نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال دوازدهم، شماره ۴۸، زمستان ۱۳۹۶ / صفحات: ۶۴-۵۲

ارزیابی اثر روی و سیلیس به روش‌های محلول‌پاشی نانوذرات و خاک‌مصرف بر برخی از صفات فیزیولوژیکی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.)

نوراله خیری[۱]، حسین عجم نوروزی[۱*]، حمیدرضا مبصر[۲]، بنیامین ترابی[۳]

[۱]گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

[۲]گروه کشاورزی، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران

[۳]گروه کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر روش‌های کاربرد روی و سیلیس بر برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه برنج رقم طارم هاشمی، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ در شهرستان نور به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل T1: شاهد، T2: کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم، T3: کاربرد خاکی سولفات روی، T4: سیلیکات کلسیم + سولفات روی، T5: محلول‌پاشی نانوسیلیکون، T6: محلول‌پاشی نانوسیلیکون + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم، T7: محلول‌پاشی نانوسیلیکون + کاربرد خاکی سولفات روی، T8: محلول‌پاشی نانوسیلیکون + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + سولفات روی، T9: محلول‌پاشی نانواکسید روی، T10: محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم، T11: محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سولفات روی، T12: محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + سولفات روی، T13: محلول‌پاشی نانوسیلیکون + نانواکسید روی، T14: محلول‌پاشی نانوسیلیکون + نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم، T15: محلول‌پاشی نانوسیلیکون + نانواکسید روی + کاربرد خاکی سولفات روی و T16: محلول‌پاشی نانوسیلیکون + نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + سولفات روی بودند. نتایج نشان داد تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر صفات میزان پروتئین کاه، روی دانه و کاه و سیلیس دانه و کاه داشتند ولی میزان پروتئین دانه و کلروفیل برگ پرچم تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفتند. در بین تیمارهای مورد بررسی، مصرف توأم سیلیس و روی منجر به بهبود جذب عناصر غذایی در مقایسه با کاربرد جداگانه عناصر و شاهد شد. این نشان‌دهنده جمع‌پذیری ترکیبات روی و سیلیس و اثر هم‌افزایی آن‌ها می‌باشد. کاربرد ترکیبی عناصر سیلیس و روی با هر دو روش محلول‌پاشی نانوذره و خاک‌کاربرد (T16) سبب بهبود میزان جذب عناصر غذایی در دانه و کاه برنج گردید ولی در بین روش‌های مورد استفاده، محلول‌پاشی نانوذرات اثرات مثبت بیشتری در بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه برنج نسبت به تیمارهای خاک‌کاربرد عناصر داشت.

واژه‌های کلیدی: برنج، پروتئین، جذب عناصر غذایی، خاک‌مصرف، کلروفیل، نانوذرات

*نویسنده مسئول: ajamnorozei@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از گیاهان تیره غلات به‌طور وسیعی در سرتاسر دنیا مصرف می‌شود (Choi et al., 2015) به‌طوری که منبع غذایی بیش از ۵۰ درصد جمعیت جهان می‌باشد (Fitzgerald et al., 2009). سطح زیر کشت انواع واریته‌های شلتوک در کشور حدود ۵۳۰ هزار هکتار و میزان تولید شلتوک حدود ۲۳٤۷٦۹۹ تن می‌باشد که استان مازندران با دارا بودن ۳۸/۵۵ درصد از سطح برداشت اراضی زیر کشت برنج مقام نخست کشور را به خود اختصاص داده است و سهم این استان در تولید شلتوک کشور حدود ٤۱/۷ درصد می‌باشد (Agricultural Statistics, 2016).

روی به‌عنوان یکی از عناصر ریزمغذی ضروری برای گیاهان به فرم یون Zn^{2+} جذب گیاه می‌گردد (Mehrabanjoubani et al., 2015). کمبود روی یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید برنج در سراسر دنیا و هم‌چنین یک اختلال تغذیه‌ای گسترده می‌باشد که بر سلامت انسان‌ها تأثیر می‌گذارد (Rehman et al., 2012). برنج رشد یافته تحت شرایط غرقاب به‌دلیل کاهش پتانسیل احیا و عدم تحرک روی در شرایط بی‌هوازی خاک، قابلیت دسترسی کمتری به جذب روی دارد (Tuyogon et al., 2016). منابع بارگیری روی در دانه برنج در طول پر شدن دانه می‌تواند از طریق خاک با جذب توسط ریشه یا از طریق انتقال مجدد از اندام رویشی بسته به وضعیت روی خاک صورت گیرد (Sperotto, 2013). روی در تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و متابولیسم گیاه شامل فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک و اکسین‌ها، بیان ژن و تنظیم و نمو زایشی دخالت دارد (Chang et al., 2005). محققان با بررسی دو ساله میزان جذب روی در برنج گزارش نمودند که با کاربرد ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، میزان جذب کل روی در برنج در سال اول حدود ۷۹/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد و هم‌چنین اثرات بقایای حاصل از مصرف روی در سال اول آزمایش، میزان جذب را ۲۳/۹ درصد نسبت به شاهد در سال دوم افزایش داد (Dwivedi and Srivastva, 2014).

سیلیس دومین عنصر فراوان در سطح خاک و به عنوان یک عنصر مفید برای گیاهان محسوب می‌شود (Nakata et al., 2008). مدیریت صحیح مصرف سیلیس جهت بهبود صفات فیزیولوژیکی و تولید محصول پایدار در مناطق معتدل و هم‌چنین کشورهای گرمسیری امری ضروری به نظر می‌رسد (Meena et al., 2014). جذب سیلیس از محلول خاک به فرم مونوسیلیسیک اسید می‌باشد که بیشترین میزان جذب سیلیس در برنج حدود ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم سیلیس در هکتار می‌باشد (Bazilevich, 1993). سیلیس ممکن است در فعالیت‌های متابولیکی یا فیزیولوژیکی و هم‌چنین فعالیت‌های ساختاری گیاهان دخیل باشد (Liang et al., 2003). کاربرد سیلیس سبب افزایش جذب عناصر غذایی نظیر روی، کلسیم، پتاسیم، فسفر و بور در گیاه و از طرفی مصرف روی سبب افزایش محتوی و غلظت روی و هم‌چنین سایر عناصر غذایی از جمله کلسیم، پتاسیم و بور در گیاه می‌گردد (Mehrabanjoubani et al., 2015).

از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در جنبه‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، مصرف نانوکودها برای تغذیه گیاهان زراعی می‌باشد. این ترکیبات به سرعت و به‌طور کامل جذب گیاه شده و نیازها و کمبودهای غذایی آن را برطرف می‌کنند (Mazlomi et al., 2012). امروزه نانوکودها فناوری نوینی هستند که با کوچک کردن اندازه ذرات در مقیاس نانو شامل ذره‌هایی با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر (Monica and Cremonini, 2009) مورد

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به رابطه بین میزان جذب و اندازه ذرات، استفاده از مواد نانوترکیب به عنوان موضوع جذاب برای محققان کشاورزی مطرح می‌باشد (Haghighi et al., 2012). تحقیقات نشان داد که کودهای نانوسیلیس به راحتی قابل نفوذ در برگ می‌باشند و یک لایه سیلیکات ضخیم بر روی سطح برگ ایجاد می‌نمایند (Meena et al., 2014). محلول‌پاشی نانوسیلیس می‌تواند مزایای بهتری نسبت به کودهای سیلیس معمولی با توجه به نقش مثبت آن‌ها بر بهبود تغذیه عناصر معدنی و تولید برنج داشته باشد (Wang et al., 2015). گزارشات حاکی از اثرات مثبت نانواکسید روی بر بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی از جمله میزان کلروفیل در گیاهان می‌باشد (Farnia and Omidi, 2015). استفاده از نانوکودها می‌تواند سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و کاهش اثرات مخرب زیست محیطی نسبت به کاربرد روش‌های سنتی گردد (Alharby et al., 2016). گزارش شده که با بکارگیری نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به‌تدریج و به‌صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند و در نتیجه از بروز پدیده مردابی شدن آب‌های ساکن و هم‌چنین آلودگی آب آشامیدنی جلوگیری به عمل خواهد آمد (Chinnamuthu and Boopathi, 2009). نانوکودها در مقایسه با کودهای متداول شیمیایی، راندمان مصرف بالاتری دارند و می‌توانند به صورت مطلوب در نقطه مناسبی از ناحیه رشد، عناصر غذایی خود را آزاد کنند که این عمل اثر معنی‌داری را در خصوصیات رشدی گیاهان ایجاد می‌کند (Mazaherinia et al., 2010).

با توجه به نوظهور بودن فناوری نانو و روند رو به رشد تحقیقات در زمینه نانوکودها، گزارشات کمی در زمینه اثرات کاربرد نانوذرات بر تغذیه برنج ارائه گردیده است و از طرفی با توجه به دسترسی پایین گیاهان به سیلیس و روی در خاک‌هایی با کمبود این عناصر، بررسی تکنولوژی‌های جدید استفاده از این عناصر به منظور افزایش کارآیی مصرف عناصر غذایی و کاهش مصرف کودهای متداول شیمیایی به وسیله گیاه امری ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین این آزمایش با هدف بررسی کاربرد روش‌ها و منابع مختلف مصرف روی و سیلیس بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی برنج جهت بهبود قابلیت دسترسی و فراهمی جذب عناصر غذایی در گیاه در شهرستان نور اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهر چمستان از توابع شهرستان نور در سال ۱۳۹۵ اجرا گردید. منطقه با مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ٤٦ دقیقه عرض شمالی، در ارتفاع ۷۱ متری از سطح دریا قرار دارد. قبل از انجام آزمایش جهت تعیین نیاز کودی خاک، نمونه‌برداری از نقاط مختلف خاک محل اجرای طرح تا عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام شد (جدول ۱). آمار هواشناسی مکان اجرای طرح در طول دوره رشد محصول در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۱: برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری محل انجام آزمایش

بافت خاک	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	اسیدیته کل اشباع pH	کربن آلی (٪)	ماده آلی (٪)	فسفر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	روی قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	سیلیسیم قابل جذب (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)
لومی	۳/۰۲	۷/۵۱	۱/٦٦	۲/۸٦	۱۰/۵	۱۱٦	۰/۸۱	۰/۲۸	۳٦	٤٤	۲۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲: آمار هواشناسی در طول دوره رشد و نمو محصول برنج

ماه‌های سال	متوسط درجه حرارت ماهانه (سانتی‌گراد)		متوسط رطوبت نسبی ماهانه (درصد)		مجموع بارندگی ماهانه (میلی‌متر)	مجموع ساعات آفتابی (ساعت)
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر		
فروردین	۱۰/٤	۱۷/۳	٦۷	۹٤	۱۲۹/۸	۱۲۱/۱
اردیبهشت	۱۵/۵	۲۱/٤	۷۳	۹٤	٤۳/۰	۱۵۹/۳
خرداد	۱۹/٤	۲٦/۰	٦۷	۹۰	۲۷/۷	۲٦۰/۸
تیر	۲۲/٦	۲۸/۸	٦۷	۸۹	۱۷۹/۹	۲۰۸/۹
مرداد	۲۳/۲	۳۰/۱	٦۸	۹۰	٤٦/۱	۲۵۱/۱
شهریور	۲۲/۰	۲۹/۳	٦٦	۹۰	۱۸۲/٦	۲۰۵/۹

تیمارهای آزمایش شامل T1: شاهد یا عدم مصرف کود، T2: کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم، T3: کاربرد خاکی سولفات روی، T4: کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + سولفات روی، T5: محلول‌پاشی نانودی‌اکسید سیلیس، T6: محلول‌پاشی نانودی‌اکسید سیلیس + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم، T7: محلول‌پاشی نانودی‌اکسید سیلیس + کاربرد خاکی سولفات روی، T8: محلول‌پاشی نانودی‌اکسید سیلیس + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + سولفات روی، T9: محلول‌پاشی نانواکسید روی، T10: محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم، T11: محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سولفات روی، T12: محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + سولفات روی، T13: محلول‌پاشی نانودی‌اکسید سیلیس + محلول‌پاشی نانواکسید روی، T14: محلول‌پاشی نانودی‌اکسید سیلیس + محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم، T15: محلول‌پاشی نانودی‌اکسید سیلیس + محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سولفات روی و T16: محلول‌پاشی نانودی‌اکسید سیلیس + محلول‌پاشی نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + سولفات روی بودند.

عملیات آماده‌سازی زمین جهت کاشت در نیمه دوم اردیبهشت ماه انجام و بر این اساس، زمین آزمایش به ٤۸ کرت مساوی تقسیم گردید که ابعاد هر کرت ۵×۲ متر مربع بود. برای جلوگیری از تبادل کودی بین تیمارهای مختلف، کلیه مرزهای طولی و عرضی مربوط به هر کرت با پلاستیک تا عمق و عرض ٤۰ سانتی‌متری خاک پوشانده شدند. نشاهای سالم و یکنواخت برنج در مرحله سه تا چهار برگی و زمانی که ارتفاع آن‌ها به حدود ۲۵ سانتی‌متر رسید به زمین اصلی منتقل گردیدند. نشاکاری به تعداد چهار نشا در هر کپه با فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در تاریخ ۳۰ اردیبهشت ماه انجام شد. مصرف کودهای فسفر و پتاسیمی به‌ترتیب از منابع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به مقادیر ۷۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از نشاکاری بر اساس نتایج تجزیه خاک در کرت‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کود نیتروژن خالص به میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره به صورت تقسیط؛ یک سوم قبل از نشاکاری، یک سوم در زمان پنجه‌زنی و یک سوم در زمان ظهور خوشه به‌صورت یکنواخت در کلیه کرت‌ها مصرف گردید. کود سیلیس از منبع سیلیکات کلسیم به مقدار ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود روی از منبع سولفات روی به میزان ٤۰ کیلوگرم در هکتار با توجه به تیمارهای تعریف شده

Archive of SID

www.SID.ir

به صورت پایه در کرت‌های آزمایش مصرف شد. محلول‌پاشی نانوسیلیکون و نانواکسید روی به مقدار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در چهار مرحله حساس از رشد گیاه؛ ابتدای پنجه‌زنی، اواسط پنجه‌زنی، ظهور خوشه‌آغازین و مرحله خوشه‌دهی کامل در کرت‌های آزمایش صورت گرفت. کنترل کرت‌های آزمایشی از نظر علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها بر حسب نیاز انجام گردید. کودهای نانوسیلیکون و نانواکسید روی مورد استفاده در آزمایش تولید کشور آمریکا بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه گردید (جدول ۳).

جدول ۳: تجزیه نانوذرات دی‌اکسید سیلیس و اکسید روی

نانوذرات	درصد خلوص	اندازه ذرات (nm)	تراکم واقعی (g/cm^3)	رنگ
دی‌اکسید سیلیس	>۹۹٪	۲۰-۳۰	۲/٤	سفید
اکسید روی	>۹۹٪	۱۰-۳۰	۵/٦۰٦	سفید شیری

سنجش میزان کلروفیل برگ پرچم: میزان کلروفیل برگ پرچم در طی مرحله گل‌دهی (بعد از مرحله آبستنی یا خوشه در غلاف) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی SPAD-502 با مدل Minolta, Japan اندازه‌گیری شد.

سنجش عنصر سیلیس: جهت اندازه‌گیری سیلیس گیاه، مقدار یک گرم از نمونه گیاهی خشک و پودر شده در ارلن مایر ۷۵ میلی‌لیتر ریخته و به آن مقدار ۱۰ سی‌سی اسید که مخلوطی از ۷۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک + ۳۰۰ میلی‌لیتر پرکلریک + ۱۵۰ میلی‌لیتر سولفوریک می‌باشد اضافه گردید. محلول حاصل زیر هود قرار داده شد تا حداقل به مدت ۲ ساعت عمل پیش هضم انجام شود. سپس بر روی هیتر به‌طور تدریجی دمای آن افزایش داده شد تا بخارات سفید رنگ از آن خارج و یک ماده شفاف حاصل گردد. عصاره‌ها از کاغذ فیلتر عبور داده و رسوب تشکیل شده به همراه کاغذ صافی به جهت خشک شدن در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و جهت تولید خاکستر، داخل کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤ ساعت قرار داده شد. سپس بعد از سرد شدن داخل دسیکاتور، خاکستر با ترازوی حساس وزن گردیده و نهایتاً درصد سیلیس نمونه (یک گرم در ۱۰۰ گرم نمونه خشک گیاهی) به دست آمد (Yoshida, 1975).

سنجش عنصر روی: برای اندازه‌گیری روی در گیاه، از روش جذب اتمی شعله‌ای (A.A.S) استفاده شد (امامی، ۱۳۷۵)، بر طبق این روش ابتدا مقدار ۲ گرم از نمونه گیاه (دانه و کاه) خشک شده در کروزه چینی ریخته و سپس در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤ الی ۱۲ ساعت قرار داده و بعد از اتمام این مدت، با خاموش کردن کوره و خارج نمودن کروزه‌ها از کوره، مقدار یک قطره آب مقطر نیمه‌گرم درون کروزه افزوده گردید و در همان حال و به آرامی مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به آن اضافه شد تا به مدت یک ساعت در همین حالت باقی بماند. بعد از اتمام فعل و انفعلات، کروزه‌ها در حمام آبی به میزان ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا اولین بخارات سفید رنگ خارج گردد. سپس محتویات کروزه از کاغذ صافی ریز به داخل بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری صافی گردید و کروزه و کاغذ صافی چندین بار با آب مقطر نیمه‌گرم شسته و به حجم رسانده شد. سپس نمونه‌های شاهد، استانداردها و عصاره گیاه با شعله آبی (حالت اکسیدکننده) استیلن – هوا ابری گردیده و میزان

Archive of SID

www.SID.ir

جذب در طول موج ۲۱۳/۹ نانومتر قرائت و با رسم منحنی کالیبراسیون، غلظت روی در نمونه گیاهی به دست آمد.

سنجش پروتئین خام: جهت تعیین درصد پروتئین دانه و کاه، ابتدا درصد نیتروژن دانه و کاه برنج به روش کجلدال و با استفاده از دستگاه کجل‌تک اندازه‌گیری (Emami, 1996) و سپس با استفاده از رابطه (درصد نیتروژن دانه و کاه × ۵/۹)، درصد پروتئین دانه و کاه برنج محاسبه گردید (Lopez et al., 2010).

پس از تعیین میزان غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در دانه و کاه برنج، با استفاده از حاصلضرب تجمع ماده خشک در دانه و کاه برنج در غلظت‌های مربوط به آن، میزان عملکرد پروتئین و جذب سیلیس در دانه و کاه بر حسب کیلوگرم در هکتار و میزان جذب روی در دانه و کاه بر حسب گرم در هکتار محاسبه گردید.

در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارهای رگرسیونی نیز با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج

پروتئین دانه: نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که میزان پروتئین دانه تحت تأثیر اثرات تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ٤). اگرچه اثرات تیمارهای مورد بررسی بر پروتئین دانه معنی‌دار نشد ولی به نظر می‌رسد تیمارهای ترکیبی سیلیس و روی به خصوص تیمارهای حاوی محلول‌پاشی نانوذرات (T13، T14، T15 و T16) منجر به بهبود میزان پروتئین در دانه برنج گردیدند (جدول ۵). نتایج ضرایب رگرسیونی نشان داد بین پروتئین دانه و میزان جذب روی و سیلیس دانه برنج همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت به طوری که این همبستگی ۵۸ درصد از تغییرات مربوط به پروتئین دانه را توجیه کرد (شکل ۱الف و ۲الف).

پروتئین کاه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که میزان پروتئین کاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان پروتئین کاه به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۸۵/۱ و ۲۸۸/۷ کیلوگرم در هکتار با اعمال تیمارهای T15 و T16 حاصل شد. کمترین میزان پروتئین کاه نیز با حدود ٤۳/۳ درصد کاهش نسبت به تیمار T16، در تیمار شاهد یا عدم مصرف کود مشاهده شد (جدول ۵). رابطه رگرسیونی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین میزان جذب روی و سیلیس در کاه با پروتئین کاه وجود داشت که این رابطه به صورت خطی درجه ۱ و مثبت بود که به‌ترتیب ٦٤ و ۳۷ درصد از تغییرات را توجیه کرد (شکل ۱ب و ۲ب).

جدول ٤: تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	پروتئین دانه	پروتئین کاه	روی دانه	روی کاه	سیلیسیم دانه	سیلیسیم کاه	کلروفیل برگ پرچم
تکرار	۲	۲۸٥٤/۳۱۸	۹۸۹/۳٥۲	۳۳٤/٤۰٦	۲٦۱۱/۰۸۳	۲٦٥۱/٦۰۱	۲٤۳۹/۰۷۱	۳/٥٦۳
تیمار	۱٥	۳٥۷۲/٥٤۱^{ns}	۳٤٤۸/٦۲۹**	۱۸٤٥/۰۲۷**	۹۲٦٥/۸۸۸**	۳٤۲۲/٦٥٥*	۲۸۰٦۳/٥۰۰**	۲/۱۲٥^{ns}
خطا	۳۰	۲۲۲۳/٦٦٥	٦۹۰/۸۸٦	۲٥۲/۲۰۹	۹٥٤/۰۸۳	۱۳۸۹/۹٤٥	٤٤۷۸/٥۲۸	۱/۹۷٤
ضریب‌تغییرات (درصد)		۱۲/۸۹	۱۰/۹۷	۱۳/۳۲	۱٤/٦۸	۱٥/٥۸	۱٥/٤۰	۳/۸٤

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

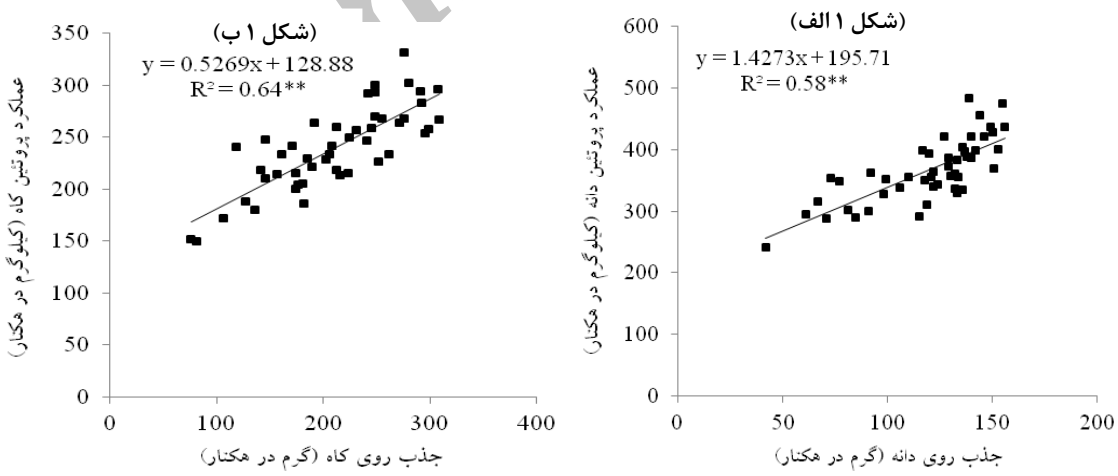
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر صفات مورد مطالعه در برنج

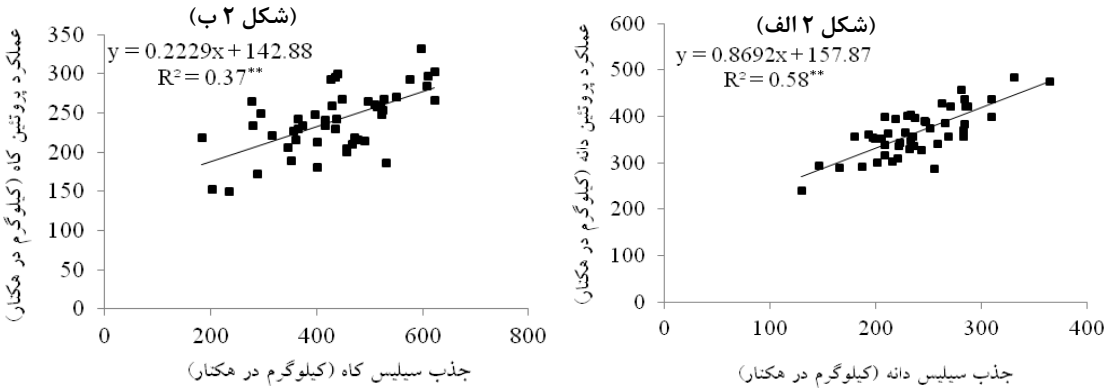
تیمار	عملکردپروتئین دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد پروتئین کاه (کیلوگرم در هکتار)	جذب روی دانه (گرم در هکتار)	جذب روی کاه (گرم در هکتار)	جذب سیلیسیم دانه (کیلوگرم در هکتار)	جذب سیلیسیم کاه (کیلوگرم در هکتار)	کلروفیل برگ پرچم
T1	۲۸۳/۵c	۱۶۳/۵f	۵۶/۷۰e	۹۴/۶۷h	۱۶۱/۸e	۲۶۳/۹f	۳۵/۰۳c
T2	۳۱۸/۳bc	۱۹۷/۹ef	۸۱/۶۷de	۱۳۷/۷gh	۲۰۴/۹de	۳۵۱/۸ef	۳۵/۴۳bc
T3	۳۴۶/۰abc	۲۱۸/۵de	۱۱۳/۳bc	۱۸۸/۳defg	۲۰۰/۸de	۳۲۸/۹ef	۳۶/۲۰abc
T4	۳۵۷/۵abc	۲۳۸/۴bcde	۱۱۸/۳abc	۲۰۴/۷cde	۲۳۴/۲abcd	۳۹۶/۳cde	۳۶/۰۷abc
T5	۳۴۳/۹abc	۲۱۴/۸de	۹۵/۰۰cd	۱۵۴/۰efg	۲۵۳/۳abcd	۴۷۲/۳abcd	۳۵/۷۰abc
T6	۳۴۱/۳abc	۲۱۴/۰de	۹۷/۳۳cd	۱۵۲/۳fg	۲۳۹/۶abcd	۴۸۰/۲abcd	۳۶/۴۰abc
T7	۳۶۷/۸ab	۲۴۷/۱abcd	۱۲۷/۰ab	۲۰۶/۰cd	۲۴۹/۶abcd	۴۸۵/۲abc	۳۷/۰۳abc
T8	۳۸۴/۳ab	۲۵۰/۹abcd	۱۳۱/۳ab	۲۰۹/۷cd	۲۷۴/۲abc	۵۱۵/۲ab	۳۶/۹۰abc
T9	۳۵۸/۷abc	۲۲۷/۲cde	۱۲۴/۰ab	۲۰۳/۳cdef	۲۲۰/۸bcde	۳۱۳/۰ef	۳۶/۳۰abc
T10	۳۶۴/۸ab	۲۲۷/۰cde	۱۲۶/۷ab	۲۱۷/۳bcd	۲۲۴/۶abcd	۳۷۰/۳def	۳۶/۷۰abc
T11	۳۷۹/۵ab	۲۵۰/۷abcd	۱۳۴/۰ab	۲۳۹/۷abcd	۲۱۴/۶cde	۳۵۷/۷ef	۳۶/۶۳abc
T12	۳۸۶/۲ab	۲۶۷/۰abc	۱۳۴/۳ab	۲۵۱/۷abc	۲۴۴/۴abcd	۴۲۱/۹bcde	۳۷/۶۷ab
T13	۴۰۵/۳a	۲۷۳/۶ab	۱۴۱/۰a	۲۶۵/۳ab	۲۷۳/۴abc	۵۳۵/۸a	۳۷/۳۳abc
T14	۴۰۳/۱a	۲۷۱/۱ab	۱۴۰/۰a	۲۶۸/۷ab	۲۸۰/۲ab	۵۵۴/۴a	۳۷/۰۰abc
T15	۴۰۴/۵a	۲۸۵/۱a	۱۴۲/۰a	۲۸۵/۳a	۲۶۷/۴abc	۵۲۳/۲ab	۳۷/۷۷ab
T16	۴۰۸/۹a	۲۸۸/۷a	۱۴۴/۷a	۲۸۷/۰a	۲۸۴/۹a	۵۸۱/۹a	۳۸/۰۰a
$LSD_{5\%}$	۷۸/۶۳	۴۳/۸۳	۲۶/۴۸	۵۱/۵۱	۶۲/۱۷	۱۱۱/۶	۲/۳۴۳

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.



شکل ۱: رابطه بین میزان جذب روی در دانه و کاه با عملکرد پروتئین دانه و کاه برنج تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

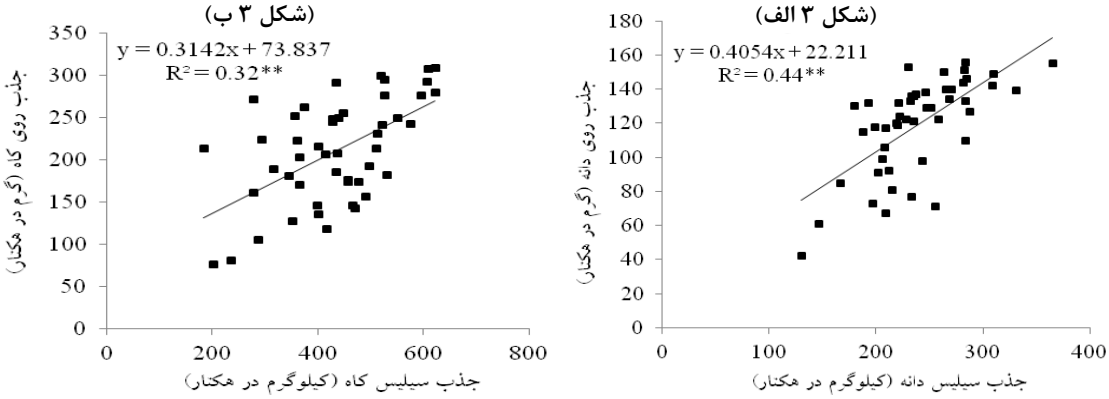
www.SID.ir



شکل ۲: رابطه بین میزان جذب سیلیس در دانه و کاه با عملکرد پروتئین دانه و کاه برنج تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

روی دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، میزان جذب روی دانه از نظر آماری تحت تأثیر تیمارهای آزمایش شامل روش‌ها و منابع مختلف مصرف سیلیس و روی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ٤). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان جذب روی دانه به‌ترتیب با میانگین‌های ١٤١، ١٤٠، ١٤٢ و ١٤٤/٧ گرم در هکتار در تیمارهای T13، T14، T15 و T16 و کمترین آن با حدود ٦٠/٨ درصد کاهش، در تیمار عدم مصرف کود یا شاهد مشاهده گردید (جدول ٥). نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین میزان جذب سیلیس در دانه با جذب روی در دانه برنج وجود داشت به طوری که با افزایش جذب سیلیس در دانه، جذب روی در دانه نیز افزایش یافت (R^2=0.44) (شکل ۳ الف).

روی کاه: نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که میزان جذب روی کاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). با توجه به مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش، بیشترین میزان جذب روی کاه به‌ترتیب با میانگین‌های ٢٨٥/٣ و ٢٨٧ گرم در هکتار مربوط به تیمارهای T15 و T16 بود و با عدم مصرف کود، میزان جذب حدود ٦٧ درصد کاهش یافت (جدول ٥). نتایج حاصل از ضرایب رگرسیون نشان داد بین میزان جذب سیلیس در کاه با میزان جذب روی در کاه برنج همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت به طوری که این همبستگی ٣٢ درصد از تغییرات مربوط به جذب روی را توجیه کرد (شکل ٣ ب).



شکل ۳: رابطه بین میزان جذب سیلیس در دانه و کاه با میزان جذب روی در دانه و کاه برنج تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Archive of SID
www.SID.ir

سیلیس دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر سیلیس دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار T1 (شاهد) با میانگین ١٦١/٨ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان جذب سیلیس دانه را به خود اختصاص داد ولی با کاربرد تجمیعی سیلیس و روی در هر دو روش محلول‌پاشی نانوذرات و خاک مصرف (T16)، میزان جذب سیلیس در دانه برنج حدود ٤٣/٢ درصد افزایش یافت (جدول ٥).

سیلیس کاه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس حاکی از آن بود که میزان جذب سیلیس کاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). مقایسه میانگین اثرات تیمارهای مورد بررسی بر جذب سیلیس کاه نشان داد که بیشترین میزان جذب سیلیس کاه به‌ترتیب با میانگین‌های ٥٣٥/٨، ٥٥٤/٤ و ٥٨١/٩ کیلوگرم در هکتار با اعمال تیمارهای T13، T14 و T16 حاصل شد. کمترین میزان جذب سیلیس کاه با ٥٤/٦ درصد کاهش در مقایسه با حداکثر میزان جذب، در تیمار شاهد یا عدم مصرف کود مشاهده شد (جدول ٥).

کلروفیل برگ پرچم: نتایج نشان داد که اثرات تیمارهای آزمایش بر محتوی کلروفیل برگ پرچم معنی‌دار نشد (جدول ٤)، ولی بیشترین میزان کلروفیل برگ پرچم با میانگین ٣٨ با اعمال تیمار T16 (محلول‌پاشی نانوسیلیس + نانواکسید روی + کاربرد خاکی سیلیس + سولفات روی) و کمترین آن با میانگین ٣٥/٠٣ در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ٥).

بحث

در این تحقیق با کاربرد ترکیبی روی و سیلیس، جذب این دو عنصر در دانه و کاه برنج به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که علت آن را می‌توان به اثرات سینرژیستی بین عناصر مورد استفاده مرتبط دانست. ارتباطات بین عناصر غذایی می‌تواند فرآیند جذب، توزیع و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد به گونه‌ای که این عناصر می‌توانند هم اثرات سمیت ایجاد نمایند و هم اینکه اثرات هم‌افزایی بر روی رشد گیاه داشته باشند (Marschner, 1995). محققان بیان نمودند که تغذیه سیلیس می‌تواند اثرات مثبتی بر رشد زایشی برنج در تیمارهای کاربرد مقادیر مختلف روی مصرفی بگذارد، به گونه‌ای که کاربرد سیلیس، غلظت روی دانه برنج را در گیاهانی که میزان روی مصرف شده برای آن‌ها حدود یک میکروگرم بر لیتر بوده را حدود ٨٥ درصد افزایش داده است و از طرفی دیگر، افزایش میزان روی مصرفی در ریشه سبب افزایش غلظت سیلیس در ریشه و اندام هوایی گردید (Mehrabanjoubani et al., 2015)، که با یافته‌های آزمایش حاضر مطابقت دارد. افزایش مصرف سیلیس سبب بهبود جذب سایر عناصر غذایی در دانه و کاه برنج شد (Singh et al., 2006). میزان روی و سیلیس در کاه در تمام تیمارهای مورد بررسی بیشتر از دانه برنج ولی میزان پروتئین در دانه بیشتر از کاه برنج بود. مشابه نتایج این آزمایش، سایر محققان نیز بیان نمودند که در بین اندام‌های مختلف گیاه، بیشترین و کمترین میزان غلظت سیلیس به ترتیب در اندام هوایی و دانه‌ها مشاهده شد (Mehrabanjoubani et al., 2015). محققان گزارش نمودند که جذب روی در کاه برنج بیشتر از جذب آن در دانه برنج بود که دلیل آن را عملکرد بیشتر کاه نسبت به دانه طی دو سال مورد مطالعه عنوان نمودند (Shivay et al., 2008). Afshar و همکاران (٢٠١٥) اظهار داشتند که بیشتر صفات فیزیولوژیکی گندم با محلول‌پاشی نانواکسید روی در مراحل مختلف رشد گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت.

میزان پروتئین دانه و کاه برنج با کاربرد ترکیبی سیلیس و روی در تیمارهای مختلف آزمایش بهبود یافت ولی در تیمارهایی که محلول‌پاشی نانوذرات

Archive of SID

www.SID.ir

سیلیس و روی به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفت میران عملکرد پروتئین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در بین عناصر مورد استفاده نیز به نظر می‌رسد مصرف روی به صورت انفرادی در فرم‌های محلول‌پاشی نانوذره و خاک‌مصرف در افزایش میزان پروتئین دانه و کاه نسبت به تیمار کاربرد انفرادی سیلیس و شاهد مؤثرتر بود که دلیل آن احتمالاً نقش تعیین کننده روی در سنتز اسیدهای آمینه و پروتئین می‌باشد. روی نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله سنتز پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دارد (Chang et al., 2005; Ishimaru et al., 2011). سایر محققان نیز بیان نمودند که کاربرد روی سبب افزایش میزان پروتئین برنج می‌گردد (Fang et al., 2008). Yazdpour و همکاران (۲۰۱٤) بیان داشتند که در بین منابع مختلف مصرف سیلیس، بیشترین درصد پروتئین دانه و کاه برنج طی دو سال زراعی با محلول‌پاشی نانوسیلیکون حاصل شد.

اگرچه با روش‌های محلول‌پاشی نانواکسید روی و کاربرد خاکی سولفات روی به صورت جداگانه، میزان جذب روی در دانه و کاه برنج در مقایسه با مصرف سیلیس و شاهد افزایش معنی‌داری داشت ولی با کاربرد ترکیبی سیلیس و روی به هر دو روش محلول‌پاشی نانوذرات و خاک‌مصرف، حداکثر میزان جذب روی در دانه و کاه برنج حاصل شد که احتمالاً به دلیل اثرات هم‌افزایی بین دو عنصر سیلیس و روی می‌باشد که سبب بهبود جذب روی گردید. اثرات هم‌افزایی بین دو عنصر روی و سیلیس در نتایج سایر محققان گزارش شده است (Mehrabanjoubani et al., 2015).

به نظر می‌رسد در بین دو روش مورد استفاده در این تحقیق، کاربرد ترکیبی سیلیس و روی به روش محلول‌پاشی نانوذرات در جذب روی در دانه و کاه برنج مؤثرتر از کاربرد خاکی عناصر بوده است زیرا محلول‌پاشی نانوذرات در مراحل مختلف رشد سبب فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌گردد، همچنان که Rehman و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند استفاده از روش محلول‌پاشی روی سبب بهبود کارآیی مصرف روی در برنج می‌شود که نتایج یافته‌های حاصل از این تحقیق را تأیید نمود. انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه زمانی اتفاق می‌افتد که روی در مراحل آبستنی یا گلدهی در محلول غذایی مورد استفاده قرار گرفته شود (Wu et al., 2010). محلول‌پاشی روی در مرحله خوشه‌آغازین در افزایش کل محتوای روی دانه برنج بسیار مؤثر می‌باشد (Phattarakul et al., 2012). افزایش جذب روی و بهبود عملکرد دانه با مصرف روی در نتایج بسیاری از محققان گزارش شده است Dwivedi and Srivastva, 2014; Wang et al., 2014; Tuyogon et al., 2016). کاربرد روی به طور معنی‌داری سبب افزایش جذب روی در دانه و کاه برنج گردید و در بین روش‌های مختلف کاربرد، محلول‌پاشی روی طی سه مرحله از رشد گیاه سبب جذب بیشتر روی در دانه و کاه نسبت به محلول‌پاشی یکباره و کاربرد خاکی روی گردید (Shivay et al., 2016)، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

با کاربرد سیلیس به روش محلول‌پاشی نانوذره میزان جذب سیلیس دانه و کاه به طور معنی‌داری نسبت به کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم و شاهد افزایش یافت ولی با کاربرد ترکیبی سیلیس و روی با تجمیع هر دو روش محلول‌پاشی نانوذرات و خاک‌کاربرد عناصر، حداکثر میزان جذب سیلیس در دانه و کاه برنج به‌دست آمد. گزارش شده که مصرف سیلیس باعث افزایش غلظت سیلیس در برگ و ساقه گندم گردید (Sarto et al., 2014). در بررسی Wang و همکاران(۲۰۱۵) گزارش شده که محلول‌پاشی نانوسیلیکون سبب بهبود رشد و افزایش جذب عناصر

Archive of SID

www.SID.ir

روی، آهن و منیزیم در برنج گردید، که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت.

میزان کلروفیل برگ پرچم با مصرف ترکیبی سیلیس و روی به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت ولی بیشترین میزان کلروفیل با کاربرد سیلیس و روی با استفاده از ترکیب هر دو روش محلول‌پاشی نانوذرات و خاک‌مصرف حاصل شد. سیلیس از طریق افزایش سطح برگ و مقدار فتوسنتز از تخریب کلروفیل جلوگیری به عمل می‌نماید (Gerami et al., 2012). مصرف سیلیس به‌طور وسیعی سبب بهبود محتوای کلروفیل در گیاهان می‌گردد (Meena et al., 2014). در نتایج Wangو همکاران(۲۰۱۵) گزارش شد که با کاربرد نانوسیلیس، محتوی کلروفیل برگ‌های برنج به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت داشت. گروهی از پژوهشگران اظهار نمودند که با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم دی‌اکسید سیلیس، عدد کلروفیل‌متر حدود ٤/٥ درصد افزایش یافت (Ranganathan et al., 2006). گزارش شده که با افزایش مصرف روی از ۰ به ۳۰ کیلوگرم در هکتار، عدد کلروفیل‌متر برنج رقم IR20 حدود ۲۱/۷۹ درصد افزایش یافت (Kabeya and Shankar, 2013). Farnia و Omidi (۲۰۱۵) با بررسی اثرات نانوذرات روی در ذرت بیان نمودند که با مصرف نانوذرات روی، میزان کلروفیل به طور معنی‌داری در مقایسه با عدم مصرف آن افزایش یافت.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج به‌دست آمده نشان داد که استفاده از تیمارهای آزمایش حاوی عناصر روی و سیلیس اثر معنی‌داری بر برخی صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه داشت، به گونه‌ای که کاربرد ترکیبی این عناصر سبب بهبود جذب عناصر غذایی گردید در حالی که با مصرف جداگانه هر یک از کودها، از میزان جذب کاسته گردید و تحت شرایط شاهد کمترین میزان جذب عناصر غذایی حاصل شد. دو عنصر مورد استفاده در این آزمایش دارای اثرات سینرژیستی بر یکدیگر بوده و منجر به بالانس عناصر غذایی در برنج گردیدند. روی در افزایش میزان پروتئین دانه اثرات بهتری در مقایسه با سیلیس داشت. با توجه به نتایج این تحقیق، کاربرد ترکیبی سیلیس و روی به هر دو روش محلول‌پاشی نانوذرات و خاک‌کاربرد عناصر منجر به بهبود جذب عناصر غذایی گردید ولی در بین روش‌های مورد استفاده، محلول‌پاشی نانوذرات به دلیل ریزبودن اندازه ذرات و قدرت نفوذ بیشتر موجب افزایش سطح جذب عناصر توسط گیاه شد. از طرفی مصرف کودهای سیلیس و روی از منبع نانوذرات منجر به کاهش اثرات مخرب زیست محیطی در مقایسه با کاربرد کودهای متداول شیمیایی حاوی این عناصر می‌گردد، بنابراین استفاده از روش محلول‌پاشی نانوذرات با توجه به اثرات مثبت آن بر بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه برنج نسبت به روش مصرف خاکی عناصر، توصیه می‌گردد.

References

Afshar, I., Rahimi Haghighi, A. and Shirazi, M. (2014). Comparison the effects of spraying different amounts of nano zink oxide and zink oxide on wheat. Environmental Sciences. 4(3): 688-693.

Agricultural Statistics. (2016). Ministry of Agriculture Jihad, Deputy of Planning and Economics, ICT. Tehran. Iran. Vol 1: Agronomic Crops. 163p.

Alharby, H.F., Metwali, E.M.R., Fuller, M.P. and Aldhebiani, A. (2016). Impact of application of zinc oxide nanoparticles on callus induction, plant regeneration, element content and antioxidant enzyme activity in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under salt stress. Archives of Biological Sciences. 68(4): 723-735.

Bazilevich, N.I. (1993). The biological productivity of north Eurasian ecosystems.

Archive of SID

www.SID.ir

RAS Institute of Geography, Nayka, Moscow.

Chang, HB., Win, L. and Huang, HJ. (2005). Zinc-induced cell death in rice (*Oryza sativa* L.) roots. Plant Growth Regulation. 46(3): 261-266.

Chinnamuthu, C.R. and Boopathi, M. (2009). Nanotechnology and agroecosystem. Madras Agricultural Journal. 96: 17-31.

Choi, S., Jun, H., Bang, J., Chung, S.H., Kim, Y., Kim, B.S., Kim, H., Beuchat, L.R. and Ryu, J.H. (2015). Behavior of Aspergillus flavus and *Fusarium graminearum* on rice as affected by degree of milling, temperature, and relative humidity during storage. Food Microbiology.46: 307-313.

Dwivedi, R. and Srivastva, P.C. (2014). Effect of zink sulphate application and the cyclic incorporation of cereal straw on yields, the tissue concentration and uptake of Zn by crops and availability of Zn in soil under rice-wheat rotation. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 3(53): 1-12.

Emami, A. (1996). Methods of plant analysis. Vol 982. Soil and Water Research Institute. 130 p.

Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X. and Hu, Q. (2008). Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in china. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56: 2079-2084.

Farnia, A. and Omidi, M.M. (2015). Effect of nano-zink chelate and nano-biofertilizer on yield and yield components of maize (*Zea Mays* L.) under water stress condition. Indian Journal of Natural Sciences. 5(29): 4614-4624.

Fitzgerald, M.A., McCouch, S.R. and Hall, R.D. (2009). Not just a grain of rice: The quest for quality. Trends in Plant Science. 14(3): 133-139.

Gerami, M., Fallah, A. and Khatami moghadam, MR. (2012). Study of potassium and sodium silicate on the morphological and chlorophyll content on the rice plant in pot experiment (*Oryza sativa* L.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4(10): 658-661.

Haghighi, M., Afifipour, Z. and Mozafarian, M. (2012). The effect of N-Si on tomato seed germination under salinity levels. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 6: 87-90.

Ishimaru, Y., Bashir, K. and Nishizawa, N.K. (2011). Zn uptake and translocation in rice plants. Rice 4(1): 21-27.

Kabeya, M.J. and Shankar, A.G. (2013). Effect of different levels of zinc on growth and uptake ability in rice zinc contrast lines (*Oryza sativa* L.). Asian Journal of Plant Science and Research. 3(3): 112-116.

Liang, Y.C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W.H. and Ding, R.X. (2003). Exogenous silicon Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Plant Physiology. 160: 1157-1164.

Lopez, CVG., Garcia, M.D.C.C., Fernandez, F.G.A., Bustos, C.S., Chisti, Y. and Sevilla, J.M.F. (2010). Protein measurements of microalgal and cyanobacterial biomass. Bioresource Technology. 101: 7587-7591.

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press, London, 889p.

Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A. and Monshi, A. (2010). Effect of nano iron oxide particles on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. Journal of World Applied Sciences. 7(1): 156-162.

Mazlomi, M., Pirzad, A. and Zardoshti, M. (2012). Allocation ratio of photosynthate to different parts of sugar beet plant affected by nano-iron foliar application at varying growth stages. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences. 2: 121-128.

Meena, V.D., Dotaniya, M.L., Coumar, V., Rajendiran, S., Ajay, Kundu, S. and Rao, A.S. (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences. 84(3): 505-518.

Mehrabanjoubani, P., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H.R. and Aghdasi, M.

Archive of SID

www.SID.ir

(2015). Impacts of silicon nutrition on growth and nutrient status of rice plants grown under varying zinc regimes. Theoretical and Experimental Plant Physiology. 27(1): 19-29.

Monica, R.C. and Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. Caryologia. 62: 161-165.

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(3-5): 865-868.

Phattarakul, N., Rerkasem, B., Li, L.J., Wu, L.H., Zou, C.Q., Ram, H., Sohu, V.S., Kang, B.S., Surek, H., Kalayci, M., Yazici, A., Zhang, F.S. and Cakmak, L. (2012). Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. Plant and Soil. 361(1-2): 131-141.

Ranganathan, S., Suvarchala, V., Rajesh, Y.B.R.D., Prasad, M.S., Padmakumari, A.P. and Voleti, S.R. (2006). Effects of silicon sources on its deposition, chlorophyll content, and disease and pest resistance in rice. Biologia Plantarum. 50(4): 713-716.

Rehman, H., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A. and Rengel, Z. (2012). Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant and Soil. 361: 203-226.

Sarto, M.V.M., Lana, M.D.C., Rampim, L., Rosset, J.S., Wobeto, J.R., Ecco, M., Bassegio, D. and Costa, P.F.D. (2014). Effect of silicate on nutrition and yield of wheat. African Journal of Agricultural Research. 9(11): 956-962.

Shivay, YS., Kumar, D., Prasad, R. and Ahlawat, LPS. (2008). Relative yield and zinc uptake by rice from zinc sulphate and zinc oxide coating onto urea. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 80(2): 181-188.

Shivay, Y.S., Prasad, R., Kaur, R. and Pal, M. (2016). Relative efficiency of zinc sulphate and chelated zinc on zinc biofortification of rice grains and zinc use-efficiency in Basmati rice. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B, Biological Sciences. 86(4): 973-984.

Singh, K., Singh, R., Singh, JP., Singh, Y. and Singh, KK. (2006). Effect of level and time of silicon application on growth, yield and its uptake by rice (*Oryza sativa*). Indian Journal of Agricultural Science. 76(7): 410-413.

Sperotto, R.A. (2013). Zn/Fe remobilization from vegetative tissues to rice seeds: should I stay or should I go: Ask Zn/Fe supply. Frontiers in Plant Science. 4: 464-467.

Toyogon, D.S.J., Impa, S.M., Castillo, O.B., Larazo, W. and Johnson-Beebout, S.E. (2016). Enriching rice grain zinc through zinc fertilization and water management. Soil Science Society of America Journal. 80(1): 121-134.

Wang, Y.Y., Wei, Y.Y., Dong, L.X., Lu, L.L., Feng, Y., Zhang, J., Pan, F.S. and Yang, X.E. (2014). Improved yield and Zn accumulation for rice grain by Zn fertilization and optimized water management. Journal of Zhejiang University-Science. B (Biomedicine & Biotechnology). 15(4): 365-374.

Wang, S., Wang, F. and Gao, S. (2015). Foliar application with nano-silicon alleviates Cd toxicity in rice seedlings. Environmental Science and Pollution Research. 22(4): 2837-2845.

Wu, C., Lu, L.L., Yang, X.E., Feng, Y.Y., Wei, Y.Y., Hao, H.L.L., Stoffella, P.J. and He, Z.L. (2010). Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58: 6767-6773.

Yazdpour, H., Noormohamadi, Gh., Madani, H., Heidari Sharif Abad, H., Mobasser, H.R. and Oshri, M. (2014). Role of nano-silicon and other silicon resources on straw and grain protein, phosphorus and silicon contents in Iranian rice cultivar (*Oryza sativa* cv. Tarom). International Journal of Biosciences. 5(12): 449-456.

Yoshida, S. (1975). The physiology of silicon in rice. Food and Fertilizer Technology Center (FFTC), Technical Bulletin. 25: 1-27.

Archive of SID

www.SID.ir