab}
SF001	۱/۵۱۳ ^c	۲۲۸۵ ^{cd}	۲۲۰/۸ ^a	۰/۶۷۲ ^{ab}	۰/۶۵۱ ^a	۰/۳۰۲ ^a
SF002	۱/۳۰۶ ^{de}	۲۴۳۳ ^{bc}	۲۱۸/۰ ^a	۰/۶۶۵ ^{abc}	۰/۶۲۸ ^{ab}	۰/۲۶۰ ^{bc}
SF003	۱/۱۸۹ ^{efg}	۱۹۷۷ ^e	۱۸۱/۷ ^b	۰/۶۸۶ ^a	۰/۶۰۱ ^{bcd}	۰/۲۱۵ ^{efg}

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

سطح برگ تعیین‌کننده فعالیت فتوسنتزی است و برای تولید زیست‌توده و عملکرد دانه، بسیار مهم است (Rosenthal and Vanderlip, 2004). تنش خشکی از طریق تغییر در اندازه و تعداد برگ می‌تواند سطح برگ گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Khan et al., 2001). در مطالعه Borrell و همکاران (۲۰۰۰) نیز تنش خشکی از طریق کاهش اندازه برگ موجب کاهش سطح برگ ارقام سورگوم شد. Khan و همکاران (۲۰۰۱) نیز کاهش سطح برگ ذرت در نتیجه تنش خشکی را گزارش

(Valadabadi and Farahani, 2010). Moosavi (۲۰۱۲) نیز گزارش کرد که با افزایش مقدار کود نیتروژن (۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) تحت شرایط تنش خشکی، سطح برگ ذرت افزایش یافت. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ بوته در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم شد و ژنوتیپ‌های MGS5 و KGS29 به ترتیب با ۲۴ و ۵۰٪ کاهش ناشی از تنش کم‌آبی، متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ بودند (جدول ۳ و ۵).

ادامه جدول ۳-

عوامل آزمایش	کلروفیل (a+b) (میلی‌گرم بر گرم برگ تازه)	کلروفیل a/b	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز (میکرومول هیدروژن پراکسید بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)
رژیم آبیاری					
نرمال	۱/۰۰۳ ^a	۲/۵۰ ^a	۰/۶۴۶ ^b	۰/۳۷۹ ^b	۰/۸۶۲ ^b
تنش خشکی	۰/۶۳۷ ^b	۲/۳۹ ^b	۲/۲۵۳ ^a	۰/۷۱۳ ^a	۲/۹۰۱ ^a
کود نیتروژن					
صفر	۰/۷۳۱ ^b	۲/۴۲ ^a	۱/۳۸۵ ^b	۰/۵۰۷ ^b	۱/۸۱۵ ^b
۱۱۲/۵	۰/۹۰۸ ^a	۲/۴۶ ^a	۱/۵۱۴ ^a	۰/۵۸۴ ^a	۱/۹۴۸ ^a
ژنوتیپ					
پگاه	۰/۷۳۶ ⁱ	۲/۲۰ ^{de}	۱/۵۵۷ ^{bc}	۰/۴۴۱ ^{def}	۱/۸۸۱ ^{de}
سپیده	۰/۷۴۹ ^{hi}	۲/۴۱ ^{bcde}	۱/۲۶۲ ^f	۰/۵۵۰ ^c	۱/۷۷۸ ^e
GS4	۰/۸۱۲ ^{efg}	۲/۵۱ ^{bc}	۱/۳۷۹ ^{def}	۰/۳۹۸ ^{fg}	۱/۷۶۷ ^e
GS5	۰/۷۵۹ ^{ghi}	۲/۵۵ ^{abc}	۱/۲۷۸ ^f	۰/۳۶۵ ^g	۱/۷۹۴ ^{de}
GS24	۰/۸۱۸ ^{def}	۲/۴۳ ^{bcde}	۱/۴۵۰ ^{cde}	۰/۵۰۰ ^{cd}	۱/۸۱۰ ^{de}
GS25	۰/۸۶۱ ^{cde}	۲/۳۱ ^{cde}	۱/۴۵۲ ^{cde}	۰/۵۳۱ ^c	۱/۸۱۴ ^{de}
GS26	۰/۷۱۶ ⁱ	۲/۵۲ ^{bc}	۱/۳۲۶ ^{ef}	۰/۴۷۰ ^{de}	۱/۷۸۹ ^e
GS28	۰/۷۹۹ ^{fgh}	۲/۴۹ ^{bc}	۱/۴۹۶ ^{bcd}	۰/۶۶۹ ^b	۱/۸۸۰ ^{de}
KGS29	۰/۷۵۹ ^{ghi}	۲/۶۳ ^{ab}	۱/۳۷۰ ^{def}	۰/۶۵۴ ^b	۱/۷۴۹ ^e
KGS33	۰/۸۷۰ ^{cd}	۲/۳۹ ^{bcde}	۱/۴۱۸ ^{de}	۰/۵۴۷ ^c	۱/۸۳۳ ^{de}
MGS1	۰/۸۲۸ ^{def}	۲/۳۵ ^{cde}	۱/۲۵۴ ^f	۰/۴۲۵ ^{efg}	۱/۷۹۵ ^{de}
MGS5	۰/۹۳۱ ^{ab}	۲/۴۳ ^{bcde}	۱/۷۰۱ ^a	۰/۶۱۱ ^b	۲/۲۱۳ ^a
SF001	۰/۹۴۵ ^a	۲/۱۷ ^e	۱/۶۱۰ ^{ab}	۰/۶۳۹ ^b	۲/۱۴۷ ^{ab}
SF002	۰/۸۸۹ ^{bc}	۲/۴۵ ^{bcd}	۱/۶۹۳ ^a	۰/۷۴۰ ^a	۲/۰۴۲ ^{bc}
SF003	۰/۸۱۶ ^{def}	۲/۸۰ ^a	۱/۴۹۷ ^{bcd}	۰/۶۴۶ ^b	۱/۹۳۰ ^{cd}

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

ژنوتیپ‌های GS4، GS26، GS29 و KGS29 به‌ترتیب با ۳۹، ۳۸، ۳۷ و ۳۵٪، شد (جدول ۵). کاهش در ارتفاع بوته می‌تواند به کاهش در آماس سلولی رشد و تعداد سلول‌های ساقه، در گیاه تحت تنش خشکی نسبت داده شود (Khan et al., 2001). در آزمایش احمدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) نیز ارتفاع بوته‌های سورگوم تحت شرایط تنش شدید خشکی، ۴۱٪ کاهش یافت. علاوه بر این، حیدری و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که بین ژنوتیپ‌های سورگوم در پاسخ به تنش خشکی تفاوت

کردند. **ارتفاع بوته:** اثر اصلی عوامل آزمایشی و اثر متقابل رژیم آبیاری × نیتروژن، ژنوتیپ × رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ژنوتیپ × نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). با کاربرد کود نیتروژن، ارتفاع بوته ۱۵ درصد در شرایط آبیاری نرمال و ۹ درصد در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (جدول ۴). تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر صفات مختلف

F _v /F _m	ارتفاع (سانتی متر)	سطح برگ بوته (سانتی متر مربع)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر متر مربع)	عوامل آزمایش	
				رژیم آبیاری	کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
۰/۶۷۰ ^b	۱۵۲/۶۸ ^b	۲۱۳۱ ^b	۱/۴۵۴ ^b	صفر	نرمال
۰/۷۵۶ ^a	۱۷۶/۰۸ ^a	۲۷۰۷ ^a	۱/۹۴۷ ^a	۱۱۲/۵	
۰/۵۸۳ ^d	۱۰۷/۷۳ ^d	۱۳۹۷ ^d	۰/۸۸۴ ^d	صفر	تنش خشکی
۰/۶۲۷ ^c	۱۱۸/۲۴ ^c	۱۵۹۷ ^c	۱/۰۴۲ ^c	۱۱۲/۵	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

ادامه جدول ۴-

پراکسیداز	کاتالاز	کلروفیل (a+b)	کلروفیل b	کلروفیل a	عوامل آزمایش	
					رژیم آبیاری	کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
(میکرومول هیدروژن پراکسید بر میلی-گرم پروتئین در دقیقه)	۰/۶۱۲ ^c	۰/۸۷۴ ^b	۰/۲۵۸ ^b	۰/۶۱۶ ^b	صفر	نرمال
					۱۱۲/۵	
۲/۸۰۲ ^b	۲/۱۵۸ ^b	۰/۵۸۹ ^d	۰/۱۷۰ ^d	۰/۴۱۸ ^d	صفر	تنش خشکی
					۱۱۲/۵	
۳/۰۰۰ ^a	۲/۳۴۸ ^a	۰/۶۸۵ ^c	۰/۱۹۸ ^c	۰/۴۸۶ ^c		

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

فتوسیستم II بسیار معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد نیتروژن به ترتیب منجر به افزایش ۱۲ و ۷ درصد کارایی کوانتومی فتوسیستم II در رژیم آبیاری نرمال و تنش خشکی شد (جدول ۴).

تنش خشکی در ژنوتیپ‌های MGS1 و SF003 به ترتیب با ۲۵ و ۶٪، موجب بیشترین و کمترین کاهش در کارایی کوانتومی فتوسیستم II گردید (جدول ۵). بیشترین کارایی کوانتومی فتوسیستم II در ژنوتیپ GS26 و آبیاری نرمال (۰/۷۵۴) و کمترین مقدار آن در ژنوتیپ SF003 تنش خشکی (۰/۶۶۳) مشاهده شد (جدول ۵). فلورسانس کلروفیل با راندامان فتوسنتزی گیاه ارتباط داشته و به طور غیرمستقیم امکان ارزیابی کارکرد کوانتومی فتوسیستم II در گیاه را تحت شرایط مختلف محیطی فراهم می‌کند (Li et al., 2006). از این رو،

معنی‌داری از نظر ارتفاع وجود داشت به طوری که بیشترین کاهش مربوط به ژنوتیپ KS4 بود.

ارتفاع بوته در اثر کاربرد کود نیتروژن نسبت به عدم کاربرد آن به طور معنی‌داری افزایش یافت ولی میزان این افزایش در ژنوتیپ‌ها یکسان نبود به طوری که ژنوتیپ MGS5 با ۱۷ درصد، بیشترین افزایش را داشت (جدول ۳ و ۶). Uchino و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان کردند که با مصرف ۹۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به سایر تیمارها (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، بیشترین ارتفاع بوته در گیاه سورگوم شیرین مشاهده شد.

حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II: اثر اصلی رژیم آبیاری، نیتروژن، ژنوتیپ و برهمکنش رژیم آبیاری × نیتروژن و ژنوتیپ × رژیم آبیاری بر حداکثر کارایی کوانتومی

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر صفات مختلف

F _v /F _m	ارتفاع (سانتی‌متر)	سطح برگ بوته (سانتی‌متر مربع)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر مترمربع)	عوامل آزمایش	
				ژنوتیپ	رژیم آبیاری
۰/۶۹۱ cde	۲۲۳/۱ b	۳۳۰/۶ a	۳/۴۳۸ a	پگاه	نرمال
۰/۶۹۴ cde	۱۲۳/۳ hij	۲۱۸۸ efg	۱/۳۰۱ ijk	سپیده	
۰/۷۰۷ bc	۱۴۸/۶ ef	۲۲۱۹ ef	۱/۵۶۰ efg	GS4	
۰/۷۱۹ abc	۱۴۶/۰ ef	۱۸۹۲ i	۱/۲۸۵ ijk	GS5	
۰/۷۰۷ bcd	۲۱۲/۸ b	۳۱۵۴ a	۲/۴۱۷ b	GS24	
۰/۷۳۴ ab	۱۱۹/۳ ij	۱۹۴۱ ghi	۱/۷۰۹ ed	GS25	
۰/۷۵۴ a	۱۲۲/۸ hij	۲۶۳۴ bc	۱/۳۴۱ hij	GS26	
۰/۷۰۸ bc	۱۶۲/۰ d	۲۵۶۷ bcd	۱/۷۱۰ de	GS28	
۰/۷۲۱ abc	۱۳۳/۵ gh	۱۹۳۱ ghi	۱/۱۸۵ jkl	KGS29	
۰/۷۱۲ abc	۱۱۹/۳ ij	۲۰۰۷ fghj	۱/۴۰۹ ghi	KGS33	
۰/۷۱۳ abc	۱۲۶/۱ hi	۲۲۳۴ ef	۱/۵۱۶ fgh	MGS1	
۰/۷۲۱ abc	۱۱۳/۱ j	۲۴۰۷ cde	۱/۷۱۲ de	MGS5	
۰/۷۰۶ bcd	۲۵۲/۰ a	۲۶۴۷ bc	۱/۸۸۳ cd	SF001	
۰/۷۰۴ bcd	۲۵۰/۳ a	۲۷۹۳ b	۱/۵۹۵ ef	SF002	
۰/۷۰۹ bc	۲۱۳/۱ b	۲۳۶۴ de	۱/۴۴۵ fghi	SF003	
۰/۵۷۲ ijk	۱۵۴/۶ de	۲۱۶۴ efg	۲/۰۲۶ c	پگاه	تنش خشکی
۰/۵۷۶ ij	۸۰/۶ lm	۱۱۹۳ mno	۰/۷۵۱ pq	سپیده	
۰/۵۹۴ hij	۹۵/۱ k	۱۱۸۴ mno	۰/۸۷۱ nop	GS4	
۰/۵۶۴ ijk	۸۸/۳ kl	۹۹۲ no	۰/۵۳۶ r	GS5	
۰/۶۱۵ ghi	۱۴۱/۶ fg	۱۹۸۹/۵ fghi	۱/۴۳۹ fghi	GS24	
۰/۶۴۴ fg	۸۲/۱ lm	۱۲۲۱ mn	۰/۷۸۱ opq	GS25	
۰/۶۲۱ fgh	۷۵/۵ m	۱۳۵۵ klm	۰/۸۷۲ nop	GS26	
۰/۵۷۳ ijk	۱۱۸/۵ ij	۱۵۳۳ kl	۰/۹۰۵ mnop	GS28	
۰/۵۷۷ ij	۸۳/۳ lm	۹۵۹ o	۰/۵۴۵ r	KGS29	
۰/۶۲۷ fgh	۸۵/۳ klm	۱۳۲۹ lm	۰/۹۴۳ mno	KGS33	
۰/۵۳۲ ijk	۸۲/۱ lm	۱۱۳۳ mno	۰/۶۱۶ qr	MGS1	
۰/۶۵۳ efg	۸۱/۶ lm	۱۸۱۴ ij	۱/۰۷۱ lm	MGS5	
۰/۶۳۸ fg	۱۸۹/۶ c	۱۹۲۳ hi	۱/۱۴۳ kl	SF001	
۰/۶۲۷ fgh	۱۸۵/۶ c	۲۰۷۳ fghi	۱/۰۱۶ lmn	SF002	
۰/۶۶۳ def	۱۵۰/۳ ef	۱۵۹۱ jk	۰/۹۳۳ mno	SF003	

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

ادامه جدول ۵-

پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	کلروفیل (a+b)	کلروفیل a	عوامل آزمایش	
(میکرومول هیدروژن پراکسید بر میلی-گرم پروتئین در دقیقه)			(میلی-گرم بر گرم برگ تازه)		ژنوتیپ	رژیم آبیاری
۰/۸۸۱ ^e	۰/۲۹۵ ^{op}	۰/۶۷۵ ^j	۰/۹۰۲ ^g	۰/۶۱۶ ^g	پگاه	نرمال
۰/۸۳۶ ^e	۰/۳۸۰ ^{ijklmn}	۰/۵۹۶ ^j	۰/۹۲۱ ^{fg}	۰/۶۵۰ ^{efg}	سپیده	
۰/۸۱۶ ^e	۰/۳۰۱ ^{nop}	۰/۶۳۸ ^j	۱/۰۰۷ ^{bcd}	۰/۷۲۲ ^{abcd}	GS4	
۰/۸۴۰ ^e	۰/۲۷۱ ^p	۰/۶۲۳ ^j	۰/۹۵۰ ^{efg}	۰/۶۷۳ ^{def}	GS5	
۰/۸۴۵ ^e	۰/۳۵۱ ^{lmnop}	۰/۶۲۰ ^j	۰/۹۹۷ ^{cde}	۰/۷۰۲ ^{bcd}	GS24	
۰/۸۵۵ ^e	۰/۳۹۸ ^{ijkl}	۰/۶۴۵ ^j	۱/۰۵۰ ^{abc}	۰/۷۲۱ ^{abcd}	GS25	
۰/۸۱۶ ^e	۰/۳۶۰ ^{lmno}	۰/۶۳۱ ^j	۰/۹۰۹ ^g	۰/۶۴۵ ^{fg}	GS26	
۰/۸۸۰ ^e	۰/۴۴۶ ^{ijk}	۰/۶۶۳ ^j	۰/۹۸۸ ^{cdef}	۰/۶۹۴ ^{cdef}	GS28	
۰/۸۸۰ ^e	۰/۴۸۸ ^{hi}	۰/۶۴۵ ^j	۰/۹۷۲ ^{defg}	۰/۶۹۷ ^{cdef}	KGS29	
۰/۹۵۳ ^e	۰/۳۶۶ ^{klmno}	۰/۶۱۱ ^j	۱/۰۵۳ ^{abc}	۰/۷۲۳ ^{abcd}	KGS33	
۰/۸۲۵ ^e	۰/۳۱۰ ^{mnop}	۰/۶۱۳ ^j	۱/۰۸۸ ^a	۰/۷۶۱ ^a	MGS1	
۰/۹۶۶ ^e	۰/۳۹۰ ^{ijklm}	۰/۷۰۳ ^j	۱/۰۸۱ ^{ab}	۰/۷۵۳ ^{ab}	MGS5	
۰/۹۴۶ ^e	۰/۴۰۱ ^{ijkl}	۰/۷۰۶ ^j	۱/۱۰۸ ^a	۰/۷۵۶ ^a	SF001	
۰/۸۵۶ ^e	۰/۵۰۳ ^{ghi}	۰/۶۴۳ ^j	۱/۰۴۵ ^{abcd}	۰/۷۴۱ ^{abc}	SF002	
۰/۹۱۵ ^e	۰/۴۲۳ ^{ijkl}	۰/۶۸۰ ^j	۰/۹۷۱ ^{defg}	۰/۷۱۷ ^{abcd}	SF003	
۲/۸۸۰ ^{cd}	۰/۵۸۸ ^{def}	۲/۴۴۰ ^{cd}	۰/۵۷۰ ^{lmn}	۰/۳۹۳ ^{no}	پگاه	تنش خشکی
۲/۷۲۰ ^d	۰/۷۲۱ ^c	۱/۹۲۸ ^{hi}	۰/۵۷۷ ^{lmn}	۰/۴۰۴ ^{mno}	سپیده	
۲/۷۱۸ ^d	۰/۴۹۵ ^{hi}	۲/۱۲۰ ^{fg}	۰/۶۱۷ ^{ijklm}	۰/۴۳۸ ^{lmn}	GS4	
۲/۷۴۸ ^d	۰/۴۶۰ ^{hij}	۱/۹۳۳ ^{ghi}	۰/۵۶۷ ^{lmn}	۰/۴۱۴ ^{mno}	GS5	
۲/۷۷۶ ^{cd}	۰/۶۴۸ ^{cde}	۲/۲۸۱ ^{def}	۰/۶۳۸ ^{ijkl}	۰/۴۵۲ ^{klm}	GS24	
۲/۷۷۳ ^{cd}	۰/۵۸۰ ^{efg}	۲/۲۶۰ ^{def}	۰/۶۷۲ ^{ijk}	۰/۴۷۵ ^{jkl}	GS25	
۲/۷۶۱ ^{cd}	۰/۶۶۵ ^{cd}	۲/۰۲۱ ^{ghi}	۰/۵۲۲ ⁿ	۰/۳۷۶ ^o	GS26	
۲/۸۸۰ ^{cd}	۰/۸۹۱ ^b	۲/۳۳۰ ^{cde}	۰/۶۱۰ ^{klm}	۰/۴۴۰ ^{lmn}	GS28	
۲/۶۹۸ ^d	۰/۸۲۰ ^b	۲/۰۹۵ ^{fgh}	۰/۵۴۶ ^{mn}	۰/۳۹۷ ^{no}	KGS29	
۲/۸۱۳ ^{cd}	۰/۷۲۸ ^c	۲/۲۲۵ ^{ef}	۰/۶۸۷ ^{ij}	۰/۴۹۵ ^{ijk}	KGS33	
۲/۷۶۶ ^{cd}	۰/۵۴۰ ^{fgh}	۱/۸۹۵ ^{hi}	۰/۵۶۸ ^{lmn}	۰/۳۹۹ ^{no}	MGS1	
۳/۴۶۰ ^a	۰/۸۳۳ ^b	۲/۷۰۰ ^{ab}	۰/۷۸۲ ^h	۰/۵۵۷ ^h	MGS5	
۳/۳۴۸ ^{ab}	۰/۸۷۶ ^b	۲/۵۱۵ ^{bc}	۰/۸۰۰ ^h	۰/۵۴۷ ^{hi}	SF001	
۳/۲۲۸ ^b	۰/۹۷۸ ^a	۲/۷۴۳ ^a	۰/۷۳۲ ^{hi}	۰/۵۱۶ ^{hij}	SF002	
۲/۹۴۶ ^c	۰/۸۶۸ ^b	۲/۳۱۵ ^{de}	۰/۶۶۲ ^{ijkl}	۰/۴۸۶ ^{jkl}	SF003	

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

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل کود نیتروژن و ژنوتیپ بر صفات مختلف

کلروفیل (a+b) (میلی گرم بر گرم برگ تازه)	ارتفاع (سانتی متر)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر مترمربع)	عوامل آزمایش	
			ژنوتیپ	کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
۰/۶۵۳۲ ⁿ	۱۷۶/۳ ^{ef}	۲/۳۷۶ ^b	پگاه	صفر
۰/۶۷۲ ⁿ	۹۶/۸ ^{nop}	۰/۹۱۸ ^{qrs}	سپیده	
۰/۷۴۸ ^{ijklm}	۱۱۶/۸ ^{ijk}	۱/۰۹۹ ^{lmnopq}	GS4	
۰/۶۹۲ ^{mn}	۱۱۰/۱ ^{klm}	۰/۸۳۳ ^{rs}	GS5	
۰/۷۱۸ ^{klmn}	۱۶۷/۰ ^f	۱/۶۶۹ ^{de}	GS24	
۰/۷۷۶ ^{ijk}	۹۵/۵ ^{op}	۰/۹۵۱ ^{pqrs}	GS25	
۰/۶۶۳ ⁿ	۹۴/۸ ^{op}	۱/۱۶۷ ^{ijklmn}	GS26	
۰/۷۱۲ ^{klmn}	۱۲۹/۸ ^h	۱/۱۵۰ ^{klmno}	GS28	
۰/۶۹۵ ^{lmn}	۱۰۴/۱ ^{lmno}	۰/۷۸۶ ^s	KGS29	
۰/۷۶۹ ^{ijkl}	۹۴/۶ ^{op}	۱/۰۴۲ ^{mnpq}	KGS33	
۰/۷۶۱ ^{ijklm}	۹۹/۵ ^{mnpq}	۰/۹۸۲ ^{opqr}	MGS1	
۰/۸۰۲ ^{hij}	۸۹/۶ ^p	۱/۱۶۱ ^{ijklmno}	MGS5	
۰/۸۱۳ ^{ghij}	۲۰۶/۸ ^b	۱/۲۶۴ ^{ijkl}	SF001	
۰/۷۷۱ ^{ijk}	۲۰۱/۱ ^{bc}	۱/۱۰۲ ^{lmnop}	SF002	
۰/۷۲۵ ^{klmn}	۱۶۹/۸ ^f	۱/۰۳۹ ^{mnpq}	SF003	
۰/۸۱۹ ^{ghij}	۲۰۱/۵ ^{bc}	۳/۰۸۸ ^a	پگاه	۱۱۲/۵
۰/۸۲۶ ^{fghi}	۱۰۷/۱ ^{klmn}	۱/۱۳۴ ^{klmno}	سپیده	
۰/۸۷۶ ^{efgh}	۱۲۷/۰ ^{hi}	۱/۳۳۵ ^{ghij}	GS4	
۰/۸۲۵ ^{fghi}	۱۲۴/۱ ^{hij}	۰/۹۸۸ ^{nopqr}	GS5	
۰/۹۱۷ ^{de}	۱۸۷/۵ ^{de}	۲/۱۸۷ ^c	GS24	
۰/۹۴۷ ^{cde}	۱۰۶/۰ ^{klmno}	۱/۴۱۵ ^{ghi}	GS25	
۰/۷۶۹ ^{ijkl}	۱۰۳/۵ ^{lmno}	۱/۱۷۱ ^{ijklm}	GS26	
۰/۸۸۶ ^{efg}	۱۵۰/۶ ^g	۱/۴۶۴ ^{fgh}	GS28	
۰/۸۲۳ ^{fghi}	۱۱۲/۶ ^{ijkl}	۰/۹۴۳ ^{pqrs}	KGS29	
۰/۹۷۱ ^{cd}	۱۱۰/۰ ^{klm}	۱/۳۱۰ ^{hijk}	KGS33	
۰/۸۹۵ ^{def}	۱۰۸/۸ ^{klm}	۱/۱۵۰ ^{klmno}	MGS1	
۱/۰۶۱ ^{ab}	۱۰۵/۱ ^{lmno}	۱/۶۲۲ ^{def}	MGS5	
۱/۰۹۵ ^a	۲۳۴/۸ ^a	۱/۷۶۲ ^d	SF001	
۱/۰۰۶ ^{bc}	۲۳۴/۸ ^a	۱/۵۰۹ ^{efg}	SF002	
۰/۹۰۷ ^{de}	۱۹۳/۶ ^{cd}	۱/۳۴۰ ^{ghij}	SF003	

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

کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی به عنوان یک علامت تنش اکسیداتیو مورد توجه قرار گرفته که طی آن اکسیداسیون نوری رنگدانه و تجزیه کلروفیل صورت می‌گیرد (Anjum et al., 2011). در بین ژنوتیپ‌های سورگوم، SF001 در هر دو شرایط آبیاری نرمال و کمبود آبیاری دارای بالاترین محتوای کلروفیل a و کل بود (جدول ۵).

محتوای کلروفیل a، b و کل در شرایط کاربرد کود نیتروژن نسبت به عدم کاربرد آن به ترتیب ۲۳، ۲۵ و ۲۴ درصد افزایش یافت (جدول ۳). این نتایج تأثیر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر محتوای کلروفیل را نشان می‌دهد. نیتروژن عنصر مهمی در ساختار کلروفیل است. کاهش رطوبت موجود در خاک توأم با کاهش جذب نیتروژن، منجر به مضاعف شدن تأثیر منفی آن بر میزان کلروفیل می‌شود. بنابراین با مصرف کود نیتروژن تا حدودی می‌توان از خسارت‌های ناشی از تنش خشکی جلوگیری کرد (Osborne et al., 2002). منصورفر و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش کردند که کاهش مقدار نیتروژن موجود در خاک منجر به کاهش میزان کلروفیل در برگ‌های ذرت گردید.

در این آزمایش، ژنوتیپ SF001 در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کود نیتروژن دارای بالاترین محتوای کلروفیل کل بود (جدول ۶). همچنین این ژنوتیپ با ۳۳٪ افزایش، بیشترین حساسیت را نسبت به کود نیتروژن داشت (جدول ۶). کرامت (۱۳۹۴) گزارش کرد که بیشترین و کمترین غلظت کلروفیل کل (a+b) با کاربرد نیتروژن به فرم ورمی کمپوست و نترات آمونیوم به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۴ و ۲۸ بود.

نسبت کلروفیل a/b: اثر اصلی رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش ۴ درصدی این نسبت شد (جدول ۳). کاهش نسبت کلروفیل a/b می‌تواند به دلیل افزایش کلروفیل b در شرایط تنش خشکی به عنوان یک مکانیسم دفاع احتمالی باشد. همچنین، اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر نسبت کلروفیل a/b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و ژنوتیپ SF003 دارای بیشترین نسبت کلروفیل a/b بود (جدول ۲).

تجزیه و تحلیل پارامترهای فلورسانس کلروفیل (مانند F_v/F_m) برای ارزیابی کارکرد مطلوب فرآیند فتوسنتز در برگ مهم بوده و تکنیکی با سرعت بالا برای تشخیص تحمل گیاهان به تنش خشکی ارائه می‌دهد (Li et al., 2006; Percival and Sheriffs, 2002). در مطالعه‌ای بر روی ذرت نیز اعمال تنش خشکی در مرحله رویشی و زایشی منجر به کاهش کارایی کوانتومی فتوسیستم II شد (منصورفر و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر این، Paknejad و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که تنش خشکی، فلورسانس متغیر (F_v) و F_v/F_m ارقام گندم را کاهش داد.

محتوای کلروفیل: محتوای کلروفیل a، b و کل (a+b) به طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری، نیتروژن، ژنوتیپ و برهمکنش رژیم آبیاری × نیتروژن قرار گرفتند (جدول ۲). همچنین، برهمکنش ژنوتیپ × نیتروژن بر محتوای کلروفیل کل و برهمکنش ژنوتیپ × رژیم آبیاری بر محتوای کلروفیل a و کل معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوای کلروفیل a، b و کل در شرایط آبیاری نرمال با کاربرد کود نیتروژن به ترتیب ۲۸، ۳۱ و ۲۹٪ افزایش یافتند، در حالی که در اثر تنش خشکی به ترتیب ۱۵، ۱۶ و ۱۵٪ افزایش نشان دادند (جدول ۴). Schlemmer و همکاران (۲۰۰۵) نیز تأثیر سطوح مختلف نیتروژن را در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بر میزان کلروفیل ذرت بررسی کردند و نتایج نشان داد که با افزایش میزان نیتروژن محتوای کلروفیل برگ در شرایط نرمال افزایش یافت ولی در شرایط تنش خشکی تأثیر نیتروژن کمتر بود. علاوه بر این، Pandey و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که کاهش محتوای کلروفیل ذرت در پاسخ به کمبود آبیاری در تیمار عدم نیتروژن نسبت به تیمارهای ۱۲۰ یا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود.

به طور کلی محتوای کلروفیل a، b و کل در اثر تنش خشکی به ترتیب ۳۵، ۳۸ و ۳۶ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت (جدول ۳). ریاحی‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) نیز بیان کردند که غلظت کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۲۸ و ۳۳ درصد کاهش یافت. کلروفیل یکی از اجزای عمده کلروپلاست و دارای رابطه مثبت با میزان فتوسنتز است.

و پراکسیداز در ژنوتیپ SF002 شد (جدول ۵). در مطالعه دیگری نیز فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در شرایط تنش آبی در هر دو ژنوتیپ متحمل و حساس ذرت افزایش یافت (Moussa and Abdel-Aziz, 2008).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج، تنش خشکی سبب کاهش عملکرد بیولوژیک، سطح برگ بوته، نسبت F_v/F_m ، ارتفاع بوته و محتوای کلروفیل شد ولی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد. کاربرد کود نیتروژن سبب افزایش معنی‌داری در تمام صفات مورد مطالعه بجز نسبت کلروفیل a/b ، شد. همچنین، کاربرد کود نیتروژن در رژیم آبیاری نرمال و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مذکور داشت. بنابراین کاربرد کود نیتروژن در شرایط تنش خشکی، استراتژی مناسبی برای جبران کاهش عملکرد است. به‌طور کلی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تحت تنش خشکی، ژنوتیپ‌های SF001، SF002، SF003، KGS33 و MGS5 از نظر عملکرد و اجزای عملکرد کمترین کاهش و تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی داشتند. در مقابل ژنوتیپ‌های GS5، GS25، GS26، MGS1 و KGS29 تحت شرایط تنش خشکی، بیشترین کاهش را از نظر عملکرد و اجزای عملکرد نشان دادند. همچنین ژنوتیپ‌های SF001، SF002 و MGS5 از نظر کل صفات مورد بررسی بیشترین واکنش به کود نیتروژن را داشتند.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: اثر اصلی عوامل آزمایشی و اثر متقابل ژنوتیپ × رژیم آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز) معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین برهمکنش رژیم آبیاری × نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۲). فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز با کاربرد کود نیتروژن به ترتیب ۹، ۱۵ و ۷ درصد افزایش یافت (جدول ۳). همچنین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در شرایط آبیاری نرمال با کاربرد کود نیتروژن به ترتیب ۱۱ و ۸٪ افزایش یافتند و در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۸ و ۷٪ افزایش نشان دادند (جدول ۴). در آزمایش کرامت (۱۳۹۴) فعالیت آنزیم کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز با کاربرد نیتروژن به فرم ورمی‌کمپوست و نترات آمونیوم افزایش یافت. همچنین، Huang و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که در اثر کمبود نیتروژن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (CAT، POD و SOD) کاهش یافت.

به‌طور کلی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز در اثر تنش خشکی به ترتیب ۴۸۲، ۸۸ و ۲۳۶٪ افزایش یافتند (جدول ۳). تنش خشکی با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) باعث تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. بنابراین آنتی‌اکسیدان‌ها یک سیستم دفاعی در گیاهان برای جلوگیری از آسیب‌های اکسیژن فعال، در نتیجه تضمین عملکرد طبیعی سلول هستند (Anjum et al., 2011). تنش خشکی به ترتیب سبب افزایش ۳۲۶ و ۲۷۶ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز

منابع

- آذری نصرآباد، ع.، موسوی‌نیک، س. م.، گلوی، م.، سیروس‌مهر، ع. ر.، و بهشتی، س. ع. ر. (۱۳۹۵) اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد، پایداری غشای سلول و محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های سورگم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench). مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۹: ۲۲۸-۲۱۷.
- احمدی‌زاده، ا.، خواجویی‌نژاد، غ. ر. و عبدالشاهی، ر. ا. (۱۳۹۶) تأثیر سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد ارقام سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. تحقیقات غلات ۷: ۶۰۳-۵۹۱.
- حیدری، ی.، معاونی، پ. و بدرقه، ع. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم علوفه‌ای. نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران ۹: ۱۳۶-۱۲۸.

- ریاحی‌نیا، ش.، خزاعی، ح. ر.، کافی، م. و نظامی، ا. (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی و سطوح مختلف نیتروژن خاک بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی ارقام سورگوم دانه‌ای در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۴: ۷۰-۶۱.
- سپهری، ع.، مدرس ثانوی، ع. م.، قره یاضی ب. و یمینی، ی. (۱۳۸۱) تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays L.*). مجله علوم زراعی ایران ۴: ۲۰۱-۱۸۴.
- علیزاده اقیانوس، پ.، آذری، آ. و سلیمی، م. (۱۳۸۸) بررسی واکنش عملکرد دانه لاین‌ها و هیبریدهای ذرت به اثر متقابل تنش رطوبتی و مقادیر کود نیتروژن. اولین همایش ملی تنش‌های محیطی در علوم کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
- فولادمند، ح. ر.، نیازی، ج. ا.، کشاورزی شیرازی، ه. و جوکار، ل. (۱۳۸۵) اثر متقابل مقادیر مختلف آبیاری و ازت بر عملکرد گندم. مجله علمی- پژوهشی علوم کشاورزی ۱۲: ۷۷۹-۷۸۶.
- کرامت، ص. (۱۳۹۴) پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم به شوری و نیتروژن در شرایط معمول و غنی شده دی‌اکسید کربن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- کوچکی، ع. ر. (۱۳۶۴) زراعت در مناطق خشک. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه مشهد.
- معاونی، پ. و حیدری، ی. (۱۳۸۳) تأثیر تراکم کاشت و دور آبیاری بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی در سورگوم علوفه‌ای. مجله علوم زراعی ایران ۶: ۳۸۲-۳۷۴.
- منصوری‌فر، س.، مدرس ثانوی، س. ع. م. و محمدی، خ. (۱۳۸۹) تأثیر تنش کم‌آبی و نیتروژن بر عملکرد دانه و متابولیت‌های سازگاری دو رقم ذرت هیبرید میان‌رس. مجله دانش آب و خاک ۲۰: ۲۹-۴۵.
- Aebi, H. E. (1983) Catalase. Methods of Enzymatic Analysis, 3rd Ed. Weinheim, Verlag Chemie.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. (2011) Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6: 2026-2032.
- Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology 55: 373-399.
- Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
- Askari, E. and Ehsanzadeh, P. (2015) Effectiveness of exogenous salicylic acid on root and shoot growth attributes, productivity, and water use efficiency of water-deprived fennel genotypes. Horticulture, Environment and Biotechnology 56: 687-696.
- Azizian, A. and Sepaskhah, A. R. (2014) Maize response to different water, salinity and nitrogen levels: Agronomic behavior. International Journal of Plant Production 8: 107-130.
- Beyaert, R. P. and Roy, R. C. (2005) Influence of nitrogen fertilization on multi-cut forage sorghum-sudangrass yield and nitrogen use. Agronomy Journal 97: 1493-1501.
- Borrell, A. K., Hammer, G. L. and Henzell, R. G. (2000) Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield. Crop Science 40: 1037-1048.
- Herzog, V. and Fahimi, H. D. (1973) A new sensitive colorimetric assay for peroxidase using 3, 3'-diaminobenzidine as hydrogen donor. Analytical Biochemistry 55: 554-562.
- Huang, Z. A., Jiang, D. A., Yang, Y., Sun, J. W. and Jin, S. H. (2004) Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzymes in leaves of rice plants. Photosynthetica 42: 357-364.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Jasim Al-Juburi, H., Somasundaram, R. A. and Panneerselvam, R. (2009) Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11: 100-105.
- Khan, M. B., Hussain, N. and Iqbal, M. (2001) Effect of water stress on growth and yield components of maize variety YHS 202. Journal of Research Science 12: 15-18.
- Li, R. H., Guo, P. G., Michael, B., Stefania, G. and Salvatore, C. (2006) Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. Agricultural Sciences in China 5: 751-757.
- Moosavi, S. G. (2012) The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer levels on morphology traits, yield and leaf area index in maize. Pakistan Journal of Botany 44: 1351-1355.
- Moussa, H. R. and Abdel-Aziz, S. M. (2008) Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. Australian Journal of Crop Science 1: 31-36.

- Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867-880.
- Nxele, X., Klein, A. and Ndimba, B. K. (2017) Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African Journal of Botany* 108: 261-266.
- Osborne, S. L., Schepers, J. S., Francis, D. D. and Schlemmer, M. R. (2002) Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen-and water-stressed corn. *Crop Science* 42: 165-171.
- Paknejad, F., Nasri, M., Moghadam, H. T., Zahedi, H. and Alahmadi, M. J. (2007) Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Sciences* 7: 841-847.
- Pandey, R. K., Maranville, J. W. and Chetima, M. M. (2000) Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment: II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agricultural Water Management* 46: 15-27.
- Percival, G. C. and Sheriffs, C. N. (2002) Identification of drought-tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence. *Journal of Arboriculture* 28: 215-223.
- Rosenthal, W. D. and Vanderlip, R. L. (2004) Simulation of individual leaf areas in grain sorghum. *Agronomie* 24: 493-501.
- Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F. and Schepers, J. S. (2005) Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal* 97: 106-112.
- Tari, I., Laskay, G., Takacs, Z. and Poor, P. (2013) Response of sorghum to abiotic stresses: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science* 199: 264-274.
- Thomas Robertson, M. J., Fukai, S. and Peoples, M. B. (2004) The effect of timing and severity of water deficit on growth, development, yield accumulation and nitrogen fixation of mungbean. *Field Crops Research* 86: 67-80.
- Uchino, H., Watanabe, T., Ramu, K., Sahrawat, K. L., Marimuthu, S., Wani, S. P. and Ito, O. (2013) Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the semi-arid tropical zone of India. *Japan Agricultural Research Quarterly* 47: 65-73.
- Valadabadi, S. A. and Farahani, H. A. (2010) Effects of planting density and pattern on physiological growth indices in maize (*Zea mays* L.) under nitrogenous fertilizer application. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development* 2: 40-47.

Effect of nitrogen on yield and some physiological characteristics of sorghum (*Sorghum sp.*) genotypes under drought stress

Marziyeh Asadi and Hamid Reza Eshghizadeh*

Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

(Received: 06/12/2019, Accepted: 12/02/2020)

Abstract

In order to investigate the effect of drought stress and nitrogen application on growth and some physiological characteristics of sorghum genotypes, an experiment was conducted in a split-split plot with randomized complete block design in three replications at research farm of collage of agriculture, Isfahan University of Technology. Experimental treatments consisted of two irrigation regimes (50% and 85% depletion of available soil water), two levels of nitrogen fertilizer (available rate, 121.5 kg ha⁻¹, nitrogen from Urea fertilizer, N= 45%) and 15 sorghum genotypes (Pegah, Sepideh, GS4, GS5, GS24, GS25, GS26, GS28, KGS29, KGS33, MGS1, MGS5, SF001, SF002, SF003). The results showed that drought stress significantly decreased biological yield by decreasing plant leaf area, plant height, quantum efficiency of photosystem II and chlorophyll content. In contrast, the activity of antioxidant enzymes including catalase, ascorbate peroxidase and peroxidase was significantly increased under drought stress conditions. On the other hand, application of nitrogen under normal irrigation and drought stress increased all of the above traits except chlorophyll a/b ratio and ascorbate peroxidase activity, however, this increase was less in drought condition. Therefore, application of nitrogen fertilizer under drought stress can modulate the effect of stress and increase yield. Among the studied genotypes, SF001, SF002 and MGS5 genotypes had the highest response to nitrogen and the least sensitivity to drought stress. Therefore, they can be used in areas of water scarcity.

Keywords: Drought stress, Sorghum, Nitrogen, Chlorophyll content, Antioxidant enzymes

Corresponding author, Email: hr.eshghizadeh@ iut.ac.ir