



بررسی اثرات پتاسیم، روی و سیلیسیم بر عملکرد اجزای عملکرد و جذب آن‌ها در دانه برنج (*Oryza sativa* L.)

*معظم قاسمی^۱، حمیدرضا مبصر^۲، حسن اسدی‌منش^۳ و عبداللطیف قلی‌زاده^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائمشهر، آستادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائمشهر، ^۲مربی گروه زراعت، دانشگاه پیام‌نور، محمودآباد، ^۳استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبد کاووس
تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات پتاسیم، روی و محلول پاشی سیلیسیم بر صفات زراعی و جذب این عناصر در دانه برنج رقم طارم هاشمی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۰ در شهرستان آمل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل دو سطح پتاسیم (۲۵۰ و ۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) دو سطح روی (۳۰ و ۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) به‌صورت مصرف خاکی و سیلیسیم شامل بدون سیلیسیم و محلول پاشی ۵ در هزار سیلیکات کلسیم می‌باشد. نتایج نشان داد عملکرد دانه با مصرف سولفات پتاسیم ۲/۹ درصد و سولفات روی ۳/۷ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. غلظت روی در دانه با مصرف سولفات روی به‌میزان ۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و بدون مصرف آن ۵۲/۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. محلول پاشی سیلیکات کلسیم سبب افزایش معنی‌دار تعداد کل خوشه‌چه در خوشه (۶/۸ درصد) و همچنین درصد پر بودن خوشه‌چه‌ها (۰/۴ درصد)، غلظت سیلیسیم دانه (۵۲/۱۱ درصد) و غلظت روی در دانه (۲۷/۰۲ درصد) شد. بلندترین طول خوشه و بیش‌ترین تعداد پنجه در کپه، تعداد کل خوشه‌چه در خوشه، درصد پر بودن خوشه‌چه و حداکثر وزن هزاردانه تحت اثرات متقابل سه عاملی برای تیمار با مصرف سولفات روی و بدون مصرف پتاسیم و مصرف سیلیسیم به‌دست آمد. با توجه به تأثیر کود روی بر عملکرد، اجزای عملکرد برنج و همچنین غلظت آن در دانه، این پژوهش مصرف این کود را در برنج پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: برنج، روی، پتاسیم، سیلیسیم، جذب، عملکرد دانه

* مسئول مکاتبه: moazam.ghasemi@gmail.com

مقدمه

بعد از گندم، برنج مهم‌ترین غله در سراسر دنیا است و منبع مهمی از روی برای افرادی است که به‌طور عمده برنج مصرف می‌کنند (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۸). ارقامی از برنج که عملکرد بالاتری دارند نیازمند تأمین پتاسیم بیشتری نیز می‌باشند (هو و وانگ، ۲۰۰۴). از علایم کمبود پتاسیم، کاهش استحکام ساقه برنج است (کانت و کافکافی، ۲۰۰۲؛ سورندران، ۲۰۰۵) که در نتیجه منجر به افزایش ورس می‌گردد (ویلیامز و اسمیت، ۲۰۰۱؛ محبوب و همکاران، ۲۰۰۶). به‌طور کلی از اثرات مثبت پتاسیم در گیاه می‌توان به افزایش مواردی مانند تعداد پنجه، تعداد خوشه، تعداد خوشچه‌های بارور، جذب نیتروژن و فسفر، طول و سطح برگ، مقاومت به بیماری‌ها، ضخیم شدن و طویل شدن ریشه‌ها و قوی و ضخیم شدن ساقه اشاره کرد (مایکل و پیکر، ۱۹۹۶). نتیجه کمبود پتاسیم در گیاه، کاهش فتوسنتز خالص و کاهش چشمگیر عملکرد گیاهان زراعی است (دینگ و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج پژوهش‌ها نشان داده کاربرد پتاسیم به‌طور معنی‌داری ماده خشک کاه و عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد در برنج افزایش می‌دهد. همچنین کاربرد کود پتاسیم تأثیر معنی‌داری در میزان جذب عناصر غذایی در کاه و دانه دارد (بروحی و همکاران، ۲۰۰۰) و مصرف کود پتاسیم عملکرد دانه برنج را افزایش داد (کیوچون و همکاران، ۲۰۱۱). حد بحرانی پتاسیم در خاک برای برنج ۲۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (کیت و نلسون، ۱۹۷۱). مصرف پتاسیم تأثیر معنی‌داری را در صفاتی مانند تعداد دانه در هر خوشه، درصد دانه‌های پوک، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در برنج دارد (بهمنیار و سودایی مشایی، ۲۰۱۰). در آزمایشی دیگر نشان داده شد که کود پتاسیم تأثیر مثبتی در پرشدن دانه‌ها دارد در حالی که کمبود آن موجب عقیمی گرده‌ها و کاهش تعداد دانه‌های پر شده در برنج گردید (اصفهانی و همکاران، ۲۰۰۵؛ موندال و همکاران، ۱۹۸۷).

روی، فرایندهای اکسیداسیون را در سلول‌های گیاهی کاتالیز می‌کند و برای انتقال کربوهیدرات‌ها، حیاتی می‌باشد، سوختن قند را تنظیم می‌کند، در تولید کلروفیل و تشکیل اکسین کمک می‌کند و همچنین جذب آب را افزایش می‌دهد (مهبوبور رحمان و همکاران، ۲۰۱۱). کمبود روی یکی از کمبودهای عناصر کم‌مصرف است که به‌طور وسیعی در سراسر جهان گسترش دارد (حافظ و همکاران، ۲۰۱۰). بعد از کمبود نیتروژن و فسفر، روی مهم‌ترین فاکتور غذایی است که عملکرد دانه برنج را محدود می‌کند (یاکان و همکاران، ۲۰۰۰). کمبود روی عموماً در شرایطی مانند pH بالا، خاک‌های آهکی، خاک‌های شنی با میزان بالای فسفر و خاک‌های غرقاب مشاهده می‌شود (یاکان و

همکاران، ۲۰۰۰). با افزایش میزان روی در خاک، تعداد پنجه بارور در برنج افزایش یافت (محمد و همکاران، ۲۰۰۲). پژوهش‌ها نشان داد که مصرف ۵ کیلوگرم روی در هکتار، باعث افزایش تعداد دانه در مترمربع و افزایش وزن هزاردانه در برنج گردید. بالاترین تعداد دانه در خوشه از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار به دست آمد. مصرف ۵ و ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار نیز نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری را روی تعداد دانه در خوشه برنج نشان داد (موبورارحمان و همکاران، ۲۰۱۱). به نظر می‌رسد در زمانی که میزان روی در خاک کم است، مقدار بیش‌تری از آن در طی پر شدن دانه در دانه‌ها تجمع می‌یابد که می‌تواند به دلیل انتقال دوباره روی از برگ‌ها به دانه‌ها باشد که در طی آن میزان روی در برگ‌ها کاهش و در دانه‌ها افزایش می‌یابد (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۸).

سیلیسیم دومین عنصر فراوان در خاک است و به‌عنوان یک عنصر کاملاً مفید برای گیاهان عالی مطرح می‌شود (ناکاتا و همکاران، ۲۰۰۸). در حقیقت ۲۸ درصد از سطح پوسته زمین از سیلیس تشکیل شده است (رودریگس و داتفوف، ۲۰۰۵). برخی از گونه‌های گیاهی، به‌خصوص گیاهان خانواده غلات قادر به تجمع سیلیسیم در بافت‌هایشان می‌باشند (هایاساکا و همکاران، ۲۰۰۸). میزان تجمع سیلیسیم در برنج می‌تواند تا ۱۰ درصد وزن خشک گیاه هم برسد (ناکاتا و همکاران، ۲۰۰۸). شکل قابل حل سیلیسیم در خاک اسید سیلیک (Si(OH)_4) می‌باشد و به همین شکل به‌طور مستقیم جذب می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۰).

سیلیس باعث افزایش قدرت اکسیدکنندگی ریشه‌های برنج می‌شود و در نتیجه علاوه بر افزایش تبدلات یونی حضور یون اکسیژن را در محیط ریزوسفر افزایش می‌دهد و خسارت ناشی از تنش‌های محیطی نظیر سرما و شوری را در برنج کاهش می‌دهد (هادسون و سنگستر، ۲۰۰۲). مصرف کودهای سیلیکاته نیز باعث افزایش تحمل گیاه برنج به بیماری‌ها می‌شود (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۵). در آزمایشی در اثر مصرف سیلیسیم نسبت به عدم مصرف آن، عملکرد دانه برنج افزایش یافت (فلاح، ۲۰۰۰). سیلیسیم عملکرد خوشه‌چه و مقدار دانه را افزایش می‌دهد و برای پایداری عملکرد محصولات برنج ضروری است (ماتوسو و همکاران، ۲۰۰۳). سیلیس تجمع‌یافته در اندام‌های تعلق‌کننده گیاه، می‌تواند منجر به تشکیل لایه کوتیکولی از سیلیس گردد که به واسطه کاهش تعرق، موجب کاهش مصرف آب نیز گردد (کردرفر و همکاران، ۲۰۰۴). در آزمایشی نشان داده شد که با مصرف سیلیکات کلسیم در برنج، میزان تعرق و تعداد ساقه کاهش یافت (نولا و همکاران، ۲۰۱۲). بیش‌ترین تأثیر سیلیس، تشکیل ژل سیلیسی می‌باشد که در سطح برگ‌ها، ساقه‌ها و سایر اندام‌های برنج

قرار می‌گیرد (فلاح، ۲۰۰۰). هدف از این پژوهش بررسی نقش عناصر روی، سیلیسیم و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب عناصر غذایی در دانه برنج در منطقه آمل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۳۹۰ در شهرستان آمل با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه شمالی و ۲۸ دقیقه و ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی اجرا گردید.

عامل پتاسیم در دو سطح ۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم، عامل روی در دو سطح ۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات روی و عامل محلول پاشی سیلیسیم نیز در دو سطح از منبع سیلیکات کلسیم (۰ و ۵ در هزار) در نظر گرفته شد که براساس نتایج پژوهش‌های قبلی و دستوالعمل‌های ترویجی معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در آمل توصیه شده است. تعداد کل کرت‌های مورد آزمایش در این طرح ۳۲ کرت بود. در این آزمایش از رقم بومی و مرغوب طارم هاشمی که یک رقم محلی کیفی و دارای خصوصیتی مانند ریشک‌دار، ارتفاع بلند، قابلیت پنجه‌زنی به نسبت خوب و تا حدودی مقاوم به بیماری بلاست می‌باشد استفاده گردید. برای تعیین خصوصیات خاک مزرعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه‌گیری و این خاک‌ها هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های شیمیایی مانند pH، قابلیت هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب به روش اولسن و همکاران (۱۹۵۳)، کربن آلی به روش والکلی و بلاک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲)، کربنات کلسیم معادل (لثوپارت و همکاران، ۱۹۹۶)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم یک مولار، عنصر کم‌مصرف روی به روش DTPA و بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

ابتدا زمین مزرعه با توجه به نقشه طرح آزمایشی در کرت‌های موردنظر آماده شد و عملیات آماده‌سازی خزانه صورت گرفت. بذریاشی در خزانه با بذوری که دارای جوانه‌هایی به طول ۲-۳ میلی‌متر بودند انجام گردید. گیاهچه‌ها وقتی به ارتفاع مطلوب ۲۵-۲۰ سانتی‌متر رسیدند در کرت‌هایی با مساحت ۱۵ مترمربع با فواصل ۲۵×۲۵ سانتی‌متر نشاکاری شدند. قبل از نشاکاری به‌ازای هر هکتار ۵۰ کیلوگرم کود فسفره (فسفات گوگردی) برای هر کرت محاسبه، توزین و به کرت‌های آزمایشی داده شد. کود نیتروژنه نیز به فرم اوره به‌میزان ۱۸۰ کیلوگرم برای هر هکتار محاسبه، توزین و

معظم قاسمی و همکاران

به صورت یک سوم قبل از کاشت (پایه) و بقیه با نسبت‌های مساوی در دو مرحله ۳ هفته و ۵ هفته بعد از نشاکاری، به کرت‌ها داده شد. سولفات روی و نصف کود سولفات پتاسیم در مرحله قبل از نشا به صورت پایه و نصف دیگری از کود سولفات پتاسیم در مرحله ساقه رفتن به صورت سرک استفاده گردید. محلول پاشی سیلیسیم نیز به نسبت ۵ در هزار (میزان سیلیسیم مصرفی با توصیه مؤسسه تحقیقات برنج کشور انتخاب گردید) برای هر کرت محاسبه و در سه مرحله ابتدای پنجه‌زنی، اواخر پنجه‌زنی و قبل از ظهور خوشه انجام گردید.

بعد از کاشت نشاها، همه عملیات به‌زراعی مانند آبیاری، مبارزه با آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز برای همه کرت‌ها به صورت یکنواخت انجام گرفت و در زمان رسیدگی، حدود ۱۰ روز قبل از برداشت آب مزرعه به‌طور کامل قطع گردید. در نهایت برای تعیین عملکرد پس از کنار زدن حداقل دو ردیف حاشیه از هر طرف کرت، برداشت در ۵ مترمربع انجام گرفت.

جدول ۱- جدول مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از نشاکاری.

فسفر	پتاسیم	روی	درصد	قابلیت هدایت الکتریکی خاک	واکنش	رس	سیلت	شن	بافت خاک
قابل جذب	قابل جذب	(میلی‌گرم در کیلوگرم)	کربن آلی خاک	(دسی‌زیمنس بر متر)	خاک	(درصد)	(درصد)	(درصد)	خاک
۱۸/۸	۸۴	۰/۹۸	۱/۶۹	۰/۶۲	۷/۸۹	۷	۳۹	۵۴	لوم سیلتی

صفتی مانند طول خوشه، تعداد پنجه، تعداد خوشه‌چه در خوشه، وزن هزاردانه، درصد پر بودن خوشه و عملکرد اندازه‌گیری شدند.

در زمان رسیدن فیزیولوژیکی و قبل از برداشت بعد از شمارش تعداد پنجه در کپه در هر کرت که از ۱۲ کپه شمارش انجام گرفت، برای تعیین تعداد خوشه در مترمربع، طول خوشه، درصد خوشه‌چه پر، تعداد کل خوشه‌چه در خوشه از داخل هر کرت به‌طور تصادفی ۱۲ خوشه را با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای جدا نموده و در داخل پاکت همراه با مشخصات هر کرت قرار داده و پس از آوردن به آزمایشگاه ضمن اندازه‌گیری طول خوشه با خط‌کش به تفکیک هر کرت نسبت به شمارش و ثبت تعداد کل دانه، تعداد دانه‌های پر و وزن تر خوشه اقدام گردید و از ۱۲ عدد به‌دست آمده برای هر

کرت میانگین گرفته و عدد نهایی در تجزیه آماری مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین عملکرد زیستی، نمونه‌برداری در مرحله رسیدن کامل انجام شد، به این ترتیب که از منطقه نمونه‌برداری هر ۲ مترمربع کف بر شده است. نمونه‌ها را جداگانه در داخل پاکت با اتیکت مشخص قرار داده و در نهایت نمونه‌ها را در آون خشک در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت نگهداری کرده و بعد از این مدت آن‌ها را با ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین کرده و پس از تبدیل به گرم در مترمربع در تجزیه آماری مورد استفاده قرار گرفته است.

برای تعیین میزان عناصر غذایی مورد آزمایش در دانه برنج، از هر کرت به میزان ۲۰ گرم با رطوبت ۱۴ درصد برای انجام آزمایش‌های لازم به آزمایشگاه فرستاده شد. برای اندازه‌گیری روی، از روش جذب اتمی شعله‌ای A.A.S. استفاده گردید (امامی، ۱۹۹۶). بر طبق این روش ۲ گرم از نمونه خشک گیاه را در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲-۴ ساعت قرار داده و یک قطره آب مقطر نیمه گرم درون کروزه افزوده گردید و ۱۰ سی سی اسید کلریدریک ۲ نرمال به آن اضافه می‌کنیم تا به مدت ۱ ساعت در همین حالت باقی بماند. بعد از اتمام فعل و انفعالات، کروزه‌ها را در حمام آبی یا اجاق برقی با ۸۰ درجه حرارت قرار می‌دهیم تا اولین بخارات سفید خارج گردد. سپس محتویات کروزه را از کاغذ صافی عبور داده و در نهایت میزان روی را با روش جذب اتمی شعله قرائت می‌کنیم. برای تعیین میزان سیلیسیم نیز از روش فلاح (۲۰۰۰) استفاده گردید. در این روش ۱ گرم از پودر خشک گیاه را در داخل لوله آزمایش پیرکس ۷۵ سی سی می‌ریزیم. سپس ۱۰ سی سی اسید که مخلوطی از (۷۵۰ سی سی HNO₃ غلیظ + ۱۵۰ سی سی H₂SO₄ غلیظ + ۳۰۰ سی سی HClO₄ ۶۲-۶۰ درصد) می‌باشد به آن اضافه می‌کنیم. محلول حاصل را پس از قرار دادن روی هیتر در دمای متعادل ۵۵ درجه حرارت، از کاغذ فیلتر عبور داده و رسوب تشکیل شده را به همراه کاغذ صافی به جهت خشک شدن در آون ۸۰ درجه قرار می‌دهیم سپس رسوب حاصل را پس از سرد شدن وزن می‌کنیم. این خاکستر توزین شده در واقع همان وزن سیلیس^۱ خالص به‌ازای ۱ گرم وزن پودر گیاه است. درصد سیلیسیم موجود را از فرایضه زیر به دست می‌آوریم.

درصد سیلیسیم خالص = وزن سیلیسیم خالص (گرم) × ۱۰۰ تقسیم بر وزن نمونه گیاه (گرم)

تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از برنامه آماری MSTATC نسخه ۱/۴۲ و میانگین‌ها نیز با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح آماری ۵ درصد مقایسه گردید. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

طول خوشه: همان‌طوری‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، طول خوشه از نظر آماری تنها تحت تأثیر عنصر روی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت، به‌طوری‌که طول خوشه با مصرف سولفات روی ۱/۶ درصد بیش‌تر شد ماهوبور رحمان و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که طول خوشه برنج با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار افزایش یافت. خان و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که بالاترین طول خوشه (۲۳/۷۳ سانتی‌متر) با مصرف ۱۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار به‌دست آمد. دیگر پژوهشگران نیز افزایش طول خوشه در اثر مصرف سولفات روی را گزارش کردند (ایونوو و ایونوو، ۱۹۷۷).

تعداد پنجه در کپه: تعداد پنجه در کپه از نظر آماری تحت تأثیر اثر روی و اثرات متقابل سیلیسیم در پتاسیم در روی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). تعداد پنجه در کپه با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار ۷/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد پنجه در کپه تحت اثرات متقابل سیلیسیم در پتاسیم در روی برای تیمار با مصرف سولفات روی و بدون مصرف سیلیسیم و پتاسیم حاصل شد که برابر ۲۳/۰۸ پنجه در کپه بود و کم‌ترین تعداد پنجه برای تیمار شاهد یعنی بدون مصرف سه عنصر (۱۸/۴ پنجه) به‌دست آمد (شکل ۱). در آزمایشی نشان داده شد با مصرف کود سیلیسیم در برنج رقم هاشمی، تعداد پنجه کاهش یافت (خبازکار و همکاران، ۲۰۱۲). ظرفیت پنجه‌زنی یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد برای افزایش عملکرد در دانه به‌شمار می‌آید (اومار، ۲۰۰۲). تعداد پنجه در برنج با افزایش عنصر روی در خاک بیشتر می‌شود (محمد و همکاران، ۲۰۰۲). مقصود و همکاران (۱۹۹۹) بیان کردند با کاربرد روی به‌میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار به شکل سولفات روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در کپه در برنج گردید. عنصر روی با تأثیر بر فرایندهای شیمیایی مانند سنتز نوکلئوئید، متابولیسم اکسین و فعالیت آنزیم‌ها نقش مؤثری بر تولید پنجه در گیاهان دارد (ایری، ۲۰۰۰).

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۲) ۱۳۹۳

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برنج رقم طارم هاشمی.

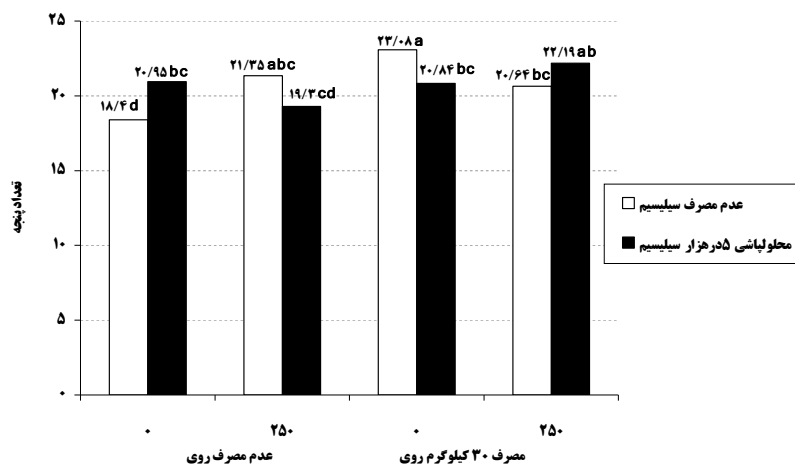
منابع تغییر	درجه آزادی	طول خوشه (سانتی متر)	تعداد پنجه	تعداد دانه در خوشه	وزن هزاردانه (گرم)	درصد پر بودن خوشه	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	غلظت روی (میلی گرم در کیلوگرم)	غلظت سیلیس (درصد)	میانگین مربعات	
										تعداد	طول خوشه
یلوک	۳	۰/۵۷۲	۳/۱۵۵	۵/۱۵۱	۰/۳۲۰	۰/۰۷۱	۲۹۱۱۷/۰۸	۱۰۰/۵۴	۱۸۷/۸		
روی (Zn)	۱	۱/۳۲۰*	۲۰/۳۵۱**	۲۲۵/۸۱**	۲/۴۰۹*	۰/۰۷۳**	۱۵۸۲۰۳/۱۲۵*	۱۱۸۹/۱۳۵**	۵۲/۵۳*		
پتاسیم (K)	۱	۱/۱۲۵	۰/۱۳۸	۱۴۷/۰۶۱*	۰/۱۲۸	۰/۰۰۳	۹۵۷۰۳/۱۲۵*	۹۳۲/۱۴۸*	۲۶/۲۸		
اثر متقابل Zn-K	۱	۰/۴۵۱	۲/۰۴۰	۹۳/۱۶۱*	۱۰/۱۰۳**	۰/۰۶۰*	۱۳۱۳۲۸/۱۲۵*	۵۳۰/۱۵۸*	۱۹/۵۳		
سیلیس (Si)	۱	۱/۰۸۸	۰/۱۵۱	۳۳۰/۴۶۱**	۰/۰۰۷	۰/۰۴۴*	۸۶۱۱۲/۵۰۰	۱۲۰/۲۰۹۳**	۱۲۴/۰۳۰*		
اثر متقابل Zn-Si	۱	۰/۸۷۸	۱/۲۰۱	۲۲/۱۱۱	۱۰/۹۵۱**	۰/۰۵۲*	۳۲۰۰۰/۰۰۰	۳۹۵/۵۷۷	۴۷/۵۳*		
اثر متقابل K-Si	۱	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۳/۸۸۱	۱۰/۸۱۸**	۰/۰۲۱	۲۴۵۰/۰۰۰	۲۷۴/۳۰۷	۳/۷۸		
اثر متقابل Zn-K-Si	۱	۱/۱۲۵	۳۸/۲۸۱**	۱۲۸/۸۰۱*	۶/۰۵۵**	۰/۰۰۵	۱۲/۵۰۰	۱۶۲/۳۱	۲/۵۳		
خطای آزمایش	۲۱	۰/۳۰۱	۱/۹۸۵	۲۰/۰۴۲	۰/۳۰۶	۰/۰۰۸	۲۰۱۰۶۳۹	۲۴۶۰/۸۳۱	۶/۷۳		
C.V. (درصد)		۲/۱۸	۶۷۷	۴/۲۴	۱/۳۳	۵/۴۴	۸/۲۷	۱۸۳۸	۲۷/۲۳		

* معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد. ** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد. *** غیر معنی داری.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی عملکرد و اجزای عملکرد و غلظت روی و سیلیسیم دانه برنج تحت تیمارهای روی، پتاسیم و محلول پاشی سیلیسیم.

غلظت سیلیسیم (درصد)	غلظت روی (میلی گرم در کیلوگرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزاردانه (گرم)	درصد پر بودن خوشه	تعداد خوشه‌چه	تعداد پنجه	تعداد خوشه (سانتی متر)	تیمارها
۸/۶۵ ^b	۵۲/۸۱ ^b	۳۸۳۸ ^b	۲۸/۶۳ ^b	۹۱/۸۸ ^b	۱۰۳ ^b	۲۰ ^b	۲۴/۹۵ ^b	۰
۱۰/۸۱ ^a	۶۵ ^a	۳۸۷۸ ^a	۲۸/۷۸ ^a	۹۲/۸۶ ^a	۱۰۸ ^a	۲۱/۵۹ ^a	۲۵/۳۳ ^a	۳۰ کیلوگرم در هکتار
۸/۶۳ ^a	۵۳/۵۰ ^b	۳۷۵۳ ^b	۲۸/۵۷ ^a	۹۱/۰۶ ^b	۱۰۳ ^b	۲۰/۸۳ ^a	۲۵/۳۴ ^a	۰
۱۰/۴۳ ^a	۶۴/۹۳ ^a	۳۸۶۳ ^a	۲۸/۴۴ ^a	۹۲/۹۸ ^a	۱۰۸ ^a	۲۰/۸۷ ^a	۲۴/۹۷ ^a	۲۵۰ کیلوگرم در هکتار
۷/۵۶ ^b	۵۲/۷۷ ^b	۳۷۵۵ ^b	۲۸/۵۳ ^a	۹۳/۴۵ ^b	۱۰۲ ^b	۲۰/۸۶ ^a	۲۵/۳۴ ^a	۰
۱۱/۵۰ ^a	۶۷/۰۳ ^a	۳۸۵۹ ^a	۲۸/۴۹ ^a	۹۰/۵۹ ^b	۱۰۹ ^a	۲۰/۶۷ ^a	۲۴/۹۷ ^a	۵ در هزار

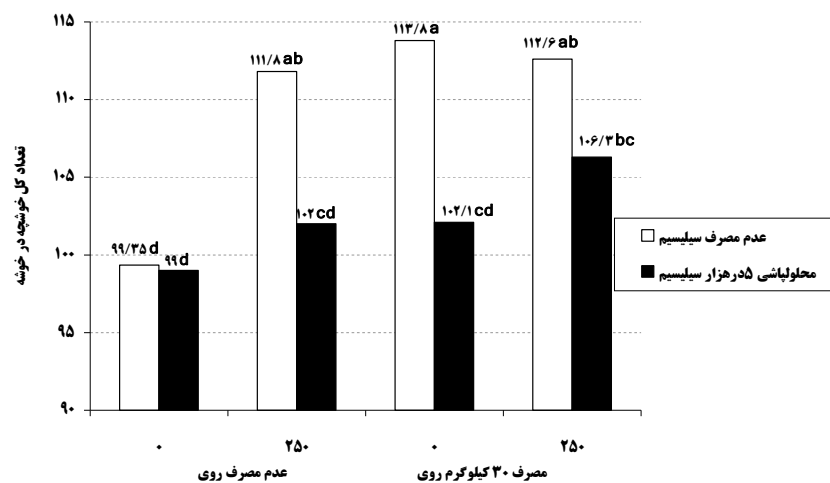
میانگین‌های دارای حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD دارند.



شکل ۱- میانگین تعداد پنجه در کپه تحت اثرات متقابل روی \times پتاسیم \times سیلیسیم.

تعداد کل خوشچه در خوشه: تعداد خوشچه در خوشه از نظر آماری تحت تأثیر اثرات- روی و سیلیسیم در سطح احتمال ۱ درصد و تحت اثر پتاسیم، اثر متقابل روی با پتاسیم و روی در سیلیسیم در پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. تعداد کل خوشچه در خوشه با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار ۵/۲ درصد بیش تر شد. مصرف سولفات پتاسیم و محلول پاشی سیلیسیم موجب افزایش تعداد کل خوشچه در خوشه به ترتیب به نسبت های ۴/۲ و ۶/۴ درصد گردید (جدول ۳). در آزمایشی نشان داده شد که مصرف کود سیلیکات کلسیم موجب افزایش تعداد دانه در خوشه گردید (خبازکار و همکاران، ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر نیز مشخص شد که با مصرف سیلیسیم در برنج، تعداد دانه در خوشه افزایش یافت (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۷). حداکثر تعداد خوشچه در خوشه تحت اثرات متقابل روی در سیلیسیم در پتاسیم به ترتیب برای تیمار با مصرف روی و بدون مصرف پتاسیم و سیلیسیم (۱۱۳/۸ خوشچه) و با مصرف روی و پتاسیم و بدون مصرف سیلیسیم (۱۱۲/۶ خوشچه) و با مصرف پتاسیم و بدون مصرف روی و سیلیسیم (۱۱۱/۸ خوشچه) به دست آمد. به عبارت دیگر مصرف جداگانه و هم زمان روی و پتاسیم بیش تر از سیلیسیم بر تعداد کل خوشچه در خوشه مؤثر است (شکل ۳).

حافظ و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که مصرف ۱۵ کیلوگرم کود سولفات روی در هکتار باعث افزایش معنی‌دار تعداد کل خوشچه در هر خوشه برنج گردید. به‌طورکلی مصرف سولفات روی، سبب افزایش تعداد کل خوشچه در خوشه برنج شد (عمرخان و همکاران، ۲۰۰۷؛ عمر، ۲۰۰۲؛ محمد و همکاران، ۲۰۰۲).

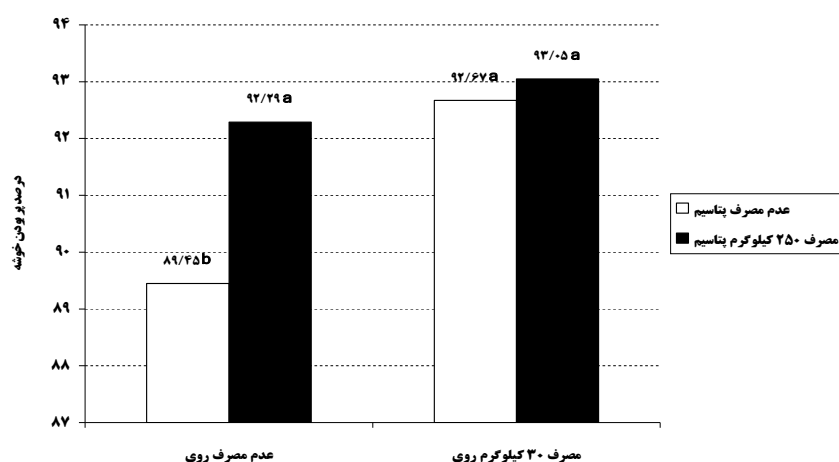


شکل ۲- میانگین تعداد کل خوشچه در خوشه در اثر متقابل روی × پتاسیم × سیلیسیم.

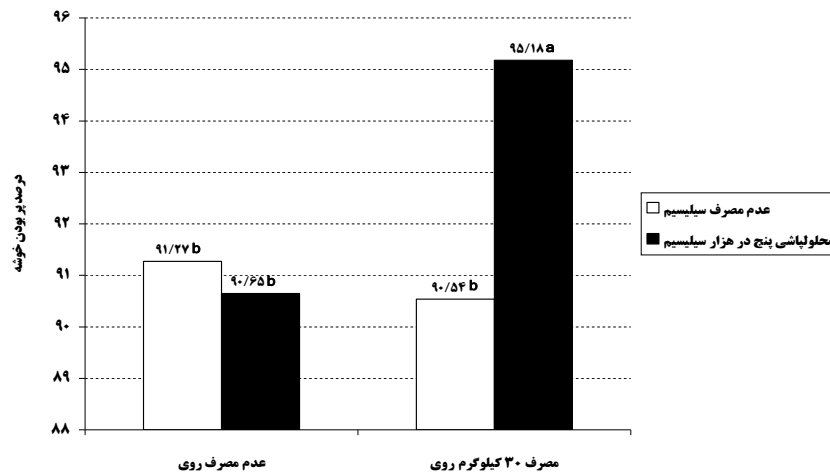
درصد پر بودن خوشه: درصد پر بودن خوشچه از نظر آماری تحت‌تأثیر اثر عنصر روی در سطح احتمال ۱ درصد و تحت اثر سیلیسیم و اثرات متقابل روی در پتاس و روی در سیلیسیم در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۲). درصد پر بودن خوشچه با مصرف سولفات روی (۹۲/۸۶ درصد) بیش‌تر از شاهد (۹۱/۱۸ درصد) شد و با محلول پاشی سیلیسیم (۹۳/۸۹ درصد) بیش‌تر از نبود محلول پاشی سیلیسیم (۹۳/۵ درصد) گردید (جدول ۳). در آزمایشی مصرف سیلیسیم در برنج موجب افزایش درصد خوشچه‌های پر گردید (داتنوف و همکاران، ۲۰۰۱).

حداکثر درصد پر بودن خوشچه تحت اثرات متقابل روی با پتاسیم برای تیمار با مصرف جداگانه و هم‌زمان روی و پتاس به‌دست آمد و کم‌ترین آن برای تیمار بدون مصرف روی و پتاس (۸۹/۴۵)

درصد) حاصل شد (شکل ۳). همچنین بیش‌ترین درصد پر بودن خوشچه تحت اثر متقابل روی با سیلیسیم برای تیمار با مصرف روی و بدون محلول پاشی سیلیسیم (۹۵/۱۸ درصد) به‌دست آمد (شکل ۴). با مصرف روی، تعداد روز تا رسیدگی و عقیمی خوشچه‌ها و تعداد خوشچه پوک در هر خوشه کاهش می‌دهد (یاکان و همکاران، ۲۰۰۰). مصرف ۱۵-۱۰ کیلوگرم کود سولفات روی به‌طور معنی‌داری درصد پر بودن خوشچه‌ها را افزایش داد (عمر، ۲۰۰۲). مصرف روی به‌دلیل افزایش قابلیت دسترسی یا جذب سایر عناصر غذایی باعث بهبود فعالیت‌های متابولیکی می‌گردد که در نهایت درصد پر بودن خوشچه‌ها را افزایش می‌دهد (مهملی و همکاران، ۲۰۰۷). کود پتاسیم به شکل سولفات پتاسیم تأثیر مثبتی در پر شدن دانه‌ها دارد در حالی‌که کمبود آن موجب عقیمی گرده‌ها و کاهش تعداد دانه‌های پر شده در برنج می‌گردد (اصفهانی و همکاران، ۲۰۰۵). سیلیسیم باعث رشد رویشی و افزایش تولیدات ماده خشک، افزایش سنبلک‌ها و وزن دانه و درصد خوشچه‌های پر در پانیکول‌ها می‌گردد (آگاری و همکاران، ۱۹۹۳).

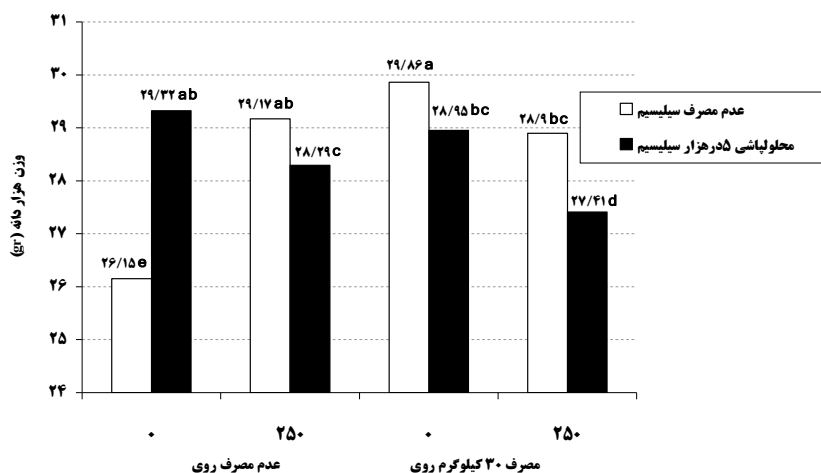


شکل ۳- میانگین درصد پر بودن خوشه در اثر متقابل روی × پتاسیم.



شکل ۴- میانگین درصد پر بودن خوشه در اثر متقابل روی × سیلیسیم.

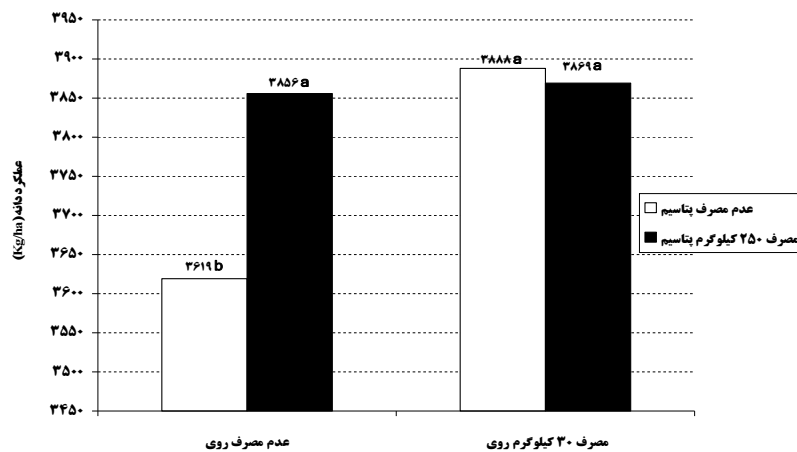
وزن هزاردانه: وزن هزاردانه از نظر آماری تحت اثر ساده روی در سطح احتمال ۵ درصد و تحت اثرات متقابل روی با پتاسیم، روی با سیلیسیم، پتاسیم با سیلیسیم و روی با پتاسیم و سیلیسیم در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت. وزن هزاردانه با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار (۲۸/۷۸ گرم) بیش تر از تیمار بدون مصرف روی (۲۸/۲۳ گرم) بود (جدول ۳). حداکثر وزن هزاردانه تحت اثرات متقابل سه عاملی برای تیمار با مصرف سولفات روی و بدون مصرف پتاسیم و سیلیسیم (۲۹/۸۶ گرم) به دست آمد و کمترین وزن هزاردانه برای تیمار شاهد یعنی بدون مصرف سه عنصر حاصل گردید که برابر ۲۶/۱۵ گرم بود (شکل ۵). مهبوبور رحمان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزایش مصرف کود سولفات روی وزن هزاردانه نیز بیشتر شد. در آزمایشی دیگر نیز نشان داده شد که کمبود روی، موجب می‌گردد تا دانه‌های ضعیفی تشکیل گردند (پاندی، ۲۰۰۵). بیشترین وزن هزاردانه از مصرف ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار به دست آمد (اومار، ۲۰۰۲). سایر پژوهشگران نیز افزایش وزن هزاردانه برنج را در اثر مصرف کود سولفات روی گزارش نمودند (رنجها و همکاران، ۲۰۰۱؛ محمد و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۵- میانگین وزن هزاردانه در اثر متقابل روی \times پتاسیم \times سیلیسیم.

عملکرد دانه: عملکرد دانه تحت اثرات روی، پتاسیم و اثر متقابل روی با پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری را نشان داد (جدول ۲). مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی سبب افزایش ۳/۶ درصدی عملکرد دانه برنج گردید که به علت افزایش تعداد پنجه در کپه، تعداد کل خوشچه در خوشه، درصد پر بودن خوشچه و وزن هزاردانه بوده است. عملکرد دانه با مصرف ۲۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار (۳۸۶۳ کیلوگرم در هکتار) ۲/۸ درصد بیش تر از تیمار بدون مصرف سولفات پتاسیم (۳۷۵۳ کیلوگرم در هکتار) شد، که به خاطر افزایش تعداد کل خوشچه در خوشه بود (جدول ۳) و حداکثر عملکرد دانه به ترتیب برای تیمار با مصرف روی و بدون مصرف پتاسیم (۳۸۸۸ کیلوگرم در هکتار)، مصرف هم زمان روی و پتاس (۳۸۶۹ کیلوگرم در هکتار) و تیمار با مصرف پتاسیم و بدون مصرف روی (۳۸۵۶ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (شکل ۶). نتایج این پژوهش با گزارش های بسیاری از پژوهشگران مطابقت دارد از جمله هو و وانگ (۲۰۰۴) نشان دادند که عملکرد دانه برنج با مصرف کود سولفات روی نسبت به مصرف نکردن آن ۸/۹ درصد افزایش یافت. امام و همکاران (۱۹۹۸) نیز اعلام نمودند کاربرد روی در تمامی سطوح به کار رفته (۰، ۵ و ۱۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار) باعث افزایش معنی دار عملکرد دانه در همه ارقام مورد بررسی برنج شد. مصرف ۵ و ۱۰ میلی گرم روی در کیلوگرم خاک در مقایسه با شاهد به ترتیب موجب افزایش عملکرد دانه برنج به میزان ۴/۹ و ۶/۱ درصد شد (کوثر و همکاران، ۲۰۰۱). مصرف کود روی به شکل سولفات

روی، عملکرد برنج را به‌طور میانگین ۱۵ درصد افزایش داد (ناتان و همکاران، ۲۰۰۵a؛ ناتان و همکاران، ۲۰۰۵b). همچنین حسین و یاسین (۲۰۰۴) دریافتند که مصرف روی از منبع سولفات روی سبب افزایش عملکرد برنج به نسبت ۱۷ درصد گردید. کمبود پتاسیم در گیاه، موجب کاهش فتوسنتز خالص و کاهش چشم‌گیر عملکرد گیاهان زراعی است (دینگ و همکاران، ۲۰۰۶). مصرف کود پتاسیم عملکرد دانه برنج را در طی ۵-۸ سال کشت پی در پی آن افزایش داد (کیوچون و همکاران، ۲۰۱۱). ثوابی (۲۰۰۲) نشان داد که مصرف پتاسیم و روی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه گندم را افزایش داد. نوری (۲۰۰۱) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمود.

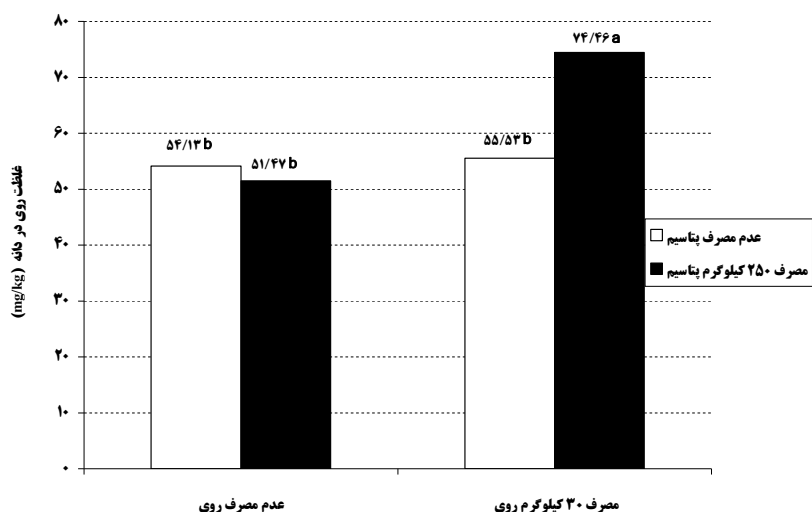


شکل ۶- میانگین عملکرد دانه در اثر متقابل روی × پتاسیم.

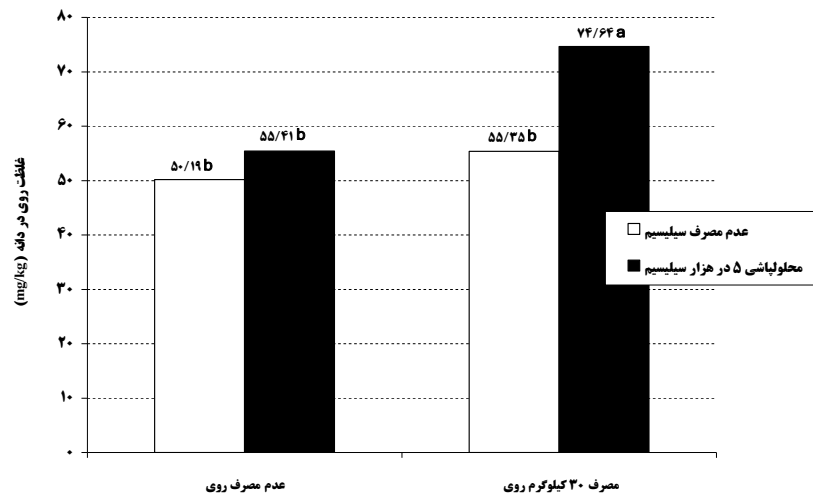
غلظت عناصر در دانه

غلظت روی در دانه: غلظت روی دانه از نظر آماری تحت اثر تیمار روی و سیلیسیم در سطح احتمال ۱ درصد و تحت اثر ساده پتاسیم، اثر متقابل روی با پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. غلظت روی در دانه با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار (۶۵ میلی‌گرم برای کیلوگرم دانه خشک) و بدون مصرف آن ۵۲/۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نسبت به شاهد ۲۳/۰۸ درصد افزایش داشته است. همچنین در جدول ۳ مشاهده می‌شود که غلظت روی در دانه با مصرف جداگانه ۲۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار و محلول پاشی سیلیکات کلسیم به‌ترتیب ۱۷/۵ و ۲۱/۲ درصد

بیشتر گردید. در شکل ۷ دیده می‌شود که حداکثر غلظت روی در دانه تحت اثر متقابل روی با پتاسیم برای تیمار با مصرف سولفات روی و بدون مصرف پتاسیم (۷۶/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم دانه خشک) حاصل گردید و همچنین مصرف هم‌زمان روی و پتاسیم سبب کاهش غلظت روی در دانه (۵۵/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم دانه خشک) شد، ولی بیش‌ترین غلظت روی در دانه تحت اثر متقابل روی با سیلیسیم برای تیمار با مصرف هم‌زمان روی و سیلیسیم (۷۴/۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم دانه خشک) حاصل گردید، به عبارت دیگر مصرف سیلیسیم موجب افزایش جذب روی در دانه شد (شکل ۸). افزایش غلظت روی در دانه برنج در اثر مصرف کود روی نشان‌دهنده توانایی روی در قابلیت دسترسی به این عنصر در خاک می‌باشد که ممکن است به واسطه بهبود فعالیت آنزیمی و فرایندهای متابولیکی گیاه باشد که در نهایت منجر به افزایش جذب روی می‌گردد (عمر، ۲۰۰۲). در مطالعه‌ای مشخص شد مصرف ۱۳/۵ کیلوگرم روی در هکتار موجب افزایش غلظت روی در دانه برنج گردید (ناتان و همکاران، ۲۰۰۵). با افزایش جذب روی توسط گیاهان، روی در همه اندام‌های گیاه تجمع پیدا کرد که در اندام‌های رویشی به‌خصوص در ساقه و غلاف (۲۰-۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیش‌تر از اندام‌های زایشی (در دانه ۵۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۸). ناتان و همکاران (۲۰۰۵a) گزارش کردند که میزان غلظت روی در شاهد برابر ۶۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و با کاربرد سولفات روی به‌میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برابر ۶۴/۳ و ۶۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.



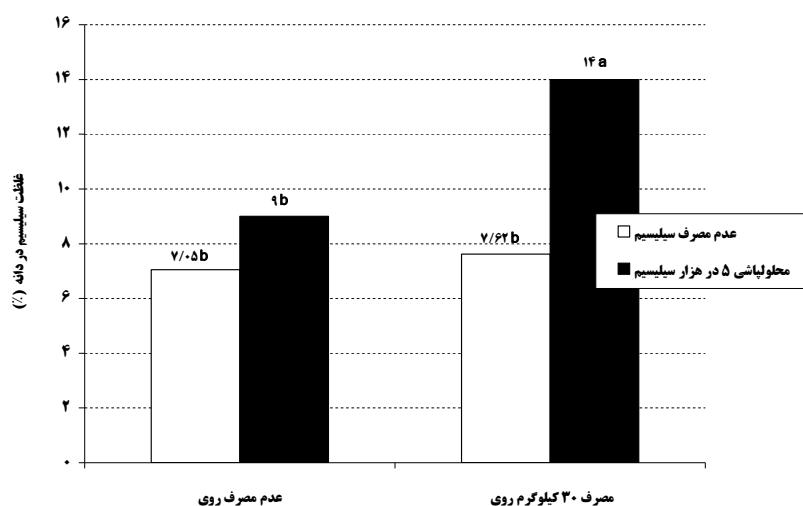
شکل ۷- میانگین غلظت روی در دانه در اثر متقابل روی × پتاسیم.



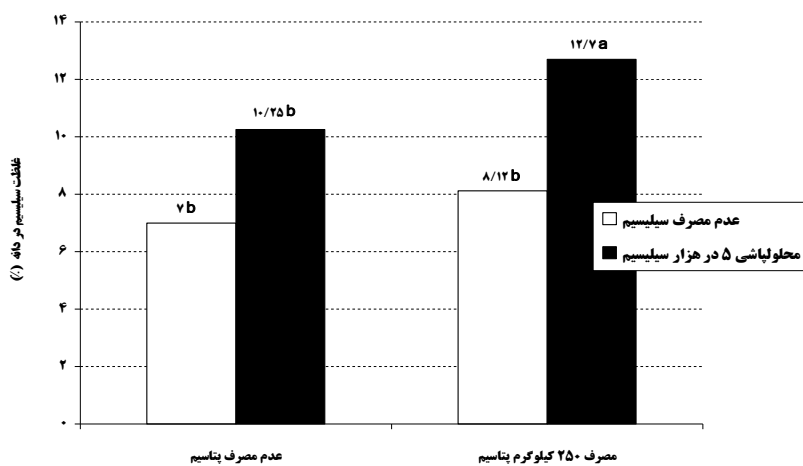
شکل ۸- میانگین غلظت روی در دانه در اثر متقابل روی × سیلیسیم.

غلظت سیلیسیم در دانه: غلظت سیلیسیم در دانه برنج از نظر آماری تحت اثر ساده محلول پاشی سیلیسیم در سطح ۱ درصد و تحت اثر ساده روی و اثر متقابل سیلیسیم با روی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۲). غلظت سیلیسیم در دانه با محلول پاشی سیلیکات کلسیم (۱۱/۵ درصد) بیش تر از تیمار بدون مصرف (۷/۵۶ درصد) بود، همچنین در جدول ۳ دیده می شود که غلظت سیلیسیم در دانه با مصرف سولفات روی ۱۰/۸ درصد و بدون مصرف آن (شاهد) ۸/۲۵ درصد بوده است. در حقیقت غلظت سیلیسیم در دانه با مصرف سولفات روی نسبت به مصرف نکردن آن ۲۷/۰۲ درصد افزایش داشت. حداکثر غلظت سیلیسیم در دانه تحت اثر متقابل روی با سیلیسیم برای تیمار با مصرف هم زمان روی و سیلیسیم به دست آمد که برابر ۱۴ درصد بود (شکل ۹). در اثر متقابل پتاسیم با سیلیسیم نیز بیش ترین تجمع سیلیسیم در دانه برای تیمار پتاسیم و سیلیسیم حاصل شد که برابر ۱۲/۷ درصد می باشد (شکل ۱۰). به عبارت دیگر جذب سیلیسیم در دانه با مصرف پتاسیم و روی بیش تر گردید. معمولاً عنصر سیلیسیم بیش تر با غلظت های بالا در بافت های گیاهی وجود دارد (اپستین، ۱۹۹۴). جذب سیلیسیم در گیاه سیلیسیم دوست برنج از مرحله پنجه زنی و یا بعد از طویل شدن ساقه شروع می شود (کاتو و اووا، ۱۹۹۰؛ تاکاشی و همکاران، ۱۹۹۰). در برنج بیش از ۹۰ درصد سیلیسیم در قسمت های هوایی گیاه یافت می شود و میزان سیلیسیم در کاه و کلش برنج و پوسته برنج بیش تر از سایر بخش های گیاه است (یوشیدا، ۱۹۷۸). طی پژوهشی نشان داده شد که استفاده از سیلیسیم در

برنج منجر به افزایش این عنصر در اندام‌های هوایی به‌خصوص در دانه‌ها گردید (چن و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین پژوهشگران طی آزمایشی روی برنج نشان دادند که با افزایش غلظت سیلیس در محلول غذایی، وزن خشک برگ‌ها به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (ژائو و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۹- میانگین غلظت سیلیسیم در دانه در اثر متقابل روی × سیلیسیم.



شکل ۱۰- میانگین غلظت سیلیسیم در دانه در اثر متقابل پتاسیم × سیلیسیم.

نتیجه گیری

عملکرد دانه با مصرف سولفات روی نسبت به شاهد ۳/۷ درصد بیش تر شد که به خاطر افزایش تعداد پنجه در کپه خوشه در مترمربع، تعداد کل خوشه چه در خوشه، درصد پر بودن خوشه چه و وزن هزاردانه بود. مصرف سولفات روی سبب افزایش معنی دار غلظت روی و سیلیسیم در دانه به ترتیب به نسبت ۲۳/۰۸ و ۲۷/۰۲ درصد گردید. مصرف سولفات پتاسیم از طریق افزایش ۴/۴ درصدی تعداد کل خوشه چه در خوشه سبب افزایش عملکرد دانه به نسبت ۲/۹ درصد گردید. محلول پاشی سیلیکات کلسیم به نسبت ۵ در هزار از نظر آماری بر عملکرد دانه اثر معنی داری نداشت ولی موجب افزایش تعداد کل خوشه چه در خوشه و درصد پر بودن خوشه چه ها شد. محلول پاشی سیلیکات کلسیم سبب افزایش غلظت روی در دانه (۲۱/۲ درصد) و غلظت سیلیسیم دانه (۵۲/۱۱ درصد) گردید. مصرف روی و پتاسیم نیز سبب افزایش جذب سیلیسیم در دانه برنج گردید. طول خوشه، تعداد پنجه و خوشه در مترمربع، تعداد کل خوشه چه در خوشه، درصد پر بودن خوشه چه ها و وزن هزاردانه تحت اثرات متقابل روی در پتاسیم در سیلیسیم برای تیمار با مصرف روی و بدون مصرف پتاسیم و سیلیسیم حداکثر بودند و کمترین این اجزای عملکرد برای تیمار شاهد (بدون مصرف سه عنصر) به دست آمدند که به نظر می رسد مصرف کودهای سولفات مانند سولفات روی، سولفات پتاسیم و البته مصرف فسفر به شکل فسفات گوگردی، موجب پایین آمدن pH خاک گردیده و عناصری مانند پتاسیم که در pH پایین، به خوبی جذب نمی شوند، نتوانست در این پژوهش روی برخی از صفات اثرات مثبتی را به جای بگذارد. همچنین با توجه به این که برنج یک گیاه سیلیس دوست می باشد و نیاز بالایی به این عنصر دارد با این میزان و دفعات مصرف در این آزمایش، نتایج مطلوبی روی عملکرد نشان نداده است.

منابع

1. Agarie, S., Agata, W., Uchida, H., Kubota, F., and Kaufman, B. 1993. Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice plant (*Oryza Sativa* L.). Crop Pro. Imp. Tech. 34: 225-234.
2. Bahmanyar, M.A., and Soodaee Mashae, S. 2010. Influences of nitrogen and potassium top dressing on yield and yield components as well as their accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). Afric. J. Biotech. 9: 18. 2648-2653.
3. Brohi, A.R., Karaman, M.R., Topbas, M., Aktas, T.A., and Savasli, E. 2000. Effect of potassium and magnesium fertilization on yield and nutrient content of rice crop grown on artificial siltation soil. Turk. J. Agri. For. 24: 429-435.

4. Cate, R.B.JC., and Nelson, L.A. 1971. A simple Statistical Procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 658-660.
5. Chen, W., Yao, X., Cai, K., and Chen, J. 2010. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. Biological trace element research. 142: 67-76.
6. Datnoff, L.E., Snyder, G.H., and Korndorfer, G.H. 2001. Silicon in agriculture. Studies in plant science. Amsterdam Elsevier, 403p.
7. Ding, Y., Luo, W., and Xu, G. 2006. Characterization of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. Ann. Appl. Biol. 149: 111-123.
8. Emami, A. 1996. Analyses Method of Plants. Agricultural Organization of Research, Education and Promotion. Institute of Soil and Water Research, 982p. (In Persian)
9. Emam, I., Maftoon, M., and Kazmin, A.R. 1998. Studying effect of different level of phosphorous and zinc on yield and yield component of three variety of rice. Fifth Proceeding of Agronomy and Plant Breeding of Iran, 415p. (In Persian)
10. Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology, Proceeding of the National Academy of Sciences USA. 91: 11-17.
11. Esfehiani, M., Sadrzade, S.M., Kavooosi, M., and Dabagh-Mohammad-Nasab, A. 2005. Study the effect of different levels of nitrogen and potassium fertilizers on growth, grain yield, yield components of rice (*Oryza sativa*) cv. Khazar, Iran. Agron. J. 7: 3. 226-241. (In Persian)
12. Fallah, A. 2000. Effects of silicon and nitrogen on growth lodging and spike let filling in rice. PhD Thesis, University of the Philippines Losbanos, 108p.
13. Gao, X., Zou, C.H., Wang, L., and Zhang, F. 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. J. Plant Nutr. 29: 1637-1647.
14. Hafeez, B.A., Khanifa, Y.M., Samsuria, A.W., Radziaha, O., Zakariab, W., and Saleem, M. 2010. Evaluation of rice genotypes for zinc efficiency under acidic flooded condition. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia.
15. Hayasaka, T., Fujii, H., and Ishiguro, K. 2008. The role of silicon in preventing appressorial enetration by the rice blast fungus. Phytopathology. 98: 9. 1038-1044.
16. Hodson, M.J., and Sangster, A.G. 2002. Silicon and abiotic stress. P 99-104, In: Matoh, T. (ed.), Second Silicon in Agriculture Conference. Press-Net, Kyoto, Japan.
17. Hu, H., and Wang, G.H. 2004. Nutrient uptake and use efficiency of irrigated rice in response to potassium application. Pedosphere. 1: 125-130.
18. Hussain, F., and Yasin, M. 2004. Soil fertility monitoring and management in rice-wheat system. Annual Report LRRP, NARC, Islamabad, Pp: 1-33.

19. Ionov, F.V., and Ionova, V.G. 1977. Fertilization of rice under conditions of high phosphate level of Chestnut soils. Shornils Statei, Donskoi Sel, s Kokhozyais Tvenny Instt. 12: 1. 107-111.
20. IRRI. 2000. Nutritional disorders and nutrient management in rice. Inter. Rice Res. Ins. Manila, Philippines.
21. Jiang, W.P.C., Struik, H., Keulen, V., Zhao, M., Jin, L.N., and Stomph, T.J. 2008. Does increased zinc uptake enhance grain zinc mass concentration in rice?. Annals of Applied Biology. ISSN 0003-4746.
22. Kant, S., and Kafkafi, U. 2002. Potassium and abiotic Stresses in Plants. In: Pasricha, N.S., S.K. Bansal (eds.), Role of potassium in nutrient management for sustainable crop production in India. Potash Research Institute of India: Gurgaon, Haryana.
23. Kato, N., and Owa, N. 1990. Dissolution mechanism of silicate slage fertilizer in paddy Soil. Soil Sci. 4: 609-610.
24. Kausar, M.A., Ali, S.A., and Iqbal, M.I. 2001. Zinc nutrition of three rice varieties in alkaline calcareous soils. Pak. Soil Sci. 20: 9-14.
25. Khabbazkar, M.R., Gohari, A.A., Dargah, R.E., Khonok, A., and Sabet, H.S. 2012. Reaction of rice (*Oryza Sativa*) cultivars to silica and potassium fertilizer. Intl. J. Farm. Alli. Sci. 1: 4. 108-113.
26. Khan, R., Gurmani, A.R., Khan, M.S., and Gurmani, A.H. 2007. Effect of zinc application on rice yield under wheat rice system. Pak. J. Biol. Sci. 10: 235-239.
27. Korndörfer, G.H., Pereira, H.S., and Camargo, M.S. 2004. Calcium and Magnesium Silicates in Agriculture. 3rd edn. GPSi/ICIAG/UFU, Uberlândia, Brazil.
28. Liang, Y.C., Sun, W.C., and Mheld, V. 2005. Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in Cucumis sativus. Plant Pathol. 54: 678-685.
29. Liang, Z.G., Gen, D.Q., Wu, W.J., Cheng, Z.H., Yang, H.Z., Li, L., Xian, W., and Jun, Z. 2007. Effect of silicon fertilizer rate on yield and quality of japonica Rice wuyujing3. Chin. J. Rice Sci. 21: 3. 299-303.
30. Loeppert, R.H., and Donald, L.S. 1996. Carbonate and gypsum. P 437-575, In: Page, A.L. (ed.), Methods of Soil Analysis. 3rd. American Society of Agronomy, Madison, WI.
31. Mahbub, M.A., Khanam, M., Rahman, M.S., Hossain, M.A., and Gomosta, A.R. 2006. Determination of lodging characters of some BRRI recommended rice varieties at three nitrogen levels during wet season in Bangladesh. Bangladesh J. Bot. 35: 117-124.
32. Mahbubur Rahman, K.M., Abul Khair Chowdhury, M.D., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A., and Biswas, G.Ch. 2011. Effect of Zinc and Phosphorus on Yield of *Oryza sativa* (cv. BR-11). Bangladesh Res. Pub. J. 5: 4. 351-358.

33. Maqsood, M., Irshad, M., Wajid, S.A., and Hussain, A. 1999. Growth and yield response of Basmati-385 (*Oryza sativa* L.) to ZnSO₄ application. Pak. J. Biol. Sci. 2: 4. 1632-1633.
34. Mehdi, M.S., Sarfraz, M., and Hafeez, M. 2007. Response of rice advance line PB-95 to potassium application in saline-sodic soil. Pak. J. Biol. Sci. 10: 2935-2939.
35. Michael, A., and Picker, J. 1996. Potassium and Phosphorus Nutrition in Rice. Information from 1996 Missouri Rice Research Update.
36. Mondal, S.S., Dasmahapatra, A.N., and Chatterjee, B.N. 1987. Effect of high rates of potassium and nitrogen on rice yield components. Environ. Eco. 5: 300-303.
37. Muhammad, A., Niaz, A., Maqsood, J., and Iftikhar, A. 2002. Effect of Zinc, Iron and Manganese on Growth and yield of Rice (*Oryza Sativa* L.). Pak J. Agri. Sci. 39: 3. 177-180.
38. Nakata, Y., Ueno, M., Kihara, J., Ichii, M., Taketa, S., and Arase, S. 2008. Rice blast disease and susceptibility to pests in a silicon uptake deficient mutant. Crop Protection. 27: 865-868.
39. Nathan, A.S., Gbur, E.E.Jr., C.E. Wilson, Jr. and Norman, R.J. 2005a. Rice response to granular zinc Sources Varying in Water-Soluble Zinc. Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 2. 443-452.
40. Nathan, A.S., Norman, R.J., and Wilson, C.E. 2005b. Effect of zinc source and application time on zinc uptake and grain yield of flood-irrigated rice. Agron. J. 97: 272-278.
41. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-579, In: Page, A.L. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
42. Nolla, A., Faria, R.J., Korndörfer, G.H., and Silva, T.R.B. 2012. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. J. Food Agric. Environ. 10: 1. 269-272.
43. Noori, E.A. 2001. Effect of potassium and zinc sulphate fertilizer on yield and quality of tomato and decreasing of nitrate and cadmium in tomato in Zanjan. M.Sc. Thesis, Soil science department. Agricultural college. Islamic Azad University. Olum tahghighat Tehran, Iran.
44. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1953. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. No 939.
45. Pandey, N. 2005. Plant micronutrients and their stress response. P 79-103, In: Dwevdi, Ram (eds.), Physiology of abiotic stress in plants. Agrobios publisher: India.
46. Qi-chun, Z., Guang-huo, W., Yu-ke, F., Peiyuan, Q., and Schoenau, J.J. 2011. Effect of potassium fertilization on soil potassium pools and rice response in an intensive cropping system in China. J. Plant Nutr. Soil Sci. 174: 73-80.

47. Ranjha, A.M., Iftikhar, A., Iqbal, M., and Javaid Ahmed, M. 2001. Rice response to applied phosphorus, zinc and farmyard manure. *Inter. J. Agric. Biol.* 3: 2. 97-198.
48. Rodrigues, F.A., and Datnoff, L.E. 2005. Silicon and rice disease management. *Fitopatologia Brasileira.* 30: 5. 457-469.
49. Savaghebi, Gh. 2002. Effect of Potassium and zinc sulphate on wheat response. Seventh proceeding of agronomy and plant breeding of Iran, Karaj. (In Persian)
50. Surendran, U. 2005. Split application of muriate of potash and sulphate of potash on growth, yield attributes, uptake and availability of nutrients in lowland rice cv.PY-5. *J. Agric. Sci.* 1: 42-48.
51. Takahashi, E., Ma, J.F., and Miyake, Y. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *comments Agric. Food.* 2: 99-122.
52. Umar khan, M. 2002. Yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) as affected by different levels and methods of zinc application. Thesis of doctor philosophy. Gomal University, D.I. khan Pakistan. 256p.
53. Umar Khan, M., Qasim, M., and Israrullah, Kh. 2007. Effect of Zn fertilizer on rice grown in different soils of Dera Ismail Khan. *Sarhad J. Agric.* 23: 4. 1033-1040.
54. Williams, J., and Smith, S.G. 2001. Correcting potassium deficiency can reduce rice stem diseases. *Better Crop.* 85: 7-9.
55. Yakan, H., Ali Gürbüz, M., Ferzan, A., Halil, S., and Necmi, B. 2000. The effect of zinc application on rice yield and some agronomic characters [On-line]. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=3400079>.
56. Yoshida, S. 1978. The availability of silicon in paddy. *Soil science, Kodansha.* Tokyo (Japan), Pp: 293-299.



Investigating the effect of potassium, zinc and silicon on grain yield, yield components and their absorption in grain rice (*Oryza sativa* L.)

***M. Ghasemi¹, H.R. Mobasser², H. Asadimanesh³ and A. Gholizadeh⁴**

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Agronomy, Islamic Azad University, Qaemshahr Branch,

²Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Islamic Azad University, Qaemshahr Branch,

³Lecturer, Dept. of Agronomy, Payamenoor University, Mahmoodabad Branch,

⁴Assistant Prof., Dept. of Plant Production, Gonbad Kavous University

Received: 08/30/2012; Accepted: 08/18/2013

Abstract

In order to study the effect of potassium, zinc and silicon spray on agronomic characteristics and their absorption on rice grain of var. Tarom Hashemi, a factorial experiment was carried out in randomized complete block design in four replications in 2011 in Amol city. Treatments include potassium (0 and 250 kg of potassium sulfate in hectare) and zinc (30 and 0 kg of zinc sulfate) as soil application and silicon treatment include non silicon and spraying of 5 per thousand of calcium silicate. Results showed that yield of grain increased 2.9 percent by using potassium sulfate and 3.7 percent by zinc sulfate significantly. Zinc concentrations of seed increased by application and non application of zinc sulfate to 65 and 52.81 mg/kg respectively. The spraying of silicon caused the increase in whole numbers of sub-cluster in panicle (6.8 percent), the sub-cluster fullness (0.4 percent), the concentration of silicon in seed (52.11 percent) and the concentration of zinc in seed (27.2 percent) significantly. The highest length of panicle and the greatest numbers of tiller in plant, the whole number of sub-cluster in panicle, the percent of sub-cluster fullness and the maximum weights of thousand seeds were obtained under the interactions of three elements in zinc sulfate treatment without potassium and silicon. Considering the effects of zinc fertilizer on yield and yield components and also their concentration in seed, the above research recommends application of this fertilizer in rice.

Keywords: Rice, Zinc, Potassium, Silicon, Absorption, Grain yield

* Corresponding Authors; Email: moazam.ghasemi@gmail.com