Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2020.291977.668383

تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۴، تیر ۱۳۹۹ (ص ۱۰۲۶-۱۰۱۳)

Effect of Basal and Foliar Application of Zinc Sulphate Fertilizer on Zinc Uptake, Yield and Yield Components of Rice (Hashemi Cultivar)

SHAHRAM MAHMOUD SOLTANI[1*], MEHRZAD ALLAHGHOLIPOOR[1], MARYAM SHAKOURI KATIGARI[1], ALI POURSAFAR TABALVANDANI[1]

1. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and extension Organization, Rasht, Iran.

(Received: Nov. 18, 2019- Revised: Jan. 4, 2020- Accepted: Jan. 4, 2020)

ABSTRACT

Zinc (Zn) next to N and P is the most important nutrient that its deficiency is considered to be a serious widespread nutritional disorder of the world's rice paddy fields which causes yield reduction. The current field study was conducted to explain the effect of Zn application (basal and foliar) on morphological characteristics, rice yield and yield components, and more broadly, grains bio-fortification (Zn and protein content). The two factors factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in the farmer field in 2018-2019. The applied treatments were basal application of zinc sulfate at three levels (0, 10 and 20 kg.ha^{-1} Zn), and foliar application 0.5% zinc sulfate (ZFA) in four levels (no ZFA, ZFA at maximum tillering, ZFA at flowering and ZFA at grain filling stages). Basal Zn sulfate was applied before ploughing and thoroughly mixed with the surface plough layer. Results showed that almost all of the collected data except amylose content and gelatinization temperature were significantly affected by basal and foliar application of Zn, and their interactions ($P\leq0.01$ or $P\leq0.05$). The highest value of spikelet per panicle, grains per panicle, 1000 grains weight, grain yield and biomass were found at 20 kgha-1 basal Zn application and foliar application at maximum tillering and flowering stage, meanwhile the highest grain Zn content and white rice protein content were observed at 20 kgha-1 and foliar application at grain filling stage. The highest Zn content in all rice tissues were obtained at 20 kg.ha^{-1} basal application. The maximum Zn content in leaves and stems, roots, and panicles were found by foliar application at maximum tillering, flowering and ripening stages, respectively. It can be concluded that in order to produce higher grain and straw yield, the higher Zn treatment and earlier foliar application, whereas for quality factors, latter stage application were effective.

Keywords: Rice, Hashemi Cultivar, Zinc, Basal Application, Foliar Application.

* Corresponding Author's Email: shmsoltani@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر کاربرد پایه و محلول‌پاشی کود سولفات روی بر جذب روی، عملکرد و اجزاء عملکرد برنج رقم هاشمی

شهرام محمود سلطانی[1*]، مهرزاد اله قلی‌پور[1]، مریم شکوری کتیگری[1]، علی پورصفر طبالوندانی[1]

۱. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۲۷- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴)

چکیده

کمبود روی پس از نیتروژن و فسفر، مهم‌ترین نارسایی تغذیه‌ای و عامل مهمی در کاهش عملکرد برنج است. بنابراین به منظور بررسی تأثیر کاربرد روش‌های مصرف روی (مصرف پایه و محلول‌پاشی) بر برنج رقم هاشمی، آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از کودپاشی پایه (کاربرد خاکی) کود سولفات روی در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) و محلول‌پاشی ۰/۵ درصد سولفات روی در چهار سطح (بدون محلول‌پاشی، در زمان حداکثر پنجه‌زنی، یک‌هفته قبل از گلدهی و شروع پرشدن دانه). روش‌های مختلف کاربرد سولفات روی بر تمام خصوصیات اندازه‌گیری شده به استثنای میزان آمیلوز و دمای ژلاتینی‌شدن، تأثیر معنی‌داری داشت. بالاترین تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در مرحله یک هفته قبل از گلدهی و رسیدگی و همچنین بالاترین محتوای روی آرد با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در مرحله پرشدن دانه حاصل شد؛ در حالی‌که بالاترین محتوای پروتئین آرد نیز با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در مرحله یک‌هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد. کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی باعث بالاترین محتوای روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه، محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی باعث بالاترین محتوای روی برگ و ساقه، محلول‌پاشی مرحله خوشه‌دهی باعث بالاترین محتوای روی ریشه و محلول‌پاشی مرحله رسیدگی باعث بالاترین محتوای روی خوشه شد. بنابراین، کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی یک‌هفته قبل از مرحله گلدهی و پرشدن دانه، به عنوان راهکاری جهت بهبود کیفیت دانه و همین مقدار کود پایه به همراه محلول‌پاشی در مرحله گلدهی برای عملکرد و اجزای عملکرد مناسب است.

واژه های کلیدی: برنج، رقم هاشمی، کود روی، کاربرد پایه، محلول‌پاشی.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa*) یکی از غذاهای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان، به ویژه آسیا و آفریقاست که در این مناطق بیش از ۹۰ درصد برنج تولیدی، همزمان مصرف می‌شود (FAO, 2013؛ Alloway, 2009). برنج ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز جمعیت‌های انسانی در کشورهای برنج‌خیز جهان را فراهم می‌کند (FAO, 2013). با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، طبق آمارهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) تا سال ۲۰۲۵ به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک نیاز خواهد بود تا بتوان میزان تقاضای جمعیت جهان را به این منبع مهم غذایی تأمین نمود. این در حالی است که بیشتر شالیزارهای موجود مورد بهره برداری قرار گرفته‌اند (FAO, 2013). در طول پنج دهه گذشته، عملکرد برنج دو جهش بزرگ (پیشرفت‌های ژنتیکی و به‌زراعی) را به خود دیده است که طی آن میزان عملکرد دانه برنج به بیش از سه برابر افزایش یافته است (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2009؛ Tonini and Cabrera, 2011). علی‌رغم این جهش‌ها، هم‌چنان شکاف بزرگی بین عملکرد در زمین کشاورزان و ایستگاه‌های تحقیقاتی در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. علاوه بر آب کافی نیاز به عرضه متعادل عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف برای پرکردن این شکاف عملکردی حیاتی است (Mahmoud Soltani, 2018).

پس از نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K)، کمبود روی (Zn) یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد (بین ۲۰ تا ۸۰ درصد) در برنج است (Fageria *et al*, 2002). در مقایسه با حبوبات، غلات به‌طورکلی به ابتلا به کمبود روی و کاهش قابل‌توجه در عملکرد دانه و کیفیت غذایی، حساس‌ترند (Cakmak, 2008). با این حال، نظر به این موضوع که بیش از ۵۰ درصد از اختلال تغذیه‌ای در محصولات مستعد در سراسر جهان به کمبود روی اختصاص دارد،

* نویسنده مسئول: shmsoltani@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

قابل توجه است که فراوانی کمبود روی در برنج از سایر محصولات زراعی بیشتر است (Doberman and fairhurst, 2000). کمبود روی به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های تغذیه‌ای در محدودکردن تولید برنج در آسیا در سال‌های اخیر شناخته شده است. گیاهانی که در خاک‌های با روی در دسترس پایین رشد می‌کنند، به‌طورکلی عملکرد کمتر و کیفیت دانه نامناسب‌تری دارند (Welch and Graham, 2000). به عنوان مثال، کاهش معنی‌دار (۸۰ درصد) در مقدار روی موجود در دانه غلات کشت-شده در خاک‌های با روی قابل دسترس کم مشاهده شده است (Cakmak, 2008). این کاهش در غلظت روی در دانه، سبب کاهش فراهمی زیستی آن در انسان شده و ممکن است به کمبود روی در جمعیت‌های حساس انسانی منجر شود (Hussain *et al*., 2012). در واقع، کمبود روی در غذای جوامع بشری در حال تبدیل‌شدن به یکی از مشکلات عمده بهداشت عمومی در بسیاری از کشورها، به ویژه در آن‌هایی که مردم به مواد غذایی مبتنی بر غلات وابسته هستند، می‌باشد (Mahmou Soltani, 2018).

کاربرد کود روی در خاک‌های دارای کمبود این عنصر، یک استراتژی کلی برای مقابله با کمبود آن بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت روی در دانه نیز می‌انجامد (Houssain *et al*., 2012؛ Mahmoud Soltani *et al*., 2017) اما این رویکرد همیشه از دیدگاه اقتصادی مطلوب نبوده و ممکن است به مطالعات اصلاحی تکمیلی نیاز باشد. روش کاربرد و منابع روی بایستی به نحوی هدف‌گذاری شوند که بر بهبود فراهمی روی برای گیاه بیشترین تأثیر را داشته باشند. روی را می‌توان به خاک، بذر و برگ افزود (Johnson *et al*., 2005) و همچنین ریشه نشاهای برنج را در محلول حاوی کود روی غوطه‌ور نمود. (Graham *et al*., 1999).

متداول‌ترین روش افزودن کود روی از طریق کاربرد خاک است. روی را می‌توان از طریق پخش در همه زمین، قرار دادن در مجاورت دانه و یا از طریق آب آبیاری به خاک افزود. معمولاً در کشت برنج تحت شرایط غرقابی، روی را قبل از غرقاب و یا پس از نشا به خاک می‌دهند تا از کمبود روی جلوگیری و سبب افزایش عملکرد دانه شود (Doberman and fairhurst, 2000؛ Naik and Das, 2007). هم‌چنین گزینش منابع روی مناسب برای افزودن به خاک نیز می‌تواند یک استراتژی جایگزین برای بهبود در دسترس‌بودن روی برای گیاه در شرایط اراضی پست باشد. کودهای روی با حلالیت خوب مانند ای دی تی ای روی و سولفات روی در مقایسه با اکسید روی نامحلول و روی دانه‌ای (گرانوله) سبب انتقال روی بیشتر به ریشه گیاه برنج می‌شود. Gupta and Kalra (2006) نشان دادند که از نظر جذب روی توسط برنج، تأثیر روش کاربرد کود بر جذب به ترتیب عبارت‌اند از مخلوط با خاک> پخش در سطح خاک> پخش نواری. Khan et at. (2003) در یک آزمایش مزرعه‌ای در یک خاک آهکی-قلیایی برای بررسی افزایش عملکرد شلتوک توسط هر یک از روش‌های کاربرد کود نشان دادند که مصرف خاکی کود روی در مقایسه با فروبردن ریشه در محلول حاوی روی یا محلول‌پاشی عملکرد بهتری داشت. در آزمایش‌های مزرعه‌ای دو ساله در خاک نسبتاً قلیایی رسی شنی با روی کافی، Rehman *et al*.(2012) شاهد افزایش مقدار روی خاک و گیاه پس از مصرف سولفات روی در زمان پنجه‌زنی و یا شروع خوشه‌دهی بودند در حالی‌که کاربرد روی در زمان نشا و یا عدم مصرف کود روی در شرایط غرقابی، تناوب خشکی و رطوبت و شرایط کشت مستقیم هوازی هیچ‌گونه تاثیری نداشت. این افزایش ناشی از فراهمی بالای عنصر روی خاک، منجر به بهبود جذب روی گیاه و متحرک‌سازی دوباره بالا از برگ‌ها به سمت دانه در طول پرشدن دانه در سیستم‌های کاشت برنج شده است.

حتی اگر کاربردهای خاکی روی یک استراتژی امیدوارکننده برای بهبود غلظت روی در بافت‌های گیاهی و همچنین افزایش رشد گیاه و عملکرد بهتر دانه در برنج باشد (Khan *et al*., 2002)، این روش‌های مصرف در افزایش غلظت روی در دانه تأثیر کمتری داشته و همچنین ممکن است به دلیل هزینه‌های بالا برای استفاده از کودهای گران ولی موثرتر مانند کودهای روی کلاته از لحاظ اقتصادی مطلوب باشند. بنابراین بایستی روش‌های مکمل دیگری برای افزایش تجمع روی در محصولات زراعی در نظرگرفته شود.

روی زمانی که به صورت محلول‌پاشی برگی پاشیده شود، از طریق روزنه برگ جذب و سپس از طریق سیستم آوندی گیاه به بخش‌هایی که نیازمند روی هستند انتقال می‌یابد. تعدادی از منابع روی مانند سولفات روی، نیترات روی و ای دی تی ای روی به عنوان کود محلول‌پاشی مناسب برگی در تعدادی از محصولات زراعی معرفی شده است. محلول‌پاشی با سولفات روی در تصحیح کمبود روی و بهبود غلظت روی دانه مؤثر است (Stomph *et al*., 2011). به‌طورکلی، افزایش میزان روی دانه زمانی رخ می‌دهد که عنصر روی به‌صورت محلول‌پاشی در مراحل نهایی رشد گیاه استفاده می‌شود. Giang *et al*. (2007) انتقال روی به سمت دانه‌های برنج در محلول فاقد روی با استفاده از ارقام برنج هوازی و با دو روش آغشتن ریشه یا محلول‌پاشی مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج نشان داد تحت تامین روی کافی، ورود روی به دانه زمانی که ریشه به روی آغشته می‌شود کمتر از محلول‌پاشی است. به‌طور مشابه، انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه زمانی رخ می‌دهد

www.SID.ir

Archive of SID

که روی موجود در یک محلول غذایی در هنگام حاملگی و یا مرحله گرده‌افشانی برای ژنوتیپ‌های با روی دانه بالا و یا پایین استفاده شود (Wu *et al*., 2010). محلول‌پاشی روی (۰/۵درصد (حجم / وزن) سولفات روی) در شروع خوشه‌دهی در افزایش دو برابری میزان روی دانه مؤثر بود (Mahmoud Soltani *et al*., 2019). این افزایش در غلظت روی دانه به بهبود انتقال مجدد روی در برگ در طول پرشدن دانه نسبت داده شده است. محلول‌پاشی می‌تواند از مشکلات ناشی از جذب و تثبیت روی بر روی ذرات خاک جلوگیری کند اما زمان پاشش روی باید در زمان گل‌دهی انجام شود تا سبب افزایش غلظت روی دانه شود. همچنین توجه به این نکته نیز مهم است که روش‌های مختلف کوددهی برای افزایش تجمع روی در دانه برنج، مکمل راهبردهای اصلاحی برای غنی‌سازی زیستی دانه برنج با عنصر روی است.

برای مقابله با اثرات منفی گسترده کمبود روی بر عملکرد برنج و سلامتی بخش عمده مردمی که برای تغذیه به این محصول وابسته می‌باشند، اجرای پژوهشی بر مبنای بهبود کمی (افزایش عملکرد) و کیفی برنج (افزایش میزان روی و در نتیجه پروتئین در دانه) در اراضی شالیزاری بسیار ضروری و موثر خواهد بود. بنابراین آزمایش حاضر به منظور بررسی واکنش رقم هاشمی نسبت به کاربرد عنصر روی به‌صورت پایه و محلول‌پاشی انجام شد. اهداف این پژوهش عبارت‌اند از بررسی میزان و نحوه مصرف کود سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی، غنی‌کردن دانه برنج با عنصر روی یعنی افزایش غلظت آن در دانه برنج و تأمین تمام یا بخشی از نیاز روزانه هر فرد، بهبود شاخص های کیفی دانه برنج به ویژه پروتئین دانه و تغییرات میزان روی در اندام‌های گوناگون برنج در دو روش مصرف روی.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه کشاورز و در روستای پس‌ویشه شهرستان رشت و بر روی رقم بومی برنج (هاشمی) انجام شد. بعد از عملیات شخم، کرت‌هایی به ابعاد ۲۰ مترمربع با مرزبندی مشخص احداث شده و مرزها برای جلوگیری از تداخل تیمارهای کودی با پلاستیک پوشانیده شدند. از کرت‌های گزینش‌شده، نمونه‌های خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. نمونه‌های خاک در معرض هوا خشکانده شده و پس از عبور دادن از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل بافت خاک (سیلتی رسی)، pH عصاره اشباع (۶/۲۲)، محتوای کربن آلی (۲/۳۶ درصد)، فسفر (۱۹/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پتاسیم قابل جذب (۹۵ میلی‌گرم درکیلوگرم) و روی قابل دسترس (کمتر از ۰/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) اندازه‌گیری شدند. فسفر به مقدار ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپرفسفات‌تریپل (حاوی ۴۶ درصد P_2O_5) و پتاسیم نیز به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم (حاوی ۵۰ درصد K_2O) قبل از نشاکاری به کلیه کرت‌ها اضافه شد. کود نیتروژن به مقدار ۶۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره (حاوی ۴۶ درصد N) برای رقم هاشمی و در سه مرحله پیش از نشاکاری، در مرحله وجین‌کاری و در مرحله تشکیل جوانه اولیه خوشه به کرت‌ها افزوده شد. گیاهچه (نشا) های یک‌دست رقم هاشمی به فواصل ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه کاشته و کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه‌شده توسط مؤسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرت‌ها به صورت یکسان اعمال شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از کودپاشی پایه (کاربرد خاکی) کود سولفات روی در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم سولفات روی ۲۲ درصد در هکتار) و محلول‌پاشی ۰/۵ درصد سولفات روی ۲۲ درصد در چهار سطح (بدون محلول‌پاشی، در زمان حداکثر پنجه‌زنی، یک‌هفته قبل از گل‌دهی و شروع پرشدن دانه). در طول اجرای آزمایش صفات مورفولوژیک مانند تعداد کل پنجه بارور و غیربارور، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول و عرض برگ پرچم (سانتی‌متر)، طول پدانکل و پنتالتیمیت، طول خوشه (سانتی‌متر) و صفات عملکردی مانند تعداد کل خوشه بارور و غیربارور در بوته، تعداد دانه کل، پر و پوک در خوشه، طول و عرض دانه، وزن صد دانه با رطوبت ۱۳ درصد، عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه (بار طوبت ۱۴ درصد) اندازه‌گیری شدند. همچنین شاخص برداشت خوشه و شاخص برداشت کل نیز محاسبه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دانه شامل میزان آمیلوز به روش رنگ‌سنجی (Juliano, 1971)، دمای ژلاتینی‌شدن (Little, 1958)، میزان پروتئین بر مبنای محاسبه مقدار نیتروژن موجود در دانه و ضرب عدد نیتروژن به‌دست آمده در عدد ثابت ۵/۹۵ (Emami, 2006) و محتوای روی و فسفر در دانه و کاه و نیز در برنج سفید اندازه گیری شد. همچنین در مراحل مختلف رشد گیاه برنج مانند حداکثر پنجه‌زنی، گلدهی، پرشدن دانه و پس از برداشت، میزان روی (Amacher, 1996) و فسفر در اندام‌های مختلف مانند برگ، ساقه، خوشه و بخش‌های مختلف دانه (دانه کامل و برنج سفید) (Emami, 2006) اندازه‌گیری شدند. پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها ابتدا داده‌ها نرمال و پس از اطمینان از یکنواخت-بودن اشتباه آزمایشی به کمک آزمون بارتلت، تجزیه واریانس تیمارها انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. کلیه محاسبات آماری با

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از نرم افزارهای MSTAT-C و SAS صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر ارتفاع بوته معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود؛ در حالی‌که محلول‌پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول‌پاشی بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). بالاترین ارتفاع بوته مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد کاربرد خاکی سولفات روی نسبت به محلول‌پاشی این ماده تأثیر بیشتری بر ارتفاع بوته داشته و باعث افزایش این صفت شده است. به طوری که کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی باعث افزایش ارتفاع بوته به میزان ۷/۷۶ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی شد (جدول ۲). محققان اظهار داشتند که افزایش ارتفاع گیاه، در نتیجه افزایش تقسیم و طویل‌شدگی سلولی در اثر کاربرد روی می‌باشد. علاوه بر آن، روی یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سینتتاز می‌باشد و با توجه به اینکه اسید آمینه تریپتوفان به عنوان پیش‌ماده تولید اکسین عمل می‌کند، لذا با افزایش تولید اکسین، تشدید چیرگی رأسی و متعاقب آن افزایش رشد طولی ساقه و شاخساره‌ها دور از انتظار نخواهد بود (Teale *et al.*,2006).

طول خوشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر طول خوشه معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود. درحالی‌که محلول‌پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول‌پاشی بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). بالاترین طول خوشه مربوط به کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت؛ پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲). به نظرمی‌رسد کاربرد خاکی سولفات روی نسبت به محلول‌پاشی این ماده تأثیر مثبت بیشتری برطول خوشه داشته و باعث افزایش این صفت شده است (جدول ۲)؛ به‌طوری که کاربرد خاکی ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به ترتیب باعث افزایش طول خوشه به میزان ۱۴/۲۷ و ۱۲/۵ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی شد (جدول ۲). در مطالعات پیشین گزارش شده است که طول خوشه برنج با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار افزایش یافت (Rahman *et al.*, 2011). همچنین در پژوهشی دیگر نیز گزارش شده است که بالاترین طول خوشه (۲۳/۷۳ سانتی‌متر) با مصرف ۱۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار به دست آمد (Khan *et al.*, 2007).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	طول خوشه	طول برگ پرچم	عرض برگ پرچم	طول پدانکل	طول پنالتیمت	تعداد پنجه کل	تعداد پنجه بارور	تعدادخوشه در بوته
تکرار	۲	۱۷۶/۹**	۲/۷^{ns}	۱۰/۹^{ns}	۰/۰۴**	۰/۵^{ns}	۱۱/۸*	۵/۳^{ns}	۲/۶^{ns}	۵/۵^{ns}
کاربرد خاکی	۲	۲۴۵/۳**	۳۶/۹**	۸۳/۴**	۱/۱**	۷۹/۱**	۲۵/۲**	۷۴/۸**	۷۰/۷**	۶۹/۷**
محلول‌پاشی	۳	۳۷/۹^{ns}	۶/۳^{ns}	۲۲/۳^{ns}	۰/۱**	۷/۵^{ns}	۴/۹^{ns}	۱۸/۱^{ns}	۲۳/۱*	۵۸/۰**
کاربردخاکی*محلولپاشی	۶	۸/۷^{ns}	۲/۸^{ns}	۱۶/۲^{ns}	۰/۰۲*	۲/۷^{ns}	۳/۰^{ns}	۸/۳^{ns}	۳/۳^{ns}	۴/۴^{ns}
خطا	۲۲	۲۱/۴	۴/۱	۱۲/۲	۰/۰۱	۵/۴	۲/۹	۹/۹	۶/۴	۳/۴
ضریب تغییرات (٪)		۳/۹	۸/۳	۱۳/۰	۶/۸	۶/۷	۷/۰	۱۶/۰	۱۵/۳	۱۲/۱

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده	شاخص برداشت	میزان آمیلوز	درجه حرارت ژلاتینی‌شدن
تکرار	۲	۱۲۵/۳**	۵/۹*	۱۷۵۲۱۱/۱^{ns}	۹۴۱۱/۱^{ns}	۲۷/۵^{ns}	۱۶/۲۸^{ns}	۰/۰۴^{ns}
کاربرد خاکی	۲	۵۵۵/۶**	۳۲/۵**	۹۰۹۸۵۲/۸*	۷۰۲۸۶/۱**	۱۳۹/۰*	۹/۴۶^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
محلول‌پاشی	۳	۴۱۸/۲**	۴/۸*	۷۹۳۶۷۰/۴*	۱۱۲۰۹۱/۷**	۱۰۸/۶^{ns}	۹/۸^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}
کاربرد خاکی*محلولپاشی	۶	۲۵/۷^{ns}	۲/۸^{ns}	۱۸۳۹۴۵/۴^{ns}	۷۰۰۸/۳^{ns}	۳۱/۳^{ns}	۹/۶۷^{ns}	۰/۱۲^{ns}
خطا	۲۲	۲۰/۱	۱/۱	۲۰۷۴۳۵/۴	۱۱۷۲۶/۳	۳۷/۹		
ضریب تغییرات (٪)		۷/۷	۴/۷	۱۲/۵	۱/۵	۱۱/۹	۱/۱	۱/۰۱

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقایسات میانگین اثر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر صفات برنج

تیمارهای آزمایشی	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول خوشه (سانتی‌متر)	طول برگ پرچم (سانتی‌متر)	عرض برگ پرچم (سانتی متر)	طول پدانکل (سانتی‌متر)	طول پنالتیمت (سانتی‌متر)	تعداد پنجه کل	تعداد پنجه بارور	تعداد خوشه در بوته
کاربرد خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)									
بدون کود خاکی	۱۱۶/۲b	۲۲/۶b	۲۳/۹b	۰/۸c	۳۲/۲c	۲۲/۴b	۱۷/۲b	۱۳/۸b	۱۳/۰c
۱۰ کیلوگرم در هکتار	۱۲۰/۱b	۲۵/۸a	۲۸/۷a	۱/۲b	۳۷/۳a	۲۴/۹a	۱۹/۹a	۱۷/۳a	۱۴/۷b
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۱۲۵/۲a	۲۵/۴a	۲۸/۳a	۱/۴a	۳۴/۹b	۲۴/۹a	۲۲/۱a	۱۸/۵a	۱۷/۸a
مراحل محلول‌پاشی									
بدون محلول‌پاشی	۱۱۷/۸a	۲۳/۵a	۲۵/۵b	۰/۹c	۳۴/۷a	۲۳/۳a	۱۸/۲a	۱۴/۵b	۱۲/۱c
پنجه زنی	۱۱۹/۹a	۲۴/۸a	۲۶/۵ab	۱/۱b	۳۵/۹a	۲۳/۷a	۱۸/۹a	۱۶/۱ab	۱۴/۲b
خوشه‌دهی	۱۲۲/۲a	۲۵/۵a	۲۶/۹ab	۱/۱ab	۳۳/۷a	۲۴/۳a	۲۰/۹a	۱۷/۸a	۱۶/۶a
رسیدگی	۱۲۲/۱a	۲۴/۶a	۲۹/۲a	۱/۲a	۳۴/۹a	۲۴/۹a	۲۱/۱a	۱۷/۹a	۱۷/۸a

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

ادامه جدول ۲- مقایسات میانگین اثر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر صفات برنج

تیمارهای آزمایشی	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	میزان آمیلوز	درجه حرارت ژلاتینی‌شدن
کاربرد خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)							
بدون کود خاکی	۵۱/۹c	۲۰/۷c	۳۳۴۱/۷b	۶۹۵۴/۲b	۴۷/۹b	۱۹/۴۷a	۴/۳۲a
۱۰ کیلوگرم در هکتار	۵۸/۳b	۲۲/۸b	۳۸۰۹/۲a	۷۰۶۳/۳a	۵۳/۹a	۲۰/۹a	۴/۳۹ a
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۶۵/۵a	۲۳/۹a	۳۸۲۷/۵a	۷۱۰۱/۷a	۵۳/۸a	۲۱/۱a	۴/۳۱ a
مراحل محلول‌پاشی							
بدون محلول‌پاشی	۴۸/۹c	۲۱/۷c	۳۲۳۵/۶b	۶۸۸۳/۳b	۴۶/۹b	۲۰/۹a	۴/۴a
پنجه‌زنی	۵۸/۵b	۲۲/۰bc	۳۶۷۳/۳ab	۷۰۳۵/۶a	۵۲/۲ab	۲۱/۰a	۴/۳a
خوشه‌دهی	۶۳/۰a	۲۳/۲a	۳۸۴۶/۷a	۷۱۲۰/۰a	۵۳/۹a	۲۱/۰a	۴/۳a
رسیدگی	۶۳/۸a	۲۲/۹ab	۳۸۸۲/۲a	۷۱۲۰/۰a	۵۴/۵a	۲۱/۲a	۴/۳a

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

طول و عرض برگ پرچم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر طول برگ پرچم معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود. در حالی‌که محلول‌پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول‌پاشی بر این صفت اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). اختلاف معنی‌داری از نظر طول برگ پرچم بین دو سطح کاربرد خاکی سولفات روی مشاهده نشد و پایین‌ترین مقدار این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس صفت عرض برگ پرچم نیز نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی ($p\leq0.01$)، محلول‌پاشی سولفات روی ($p\leq0.01$) و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول‌پاشی ($p\leq0.05$) بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول‌پاشی نشان داد که بالاترین عرض برگ پرچم مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در هر سه مرحله پنجه‌دهی، رسیدگی و خوشه‌دهی و پایین‌ترین عرض برگ پرچم مربوط به تیمارهای بدون کود خاکی سولفات روی بود و محلول‌پاشی سولفات روی نتوانست باعث گسترش عرض برگ پرچم شود. بر اساس نتایج، کاربرد خاکی کود سولفات روی عامل مهمی در توسعه و گسترش عرض برگ پرچم بوده و محلول‌پاشی همراه با وجود مقادیر مناسب روی در خاک، می‌تواند اثر افزایشی را نشان دهد.

طول پدانکل و پنالتیمت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر طول پدانکل ($p\leq0.01$) و طول پنالتیمت ($p\leq0.01$) معنی‌دار بود. در حالی‌که محلول‌پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول‌پاشی بر این صفات تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). بالاترین طول پدانکل مربوط به کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین طول پدانکل مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲). همچنین، بالاترین طول پنالتیمت مربوط به کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی‌داری نداشت و پایین‌ترین طول

www.SID.ir

Archive of SID

پنالتیمت مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲).

تعداد پنجه کل و تعداد پنجه بارور

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد خاکی سولفات روی بر تعداد پنجه کل ($p\leq0.01$) معنی‌دار بود در حالی‌که محلول‌پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول‌پاشی بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). بالاترین تعداد پنجه کل مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی‌داری نداشت و پایین‌ترین تعداد پنجه کل مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد پنجه بارور نیز نشان داد که کاربرد خاکی ($p\leq0.01$) و محلول‌پاشی سولفات روی ($p\leq0.05$) بر این صفت معنی‌دار بودند (جدول ۱). بالاترین تعداد پنجه بارور مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی‌داری نداشت. پایین‌ترین تعداد پنجه بارور مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). نکته قابل توجه در این بود که با افزایش مقدار سولفات روی به کار رفته در خاک، از تعداد پنجه‌های پوک یا غیربارور کاسته شد؛ به نحوی که به ترتیب تعداد پنجه پوک با کاربرد صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم سولفات روی از ۱۹/۳ درصد به ۱۳/۲ و ۴ درصد تنزل پیدا کرد. به عبارت دیگر کاربرد خاکی سولفات روی ضمن افزایش تعداد پنجه در گیاه، موجب افزایش تعداد پنجه‌های بارور نیز شد. بالاترین تعداد پنجه بارور نیز با محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی و رسیدگی حاصل شد که با محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین مقدار پنجه بارور نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

اولین جزء عملکرد که به وسیله عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود، تعداد خوشه یا پنجه‌های بارور هر گیاه است. عملکرد دانه غلات تا حد زیادی به پنجه‌های بارور در هر گیاه بستگی دارد ظرفیت پنجه‌زنی یکی از مهم‌ترین اجزاء عملکرد برای افزایش عملکرد در دانه به شمار می‌آید (Khan, 2007). لازمه دستیابی به عملکرد بالا در برنج نیز وجود تعداد کافی پنجه بارور در واحد سطح است چون تعداد خوشه‌ها مهم‌ترین عاملی است که عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش تعداد پنجه بارور در واحد سطح، عامل افزایش عملکرد برنج می‌باشد، چرا که با افزایش تعداد پنجه در واحد سطح (تعداد بالقوه خوشه)، میزان مواد غذایی که به هر خوشه اختصاص می‌یابد، کم‌تر خواهد شد که این عامل موجب کاهش عملکرد دانه خواهد شد. نتایج دیگر مطالعات نشان داد که تعداد پنجه در برنج با افزایش عنصر روی در خاک بیشتر شد. همچنین کاربرد روی به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار به شکل سولفات روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در کپه برنج شد (Mahmoud Soltani *et al*., 2016, 2017). عنصر روی با تأثیر بر فرآیندهای شیمیایی مانند سنتز نوکلئوتید، متابولیسم اکسین و فعالیت آنزیم‌ها نقش مؤثری بر تولید پنجه در گیاهان دارد. گزارش شده است که با افزایش میزان روی در خاک، تعداد پنجه بارور در برنج افزایش یافت (Doberman and Fairhurst, 2000).

تعداد خوشه در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد خوشه در بوته نشان داد که کاربرد خاکی ($p\leq0.01$) و محلول‌پاشی سولفات روی ($p\leq0.01$) بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین تعداد خوشه در بوته مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین تعداد خوشه در بوته مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تعداد خوشه در بوته را به میزان ۳۶/۷ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، بالاترین تعداد خوشه در بوته با محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی و رسیدگی حاصل شد. به‌طوری‌که محلول‌پاشی در مراحل رسیدگی و خوشه‌دهی تعداد خوشه در بوته را به ترتیب به میزان ۴۷ و ۳۷/۶ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۲).

تعداد خوشه در واحد سطح یا اندازه مخزن، اولین عامل محدودکننده عملکرد در غلات است. اگر اندازه مخزن افزایش یابد، باید پر شدن دانه نیز بهبود یابد. افزایش طول دوره پر شدن دانه و بهینه‌سازی صفات مورفولوژیکی خوشه باعث افزایش درصد دانه‌های پر می‌شود. برای این منظور باید کارایی انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده، بهبود یابد (Peng, 2000). نتایج دگیر تحقیقات نشان داد که مصرف روی، تعداد روز تا رسیدگی و عقیمی خوشچه‌ها و تعداد خوشچه پوک در هر خوشه را در برنج کاهش داد (Yakan *et al*., 2000). همچنین، مصرف ۱۵-۱۰ کیلوگرم کود سولفات روی به‌طور معنی‌داری درصد پربودن خوشچه‌ها را افزایش داد (Khan, 2007). مصرف روی به دلیل افزایش قابلیت دسترسی یا جذب سایر عناصر غذایی باعث بهبود فعالیت‌های متابولیکی میشود که در نهایت درصد پربودن خوشچه‌ها را افزایش می‌دهد (Mehdi *et al*., 2007).

تعداد دانه در خوشه

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد دانه در خوشه نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی ($p\leq0.01$) و محلول‌پاشی سولفات روی ($p\leq0.01$) بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین تعداد

www.SID.ir

Archive of SID

دانه در خوشه مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین تعداد دانه در خوشه مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تعداد دانه در خوشه را به میزان ۲۶/۱۹ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، بالاترین تعداد دانه در خوشه با محلول‌پاشی در مرحله رسیدگی حاصل شد که با محلول‌پاشی مرحله خوشه‌دهی تفاوت معنی‌داری نداشت. به‌طوری‌که محلول‌پاشی در مراحل رسیدگی و خوشه‌دهی تعداد دانه در خوشه را به ترتیب به میزان ۳۰/۲۷ و ۲۸/۶۸ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۲).

درصد دانه‌های پرشده به عوامل محیطی، شرایط تغذیه‌ای و فتوسنتز گیاه پس از گلدهی بستگی دارد زیرا قسمت عمده کربوهیدرات‌ها در دانه از مواد فتوسنتزی تولیدشده پس از گرده‌افشانی، تأمین می‌شود. درصد خوشچه‌های پرشده نقش مهمی در افزایش عملکرد برنج خواهد داشت. همچنین ظرفیت مخزن نقش مهمی در تخصیص ماده خشک اندام‌های هوایی به خوشه‌ها دارد. نتایج مطالعات نشان داده که وزن خشک خوشه در انتهای مرحله خوشه‌دهی رابطه نزدیکی با عملکرد دارد؛ به نحوی که وزن خشک خوشه بالاتر در زمان خوشه‌دهی (ظرفیت مخزن بالاتر) باعث افزایش وزن خشک خوشه در زمان برداشت می‌شود و درصد پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد (Yoshida and Benta, 1983). در پژوهشی مشخص شد که مصرف ۵ کیلوگرم روی در هکتار، باعث افزایش تعداد دانه در خوشه و افزایش وزن هزار دانه در برنج شد (Rahman *et al*., 2011).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن هزار دانه نشان داد که کاربرد خاکی ($p\leq0.01$) و محلول‌پاشی سولفات روی ($p\leq0.05$) بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین وزن هزار دانه مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی وزن هزار دانه را به میزان ۱۵/۷ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، بالاترین وزن هزار دانه با محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی حاصل شد که با محلول‌پاشی مرحله رسیدگی تفاوت معنی‌داری نداشت؛ به‌طوری‌که محلول‌پاشی در مراحل خوشه‌دهی و رسیدگی وزن هزار دانه را به ترتیب به میزان ۷/۲ و ۵/۶ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۲).

در برنج، اغلب وزن هزار دانه ثابت است و از پایدارترین ویژگی‌های رقم به شمار می‌رود زیرا رشد دانه در این گیاه با پوست آن محدود می‌شود. وزن هزار دانه به همراه چند جزء دیگر نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه ارقام جدید که دارای قابلیت تولید بالایی هستند، دارند. با این وجود به نظر می‌رسد کاربرد سولفات روی تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه داشته و باعث افزایش در این صفت شده است (جدول ۲). دیگران نیز گزارش کردند با افزایش مقدار کود سولفات روی مصرف‌شده، وزن هزار دانه برنج نیز بیشتر شد (Rahman *et al*., 2011). به نظر می‌رسد که افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف روی به دلیل افزایش مواد ذخیره‌شده و کاهش محدودیت منبع می‌باشد که موجب سرازیرشدن مواد پرورده به سمت دانه می‌شود. سایر محققین نیز اثر مثبت کاربرد عنصر روی را بر افزایش وزن هزار دانه گزارش کردند که این افزایش به احتمال زیاد مربوط به تأثیر عنصر روی بر هورمون ایندول استیک اسید می‌باشد. هم‌چنین، محققان مهم‌ترین دلیل افزایش وزن هزاردانه را افزایش و بهبود فرآیند انتقال مجدد مواد غذایی و افزایش انتقال اولیه به وسیله تحریک هورمون‌ها و افزایش انتقال در آوند آبکش دانستند و گزارش نمودند که تأثیر سولفات روی بر افزایش کارایی آوند آبکش در انتقال مواد غذایی به دانه و پر شدن آن از مهم‌ترین عوامل تأثیر سولفات روی بر افزایش وزن هزار دانه است (Jiang *et al*., 2007).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت عملکرد دانه نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی و محلول‌پاشی سولفات روی بر این صفت معنی‌دار بود ($p\leq0.05$) (جدول ۱). بالاترین عملکرد دانه در تیمارهای کاربرد سولفات روی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربردخاکی ۲۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ۱۴/۵ و ۱۳/۹ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، محلول‌پاشی در هر سه مرحله فنولوژیک باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲). گزارشات متعددی مبنی بر افزایش عملکرد برنج در اثر مصرف کود روی به صورت مصرف خاکی سولفات روی (Mahmoud Soltani *et al*.,2016 and 2017)() و محلول‌پاشی سولفات‌روی وجود دارد ((Mahmoud Soltani *et al*., 2019). پژوهشگران دیگری نیز گزارش کردند که مصرف سولفات روی، ارتفاع گیاه، طول خوشه، پرشدن خوشچه، وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه را افزایش داد (Zou *et al*., 2008). از دلایل افزایش عملکرد برنج به دنبال کاربرد سولفات روی، افزایش غلظت نیتروژن(Malakooti and Tehrani, 1999)، افزایش میزان کلروفیل

www.SID.ir

Archive of SID

و فعالیت فتوسنتزی گیاه بوده که سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش شاخه، برگ و عملکرد گیاه می‌شود (Teale *et al*.,2006).

عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیه واریانس صفت عملکرد زیست‌توده نشان داد که کاربرد خاکی ($p\leq0.01$) و محلول‌پاشی سولفات روی ($p\leq0.01$) بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین عملکرد زیست‌توده مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی‌داری نداشت و پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی عملکرد زیست‌توده را به ترتیب به میزان ۲/۱۲ و ۱/۵۷ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، بالاترین عملکرد زیست‌توده با محلول‌پاشی در مراحل رسیدگی و خوشه‌دهی حاصل شد که با محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی تفاوت معنی‌داری نداشت و پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۲).

افزایش عملکرد ماده خشک با مصرف عنصر ریزمغذی روی به عوامل مختلفی از جمله افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش آنزیم کربونیک انهیدراز که در همه بافت‌های فتوسنتزی حضور دارد و برای بیوسنتز کلروفیل مورد نیاز است، بهبود عملکرد فتوسیستم‌های نوری، افزایش فعالیت فسفواینول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی، مرتبط است. تمامی عوامل مذکور در افزایش شاخص‌های رشد از قبیل تعداد و اندازه برگ، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی مؤثر می‌باشد و از این طریق، عملکرد ماده خشک افزایش می‌یابد (Koochaki, 2012). Mahmoud Soltani *et al*. (2016, 2017 and 2019) نشان دادند که مصرف روی در هر میزان در مقایسه با شاهد سبب افزایش عملکرد زیست توده در برنج بین ۱۰ تا ۱۸ درصد می شود.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر شاخص برداشت تأثیر معنی‌داری ($p\leq0.05$) داشت (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بالاترین شاخص برداشت در دو تیمار کاربرد خاکی سولفات روی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). کاربرد خاکی ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی شاخص برداشت را به ترتیب به میزان ۱۲/۴۱ و ۱۲/۱۸ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). شاخص‌برداشت بالا لازمه عملکرد بالا است ولی شرط کافی‌رسیدن به عملکرد مطلوب نیست. عوامل کلیدی تعیین‌کننده شاخص برداشت، وزن خشک در زمان خوشه‌دهی و سرعت رشد محصول در مرحله خوشه‌دهی می‌باشد. معمولاً وزن خشک در مرحله خوشه‌دهی و سرعت رشد محصول در مرحله خوشه‌دهی با هم رابطه عکس دارند. در مطالعات دیگری به اثرات مثبت مصرف کود سولفات روی بر شاخص برداشت برنج اشاره شده است (Dobermann and Fairhurst, 2000; Slaton *et al*., 2001; Cakmak, 2008).

محتوای روی در اندام‌های گیاهی و دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر محتوای روی برگ در مرحله پنجه‌زنی، محتوای روی ساقه و ریشه در مرحله خوشه‌دهی، محتوای روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه در مرحله رسیدگی و نیز محتوای روی آرد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین محلول‌پاشی سولفات روی بر محتوای روی برگ و ساقه مرحله در خوشه‌دهی، محتوای روی برگ، ریشه و خوشه در مرحله رسیدگی و محتوای روی آرد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول‌پاشی بر محتوای روی برگ در مرحله خوشه‌دهی، محتوای روی برگ، ساقه و خوشه در مرحله رسیدگی و محتوای روی آرد معنی‌دار بود (جدول ۳). در مرحله پنجه‌زنی، کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی برگ، ساقه و ریشه را نشان داد (جدول ۴). در مرحله خوشه‌دهی، کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی برگ، کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی ساقه و کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی ریشه را داشتند (جدول ۴). همچنین، با محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی، بالاترین محتوای روی برگ، ساقه و ریشه حاصل شد (جدول ۴). در مرحله رسیدگی، کاربردخاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بالاترین محتوای روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه را نشان دادند (جدول ۴). هم‌چنین، محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی باعث بالاترین محتوای روی برگ و ساقه، محلول‌پاشی مرحله خوشه‌دهی باعث بالاترین محتوای روی ریشه و محلول‌پاشی مرحله رسیدگی باعث بالاترین محتوای روی خوشه شد (جدول ۴). بالاترین محتوای روی آرد دانه با کاربرد خاکی سولفات روی حاصل شد که اختلاف معنی‌داری بین دو مقدار به کار رفته وجود نداشت (جدول ۴). همچنین، در بین تیمارهای محلول‌پاشی، تنها تیمار محلول‌پاشی در مرحله رسیدگی باعث افزایش میزان روی دانه شد و بقیه تیمارهای محلول‌پاشی با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۴). مقایسات میانگین اثر متقابل کاربرد خاکی و

www.SID.ir

Archive of SID

محلول‌پاشی سولفات روی نیز نشان داد که کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی بالاترین محتوای روی برگ (خوشه‌دهی)، کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی بالاترین محتوای روی برگ (رسیدگی)، کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی بالاترین محتوای روی ساقه (رسیدگی)، کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی مرحله خوشه‌دهی بالاترین محتوای روی خوشه (رسیدگی) و کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی بالاترین محتوای روی آرد را داشتند (جدول ۵).

با مصرف سولفات روی، غلظت روی دانه و میزان روی جذب‌شده دانه افزایش یافت. محققان اعلام نمودند با افزایش کاربرد روی، غلظت روی در ریشه، ساقه و برگ ذرت افزایش یافت. به‌طوری‌که مقدار آن در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه بود (Mahmoud Soltani *et al*., 2017). در مطالعه حاضر، با افزایش غلظت سولفات روی، مقدار عنصر روی در گیاه نیز افزایش یافت. به عبارت دیگر، بین میزان فراهمی روی در خاک و غلظت روی جذب‌شده، رابطه مستقیمی مشاهده شد. افزایش غلظت روی در دانه برنج در اثر مصرف کود روی، نشان‌دهنده توانایی روی در قابلیت دسترسی به این عنصر در خاک است که ممکن است به واسطه بهبود فعالیت آنزیمی و فرآیندهای متابولیکی گیاه باشد که در نهایت منجر به افزایش جذب روی می‌شود (Khan, 2002). در مطالعه‌ای مشخص شد که مصرف ۱۳/۵ کیلوگرم روی در هکتار موجب افزایش غلظت روی در دانه برنج شد. با افزایش جذب روی توسط گیاهان، روی در همه اندام‌های گیاه تجمع پیدا کرد که در اندام‌های رویشی به خصوص در ساقه و غلاف برگ (۴۰۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از اندام‌های زایشی (در دانه ۵۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (Jiang *et al*., 2007).

همچنین گزارش شده است که میزان غلظت روی در تیمار شاهد برابر ۶۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و با کاربرد سولفات روی به میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار، به ترتیب برابر ۶۴/۳ و ۶۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت (Nathan *et al*., 2005). Stomph *et al*. (2011) نشان دادند که محلول‌پاشی سولفات روی در جبران کمبود عنصر روی و افزایش غلظت روی دانه برنج مؤثر بوده است. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که مصرف خاکی سولفات روی در زمان پنجه‌زنی یا آغاز خوشه‌دهی باعث افزایش مقدار روی در خاک، موجب افزایش این عنصر در گیاه و دانه شد. به‌طوری‌که افزایش غلظت روی در بافت‌های سبز گیاه باعث افزایش ۲/۵ برابری محتوای روی دانه نسبت به تیمار شاهد شده بود و این افزایش با بالا رفتن میزان روی قابل جذب خاک، بهبود جذب روی توسط گیاه و افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در دوره پرشدن دانه همراه بود (Rehman, 2014; Mahmoud Soltani *et al*., 2017, 2018).

افزایش محتوای روی دانه در اثر محلول‌پاشی ترکیبات روی ناشی از افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها در طول دوره پر شدن دانه بوده است. به علاوه بیشتربودن محتوای روی دانه در تیمارهای سولفات روی می‌تواند به بالاتر بودن غلظت محلول سولفات روی مرتبط باشد. به اعتقاد پژوهشگران، محلول‌پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Rehman *et al*., 2012). همچنین مطالعات نشان داده است که محلول‌پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحله گرده افشانی برنج سبب انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ‌های با میزان روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ‌های با مقدار روی دانه پایین شد (Wu *et al*., 2010). افزایش محتوای روی دانه برنج در اثر محلول‌پاشی کود روی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Jiang *et al*., 2007; Stomph *et al*., 2011).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		محتوای روی برگ (مرحله پنجه‌زنی)	محتوای روی ساقه (مرحله پنجه‌زنی)	محتوای روی ریشه (مرحله پنجه‌زنی)	محتوای روی برگ (مرحله خوشه‌دهی)	محتوای روی ساقه (مرحله خوشه‌دهی)	محتوای روی ریشه (مرحله خوشه‌دهی)
تکرار	۲	۷۶/۸۱**	۱۷/۳۵^{ns}	۱۷۵/۶۰^{ns}	۵۵/۷۵^{ns}	۲۲/۶۴**	۱۱۰۱/۱۳^{ns}
کاربرد خاکی	۲	۴۳/۶۰*	۹/۳۴^{ns}	۹۸۰/۶۲^{ns}	۱۶۶/۶۷^{ns}	۱۴/۷۰*	۴۲۳۹/۰۹**
محلول‌پاشی	۳	۰/۹۹^{ns}	۲۵/۷۹^{ns}	۵۰۸/۸۸^{ns}	۱۱۷۴/۶۲**	۳۲/۳۸**	۸۴۲/۷۸^{ns}
کاربرد خاکی*محلول‌پاشی	۶	۱۹/۰۵^{ns}	۱۶/۵۲^{ns}	۳۱۵/۶۹^{ns}	۳۹۲/۱۹**	۸/۵۶^{ns}	۸۵۵/۹۶^{ns}
خطا	۲۲	۱۰/۱۶	۲۶/۱۳	۳۶۴/۶۷	۴۸/۶۶	۳/۸۵	۴۹۶/۰۶
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۷۴	۲۱/۷۹	۳۷/۱۵	۱۹/۰۰	۷/۴۰	۲۹/۸۳

ns، * و ** نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		محتوای روی برگ (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ساقه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ریشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی خوشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی آرد	محتوای پروتئین آرد
تکرار	۲	۷۰۴/۶۰^{ns}	۱۸/۲۱^{ns}	۱۵۹/۱۱^{ns}	۹۸/۳۹^{ns}	۵/۷۵^{ns}	۰/۱۲^{ns}
کاربرد خاکی	۲	۴۴۵۹۹/۹۲**	۶۵/۳۴**	۴۵۱۷/۷۹**	۲۴۸۲۲/۳۳**	۱۰۳۸/۰۱**	۰/۸۸**
محلول‌پاشی	۳	۴۴۹۱۵/۷۱**	۲۶/۴۶^{ns}	۲۶۷۷/۵۱**	۲۵۰۰۴/۱۱**	۱۰۱/۷۴**	۰/۴۲**
کاربرد خاکی*محلول‌پاشی	۶	۲۱۶۶۳/۸۲**	۲۹/۵۰*	۳۷۲/۰۹^{ns}	۹۲۶۹/۵۴**	۱۳۴/۶۹**	۰/۲۴*
خطا	۲۲	۲۱۵۷/۰۷	۱۰/۲۷	۲۵۵/۳۹	۱۹۸۱/۷۱	۲/۸۸	۰/۰۸
ضریب تغییرات (٪)		۳۱/۰۳	۳۸/۶۸	۳۲/۴۰	۳۷/۹۲	۸/۰۴	۷/۱۰

ns ، * و ** نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر محتوی روی اندام‌های مختلف برنج

تیمارهای آزمایشی	محتوای‌روی‌برگ (مرحله پنجه‌زنی)	محتوای‌روی‌ساقه (مرحله پنجه‌زنی)	محتوای روی ریشه (مرحله پنجه‌زنی)	محتوای‌روی‌برگ (مرحله‌خوشه‌دهی)	محتوای روی ساقه (مرحله‌خوشه‌دهی)	محتوای روی ریشه (مرحله خوشه‌دهی)
	میلی گرم در کیلوگرم					
	کاربرد خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)					
بدون کود خاکی	۲۳/۶۸b	۲۲/۵۱a	۴۲/۴۸b	۳۳/۳۸b	۲۵/۲۳b	۵۳/۶۳b
۱۰ کیلوگرم در هکتار	۲۴/۱۶b	۲۳/۶۳a	۵۱/۱۷ab	۴۰/۷۴a	۲۷/۱۶a	۸۰/۴۸a
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۲۷/۱۹a	۲۴/۲۵a	۶۰/۵۶a	۳۶/۰۳ab	۲۷/۱۴a	۸۹/۸۴a
	مراحل محلول‌پاشی					
بدون محلول‌پاشی	۲۵/۲۲a	۲۲/۹۲a	۵۵/۸۳a	۲۸/۷۶b	۲۵/۴۱b	۷۱/۵۲a
پنجه زنی	۲۵/۰۷a	۲۲/۷۸a	۵۹/۳۶a	۵۳/۴۹a	۲۹/۲۲a	۸۷/۹۴a
خوشه‌دهی	۲۵/۲۲a	۲۵/۹۶a	۴۷/۴۶a	۳۴/۳۳b	۲۶/۳۹b	۶۴/۹۴a
مرحله رسیدگی	۲۴/۵۲a	۲۲/۱۹a	۴۲/۹۷a	۳۰/۳۰b	۲۵/۰۲b	۷۴/۲۰a

حروف مشابه در یک ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر محتوی روی اندام‌های مختلف برنج

تیمارهای آزمایشی	محتوای‌روی برگ (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ساقه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ریشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی خوشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی آرد	محتوای پروتئین آرد (٪)
	میلی گرم در کیلوگرم					
	کاربرد خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)					
بدون کود خاکی	۸۰/۰۷b	۵/۵۹b	۲۷/۲۳b	۶۵/۰۲b	۱۰/۳۸b	۹/۴۶b
۱۰ کیلوگرم در هکتار	۱۷۵/۲۷a	۹/۶۳a	۵۷/۱۸a	۱۴۰/۴۳a	۲۶/۷۲a	۹/۸۱b
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۱۹۳/۶۴a	۹/۶۴a	۶۳/۵۸a	۱۴۶/۷۸a	۲۶/۲۶a	۱۰/۳۵a
	مراحل محلول‌پاشی					
بدون محلول‌پاشی	۷۰/۳۳b	۷/۸۳ab	۲۶/۴۳c	۳۸/۴۹b	۱۹/۰۰b	۹/۵b
پنجه زنی	۲۱۰/۱۳a	۹/۷۷a	۴۹/۲۳b	۱۴۳/۱۹a	۲۰/۲۰b	۱۰/۶۰ a
خوشه‌دهی	۲۰۸/۳۰a	۹/۴۹a	۶۸/۰۳a	۱۴۰/۰۷a	۱۹/۱۸b	۱۰/۶۲ a
رسیدگی	۱۰۹/۸۷b	۶/۰۶b	۵۳/۶۲ab	۱۴۷/۸۸a	۲۶/۱۰a	۱۰/۱۲ a

حروف مشابه در یک ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

تیمارها		محتوای روی برگ (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی ساقه (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی ریشه (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی برگ (مرحله خوشه‌دهی)	محتوای روی ساقه (مرحله خوشه‌دهی)	محتوای روی ریشه (مرحله خوشه‌دهی)
		میلی گرم درکیلوگرم					
z0	f0	۲۱/۷۷b	۲۴/۱۰a	۴۰/۸۳ab	۲۶/۷۷c	۲۴/۹۳b	۴۷/۴۳c
z0	f1	۲۳/۸۳ab	۲۰/۰۳a	۵۱/۶۳ab	۳۶/۴۷bc	۲۵/۱۰b	۵۶/۸۳bc
z0	f2	۲۴/۷۳ab	۲۶/۳۰a	۳۸/۱۰b	۳۸/۰۳bc	۲۶/۰۳b	۴۷/۲۷c
z0	f3	۲۴/۳۷ab	۱۹/۶۰a	۳۹/۳۷b	۳۲/۲۷c	۲۴/۸۷b	۶۳/۰۰bc
z1	f0	۲۶/۷۳ab	۲۲/۷۷a	۶۹/۹۳ab	۲۷/۴۰c	۲۵/۷۰b	۶۸/۴۷bc
z1	f1	۲۱/۶۰b	۲۲/۶۰a	۴۸/۳۷ab	۷۶/۳۳a	۳۱/۸۰a	۸۷/۰۳abc
z1	f2	۲۶/۱۷ab	۲۷/۳۳a	۴۲/۷۳ab	۳۱/۰۷c	۲۶/۲۰b	۷۰/۲۷bc
z1	f3	۲۲/۱۳b	۲۱/۸۰a	۴۳/۶۳ab	۲۸/۱۷c	۲۴/۹۳b	۹۶/۱۷ab
z2	f0	۲۷/۱۷ab	۲۱/۹۰a	۵۶/۷۳ab	۳۲/۱۰c	۲۵/۶۰b	۹۸/۶۷ab
z2	f1	۲۹/۷۷a	۲۵/۷۰a	۷۸/۰۷a	۴۷/۶۷b	۳۰/۷۷a	۱۱۹/۹۷a
z2	f2	۲۴/۷۷ab	۲۴/۲۳a	۶۱/۵۳ab	۳۳/۹۰c	۲۶/۹۳b	۷۷/۳۰bc
z2	f3	۲۷/۰۷ab	۲۵/۱۷a	۴۵/۹۰ab	۳۰/۴۷c	۲۵/۲۷b	۶۳/۴۳bc

حروف مشابه در یک ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

z0: بدون کود خاکی، z1: کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، z2: کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، f0: بدون محلول‌پاشی، f1: محلول‌پاشی در مرحله پنجه زنی، f2: محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی، f3: محلول‌پاشی در مرحله رسیدگی.

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

تیمارها		محتوای روی برگ (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ساقه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ریشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی خوشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی آرد	محتوای پروتئین آرد (٪)
		میلی گرم در کیلوگرم					
z0	f0	۴۷/۴۳c	۳۴/۲۷d	۶/۹۰cd	۴۰/۸۰c	۴/۸۰b	۹/۴۶c
z0	f1	۵۶/۸۳bc	۵۷/۴۳cd	۱/۸۷d	۵۰/۳۳c	۵/۵۳b	۱۰/۶۰ b
z0	f2	۴۷/۲۷c	۸۵/۰۷bcd	۷/۶۳bcd	۲۷/۶۳c	۴/۲۷b	۱۰/۶۲ b
z0	f3	۶۳/۰۰bc	۱۴۳/۵۰bc	۵/۹۷cd	۱۴۱/۳۰ab	۲۶/۹۳a	۱۰/۱۲ b
z1	f0	۶۸/۴۷bc	۲۷/۶۰d	۷/۷۷bcd	۳۵/۰۰c	۲۵/۸۰a	۹/۸۱c
z1	f1	۸۷/۰۳abc	۲۶۲/۹۰a	۱۴/۱۷a	۱۷۲/۶۰ab	۲۸/۰۳a	۱۲/۵۳ a
z1	f2	۷۰/۲۷bc	۳۰۸/۶۷a	۹/۸۳abc	۲۲۴/۵۳a	۲۶/۶۳a	۱۲/۳۳ a
z1	f3	۹۶/۱۷ab	۱۰۱/۹۰bcd	۶/۷۳cd	۱۲۹/۵۷b	۲۶/۴۰a	۱۱/۷۱ b
z2	f0	۹۸/۶۷ab	۱۴۹/۱۳b	۸/۸۳abc	۳۹/۶۷c	۲۶/۴۰a	۹/۸۱c
z2	f1	۱۱۹/۹۷a	۳۱۰/۰۷a	۱۳/۲۷ab	۲۰۶/۶۳ab	۲۷/۰۳a	۱۲/۵۳ a
z2	f2	۷۷/۳۰bc	۲۳۱/۱۷a	۱۱/۰۰abc	۱۶۸/۰۳ab	۲۶/۶۳a	۱۳/۴۵ a
z2	f3	۶۳/۴۳bc	۸۴/۲۰bcd	۵/۴۷cd	۱۷۲/۷۷ab	۲۴/۹۷a	۱۲/۳۳ a

حروف مشابه در یک ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

z0: بدون کود خاکی، z1: کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، z2: کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، f0: بدون محلول‌پاشی، f1: محلول‌پاشی در مرحله پنجه زنی، f2: محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی، f3: محلول‌پاشی در مرحله رسیدگی.

محتوای پروتئین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی ($p\leq0.05$) و محلول‌پاشی سولفات روی ($p\leq0.01$) بر محتوای پروتئین آرد معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین محتوای پروتئین آرد با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌دهی و رسیدگی نداشت. (جدول ۵). Mahmoud Soltani *et al*. (2016 and 17) نشان دادند که کاربرد کود سولفات روی نه تنها بر میزان پروتئین دانه موثر است بلکه بر میزان

www.SID.ir

Archive of SID

اسیدهای آمینه ضروری و غیر ضروری نیز تأثیر مثبت و معنی-داری دارد. همچنین Mahmoud Soltani *et al*. (2019) نشان دادند که مصرف روی به‌صورت محلول‌پاشی در تمام مراحل رشد بر کیفیت دانه (میزان روی و پروتئین) تأثیر افزایشی داشته ولی برای نتیجه بهتر بایستی محلول‌پاشی به زمان رسیدن دانه نزدیکتر باشد (در این پژوهش محلول‌پاشی در زمان پرشدن دانه اعمال شد).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر ارتفاع بوته، طول خوشه، طول و عرض برگ پرچم، طول پدانکل و پنالتیمت، تعداد پنجه کل و تعداد پنجه بارور، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده، محتوای روی برگ، ساقه و ریشه در مرحله خوشه‌دهی، محتوای روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه در مرحله رسیدگی و نیز محتوای روی و پروتئین آرد معنی‌دار بود. بالاترین تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در مرحله رسیدگی و خوشه‌دهی حاصل شد. همچنین بالاترین محتوای روی آرد با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت ولی با عدم کاربرد کود خاکی تفاوت معنی‌داری نشان داد. بالاترین محتوای پروتئین آرد با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی حاصل شد و پایین‌ترین محتوای پروتئین آرد مربوط به تیمار عدم کاربرد کود خاکی بود. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول‌پاشی در مرحله خوشه-دهی و رسیدگی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد برنج داشته و موجب افزایش محصول برنج خواهد شد. همچنین کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی همراه با محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی موجب افزایش محتوای پروتئین آرد برنج می‌شود.

REFERENCES

Alloway, B.J., 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, *31*(5), pp.537-548.

Amacher, M. C. 1996. Nickel, cadmium, and lead. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, 739-768.

Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. *Plant and Soil*, *302*(1-2), pp.1-17.

Dobermann, A. and Fairhurst, T.H., 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Handbook Series, Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute, Philippine, 191.

Emami, A. 2006. Methods of plant analysis. Technical bultein 982. Soil and water research institute if Iran.

F.A.O. 2018. Rice market monitor. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations: Rome.

Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark, R.B., 2002. Micronutrients in crop production. In *Advances in Agronomy* (Vol. 77, pp. 185-268). Academic Press.

Graham, R., Senadhira, D., Beebe, S., Iglesias, C. and Monasterio, I., 1999. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research*, *60*(1-2), pp.57-80.

Gupta, U.C. and Kalra, Y.P., 2006. Residual effect of copper and zinc from fertilizers on plant concentration, phytotoxicity, and crop yield response. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *37*(15-20), 2505-2511.

Hussain, S., Maqsood, M.A., Rengel, Z. and Aziz, T., 2012. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant and Soil*, *361*(1-2), pp.279-290.

Jiang, W., Struik, P.C., Lingna, J., Van Keulen, H., Ming, Z. and Stomph, T.J., 2007. Uptake and distribution of root-applied or foliar-applied ^{65}Zn after flowering in aerobic rice. *Annals of Applied Biology*, *150*(3), pp.383-391.

Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M. and Duxbury, J.M., 2005. A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. *Experimental Agriculture*, *41*(4), pp.427-448.

JULIANO, B. 0. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today*, 16:334-340.

Khan, M.U., Qasim, M. and Jamil, M., 2002. Response of rice to zinc fertilizer in calcareous soils of DI Khan. *Asian J Plant Sci*, *1*, pp.1-2.

Khan, P., Memon, M., Imtiaz, M., Depar, N., Aslam, M., Memon, M.S. and Shah, J.A., 2012. Determining the zinc requirements of rice genotype Sarshar evolved at NIA, Tandojam. *Sarhad Journal of Agriculture*, *28*(1), pp.1-7.

Khan, R., Gurmani, A.R., Khan, M.S. and Gurmani, A.H., 2007. Effect of zinc application on rice yield under wheat rice system. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *10*(2), pp.235-239.

Khoshgoftarmanesh, A.H., Sadrarhami, A., Sharifi, H.R., Afiuni, D. and Schulin, R., 2009. Selecting zinc-efficient wheat genotypes with high grain

www.SID.ir

Archive of SID

yield using a stress tolerance index. *Agronomy Journal*, *101*(6), pp.1409-1416.

Koochaki, A. and Sarmadnia, Gh. 2012. Physiology of crop plant. Jahad-e Daneshgahi Mashhad, Mashhad, Iran (in Persian).

Little, R. R. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chem.*, *35*, 111-126.

Mahmoud soltani S, Mohamed, M.H., Samsuri, A., Syed, M. and Sharifah, K., 2017. Lime and Zn application effects on soil and plant Zn status at different growth stages of rice in tropical acid sulphate paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, *4*(4), pp.127-138.

Mahmoud soltani, S. 2018. Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. Technical Bulletin. Rice research institute of Iran.31p.

Mahmoudsoltani, S., Hanafi, M.M., Samsuri, A.W., Muhammed, S.K.S. and Hakim, M.A., 2016. Rice growth improvement and grains bio-fortification through lime and zinc application in zinc deficit tropical acid sulphate soils. *Chemical Speciation & Bioavailability*, *28*(1-4), pp.152-162.

Mahmoudsoltani, S., Mohamed, M.H., Abdul, W.S. and Sharifah, K., 2017. Lime and Zn interactions effects on yield, yield component, and quality of rice in Zn deficit tropical paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, *4*(5), pp.185-192.

MahmoudSoltani, S.2019. Quantitative and qualitative improvement of rice grain in paddy field through macro and micronutrient management strategies (focus on phosphorus and zinc). Final project report. Rice research institute of Iran. Rasht. Iran.

Malakooti, M. J. and Tehrani, H. 1999. Sustainable agriculture and high yield with fertilizer consume in Iran. Soil and water research institute of Iran. Tehran. Iran.

Mehdi, S.M., Sarfraz, M. and Hafeez, M., 2007. Response of rice advance line PB-95 to potassium application in saline-sodic soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, *10*(17), pp.2935-2939.

Naik, S.K. and Das, D.K., 2007. Effect of split application of zinc on yield of rice (*Oryza sativa* L.) in an inceptisol. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *53*(3), pp.305-313.

Peng, S., 2000. Single-leaf and canopy photosynthesis of rice. In *Studies in Plant Science* (Vol. 7, pp. 213-228). Elsevier.

Rahman, K.M., Chowdhury, M.A.K., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A. and Biswas, G.C., 2011. Effect of zinc and phosphorus on yield of Oryza sativa (cv. br-11). *Bangladesh Res. Pub. J*, *5*(4), pp.315-358.

Rehman, H.U., 2014. *N-Zn dynamics under different rice production systems* (Doctoral dissertation, University OF Agriculture, Faisalabad, Pakistan).

Rehman, H.U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A. and Rengel, Z., 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant and Soil*, *361*(1-2), pp.203-226.

Slaton, N.A., Gbur, E.E., Wilson, C.E. and Norman, R.J., 2005. Rice response to granular zinc sources varying in water-soluble zinc. *Soil Science Society of America Journal*, *69*(2), pp.443-452.

Slaton, N.A., Wilson, C.E., Ntamatungiro, S., Norman, R.J. and Boothe, D.L., 2001. Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agronomy Journal*, *93*(1), pp.152-157.

Stomph, T.J., Hoebe, N., Spaans, E. and Van der Putten, P.E.L., 2011, October. The relative contribution of post-flowering uptake of zinc to rice grain zinc density. In *3rd International Zinc Symposium* (pp. 10-14).

Teale, W.D., Paponov, I.A. and Palme, K., 2006. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *7*(11), p.847.

Tonini, A. and Cabrera, E., 2011. Opportunities for global rice research in a changing world (No. 2215-2019-1630).

Welch, R.M. and Graham, R.D., 2000. A new paradigm for world agriculture: productive, sustainable, nutritious, healthful food systems. *Food and Nutrition Bulletin*, *21*(4), pp.361-366.

Wu, C.Y., Lu, L.L., Yang, X.E., Feng, Y., Wei, Y.Y., Hao, H.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*(11), pp.6767-6773.

Yakan, H., Gurbuz, M.A., Avar, F., Rurek, H. and Beer, N., 2000. The effect of zinc application on rice yield and some agronomic characters. *Cahiers Options Mediterraneennes*, *58*, pp.1-5.

Yoshida, S. and Benta, W.H., 1983. Potential productivity of field crops under different environments. *IRRI, Los Banos, Philippines*.

Zou, C., Gao, X., Shi, R., Fan, X. and Zhang, F., 2008. Micronutrient deficiencies in crop production in China. In *Micronutrient deficiencies in global crop production* (pp. 127-148). Springer, Dordrecht.

www.SID.ir