تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۹
۸۲۹-۸۴۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2251.1572

مقاله پژوهشی

اثر کاربرد برگی سیلیکون بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد دو رقم گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل

سودابه رضابیگی[۱]، احسان بیژن‌زاده[۲*]، علی بهپوری[۳]، وحید براتی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز
۲. دانشیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز
۳. استادیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی سیلیکون بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد دو رقم گندم نان و دوروم تحت شرایط تنش خشکی پایان فصل، پژوهشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در دو سطح آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از اواخر گل‌دهی، محلول‌پاشی سیلیکون در سطوح صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و دو رقم گندم نان (چمران) و دوروم (شبرنگ) بودند. نتایج نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی پایان فصل، ارقام و سیلیکون بر محتوای کلروفیل a و b، آنزیم پراکسیداز و کاتالاز و عملکرد دانه معنی‌دار بود. محتوای کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی و کاربرد ۳ میلی‌مولار سیلیکون به‌ترتیب ۴۴ و ۴۱ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون داشتند. هم‌چنین فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز در شرایط تنش خشکی و کاربرد ۳ میلی مولار سیلیکون به‌ترتیب ۳۵ و ۵۲ درصد افزایش را نشان دادند. در شرایط تنش و عدم مصرف سیلیکون کلروفیل a و b به‌ترتیب ۵۵ و ۵۸ درصد کاهش داشتند. در رقم چمران کاربرد برگی سیلیکون به میزان ۳ میلی‌مولار محتوای کلروفیل a و b و فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز را به‌ترتیب به‌میزان ۵۴/۹، ۳۷/۸، ۴۴/۸ و ۴۶/۷ درصد افزایش داد که درنهایت منجر به افزایش ۱۹/۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به رقم شبرنگ در شرایط تنش خشکی گردید. به‌طورکلی، کاربرد برگی به میزان ۳ میلی مولار سیلیکون با بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی گندم می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه به‌ویژه در شرایط تنش خشکی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: **پراکسیداز، رنگیزه‌های فتوسنتزی، رقم چمران، کاتالاز**

مقدمه

در بین غلات دانه‌ای، گندم (*Triticum* spp) مهم‌ترین گیاه زراعی است که گونه‌های متعددی دارد. اگرچه بیشترین سطح زیر کشت (۹۰ درصد) و بیشترین میزان تولید (۹۴ درصد) مربوط به گندم نان (*T. aestivum* L.) است، لیکن گندم دوروم (*T. durum* L.) نیز ارزش تجاری قابل‌توجهی دارد (Emam, 2011). خشکی همواره به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده‌ی عملکرد دانه گندم شناخته می‌شود (Pessarakli, 2001). تنش خشکی عامل اصلی محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Debaeke and Abdellah, 2004). در چنین مناطقی وقوع تنش کمبود آب در مراحل رشد رویشی و زایشی امری اجتناب‌ناپذیر است و بارش‌های کم و توزیع نامناسب بارندگی علل محدودکننده عملکرد غلات زمستانه به شمار می‌رود (Garcia del moral et al., 2003). اجزای عملکرد دانه گندم به نحو متفاوتی، بسته به مرحله فنولوژیک گیاه، تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. حساس‌ترین

* نگارنده پاسخگو: احسان بیژن‌زاده. پست الکترونیک: bijanzd@shirazu.ac.ir

مرحله نمو گندم به تنش خشکی مرحله گل‌دهی است (Emam, 2011)، هرچند کمبود آب در مراحل قبل و بعد از گل‌دهی ممکن است به کاهش عملکرد از طریق کاهش تعداد سنبله و عقیمی سنبلک‌ها منجر شود (Emam and Niknejad, 2011).

سیلیکون جزء یکی از عناصر فراوان موجود در خاک است. به دلیل این‌که در دسته عناصر ضروری برای رشد گیاهان قرار نگرفته توجه زیادی به نقش بیولوژیکی آن در گیاه نشده است. در زمان بروز تنش‌های محیطی با افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدکنندگی و بالا بردن محتوای اسمولیت نقش مهمی در ایجاد مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در گیاهان ایفا می‌کند (Amiri et al., 2014). علی‌رغم فراوان بودن این ماده در سطح کره زمین به دلیل همراه بودن آن با سایر عناصر از دسترس گیاه خارج است، بنابراین می‌توان با افزودن سیلیکون به‌صورت کاربرد برگی که حاوی فرم قابل‌دسترس آن به‌صورت $Si(OH)_2$ است گیاه را در برابر تنش‌های محیطی متحمل نمود (Epstein, 1994). گنگ و همکاران (Gang et al., 2005) اثرات سیلیکون را روی گندم تحت تنش خشکی بررسی کردند. طی این بررسی مشخص شد که در مقایسه با تیمار خشکی کاربرد سیلیکون باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدکنندگی پراکسیداز، کاتالاز و دیسموتاز گردید. در اثر تنش خشکی میزان دی‌اکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش می‌یابد درحالی‌که کاربرد سیلیکون منجر به کاهش میزان فعالیت پراکسید هیدروژن و خسارت آن گردید.

لی و همکاران (Lee et al., 2007) اثرات سیلیکون را بر روی میزان تحمل خشکی ذرت تحت شرایط گلخانه مطالعه کردند. نتایج آزمایش نشان داد که تحت شرایط تنش ملایم، کاربرد سیلیکون باعث افزایش عملکرد به میزان ۲۳ تا ۳۱٪ می‌شود. هم‌چنین در تیمار سیلیکون محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های اکسیدکننده پراکسیداز، کاتالاز و دیسموتاز در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش یافت. هم‌چنین سیلیکون به علت سیلیسی کردن سلول‌های برگ، باعث افزایش دوام و پایداری غشاء سلول و درنتیجه افزایش فتوسنتز آن می‌گردد. این امر در ابتدا باعث افزایش دوام برگ و دوره پر شدن دانه در شرایط تنش می‌شود و در ادامه باعث حفظ پایداری غشاء سلول می‌گردد که منجر به حفظ محتوای نسبی آب و کاهش نشت مواد سلولی و درنتیجه تداوم جریان انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده به دانه می‌شود. ما و یاماجی (Ma and Yamaji, 2006) بیان نمودند که سیلیکون با رسوب در زیر لایه کوتیکولی (با ضخامت ۰/۱ میکرومتر) برگ و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول-سیلیس و درنتیجه افزایش ضخامت لایه کوتیکولی و موم آن، باعث کاهش تعرق از سطح برگ و پوست گیاهی می‌شود. درنتیجه این عمل محتوای آب گیاه زیاد می‌شود و توسعه برگی و تولید ماده خشک نیز افزایش می‌یابد. طالع احمد و حداد (Tale-Ahmad and Haddad, 2009) بیان نمودند که تیمار سیلیکون باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز و نیز افزایش محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و پروتئین محلول در برگ تحت تنش خشکی گردید.

محدودیت منابع آب در کشور بخصوص در جنوب ایران سبب شد تا در پژوهش حاضر تأثیر کاربرد برگی سیلیکون را بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیمی و عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم نان و گندم دوروم در شرایط تنش خشکی آخر فصل ارزیابی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب در هفت کیلومتری شهرستان داراب با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ارتفاع ۱۱۸۰ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. پیش از اجرای آزمایش و برای اطلاع از وضعیت فیزیکو شیمیایی خاک، اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر شد (جدول ۱). تیمارهای آزمایش شامل: فاکتور اصلی رژیم آبیاری در دو سطح، آبیاری مطلوب به‌عنوان شاهد و تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری از اواخر مرحله گل‌دهی (۶۹، کد ZGS) تا رسیدن فیزیولوژیک و کرت فرعی ترکیبی از ارقام گندم شامل گندم نان رقم چمران و گندم دوروم رقم شبرنگ و کاربرد سیلیکون در مرحله اواسط گل‌دهی (۶۵، کد ZGS) (Zadokes et al., 1974) در چهار سطح صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار سیلیکون در نظر گرفته شد (Mohammadi et al., 2012). عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر بود. سپس اقدام به کرت‌بندی در ابعاد ۳×۲ شد و بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متری و در عمق یک سانتی‌متری خاک با

تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع کشت شدند. بافت خاک از نوع سیلتی لومی بود. ارقام گندم با دست در تاریخ ۱۸ آذرماه ۱۳۹۶ کشت شدند. میزان آب موردنیاز برای هر کرت بر اساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲۴/۵٪ وزنی) محاسبه شد. پس از اندازه‌گیری میزان آب، آبیاری برای تمام کرت‌ها تا مرحله گل‌دهی به‌صورت یکسان و به‌صورت نشتی انجام شد و در انتهای مرحله گل‌دهی آبیاری تیمارهای قطع آبیاری در کرت‌های تعیین‌شده متوقف شد (Araus et al., 2002; Daneshmand et al., 2006). درمجموع میزان آب مصرفی برای تیمار آبیاری مطلوب با ۱۰ دور آبیاری ۵۹۲۰ مترمکعب در هکتار و در تیمار قطع آبیاری پس از مرحله ابتدای گل‌دهی با ۷ دور آبیاری ۴۸۹۱ مترمکعب در هکتار بود.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورداستفاده در آزمایش در عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1. Physicochemical characteristics of the soil used in the experiment at depths of 0 to 30 cm

هدایت الکتریکی Ec	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نیتروژن کل N	کربن آلی OC	فسفر P	پتاسیم K	pH
($ds.m^{-1}$)	---------- (%) ----------					------ ($mg.kg^{-1}$) ------		
1.15	18.76	40.16	41.08	0.16	0.7	65	120	7.85

اندازه‌گیری فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای این منظور ۰/۵ گرم از نمونه‌تر برگ و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در داخل یک هاون چینی به‌خوبی ساییده شدند. سپس عصاره حاصل در تاریکی و در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگه‌داری شد و مواد جامد به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با ۶۰۰۰ دور در دقیقه رسوب داده شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی را با ۹ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب عصاره فوق با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A) ساخت شرکت Shimadzu در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت گردید و سپس میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از روابط زیر محاسبه شد (Arnon, 1967):

$$\text{Chorophyll a}= (19/3\times A663-0.86\times A645)V/100W \quad [۱]$$

$$\text{Chlorophyll b}= (19/3\times A645-3/6\times A663)V/100W \quad [۲]$$

در این روابط، V حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفوژ)، A جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و W وزن تر نمونه برحسب گرم است.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز

مخلوط واکنش برای تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰ میلی‌مول گایاکول و ۱۵ میلی‌مول پراکسید هیدروژن و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. میزان جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر به مدت دو دقیقه قرائت شد. محلول شاهد شامل تمامی این مواد به‌جز عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌عنوان میزان تتراگایاکول تشکیل‌شده در یک دقیقه در میلی‌گرم پروتئین و با استفاده از ضریب خاموشی (ϵ=26.6 mM^{-1} cm^{-1}) محاسبه شد (Chance et al.,1995).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز

مخلوط واکنش برای تعیین فعالیت کاتالاز شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۱۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی بود. پس از اضافه کردن عصاره آنزیمی میزان جذب در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر به مدت دو دقیقه توسط اسپکتروفتومتر ثبت شد. فعالیت کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی (ϵ=39.4 mM^{-1} cm^{-1}) به‌صورت میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده در دقیقه در هر میلی‌گرم پروتئین بیان شد (Aebi, 1984).

برداشت در تاریخ ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷، از دو ردیف وسط هر کرت صورت گرفت. برداشت کرت‌های آزمایشی به‌صورت دستی از سطح خاک با داس و در سطح یک مترمربع انجام شد و بوته‌های برداشت‌شده از هر کرت به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از جداسازی دانه‌ها و اندازه‌گیری اجزای عملکرد، وزن دانه‌ها با ترازو توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه

میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال یک درصد انجام شده است.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل a و b

نتایج تجزیه واریانس کلروفیل a نشان داد که اثر سیلیکون و رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر تنش‌خشکی در سطح احتمال ۵ درصد و اثر تنش × سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل a با ۵/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در شرایط تنش خشکی و کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کمترین میزان این صفت با ۳/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در شرایط عدم مصرف سیلیکون به دست آمد (شکل ۱-a). هم‌چنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش در سطح. احتمال ۵ درصد و اثر سیلیکون و رقم و اثر متقابل تنش × سیلیکون در سطح احتمال ۱درصد بر محتوی کلروفیل b معنی‌دار شد (جدول ۲).

بیشترین میزان محتوای کلروفیل b با ۷/۱۱ میلی‌گرم برگرم وزن‌تر در شرایط تنش خشکی و کاربرد ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کمترین میزان این صفت با ۴/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در شرایط عدم مصرف سیلیکون به دست آمد (شکل ۱-b). در شرایط اکسیداسیون و تنش‌های محیطی مانند خشکی میزان تولید رادیکال‌های فعال و درنتیجه پراکسیداسیون لیپیدی افزایش می‌یابد و مشخص شده است که تخریب کلروفیل نتیجه پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء (Gong et al., 2005) و تشکیل هیدرو پراکسید اسیدهای چرب موجود در غشاء است (Talee Ahmad and Hadad, 2009). اونسل و همکاران (Oncel et al., 2000) بیان داشتند که مقدار زیادی از کلروفیل b موجود در کلروپلاست در کمپلکس‌های برداشت کننده در فتوسیستم دو قرار دارد و هم‌چنین این پژوهشگران بیان داشتند که در شرایط تنش، کمپلکسی‌های برداشت کننده نور بیش‌تر آسیب می‌بینند که باعث کاهش شدید کلروفیل b در کلروپلاست خواهد شد.

موسی (Mussa, 2006) طی آزمایشی که انجام داد به این نتیجه رسید که تحت شرایط تنش میزان کلروفیل کاهش می‌یابد ولی مصرف سیلیکون سبب افزایش کلروفیل در گیاه ذرت می‌شود که با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت به‌گونه‌ای که در شرایط تنش خشکی کلروفیل a و b به‌ترتیب ۲۶/۲ و ۲۶/۸ درصد کاهش نسبت به‌شرایط آبیاری داشت (جدول ۳) و با افزودن سیلیکون تحت تنش خشکی به‌ترتیب ۴۸/۳ و ۴۵/۳ درصد افزایش داشت (شکل ۱).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی، سیلیکون و رقم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 2. Results of variance analysis of drought stress, silicon and cultivar effects on biochemical characteristics, yield and yield components of wheat

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	پراکسیداز Peroxidase	کاتالاز Catalase
Replication	تکرار	2	3.05*	7.01	2.95**	0.67^{ns}
Stress (S)	تنش	1	98.28*	44.66*	69.74**	61.97**
Main Plot Error	خطای کرت اصلی	2	1.14	1.02	0.26	0.58
Cultivar (C)	رقم	1	9.10**	21.20**	4.85**	0.83^{ns}
Silikon (Si)	سیلیکون	3	7.14**	7.86**	8**	15.97**
Si × C	تنش×رقم	1	0.04^{ns}	0.42^{ns}	0.35^{ns}	6.49**
S × Si	تنش×سیلیکون	3	1.51**	2.75**	0.44^{ns}	4.62**
Si × C	رقم×سیلیکون	3	0.10^{ns}	0.07^{ns}	0.11^{ns}	0.32^{ns}
S × C × Si	تنش×رقم×سیلیکون	3	0.18^{ns}	0.09^{ns}	0.39^{ns}	0.88*
Subplot Error	خطای کرت فرعی	28	0.09	0.23	0.17	0.33
CV(%)	ضریب تغییرات		*5.92*	*7.78*	*6.19*	*6.90*

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	دانه در سنبله Grain per spike	وزن هزار دانه 1000- grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield
Replication	**تکرار**	2	57.65^{ns}	4.69^{ns}	2546456^{ns}	14.48^{ns}	650700^{**}
Stress (S)	**تنش**	1	842.67^{*}	1530.13^{*}	8316675^{ns}	594.52^{**}	26730675^{*}
Main Plot Error	**خطای کرت اصلی**	2	29.49	55.72	592206	1.68	284400
Cultivar (C)	**رقم**	1	36.21^{ns}	67.12^{ns}	21306675^{**}	381^{**}	29862075^{**}
Silikon (Si)	**سیلیکون**	3	575.55^{**}	131.30^{*}	30963925^{**}	99.64^{*}	2665475^{**}
Si × C	**تنش×رقم**	1	23.25^{ns}	0.07^{ns}	29422008^{**}	42.26^{ns}	4650075^{**}
S × Si	**تنش×سیلیکون**	3	529.32^{**}	93.34^{ns}	5301036^{*}	30.59^{ns}	222475^{**}
Si × C	**رقم×سیلیکون**	3	297.46^{**}	22.31^{ns}	4562758^{ns}	25.25^{ns}	39875^{ns}
S × C × Si	**تنش×رقم×سیلیکون**	3	151^{**}	19.32^{ns}	329758^{ns}	7.33^{ns}	12275^{ns}
Subplot Error	**خطای کرت فرعی**	28	18.23	35.95	1661950	26.79	73521
CV(%)	**ضریب تغییرات**		*12.43*	*16.14*	*9.48*	*9.95*	*3.86*

ns، *و ** به‌ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار و اثر معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

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

آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه تنش در رقم در سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با ۸/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در شرایط تنش خشکی رقم چمران با مصرف ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کمترین میزان این صفت با ۳/۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در شرایط عدم مصرف سیلیکون به دست آمد (شکل ۲). این آنزیم قادر است بدون نیاز به عامل احیاء کننده پراکسید هیدروژن موجود در سلول را به H_2O و O_2 تبدیل کند (Turkan et al., 2005). شالینا و دوی (Shalinia and Duey, 2003) بیان کردند که اکسیداز ازجمله آنزیم‌هایی به شمار می‌روند که نقش بسیار مهمی در پاسخ به تنش‌های غیر زیستی دارند و تحت تنش فعال می‌شوند. محققان گزارش کردند که تنش شوری باعث کاهش در فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و دیسموتاز می‌گردد، درحالی‌که در تیمار سیلیکون فعالیت این دو آنزیم افزایش پیدا کرد. آنان بیان داشتند افزایش این آنزیم‌ها تحت تیمار سیلیکون باعث کاهش در محتوای H2O2 سلول می‌گردد، درنتیجه مانع از خسارت اکسیدکننده ناشی از پراکسید هیدروژن باعث افزایش در وزن خشک گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری می‌گردد (Al-Aghabary et al., 2004)؛ که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد به‌طوری‌که تحت تنش خشکی آنزیم کاتالاز ۳۰ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

آنزیم پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز تنها تحت تأثیر اثرات اصلی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثر تنش بر آنزیم پراکسیداز نشان داد در شرایط تنش خشکی ۲۷/۸۲ درصد افزایش نسبت به شرایط آبیاری مطلوب دارد. در اثر رقم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز با ۷/۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر و کمترین میزان این صفت با ۶/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در رقم شبرنگ به دست آمد. در اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم پراکسیداز بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز با ۷/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کمترین میزان این صفت با ۵/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در شرایط عدم مصرف سیلیکون به دست آمد (جدول ۳). کاهش غلظت هیدروژن پراکسید در برگ غلات در گیاهان تحت تنش خشکی در حضور سیلیکون نشان‌دهنده‌ی اثرات مفید سیلیکون در کاهش آسیب‌های اکسنده از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیدکنندگی

در گیاهان تحت تنش است (Talee Ahmed and Hadad., 2009؛ AL-Aghabary et al., 2004). در این پژوهش کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۲۵ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون شد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش خشکی، سیلیکون و رقم بر صفات بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان و دوروم.

Table 3. Mean comparison of effects of drought stress and silicon on biochemical traits, grain yield and yield components of bread and durum wheat.

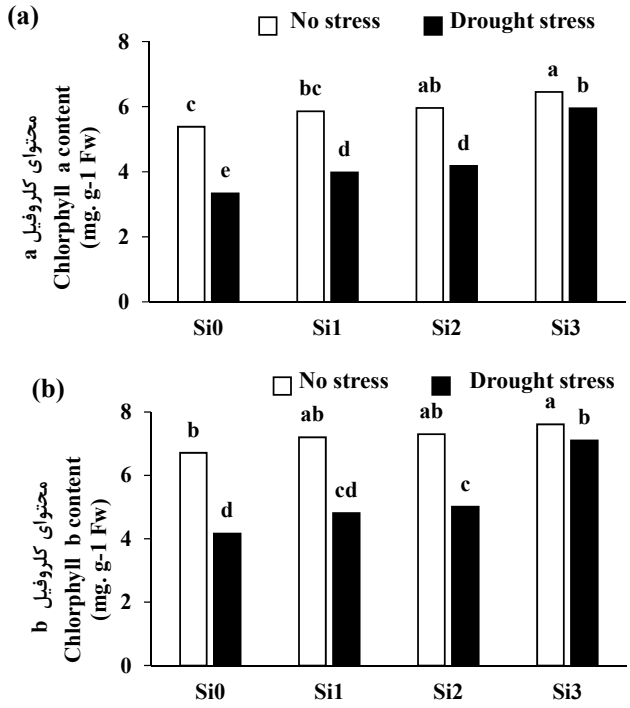
Treatment	تیمار	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	پراکسیداز Peroxidase	کاتالاز Catalase
		----------mg. g^{-1} FW----------		----------U. min^{-1} g^{-1}FW----------	
Stress	**تنش**				
Optimum irrigation	**آبیاری مطلوب**	5.91[a]	7.20[a]	5.51[b]	5.89[b]
Drought stress	**تنش خشکی**	4.36[b]	5.27[b]	7.92[a]	8.16[a]
Cultivar	**رقم**				
Chamran	**رقم چمران**	5.57[a]	6.90[a]	7.04[a]	7.16[a]
Shabrang	**رقم شبرنگ**	4.70[b]	5.57[b]	6/40[b]	6.89[a]
Silicon	**سیلیکون**				
0 Mm	**صفر**	4.35[c]	5.44[c]	5.81[d]	5.84[c]
1 mM	**یک میلی‌مولار**	4.92[b]	6.08[b]	6.42[c]	6.45[b]
2 mM	**دو میلی‌مولار**	5.07[b]	6.15[b]	6.89[b]	7.32[b]
3 mM	**سه میلی‌مولار**	6.20[a]	7.36[a]	7.75[a]	8.50[a]

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

Treatment	تیمار	دانه در سنبله Grain per spike	وزن هزار دانه 1000- grains weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield
			g	Kg ha^{-1}	%	Kg ha^{-1}
Stress	**تنش**					
Optimum irrigation	**آبیاری مطلوب**	38.52[a]	42.79[a]	1400[a]	55.49[a]	7755[a]
Drought stress	**تنش خشکی**	30.14[b]	31.5[b]	13175[a]	48.57[b]	6262[b]
cultivar	**رقم**					
Chamran	**رقم چمران**	35.20[a]	38.32[a]	14257[a]	54.79[a]	7797[a]
Shabrang	**رقم شبرنگ**	33.46[a]	35.96[a]	12925[b]	49.15[b]	6220[b]
Silicon	**سیلیکون**					
0 mM	**صفر**	42.88[a]	32.89[b]	12475[b]	48.49[b]	6595[c]
1 mM	**یک میلی‌مولار**	27.83[c]	36.75[ab]	12700[b]	51.09[ab]	6755[c]
2 mM	**دو میلی‌مولار**	36.95[b]	38.09[ab]	13237[b]	53.04[ab]	7020[b]
3 mM	**سه میلی‌مولار**	29.67[c]	40.84[a]	15952[a]	55.27[a]	7665[a]

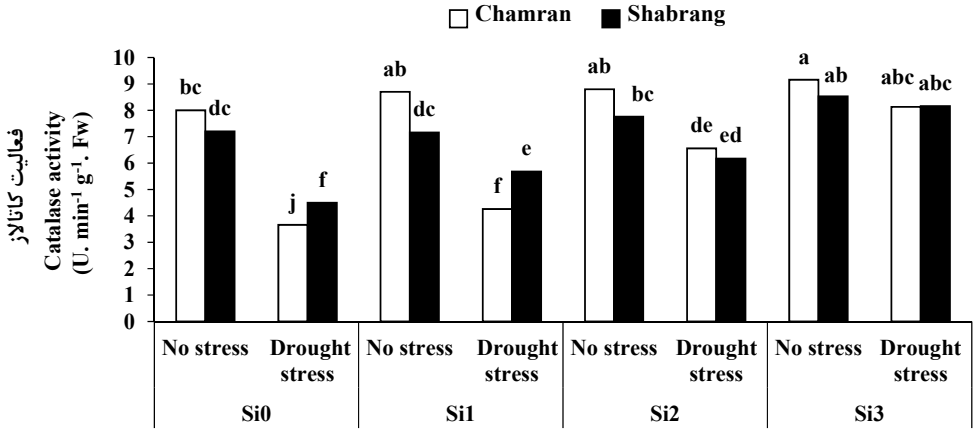
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر تیمار، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column and treatment followed by similar letters are not significantly different 1% using LSD test



شکل ۱. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر محتوای کلروفیل *a* (a) و *b* (b). (میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند). Si_0: عدم مصرف سیلیکون، Si_1: یک میلی‌مولار سیلیکون، Si_2: دو میلی‌مولار سیلیکون و Si_3: سه میلی‌مولار سیلیکون.

Fig. 1. The interaction of drought stress and silicon on the content of chlorophyll *a* (a) and chlorophyll *b* (b). (Means with similar letters are not significant based on LSD test at 1% probability levels).Si_0: no silicon application, Si_1: 1Mm silicon: Si_2: 2 Mm silicon, and Si_3: 3 mM silicon.



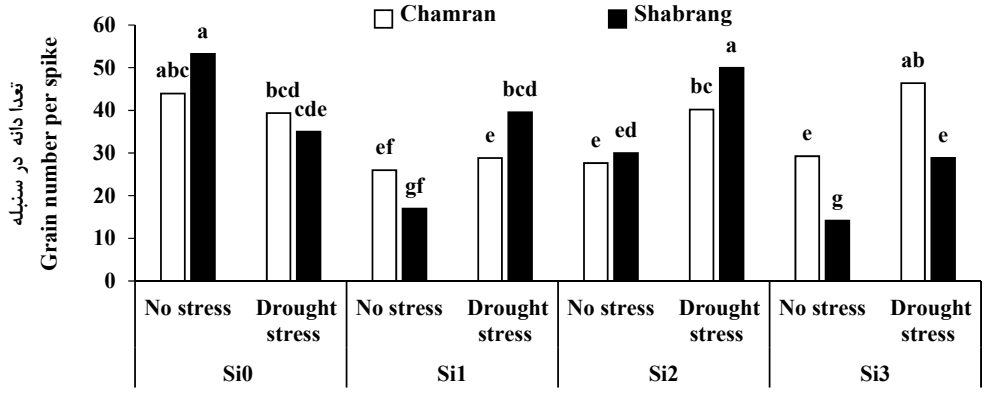
شکل ۲. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم گندم (میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند). Si_0: عدم مصرف سیلیکون، Si_1: یک میلی‌مولار سیلیکون، Si_2: دو میلی‌مولار سیلیکون و Si_3: سه میلی‌مولار سیلیکون.

Fig. 2. Interaction between drought stress and silicon on enzymes activity of catalase in wheat cultivars. (Means with similar letters are not significant based on LSD test at 1% probability levels).Si_0: no silicon application, Si_1: 1Mm silicon: Si_2: 2 Mm silicon and Si_3: 3 mM silicon

تعداد دانه در سنبله

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد دانه در سنبله تحت اثر سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد و اثر تنش در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل رقم × تنش و اثر تنش × سیلیکون و اثر سه‌گانه تنش × رقم × سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان تعداد دانه در سنبله با ۴۹/۹۸ گرم در رقم شبرنگ با مصرف ۲ میلی‌مولار سیلیکون و کمترین میزان این صفت با ۳۵ گرم در شرایط عدم مصرف سیلیکون مشاهده گردید (شکل ۳).

قاسم حلیم و همکاران (Halim et al., 2018) نشان دادند که تنش آبی در گیاه گندم باعث کاهش ۲۷/۱ درصدی تعداد دانه در سنبله شد. وهبی و همکاران (Wahbi et al., 2016) با مطالعه‌ای که بر روی گیاه گندم در شرایط گلخانه انجام دادند بیان کردند که تنش آبی تعداد دانه در سنبله را ۳۳ درصد کاهش داد. فلاح و همکاران (Fallah et al., 2004) اظهار نمودند، سیلیکون از طریق کاهش اثرات تنش آبی تعداد سنبلچه در سنبله را بهبود داده و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در سنبلچه و تعداد سنبلچه در هر سنبله دارد؛ بنابراین هر عاملی که سبب افزایش تعداد دانه در سنبلچه و تعداد سنبلچه در سنبله شود تعداد دانه در سنبله را نیز افزایش می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد برگی سیلیکون تأثیر مثبتی بر تعداد دانه در سنبله گندم دارد به‌گونه‌ای که سیلیکون به میزان ۲ میلی‌مولار ۲۵/۴ درصد افزایش در تعداد دانه در سنبله را نسبت به تیمار عدم مصرف سیلیکون داشت (جدول ۳).



شکل ۳. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر تعداد دانه در سنبله در ارقام گندم (میانگین‌ها با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند). Si_0: عدم مصرف سیلیکون، Si_1: یک میلی‌مولار سیلیکون،Si_2: دو میلی‌مولار سیلیکون و Si_3: سه میلی‌مولار سیلیکون.

Fig. 3. Interaction effect of drought stress and silicon on grain number per spike of wheat cultivars (Means with similar letters are not significant based on LSD test at 1% probability levels). Si_0: no silicon application, Si_1: 1Mm silicon, Si_2: 2 Mm silicon and Si_3: 3 mM silicon

وزن هزار دانه

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سیلیکون و تنش بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار (جدول ۲) است. مقایسه میانگین اثر تنش بر وزن هزار دانه نشان داد وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی ۲۷ درصد کاهش نسبت به شرایط آبیاری مطلوب داشت. مقایسه میانگین اثر سیلیکون بر وزن هزار دانه نشان داد گرچه تیمار ۳ میلی‌مولار نسبت به سایر تیمارها بیشترین وزن هزار دانه را با مقدار ۴۰/۸ گرم را در این صفت به خود اختصاص داد، اما این اختلاف با تیمار ۲ میلی‌مولار معنی‌دار نبود ولی با تیمار عدم مصرف سیلیکون (۳۲/۸ گرم) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). رویو و همکاران (Royo et al., 2000) نیز دریافتند که تنش خشکی از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی، به‌ویژه اگر با دمای زیاد همراه باشد، دوره پر شدن دانه و وزن هزار دانه را در تریتیکاله (X Triticosecale) کاهش می‌دهد. دلیل اصلی کاهش وزن هزار دانه در تنش‌های پایان فصل برخورد دوره پر شدن دانه با کمبود رطوبت است. اکبری مقدم (Akbari Moghaddam, 2013) با بررسی شدت و زمان

اعمال تنش خشکی گزارش کرد که تنش خشکی با کوتاه کردن دوره پر شدن دانه، باعث کاهش عملکرد دانه و وزن هزار دانه شد و بیشترین اثر آن در دوره پر شدن دانه، بین روزهای اول تا چهاردهم بعد از گرده‌افشانی است. گنگ و همکاران (Gong et al., 2003) گزارش کردند تحت تنش خشکی سیلیکون سبب کاهش کم‌تر وزن سنبله در همه ارقام گندم شده است. آن‌ها هم‌چنین اظهار نمودند سیلیکون از طریق تقویت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. لیانگ و همکاران (Liang et al., 2007) گزارش دادند کاربرد سیلیکون شاخص سطح‌برگ را در گیاه افزایش و درنتیجه جذب نور و فتوسنتز در گیاه را بهبود داده که منجر به افزایش وزن هزار دانه شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد برگی سیلیکون تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه گندم داشت به‌گونه‌ای که مصرف سیلیکون به میزان ۳ میلی‌مولار، ۱۹/۶ درصد افزایش در وزن هزار دانه نسبت به تیمار عدم مصرف سیلیکون داشت (جدول ۳).

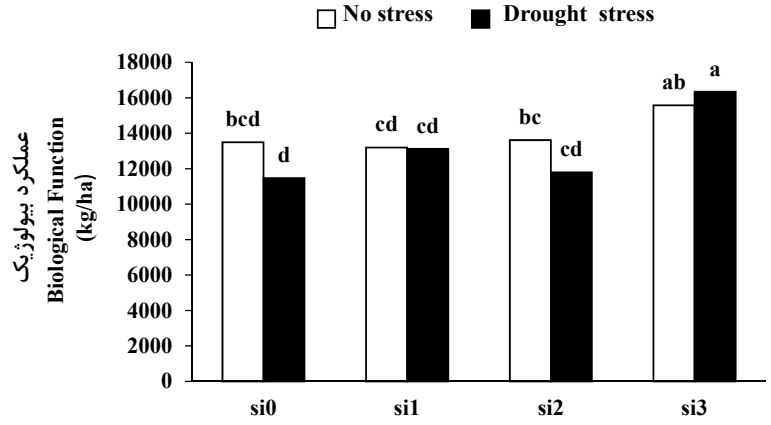
عملکرد بیولوژیک

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سیلیکون و رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر تنش × سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد و اثر تنش × رقم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تیمار ۳ میلی‌مولار سیلیکون تحت شرایط تنش نسبت به سایر تیمارها بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک را با مقدار ۱۶۳۳۳ کیلوگرم بر هکتار را در این صفت به خود اختصاص داد، ولی تیمار عدم مصرف سیلیکون تحت شرایط تنش با کمترین عملکرد بیولوژیک با مقدار ۱۱۴۵۸ کیلوگرم بر هکتار افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۴). در رقم چمران در شرایط تنش خشکی ۱۵ درصد کاهش در عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد (شکل ۵). عملکرد بیولوژیک شامل وزن خشک بخش‌های هوایی گیاه است که تحت تأثیر شرایط آب و هوایی، خاک و گیاه قرار می‌گیرد (Emam, 2011). کاهش سطح فتوسنتز کننده و هم‌چنین کاهش میزان فتوسنتز براثر تنش خشکی، باعث کاهش تجمع ماده خشک می‌شود (Sliman et al., 1994). تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و درنتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک‌سو و اثر بر فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوط از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه به‌عنوان جزئی از عملکرد بیولوژیک می‌شود (Farrokhnia et al., 2012).

مصطفی‌زاده فرد و همکاران (Mostafazadeh-Fard at al., 2008) نشان دادند با کاهش کاربرد سیلیکون در برنج تحت تنش، مقدار کاه آن افزایش یافت، هم‌چنین آن‌ها اظهار نمودند سیلیکون اثرات منفی تنش در گیاهان را کاهش داده و باعث افزایش سطح برگ که به‌تبع آن باعث افزایش فتوسنتز در گیاه شده و باعث رشد رویشی و اندام‌های هوایی در گیاه می‌شود که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد به گونه‌ایی که با افزودن سیلیکون در شرایط تنش خشکی باعث افزایش ۳۰ درصدی عملکرد بیولوژیک شد (شکل ۴).

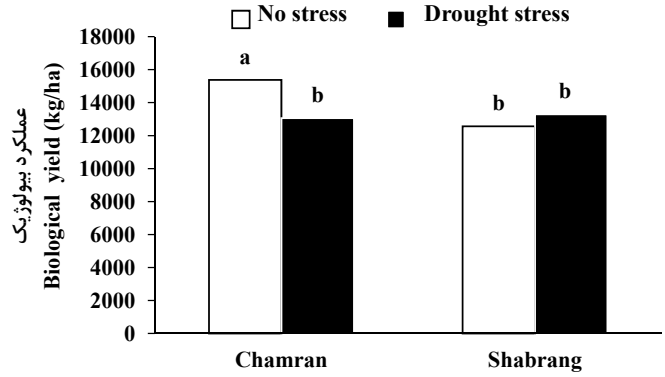
شاخص برداشت

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان شاخص برداشت با مقدار ۵۵/۶۶ درصد در تیمار آبیاری و کم‌ترین میزان این صفت با ۴۸/۴۵ درصد در تیمار تنش خشکی به دست آمد. بیشترین میزان شاخص برداشت با مقدار ۵۴/۹۶ درصد در رقم چمران و کمترین میزان این صفت با ۴۹/۱۵ درصد در رقم شبرنگ به دست آمد که احتمالاً ناشی از مکانیسم مناسب جذب، تجمع و انتقال بهتر مواد هیدرات‌کربن به دانه در انتهای دوره رشد بوده است. بیشترین میزان شاخص برداشت با ۵۵/۲۷ درصد مربوط به تیمار ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کمترین میزان این صفت با ۴۸/۴۹ درصد در شرایط عدم مصرف سیلیکون به دست آمد (جدول ۳). برخی پژوهشگران بر این باورند که تنش خشکی به‌طور یکسانی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و لذا این شاخص کمتر تحت تأثیر محیط افزایش یا کاهش می‌یابد. کاهش شاخص سطح برداشت در شرایط تنش خشکی بعد از گل‌دهی به کاهش دسترسی به مواد پرورده جاری طی دوره پر شدن دانه نسبت داده شده است (Emam, 2011). محمدی و همکاران (Mohamadi at al., 2012) گزارش کردند، سیلیکون به دلیل کاهش اثر تنش عملکرد دانه را بهبود بخشیده و سبب افزایش شاخص برداشت می‌شود. زوکارینی (Zuccarini, 2008)، اظهار نمود سیلیکون عملکرد دانه را بیشتر از عملکرد بیولوژیک افزایش داد و سبب بهبود شاخص برداشت شد که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد به‌گونه‌ای که کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۱۲/۲ درصدی شاخص برداشت شد (جدول ۳).



شکل ۴. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر عملکرد بیولوژیک ارقام گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند).Si_0: عدم مصرف سیلیکون، Si_1: یک میلی‌مولار سیلیکون، Si_2: دو میلی‌مولار سیلیکون و Si_3: سه میلی‌مولار سیلیکون.

Fig. 4. Effect of drought stress and silicon on biological yield of wheat cultivars (Means with similar letters are not significant based on LSD test at 1% probability levels).Si_0: no silicon application, Si_1: 1Mm silicon: Si_2: 2 Mm silicon and Si_3: 3 mM silicon.



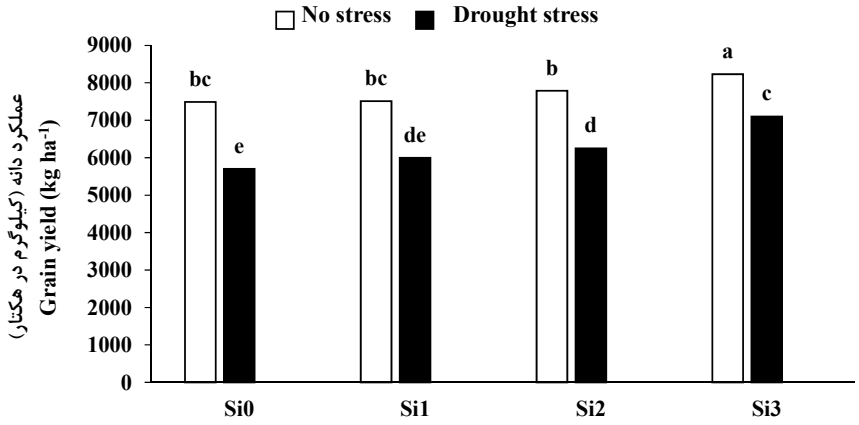
شکل ۵. اثر متقابل تنش خشکی و ارقام بر عملکرد بیولوژیک گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نیست).

Fig. 5. Interaction effect of drought stress and cultivar on biological yield of wheat cultivars. (Means with similar letters are not significant based on LSD test at 1% probability levels)

عملکرد دانه

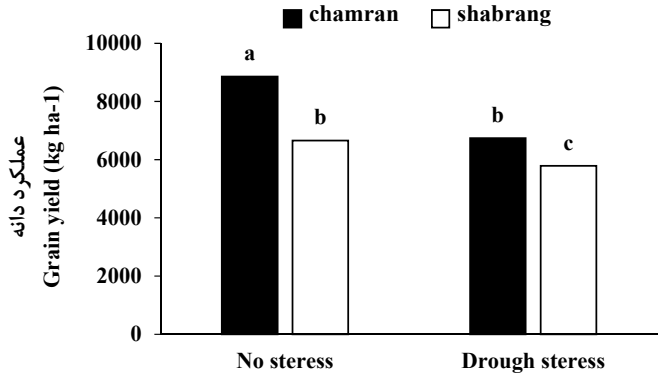
نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد و اثر تنش در سطح احتمال ۵ درصد، اثر تنش × سیلیکون و تنش × رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و سیلیکون بر عملکرد دانه نشان داد بیش‌ترین میزان عملکرد دانه با ۷۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش خشکی و کمترین میزان این صفت با ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم مصرف سیلیکون به دست آمد (شکل ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و رقم بر عملکرد دانه نشان داد رقم چمران در شرایط تنش خشکی ۲۳/۸ درصد کاهش نسبت به شرایط آبیاری مطلوب داشت (شکل ۷). به نظر می‌رسد که تنش خشکی در مرحله تقسیم سلولی از طریق کاهش اکسین و کاهش تقسیم سلولی و در مرحله پر شدن دانه، از طریق میزان اسید آبسزیک و کاهش فعالیت‌های آنزیمی و کاهش طول دوره پر شدن دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Saeadi et al., 2011). نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر مبنی بر کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی با یافته‌های قندی و جلالی (Qandi and

(Jalali, 2014) و همچنین محمدی و همکاران (Mohamadi et al., 2012) مطابقت دارد به‌گونه‌ای که چنانچه تنش در مرحله زایشی رخ دهد کاهش عملکرد به‌واسطه کاهش دوره پر شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها است.



شکل ۶. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر عملکرد دانه ارقام گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند). Si_0: عدم مصرف سیلیکون، Si_1: یک میلی‌مولار سیلیکون، Si_2: دو میلی‌مولار سیلیکون و Si_3، سه میلی‌مولار سیلیکون.

Fig. 6. Interaction effect of drought stress and silicon on grain yield of wheat cultivars (Means with similar letters are not significant based on LSD test at 1% probability levels).Si_0: no silicon application, Si_1: 1Mm silicon, Si_2: 2 Mm silicon and Si_3: 3 mM silicon.



شکل ۷. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر عملکرد دانه ارقام گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند).

Fig. 7. Interaction effect of drought stress and cultivar on wheat grain yield (Means with similar letters are not significant based on LSD test at 1% probability levels).

خواجه و همکاران (Khajeh et al., 2016) گزارش کردند محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه گندم را نسبت به عدم مصرف سیلیکون ۱۱/۸۰ درصد افزایش داد. اپستین و بلوم (Epstein and Bloom, 2005) نیز اظهار نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی از طریق افزایش جذب عناصر، شاخص سطح برگ و

دوام سطح برگ، میزان فتوسنتز را افزایش داده و سبب انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌های زایشی شده که تولید سنبله در واحد سطح، دانه در سنبله، وزن هزار دانه و درنهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد برگی سیلیکون تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه گندم دارد به‌گونه‌ای که مصرف سیلیکون به میزان ۳ میلی‌مولار ۱۹/۷ درصد افزایش در عملکرد دانه را نسبت به تیمار عدم مصرف سیلیکون داشت.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج بیانگر این بود که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش ۲۳/۸ درصدی عملکرد رقم چمران نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد که علت آن کاهش فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه ازجمله کاهش محتوای کلروفیل و کاهش فعالیت آنزیم‌ها است به‌گونه‌ای که محتوای کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۱۶ و ۲۶ درصد کاهش داشت که با افزودن کاربرد برگی سیلیکون در سطح ۳ میلی‌مولار به‌ترتیب ۴۴ و ۴۱ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون مشاهده شد. آنزیم پراکسیداز و کاتالاز در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ۷ و ۸ درصد افزایش داشت که با افزودن سیلیکون در شرایط تنش خشکی در سطح ۳ میلی‌مولار فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز به‌ترتیب ۵۲ و ۳۵ درصد نسبت به‌شرایط عدم مصرف سیلیکون افزایش داشت. به‌طورکلی گندم نان (رقم چمران) با مقدار ۷۷۹۷ کیلوگرم در هکتار عملکرد بالاتری را نسبت به گندم دوروم (رقم شبرنگ) با مقدار ۶۲۲۰ کیلوگرم در هکتار داشت که نشان‌دهنده برتری و مناسب بودن این رقم بود. در شرایط تنش خشکی تیمار ۳ میلی‌مولار مصرف سیلیکون بیشترین میزان عملکرد را در رقم چمران با مقدار ۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون در شرایط تنش خشکی در رقم چمران تولید کرد. به‌طورکلی برای افزایش رشد و عملکرد در شرایط مطلوب و کاهش افت در شرایط تنش، استفاده از سیلیکون با غلظت‌های مناسب ۳ میلی‌مولار قابل توصیه است. افزایش عملکرد دانه رقم چمران در شرایط تنش خشکی احتمالاً درنتیجه تأثیر مثبت مصرف سیلیکون ۳ میلی‌مولار بر فعالیت کلروفیل a، b، آنزیم پراکسیداز و کاتالاز است.

منابع

Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology. 105, 121–126.

Akbari Moghaddam, H., 2013. Dry matter diversity and morphophysiological responses of wheat cultivars under the influence of drought stress at different stages of growth. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol. 151 p. [In Persian]

AL-Aghabary, K., Zhujun, Z., Qinhua, S., 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plant under salt stress. Journal of Plant Nutrition. 27, 2111-2115.

Amiri, A., Bagheri, A. A., Khajeh, M., Najafabadi, N., Yadollahi, B., 2014. Effect of silicon foliar application on yield and antioxidant enzymes of safflower under drought stress. Journal of Crop Research. 9, 372-361. [In Persian with English summary].

Araus, J.L., Slafer, M.P., Reynolds, B., Royo, C., 2002. Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for? Annals of Botany. 89, 925–940.

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Journal of Agronomy. 23, 112-121.

Chance, B., Maehly, A.C., 1995. Assay of catalases and peroxidase. Methods in Enzymology. 2, 764-775.

Daneshmand, A.R., Shirani Rad, A.H., Ardakani, M.R., 2006. Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. Journal of Agricultural Sciences. 1, 48-60. [In Persian with English summary].

Debaeke, P., Abdellah, A., 2004. Adaptation of crop management to water- limited environments. European Journal of Agronomy. 21, 433-446.

Emam, Y., 2011. Cereal Production Shiraz University Press Fourth edition.190 pages. [In Persian].

Emam, Y., Niknejad, M., 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield, Shiraz University Press, Shiraz. [In Persian].

Epstein, E., 1994. Silicon. Plant Physiology. 50,641 -664

Epstein, E., Bloom, A., 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 52, 643-654.

Fallah, A., Visperas, R. M., Alejar, A. A. 2004. The interactive effect of silicon and spikelet filling in rice (*Oryza sativa* L.). Philippine Agricultual. Scientist. 87,174- 176.

Garcia del Moral, L.F., Rharrabit, Y., Villegas, D., Royo, C., 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean condition. European Journal of Agronomy. 65, 266-274.

Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., Zhang, C., 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. Journal of Plant Nutrition. 26, 1055-1063.

Gong, H., Chin, K.Z., Wang, S., Zhang, C., 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Journal of Plant Science. 169,313-321.

Halim, Q., Emam, Y., Shakeri, A., 2018. Evaluation of yield, yield components and stress tolerance indices in bread wheat cultivars under conditions Interruption of irrigation after flowering. Journal of Crop Production and Processing. 4, 121-134. [In Persian with English summary].

Khajeh, M., Mousavi Niya, M., Cyrus mehr, A., 2016. Effect of dehydration and silicon spraying on yield and photosynthetic pigmentation of wheat in the region Sistan. Journal of Physiology of Crops.7, 5-19. [In Persian with English summary].

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.G., Christie, P., 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. Journal of Environment Pollution. 147, 422-428.

Lee, Q.F., Ma, C.C., Shang, Q.L., 2007. Effects of silicon on photosyn thesis and anti oxidative enzymes of maize under drought stress Ying Yong shengtai Xue Bao.18, 531 -536.

Mam, J.F., Yamaji. N., 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science. 11, 1-6.

Mohammadi, S., Sepehri, A.S., Abutalebian, M.A., Hamzai, J., 2012. Effect of silicon on wheat yield under drought stress conditions. Sixth National Conference on New Ideas in Agriculture. 11th and 12th March 2012, 117-119 pp. [In Persian].

Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M., Aghakhani, A., Feizi, M., 2008. Effects of leaching on soil desalinization for wheat crop in an arid region. Plant, Soil and Environment. 1, 20-29.

Mussa, H.R., 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt stressed maize (*Zea mayz* L.). Journal of Agriculture and Biology. 2, 293-297.

Oncel, I., Keles, Y., Ustun, A.S., 2000. Interactive of temperature and heavy metal stress on the growth and some biological compounds in wheat seedling. Journal of Environmental Pollution. 107, 315- 320.

Pessarakli, M., 2001. Handbook of Plant and Crop Physiology. 2nd Ed. Marcel Dekker, Inc. New York. 997 pp.

Qandi, A., Jalali, A.H., 2014. Effect of Mild Drought Stress on Growth Characteristics of Wheat Cultivars. Electronic Journal of Crop Production. 26, 134-117. [In Persian with English summary].

Royo, C. Abaza, M., Blanco, R., Garcia del Moral, L.F., 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. Australian Journal of Plant Physiology. 27, 1051-5059.

Shalini, V., Duey. R.S., 2003. Lead toxicity induced lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in. Journal of Plant Science. 4, 645-655.

Sliman, Z.T., Refay, Y.A., Mostafa, K.A., 1994. Effects of cycocel rate and time of application on performance of two bread wheat cultivars. Research Bulletion. 44, 5-19.

Tale Ahmad, S., Haddad, R., 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 1, 17-27.

Turkan, I., Bor, M., Ozdermir, F., Koca. B., 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P.*

vulgaris L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Journal of Plant Science. 168, 223-231.

Wahbi, N., Emam, Y., Pyristor Anousheh, H., 2017. Improvement of wheat growth and performance using claramocate chloride and salicylic acid and jasmonic acid in under water stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 1, 124-135. [In Persian with English summary].

Zadokes, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research. 14, 415-421.

Zuccarini, P., 2008. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. 23, 1-24.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 3, p. 829-843
Fall 2020
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2251.1572

Original article

Effect of foliar application of silicone on biochemical traits and yield of two wheat cultivars under late season drought stress conditions

S. Rezabeigi[1], E. Bijanzadeh[*2], A. Behpouri[3], V. Barati[3]

1. M.Sc. Student of Agroecology, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran
2. Associate Professor, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran

Received 3 February 2019; Accepted 10 March 2019

Abstract

In order to investigate the effect of silicon application on biochemical traits and yield of wheat cultivars under late season drought stress conditions, a field experiment was conducted as split factorial experiment in a completely randomized block design in 2017-2018 growing season. Experimental treatments consisted of drought stress in two levels included normal irrigation and drought stress at the end of flowering, silicon (Si) spraying at 0, 1, 2, and 3 mM and two wheat cultivars (Chamran and Shabrang). Results showed that the main effects of late season drought stress, cultivar and silicon, had a significant effect on chlorophyll a and b contents, peroxidase and catalase enzymatic activity, and grain yield. Under drought stress, application of 3mM Si increased 44 and 41% of chlorophyll a and b contents compared to no application of Si, respectively. Also, enzymatic activity of peroxidase and catalase increased 35 and 52% at 3mM Si and drought stress conditions, respectively. Under drought stress and no application of Si, chlorophyll a and b contents reduced 55 and 58%, respectively. In Chamran cultivar, foliar application of Si at 3 mM increased chlorophyll a and b contents, and peroxidase and catalase activities as 54.9, 37.8, 44.8, and 46.7% respectively, so that caused 19.7% increase in grain yield compared to Shabrang cultivar. Overall, foliar application of 3 mM silicon by improving biochemical characteristics of wheat can play a main role in grain yield increasing especially under drought stress conditions.

***Keyword*:** Catalase, Chamran cultivar, Peroxidase, Photosynthetic pigments

[*]Correspondent author: Ehsan Bijanzadeh; E-Mail: bijanzd@shirazu.ac.ir.