تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۳۱-۱۲۱

مقاله پژوهشی

تأثیر سیلیکون و سالسیلیک اسید بر عملکرد کمی و برخی خصوصیات کیفی برنج

عادله ثقفی[۱]، مصطفی حیدری[۲*]، منوچهر قلی پور[۲]، الهیار فلاح[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳- موسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران

* مسئول مکاتبه: haydari2005@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۳/۰۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.336740.1221**

چکیده

سیلیکون بعنوان یک عنصر و هم‌چنین سالیسیلیک اسید بعنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی نقش مهمی بر گیاهان بخصوص در شرایط تنش‌های محیطی دارند. به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون و سالیسیلیک اسید بر عملکرد کمی و برخی خصوصیات کیفی برنج (رقم شیرودی)، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقات برنج کشور (آمل) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی سیلیکون از منبع سیلیکات پتاسیم در سه سطح ۰، ۳ و ۶ سی‌سی در لیتر و سالیسیلیک اسید در چهار سطح ۰، ۰/۵، ۱و ۱/۵ میلی‌مولار در لیتر بودند. نتایج نشان داد سیلیکون تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت و استفاده از آن تنها بر اجزای عملکرد دانه همانند تعداد پنجه و تعداد دانه در خوشه معنی‌دار و سبب افزایش آن‌ها شد. این افزایش تا سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر بود. استفاده از سالیسیلیک اسید تا سطح ۰/۵ میلی‌مولار سبب افزایش ۱۷/۱۴ درصدی عملکرد دانه شد. اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید بر درصد نیتروژن و مقدار فسفر دانه معنی‌دار و بیشترین آن‌ها در تیمار ۶ سی‌سی سیلیکون و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بدست آمد. مقدار کلروفیل برگ تحت تأثیر تیمار سیلیکون و سالیسیلیک اسید قرار نگرفت اما مقدار سیلیکون برگ تنها تا سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر افزایش یافت (۱۸ درصد). از نتایج بدست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد استفاده از ۳ سی‌سی سیلیکون و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید از کارایی مناسبی در بهبود عملکرد دانه و برخی خصوصیات کمی و کیفی برنج رقم شیرودی برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه فتوسنتزی، سالسیلیک اسید، سیلیکون، عناصر معدنی

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین غلات جهان است که منحصراً به منظور مصرف انسان کشت می‌شود و در حال حاضر غذای اصلی بیش از نصف جمعیت جهان می‌باشد، بعد از گندم جایگاه دوم از نظر تولید در دنیا را دارد. دانه برنج که در تغذیه انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارای ۷/۷ درصد پروتئین و ۷۵/۲ درصد مواد غیر نیتروژن است. از نظر ارزش غذایی، میزان کالری تولیدی این گیاه به اکثر مواد غذایی مورد مصرف انسان برتری دارد (Chabra *et al*., 2006).

کاشت برنج در اراضی که از نظر مواد غذایی غنی باشند حائز اهمیت است. علاوه بر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی استفاده از عناصری همانند سیلیکون هم در تولید این گیاه ضروری است. سیلیکون نقش مهمی در حفاظت از گیاهان در برابر تنش‌های محیطی دارد و در خاک عمدتاً بصورت نامحلول است. سیلیکون دومین عنصر ساختمانی بعد از اکسیژن در پوسته زمین و خاک است که در گیاهان به عنوان عنصری غیر متحرک بوده و ضروری به شمار نمی‌رود. اما بسیاری از گیاهان عالی از جمله برنج برای رشد و نمو طبیعی به آن نیاز دارند (Richmond and Sussman, 2003). $Si(OH)_4$ فرم قابل جذب سیلیکون برای گیاهان است و برنج به عنوان گیاه تجمع‌کننده سیلیکون به شمار می‌رود بطوری‌که گاهاً تا ۱۰ درصد وزن خشک بخش هوایی این گیاه را شامل می‌شود (Ma and Takahashi, 2002). گزارش شده سیلیکون منجر به ایجاد کمپلکس لیگنین-کربوهیدرات در دیواره سلول‌های اپیدرم برگ برنج منجر می‌شود که جایگاه جذب فراوانی را برای عناصری همانند آهن فراهم می‌کند (Da Cunha and Do Nascimento, 2009). هم‌چنین سیلیکون با ترکیبات دیواره همانند پلی ساکاریدها و پروتئین ها ارتباط دارد و بین لیگنین

و کربوهیدرات‌ها پیوند برقرار می‌کند، از این‌رو سیلیکون در گیاه برنج انعطاف‌پذیری دیواره سلولی را در نواحی رشد زیاد اما در نواحی یقه‌ای انعطاف‌پذیری دیواره را کاهش می‌دهد (Hossain *et al*., 2002). گزارش شده اثرات این عنصر در شرایط تنش بیشتر به چشم می‌خورد زیرا سیلیکون توانایی آن را دارد که گیاهان را در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی محافظت نماید. این عنصر سبب سنتز پلی‌مرهای پلی‌ساکارید و نیز لیگنینی کردن دیواره سلول در گیاهان می‌شود و این امر در نهایت سبب استحکام ساقه‌ها می‌شود (Kim *et al*., 2011). افزودن کودهای سیلیکونی به خاک‌های آهکی و نیز خاک‌های دارای کمبود آهن، روی و منگنز نیز سبب بهبود رشد گیاهان می‌شود. گزارش شده استفاده از سلیکون در خاک‌های با کمبود آهن، روی و منگنز سبب بهبود رشد در گیاه خیار شد. در این شرایط سیلیکون سبب افزایش غلظت سیترات در ریشه گیاه محروم از روی شد در حالی‌که غلظت سیترات در برگ گیاه تغییر معنی‌داری نداشت (Bityutskii *et al*., 2014).

علاوه بر بهبود تغذیه، در سال‌های اخیر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد همانند اسید سالیسلیک و اسپرمین جهت مقاومت گیاهان در مقابل تنش‌های زنده و غیر زنده هم در تولید گیاهان زراعی توصیه می‌شود. این ترکیبات بر برخی از واکنش‌های متابولیسمی گیاهان تأثیر گذاشته از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و هم‌چنین افزایش میزان پلی آمین ها، صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهند (Nemeth *et al*., 2002). در همین راستا محققین (Farahbakhsh and Hamsaddin Saiid, 2009) گزارش کردند محلول‌پاشی ذرت با اسید سالیسلیک در شرایط تنش خشکی سبب افزایش وزن خشک گیاه، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و نیز محتوای کلروفیل برگ شد. اسید سالیسیلیک یا اسید اورتوهیدروکسی بنزوئیک از ترکیبات فنلی است و در تعداد زیادی از گیاهان در سلول‌های ریشه تولید می‌شود و ماده‌ای شبه هورمونی است که معمولاً با اثر بر هورمون‌های اتیلن و آبسیزیک اسید بر رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد و در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و تکامل گیاه، جذب یون، فتوسنتز و جولنه‌زنی نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. هم‌چنین این ماده یک نشانگر مولکولی قوی در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده محیطی به شمار می‌رود و نقش مهمی در مقاومت و نیز بهبود عملکرد در شرایط تنش دارد (Kang *et al*., 2003). محققین(Sepehri *et al*., 2015) در آزمایشی اثر تنش خشکی و سالیسلیک اسید را بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و کاربرد اسید سالیسلیک سبب بهبود رشد، اجزای عملکرد دانه و عملکرد دانه لوبیا در شرایط تنش خشکی شد.

با توجه به نقش سیلیکون در بهبود رشد و نمو گیاه برنج و تأثیری که این عنصر بر میزان مقاومت آن نسبت به آفات و امراض نیز دارد لذا هدف از انجام این آزمایش بررسی کاربرد سیلیکون به همراه محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سالیسلیک اسید بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد دانه و نیز غلظت عناصر معدنی در دانه برنج بوده است. از آنجائی‌که تاکنون تحقیقاتی در مورد سیلیکون و تأثیر آن بر گیاه برنج صورت گرفته اما در مورد این عنصر به همراه استفاده از غلظت‌های سالسیلیک اسید گزارشی منتشر نشده است لذا این تحقیق می‌تواند در این راه مؤثر باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در موسسه تحقیقات برنج کشور در آمل اجرا شد. موسسه تحقیقات برنج واقع در کیلومتر ۱۰ جاده آمل به بابل با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۲۹/۸ متر از سطح دریا می‌باشد. آب و هوای منطقه براساس تقسیم‌بندی اقلیمی، نیمه مدیترانه‌ای و میزان نزولات سالیانه آن حدود ۸۰۰ میلی‌متر است. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سیلیکون از منبع سیلیکات پتاسیم در سه سطح SI_1=0، SI_2=3 و SI_3=6 سی‌سی در لیتر آب به عنوان عامل اول و سالیسیلیک اسید در چهار سطح SA_1= 0، SA_2=0.5، SA_3=1 و SA_4=1.5 میلی‌مولار در لیتر به عنوان عامل دوم بودند (Seraji *et al*., 2018). کود سیلیکات پتاسیم مورد استفاده دارای ۲۶/۶ درصد سیلیکون و ۱۳/۳ درصد پتاسیم بود.

پیش از اجرای آزمایش نمونه‌برداری از خاک مزرعه انجام شد و نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی آن در جدول ۱ آورده

شده است. در این آزمایش رقم برنج شیرودی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در زمینی به مساحت ۵۰۰ متر مربع در ۳ تکرار که هر تکرار شامل ۱۲ کرت و در مجموع ۳۶ کرت بودند، انجام گرفت. ابعاد هرکرت ۴ ×۳ و فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil experiment site

بافت خاک Soil Texture	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	مواد آلی Organic matter (%)	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)	اسیدیته pH	شوری Salinity ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن Nitrogen (%)
لومی Loam	26	20	54	1.5	114	30.2	7.4	1.41	0.168

عملیات زراعی ابتدا شامل تهیه خزانه بود که در اواخر فروردین‌ماه انجام شد. هم‌چنین زمین اصلی بعد از یکنواخت کردن خاک، ابتدا شخم زده شد. پس از آن آب وارد زمین شد. آب به مدت ۳ روز در زمین نگه داشته تا کلوخه‌ها نرم شوند سپس توسط گاوآهن با عمق ۳۰ سانتی‌متری شخم زده تا خاک از حالت اشباع خارج شود. کودهای پایه مورد استفاده در مزرعه قبل از نشاءکاری شامل ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بودند. در تاریخ ۹۳/۲/۳۱ عملیات نشاکاری انجام شد. ابتدا قبل از نشاکاری هر کرت توسط مارکر ۲۵ × ۲۵ سانتی‌متری جهت قرارگرفتن نشاها در این فاصله نشانه‌گذاری شدند. فاصله بین نشاءها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. محلول پاشی سیلیکون و سالیسلیک اسید در دو مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مرحله قبل از گل‌دهی انجام شد. برای این‌کار یک روز قبل از محلول‌پاشی آب مزرعه را خارج و پس از خشک شدن مزرعه محلول‌پاشی انجام شد.

در مرحله گل‌دهی مقادیر کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه SPAD (Minolta 502) اندازه‌گیری شدند. در انتهای دوره رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه تعداد چهار کپه از وسط هر کرت کف‌بر و به آزمایشگاه منتقل شدند. هم‌چنین برای تعداد پنجه، تعداد کل دانه در خوشه و وزن هزار دانه، از هر کرت چهار کپه بصورت تصادفی انتخاب، کف‌بر و صفات فوق اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری غلظت سیلیکون برگ در این مرحله از روش (Yoshida *et al.*, 1976) استفاده شد. برای اندازه‌گیری درصد نیتروژن دانه از روش کجلدال و مقادیر فسفر از روش طیف‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم دانه با استفاده از دستگاه فلم فتومتر اندازه‌گیری شدند. در نهایت داده‌های آزمایش با استفاده نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مورد تجزیه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تنها تیمار سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه تولیدی در برنج رقم شیرودی داشت و تیمار سیلیکون و اثر متقابل آن‌ها از تأثیر معنی‌داری برخوردار نبودند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین عملکرد دانه در تیمار سالیسیلیک اسید مربوط به سطح ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در لیتر به میزان ۶۲۳/۱۸ گرم در مترمربع و کمترین آن مربوط به سطح ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در لیتر و به میزان ۵۱۶/۳۴ گرم در مترمربع بود. میزان افزایش در سطح ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر نسبت به سطح ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در لیتر معادل ۱۷/۱۴ درصد بود. با افزایش غلظت اسید سالسیلیک از ۰/۵ به ۱/۵ میلی‌مولار در لیتر از میزان عملکرد دانه کاسته شد (جدول ۳).

سالیسیلیک اسید تعادل هورمونی را در گیاه تغییر داده و سبب افزایش اکسین و سیتوکنین در گیاهان و در نتیجه موجب افزایش عملکرد می‌شود. اعلام کردند مطالعات نشان داد محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید سبب افزایش عملکرد دانه در گندم شد (Amin *et al.*, 2008).

آزمایش انجام شده بر روی ذرت نشان داد که مصرف سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار در رفع آسیب اکسیداتیو نقش داشته و به‌طور مؤثری سبب بهبود رشد ذرت در هر دو شرایط تنش و غیرتنش شد و هم‌چنین به طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه شد (Mehrabian moghadam *et al*., 2011). در پژوهش دیگری بر روی ارقام کلزا مشخص شد استفاده از دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک توانست عملکرد دانه را تا ۱۳ درصد افزایش دهد (Emam *et al*., 2015).

تعداد پنجه در بوته، تعداد کل دانه در پانیکول و وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تنها تیمار سیلیکون تأثیر معنی‌داری بر تعداد پنجه در بوته داشت و اثر سالیسیلیک اسید و اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد هر چند تعداد پنجه تولیدی در بوته تحت تأثیر تیمار سیلیکون قرار گرفت اما کمترین تعداد پنجه در بوته از تیمار شاهد (بدون مصرف سیلیکون) حاصل شد و بیشترین آن مربوط به سطح ۳ سی‌سی در لیتر بود. این میزان افزایش در سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر نسبت به تیمار شاهد معادل ۱۷/۳ درصد بود (جدول ۳). سیلیکون برای پایداری عملکرد محصول برنج ضروری است و در حضور سیلیکون برگ‌ها، ساقه‌ها و غلاف‌های گیاهان به ویژه برنج رشد مناسبی خواهند داشت. در نتیجه توزیع نور در داخل پوشش گیاهی به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. جذب سیلیکون در ارقام مختلف و هم‌چنین در اندام‌های مختلف گیاه برنج متفاوت است به طور کلی سیلیکون از طریق افزایش تعداد کل خوشه‌چه در خوشه، درصد خوشه‌چه‌های پر شده، وزن هزار دانه و کاهش خوابیدگی (ورس) موجب افزایش عملکرد دانه برنج می‌شود اما ممکن است تأثیری بر تولید پنجه نداشته باشد (Chaoming *et al*., 1999). در تحقیقاتی مشخص شد که تعداد پنجه مؤثر در برنج تحت تأثیر مصرف سیلیکون قرار نگرفت (Mobasser *et al*., 2008).

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات برنج تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون و سالیسیلیک اسید

Table 2- Variance analysis of some *Oryza sativa* traits affected by foliar application of silicon and salicylic acid

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		عملکرد دانه Grain yield	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد دانه در پانیکول Number of grains per panicle	وزن هزار دانه Weight of thousand seeds	کلروفیل برگ Leaf chlorophyll	سیلیکون برگ Leaf silicon	عناصر غذایی دانه Nutrient element in seed		
								نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium
تکرار Replication	2	195570.9^{ns}	7.01*	82.08^{ns}	0.63^{ns}	0.37^{ns}	0.0001^{ns}	0.0004^{ns}	0.0004^{ns}	1.34^{ns}
سیلیکون Silicon (SI)	2	283699.6^{ns}	8.36*	429.7*	0.39^{ns}	5.58^{ns}	0.0030**	0.0025^{ns}	0.029**	13.68**
سالیسلیک اسید Salicylic acid (SA)	3	4143988.8**	4.06^{ns}	1523.9**	0.25^{ns}	2.39^{ns}	0.0015^{ns}	0.007**	0.004^{ns}	0.27^{ns}
سیلیکون× سالیسیلیک اسید SI*SA	6	1594815.8^{ns}	2.18^{ns}	87.6^{ns}	0.47^{ns}	3.73^{ns}	0.0008^{ns}	0.0095**	0.044**	2.69^{ns}
خطا Error	23	785540.7	2.63	159.4	0.28	2.41	0.0005	0.0028	0.0024	3.21
CV (%)		15.23	9.78	9.41	1.99	6.28	17.4	2.92	25.7	2.71

^{ns}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح احتمالی پنج و یک درصد می‌باشد.

^{ns}, * and **: non significant and significant at α=0.05 and α=0.01 of probability levels, respectively.

هم‌چنین تیمار سیلیکون و تیمار سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در پانیکول داشتند. در این بین اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کمترین تعداد دانه در خوشه مربوط به سطح شاهد تیمار سیلیکون و بیشترین آن مربوط به سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر بود. این افزایش

در سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر نسبت به تیمار شاهد معادل ۱۱/۱ درصد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های مصرف سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین میزان تعداد دانه در خوشه پانیکول مربوط به سطح ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر بود که نسبت به شاهد ۱۳/۹درصد افزایش داشت. با افزایش غلظت سالسیلیک اسید از تعداد دانه در پانیکول کاسته شد (جدول ۳). گزارش شده که سیلیکون می‌تواند سبب بهبود تولید تعداد دانه، وزن سنبله و وزن هزار دانه در ارقام گندم در شرایط تنش خشکی شود(Mohammadi *et al.*, 2010). محققینگزارش کردند که سالسیلیک اسید تقسیم سلولی را درون گیاهچه گندم افزایش داد و سبب افزایش عملکرد دانه از طریق تأثیر بر اجزای عملکرد دلنه شد (Shakirova *et al.*, 2003).

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی از صفات برنج تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون و سالیسیلیک اسید

Table 3- Mean comparison of some *Oryza sativa* traits affected by foliar application of silicon and salicylic acid

تیمار Treatment	عملکرد دانه Grain yield (g/m^2)	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد دانه در پانیکول Number of grains per panicle	وزن هزار دانه Weight of thousand seeds (g)	کلروفیل برگ Leaf chlorophyll (SPAD)	سیلیکون برگ Leaf silicon (mg/kg dry weight)	پتاسیم دانه Potassium in seed (mg/kg dry weight)
سیلیکون Silicon (cc / l)							
SI_1=0	573.36a	21.4b	122.3b	68.4a	24.0a	0.123b	65.8ab
SI_2=3	604.14a	23.5ab	137.5a	70.0a	24.91a	0.150a	67.4a
SI_3=6	571.75a	25.9b	134.9ab	72.13a	25.3a	0.147ab	65.3b
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM / l)							
SA_1=0	599.58ab	29.4a	108.1b	70.9a	25.2a	0.144a	66.03a
SA_2=0.5	623.18a	27.8a	125.6a	72.8a	25.1a	0.131a	66.40a
SA_3=1	588.42ab	29.0a	113.5ab	72.9a	24.5a	0.121a	66.03a
SA_4=1.5	516.34b	28.5a	107.8b	69.3a	24.1a	0.0150a	66.21a

ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Colum with the same letters are not significantly different at 5% of probability level.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در مورد وزن هزار دلنه نشان داد که تیمار سیلیکون، سالیسیلیک اسید و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). در این بین بیشترین وزن هزار دانه مربوط به سطح ۶ سی‌سی در لیتر سیلیکون بود و در تیمار سالیسیلیک اسید بیشترین میزان وزن هزار دانه مربوط به سطح ۱ میلی‌مولار سالیسلیک اسید در لیتر بود اما از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند (جدول ۳).

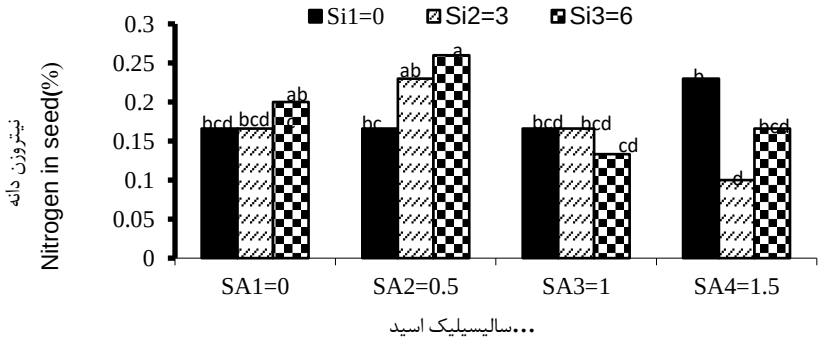
مقادیر سیلیکون و کلروفیل برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در مورد کلروفیل برگ نشان داد که تیمار سیلیکون و سالیسیلیک اسید و اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند اما نتایج تجزیه در مورد غلظت سیلیکون برگ نشان داد که تنها تیمار سیلیکون تأثیر معنی‌داری بر آن داشت و تیمار سالیسیلیک اسید و اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین میزان سیلیکون برگ مربوط به سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود. این افزایش در سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر نسبت به تیمار شاهد معادل ۱۸ درصد بود (جدول ۳). نقش سیلیکون در رشد گیاه برنج توسط محققین بررسی شده، آن‌ها در نتایج آزمایشات خود نشان دادند که کاربرد سیلیکون منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی و هم‌چنین افزایش غلظت این عنصر در گیاه می‌شود. هم‌چنین بیان کردند که توزیع و تراکم سیلیکون در گیاه برنج توسط فرآیند متابولیکی و میزان تعرق اندام‌های هوایی کنترل می‌شود (Tanaka and Park, 1996).

مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه

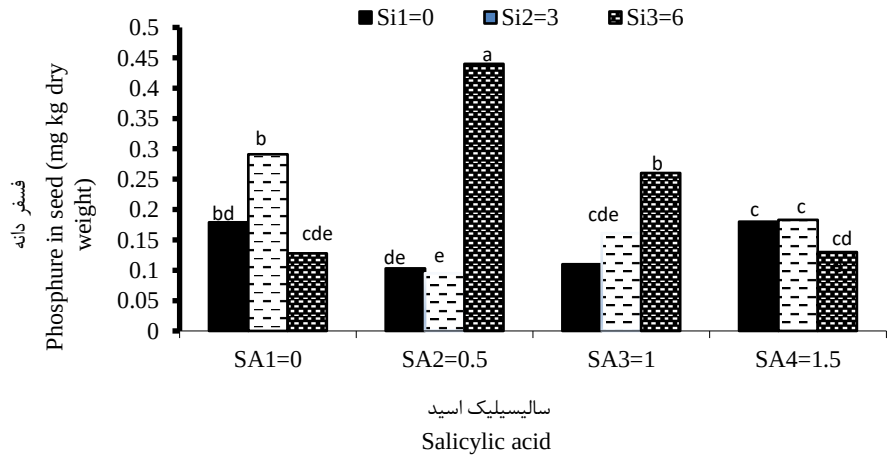
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر درصد نیتروژن دانه داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن دانه مربوط به ترکیب تیماری ۶ سی‌سی در لیتر سیلیکون و ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود. کمترین آن هم مربوط به تیمار ۳ سی‌سی در لیتر سیلیکون و ۱/۵ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود. این میزان افزایش برای نیتروژن نسبت به کمترین آن در تیمار ۳ سی‌سی سیلیکون و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید معادل ۶۵/۵ بود (شکل ۱). گزارش شده که میزان نیتروژن بافت مختلف گیاه، با مصرف کود سیلیکون بهبود می‌یابد (Deren, 1997). تأثیر سطوح مختلف سیلیسیوم و زمان کاربرد آن را بر گیاه برنج توسط محققین بررسی شده، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم سیلیکون در هکتار مقدار نیتروژن و فسفر در دانه و ساقه گیاه افزایش یافت. سالیسیلیک اسید سبب افزایش جذب CO_2، افزایش فتوسنتز و جذب مواد معدنی در گیاه می‌شود(Singh *et al*., 2006). همچنین افزایش مقدار پروتئین‌های محلول در دانه سویا تحت تیمار سالیسیلیک اسید نیز گزارش شده است (Doberman and Fairhurst, 2000).

نتایج تجزیه واریانس فسفر دانه نشان داد اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر آن داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین میزان فسفر دانه مربوط به سطح ۶ سی‌سی در لیتر بود. هم‌چنین بیشترین میزان فسفر دانه در تیمار سالیسیلیک اسید مربوط به سطح ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر بود. این میزان افزایش برای فسفر نسبت به کمترین آن در تیمار ۳ سی‌سی سیلیکون و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید معادل ۷۸/۸ درصد بود (شکل ۲).



شکل ۱- تأثیر برهمکنش سیلیکون و سالیسیلیک اسید بر میزان نیتروژن دانه

Figure 1- Interaction effect of silicon and salicylic acid on nitrogen content in seed



شکل ۲- تأثیر برهمکنش سیلیکون و سالیسیلیک اسید بر میزان فسفر دانه

Figure 2- Interaction effect of silicon and salicylic acid on phosphorus content in seed

بررسی نتایج آزمایشات نشان داد که کاربرد سیلیکون جذب فسفر را در خاک افزایش داده و سبب افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود (Singh *et al.*, 2006). در واقع سیلیکون با جایگزین نمودن فسفر تثبیت‌شده در بین رس‌ها، حلالیت فسفر خاک را افزایش می‌دهد. آزمایشات نشان داد که کود سیلیکات پتاسیم، حجم ریشه‌های برنج را برای جذب عناصر غذایی افزایش می‌دهد.

نتایج تجزیه واریانس میزان پتاسیم دانه نشان داد تنها تیمار سیلیکون تأثیر معنی‌داری داشت و تیمار سالیسیلیک اسید و اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید بر میزان پتاسیم دانه تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در بیشترین میزان پتاسیم دانه مربوط به سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر بود که نسبت به تیمار شاهد ۲/۳۷ درصد افزایش داشت (جدول ۳). محققین اعلام کردند که کاربرد سیلیکون سبب افزایش جذب پتاسیم در برگ گیاه جو می‌شود (Liang *et al.*, 1996).

نتیجه‌گیری کلی

از نتایج بدست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که استفاده از سیلیکون تا سطح ۶ سی‌سی سیلیکون در لیتر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه برنج رقم شیرودی نداشت و تنها بر برخی از اجزای عملکرد دانه همانند تعداد پنجه در بوته و تعداد دانه در پانیکول تأثیر معنی‌داری داشت و سبب افزایش آن‌ها شد. این افزایش تا سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر بود. تیمار سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت و تا سطح ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر منجر به افزایش عملکرد دانه و نیز تعداد دانه در پانیکول شد. کلروفیل بعنوان رنگدانه مؤثر در فتوسنتز برگ، تحت تأثیر تیمار سیلیکون و سالیسیلیک اسید قرار نگرفت اما تا سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر بر مقدار سیلیکون برگ برنج افزوده شد. در مورد عناصر دانه، اثر متقابل سیلیکون و سالیسیلیک اسید تنها در مورد نیتروژن و فسفر دانه معنی‌دار شد. بیشترین مقدار آن‌ها در تیمار ۶ سی‌سی سیلیکون و ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بدست آمد. در مورد پتاسیم دانه تنها تیمار سیلیکون معنی‌دار شد و تا سطح ۳ سی‌سی سیلیکون در لیتر سبب افزایش ۲/۳۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد. بطور کلی می‌توان بیان کرد که مصرف ۳ سی‌سی در لیتر و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در برنج رقم شیرودی از کارایی بیشتری برخوردار بود و می‌تواند در بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی این رقم مؤثر باشد.

References

Amin, A.A., Li, S., Rashad, M., Fatma, A. and Gharit, A.E. 2008. Changes morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. *Basic Applied Science*, 2: 252-261.

Bityutskii, N., Pavlovic, J., Yakkonen, K., Maksimovic, V. and Nikolic, M. 2014. Contrasting effect of silicon on iron, zinc and manganese status and accumulation of metal-mobilizing compounds in micronutrient-deficient cucumber. *Plant Physiology and Biochemistry*, 74: 20-211.

Chabra, D., Kashaninejad, M. and Rafiee, S. 2006. Study and comparison of waste contents in different rice dryers. Proceeding of the First National Rice Symposium. Amol, Iran. (In Persian).

Chaoming, Z., Jianfei, L. and Liping, C.H. 1999. Yield effects on the application of silicon fertilizer early hybrid rice. *Journal Article*, 2: 79-80.

Da Cunha, K.P.V. and Do Nascimento, C. W.A. 2009. Silicon effects on metal tolerance and structural changes in maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197: 323.

Deren, C.W. 1997. Changes in nitrogen and phosphorus concentrations of silicon- fertilized rice grown on organic soil. *Journal of Plant Nutrition*, 20(6): 765-771.

Doberman, A. and Fairhurst, T. 2000. *Rice nutrient disorders and nutrient management*. International rice

Research institute. L. S. Banos.

Emam, Y., Heydari, A., Bizhanzadeh, E. and Naderi, R. 2015. Effect of late season drought tension and salicylic acid on grain yield and canopy temperature of two rapeseed cultivars. *Crop Physiology Journal*, 7: 37-53. (In Persian).

Farahbakhsh, H. and Shamsaddin Saiid, M. 2009. Effect of seed priming with NaCl on maize germination under different saline conditions. *Plant Ecophysiology*, 1(3): 119-122.

Hossain, M.T., Mori, R. and Wakabayashi, K.K. 2002. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. *Journal of Plant Research*, 115: 23–27.

Kang, G., Wang, C., Sun, G. and Wang, Z. 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2 metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 50: 9-15.

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

Liang, Y.C., Ma, T.S.H., Junli, F. and Feng, Y.J. 1994. Silicon availability and response of wheat and rice. silicon in calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25: 2285-2291.

Ma, J.F. and Takahashi, E. 2002. Functions of silicon in plant growth. In: Ma, J. F., Takahashi, E (Ed), *Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan.* Elsevier Science Amsterdam the Netherlands. Pp: 107-180 .

Mehrabian moghadam, N., Arvin, M.J., Khajuinejad, G.H. and Maghsudy, K. 2011. Effect of Salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Journal of Seed and Plant Production*, 27(2): 41-55. (In Persian).

Mobasser, H.R., Ghanbari-Malidareh, A. and Sedghi, A.H. 2008. Effect of silicon application to nitrogen rate and 435plitting on agronomical characteristics of rice (*Oryza sativa* L.). *Silicon in Agriculture Conference*, Wild Coast Sun, South Africa, 26-31 October.

Mohammadi, S., Sepehri, A., Aboutalebian, M.A. and Hamzai, C. 2010. The effect of silicon on wheat yield under drought stress at the end of growth. Sixth National Conference on New Ideas in Agriculture, March 2, Islamic Azad University, Khorasgan Branch. (In Persian).

Nemeth, M., Janda, T., Hovarth, E., Paldi, E. and Szali, G. 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Science*, 162: 569-574.

Nonomura, A.M. and Benson, A.A. 1992. The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States, 89: 9794-9798.

Richmond, K.E. and Sussman, M. 2003. Got silicon? the non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion in Plant Biology*, 6: 268-272.

Seraji, Z., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H.R. 2018. Effects of silicon application on growth improvement and oxidative stress reduction rice plants grown under Zn deficiency. *Journal of Plant Research*, 31(2): 332-347. (In Persian).

Sepehri, A., Abasi, R. and Karami, A. 2015. Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield component of bean genotypes. *Journal of Crop Improvement*, 17(2): 503-516. (In Persian).

Shakirova, M.F., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A. and Fatkhutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 3: 317-322.

Singh, B., Singh, Y., Ladha, J.K., Bronson, K.F., Balasubramanian, V., Singh, Y. and Khind, C.S. 2006. Chlorophyll meter- and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. *Agronomy Journal*, 94: 821-829.

Tanaka, A. and Park, Y.D. 1996. Significance of the absorption and distribution of silicon in the growth of the rice plant. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12: 23-27.

Yoshida, S., Forno, D.A., Coce, J.H. and Gomez, K.A. 1976. Laboratory manuel for physiological studies of rice .3rd ed. In Rice Inst, Los Banos, Laguna, Philippines.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 1, Spring and Summer 2023, P. 121-131

Effect of silicon and salicylic acid on quantitative yield and some qualitative characteristics in rice

Adeleh Saghafi[1], Mostafa Heidari[2*], Manouchehr Gholipour[2], Alhayar Fallah[3]

[1]M.Sc Graduated, Agronomy and Plant Breeding, Agricultural Collage, Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran
[2]Agronomy and Plant Breeding Department, Agricultural Collage, Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran
[3]Rice Research Institute of Iran, Deputy of Mazandaran Agricultural Education and Extension Research Organization, Amol, Iran
[*]Corresponding Author: haydari2005@gmail.com

Received: 9 April 2022 Accepted: 27 May 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.336740.1221**

Abstract

Introduction: Nutrition is one of the important factors in improving the quantity and quality of crops. Meanwhile, silicon is a useful element for rice and has positive effects on its quantitative and qualitative properties. Silicon (Si) is the 2nd and 8th most extensive element on earth's surface, soils, and in nature, respectively. In soils, Si is mostly insoluble and not available for plants. In plants, Siaccumulation ranges from 0.1 to 10% dry weight. Plants take up Si either actively or passively in the form of monosilicic acid (H_4SiO_4), which typically occurs in a range of 0.1–0.6 mM in soil solution. Salicylic acid, which is known as a regulator of plant growth, plays an important role in plant growth and yield, especially in conditions of environmental stress. Salicylic acid (SA) is eminent as a signal molecule and phytohormone that can effectively participate in the induction of plant defense mechanisms against abiotic stress. It has the potential to regulate a number of physio-biochemical processes, such as photosynthetic traits, nutrient balance, osmotic adjustments, antioxidant defense systems, and plant protection or tolerance against drought. The external application of SA is believed to improve the adaptation to drought and osmotic stress through the generation of antioxidant enzyme activity.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of foliar application of silicon and salicylic acid on the quantitative yield and some quality characteristics of rice (Shiroodi cultivar), an experiment was conducted in the country's rice research farm (Amol). The experiment was performed as a factorial experiment in a randomized complete block design with 3 replications. Experimental treatments included foliar application of silicon from a potassium silicate source at three levels of 0, 3, and 6 cc/l as the first factor and salicylic acid at four levels of 0, 0.5, 1, and 1.5 mM/l as the second factor. Sampling was done in two stages: flowering and physiological maturation.

Results and Discussion: The results showed that silicon had no significant effect on grain yield, and its use was only significant on grain yield components such as the number of tillers and the number of grains per panicle and increased them. This increase was up to the level of 3 cc of silicon per liter. Meanwhile, the use of salicylic acid up to 0.5 mM caused a significant increase in grain yield of 17.14%. The interaction between silicon and salicylic acid had an effect on nitrogen percentage and the content of phosphorus in seed, and the highest amount of them was obtained in the treatment of 6 cc silicon with 0.5 mM salicylic acid. Leaf chlorophyll content was not affected by silicon and salicylic acid treatment, but the content of leaf silicon was increased only to the level of 3 cc silicon per liter.

Conclusion: From the results obtained in this experiment, it can be stated that the use of silicon up to the level of 6 cc of silicon per liter did not have a significant effect on the grain yield of the Shiroudi variety and only on some components of grain yield, such as the number of tillers per plant and the number of seeds. It had a significant effect on panic and caused its increase. Chlorophyll, as an effective pigment in leaf photosynthesis, was not affected by silicon and salicylic acid treatment, but the amount of silicon in rice leaves was increased up to the level of 3 cc of silicon per liter. Then,

from the results obtained in this experiment, it can be stated that the use of 3 cc of silicon and 0.5 mM salicylic acid had good performance in improving grain yield and some quantitative and qualitative characteristics of rice in the Shiroodi cultivar.

Keywords: Mineral elements, Photosynthetic pigment, Salicylic acid, Silicon