روابط خاک و گیاه / سال دوازدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۰ / صفحات ۷۱-۵۳ مقاله پژوهشی

مقایسه اثر کودهای سیلیکات کلسیم و پتاسیم بر برخی از صفات زراعی و بیوشیمیایی دو رقم برنج تحت شرایط تنش خشکی

سید سهیل معنوی امری[1]، یوسف نیک‌نژاد*، هرمز فلاح آملی و داوود براری تاری

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵)

چکیده

سیلیکات آثار بالقوه‌ای بر محصولات زراعی تحت تنش زنده و غیرزنده دارد؛ به‌طوری که می‌تواند بر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک و همچنین کاهش آثار مخرب خشکی اثرگذار باشد. هدف از این پژوهش بررسی آثار سیلیس کاربردی بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی در دو رقم طارم محلی و شیرودی برنج تحت تنش خشکی بود. در این آزمایش تیمارها شامل تیمار اول کاربرد کود سیلیس به صورت محلول‌پاشی دو نوع سیلیس، سیلیکات پتاسیم، سیلیکات کلسیم، و ترکیب دو سیلیکات، و تیمار دوم شامل تیمارهای تنش خشکی در چهار سطح شاهد، تنش در پایان پنجه‌دهی، تنش در زمان ظهور خوشه و تنش در زمان انتقال مجدد و کمبود آب (پتانسیل ماتریک خاک ۰/۰۵- مگاپاسکال) بود که بر دو رقم برنج (*Oryza sativa* L) (شیرودی و طارم محلی) اعمال شد. نتایج نشان داد، تحت شرایط کمبود آب، میزان سیلیس ساقه و دانه، سلولز ساقه، و همچنین لیگنین ساقه افزایش یافت. همچنین، پس از تیمار سیلیس در برنج، برخی صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع گیاه، شاخص برداشت و عملکرد دانه افزایش یافت. پس از کاربرد سیلیس، بیماری بلاست برگ به میزان ۳۴ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. شرایط خشکی آثار نامطلوبی بر تعداد دانه در خوشه، پنجه بارور، تعداد پنجه در بوته، و تعداد خوشه‌چه نشان داد. بین دو رقم از نظر صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد پنجه‌های مؤثر در کپه، تعداد خوشه در گیاه، کلروفیل برگ پرچم و شاخص برداشت)، برخی صفات بیوشیمیایی مانند مقدار نیاسین، لیگنین و آمیلوز، و غلظت عناصر موجود در گیاه برنج مانند مس، منگنز و نیتروژن تفاوت معنی‌داری وجود داشت. اثر ترکیبی تنش خشکی بر دو رقم مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد؛ بنابراین نتایج نشان داد که هر دو رقم می‌توانند در مناطق با تنش کم‌آبی مورد استفاده قرار گیرند. نتایج نشان‌دهنده اثر بالقوه تیمار سیلیس به مقدار تقریبی ۴۲ درصد در بهبود شرایط جلوگیری از تنش خشکی بود. از نتایج پژوهش حاضر می‌توان در جهت استفاده از تیمار سیلیس برای افزایش تحمل تنش خشکی در گیاه برنج بهره برد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سیلیکات، گیاه برنج، عملکرد

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی دنیاست و پس از گندم جایگاه دوم را از نظر تولید سالانه به خود اختصاص داده و غذای اصلی نیمی از مردم دنیا را تشکیل می دهد. مبدأ اولیه برنج، قاره آسیا و از کشور هندوستان بوده است. برنج در شمال ایران (استان مازندران و گیلان) در مساحتی نزدیک به

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت‌اله آملی، آمل، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Yousofniknejad@gmail.com

۶۰۰ هزار هکتار به مدت طولانی کشت می‌شود. دو رقم، طارم محلی و شیرودی محبوب‌ترین ارقام با بیش‌ترین سطح زیر کشت در استان مازندران هستند (۲۱). ایران با میانگین بارش-های جوی برابر ۲۴۰ میلی‌متر در سال، براساس تعریف آمبرژه، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. تنش خشکی پدیده محیطی مهمی است که اغلب در طول دوره پر شدن دانه در گندم رخ داده و باعث کاهش محصول می‌شود (۵۱). تنش خشکی با تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر باعث خسارت و القای تنش اکسیداتیو شده که منجر به خسارت به رنگدانه های فتوسنتزی می‌شود (۴).

سیلیسیم دومین عنصر فراوان در خاک است و به‌عنوان یک عنصر کاملاً مفید برای گیاهان عالی مطرح می شود. در حقیقت ۲۸٪ از سطح پوسته زمین از سیلیس تشکیل شده است. برخی از گونه‌های گیاهی، به‌ویژه گیاهان خانواده غلات قادر به تجمع سیلیسیم در بافت‌هایشان هستند (۲۳). میزان تجمع سیلیسیم در برنج می‌تواند تا ۱۰٪ وزن خشک گیاه هم برسد. شکل قابل حل سیلیسیم در خاک اسید سیلیک ($Si(OH_4)$) است که به همین شکل و به‌طور مستقیم قابل جذب است. سیلیس، با توسعه جنبه‌های فیزیولوژیک و مکانیکی، برای غلبه بر شرایط سخت گیاهانی که تحت تنش قرار دارند، مفید است (۱۶ و ۳۶). به‌طوری که وجود سیلیس می‌تواند باعث مقاومت در برابر بیماری‌های ایجاد شده به‌وسیله ریزجانداران شود (۳۹) و همچنین می تواند سبب به وجود آمدن آثار مثبتی، بر تنش‌های زنده مانند سمیّت فلزات سنگین، شوری، خشکی، کمبود غذایی، اشعه‌های رادیویی و سرما در گونه‌های مختلف گیاهی شود (۴، ۱۵، ۲۲، ۳۱ و ۳۶). سیلیس باعث افزایش قدرت اکسیدکنندگی ریشه های برنج می‌شود و در نتیجه علاوه بر افزایش تبادلات یونی، تبادلات اکسیژن را در محیط ریشه افزایش داده و خسارت ناشی از تنش‌های محیطی مانند سرما و شوری را در برنج کاهش می‌دهد (۲۶). مصرف کودهای سیلیکاته نیز باعث افزایش تحمل گیاه برنج به بیماری ها می‌شود (۳۱). سیلیس تجمع یافته در اندام‌های تعرق‌کننده گیاه، می‌تواند منجر به تشکیل لایه کوتیکولی از سیلیس شود که به واسطه کاهش تعرق، موجب کاهش مصرف آب نیز شود. بیش ترین تأثیر سیلیس، تشکیل ژل سیلیسی است که در سطح گل‌ها، ساقه‌ها و سایر اندام‌های برنج قرار می‌گیرد (۱۸ و ۳۶).

گونگ و همکاران (۲۰) به این نتیجه دست یافتند که سیلیس می‌تواند مقاومت به تنش خشکی را در گیاه گندم با کاهش هدایت روزنه‌ای، حفظ پتانسیل آب گیاه، افزایش شدت فتوسنتز و کاهش نشت الکترولیت افزایش دهد (۱۹). در پژوهشی حبیبی (۲۶) نشان داد که مکمل سیلیس باعث بهبود شرایط خشکی در گیاه کانولا می‌شود. همچنین کیم و همکاران نشان دادند که سیلیس باعث القا ساخته شدن و محکم شدن دیواره سلولی در برگ‌های برنج می‌شود که این روش یک مکانیزم سلولی احتمالی برای تقویت گیاه میزبان علیه بیماری بلاست است. همه عوامل فوق به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی برای بهبود گیاهان مقاوم به خشکی به‌کار گرفته شده‌اند (۱ و ۳۶). در پژوهشی گزارش شده است که بافت‌های اندودرمال می‌توانند مقادیر زیادی سیلیس را در شرایط کمبود آب در ارقام غلات جمع کنند (۳۴). پژوهش‌های لوکس و همکاران (۳۵) و هاتوری و همکاران (۲۴) نشان داد که سیلیس کارکرد مهمی در رشد ریشه و حرکت آب در شرایط کمبود آب در سورگوم دارد (۲۴). پس از کاربرد سیلیس، رشد و نمو بیش‌تر گیاهان خانواده Gramineae به مقدار زیاد تجمع سیلیسیوم نسبت داده شد (۴۰). فرض بر این است که کاربرد سیلیس با تنظیم تغییرات مربوط به مورفوفیزیولوژیک و روابط آب گیاهان ممکن است باعث افزایش رشد و مقاومت گونه *Kentucky bluegrass* در برابر کمبود آب شود (۴۴). کروسکویل و همکاران (۹) اثر بالقوه سیلیس را بر افزایش صفات بیوشیمیایی برگ گوجه فرنگی گزارش کردند. در این رابطه، پژوهش‌های کافی برای نشان دادن آثار مفید کاربرد سیلیس برنج در شرایط کمبود آب وجود ندارد. پژوهش حاضر با این فرض انجام شد که مصرف بهینه سیلیس می‌تواند با تعدیل تغییرات مورفوفیزیولوژیک و

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Soil physical and chemical properties at the study location.

	2018	2019
Soil depth (cm)	0–30	0–30
pH	7.6	7.8
EC (dS m^{-1})	0.65	0.67
CEC (meq/100g)	32	32.12
Organic matter (%)	1.60	1.50
Total neutralizing value (%)	10.80	10.82
N (%)	0.14	0.12
K (ppm)	152	163
P (ppm)	9	8
Mg (mg kg^{-1}soil)	697	681
Fe (mg kg^{-1}soil)	32.8	30.6
Mn (mg kg^{-1}soil)	8.2	7.9
Cu (mg kg^{-1}soil)	3.8	3.7
Zn (mg kg^{-1}soil)	1.3	1.5
Soil texture	Clay loam	Clay loam
Sand (%)	12	12
Silt (%)	41	41
Clay (%)	48	48
Field capacity (%v/v)	21.6	21.6
Permanent wilting point (%v/v)	11.0	11.0

Soil depth: عمق خاک نمونه گیری شده، pH : واکنش عصاره اشباع خاک، EC: رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک، Organic matter: درصد ماده آلی خاک، CEC: گنجایش تبادل کاتیونی، Total neutralizing value: درصد مواد خنثی-شونده، N: نیتروژن، K: پتاسیم، P: فسفر، Mg:منیزیم، Fe: آهن،Mn: منگنز، Cu: مس، Zn: روی، Soil texture: بافت خاک، Sand: شن، Silt: سیلت، Clay: رس، Field capacity: گنجایش مزرعه، Permanent wilting point: نقطه پژمردگی دائم

میزان آب در گیاه، رشد، کیفیت و در نهایت تحمل به تنش خشکی در گیاه برنج را بهبود بخشد. هدف از این پژوهش مقایسه اثر محلول‌پاشی دو نوع کود سیلیکاته پتاسیم و کلسیم بر برخی صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه برنج تحت تنش خشکی است.

مواد و روش

برای بررسی اثر کودهای سیلیکاته تحت شرایط خشکی بر پارامترهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک دو رقم برنج در سال ۹۷-۹۶ در شهرستان ساری (با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول ۵۳ درجه و صفر دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۶ متر از سطح دریا)، پژوهشی با طرح پایه کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی شد. بذر دو رقم از مرکز تحقیقات برنج ایران (آمل) تهیه شده و در سینی‌های نشاء کاشته شد. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در محل این پژوهش در جدول (۱) و شرایط آب و هوایی در جدول (۲) نشان داده شده است.

رقم پرمحصول شیرودی و رقم رایج منطقه طارم هاشمی به‌عنوان تیمار اصلی و اعمال تنش خشکی در چهار سطح شامل شاهد، تنش در پایان پنجه‌دهی، تنش در زمان ظهور خوشه و تنش در زمان پر شدن دانه به‌عنوان عامل فرعی و نیز اعمال کودهای مختلف سیلیکاته شامل سیلیکات پتاسیم، سیلیکات کلسیم و ترکیب سیلیکات پتاسیم و کلسیم به‌عنوان عامل فرعی در فرعی در نظر گرفته شد. در کل این طرح شامل ۷۲ کرت آزمایشی بود که بذرها با تراکم کشت ۲۵۰ بوته در متر کشت شدند. پیش از انتقال، بذرها با سرعت جوانه‌زنی ۹۵٪ در آب به‌مدت ۲۴ ساعت تمیز و انکوبه شدند. سپس بذرهای جوانه زده در خاک کشت شد تا نشاءهای یکنواخت تولید شود. جوانه‌زنی بذرها پس از ۱۵ روز کاشت آغاز شد. تیمارها شامل سیلیس محلول (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار با خلوص ۹۰ درصد) به‌صورت محلول‌پاشی برگی و تنش خشکی با حفظ پتانسیل ماتریک خاک تا ۰/۰۵- مگاپاسکال تا مرحله آخر رشد با روش مایکل و کافمن (۱۹۷۳) ادامه یافت. برای اندازه‌گیری آب ورودی به هر کرت از کنتور حجمی استفاده شد. آبیاری کرت‌های مربوط به تنش خشکی، در حد ۴۰٪ گنجایش مزرعه (FC) تنظیم شد. در حالی که در تیمار آبیاری معمولی تا انتهای فصل رشد، آبیاری کرت‌های آزمایشی در حد FC ادامه یافت. آبیاری تا زمان گل‌دهی، در حد FC انجام شد و از گل‌دهی به بعد، آبیاری کرت‌های مربوط به تنش خشکی، در حد ۶۰ و ۴۰ درصد FC با استفاده از تانسیومتر تنظیم شد. اندازه گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه انعکاس‌سنجی زمانی (TDR) انجام شد. در حالی که در تیمار آبیاری تا انتهای فصل رشد، آبیاری کرت‌های آزمایشی در حد FC ادامه یافت. سپس خاک با سیستم آبیاری غرقابی تا FC آبیاری شد. بر اساس

جدول ۲. شرایط آب و هوایی در مکان آزمایش.

Table 2. Weather conditions in the experiment site.

		Maximum temperature (ºC)	Minimum temperature (ºC)	Rainfall level (mm)	Monthly evaporation (mm)
15 Mar – 15 Apr	2018	21.2	10.2	12.8	89.5
	2019	19.8	9.7	13.2	77.4
15 Apr – 15 May	2018	26.5	16.4	11.2	101.2
	2019	24.8	14.3	35.4	115.3
15 May – 15 June	2018	25.1	20.5	24.3	144.2
	2019	27.6	19.8	44.5	134.5
15 June – 15 July	2018	28.6	19.5	16.5	187.5
	2019	28.4	21.3	18.2	193.4
15 July – 15 Aug	2018	34.3	24.1	2.5	224.1
	2019	35.2	22.3	5.1	241.6
15 Aug – 15 Sep	2018	29.4	22.1	24.3	197.5
	2019	31.6	20.5	11.3	184.6

Maximum temperature: دمای بیشینه، Minimum temperature: دمای کمینه، Rainfall level : مقدار بارندگی، Monthly evaporation: تبخیر ماهیانه

دفترچه راهنمای تانسیومتر، هنگامی که پتانسیل ماتریک خاک به ۰/۰۵۰- مگاپاسکال رسید افزودن آب انجام شد. تیمار زمانی آغاز شد که پتانسیل ماتریک خاک به ۰/۰۵- مگاپاسکال رسید و تا DAE[1] برابر ۷۰، کل آب مصرفی (۳۲۳ و ۳۹۲ میلی‌متر) حفظ شد. پتانسیل ماتریک خاک با دستگاه تانسیومتر آنالوگ مدل Recalibrator ساخت کشور هلند اندازه‌گیری شد.

در مرحله باروری (۷۰ DAE)، نمونه گیاهی تازه برای استفاده در تجزیه و تحلیل بعدی جمع‌آوری شد. بر اساس استاندارد آزمون خاک در زمینه زراعی، کودهای پایه استفاده شد (نیتروژن از منبع کود اوره و به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود پتاسیم از منبع کود سولفات پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان تهیه بستر مصرف شد). پس از خارج کردن نمونه‌ها از آون، وزن خشک آن‌ها به کمک ترازوی دیجیتالی تعیین شد. تعداد خوشه‌ها و خوشه‌چه‌ها شمارش شدند جمع‌آوری اطلاعات برای اندازه‌گیری میزان تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر شدت بیماری بلاست و تجزیه و تحلیل آن‌ها بر اساس روش‌های داتنوف و رودریکرز (۱۱) و (۴۸) اسکودینن و نکروسین همراه با تغییراتی به شرح زیر انجام شد:

تعیین درصد آلودگی به بلاست برگ: ۳۳ روز پس از نشاء از هر کرت ۶ گیاه، از هر بوته ۴ برگ به‌طور تصادفی با حرکت در طول، عرض و قطرهای هر کرت انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته و تعداد و قطر لکه‌ها در چهار برگ و ۱۰ لکه در هر برگ اندازه‌گیری شد. طول و عرض لکه به‌وسیله کولیس دیجیتالی اندازه گیری شد و درصد آلودگی به بلاست در هر کرت توسط فرمول زیر محاسبه شد (۴۹):

درصد آلودگی هر برگ به بلاست در کرت = تعداد کل برگ آلوده تقسیم بر تعداد کل برگ × ۱۰۰

تعیین درصد آلودگی به بلاست خوشه: ۷۰ روز پس از نشاء، از هر کرت ۵۰ خوشه به طور تصادفی با حرکت در طول، عرض و قطرهای هر کرت انتخاب شده و میزان آلودگی به بلاست خوشه از مبنای آخرین بند خوشه به سمت خوشه اندازه‌گیری شده و سپس درصد خوشه‌های آلوده در هر کرت توسط فرمول زیر به‌دست آمد (۱۱):

درصد خوشه‌های آلوده = تعداد خوشه‌های آلوده در هر کرت تقسیم بر تعداد کل خوشه اندازه‌گیری شده در هر کرت × ۱۰۰

تعیین درصد آلودگی به بلاست گره: از هر کرت ۵۰ خوشه به‌طور تصادفی با حرکت در طول، عرض و قطرهای هر کرت انتخاب شده و میزان آلودگی به بلاست گره از مبنای آخرین بند بلاست خوشه به‌سمت پایین ساقه با خط‌کش اندازه‌گیری شد.

1. Day after emergence

میزان آلودگی بلاست گره تا ۲ گره شمارش و اندازه‌گیری شد و سپس درصد گره های آلوده در هر کرت با فرمول زیر محاسبه شد (۴۸):

درصد گره‌های آلوده در هر کرت= تعداد گره آلوده مشاهده شده تقسیم بر تعداد کل گره مشاهده شده در هر کرت×۱۰۰

تعیین درصد دانه‌های آلوده: از هر کرت ۵۰ خوشه به‌طور تصادفی انتخاب شده و تعداد دانه‌های آلوده بر اساس شناسایی لکه‌های ناشی از بلاست و مشاهده میکروسکوپی اسپورهای عامل بیماری در محل این لکه‌ها شمارش شد و سپس درصد دانه‌های آلوده هر کرت از فرمول زیر محاسبه شد (۵۵):

درصد دانه های آلوده = تعداد دانه آلوده در ۵۰ خوشه از هر ۱۰۰×تقسیم بر تعداد کل دانه در ۵۰ خوشه از هر کرت کرت

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک: اندازه‌گیری میزان کارایی فنوسیستم II به‌وسیله دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) با استفاده از سومین برگ توسعه یافته بالای گیاه انجام شد. سومین برگ توسعه بافته بالای گیاه برای اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز تعیین شد. میزان کلروفیل a و b با روش لیچتن تالر(۳۳) و با استفاده از رابطه‌های (۳) و (۴) اندازه‌گیری شد:

$$\text{Chlorophyll a} = 12/25(A_{664}) - 2/79(A_{647}) \quad (۳)$$

$$\text{Chlorophyll b} = 21/21(A_{647}) - 5/1(A_{664}) \quad (۴)$$

A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۴ و ۶۴۷ نانومتر

تعیین غلظت عناصر در برنج: یک هفته پس از آخرین محلول-پاشی، برگ‌های میانی گیاه برداشت شدند. اندازه گیری مقدار کل روی، مس،آهن و منگنز به روش هضم به طریقه سوزاندن خشک و استفاده از HCl صورت گرفته و توسط دستگاه جذب اتمی شعله ای قرائت شد. اندازه‌گیری سیلیسیم با استفاده از روش Eliot (۱۲) انجام شد. تعیین غلظت نیتروژن کل به روش تیتراسیون بعد از تقطیر و استفاده از سیستم اتوماتیک (کجلدال تک اتوآنالیزر) انجام شد. برای استخراج عناصر کلسیم، آهن، پتاسیم و منیزیم مقدار ۱/۰ گرم از وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاهان به‌منظور حذف ترکیبات آلی در داخل کوره در دمای ۵۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴ ساعت سوزانده شد. خاکستر به‌دست آمده در ۱ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۶ نرمال هضم شده و سپس با آب مقطر رقیق شد. اندازه‌گیری عناصر کلسیم، آهن، منیزیم با دستگاه جذب اتمی 7000-AA Shimadzu و برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر مدل JENWAY استفاده شد. میزان جذب عناصر بر حسب میلی‌گرم غلظت عنصر در گرم وزن خشک ریشه محاسبه شد (۳). صفات ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد پنجه مؤثر در هر خوشه و تعداد خوشه ها در شاخص بوته و برداشت اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری لیگنین‌ها: در نمونه های برداشت شده در بخش اول آزمایش، مقدار لیگنین‌های ساقه به روش ماهیات (۳۷) اندازه‌گیری شد. نمونه ها در مرحله رسیدگی کامل به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از خشک کردن در آون با دمای ۷۵ سلسیوس، ۵ گرم پودر ساقه خشک و الک شده به ۴۰ میلی‌لیتر استون اضافه شد و پس از ۱ ساعت ماده اولیه لیگنین استخراج و خشک شد. نمونه ها با اسید سولفوریک هموژن و سپس اتوکلاو شدند. نمونه های هیدرولیزشده پس از فیلتر در محیط خلأ در آون با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس خشک و وزن شد.

برای تعیین میزان سلولز، همی‌سلولز، از ارلن شامل نمونه‌های بقایای گیاهی تیمار شده با قارچ‌ها پس از گذشت ۳۰ روز و نمونه‌های شاهد، مقدار ۱ گرم برداشته شد و پس از خشک کردن، مقدار فیبر نامحلول در شوینده خنثی، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و لیگنین نامحلول در اسید به‌صورت متوالی، با استفاده از روش فیلتربگ (۲۹) و محلول شوینده به روش ون‌سوست و همکاران (۵۲) اندازه‌گیری شدند. از اختلاف مقدار فیبر نامحلول در شوینده خنثی و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی مقدار همی‌سلولز و از اختلاف فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و لیگنین نامحلول در اسید، مقدار سلولز باقی‌مانده در انتهای تجزیه محاسبه شد. همچنین میزان سلولز، همی‌سلولز و لیگنین بقایای گیاهی اولیه بدون تیمار قارچ، مشابه روش پیشین اندازه‌گیری شد.

جدول ۳. میانگین مربعات ویژگی‌های مورفولوژیک تحت تأثیر زمان کاربرد سیلیس تحت تنش خشکی در دو رقم برنج.

Table 3. Analysis of variance of morphological traits as affected by silicon treatment and drought stress in two rice cultivars.

Number of cluster	Fertile claw	Number of claw	Full grain in cluster	Seed in cluster	Node diameter	Shoot diameter	Cluster length	Height	df	Source of variation
264	28.6	32.6	20.9	40	1.3	1.2	38.4	47.4	2	Block
417101**	5827**	8302**	442 ns	3530**	0.3 ns	2.2*	322**	45192**	1	Cultivar (a)
282	56.3	66.7	127	43	0.6	4	65.8	159	2	Error A
1639 ns	13 ns	205 ns	550 ns	321 ns	0.44 ns	0.1 ns	12.3 ns	181 ns	3	Drought stress (b)
739 ns	35.2*	44*	64.6 ns	73 ns	0.51 ns	0.58 ns	4.8 ns	19.6 ns	3	a × b
709 ns	15.5 ns	18 ns	89 ns	82 ns	0.39 ns	0.55 ns	4.9 ns	93.2 ns	2	Silicate (c)
868 ns	19.1 ns	38 ns	188 ns	374 ns	0.05 ns	0.03 ns	1.1 ns	72.1 ns	2	a × c
258 ns	11.3 ns	3.7 ns	293 ns	90 ns	0.58 ns	0.47 ns	8.6 ns	62.6 ns	6	b × c
1267 ns	6.5 ns	7.3 ns	130 ns	178 ns	0.37 ns	0.38 ns	4.6 ns	91.4 ns	6	a × b × c
745	10.6	13.6	204	200	0.27	0.35	7.4	83.05	32	Error B
11.5	11.1	11.3	13.4	12.1	8.8	12.6	9.5	7.2		CV%

**، * و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ ٪ و بدون اثر معنی‌داراست.

**, * and ns stand for significant effect at 1 and 5% probability levels and non-significant effect, respectively.

ارتفاع بوته: Height، طول خوشه: Cluster length، قطر ساقه: Shoot diameter، قطر میانگره: Node diameter، تعداد دانه در خوشه: Seed in cluster، تعداد دانه پر در خوشه: Full grain in cluster، تعداد پنجه در بوته: Number of claw، تعداد پنجه‌های بارور: Fertile claw، تعداد خوشه‌چه در بوته: Number of cluster، بلوک: Block، رقم (a): Cultivar، خطای A: Error A، تنش خشکی (b): Drought stress، کود سیلیس (c): Silicate، خطای B: Error B

درصد آمیلوز

اندازه‌گیری میزان آمیلوز بر اساس روش استاندارد مرکز پژوهش-های بین‌المللی برنج در فیلیپین (۷) و در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله اول آماده‌سازی نمونه‌ها و استانداردها صورت گرفت و در مرحله بعد با استفاده از نمونه‌های استاندارد شده، اندازه‌گیری آمیلوز انجام پذیرفت. در این آزمایش از ارقام IR64 (آمیلوز متوسط)، IR24 (آمیلوز کم) و سپیدرود (آمیلوز زیاد) به‌عنوان شاهد استفاده شد. واریته های برنج بر اساس میزان آمیلوز به برنج های واکسی (صفر تا دو درصد)، بسیار کم آمیلوز (سه تا نه درصد)، کم آمیلوز (۱۰ تا ۱۹ درصد)، آمیلوز متوسط (۲۰ تا ۲۵ درصد) و پر آمیلوز (بیش از ۲۵ درصد) طبقه‌بندی می‌شوند. تعیین ترکیب شیمیایی میزان رطوبت، (۵/۹۵ عدد ثابت × N) چربی بر اساس روش استاندارد AOAC تعیین شد. مقدار کربوهیدرات نیز از حاصل تفاوت مقادیر سایر ترکیبات از ۱۰۰ محاسبه شد. میزان انرژی نمونه‌ها نیز با استفاده از دستگاه بمب کالریمتر (پار ۱۳۵۶، ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری شده و بر حسب کیلوکالری بر ۱۰۰ گرم گزارش شد (۲). برای اندازه گیری قطر ساقه و میانگره نیز از کولیس دیجیتال استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.3 با تحلیل واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون کم‌ترین تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار MS Excel استفاده شد.

نتایج

نتایج میانگین مربعات نشان داد که اعمال تنش خشکی و کاربرد سیلیس بر صفات مورفولوژیک دو رقم برنج در سطح ۱ درصد اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳).

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۳)، اثر تنش خشکی و سیلیس در سطح یک درصد بر ارتفاع دو رقم برنج معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، ارتفاع رقم طارم بیش‌تر از رقم شیرودی بود. نتایج نشان داد که بین دو رقم طارم و شیرودی از لحاظ قطر ساقه نیز اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد دیده شد. به‌طوری که رقم شیرودی قطر ساقه بزرگ‌تری نسبت به رقم طارم داشته است. بررسی‌های انجام شده در مورد صفت قطر میانگره نشان داده که بین تیمارهای مختلف اختلاف

جدول ۴. مقایسه میانگین ویژگی‌های مورفولوژیک تحت تأثیر زمان کاربرد سیلیس تحت تنش خشکی در دو رقم برنج.

Table 4. Mean comparisons of morphological traits as affected by the silicon treatment and drought stress in two rice cultivars.

Number of cluster	Fertile claw	Number of claw	Full grain in cluster	Seed in cluster	Node diameter (mm)	Shoot diameter (mm)	Cluster Length (cm)	Height (cm)		
313.8 a	38.3 a	43.3 a	109.1 a	123.9 a	5.96 a	4.9 a	30.7 a	101 b	Shiroodi	Cultivar
161.6 b	20.3 b	21.9 b	104.1 a	109.9 b	5.38 a	4.5 a	26.4 a	151 a	Taroom	
231 a	29.18 ab	32.25 ab	100 a	113 a	5.92 a	4.74 a	27.37 a	125 b	Control	Drought stress stress
247 a	29.69 a	33.19 a	106 a	116 a	5.94 a	4.78 a	29.17 a	124 b	End of tillering	
245 a	30.11 a	33.68 a	113 a	123 a	5.67 a	4.7 a	29.07 a	125 b	Emergence of clusters	
228 a	28.14 b	31.26 b	108 a	116 a	6.04 a	4.61 a	28.51 a	131 a	After grain filling	
232 a	28.35 a	31.6 a	109 a	117 a	6 a	4.85 a	28.12 a	128 a	Na_2SiO_3	Silicate
243 a	29.76 a	33.2 a	105 a	118 a	5.92 a	4.73 a	29.01 a	125 a	K_2SO_4	
238 a	29.73 a	33 a	106 a	115 a	5.75 a	4.55 a	28.46 a	126 a	(K_2SO_4+ Na_2SiO_3)	

حروف متفاوت در هر گروه و در هر ستون نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Values within each group and in each column followed by the same letters are not significantly different at LSD ($P < 0.05$).

ارتفاع بوته: Height، طول خوشه: Cluster length، قطر ساقه: Shoot diameter، قطر میانگره: Node diameter، تعداد دانه در خوشه: Seed in cluster، تعداد دانه پر در خوشه: Full grain in cluster، تعداد پنجه در بوته: Number of claw، تعداد پنجه‌های بارور: Fertile claw، تعداد خوشه‌چه در بوته: Number of cluster، شیرودی: Shiroodi، طارم هاشمی: Taroom، شاهد: Control، تنش در زمان ظهور خوشه: Emergence of clusters، تنش در زمان پر شدن دانه: After grain filling، سیلیکات کلسیم: Na_2SiO_3، سیلیکات پتاسیم: K_2SO_4، سیلیکات پتاسیم + سیلیکات کلسیم: (K_2SO_4+ Na_2SiO_3)، رقم: Cultivar، تنش خشکی: Drought، کودهای سیلیکاته: Silicate

معنی‌داری دیده نشد. بین دو رقم شیرودی و طارم، تعداد دانه در خوشه در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری دیده شده است به‌طوری که رقم شیرودی تعداد دانه در خوشه بیش‌تری را نسبت به رقم طارم داشت. بین دو رقم مورد آزمایش، تعداد پنجه در بوته بین دو رقم اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد دیده شد. از طرفی تنش خشکی توانست بر صفت تعداد پنجه در بوته روی ارقام طارم و شیرودی ، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان دهد. به‌طوری که رقم شیرودی به میزان ۵۰ درصد از تعداد پنجه در بوته بیش‌تری نسبت به رقم طارم برخوردار بود. از طرفی تنش خشکی نیز در مرحله انتقال مجدد تفاوت معنی‌داری را نشان داده که با اعمال تنش خشکی تعداد دانه در خوشه حدود ۳ درصد کاهش یافت. تعداد پنجه بارور در بین دو رقم اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داده است، به‌طوری که رقم شیرودی میزان پنجه بارور بیش‌تری را نسبت به طارم داشت که این مقدار ۴۱ درصد بود. از طرفی تنش خشکی بر تعداد پنجه بارور دو رقم مورد بررسی در مرحله انتقال مجدد تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داده است که با اعمال تنش تعداد پنجه بارور به میزان ۴ درصد کاهش یافت. تعداد خوشه‌چه در بوته در بین دو رقم مورد بررسی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است. به‌طوری که رقم شیرودی نسبت به طارم ۴۸ درصد تعداد خوشه‌چه در بوته بیش‌تری داشت. در بین صفات مورد بررسی، تعداد دانه پر در خوشه بین دو رقم و پس از اعمال تنش اختلاف معنی‌داری را نشان نداده است (جدول ۴).

نتایج این پژوهش نشان داد که پس از اعمال تنش برخی از صفات مرتبط با آلودگی گیاه برنج اختلاف معنی‌داری را در سطح یک و پنج درصد نشان داده‌اند (جدول ۵). در بررسی‌های انجام شده، کلروفیل در بین دو رقم مورد بررسی و پس از اعمال سیلیس تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است. به‌طوری که رقم شیرودی به مقدار ۱۱ درصد کلروفیل بیش‌تری نسبت به رقم طارم داشت و اعمال توأم سیلیکات پتاسیم و کلسیم باعث کاهش ۱۵ درصدی میزان کلروفیل شده

جدول ۵. میانگین مربعات شاخص های بیماری تحت تأثیر زمان کاربرد سیلیس تحت تنش خشکی در دو رقم برنج.

Table 5. Analysis of variance of morphological traits as affected by the silicon treatment and drought stress in two rice cultivars.

Average number of spots	Seed infection (%)	Cluster infection (%)	Node infection	Leaf blast infection	Mean cluster blast distance	Blast of the second node	Blast of the first node	Number of large vascular bundles	Chlorophyll	df	Source of variation
3.2	52	240	198	1694	1.6	11	8.9	1.3	1.9	2	Block
7.9**	19 ns	4058**	5727**	381 ns	2.5**	1820**	2154**	0.6 ns	171**	1	Cultivar (a)
0.76	76	2.4	299	442	0.6	55	27	0.3	0.2	2	Error A
0.8 ns	7 ns	135 ns	17 ns	30 ns	0.03 ns	3.2 ns	29 ns	2.1 ns	0.6 ns	3	Drought stress (b)
0.4 ns	8 ns	22 ns	36 ns	41 ns	0.06 ns	36 ns	4 ns	0.5 ns	2.4 ns	3	a × b
2.9*	32 ns	512**	600*	532*	0.02 ns	127 ns	517**	123**	307**	2	Silicate (c)
1.9 ns	25 ns	207 ns	701**	277 ns	0.44 ns	64 ns	287*	3 ns	23 ns	2	a × c
0.53 ns	22 ns	60 ns	84 ns	89 ns	0.43 *	20 ns	37 ns	7.8 ns	5.8 ns	6	b × c
1.2 ns	23 ns	149 ns	65 ns	175 ns	0.12 ns	17 ns	19 ns	7.9 ns	11.3 ns	6	a × b × c
0.59	27	78	118	195	0.163	56	55.8	8.7	17.2	32	Error B
17.2	19	22.2	29	35	25	18.7	18.8	19.5	12.6		CV%

**، * و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

**, * and ns stand for significant effect at 1 and 5% probability levels and non-significant effect, respectively.

کلروفیل برگ: Chlorophyll، تعداد دستجات آوندی بزرگ: Number of large vascular bundles، درصد بلاست گره اول: Blast of the first node، درصد بلاست در گره دوم: Blast of the second node، میانگین فاصله بلاست خوشه: Mean cluster blast distance ، آلودگی برگ به بلاست: Leaf blast infection، درصد گره‌های آلوده: ٪ Node infection، درصد خوشه‌های آلوده: ٪ Cluster infection، درصد دانه آلوده: ٪ Seed infection، میانگین تعداد لکه: Average number of spots، بلوک: Block، رقم (a): Cultivar، خطای A: Error A، تنش خشکی (b): Drought stress، کود سیلیس (c): Silicate، خطای B: Error B

است. پس از اعمال تنش سلیس، میزان دستجات آوندی تغییر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته و تیمار توأم سیلیکات پتاسیم و کلسیم به‌میزان ۲۰ درصد سبب کاهش تعداد دستجات آوندی شده است. بررسی میزان آلودگی در بین دو رقم پس از اعمال تنش نشان داد که درصد بلاست گره اول بین دو رقم اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد داشت. همچنین اعمال سیلیس باعث اختلاف معنی‌داری بین دو رقم نیز در سطح یک درصد شده است. رقم طارم ۳۴ درصد بلاست بیش‌تری در گره اول و دوم نسبت به رقم شیرودی نشان داده است.

پس از استفاده از سیلیکات پتاسیم نیز میزان درصد بلاست در گره اول ساقه برنج، بیش‌تر از گیاه تیمار شده با سیلیکات کلسیم بوده است. میانگین فاصله بلاست خوشه بین دو رقم اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است. همچنین تیمار تنش خشکی در مرحله انتقال مجدد و سیلیکات پتاسیم نیز اثر معنی‌داری بر میانگین فاصله بلاست خوشه داشته‌اند. پس از اعمال تنش سیلیس بین دو تیمار سیلیکات پتاسیم و کلسیم، اختلاف معنی‌داری در آلودگی برگ به بلاست دیده شده به‌طوری که در برنج تیمار شده با سیلیکات پتاسیم میزان آلودگی برگ به بلاست ۱۲ درصد بیش‌تر از برنج تیمار شده با سیلیکات کلسیم بود. درصد گره‌های آلوده به بلاست، بین دو رقم و پس از اعمال تنش سلیس اختلاف معنی‌داری نشان داد به‌طوری که رقم طارم ۴۴ درصد میزان گره آلوده بیش‌تری نسبت به شیرودی نشان داده است و همچنین تیمار سیلیکات پتاسیم نسبت به کلسیم میزان آلودگی گره به بلاست بیش‌تری را نشان داده است (جدول ۶). درصد خوشه آلوده بین دو رقم و پس از اعمال تنش سیلیس دارای اختلاف معنی‌داری در سطح

جدول ۶. مقایسه میانگین شاخص های مرفولوژیک تحت تأثیر زمان کاربرد سیلیس تحت تنش خشکی در دو رقم برنج

Table 6. Mean comparisons of morphological traits as affected by the silicon treatment and drought stress in two rice cultivars.

Average number of spots	Seed infection %	Cluster infection %	Node infection %	Leaf blast infection	Mean cluster blast distance	Blast of the Second node	Blast of the first node	Number of large vascular bundles	Chlor ophyll		
4.15 a	26.74 a	34.04 b	28.58 b	37.15 a	1.43 a	35 b	34.2 b	15 a	34.37 a	Shiroodi	Cultivar
82.4 a	27.77 a	47.42 a	46.42 a	41.75 a	1.8 a	45.1 a	45.2 a	15.2 a	31.29 b	Taroom	
4.42 a	27.02 a	42.97 a	36.51 a	37.71 a	1.66 a	40.12 a	39.24 a	14.58 a	33.03 a	control	Drought stress
4.23 a	26.74 a	36.59 a	36.83 a	39.23 a	1.57 a	40.41 a	38.39 a	15.25 a	32.85 a	End of tillering	
4.74 a	28.19 a	39.05 a	38.53 a	40.26 a	1.56 a	39.42 a	39.66 a	15.19 a	32.58 a	Emergence of clusters	
4.55 a	27.08 a	41.05 a	38.11 a	40.61 a	1.64 b	40.15 a	41.42 a	15.32 a	32.85 a	After grain filling	
4.15 b	26.11 a	34.95 b	33.49 b	34.20 b	1.65 a	37.39 a	36.05 b	16.22 a	35.37 a	Na_2SiO_3	Silicate
4.46 ab	27.33 a	40.71 a	35.9 b	40.85 ab	1.59 b	41 a	38.07 b	16.58 a	34.38 a	K_2SO_4	
4.85 b	28.43 a	44.08 a	43.1 a	43.31 a	1.6 a	41.68 a	44.91 a	12.48 b	28.73 b	(K_2SO_4+ Na_2SiO_3)	

حروف متفاوت در هر گروه و در هر ستون نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Values within each group and in each column followed by the same letters are not significantly different at LSD ($P < 0.05$).

کلروفیل برگ: Chlorophyll، تعداد دستجات آوندی بزرگ: Number of large vascular bundles، درصد بلاست گره اول: Blast of the first node، درصد بلاست در گره دوم: Blast of the second node، میانگین فاصله بلاست خوشه: Mean cluster blast distance ، آلودگی برگ به بلاست: Leaf blast infection، درصد گره‌های آلوده: Node infection٪، درصد خوشه‌های آلوده: ٪ Cluster infection، درصد دانه آلوده: Seed infection، میانگین تعداد لکه: ٪ Average number of spots، شیرودی: Shiroodi، طارم هاشمی: Taroom، شاهد: Control، تنش در پایان پنجه‌دهی: End of tillering، تنش در زمان ظهور خوشه: Emergence of clusters، تنش در زمان پر شدن دانه: After grain filling، سیلیکات کلسیم: Na_2SiO_3، سیلیکات پتاسیم: K_2SO_4، سیلیکات پتاسیم + سیلیکات کلسیم (K_2SO_4+ Na_2SiO_3)، رقم: Cultivar، تنش خشکی: Drought stress، کودهای سیلیکاته: Silicate

یک درصد نشان داده است. به‌طوری که رقم طارم ۳۴ درصد خوشه آلوده بیش‌تری نسبت به شیرودی داشته است. از طرفی گیاه تیمار شده با سیلیکات پتاسیم نیز درصد بیش‌تری از آلودگی خوشه را نسبت به گیاه تیمار شده با سیلیکات کلسیم داشت. میانگین تعداد لکه بین دو رقم اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. کود سیلیس نیز اثر معنی‌داری بر میانگین تعداد لکه داشت. مصرف توأم سیلیکات پتاسیم و کلسیم اثر بیش‌تری بر میانگین تعداد لکه نسبت به سیلیکات پتاسیم و کلسیم به‌ترتیب داشته است. اعمال تیمارها بر صفت درصد دانه آلوده اثر معنی‌داری نداشته است (جدول ۶).

بررسی‌های انجام شده در مورد تغییرات میزان عناصر پس از اعمال تنش نشان داد که غلظت مس در بین دو رقم در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری داشته است (جدول ۷) به‌طوری که رقم شیرودی ۱۵ درصد مس بیش‌تری نسبت به طارم پس از اعمال تنش داشته است. دو تیمار سیلیس بر عنصر روی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشته‌اند، به‌طوری که بیشترین غلظت روی، در ابتدا مربوط به گیاه تیمار شده با سیلیکات کلسیم و پس از آن سیلیکات پتاسیم بود و در نهایت گیاه تیمار شده با ترکیب سیلیکات پتاسیم و کلسیم کمترین غلظت روی را نشان داده است. بررسی غلظت عناصر کلسیم و منیزیم نشان داده که اثر سیلیس بر این عناصر دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد است. به‌طوری که درگیاه تیمار شده با سیلیکات پتاسیم از غلظت کلسیم و منیزیم بیش‌تری برخوردار است (به‌ترتیب ۳/۳۴ و ۱۲/۹۷ mg/kg). تنش در زمان ظهور خوشه و تنش در زمان پنجه‌دهی باعث کاهش غلظت منیزیم در گیاه برنج نسبت به نمونه شاهد شده است. تنش خشکی در مرحله انتقال مجدد باعث افزایش غلظت منیزیم شد. بررسی غلظت منگنز نشان داد که اثر کود سیلیس بر

جدول ۷. میانگین مربعات صفات بیوشیمیایی تحت تأثیر زمان کاربرد سیلیس تحت تنش خشکی در دو رقم برنج.

Table 7. Analysis of variance of biochemical traits as affected by the silicon treatment and drought stress in two rice cultivars.

N	Mn	Mg	Ca	Zn	Cu	df	Source of variation
0.006	0.03	0.23	0.13	0.002	0.0006	2	Block
0.835*	7**	0.77 ns	0.16 ns	0.004 ns	0.0007**	1	Cultivar (a)
0.004	0.016	0.87	0.13	0.002	0.00006	2	Error A
0.003 ns	0.03 ns	0.21 ns	0.05 ns	0.003 ns	0.00002 ns	3	Drought stress (b)
0.003 ns	0.02 ns	0.17 ns	0.11 ns	0.004 ns	0.00004 ns	3	a × b
0.12**	1.9**	0.75 ns	0.35 ns	0.015**	0.0001 ns	2	Silicate (c)
0.12**	1.7**	2.55*	0.64*	0.003 ns	0.00007 ns	2	a × c
0.005 ns	0.3 ns	0.39 ns	0.28 ns	0.001 ns	0.00005 ns	6	b × c
0.008 ns	0.4 ns	0.43 ns	0.29 ns	0.002 ns	0.00006 ns	6	a × b × c
0.005	0.2	0.5	0.16	0.002	0.00006	32	Error B
15.8	11.2	5.5	13.8	12.3	22		CV%

**، * و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

**, * and ns stand for significant effect at 1 and 5% probability levels and non-significant effect, respectively.

مس: Cu، روی: Zn، کلسیم: Ca، منیزیم: Mg، منگنز: Mn، نیتروژن: N، بلوک: Block، رقم (a): Cultivar، خطای A: Error A، تنش خشکی (b): Drought stress، کود سیلیس (c): Silicate، خطای B: Error B

دو رقم برنج طارم و شیرودی در سطح یک درصد معنی‌داری بود. به‌طوری که رقم شیرودی نسبت به رقم طارم غلظت منگنز کم‌تری داشته و گیاه تیمار شده با سیلیکات پتاسیم نسبت به گیاه تیمار شده با سیلیکات کلسیم و ترکیب هر دو سیلیکات غلظت منگنز بیش‌تری دیده شده است. مقدار نیاسین در دو رقم برنج اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است.

همچنین تنش خشکی اثر معنی‌داری بر مقدار نیاسین داشته است. به‌طوری که رقم شیرودی نسبت به رقم طارم میزان بیش‌تری نیاسین داشته است. بررسی میزان نیتروژن نشان داده که بین دو رقم پس از تیمار سیلیس اختلاف معنی‌داری دیده شده است. رقم طارم نسبت به رقم شیرودی دارای نیتروژن بیش‌تری به میزان ۱۵ درصد بود. همچنین گیاه برنج تیمار شده با سیلیکات پتاسیم نسبت به گیاه تیمار شده با سیلیکات کلسیم و ترکیب این دو تیمار دارای نیتروژن بیش‌تری بوده است (جدول ۸).

صفات بیوشیمیایی مورد بررسی در گیاه برنج تحت تنش خشکی اختلاف معنی‌داری در همه صفات به جز کارایی فتوسیستم II و همی سلولزداشته‌اند (جدول ۹). درصد آمیلوز، در دو رقم برنج و پس از اعمال تنش سیلیس دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بوده به‌طوری که رقم شیرودی نسبت به رقم طارم دارای ۱۳ درصد آمیلوز بیش‌تری بوده است. گیاه تیمار شده با ترکیب هر دو سیلیکات پتاسیم و کلسیم میزان آمیلوز بیش‌تری نسبت به تیمار جداگانه سیلیکات‌ها داشته است تیمار تنش خشکی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان سیلیس دانه داشته است به‌طوری که تنش در زمان ظهور خوشه تاثیر بیش‌تری بر مقدار سیلیس دانه نسبت به دوره‌های دیگر اعمال تنش مانند زمان پایان پنجه‌دهی داشته است. تنش خشکی در زمان ظهور خوشه و تنش در زمان انتقال مجدد سبب افزایش میزان سیلیس ساقه نسبت به نمونه شاهد به مقدار ۹ درصد شده است (جدول ۱۰). تنش خشکی بر میزان سلولز ساقه دو رقم مورد بررسی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است. تنش خشکی در زمان انتقال مجدد باعث افزایش سلولز ساقه نسبت به نمونه شاهد تا ۷ درصد شده است. میزان همی‌سلولز تغییر معنی‌داری در بین تیمارهای مورد بررسی نشان نداده است. نتایج نشان داد که بین دو رقم و پس از اعمال تیمار

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی گیاه برنج تحت تأثیر زمان کاربرد سیلیس تحت تنش خشکی در دو رقم برنج.

Table 8. Mean comparisons of biochemical traits as affected by the silicon treatment and drought stress in two rice cultivars.

N (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)		
0.358 b	3.70 b	12.73 a	2.98 a	0.0380 a	0.039 a	Shiroodi	Cultivar
0.497 a	4.33 a	12.52 a	2.88 a	0.0365 a	0.033 b	Taroom	
0.414 a	4.07 a	12.72 a	2.99 a	0.381 a	0.037 a	control	Drought stress Stress
0.418 a	4.01 a	12.58 ab	2.93 a	0.381 a	0.034 a	End of tillering	
0.441 a	4.02 a	12.49 b	2.86 a	0.377 a	0.037 a	Emergence of clusters	
0.436 a	3.97 a	12.71 a	2.94 a	0.353 a	0.036 a	After grain filling	
0.404 a	3.98 b	12.73 b	2.94 b	0.397 a	0.038 a	Na_2SiO_3	Silicate
0.510 b	4.31 a	12.97 a	3.34 a	0.374 ab	0.034 a	K_2SO_4	
0.368 c	3.76 b	12.56 b	2.80 a	0.384 b	0.036 a	(K_2SO_4+Na_2SiO_3)	

حروف متفاوت در هر گروه و در هر ستون نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Values within each group and in each column followed by the same letters are not significantly different at LSD ($P < 0.05$).

مس: Cu، روی: Zn، کلسیم: Ca، منیزیم: Mg، منگنز: Mn، نیتروژن: N، شیرودی: Shiroodi، طارم هاشمی: Taroom، شاهد: Control، تنش در پایان پنجه‌دهی: End of tillering، تنش در زمان ظهور خوشه: Emergence of clusters: تنش در زمان پر شدن دانه: After grain filling، سیلیکات کلسیم: Na_2SiO_3، سیلیکات پتاسیم: K_2SO_4، سیلیکات پتاسیم + سیلیکات کلسیم: (K_2SO_4+Na_2SiO_3)، رقم: Cultivar، تنش خشکی: Drought stress، کودهای سیلیکات: Silicate

جدول ۹. تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی تحت تأثیر زمان کاربرد سیلیکون تحت تنش خشکی در دو رقم برنج.

Table 9. Analysis of variance of biochemical traits as affected by the silicon treatment and drought stress in two rice cultivars.

Lignin of stem	Hemicellulose of stem	Cellulose of stem	photosystem II efficiency (fv/fm)	Stem silicate	Seed silicate	Amylose %	Source of variation
48	14	2	0.00003	19	30	19	Block
16.8**	1.5 ns	2.5*	0.000007 ns	0.125	0.5 ns	11**	Cultivar (a)
7	4.3	1.1	0.000001	2.5	1.5	19	Error A
3.7**	1.7 ns	27**	0.0000013 ns	9.7*	22**	0.6 ns	Drought stress (b)
2.5**	0.62 ns	1.3 ns	0.0000016 ns	1.5 ns	1.1 ns	0.5 ns	a × b
0.44 ns	1.7 ns	0.2 ns	0.000004 ns	0.7 ns	0.6 ns	0.4 ns	Silicate (c)
0.045 ns	0.03 ns	0.2 ns	0.000007 ns	3.5 ns	6 ns	1.9**	a × c
0.55ns	0.44 ns	0.3 ns	0.000002 ns	2.6 ns	4 ns	0.3 ns	b × c
0.54 ns	0.58 ns	0.5 ns	0.00001 ns	1.5 ns	5 ns	0.2 ns	a × b × c
0.57	1.14	0.58	0.00004	2.6	3.7	8.17	Error B
6	1.7	9.1	3	7.15	6.15	3.2	CV%

**، * و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

**, * and ns stand for significant effect at 1 and 5% probability levels and non-significant effect, respectively.

درصد آمیلوز: ٪ Amylos، سیلیس دانه: Seed silicate، سیلیس ساقه: Stem silicate، کارایی فتوسیستم II: Photosystem II efficiency(fv/fm)، سلولز ساقه: Cellulose of stem، همی‌سلولز ساقه: Hemicellulose of stem، لیگنین ساقه: Lignin of stem، بلوک: Block، رقم (a): Cultivar، خطای A: Error A، تنش خشکی (b): Drought stress، کود سیلیس (c): Silicate fertilizer، خطای B: Error B

جدول ۱۰. مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی تحت تأثیر زمان کاربرد سیلیکون تحت تنش خشکی در دو رقم برنج.

Table 10. Mean comparisons of biochemical Traits as affected by the silicon treatment and drought stress in two rice cultivars.

photosystem II efficiency (fv/fm)	Silicate of seed (%)	Silicate of Stem (%)	Cellulose of stem (%)	Hemicellulose of stem (%)	Lignin of Stem (%)	Amylose %		
0.876a	12.389 a	10.278 a	39.23 a	15.24 a	12.09 a	23.59 b	Shiroodi	Cultivar
0.876a	12.222a	10.194 a	39.59 a	14.94 a	13.86 b	21.11 a	Taroom	
0.87a	211 a	94.9 a	3.38 c	8.14 a a	12.12 a	22.27 a	control	Drought stress
0.88a	11.6 a	33.9 a	1.39 a	9.14 a	26.12 a	21.96 a	End of tillering	
0.88a	b 13.57	78.10 b	2.39 a	5.15 a	20.13 b b	22.37 a	Emergence of clusters	
0.88a	12.70 a	89.10 b	1.41 b	2.15 a	9.12 a	22.20 a	After grain filling	
0.876a	12.38 a	40.10 a	48.39 a	93.14 a	45.12 a	22.15 a	Na_2SiO_3	Silicate fertilizer
0.876a	12.42 a	38.10 a	46.39 a	95.14 a	56.12 a	22.10 a	K_2SO_4	
0.876a	12.13 a	29.10 a	3.39 a	4.15 a	72.12 a	23.25 b	(Na_2SiO_3 +K_2SO_4)	

حروف متفاوت در هر گروه و در هر ستون نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Values within each group and in each column followed by the same letters are not significantly different at LSD ($P < 0.05$).

کارایی فتوسیستم II: Photosystem II efficiency (fv/fm)، سیلیس دانه: Silicate of seed ، سیلیس ساقه: Silicate of stem، سلولز ساقه: Cellulose of stem، همی‌سلولز ساقه: Hemicellulose of stem، لیگنین ساقه: Lignin of stem، درصد آمیلوز: % Amylose، شیرودی: Shiroodi، طارم هاشمی: Taroom، تنش در پایان پنجه‌دهی: End of tillering، تنش در زمان ظهور خوشه: Emergence of clusters، تنش در زمان پر شدن دانه: After grain filling، سیلیکات کلسیم: Na_2SiO_3، سیلیکات پتاسیم: K_2SO_4، سیلیکات پتاسیم + سیلیکات کلسیم: (K_2SO_4+ Na_2SiO_3)، رقم: Cultivar، تنش خشکی: Drought stress، کودهای سیلیکاته: Silicate fertilizer

تنش خشکی تفاوت معنی‌داری از نظر لیگنین ساقه در سطح یک درصد وجود داشته است. به‌طوری که رقم طارم نسبت به شیرودی میزان لیگنین بیش‌تری تا ۹ درصد داشت و تنش خشکی در زمان ظهور خوشه باعث تولید لیگنین بیش‌تری تا ۱۰ درصد در ساقه نسبت به نمونه شاهد شده است. بررسی مقدار انرژی نشان داد که بین دو رقم و پس از اعمال تنش سیلیس و خشکی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد دیده شد به‌طوری که دانه برنج در رقم شیرودی مقدار انرژی بیش‌تری نسبت به رقم طارم تا ۰/۳ درصد نشان داده است. اعمال تنش خشکی در زمان انتقال مجدد (۷٪) و تیمار سیلیکات پتاسیم نسبت به بقیه تیمارها تا ۰/۳ درصد مقدار انرژی دانه بیش‌تری را نشان داده است (جدول ۱۰). بررسی کارایی فتوسیتم II نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری دیده نشده است (جدول ۹).

بحث

پژوهش‌های اخیر علوم زراعت گیاهی به‌دلیل آثار مثبت مولکول‌های خارجی که اغلب مرتبط با آفات، بیماری‌ها یا ارگانیسم‌های همزیست با گیاه می‌باشند، بر تنش‌های زیستی و غیرزیستی متمرکز شده است (۴۳). سیلیس به‌عنوان مولکول‌های خارجی، بر فیزیولوژی گیاه، به‌ویژه بر روی دیواره سلولی متمرکز است. افزایش سیلیس در دیواره سلولی منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی، مقاومت به شوری و تحمل به خشکی می‌شود (۴۰). همچنین این عنصر باعث افزایش مقاومت ریشه در برابر خشکی و افزایش رشد ریشه می شود که موضوع اصلی پژوهش‌های کاربردی برای تخمین کارآیی مصرف آب و مقاومت به خشکی محصولات است (۳۸). تنش خشکی تمام جنبه‌های مورفوفیزیولوژیک، صفات بیوشیمیایی و روابط آبی گیاه را تحت تاثیر قرار می دهد. با این‌حال، تیمار سیلیس در کاهش آثار منفی تنش کمبود آب مفید است. بر

اساس نتایج کروسیکول و همکاران (۱۰) که پتانسیل آبی ۰/۰۲۵ مگاپاسگال را برای آزمایش خود در گیاه برنج در نظر گرفته‌اند، بیان داشتند که هرگاه پتانسیل آب از این مقدار تغییر پیدا کند به‌خاطر کمبود آب، منجر به کاهش محصول در برنج می‌شود. در گذشته بررسی‌هایی مبنی بر اثر تیمار سیلیس در گیاهان مواجه با کمبود آب در گونه‌های مختلف مانند گندم (۲۰)، برنج (۸)، سویا (۴۵)، ذرت (۳۵) انجام شده است. همچنین اینیجی و همکاران (۱۰) افزایش مواد غذایی و رشد را در گونه‌های علفی پس از تیمار سیلیس در شرایط خشکی گزارش کرده است. کاهش فتوسنتز اثر نامطلوب خشکسالی است که احتمالاً ناشی از کاهش گسترش برگ‌ها و آسیب-دیدگی دستگاه‌های فتوسنتزی است (۵۴). در پژوهش حاضر کاربرد سیلیس به‌طور قابل توجهی باعث افزایش کلروفیل کل شده است. این نتیجه ممکن است مربوط به افزایش جذب آب، رشد ریشه و ایستادگی برگ‌ها پس از کاربرد سیلیس باشد که نرخ فتوسنتز بیش‌تری را حفظ کرد (۱۹ و ۲۴). هاتوری و همکاران (۲۴) مشاهده کردند که سرعت رشد سورگوم پس از کاربرد سیلیسیم در شرایط تنش خشکی بیش‌تر از نمونه شاهد بود. تجمع سیلیس می‌تواند ایستادگی برگ را افزایش دهد، که منجر به تسریع نفوذ نور، کاهش تعرق و ارتقاء فتوسنتز می‌شود (۴۵). پژوهش‌ها روی نهال های سویا نشان داد که تیمار سیلیس پس از اعمال تنش خشکی باعث کاهش رنگدانه های فتوسنتزی می‌شود که با افزودن تیمار سیلیس، آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو به رنگدانه های فتوسنتزی کاهش می‌یابد. سیلیس باعث افزایش محتوای کلروفیل و در نهایت افزایش فتوسنتز می‌شود (۴۵). در پژوهش حاضر با افزایش مصرف کود سیلیس، درصد آلودگی بلاست برگ، گره آلوده به بلاست، خوشه آلوده به بلاست، میانگین تعداد لکه‌ها کاهش یافته است. این یافته‌ها با نتایج رابیندرا و همکاران (۴۲) همخوانی دارد که نشان دادند با اعمال سیلیس، بلاست برگ کاهش یافت. شدت بلاست برگ نیز با افزایش کاربرد سیلیس کاهش یافت (۲۳ و ۳۲). برخی از پژوهش‌ها نشان داد که اثر ترکیبی سیلیکات کلسیم و قارچ‌کش جیوه باعث کاهش بلاست در خوشه برنج شده است (۲۹ و ۴۱). در پژوهش حاضر پس از کاربرد سیلیکات پتاسیم، غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، منگنز، روی و نیتروژن افزایش یافته است. چگونگی تأثیر سیلیس بر غلظت عناصر معدنی در دانه‌های برنج هنوز به درستی درک نشده است. گزارش‌های پیشین نشان داد که کاربرد سیلیس مانع از جذب آهن و منگنز شده و در نتیجه منجر به کاهش قابل توجه غلظت آهن و منگنز در گیاهان برنج می‌شود (۶ و ۲۷). احتمالاً سیلیس می‌تواند نسبت توزیع آهن و روی را در بین اندام‌های مختلف گیاهی تغییر دهد و انتقال آن‌ها به دانه‌ها را از طریق آوندهای آبکش افزایش دهد، که می‌تواند دلیل این تفاوت باشد (۲۵ و ۵۶). علاوه بر این، سان و همکاران (۵۰) نشان دادند که تغذیه بهینه سیلیس باعث افزایش رشد و نمو حجم و وزن ریشه می شود که در نهایت سطح کل جذب عناصر را افزایش می‌دهد. استفاده از سیلیس پتاسیم به‌طور گسترده کمبود عناصر غذایی گیاه از جمله کمبود پتاسیم را کاهش می‌دهد (۶۰). پژوهش‌ها نشان داده است که سیلیس نقش واسطه‌ای در تجمع پتاسیم در آوند چوبی دارد که در نهایت باعث کاهش سطح آب گیاه در شرایط کمبود پتاسیم می‌شود. افزایش جذب عناصر در گیاهان متأثر از سیلیس ممکن است به دلیل اثر آن بر رشد زیست‌توده باشد (۲۰). با این‌حال، پژوهش‌های پیشین نشان داده است که کودهای پتاسیم نقش مفیدی در جبران کمبود عناصر دارند. همچنین منبع سیلیس نقش مهمی در جذب پتاسیم دارد. احتمالاً کاهش پتاسیم به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به دلیل غلظت زیاد کلسیم و واکنش رقابتی با سایر عناصر شیمیایی یعنی پتاسیم است. افزایش غلظت پتاسیم با استفاده از سیلیس نشان می دهد که سیلیس ممکن است جذب K را با افزایش فعالیت ATPase و در نتیجه بهبود عملکرد غشاء افزایش دهد. سیلیس به طور غیرمستقیم بر غلظت منگنز با افزایش غلظت فسفر اثر می گذارد. زمانی که غلظت فسفر در خاک کم باشد، در دسترس بودن فسفر می‌تواند تحت تأثیر سطوح منگنز باشد. بنابراین، سیلیس با کاهش بیش از حد

منگنز، فراهمی فسفر را افزایش می دهد. از آنجایی کـه سـیلیس قوی‌تر از فسفات جذب می‌شود، باعث آزاد شدن فسـفات و در نتیجه افزایش تحرک و فراهمی آن بـرای گیاهـان مـی‌شـود. در برخی پژوهش‌ها، تیمار سیلیس غلظت فسفر در برگ جعفری را افزایش داد (۴۶ و ۴۷). این نتایج با نتایج به‌دست آمـده در ایـن پژوهش همخوانی داشت. نقش مهم سیلیس در تولید لیگنـین و کربوهیدرات‌ها از طریق مشارکت اسیدهای فنولیک یا حلقه‌های معطر است (۱۴). گزارش شده است که کـاربرد سـیلیس باعـث افزایش کربوهیدرات برگ، ساقه و دانه در برنج مـی‌شـود (۲۸). سیلیس احتمالاً می‌تواند به اجزای دیواره سلولی در قالـب یـک ترکیب نیمه‌اسـتری اسـید سیلیسـیک (R2-O-Si-O-R1) تبـدیل شود. علاوه بـر ایـن، بـه نظـر مـی‌رسـد سـیلیس بـر غلظـت و متابولیسم پلی‌فنل‌ها در دیواره‌هـای سـلولی آونـد چـوبی تـأثیر می‌گذارد (۶). دیواره سلولی ثانویه عمدتاً از سـه کربوهیـدرات، سلولز، لیگنین و همی‌سلولز تشکیل شده است (۱۷). سیلیس در سه پلیمر دیواره سلولی شـامل کریستالیزاسـیون سـلولز بلـوری، نـرخ جـایگزینی آرابینـوز-زایلـن و نسـبت سـیناپیل الکـل در لیگنین‌های استخراج شده مؤثر است (۵۸). سیلیس قـرار گرفتـه در دیواره سلولی می تواند سبب ارتباط کربوهیدرات و پروتئین محلول شود و همچنـین پیونـد کووالانسـی را بـا مـواد آلـی در دیواره سلولی برقرار سازد. همچنـین در برخـی مـوارد سـیلیس می‌تواند جـایگزین کـربن از جملـه اسـتحکام سـاختاری شـود. سیلیس می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین با انرژی کمتر در فراینـد بازسازی در مقایسه با سنتز لیگنین و سلولز، به ویژه در شـرایط محدودیت رشد یا تنش، باشد (۵۳). در پـژوهش حاضـر تغییـر معنی‌داری صفت لیگنین در دو رقم برنج مورد مطالعـه طـارم و شیرودی مشاهده شـد. پـژوهش‌هـا نشـان مـی‌دهـد عـلاوه بـر ژنوتیپ، شرایط کشت نیـز از عوامـل کلیـدی مـؤثر بـر غلظـت پروتئین و اسید آمینه در برنج اسـت (۵۷). در پـژوهش حاضـر، دو رقم برنج تفاوت معنی‌داری از نظر صـفات مورفولوژیـک و بیوشیمیایی نشان دادند. پژوهش‌ها نشان داده اسـت کـه کـارایی تاثیر سیلیس بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بسته به زمـان و نوع گونه های گیاهی متفاوت است (۲۰). در مورد تغذیه، به نظر می‌رسد اثر آنتی‌اکسیدانی آن در شرایط تـنش و بیمـاری بـارزتر باشد. علاوه بر این، تأثیر آن ممکن است علاوه بر غلظت آن بـه نوع ترکیب سیلیس نیز بستگی داشـته باشـد. بـه‌طـوری کـه در پژوهش حاضر سیلیکات پتاسیم نسبت بـه سـیلیکات سـدیم در افزایش و بهبود صفات مرفولوژیک و بیوشیمیایی مـؤثرتر عمـل کرده است که می‌تواند بـه‌دلیـل نقـش مهـم‌تـر پتاسـیم پـس از نیتروژن، در افزایش کمّیت و کیفیت برنج باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، کود سیلیس اثـر معنـی‌داری بـر شـاخص‌هـای مورد مطالعه در گیاه برنج تحت تنش خشـکی داشـت. شـرایط خشکی آثار نامطلوبی بر تعداد دانه در خوشه، پنجه بارور، تعداد پنجه در بوته، تعداد خوشه‌چه نشـان داد. بـا ایـن‌حـال، کـاربرد سـیلیس در از بـین بـردن آثـار نـامطلوب کمبـود آب، بـین شاخص‌های مورد سنجش مؤثر بوده است، به‌طوری که به نظـر می‌رسد سیلیس اعمال شده در برنج باعث افزایش عملکردهـای مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی می‌شود. نتایج نشان داد که، اثـر سیلیس و خشکی بین دو رقم طارم هاشمی و شیرودی معنی‌دار نبود. نتایج نشان‌دهنده اثر مفید سیلیس بر گیاه بـرنج در شـرایط خشکی است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مـی-توان گفت مدیریت کاربرد تیمار سیلیس می‌تواند باعـث بهبـود ویژگی‌های مورفولوژیک در گیاه برنج شود. مشاهده شد کـه در مقایسه با شاهد، کاربرد سیلیس باعث افزایش قطر ساقه، تعـداد دانه در خوشه، تعداد خوشه‌چه، غلظت عناصر و کاهش آلودگی بلاست برگ در برنج شـد. امـا کـاربرد سـیلیس باعـث کـاهش کلروفیل در برنج شده است. در مجموع، یافته‌های این پـژوهش نشان داد که برای ویژگی‌های رشـد و نمـو بـرنج، سـیلیکات پتاسـیم مؤثرتر از سیلیکات کلسیم عمل کرده است. همچنین در مقایسـه بـین دو رقم مورد بررسی، رقم شـیرودی از لحـاظ صـفات مورفولوژیـک بیش‌تر از رقم طارم تحت تأثیر تنش قرار گرفته است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه آزاد آیت‌الله آملی بـرای تـأمین امکانـات اجرای این طرح سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. 1 AOAC., 2005. Official Methods for Analysis (Vol. II, 15th Ed.). Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
2. Abdolzadeh, A., Wang, X., Veneklaas, E.J., Lambers, H., 2010. Effects of phosphorus supply on growth, phosphate concentration and clusterroot formation in three Lupinus species. *Annual Botany* 105: 365–374.
3. Ashraf, M., Rahmatullah, R., Ahmad, M., Afzal, M., Tahir, A., Kanwal, S., Maqsood, M.A., 2009. Potassium andsilicon improve yield and juice quality in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 284–291.
4. Biel, K. Y., V. V. Matichenkov. and I. R. Fomina. 2008. Protective role of silicon in living systems. pp: 167- 198. *In*: Martirosyan, D.M. (Ed.), Functional Foods for Chronic. D and A Inc. Richardson Press, Dallas, Texas, USA.
5. Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J.F., Rengel, Z., Zhao, F., 2012. Beneficial Elements. In: Marschner, P. (Ed.), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Ed.,, Elsevier Ltd., pp. 249–269.
6. Cagampang, G.B., Prez, C.M., Guliano, B.O., 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 24: 1589–1594.
7. Chen, W., Yao, X., Cai, K., Chen, J., 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biology Trace Element Research* 142: 67–76.
8. Crusciol, C.A.C., 2009. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science* 49: 949–954.
9. Crusciol, C.A.C., 2006. Yield of upland rice cultivars in rainfed and sprinkler-irrigated systems in the Cerrado region of Brazil. *Australian Journal of Exprement Agriculture* 11: 1515–1520.
10. Datnoff, L.E., Rodrigues, F.A., 2005. The role of silicon in suppressing rice diseases. *American Phytopathological Society* 28: 733-737.
11. Diogo, H.M.M., Marcio, M., Amanda, M.B., Rilner, AFl.,, Henrique, F.E., Oliveira, F.S., Raimundo, L., 2020. Combined effects of induced water deficit and foliar application of silicon on the gas exchange of tomatoes for processing. *Agronomy* 10: 1715.
12. Elliott, C.L., Snyder, G.H., 1991. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 39: 1118–1119.
13. Eneji, E., Inanaga, S., Muranaka, S., 2008. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *Journal of Plant Nutrition* 2: 355–365.
14. Epstein, E., 2009. Silicon: Its manifold roles in plants. *Annual Apply Biology* 155: 155–160.
15. Epstein, E., 1999. Silicon. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641–664.
16. Flores, R.A., Arruda, E.M., de Souza, J.P., dos Santos, A.C.A., Aragão, A.S., Pedreira, N.G., da Costa, C.F., 2019. Nutrition and production of *Helianthus annuus* in a function of application of leaf silicon. *Journal of Plant Nutrition* 42: 137–144.
17. Gallego-Giraldo, L., Escamilla-Trevino, L., Jackson, L.A., Dixon, R.A., 2011. Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin down-regulated plants. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 108: 20814–20819.
18. Gao, X., Zou, C., Wang, L., Zhang, F., 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1637–1647.
19. Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., Zhang, C., 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science* 169: 313–321.
20. Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., Zhang, C., 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal of Plant Nutrition* 5: 1055–1063.
21. Ghorbani, A., Zarinkamar, F., Fallah, A., 2009. The effect of cold stress on the morphological and physiological tcharacters of tow rice varieties in seedling stage. *Journal of Crop Breeding* 1: 50–66.
22. Guntzer, R., Keller, C., Meunier, J.D., 2012. Benefits of plant silicon for crops: A review. *Agronomy and Sustainable Development* 321: 201–213.
23. Hayasaka, T., Fujii, H., Ishiguro, K., 2008. The role of silicon in preventing appressorial penetration by the rice blast fungus. *Phytopathology* 98: 1038–1044.
24. Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*.

Physiology of Planta 123: 459–466.
25. Hattori, T., Inanaga, S., Tanimoto, E., Lux, A., Luxov´a, M., Sugimoto, Y., 2003. Silicon-induced changes in viscoelastic properties of Sorghum root cell walls. *Plant and Cell Physiology* 44: 743–749.
26. Habibi, G., 2014. Silicon supplementation improves drought tolerance in canola plants. *Russian Journal of Plant Physiology* 61: 784–791.
27. Ingabire, C., Bizoza, A.R., Mutware, J., 2013. Determinants and profitability of rice production in Cyabayaga Watershed, Eastern Province, Rwanda," *Rwanda Journal, Series H: Economics and Management* 1: 63–75.
28. Kim, S.G., Kim, K.W., Park, E.W., Choi D., 2002. Silicon induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. *Phytopathology* 92: 1095–1103.
29. Kenneth, S.T.A., Kucharek, L.E., Datnoff, L.E.D., 2011 The influence of silicon on components of resistance to blast in susceptible, partially resistant, and resistant cultivars of rice. *Phytopathology* 91(1): 63–69.
30. Kang, J., Zhao, W., Zhu, X. 2016. Silicon improves photosynthesis and strengthens enzyme activities in the C-3 succulent xerophyte Zygophyllum xanthoxylum under drought stress. Journal of Plant Physiology 199: 76–86.
31. Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., Ding, R., 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiology* 160: 1157– 1164.
32. Liang, Y.C., Sun, W.C., Mheld, V., 2005. Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. *Plant Pathology* 54: 678-685.
33. Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In: Packer, L., Douce, R. (Eds.), Methods in Enzymology, New York: Academic Press, pp. 350–382.
34. Liu, J., Xie, X., Du, J., Sun, J., Bai, X., 2008. Effects of simultaneous drought and heat stress on *Kentucky bluegrass*. *Science of Horticulture* 115: 190–195.
35. Lux, A., Luxova, M., Abe, J., Morita, S., Inanaga, S., 2003. Silicification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) root and leaf. *Plant and Soil* 255: 85–91.
36. MA, J.F., 2006. Silicon transporter in rice. *Nature* 440: 688–691.
37. Mahyati, A.R., Patong, M.N., Taba, D.P., 2013. *International Journal of Science and Technology* 11: 79–82.
38. Ming, D.F., 2012. Effects of silicon on the physiological and biochemical characteristics of roots of rice seedlings under water stress. *China Agriculture Science* 45: 2510–2519.
39. Marschner, P., 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press.
40. Mitani, N., Jian, F.M. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experiment of Botany* 56: 1255–1261.
41. Michel, B. E., Kaufman, M. R. 1973. The osmotic pressure of polyethylene glycol 6000. Plant physiol. 51:914-916.
42. Nakata, Y., Ueno, M., Kihara, J., Ichii, M., Taketa, S., Arase, S., 2008. Rice blast disease and susceptibility to pests in a silicon uptake deficient mutant. *Crop Protection* 27: 865–868.
43. Rabindra, B., Gowda, S.S., Rajappa, H.K., 1981. Blast disease as influenced by silicon in some rice varieties. *Current Research* 10: 82–83.
44. Ramezani, M., Ramezani, F., Gerami, M.., 2019. Nanoparticles in Pest Incidences and Plant Disease Control. *Nanotechnology for Agriculture: Crop Production & Protection* 10: 233–272.
45. Shah, S., Li, X., Chen, Y., Zhang, L., Fahad, S., Hussain, S., Sadiq, A., Chen, Y., 2014. Silicon application increases drought tolerance of *Kentucky bluegrass* by improving plant water relations and morphophysiological functions. *The Scientific World Journal.* 1–10.
46. Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E., Li, J., 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Plant Physiology* 167: 1248–1252.
47. Sivanesan, I., Son, M.S., Lee, J.P., and Jeong, B.R., 2010. Effects of silicon on growth of *Tagetes patula* L. 'Boy Orange' and 'Yellow Boy' seedlings cultured in an environment controlled chamber. *Propagation of Ornamental Plants* 10: 136–140.
48. Shi, X., Zhang, C., Wang, H., Zhang, F., 2005. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. *Plant and Soil* 272: 53–60.
49. Skudiene, R., Nekrosiene, R., 2009. Effect of preceding crops on the winter cereal productivity and disease incident. *Acta agriculturae Slovenica* 93(2): 169–179.
50. Song, A., Gaofeng, X., Peiyuan, C., Fenliang, F., Hongfang L., Chang, Y., 2014. The role of silicon in enhancing resistance to bacterial blight of hydroponic- and soil-cultured rice. *Scientific Reports* 6: 24640.
51. Sun, C. W., Liang, Y.C., Romheld, V., 2005. Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildow in *Cucumis sativus*. *Plant Pathology* 54: 678–685.
52. Tester, M., Langridge, P., 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science* 327: 818–822.
53. Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods of dietary fibre, neutal detergent fibre and nonstarch

polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 10. 3383–3597.
54. Vulavala, V.K., Elbaum, R., Yermiyahu, U., Fogelman, E., Kumar, A., Ginzberg, I., 2016. Silicon fertilization of potato: expression of putative transporters and tuber skin quality. *Planta* 243(1): 217–229.
55. Wahid, Rasul, E. 2005. Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Photosynthesis, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 479–497.
56. Wang, S., Liu, P., Chen, D., Yin, L., Li, H., Deng, X., 2015. Silicon enhanced salt tolerance by improving the root water uptake and decreasing the ion toxicity in cucumber. *Frontiers in Plant Scienc*e. 6: 759.
57. Wu, C., Zou, Q., Xue, S., Mo, J., Pan, W., Lou, L., Wong, M.H. 2015. Effects of silicon (Si) on arsenic (As) accumulation and speciation in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different radial oxygen loss (ROL). *Chemosphere* 138: 447–453.
58. Yuan, J.C., Liu, C.J., Yang, S.M., Zhu, Q.S., Yang. J.C., 2006. Effect of nitrogen application rate and fertilizer ratio on nutrition quality and trace-elements contents of rice grain. *Plant Nutrition Fertilizer* 12: 183–187.
59. Zhang, J., Zou, W., Li, Y., Feng, Y., Zhang, H., Tu, Z., Wu, Y., Wang, Y., Cai, X., Peng, L., 2015. Silica distinctively affects cell wall features and lignocellulosic saccharification with large enhancement on biomass production in rice. *Plant Science* 239: 84–91.
60. Zhang, G.L., Dai, Q.G., Wang, J.W., Zhang, H.C., Huo, Z.Y., Ling, L., 2007. Effect of silicon fertilizer rate on yield and quality of japonica rice Wuyujing, 3. *China Journal of Rice Science* 21: 299–303.

Effects of Calcium and Potassium Silicate Fertilizers on Agronomic and Biochemical Traits of Two Rice Cultivars Under Drought Stress Conditions

S. S. Manavi Amri, Y. Niknejad, H. Fallah Amoli and D. Barrari Tari

(Received: 17 November 2021; Accepted: 5 January 2021)

Abstract

Silicate (Si) has potential effects on crops under different stresses. It can affect biochemical and physiological parameters and reduce drought stress destructive effects. This study aimed to investigate the effects of Si on morphological and biochemical traits under drought stress in two rice cultivars of Local Tarom and Shiroodi. The experiment was organized in completely randomized blocks in a factorial design. Silica treatments included potassium silicate, calcium silicate and a combination of the two at the rates of 0 and 350 kg/ha. Drought stress at the time of cluster emergence and stress during redistribution and water scarcity (soil matric potential of -0.05 MPa) with three replications. Under the conditions of water shortage, stem and seed silica, stem cellulose, and lignin were increased. After silicon treatment, some morphological characteristics such as plant height, harvest index, and grain yield. After the application of silica, leaf blast disease decreased (34%) compared to control. Water stress conditions showed adverse effects on fertile tillers, number of tillers per plant, number of panicles and number of seeds per panicle. The two rice cultivars significantly differed in plant height, panicle length, number of effective tillers, number of panicles per plant, flag leaf chlorophyll, harvest index, the Uptake of copper, manganese, nitrogen, and biochemical traits. The combined effect of water stress on the two cultivars studied did not significantly differ, and therefore, both could be suggested for cultivation under water stress conditions. The results showed the potential effect of silica in alleviating water stress impact, and thus silica treatment may be recommended to increase drought stress tolerance in rice plants.

Keywords: Drought stress, Silicate, Rice, Yield.

Background and Objective: Drought makes several functional changes such as morphological, metabolic, and physiological in the plant. At the preliminary stage of plant growth, it negatively affects elongation and growth development (2). Si is useful for overcoming plant stresses by developing plants' physiological and mechanical aspects (1). Si can induce disease resistance and positively affects several priorities, including metal toxicity, salt stress, drought stress, nutrient disproportion, radiation destruction, high and low temperature, UV radiation, and freezing in a range of plant species (3). The present research aimed to evaluate the effects of Si application on morphological and biochemical traits of two rice cultivars (Local Tarom and Shiroodi) grown in soil under water stress.

1- Department of Agrotechnology, Islamic Azad University, Ayatollale Amoli, Amol, Iran.
* Corresponding Author, Email: Yousofniknejad@gmail.com

Methods: In this experiment, two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars (Local Tarom and Shiroodi) were planted in the field. Treatments included the first factor of application of two types of soluble silica fertilizer, potassium silicate and calcium silicate, and a combination of the two, and the second factor including drought stress in four levels of control, stress at the end of the claw, stress at the time of cluster emergence and stress at the time of redistribution and water scarcity (i.e., soil matric potential of –0.05 MPa) in three replications. In total, the experiment included 72 experimental plots. Seeds germination was started after 15 days of sowing and plants were established for 8 weeks. After growth stage, some morphological and biochemical traits of plant were measured.

Results: Based on the results of analysis of variance, a significant difference (at the 1% probability level) was observed between the rice cultivars Local Tarom and Shiroodi in terms of morphological traits. Significant differences between the two cultivars were observed for biochemical traits. There was also a significant difference between the biochemical properties after water stress application in different growth stages for the two cultivars.

Conclusions: Under water stress conditions, silicon fertilization did not show any significant impact on the studied traits. Water stress showed adverse effects on the harvest index and grain yield. However, Si application was effective in removing the adverse effects of water deficiency and improved morpho-physiological and biochemical functions. The combined effect of drought stress on two cultivars did not show any significant difference; therefore, the results showed that both cultivars can be used in areas with drought stresses. The results showed the potential effect of silica treatment (about 42%) in improving the adverse impacts of drought stress. The results of this study can be used for silica treatment to increase drought stress tolerance in rice plant. Overall, the findings of this study showed that for rice growth and developmental characteristics, calcium silica and the biochemical indices, such as sodium, potassium, chlorophyll b, and K content, silica might be beneficial.

References:

1. Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kubota, F., Kaufman, P.B., 1998. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza saliva* L.). *Plant Product Science* 2: 89–95.
2. Chen,W., Yao, X., Cai, K., Chen, J., 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research* 142: 67–76.
3. Crusciol, C.A.C. 2009. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science* 49: 949–954.