دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال سیزدهم، شماره چهل و چهارم، ۱۴۰۰

اثر سیلیکون و کود زیستی نیتروکارا بر پارامترهای مورفوفیزیولوژیک گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

مهرداد عرب اول[۱]، حمیدرضا گنجعلی[۲]

دریافت: ۹۹/۸/۸ پذیرش: ۹۹/۸/۲۱

چکیده

به منظور مطالعه اثر محلول‌پاشی سیلیکون و کود زیستی نیتروکارا بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل، طی دو سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زابل اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل تنش رطوبتی (آبیاری پس از تخلیه رطوبتی ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی سیلیکون در سه سطح صفر، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار و کود زیستی نیتروکارا در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح در کرت‌های فرعی بودند. نتایج آزمایش نشان داد عدم تلقیح بذور با نیتروکارا تحت رژیم آبیاری ۵۰ درصد و تلقیح بذور تحت رژیم آبیاری ۷۵ درصد در سال دوم اجرای آزمایش، منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب با میانگین ۱۹۰۱/۵ و ۱۸۹۲/۳ گرم در مترمربع گردید. بیشترین بیوماس کل مربوط به تلقیح بذور با نیتروکارا به همراه استفاده از ۱ میلی‌مولار سیلیکون در سال دوم آزمایش تحت رژیم آبیاری ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی (۸۷۹۳/۳ گرم در مترمربع) بود. به‌طور کلی، تحت شرایط کم‌آبیاری، استفاده از کود زیستی نیتروکارا و محلول‌پاشی سیلیکون منجر به بهبود پارامترهای فیزیولوژیکی و افزایش شاخص‌های رشدی و عملکردی گندم در شرایط اقلیمی سیستان گردید.

واژه‌های کلیدی: بیوماس، تنش خشکی، شاخص کلروفیل، فلورسانس کلروفیل، وزن هزار دانه

عرب اول، م. و ح.ر. گنجعلی. ۱٤۰۰. اثر سیلیکون و کود زیستی نیتروکارا بر پارامترهای مورفوفیزیولوژیک گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ٤٤: ۱۰۱-۹۰.

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، زاهدان، ایران

۲- حمیدرضا گنجعلی، استادیار گروه کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، زاهدان، ایران- مسئول مکاتبات.
hr.ganjali.zahedan@gmail.com

مقدمه

به‌طور میانگین ۳۲ درصد از مناطق کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) در کشورهای در حال توسعه، انواع مختلفی از تنش خشکی را در طول فصل رشد تجربه می‌کنند (خواجه و همکاران، ۱۳۹٤). کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و میانگین بارندگی آن در حدود یک سوم میانگین جهانی است، بنابراین با تنش‌های خشکی و خشک‌سالی‌های متناوبی درگیر است (دروگر و همکاران، ۱۳۹۸). بخش کشاورزی در منطقه سیستان ایران وابستگی شدیدی به آورد رودخانه هیرمند دارد که نوسانات آبی بسیار شدیدی دارد و تولیدات بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شهبازبگیان و باقری، ۱۳۹۵).

کمبود آب مهم‌ترین فاکتور محیطی مؤثر بر رشد و تولید گیاهان زراعی در مناطق نیمه‌خشک دنیا است. امروزه دستیابی به معیارهای فیزیولوژیک معتبر، سریع و مرتبط با عملکرد در جهت بهبود مقاومت به خشکی حائز اهمیت است (چن و همکاران، ۲۰۱۰). قرارگیری گیاه در معرض تنش خشکی سبب کاهش پتانسیل آب برگ، محتوی نسبی آب و مقدار تعرق و سبب افزایش دمای برگ می‌گردد (ناروئی راد و همکاران، ۲۰۱۲). شواهدی در دست است که تنش آبی، میزان کلروفیل و جذب نور توسط گیاه را کاهش می‌دهد و لذا کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای فتوسنتز به‌حساب آید (بهرا و همکاران، ۲۰۰۲). حفظ کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز در شرایط تنش کمک خواهد کرد (سلما و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به اثرات کاهنده تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی، مطالعه روش‌های کاهش دهنده اثرات منفی ناشی از تنش بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی ضروری به نظر می‌رسد.

سیلیکون از جمله ترکیباتی است که باعث کاهش زیان‌های ناشی از تنش خشکی می‌شود (عسکرنژاد و همکاران، ۲۰۱۹). تحقیقات نشان داده است که سیلیکون تنش‌های غیر زیستی شامل تنش‌های شیمیایی (نمک، سمیت فلزات و عدم تعادل غذایی) و تنش‌های فیزیکی (بارگیری، خشکی، دمای بالا، یخزدگی و اشعه ماوراءبنفش) را کاهش می‌دهد (کیم و همکاران، ۲۰۱۱). اثر مثبت سیلیکون در گیاهان بیشتر مربوط به افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است. این عنصر باعث بهبود فرآیند فتوسنتز و همچنین افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل در شرایط تنش می‌گردد (ما و یاماجی، ۲۰۰٦). محققان متعددی کاهش تنش اکسیداتیو ایجاد شده در اثر عوامل تنش‌زای محیطی مختلف با تغذیه سیلیکون را گزارش کردند (عسکرنژاد و همکاران، ۲۰۱۹). پژوهشگران گزارش کردند که گیاهان تحت تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون، بیشترین وزن تر اندام هوایی و محتوای کلروفیل گل گاوزبان را نشان داد (ترابی و همکاران، ۲۰۱۳).

استفاده از کودهای زیستی علاوه بر کاهش اثرات مخرب کودهای شیمیایی، منجر به تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش‌های غیر زنده از جمله خشکی و شوری می‌شود (سید شریفی و سید شریفی، ۱۳۹۸). این کودها شامل سلول‌های زنده از سویه‌های کارآمد میکروارگانیسم‌ها هستند و از طریق اثرات متقابل‌شان با محیط ریشه به جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان کمک می‌کنند (امیری و همکاران، ۲۰۱۳). تأثیر مثبت کودهای زیستی می‌تواند ناشی از تأثیر میکروارگانیسم‌ها روی فعالیت‌های فیزیولوژیکی، متابولیکی گیاه و نیز تثبیت نیتروژن باشد. بخشی دیگر از این اثر افزایشی کودهای بیولوژیک روی رشد گیاهان را نیز می‌توان به بهبود کارایی گیاه در اثر ترشح هورمون‌هایی نظیر اکسین و سیتوکینین که جذب آب و مواد غذایی را تحریک می‌کنند نسبت داد (الزینی، ۲۰۰۷). پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد کودهای بیولوژیک منجر به بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گندم از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش حاصل‌خیزی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای جذب توسط گیاه شدند (احمد و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به اهمیت گندم و اثرات منفی تنش خشکی (کمبود آب)، پژوهش حاضر با هدف مطالعه پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی گندم به کاربرد سیلیکون و کود زیستی نیتروکارا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در منطقه سیستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زابل اجرا گردید. سیستان در شرق ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان در ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ٦۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ٦۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مساحت سیستان ۱۵۱۹۷ کیلومترمربع است که ۵۵٦۰ کیلومترمربع

آن را دریاچه هامون و اراضی مشرف به دریاچه هامون تشکیل می-دهد (شهرکی و همکاران، ۲۰۱۸). تیمارهای آزمایش شامل تنش رطوبتی شامل آبیاری پس از تخلیه رطوبتی ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (در کرت‌های اصلی) و محلول‌پاشی اسید سیلیکون در سه سطح صفر، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار و کود زیستی نیتروکارا (تلقیح و عدم تلقیح) به‌صورت یک لیتر در هکتار به‌صورت بذرمال (در کرت‌های فرعی) بود. قبل از کاشت به‌منظور بهبود وضعیت حاصل‌خیزی خاک (براساس آزمون خاک) کود آمونیم فسفات به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در مراحل پنجه‌زنی و ساقه رفتن در کلیه کرت‌ها اعمال گردید (جدول ۱). عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر بود. سپس اقدام به کرت‌بندی در ابعاد ۲×۳ مترمربع شد و بذرها گندم رقم هامون در ردیف‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متری و در عمق یک سانتی‌متری خاک با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع کشت شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه TDR[1] استفاده شد و زمانی که رطوبت خاک به هر یک از مقادیر مشخص شده رسید، آبیاری به روش کرتی انجام شد.

کود بیولوژیک مورد استفاده نیتروکارا (نام علمی باکتری تثبیت کننده نیتروژن *Azorhizobium caulinodans*) به‌صورت بذرمال می‌باشد که به میزان 10^9 CFU/g در بسته-های کود بیولوژیک تولید می‌شوند. برای استفاده کودهای بیولوژیک ۱۰۰ گرم کود بیولوژیک در پنج لیتر آب مقطر حل گردید و قبل از کشت بر اساس تیمارها بذور با محلول آغشته شد. محلول‌پاشی سیلیکون طی سه مرحله در فصل رشد گیاه (قبل از پنجه‌زنی، پایان پنجه‌زنی و قبل از گل‌دهی) انجام گرفت. محلول‌پاشی‌ها در بعد از ظهر و در هوای صاف و ملایم به دلیل تأثیر بهتر محلول‌پاشی‌ها اعمال گردید.

اندازه‌گیری برخی صفات فیزیولوژیکی از قبیل غلظت کلروفیل، فلورسانس کلروفیل و دمای کانوپی قبل از برداشت نهایی و در مراحل انتهایی گلدهی انجام شد. غلظت کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (اسپد مدل SPAD 502 PLUS) از برگ‌های جوان و انتهایی (برای هر بوته از ۱۰ نمونه) انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، در انتهای گلدهی از سطح جوان‌ترین برگ توسعه یافته گیاهان، با قرار گرفتن گیره بر روی آن‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفت، سپس با استفاده از دستگاه فلورومتر قابل حمل (مدل OS-30 ساخت شرکت OPTI SCIENCES) پارامترهای فلورسانس از قبیل فلورسانس کمینه (Fo)، فلورسانس بیشینه (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv) و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Quantum yield of photosystem II : Fv/Fm) محاسبه و یادداشت-برداری شدند. به‌منظور برداشت نهایی، بعد از حذف اثرات حاشیه، از هر کرت چهار ردیف میانی برداشت شده و اندازه‌گیری ارتفاع بوته، بیوماس کل، عملکرد دانه و وزن هزار دانه صورت گرفت. نرمال‌سازی داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون‌های Kolmogorov-Smirnov و ShapiroWilk test و تجزیه واریانس آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

1 Time Domain Reflectometry

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش

pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	ماده آلی (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	رس (٪)	لای (٪)	شن (٪)	بافت خاک
۷/۵	۱/۶	۱/۶۳	۰/۰۷	۱۰/۴	۱۴۸	۳۰	۲۸	۴۲	رسی‌لومی

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کاربرد نیتروکارا و سیلیکون بر برخی صفات مورفو-فیزیولوژیکی گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت کلروفیل	عملکرد کوانتومی فتوسیستم II	دمای کانوپی	ارتفاع بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	بیوماس کل
سال	۱	^{ns}۱۱/۴۰	۰/۳۲**	۲۴/۰۸*	۶۱۱/۵۶**	۲۳۷/۰۳**	۱۱۱۱۹۷۳/۲۰	۶۰۲۰۸/۳۳
تکرار (سال) (خطای اصلی)	۴	۳/۹۶	۰/۰۰۰۰۳	۲/۵۷	۱۷/۶۴	۶/۶۰	۶۲۲۷۳۹/۸۸	۳۰۸۶۷۴/۰۷
رژیم آبیاری	۲	^{ns}۹۰/۳۸	^{ns}۰/۰۰۲	^{ns}۲/۶۷	۲۷۵/۳۷**	۷۴/۰۸**	۱۴۳۱۱۶۲/۶۵**	۱۰۰۲۶۷۶۷/۵۹**
سال× رژیم آبیاری	۲	^{ns}۲۹/۸۰	^{ns}۰/۰۲۸	۵۲/۷۵**	۲۳۰/۶۲**	۱۶/۲۳*	^{ns}۱۵۹۸۴۷/۹۶	۲۹۴۲۳۶۰۸/۳۳**
خطای فرعی	۸	۲۵/۹۹	۰/۰۲۴	۱/۸۶	۳/۵۶	۲/۶۹	۱۳۶۵۸۳/۸۷	۵۵۷۷۰۱/۸۵
نیتروکارا	۱	۱۱/۴۰**	۰/۲۶**	۲۴/۰۸**	^{ns}۷/۲۵	^{ns}۰/۳۳	^{ns}۲۸۶۳/۴۰	۲۹۰۴۱۱۲/۰۴*
سیلیکون	۲	۲۰۶/۷۱**	۰/۰۰۵**	۷/۰۰**	۱۰/۸۴*	۵۲/۵۲**	^{ns}۱۰۸۰۱/۱۸	۸۰۸۴۹۴۵/۳۷**
سال×نیتروکارا	۱	۳۲۶/۹۱**	۰/۳۲**	۶/۷۵*	۱۳۳/۳۳**	۳۵/۵۹*	۲۷۹۳۶۹/۹۱**	^{ns}۵۲۰۸/۳۳
رژیم آبیاری ×نیتروکارا	۲	۵/۱۷*	۰/۰۱**	۱۴/۲۵**	۳۸/۸۴**	۳۸/۰۸**	۳۹۴۲۷۴/۳۸**	^{ns}۱۷۴۹۹۳۴/۲۶
سال× سیلیکون	۲	^{ns}۳/۳۰	۰/۰۰۸**	۲۵/۰۸**	^{ns}۱/۸۴	۲۸/۴۵**	^{ns}۶۹۷۶۸/۱۹	۵۵۱۷۹۸۶/۱۱**
رژیم آبیاری×سیلیکون	۴	۱۵/۳۱**	۰/۰۰۳**	۵/۸۰**	^{ns}۳/۷۶	^{ns}۱۱/۴۴	^{ns}۴۶۸۷۱/۳۶	۴۹۶۱۶۲۱/۷۶**
نیتروکارا×سیلیکون	۲	^{ns}۳/۳۰	۰/۰۰۴**	^{ns}۱/۰۸	^{ns}۲/۸۱	^{ns}۱۲/۶۹	^{ns}۳۱۹۲۴/۹۹	۳۹۷۰۶۶۷/۵۹**
سال×نیتروکارا×سیلیکون	۲	۷۰/۳۴**	^{ns}۰/۰۰۰۸	^{ns}۰/۱۹	^{ns}۱/۰۰	^{ns}۸/۶۲	^{ns}۲۰۹۴۰/۳۹	^{ns}۵۸۲۷۰۸/۳۳
سال× رژیم آبیاری×نیتروکارا	۲	^{ns}۰/۲۰	۰/۰۰۴**	^{ns}۲/۰۲	۵۹/۸۴**	^{ns}۱۱/۵۶	۲۱۱۹۸۶/۸۷**	۵۹۰۶۷۷۵/۰۰**
سال× رژیم آبیاری×سیلیکون	۴	^{ns}۲/۸۷	۰/۰۰۲*	۷/۷۰**	^{ns}۱/۳۵	^{ns}۶/۷۳	**۵۹۰۱۵۸/۱۹	۸۰۰۲۲۴۰/۲۸**
رژیم آبیاری×نیتروکارا×سیلیکون	۴	^{ns}۳/۲۶	^{ns}۰/۰۰۱	^{ns}۱/۶۲	^{ns}۲/۲۹	۲۸/۵۲**	^{ns}۲۴۴۴۰/۴۳	۵۵۹۱۶۳۵/۶۵**
سال× رژیم آبیاری×نیتروکارا×سیلیکون	۴	۲۵/۹۸**	^{ns}۰/۰۰۱	۳/۸۴*	^{ns}۴/۸۹	۴۰/۹۲**	^{ns}۷۷۵۰/۸۱	۶۵۵۰۵۸۷/۵۰**
خطای فرعی فرعی	۶۰	۱/۴۷	۰/۰۰۰۸	۱/۰۶	۲/۳۳	۵/۴۰	۳۵۲۶۴/۸۲	۵۷۹۳۷۵/۹
ضریب تغییرات (٪)		۲/۳۶	۴/۱۹	۵/۳۴	۱/۸۸	۶/۹۷	۱۲/۶۸	۱۶/۲۰

ns: غیر معنی‌دار، *و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح آماری ۵ و ۱ درصد

نتایج و بحث

غلظت کلروفیل

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های دو ساله نشان داد که اثر متقابل سال اجرای آزمایش، رژیم آبیاری، کود زیستی نیتروکارا و سیلیکون بر غلظت کلروفیل بر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین محتوی کلروفیل از ۴۵/۶۰ تا ۵۷/۶۰ درصد متغیر بود. در مقایسه میانگین اثر متقابل، بیشترین غلظت کلروفیل در سال اول مربوط به ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی تحت شرایط کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون و عدم تلقیح کود زیستی (با میانگین ۵۷/۶۰ درصد) بود ولی در سال دوم، بالاترین غلظت در کاربرد ۱/۵ میلی-مولار سیلیکون و استفاده از کود نیتروکارا تحت رژیم آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی (با میانگین ۵۷/۶۰ درصد) مشاهده شد. کمترین غلظت کلروفیل نیز در بالاترین سطح تنش خشکی (۵۰

درصد تخلیه رطوبتی) و تلقیح بذر با نیتروکارا و عدم استفاده از سیلیکون با میانگین ٤٥/٦۰ درصد بود (جدول ۳). نتایج به دست آمده نشان داد که تنش جزئی منجر به افزایش غلظت کلروفیل در برگ گندم می‌گردد. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل این امر، اثر تحریک کنندگی تنش خشکی جزئی و افزایش سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌منظور افزایش میزان سنتز مواد متابولیکی باشد. کاهش در میزان کلروفیل‌ها در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌شوند (شولتز و فنگمیر، ۲۰۰۱).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × رژیم‌های آبیاری × کود زیستی نیتروکارا × سیلیکون بر غلظت کلروفیل در گندم

سال	رژیم آبیاری	نیتروکارا	سیلیکون		
			صفر میلی‌مولار	یک میلی‌مولار	۱/۵ میلی‌مولار
اول	۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	٤۹/۳۳$^{f-i}$	۵۳/۱٦^{cde}	۵۳/۱۳^{cde}
		عدم تلقیح	٤۵/۹۳^{j}	۵۰/٦۰$^{e-h}$	۵۲/٦۰$^{c-f}$
	۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۵۳/۷۰$^{b-e}$	۵٤/۷۰$^{a-d}$	۵٤/۷۰$^{a-d}$
		عدم تلقیح	٤۵/٦۰^{j}	٤۹/٦۰$^{f-i}$	۵۷/٦۰^{a}
	۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	٤۸/۹۳$^{g-j}$	۵۱/۹۳$^{d-h}$	۵۳/٦٦$^{b-e}$
		عدم تلقیح	٤٦/٦٦^{ij}	٤۸/٦۰^{hij}	۵۰/٦۰$^{e-h}$
دوم	۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	٤۵/٦۰^{j}	۵۲/٦۰$^{c-f}$	۵٤/٦۰$^{a-d}$
		عدم تلقیح	۵۵/۷۰^{abc}	۵۵/۵۰^{abc}	۵۷/۰۰^{ab}
	۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	٤۵/٦۰^{j}	٤۹/٦۰$^{f-i}$	۵۷/٦۰^{a}
		عدم تلقیح	۵۳/۷۰$^{b-e}$	۵٤/۷۰$^{a-d}$	۵٤/۷۰$^{a-d}$
	۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	٤۷/۰۰^{ij}	٤٦/٦۰^{ij}	٤۸/٦۰^{hij}
		عدم تلقیح	۵۰/٦۰$^{e-h}$	۵۲/۰٦$^{d-g}$	۵۱/۰۰$^{e-h}$

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

عملکرد کوانتومی فتوسیستم II

براساس نتایج اثرات سال، نیتروکارا، سیلیکون و اثرات متقابل سال در نیتروکارا، رژیم آبیاری در نیتروکارا، سال در سیلیکون، رژیم آبیاری در سیلیکون، نیتروکارا در سیلیکون، سال در رژیم آبیاری در نیتروکارا و همچنین سال در رژیم آبیاری در سیلیکون بر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر) معنی‌دار بودند (جدول ۲). اگر بیشتر انرژی مولکول برانگیخته به‌صورت انرژی گرمایی یا فلورسانس ساطع شود، انرژی برای واکنش‌های فتوشیمیایی کمتر می‌شود. در نتیجه تولید و ذخیره فرآورده‌های انتقال الکترون یعنی NADPH و ATP در واکنش-های نوری فتوسنتز کاهش و لذا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش پیدا می‌کند (قنبری و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهشی روی لوبیا بیان شد که هرچه فلورسانس کلروفیل لاین‌های لوبیا کمتر باشد، از نور دریافتی استفاده بیشتری می‌کنند و مقاومت بیشتری به خشکی خواهند داشت (مثوب و همکاران، ۲۰۱۷). تغییر میزان فعالیت فتوسیستم II و همچنین تخریب ساختمان پروتئین D1 موجود در فتوسیستم II در نتیجه افزایش فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش خشکی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج حاصل از بررسی‌ها مؤید این است که کمپلکس آزاد کننده اکسیژن فتوسیستم II و مراکز واکنش فتوسیستم II تحت تنش خشکی تخریب می‌شوند. اثرتخریبی تنش خشکی بر پروتئین D1 که در ساختمان فتوسیستم II قرار دارد نیز گزارش شده است (زلاتف و یوردانف، ۲۰۰٤).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × رژیم‌های آبیاری × سیلیکون بر صفت عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در گندم

تنش خشکی	سیلیکون (میلی‌مولار)	سال	
		اول	دوم
۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	صفر	۰/٦۰^{de}	۰/۷۰$^{a-d}$
	۱	۰/٦۷$^{a-e}$	۰/۷۳^{ab}
	۱/۵	۰/٦۷$^{a-e}$	۰/٦٦$^{a-e}$
۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	صفر	۰/٦۰^{de}	۰/۷۳^{ab}
	۱	۰/٦۰^{de}	۰/۷۱$^{a-d}$
	۱/۵	۰/٦۲$^{b-e}$	۰/۷۲^{abc}
۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	صفر	۰/۵٦^{e}	۰/۷۵^{a}
	۱	۰/٦۲$^{b-e}$	۰/۷۵^{a}
	۱/۵	۰/٦۱^{cde}	۰/۷٦^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سال×رژیم‌های آبیاری × کود زیستی نیتروکارا × سیلیکون بر میزان دمای کانوپی (سانتی‌گراد) در گندم

سال	رژیم آبیاری	نیتروکارا	سیلیکون		
			صفر میلی‌مولار	یک میلی‌مولار	۱/۵ میلی‌مولار
اول	۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۲۰/٦٦^{bc}	۲۰/۰۰$^{b-e}$	۲۲/٦٦^{a}
		عدم تلقیح	۲۱/۰۰^{ab}	۲۰/۳۳^{bcd}	۲۲/٤٦^{a}
	۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۱۸/٦٦$^{d-g}$	۲۰/۳۳^{bcd}	۲۱/۰۰^{ab}
		عدم تلقیح	۱۸/٦٦$^{d-g}$	۲۰/۳۳^{bcd}	۲۰/۳۳^{bcd}
	۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۱۷/۳۳^{g}	۲۰/۰۰$^{b-e}$	۱۹/٦٦$^{b-f}$
		عدم تلقیح	۱٤/٦٦^{h}	۱۹/۰۰$^{c-g}$	۱۹/۳۳$^{b-f}$
دوم	۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۱۹/۳۳$^{b-f}$	۱۹/۰۰$^{c-g}$	۱٤/٦٦^{h}
		عدم تلقیح	۱۸/۰۰^{fg}	۱۸/۳۳^{efg}	۱۷/۳۳^{g}
	۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۲۰/۰۰$^{b-e}$	۲۰/۳۳^{bcd}	۱۹/۰۰$^{c-g}$
		عدم تلقیح	۱۸/٦٦$^{d-g}$	۱۸/٦٦$^{d-g}$	۱۸/۰۰^{fg}
	۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۲۱/۰۰^{ab}	۲۰/۳۳^{bcd}	۲۲/۳٦^{a}
		عدم تلقیح	۱۸/۰۰^{fg}	۱۸/۳۳^{efg}	۱۸/۰۰^{fg}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

دمای کانوپی

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر سال اجرای آزمایش در رژیم‌های آبیاری در نیتروکارا در سیلیکون بر دمای کانوپی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از سیلیکون (۱/۵ میلی‌مولار) منجر به افزایش دمای کانوپی می‌شود. در سال اول، بالاترین دمای کانوپی مربوط به کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون و کاربرد و عدم کاربرد نیتروکارا تحت رژیم آبیاری ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی (به‌ترتیب ۲۲/٦٦ و ۲۲/٤٦ سانتی‌گراد) بود. نتایج حاصل از تحقیقات بیانگر آن است که برگ‌ها ساقه‌های گیاه برنج کشت شده در حضور سیلیسیم، رشد مستقیم داشته که در نتیجه آن توزیع نور به داخل کانوپی به‌طورگسترده‌ای بهبود یافته است (داتنوف و همکاران، ۱۹۹۲؛ اپستین، ۱۹۹٤).

ارتفاع بوته

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر سال، رژیم آبیاری، سال در رژیم آبیاری، سال در نیتروکارا، رژیم آبیاری در نیتروکارا، و سال در رژیم آبیاری در نیتروکارا بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بودند. تلقیح بذر با نیتروکارا در سال اول و عدم تلقیح در سال دوم تحت رژیم آبیاری ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی منجر به تولید بالاترین ارتفاع بوته گندم (به‌ترتیب با میانگین ۸٤/۷۷ و ۸۵/۳۳ سانتی‌متر) گردید. همچنین تلقیح بذر با نیتروکارا در سطح رطوبتی ۷۵ درصد در سال اول نیز، بالاترین ارتفاع بوته (۸٤/٦٦ سانتی‌متر) را داشت. عدم تلقیح بذر با نیتروکارا در سال دوم تحت رژیم رطوبتی ۹۰ درصد تخلیه کمترین ارتفاع بوته را با میانگین ۷۱/٤٤ سانتی‌متر نشان داد (جدول ٦). در تحقیقات مختلفی روند کاهشی ارتفاع گیاه با افزایش تنش خشکی گزارش شده است (حسن زاده دلویی و همکاران، ۲۰۱۳). تنش کم‌آبی، با اختلال در فرآیندهای فتوسنتزی و کاهش تولید موارد پرورده جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد، مانع از دستیابی به پتانسیل کامل گیاه می‌شود. همچنین تنش خشکی در زمان ارتفاع-گیری گیاه سبب می‌شود رقابت برای جذب آب بین بخش هوایی و زمینی در بوته افزایش یابد و در این رقابت، گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی کمتری به بخش هوایی از جمله ساقه رسیده که این روند باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود (عسکرنژاد و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × رژیم‌های آبیاری × کود زیستی نیتروکارا بر روی صفت ارتفاع بوته (سانتی‌متر) در گندم

رژیم آبیاری	نیتروکارا	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)		عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۸٤/۷۷^{a}	۷۹/۵۰^{c}	۱٤۲۸/۲^{cd}	۱۳۹۷/۸^{cd}
	عدم تلقیح	۸۲/۸۸^{b}	۸۵/۳۳^{a}	۱٤۲۸/۲^{cd}	۱۹۰۱/۵^{a}
۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۸٤/٦٦^{a}	۷۸/۸۳^{c}	۱۵۱۱/٤^{bc}	۱۸۹۲/۳^{a}
	عدم تلقیح	۸۲/۵۵^{b}	۸۳/۸۳^{ab}	۱٤٤۹/٦^{cd}	۱۷۲۰/۷^{ab}
۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۸۳/۸۸^{ab}	۷٤/۰۵^{d}	۱۳۳۳/٤^{cde}	۱۲۸٦/۷^{de}
	عدم تلقیح	۸۲/۷۷^{b}	۷۱/٤٤^{e}	۱۱۲۱/۰^{e}	۱۲۹۰/٦^{de}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه مرکب (سال) حاکی از اثر معنی‌دار سال در رژیم آبیاری در نیتروکارا در سیلیکون بر وزن هزار دانه گندم در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که تلقیح بذر گندم با نیتروکارا و عدم کاربرد سیلیکون تحت رژیم آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی منجر به ایجاد بالاترین وزن هزار دانه با میانگین ۳۹/٦٦ گرم گردید که افزایش ۲۹/۳ درصدی در مقایسه با کمترین میانگین وزن هزار دانه داشت. نتایج نشان داد که استفاده از ۱ میلی‌مولار سیلیکون تحت شرایط کم آبیاری منجر به افزایش وزن هزار دانه گردید (جدول ۷). تنش خشکی باعث کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم دانه در قاعده و رأس سنبله شده و در نهایت وزن دانه کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تنش خشکی پس از گلدهی طول دوره پر شدن دانه را کوتاه‌تر کرده و موجب کاهش وزن دانه‌ها می‌گردد (گوتیری و همکاران، ۲۰۰۱). افزایش وزن هزار دانه گندم در اثر تلقیح با کودهای زیستی در مقایسه با عدم تلقیح در یافته‌های سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (مالیک و همکاران، ۲۰۱۲).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سال در رژیم آبیاری در نیتروکارا و همچنین سال در رژیم آبیاری در سیلیکون بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر متقابل، عدم تلقیح بذر با نیتروکارا تحت رژیم آبیاری ۵۰ درصد و تلقیح بذر تحت رژیم آبیاری ۷۵ درصد منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه گندم به ترتیب با میانگین ۱۹۰۱/۵ و ۱۸۹۲/۳ گرم در مترمربع گردید. به

عبارت دیگر، کاربرد کود زیستی در تیمار کم‌آبیاری از کارایی بالاتری برخوردار بود. عدم تلقیح بذر با نیتروکارا تحت رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی با میانگین ۱۱۲۱/۰ گرم در مترمربع، کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که در مقایسه با بالاترین عملکرد، کاهش ٤١/٠٥ درصدی داشت (جدول ٦).

نتایج مشابهی در مورد سیلیکون از نظر عملکرد دانه مشاهده شد به‌طوری که بالاترین عملکرد دانه در کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون تحت رژیم آبیاری ۷۵ درصد تخلیه (با میانگین ۱۹۲۷/۵ گرم در مترمربع) مشاهده شد و کمترین میانگین عملکرد دانه مربوط به کم‌آبیاری شدید (۹۰ درصد تخلیه رطوبتی) در تمامی سطوح سیلیکون بود (جدول ۸). کودهای بیولوژیک از طریق مکانیسم‌هایی مانند تثبیت بیولوژیک نیتروژن، تولید حل کننده فسفات، سیدروفور و هورمون‌های رشد از قبیل ایندول اسید استیک و جیبرلین باعث افزایش عملکرد دانه می‌شوند (کیزیلکایا، ۲۰۰۸). پژوهشگران گزارش کردند که تلقیح کودهای بیولوژیک از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و تولید هورمون-های رشد موجب افزایش پارامترهای رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گندم گردید (روزبه و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سال×رژیم‌های آبیاری × کود زیستی نیتروکارا × سیلیکون بر صفت در گندم

سال	تنش خشکی	نیتروکارا	سیلیکون		
		وزن هزار دانه (گرم)	صفر میلی‌مولار	یک میلی‌مولار	۱/۵ میلی‌مولار
اول	۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۳۸/۰۰^{abc}	۳۵/۳۳$^{b-e}$	۳٤/٦٦$^{c-f}$
		عدم تلقیح	۳۸/۰۰^{abc}	۳۲/۳۳$^{e-k}$	۳۷/٦٦$^{a-d}$
	۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۳۹/٦٦^{a}	۳٤/۳۳$^{c-g}$	۳٤/٦٦$^{c-f}$
		عدم تلقیح	۳۷/٦٦$^{a-d}$	۳٤/۳۳$^{c-g}$	۳۱/۳۳$^{f-l}$
	۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۳٦/۰۰$^{a-e}$	۳۲/۳۳$^{e-k}$	۳۳/۰۰$^{e-i}$
		عدم تلقیح	۳٤/۰۰$^{d-h}$	۳۳/۰۰$^{e-i}$	۳۰/۳۳$^{h-l}$
دوم	۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۳۰/٦٦$^{g-l}$	۲۸/۰۰^{l}	۲۹/۰۰^{jkl}
		عدم تلقیح	۳٤/٦٦$^{c-f}$	۳٤/۰۰$^{d-h}$	۳۳/۳۳$^{e-i}$
	۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۳۹/۰۰^{ab}	۳٦/۰۰$^{a-e}$	۲۸/۰۰^{l}
		عدم تلقیح	۲۹/۰۰^{jkl}	۳۳/٦٦$^{e-h}$	۳٦/۰۰$^{a-e}$
	۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	۲۸/٦٦^{kl}	۲۹/۰۰^{jkl}	۳۲/٦٦$^{e-j}$
		عدم تلقیح	۳۱/۳۳$^{f-l}$	۳۰/٦٦$^{g-l}$	۲۹/٦٦$^{i-l}$

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

بیوماس کل

نتایج به دست آمده نشان داد که اثر متقابل چهارگانه سال در رژیم آبیاری در نیتروکارا در سیلیکون بر بیوماس کل گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های نیز نشان داد که بیشترین بیوماس کل مربوط به تلقیح بذور با نیتروکارا به همراه استفاده از ۱ میلی‌مولار سیلیکون تحت رژیم آبیاری ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی (با میانگین ۸۷۹۳/۳ گرم در مترمربع) بود. تنش کم‌آبیاری شدید (۹۰ درصد تخلیه رطوبتی) در هر دو سال زراعی تحت شرایط عدم تلقیح بذر و عدم استفاده از سیلیکون دارای کمترین بیوماس تولیدی (به‌ترتیب با میانگین ۳۰۳۵/۳ و ۳۰۸۰/۰ گرم در مترمربع) بود که در مقایسه با بالاترین میانگین به‌ترتیب کاهش ٦٥/٤ و ٦٤/٩ درصدی را داشتند (جدول ۹). در پژوهشی با بررسی اثر تنش رطوبتی بر روی برخی غلات گزارش شده است که تنش آب، وزن خشک اندام‌های هوایی را

بیشتر از وزن خشک ریشه کاهش می‌دهد (پاپویچ و همکاران، ۲۰۰۳). کود بیولوژیک نیتروزنه نیتروکارا در تلفیق با کـود شـیمیایی اثر مثبتی بـر عملکرد و اجزای عملکرد گندم از جمله عملکرد زیستی داشت (امیری و همکاران، ۲۰۱۳) که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت داشت.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × رژیم‌های آبیاری × سیلیکون بر عملکرد دانه (گرم در متر مربع) گندم

تنش خشکی	سیلیکون (میلی مولار)	سال	
		اول	دوم
۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	صفر	۱٤٦٤/۸$^{c-h}$	۱٦٤٤/۰$^{a-d}$
	۱	۱۳۵۱/۲$^{d-h}$	۱۵۵۰/٦$^{b-f}$
	۱/۵	۱٤٦۸/۵$^{c-h}$	۱۷۵٤/۳^{abc}
۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	صفر	۱۵۳۰/۸$^{b-g}$	۱۷۰۳/۳^{abc}
	۱	۱۵۸۵/۸$^{b-e}$	۱۷۸۸/٦^{ab}
	۱/۵	۱۳۲٤/۸$^{e-h}$	۱۹۲۷/۵^{a}
۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	صفر	۱۲۳٦/٦^{h}	۱۳۳۷/۵$^{e-h}$
	۱	۱۲۱٤/٦^{h}	۱۲۷۲/۵^{fgh}
	۱/۵	۱۲۳۰/۵^{h}	۱۲۵۵/۸^{fgh}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × رژیم‌های آبیاری × کود زیستی نیتروکارا × سیلیکون بر بیوماس کل (گرم در متر مربع) در گندم

سال	رژیم آبیاری	نیتروکارا	سیلیکون		
			صفر میلی‌مولار	یک میلی‌مولار	۱/۵ میلی‌مولار
اول	۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	^{fgh}۳۸۳٤/٦	^{ghi}۳۵۲٤/۰	^{fgh}۳۷۵۳/۳
		عدم تلقیح	^{cde}٤۳۷۹/٦	^{def}٤۵۲۲/۳	$^{f-i}$۳٦۹۳/۳
	۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	$^{c-f}$٤۱٦۰/٦	^{ghi}۳٦۷۲/۰	$^{e-h}$٤۰٦۹/۰
		عدم تلقیح	^{fgh}۳۹۷۷/۳	^{fgh}۳۸۳٤/۳	$^{e-h}$٤۰۸۹/۳
	۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	$^{d-g}$٤۱۲۵/۰	$^{d-g}$٤۲۸۷/٦	^{ghi}۳٦٦۷/۰
		عدم تلقیح	^{j}۳۰۳۵/۳	^{ij}۳۲۲۳/٦	^{j}۳۰۸۳/۰
دوم	۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	^{ij}۳۲۰۰/۰	^{a}۸۷۹۳/۳	^{b}۵٦۳۳/۳
		عدم تلقیح	^{bcd}۵۱۳۳/۳	$^{b-f}$٤۸۵۰/۰	$^{g-j}$۳٤٦٦/٦
	۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	^{ab}۷۰۳۳/۳	$^{c-f}$٤۷۳۳/۳	$^{d-g}$٤۲۱٦/٦
		عدم تلقیح	$^{b-e}$۵۰۰۰/۰	^{bc}۵٤۸۳/۳	^{b}٦۰۳۳/۳
	۹۰ درصد تخلیه رطوبتی	تلقیح	^{ghi}۳۵٦٦/٦	^{ij}۳۲۰۰/۰	^{ghi}۳٦٦٦/٦
		عدم تلقیح	^{j}۳۰۸۰/۰	^{hij}۳۳۰۰/۰	^{fgh}۳۸۸۳/۳

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم‌آبیاری شدید (آبیاری در ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی) منجر به افت صفات رشدی و عملکردی گندم می‌گردد. ولی کاربرد کود زیستی نیتروکارا و محلول‌پاشی عنصر سیلیکون با تغییر مکانیسم‌های فیزیولوژیکی از قبیل افزایش غلظت کلروفیل و عملکرد کونتوامی فتوسیستم II منجر به افزایش پارامترهای رشدی و عملکردی گندم تحت شرایط تنش کم‌آبیاری گردید. نکته بسیار مهم اثر متفاوت کود زیستی در طی دو سال اجرای آزمایش بود که در سال دوم به دلیل شرایط مطلوب اقلیمی و خاکی از کارایی بالاتری برخوردار بود. به نظر می‌رسد مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیکی از جمله فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و سایر متابولیت‌ها در کاربرد سیلیکون به همراه کود زیستی تحت شرایط تنش خشکی در ادامه این پژوهش‌های ضروری است.

منابع

خواجه، م.، س. م. موسوی نیک، ع. سیروس مهر، پ. یداللهی و ا. امیری. ۱۳۹٤. اثر تنش خشکی و کاربرد برگی سیلیکون بر عملکرد دانه و رنگدانه‌های فتوسنتزی گندم در شرایط سیستان. مجله فیزیولوژی گیاهی. جلد ۷: ۵-۱۹.

دروگر، ح.، ب. فاخری، ن. مهدی نژاد و ر. محمدی. ۱۳۹۸. ارزیابی برخی از صفات بیوشیمیایی ارقام گندم وحشی تحت تاثیر تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد ۱۲، شماره ۲: ۸۵-۹۶.

روزبه، ر.، ج. دانشیان و ح. ا. فرح نیا. ۱۳۸۸. تاثیر سوپرنیترو پلاس بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم تحت تاثیر کاربرد کودهای NPK. مجله اصلاح نباتات و علوم زراعی. جلد ۱: ۲۹۳-۲۹۷.

سیدشریفی، ر. و ر. سیدشریفی. ۱۳۹۸. اثر کاربرد کود زیستی بر عملکرد، محتوای روعن و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی آفتابگردان در سطوح آبیاری مختلف. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی. جلد ۸: ۹۷-۱۰۷.

شهبازبگیان، م. و باقری، ا. ۱۳۹۵. تحلیل سیستمیک آسیب پذیری دشت سیستان در برابر گزینه‌های سیاست کمبود آب مبتنی بر رویکرد انعطاف پذیری. تحقیقات منابع آب ایران. جلد ۱۲: ٤۰-۵۵.

نصرآبادی، ح.، م. مرادی، و م . ن. مدودی. ۱۳۹۸. اثر باکتری‌های محرک رشد . اسید سالیسیلیک اسید بر جوانه زنی بذر و رشد دانهال خربزه تحت تاثیر تنش شوری. مجله علوم و تحقیقات بذر. جلد ۵: ۱۳۹-۱٤۹.

Ahmed, M., A. G. Ahmed, M. H. Mohamed and M. Tawfik. 2011. Integrated effect of organic and biofertilizers on wheat productivity in new reclaimed sandy soil. J. Agric. Biologic. Sci. 7: 105-114.

Amiri, F. F., M. Chorom and N. Enayatizamir. 2013. Effect of biofertilizer and chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in experimental greenhouse. J. Water Soil. 27: 441-451.

Askarnejad, M., H. Sodaeeizadeh, A. Mosleh Arani, R. Yazdani Biouki and P. Mavandi. 2019. Effect of silicon in improving drought tolerance of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under moisture stress. Environ. Stress Crop Sci. 12: 847-863.

Behera, R. K., P. C. Mishra and N. K. Choudhury. 2002. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. J. Plant Physiol. 159: 967-973.

Chen, Y., B. F. Carver, S. Wang, S. Cao and L. Yan. 2010. Genetic regulation of developmental phases in winter wheat. Molecular Breed. 26: 573-582.

Datnoff, L., G. Snyder and C. Deren. 1992. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and on rice yields. Plant Diseas. 76: 1011-1013.

El-Zeiny, O. 2007. Effect of biofertilizers and root exudates of two weed as a source of natural growth regulators on growth and productivity of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Agric. Biologic. Sci. 3: 440-446.

Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology, Proc. Nation. Academy Sci. 91: 11-17.

Ghanbari, A. A., M. R. Shakiba, M. Toorchi and R. Choukan. 2013. Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress. Europ. J. Experimen. Biol. 3: 487-492.

Guttieri, M. J., J. C. Stark, K. O'Brien and E. Souza. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Sci. 41: 327-335.

Hassanzadehdelouei, M., F. Vazin and J. Nadaf. 2013. Effect of salt stress in different stages of growth on qualitative and quantitative characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Cercetari Agronomice Moldova. 46: 89-97.

Khodabakhshi, N., A. Akhgar, D. P. Abbaszadeh and A. Tajabadipour. 2015. The effect of synorhizobium meliloti inoculation on nutrient uptake and growth of sesame plant. Soil Manag. Sus. Prod. 5: 225-238.

Kim, Y. H., A. L. Khan, M. Hamayun, S. M. Kang, Y. J. Beom and I. J. Lee. 2011. Influence of short-term silicon application on endogenous physiohormonal levels of *Oryza sativa* L. under wounding stress. Biological Trace Element Research. 144: 1175-1185.

Kızılkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with Azotobacter chroococcum strains. Ecologic. Engin. 33: 150-156.

Ma, J. F. and N. Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trend. Plant Sci. 11: 392-397.

Malik, A. U., A. L. Malghani and F. Hussain. 2012. Growth and yield response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to phosphobacterial inoculation. Rus. Agric Sci. 38: 11-13.

Mathobo, R., D. Marais and J. M. Steyn. 2017. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Agric. Water Manag. 180: 118-125.

Naroui Rad, M. R., M. A. Kadir and M. R. Yusop. 2012. Genetic behaviour for plant capacity to produce chlorophyll in wheat (*'Triticum aestivum'*) under drought stress. Aust. J. Crop Sci. 6: 415-421.

Popovic, R., D. Dewez and P. Juneau. 2003. Applications of chlorophyll fluorescence in ecotoxicology: heavy metals, herbicides, and air pollutants. in, Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology. Springer. Germany.

Salama, Z. A., F. K. El Baz, A. A. Gaafar and M. F. Zaki. 2015. Antioxidant activities of phenolics, flavonoids and vitamin C in two cultivars of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in responses to organic and bio-organic fertilizers. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 14: 91-99.

Schütz, M. and A. Fangmeier. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. Environ. Pollut. 114: 187-194.

Shahraki, M., A. Emamjomeh, B. Fakheri and N. B. Fazeli. 2018. Identification of genetic diversity between common Sistan wheat cultivars based on resistance genes to rust diseases by microsatellite marker. Agric. Sci. 8: 57-78.

Torabi, F., A. Majd, S. Enteshari and S. Irian. 2013. Study of effect of silicon on some anatomical and physiological characteristics of borage (*Borago officinalis* L.) in hydroponic conditions. J. Cell Tissue. 4: 275-285.

Zhang, Y., M. Hou, H. Xue, L. Liu, H. Sun, C. Li and X. Dong. 2018. Photochemical reflectance index and solar-induced fluorescence for assessing cotton photosynthesis under water-deficit stress. Biologia Plantarum. 62: 817-825.

Zlatev, Z. S. and I. T. Yordanov. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants, Bulg. J. Plant Physiol. 30: 3-18.

Effect of silicon and Nitrocara bio-fertilizer on morpho-physiological parameters of wheat under different irrigation regimes

M. Arab Aval[1], H.R. Ganjali[2]

Received: 2020-10-29 Accepted: 2020-11-11

Abstract

In order to study the effect of silicon foliar application and Nitrocara biofertilizer on some morpho-physiological traits of wheat under different irrigation regimes, an experiment was conducted as a factorial split-plot, during two cropping years in research farm of Islamic Azad University, Zabol Branch, Iran. Experimental treatments included water stress (irrigation regimes after water depletion of 50, 75, and 90% of field capacity) in the main plots and silicon acid foliar application at three levels of 0, 1 and 1.5 mM and Nitrocara biofertilizer in two levels of inoculation and non-inoculation (one liter per hectare as seed) in subplots were assessed. The results showed that the non-inoculate seeds with Nitrocara under 50% irrigation regime and seed inoculation under 75% irrigation regime in the second year of the experiment resulted in the highest wheat grain yield with an average of 1901.5 and 1892.3 g/m^2, respectively. The highest total biomass was related to the inoculation of seeds with Nitrocara along with the use of 1 mM silicon in the second year of the experiment under irrigation regime of 50% moisture depletion (8793.3 g/m^2). In general, under low irrigation conditions, the use of Nitrocara biofertilizer as well as silicon foliar application led to improved physiological parameters and increased growth and yield indices of wheat in Sistan climatic conditions.

Keywords: Biomass, drought stress, chlorophyll index, chlorophyll fluorescence, 1000-seed weight

[1]- PhD Candidate, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Zahedan Branch, Zahedan, Iran
[2]- Assistant Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Zahedan Branch, Zahedan, Iran