Archive of SID

بررسی تأثیر کاربرد همزمان مصرف خاکی و محلول‌پاشی کود سولفات روی بر عملکرد، مقدار پروتئین دانه و محتوای روی در اندام‌های گیاه برنج در مراحل مختلف رشد

شهرام محمود سلطانی[1]، مهرزاد اله قلی پور، مریم شکوری کتیگری، مریم پیکان، حمید شعبانزاده، افشین عطار، علی پور صفر طبالوندی و فاطمه کشتکار

استادیار موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران؛ **shmsoltani@gmail.com**

استادیار موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران؛ **mehrzadallahgholipour@yahoo.com**

کارشناسان آزمایشگاه شیمی خاک موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران؛

maryamshakouri@ymail.com; m.paykan@yahoo.com; a.attar@yahoo.com; shabanzadeh.hamidreza@yahoo.com; alipoursafar7@gmail.com; fateme.keshtkar@yahoo.com

دریافت: **99/3/6** و پذیرش: **99/7/15**

چکیده

علی رغم مطالعات بسیار در خصوص تأثیر مصرف خاکی و محلول پاشی عنصر روی بطور جداگانه بر گیاه برنج، کارهای بسیار کمی در زمینه پراکنش روی دراندام‌های مختلف برنج (Oryza sativa L) و کیفیت دانه (روی و پروتئین بیشتر) تحت تأثیر همزمان کاربرد پایه و محلول‌پاشی روی انجام شده است. بنابراین پژوهش حاضر تأثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی کود سولفات روی بر محتوای روی در اندام‌های گیاه در مراحل مختلف رشد، مقدار روی و پروتئین دانه برنج رقم هاشمی را طی آزمایشی مزرعه‌ایی به صورت فاکتوریل (با دو فاکتور شامل مصرف خاکی روی(سه سطح) و محلول¬پاشی روی(چهار سطح)) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار مورد بررسی قرار داد. بیشترین میزان عملکرد (4283 کیلوگرم در هکتار) و با افزایشی در حدود 32 درصد نسبت به شاهد (2920 کیلوگرم در هکتار) (عدم مصرف خاکی و عدم محلول¬پاشی) مربوط به ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول‌پاشی در مرحله رسیدن دانه میباشد اگرچه به دلیل معنی‌دار نبودن اختلاف بین تیمارهای 10 و 20 کیلوگرمی روی در هکتار، مصرف 10 کیلوگرم روی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است. بیشترین افزایش روی در برگ و ساقه در مرحله گلدهی (2 برابر) در تیمار ترکیبی 10 کیلوگرم در هکتار روی و محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی، در خوشه و دانه به ترتیب 2/5 و 2 برابر و محتوای پروتئین دانه (40%) با کاربرد 10 کیلوگرم در هکتار روی و محلول‌پاشی در مرحله گلدهی بود. بیشترین ضریب همبستگی خطی بین محتوای روی دانه با محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه (0/58) به‌دست آمد. این در حالیست که محتوای پروتئین دانه به ترتیب با محتوای روی دانه (0/68**)، محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه (0/64*) و محتوای روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (0/64**) همبستگی مثبت داشت. بیشترین ضریب همبستگی خطی به ترتیب بین محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه با محتوای روی در برگ در همین مرحله (0/69**)، محتوای روی در ساقه و برگ در مرحله گلدهی (0/65**) و محتوای روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه با محتوای روی در ریشه در مرحله گلدهی (0/45**) بود. همچنین مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی گام به گام برازش داده شده بین محتوای پروتئین برنج سفید و سایر مقادیر روی در بافت‌های گیاه برنج در مراحل مختلف رشد حاکی از این بود که متغیرهای محتوای روی در دانه، محتوای روی برگ و ریشه در مرحله پرشدن دانه رابطه معنی‌داری با محتوای پروتئین دانه داشته و این سه متغیر بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده 56 درصد از تغییرات محتوای پروتئین در برنج سفید را تشریح می‌نمایند. بنابراین، کاربرد خاکی 20 کیلوگرم روی و محلول پاشی در مراحل گلدهی برای بهبود عملکرد و ارتقای کیفی دانه برنج بسیار کارایی دارد.**

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه برنج، عملکرد برنج، کیفیت دانه

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: رشت، موسسه تحقیقات برنج کشور- بخش تحقیقات خاک و آب

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از غذاهای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان، به ویژه آسیا و آفریقاست که در این مناطق بیش از 90 درصد برنج تولیدی، مصرف نیز می‌شود (آلوی،2009؛ فائو، 2013). برنج 21 درصد از انرژی و 15 درصد از پروتئین موردنیاز جمعیت‌های انسانی در کشورهای برنج‌خیز جهان را فراهم می‌کند (فائو، 2013). با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، طبق آمارهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) تا سال 2025 به 760 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 بهره‌برداری قرار گرفته‌اند (فائو، 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 (خوشگفتارمنش و همکاران، 2009؛تونی نی و کابررا، 2013). 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 (محمودسلطانی و همکاران، 2018).

پس از نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K)، کمبود روی (Zn) یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد (بین20 تا 80 درصد) در گیاه برنج است (فاگریا و همکاران، 2002). بطورکلی غلات در مقایسه با حبوبات، به کمبود روی حساس‌ترند که منجر به کاهش قابل‌توجه در عملکرد دانه و کیفیت غذایی آنها می‌شود (چک مک، 2010). با این حال، بیش از50 درصد از اختلالات تغذیه‌ای در محصولات مستعد به کمبودها در سراسر جهان به کمبود روی اختصاص دارد و فراوانی کمبود روی در برنج از سایر محصولات زراعی بیشتر است (دوبرمن و فیرهورست، 2000). گیاهانی که در خاک‌های با روی قابل جذب پایین رشد می‌کنند، بطورکلی عملکرد کمتر و کیفیت دانه نامناسب‌تری دارند (ولش و گراهام، 1999). به عنوان مثال، کاهش معنی‌داری (80 درصد) در مقدار روی موجود در دانه در غلات کشت شده در خاک‌های با روی قابل جذب کم مشاهده شده است (چک مک، 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 (حسین و همکاران، 2012). مصرف کود روی در خاک‌های دارای کمبود این عنصر، یک راهبرد کلی برای مقابله با کمبود آن بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت روی در دانه نیز می‌انجامد (حسین و همکاران، 2012؛ محمودسلطانی و همکاران، 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 (جانسون و همکاران، 2005) و هم‌چنین می‌توان ریشه‌ی نشاهای برنج را در محلول حاوی کود روی غوطه‌ور نمود (گراهام، 2001).

متداول‌ترین روش افزودن کود روی از طریق مصرف آن در خاک است. روی را می‌توان از طریق پخش در همه زمین، بذرمال کردن و یا از طریق آب آبیاری نیز به خاک افزود. معمولاً در کشت برنج تحت شرایط غرقابی، روی قبل از غرقاب‌کردن خاک و یا پس از نشاکاری به خاک افزوده می‌گردد تا از کمبود روی جلوگیری و سبب افزایش عملکرد دانه گردد (دوبرمن و فیرهورست، 2000؛ نایک و داس، 2007). همچنین گزینش منابع روی مناسب برای افزودن به خاک نیز می‌تواند یک راهبرد جایگزین برای بهبود قابلیت جذب روی برای گیاه در شرایط اراضی پست باشد. کودهای روی با حلالیت خوب مانند EDTA روی و سولفات روی در مقایسه با اکسید روی نامحلول و روی دانه‌ای (گرانوله) سبب انتقال روی بیشتر به ریشه گیاه برنج می‌شوند. گوپتا و کالرا (2006) نشان دادند که از نظر جذب روی توسط برنج، تأثیر روش کاربرد کود بر جذب به ترتیب عبارتند از مخلوط با خاک> پخش در سطح خاک> پخش نواری. خان و همکاران (2002) در یک آزمایش مزرعه ای در یک خاک آهکی- قلیایی برای بررسی افزایش عملکرد شلتوک توسط هر یک از روش‌های کاربرد کود محتوی روی، نشان دادند که مصرف خاکی کود روی در مقایسه با فرو بردن ریشه در محلول حاوی روی یا محلول‌پاشی عملکرد بهتری داشت. در یک آزمایش مزرعه‌ای دو ساله در خاکی با بافت رسی شنی، اسیدیته نسبتا قلیایی و مقدار روی بالاتر از حد آستانه، رحمان و همکاران (2012) گزارش کردند که محلول¬پاشی سولفات روی در زمان پنجه‌زنی و یا شروع خوشه‌دهی سبب افزایش مقدار روی خاک و گیاه شد. در حالیکه مصرف سولفات روی در زمان نشاکاری در تمام سیستم های کشت مورد آزمایش (شرایط غرقابی، تناوب خشکی و رطوبت، و کشت

www.SID.ir

Archive of SID

مستقیم هوازی) هیچگونه تاثیری بر این صفات نداشت. این افزایش ناشی از فراهمی بالای عنصر روی خاک، بهبود جذب روی گیاه و انتقال مجدد زیاد از برگ‌ها به سمت دانه در طول پرشدن دانه در این سیستم‌های کاشت برنج بوده است.

حتی اگر مصرف خاکی روی یک استراتژی امیدوارکننده برای بهبود غلظت روی در بافت‌های گیاهی و هم‌چنین افزایش رشد گیاه و عملکرد بهتر دانه در برنج باشد (خان و همکاران، 2002)، این روش مصرف، در افزایش غلظت روی در دانه تأثیر کمتری داشته است. هم‌چنین استفاده از کودهای گران ولی مؤوثرتر مانند کودهای روی کلاته به دلیل هزینه‌های بالا، ممکن است از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نباشند. بنابراین بایستی روش‌های مکمل دیگری برای افزایش عملکرد، محتوای روی در دانه و اندام‌های گیاهان زراعی مانند محلول¬پاشی نیز در نظر گرفته 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، EDTA روی به عنوان کود مناسب برای محلول‌پاشی برگی در تعدادی از محصولات زراعی معرفی شده است. محلول‌پاشی با سولفات روی در برطرف کردن کمبود روی و بهبود غلظت روی دانه مؤثر است (استومف وهمکاران، 2011). بطور کلی، محتوای روی دانه زمانی افزایش می‌یابد که عنصر روی بصورت محلول‌پاشی در مراحل نهایی رشد گیاه استفاده شود. گیانگ و همکاران (2007) در بررسی تأثیر مصرف روی در یک آزمایش آبکشت (فاقد روی در محلول غذایی آبکشت) انتقال روی به سمت دانه‌های برنج با استفاده از ارقام هوازی و با دو روش آغشتن ریشه یا محلول‌پاشی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد تحت عرضه روی کافی، ورود روی به دانه در روش محلول‌پاشی بیشتر است. بطور مشابه، انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه زمانی رخ می‌دهد که روی موجود در یک محلول غذایی در مرحله آبستنی و یا مرحله گرده‌افشانی برای ژنوتیپ‌های با روی دانه بالا و یا پایین استفاده شود (وو و همکاران، 2010). محلول‌پاشی روی (5 در هزار سولفات روی) در شروع خوشه‌دهی در افزایش دو برابری محتوای روی دانه مؤثر بود (محمود سلطانی و همکاران، 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 برروی ذرات خاک جلوگیری کرده، اما زمان پاشش روی باید در حدود مرحله گل‌دهی انجام شود تا سبب افزایش غلظت روی دانه گردد. محمود سلطانی و همکاران (2016 و 2017) نشان دادند که کاربرد کود سولفات روی نه تنها بر محتوای پروتئین دانه مؤثر است بلکه بر محتوای اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری نیز تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد. اگرچه مصرف روی بصورت محلول‌پاشی در تمام مراحل رشد بر کیفیت دانه (محتوای روی و پروتئین) تأثیر افزایشی داشته ولی برای نتیجه بهتر بایستی محلول‌پاشی به زمان رسیدن دانه نزدیکتر باشد (محلول‌پاشی در زمان پرشدن دانه).

چاکرالحسینی و همکاران (2009) در بررسی تأثیر میزان، منبع و روش مصرف روی بر صفات کمی و کیفی برنج رقم چرام نشان داد که تمامی روش‌های مصرف و منابع کود روی بر عملکرد این رقم تأثیر داشته ولی بیشترین اثر (افزایش بیش از 50 درصدی) را در مصرف خاکی (40 کیلوگرم در هکتار) و محلول‌پاشی سه در هزار سولفات روی بدست آورده است. حسین زاده و همکاران (2011) نیز دربررسی تأثیر محلول‌پاشی کلات سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم شیرودی نشان داد که تیمار محلولپاشی کلات سولفات روی تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه، تعداد پنجه در متر مربع، تعداد خوشه چه در خوشه و درصد خوشه چه پر داشت. همچنین بیشترین وزن هزار دانه و پنجه در متر مربع و تعداد خوشه چه در خوشه در غلظت 2 در هزاراین منبع روی، به دست آمد. همچنین رمضانی و همکاران (2016) در بررسی اثر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه و میزان روی دانه برنج رقم سازندگی، در اصفهان نشان دادند که حداکثر عملکرد دانه (8968/3 کیلوگرم در هکتار) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات روی به‌دست آمد که نسبت به شاهد اول 10/1درصد و نسبت به شاهد دوم 11/8درصد بیشتر بود. همچنین حداکثر مقدار روی دانه (37/8 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات روی به‌دست آمد که نسبت به شاهد اول 16/6درصد و نسبت به شاهد دوم 19/5درصد بیشتر بود

علی رغم مطالعات بسیار در خصوص تأثیر مصرف خاکی و محلول¬پاشی روی بطور جداگانه برگیاه برنج، کارهای بسیارکمی در زمینه پراکنش روی در اندام-های مختلف برنج و کیفیت دانه (روی و پروتئین بیشتر) تحت تأثیر همزمان کاربرد پایه و محلول¬پاشی روی

www.SID.ir

Archive of SID

انجام شده است. بنابراین پژوهش حاضر با اهداف زیر تدوین و اجرا شده است:

- بخش بندی عنصر روی در اندام‌های مختلف گیاه برنج
- غنی سازی زیستی روی دانه برنج رقم هاشمی
- انتقال مجدد روی در اندام‌های مختلف گیاه برنج
- تأثیر کاربرد همزمان مصرف خاکی و محلول¬پاشی روی بر محتوای پروتئین دانه

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی 1398 - 1397 در مزرعه کشاورز و در روستای پس ویشه شهرستان رشت و روی رقم بومی برنج (هاشمی) به صورت فاکتوریل (با دو فاکتور شامل مصرف خاکی روی و محلول¬پاشی روی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. بعد از عملیات شخم کرت‌هایی به ابعاد 20 متر مربع با مرزبندی مشخص احداث گردیده و مرزها برای جلوگیری از تداخل آب کرتها و تیمارهای اعمال شده، با پلاستیک پوشانیده شدند. از کرت‌های گزینش شده نمونه‌های خاک مرکب از عمق 30-0 سانتی‌متری تهیه گردید. نمونه های خاک در معرض هوا خشکانده شده و پس از عبور دادن از الک دو میلی متری، برخی از ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی آن مانند بافت خاک (سیلتی رسی)، اسیدیته عصاره اشباع (6/22)، محتوای کربن آلی (2/36%)، فسفر (19/8 میلی‌گرم در کیلوگرم) و پتاسیم قابل جذب (95 میلی‌گرم درکیلوگرم)و روی قابل جذب (0/88 میلی‌گرم در کیلوگرم) اندازه‌گیری شدند. فسفر به مقدار 45 کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم نیز به مقدار 100 کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم پیش از نشاکاری به کلیه کرت‌ها اضافه شد. کود نیتروژن به مقدار60 کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره برای رقم هاشمی و در سه مرحله پیش از نشاکاری، در مرحله وجین و در مرحله تشکیل جوانه اولیه خوشه[1] به کرت‌ها افزوده گردید. گیاهچه‌های یکدست رقم هاشمی به فواصل 20 در 20 سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه کاشته و کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه شده توسط موسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرتها به صورت یکسان اعمال شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: مصرف خاکی کود سولفات روی قبل از نشاکاری در سه سطح (0، 10 و 20 کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات روی 22%) و محلول¬پاشی 5 در هزار سولفات روی 22 % در چهار سطح (بدون محلول¬پاشی، محلول¬پاشی حداکثر پنجه زنی، محلول¬پاشی یک هفته قبل از گلدهی و محلول¬پاشی در مرحله شروع پرشدن دانه). در طول اجرای آزمایش و در مراحل مختلف رشد گیاه برنج مانند حداکثر پنجه زنی، گلدهی، پرشدن دانه و پس از برداشت محتوای روی در اندامهای مختلف مانند برگ، ساقه، خوشه و دانه، و محتوای پروتئین دانه اندازه‌گیری شدند. بدین منظور ده بوته تصادفی در هر تیمار گزینش و اندازه‌گیری فوق بر روی آنها صورت پذیرفت. همچنین پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده ها 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 حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) انجام شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار-های SAS صورت پذیرفت. برای ترسیم و برازش شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت عملکرد دانه نشان دادکه کاربردخاکی سولفات روی و محلول‌پاشی سولفات روی بر این صفت معنی‌دار بود ($p\leq0.05$). مصرف خاکی20 و10 کیلوگرم در هکتار سولفات روی عملکرد دانه را به ترتیب به میزان 14/5 و13/9درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف خاکی روی) افزایش داد که اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. هم‌چنین، محلول‌پاشی در هر سه مرحله فنولوژیک باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین میزان افزایش عملکرد دانه به میزان 8 درصد در محلول¬پاشی در مرحله رسیدن دانه بدست آمد. در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در این صفت به میزان 32 درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف خاکی و عدم محلول¬پاشی) مربوط به ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله رسیدن دانه می‌باشد اگرچه دلیل معنی دار نبودن اختلاف بین تیمارهای 10 و 20 کیلوگرمی روی در هکتار مصرف 10 کیلوگرم روی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است (شکل 1). گزارشات متعددی مبنی بر افزایش عملکرد برنج در اثر مصرف‌کود روی به صورت مصرف خاکی سولفات روی (محمود ساطانی و همکاران، 2016 و 2017) و محلول‌پاشی سولفات‌روی وجود دارد (محمودسلطانی و همکاران، 2019). پژوهشگران دیگری نیز گزارش کردندکه مصرف سولفات روی، ارتفاع گیاه،

[1] Panicle initiation

www.SID.ir

Archive of SID

طول خوشه، پرشدن خوشه‌چه، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه را افزایش داد (ژو و همکاران، 2007). از دلایل افزایش عملکرد برنج به دنبال کاربرد سولفات روی، افزایش غلظت نیتروژن (ملکوتی و تهرانی، 1999)، افزایش میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی گیاه بوده که سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش شاخه، برگ و عملکرد گیاه می‌شود (تی له و همکاران، 2006).

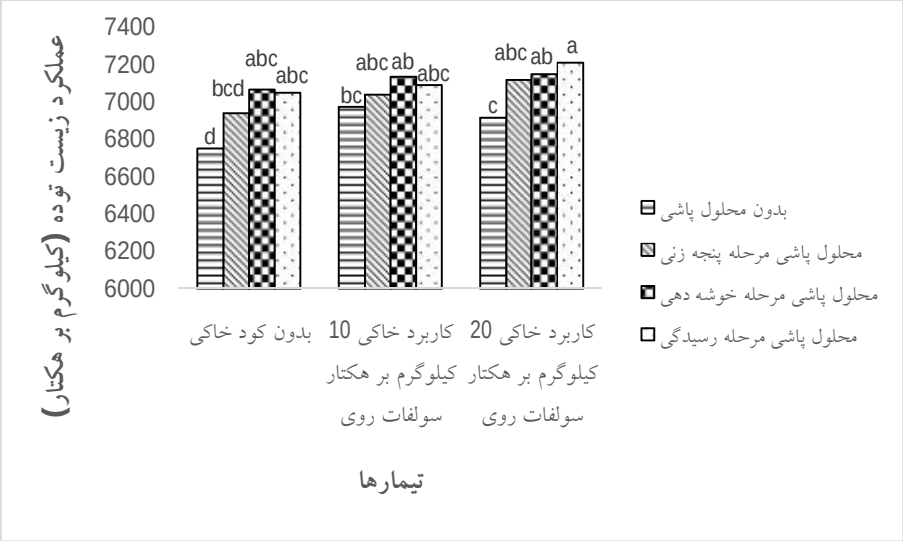
شکل 1- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر کاربرد خاکی و محلول پاشی روی

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. بالاترین عملکرد زیست‌توده مربوط به کاربرد خاکی 20 کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی 10 کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی‌داری نداشت. کاربرد خاکی 20 و 10 کیلوگرم در هکتار سولفات روی عملکرد زیست‌توده را به ترتیب به میزان 12/32 و 13/57 درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول 2). هم‌چنین، بالاترین میزان افزایش عملکرد زیست‌توده با محلول‌پاشی در مراحل گلدهی 7/60 درصد حاصل شد که با محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی تفاوت معنی‌داری نداشت. در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در این صفت به میزان 18/34 درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف خاکی و عدم محلول¬پاشی) مربوط به ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله رسیدن دانه می‌باشد اگرچه دلیل معنی دار نبودن اختلاف بین تیمارهای 10 و 20 کیلوگرمی روی در هکتار مصرف 10 کیلوگرم روی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است (شکل 2). افزایش عملکرد ماده خشک با مصرف عنصر ریزمغذی روی را به دلایل 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 بی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی مرتبط می‌داند. 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 (کوچکی، 2012). محمود سلطانی و همکاران(2016، 2017 و 2019) نشان دادند که مصرف روی در هر میزان در مقایسه با شاهد سبب افزایش عملکرد زیست توده در برنج بین 10 تا 18 درصد شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 2- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیکی (زیست توده) تحت تأثیر کاربرد خاکی و محلول پاشی روی

برای تأمین کافی هر عنصر ضروری برای رشد مناسب محصولات کشاورزی، گیاهان از دو منبع گوناگون استفاده می‌کنند: منابع بیرونی یعنی جذب از طریق خاک و اندامهای هوایی و یا منابع داخلی ناشی از متحرک (رها) سازی مجدد[1] این عناصر در بافت‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد برحسب نیاز گیاه (پالگرام و همکاران، 2008). منبع اول با کاربرد راهبردهای به‌زراعی همانند افزایش شکل‌های دردسترس این عناصر در خاک با مصرف منابع قابل جذب آنها شکل می‌گیرد (گراهام و همکاران، 2007 ؛ وایت و براودلی، 2009). منبع دوم مخازن زیستی قابل استفاده مجدد این عناصر در بافت‌های گیاهان پیش از زمان گلدهی بوده که پویایی آنها به روابط بین غلظت این عناصر درخاک، غلظت کل آنها در گیاه و غلظت‌شان در تک تک بافت‌های گیاهان زراعی بستگی‌دارد(استومف و همکاران، 2009). میزان جذب، ذخیره و رهاسازی دوباره عناصر توسط اندام‌های گوناگون گیاهی برابر و یکسان نیست چرا که گیاه قادر است عناصر را نه تنها از طریق ریشه بلکه توسط اندام-های هوایی نیز جذب کرده و به شکل ترکیبات پیچیده آلی در بخش‌های گوناگون بافتی خود ذخیره نماید. معمولاً بیشترین میزان غلظت عناصر جذب شده در بافت‌های گیاهی به ترتیب در ریشه، ساقه، برگ، خوشه و دانه ذخیره می‌شود (وایت و براودلی، 2009). محمود سلطانی و همکاران (2017) نشان دادند که بیشترین غلظت روی جذب شده توسط گیاه برنج در مرحله پنجه زنی به ترتیب در ریشه، ساقه و برگ، و در مرحله گلدهی در ریشه، ساقه، خوشه و برگ و در مرحله رسیدن دانه نیز به ترتیب در ریشه، ساقه، دانه، خوشه وبرگ دیده می‌شود. روند تغییر جایگاه برگ می‌تواند به دلیل رهاسازی دوباره این عنصر توسط برگ و انتقال به نقاط هدف مانند خوشه در مرحله گلدهی و خوشه و دانه در زمان پرشدن آن باشد (وایت و براودلی، 2009). براساس نتایج مندرج در جداول مقایسه میانگین اثر متقابل عامل‌های کاربردی برروی عملکرد و زیست توده (شکل‌های 1 و 2) و محتوای روی در اندام‌های مختلف گیاه (جدول 4) بنظر می‌رسد در تمام مراحل رشد و نمو گیاه، جذب از ریشه بر انتقال مجدد در این آزمایش برتری داشته و در تأمین روی مورد نیاز گیاه مؤثرتر است. چرا که در تمام مراحل رشد میزان روی در بافت های گیاهی روندی رو به رشد داشته است. از بین محتوای روی در اندام‌های گیاه نیز میزان روی در خوشه، برگ و ساقه در مرحله رسیدن دانه بیشترین تأثیر را بر رشد ونمو گیاه بازی می‌کند (رابطه 1 و 2). اچرا که علاوه بر تأمین این عنصر از ریشه، این اندام‌ها نیز می توانند در انتقال روی به خوشه و سپس دانه بسیار فعال عمل کنند. از طرف دیگر تأثیر پذیری یکسان عملکرد دانه، زیست توده و میزان روی در بافت‌های گیاه برنج از تیمار برتر (20 کیلوگرم در هکتار کاربرد خاکی روی به همراه محلول پاشی در مرحله رسیدن دانه) نیز گواه این ادعاست.

[1] Remobilization

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1-تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		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)
تکرار	2	76/81**	17/35^{ns}	175/60^{ns}	55/75^{ns}	22/64**	1101/13^{ns}
کاربرد خاکی	2	43/60*	9/34^{ns}	980/62^{ns}	166/67^{ns}	14/70*	4239/09**
محلول‌پاشی	3	0/99^{ns}	25/79^{ns}	508/88^{ns}	1174/62**	32/38**	842/78^{ns}
کاربرد خاکی*محلول‌پاشی	6	19/05^{ns}	16/52^{ns}	315/69^{ns}	392/19**	8/56^{ns}	855/96^{ns}
خطا	22	10/16	26/13	364/67	48/66	3/85	496/06
ضریب تغییرات (%)		12/74	21/79	37/15	19/00	7/40	29/83

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

ادامه جدول1 -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 دانه	محتوای پروتئین دانه
تکرار	2	704/60^{ns}	18/21^{ns}	159/11^{ns}	98/39^{ns}	5/75^{ns}	0/12^{ns}
کاربرد خاکی	2	44599/92**	65/34**	4517/79**	24822/33**	1038/01**	0/88**
محلول‌پاشی	3	44915/71**	26/46^{ns}	2677/51**	25004/11**	101/74**	0/42**
کاربرد خاکی*محلول‌پاشی	6	21663/82**	29/50*	372/09^{ns}	9269/54**	134/69**	0/24*
خطا	22	2157/07	10/27	255/39	1981/71	2/88	0/08
ضریب تغییرات (%)		31/03	38/68	32/40	37/92	8/04	7/10

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

محتوای روی برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین تیمارهای روی (مصرف خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها تنها مصرف خاکی روی از منبع سولفات روی 22% بـر محـتوای روی برگ در مرحله پنـجه‌زنی در سطح احتمال 5 درصد تأثیر معنی‌دار داشته است (جدول 1). البته این واکنش در خصوص محلول¬پاشی به دلیل شروع کاربرد آن از این مرحله و نیاز به زمان برای جذب، ذخیره سازی روی در برگ و تأثیرگذاری آن بر رشد گیاه منطقی به نظر می‌رسد. از طرف دیگر چون در این مرحله نیاز گیاه به عنصر روی برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی کمتر از سایر مراحل رشد است فقط برگ گیاه است که به دلیل ذخیره سازی روی جذب شده در خود از مصرف خاکی روی تأثیر معنی‌دار می‌پذیرد (ملکوتی و کاووسی، 2004). این در حالی است که محتوای روی در برگ در مرحله گلدهی اگرچه از کاربرد خاکی تأثیر معنی‌دار نمی-پذیرد ولی محلول¬پاشی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول¬پاشی در سطح احتمال یک درصد براین صفت تأثیر معنی‌دار دارد. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که محتوای روی در برگ در مرحله رسیدن دانه از تیمارهای روی (مصرف خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می‌پذیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در مرحله گلدهی و پس از آن و با افزایش نیاز گیاه به عنصر روی از بین منابع بیرونی یعنی جذب از طریق خاک و اندام‌های هوایی،این جذب از طریق اندام‌های هوایی (محلول¬پاشی) است که به دلیل سهل الوصول بودن تأثیر بیشتری بر محتوای آن در برگ دارد. از طرف دیگر از این مرحله است که منابع داخلی ناشی از انتقال مجدد[1] این عنصر در بافت‌های گیاهی وارد عمل شده و روی ذخیره شده از جذب توسط ریشه (کاربرد خاکی) اهمیت پیدا کرده و در نتیجه اثر متقابل تیمارها اثربخشی مثبت خود را بروز می‌دهند. مطالعات نشان می‌دهد که منبع اول با کاربرد راهبردهای به‌زراعی همانند افزایش شکل‌های

[1] Remobilization

www.SID.ir

Archive of SID

قابلیت جذب این عنصر در خاک با مصرف منابع قابل جذب آنها شکل می‌گیرد (گراهام و همکاران، 2007؛ وایت و بروالی، 2009). منبع دوم مخازن زیستی قابل استفاده مجدد این عناصر در بافت‌های گیاهانی پیش از زمان گلدهی بوده که پویایی آنها به روابط بین میزان این عنصر درخاک، محتوای کل آن در گیاه و غلظت آن در تک تک بافت‌های گیاهان زراعی بستگی دارد (جیانگ و همکاران، 2008؛ استومف وهمکاران، 2009)

جدول 2- مقایسات میانگین اثر سطوح تیمار مصرف خاکی سولفات روی بر محتوی روی اندام های مختلف برنج

مصرف خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)	محتوای‌روی‌برگ (مرحله پنجه زنی)	محتوای‌روی‌ساقه (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی ریشه (مرحله پنجه زنی)	محتوای‌روی‌برگ (مرحله‌خوشه‌دهی)	محتوای روی ساقه (مرحله‌خوشه‌دهی)	محتوای روی ریشه (مرحله خوشه‌دهی)
	میلی گرم در کیلوگرم					
بدون مصرف کود	23/68b	22/51a	42/48b	33/38b	25/23b	53/63b
10	24/16b	23/63a	51/17ab	40/74a	27/16a	80/48a
20	27/19a	24/25a	60/56a	36/03ab	27/14a	89/84a

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

ادامه جدول 2- مقایسات میانگین اثر سطوح تیمار مصرف خاکی سولفات روی بر محتوی روی اندام های مختلف برنج

مصرف خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)	محتوای‌روی‌برگ (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ساقه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ریشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی خوشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی دانه	محتوای پروتئین دانه (%)
	میلی گرم در کیلوگرم					
بدون مصرف کود	80/07b	5/59b	27/23b	65/02b	10/38b	9/46b
10	175/27a	9/63a	57/18a	140/43a	26/72a	9/81b
20	193/64a	9/64a	63/58a	146/78a	26/26a	10/35a

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

جدول 3- مقایسات میانگین اثر سطوح تیمار محلول¬پاشی 5 در هزار سولفات روی بر محتوی روی اندام های مختلف برنج

محلول¬پاشی 5 در هزار سولفات روی	محتوای‌روی‌برگ (مرحله پنجه زنی)	محتوای‌روی‌ساقه (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی ریشه (مرحله پنجه زنی)	محتوای‌روی‌برگ (مرحله‌خوشه‌دهی)	محتوای روی ساقه (مرحله‌خوشه‌دهی)	محتوای روی ریشه (مرحله خوشه‌دهی)
	میلی گرم در کیلوگرم					
بدون محلول‌پاشی	25/22a	22/92a	55/83a	28/76b	25/41b	71/52a
پنجه زنی	25/07a	22/78a	59/36a	53/49a	29/22a	87/94a
خوشه‌دهی	25/22a	25/96a	47/46a	34/33b	26/39b	64/94a
مرحله رسیدگی	24/52a	22/19a	42/97a	30/30b	25/02b	74/20a

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

ادامه جدول 3- مقایسات میانگین اثر سطوح تیمار محلول¬پاشی 5 در هزار سولفات روی بر محتوی روی اندام های مختلف برنج

محلول¬پاشی 5 در هزار سولفات روی	محتوای‌روی‌برگ (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ساقه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ریشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی خوشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی دانه	محتوای پروتئین دانه (%)
	میلی گرم در کیلوگرم					
بدون محلول‌پاشی	70/33b	7/83ab	26/43c	38/49b	19/00b	9/5b
پنجه زنی	210/13a	9/77a	49/23b	143/19a	20/20b	10/60 a
خوشه‌دهی	208/30a	9/49a	68/03a	140/07a	19/18b	10/62 a
رسیدگی	109/87b	6/06b	53/62ab	147/88a	26/10a	10/12 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 4-مقایسات 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		21/77b	24/10a	40/83ab	26/77c	24/93b	47/43c
z0	f1		23/83ab	20/03a	51/63ab	36/47bc	25/10b	56/83bc
z0	f2		24/73ab	26/30a	38/10b	38/03bc	26/03b	47/27c
z0	f3		24/37ab	19/60a	39/37b	32/27c	24/87b	63/00bc
z1	f0		26/73ab	22/77a	69/93ab	27/40c	25/70b	68/47bc
z1	f1		21/60b	22/60a	48/37ab	76/33a	31/80a	87/03abc
z1	f2		26/17ab	27/33a	42/73ab	31/07c	26/20b	70/27bc
z1	f3		22/13b	21/80a	43/63ab	28/17c	24/93b	96/17ab
z2	f0		27/17ab	21/90a	56/73ab	32/10c	25/60b	98/67ab
z2	f1		29/77a	25/70a	78/07a	47/67b	30/77a	119/97a
z2	f2		24/77ab	24/23a	61/53ab	33/90c	26/93b	77/30bc
z2	f3		27/07ab	25/17a	45/90ab	30/47c	25/27b	63/43bc

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 10 کیلوگرم در هکتار سولفات روی، z2: کاربرد خاکی 20 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 4- مقایسات 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 دانه	محتوای پروتئین دانه
				میلی گرم در کیلوگرم				%
z0	f0		34/27d	6/90cd	3/03e	40/80c	14/80b	9/46[c]
z0	f1		57/43cd	1/87d	32/90cd	50/33c	15/53b	10/60 [b]
z0	f2		85/07bcd	7/63bcd	42/03bcd	27/63c	14/27b	10/62 [b]
z0	f3		143/50bc	5/97cd	30/97d	141/30ab	26/93a	10/12 [b]
z1	f0		27/60d	7/77bcd	41/87bcd	35/00c	25/80a	9/81[c]
z1	f1		262/90a	14/17a	54/53bcd	172/60ab	28/03a	12/53 [a]
z1	f2		308/67a	9/83abc	62/80bc	224/53a	26/63a	12/33 [a]
z1	f3		101/90bcd	6/73cd	69/50b	129/57b	26/40a	11/71 [b]
z2	f0		149/13b	8/83abc	34/40cd	39/67c	26/40a	9/81[c]
z2	f1		310/07a	13/27ab	60/27bcd	206/63ab	27/03a	12/53 [a]
z2	f2		231/17a	11/00abc	99/27a	168/03ab	26/63a	13/45 [a]
z2	f3		84/20bcd	5/47cd	60/40bcd	172/77ab	24/97a	12/33 [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 10 کیلوگرم در هکتار سولفات روی، z2: کاربرد خاکی 20 کیلوگرم در هکتار سولفات روی، f0: بدون محلول‌پاشی، f1: محلول‌پاشی در مرحله پنجه زنی، f2: محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی، f3: محلول‌پاشی در مرحله رسیدگی.

نتایج مقایسه میانگین روی در برگ برنج رقم هاشمی تحت تأثیر تیمارهای روی (مصرف خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها تنها مصرف خاکی روی از منبع سولفات روی 22% به میزان 20 کیلوگرم روی در هکتار (بالاترین سطح از تیمار مصرف خاکی) تأثیر معنی-داری بر محتوای این صفت گذاشته و مقدار آنرا در مرحله پنجه زنی14/82 درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف خاکی روی) افزایش می‌دهد. این در حالی است که بیشترین میزان افزایش روی در برگ در مرحله گلدهی در بین اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی متعلق

www.SID.ir

Archive of SID

به تیمار 20 کیلوگرم روی در هکتار و در حدود 32/70 درصد، در اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف نیز مربوط به محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی و در حدود 80 درصد نسبت به شاهد (عدم محلول¬پاشی روی) و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای روی برگ در مرحله گلدهی به میزان 74 درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف خاکی و عدم محلول¬پاشی) مربوط به ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی می‌باشد. همچنین بیشترین میزان افزایش روی در برگ در مرحله رسیدن دانه در بین اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی متعلق به تیمار 20 کیلوگرم روی در هکتار و در حدود دو برابر نسبت به شاهد، در اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف نیز مربوط به محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی و در حدود سه برابر نسبت به شاهد و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در میزان روی برگ در مرحله گلدهی به میزان دو و نیم برابر نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی می‌باشد (جدول 2 تا 4).

لازم به ذکر است روند میزان متوسط روی در برگ در گیاه برنج رقم هاشمی به ترتیب در مرحله رسیدگی، گلدهی و پنجه زنی به ثبت رسیده است. محمود سلطانی (1399) نشان داد که در مرحله گلدهی بالاترین محتوای روی در برگ، در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد که به ترتیب حدود 79 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (4/3 برابر افزایش نسبت به شاهد) و 81 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (5/9 برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آنها با یکدیگر بود. همچنین در مرحله رسیدن دانه بالاترین محتوای روی در برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به همراه محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به دست آمد که به ترتیب شامل110 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (3/7 برابر افزایش نسبت به شاهد) و 206 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (6/3 برابر افزایش نسبت به شاهد) بود. همچنین این نتایج حاکی از اختلاف معنی‌دار آنها با یکدیگر می‌باشد. خیری و همکاران (2017) در ارزیابی اثر روی و سیلیس به روش‌های محلول‌پاشی نانوذرات و خاک مصرف بر برخی از صفات فیزیولوژیکی گیاه برنج بیان داشتند که بیشترین میزان جذب روی کاه231 و 237 گرم در هکتار مربوط به تیمارهای محلول‌پاشی و مصرف خاکی بود و با عدم مصرف کود، میزان جذب حدود 17 درصد کاهش یافت. حسین و همکاران (2012) و رحمان و همکاران (2012) گزارش دادند که کاربرد روی به طور قابل توجهی محتوای روی در کاه برنج را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که غلظت روی ساقه‌ها به‌طور معنی-داری با کاربرد کود حاوی روی در هر دو ژنوتیپ حساس و مقاوم برنج به کمبود روی افزایش یافت و بیشترین افزایش غلظت روی در بالاترین سطح روی مورد استفاده درمقایسه با شاهد بدست آمد (کابیا و شانکر، 2013). فاگریا و بالیگار (2003) نیز گزارش دادند که با مصرف روی در خاک‌های اکسی سول میزان روی در اندام‌های گیاه برنج به طور قابل توجهی (در حدود دو برابر) افزایش یافت. محمود سلطانی و همکاران (2017) گزارش نمودند که با مصرف روی در زمین‌های با کمبود روی میزان روی در برگ، ساقه، ریشه و دانه برنج به ترتیب 60، 70، 40و 44 درصد افزایش یافت.

محتوای روی ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین تیمارهای روی (مصرف خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها هیچکدام بر محتوای روی ساقه در مرحله پنجه‌زنی تأثیر معنی‌داری ندارد (جدول 1). واکنش میزان روی در ساقه نیز همانند برگ به محلول¬پاشی به دلیل شروع کاربرد آن از این مرحله و نیاز به زمان برای جذب، ذخیره سازی در ساقه و اینکه ساقه در این مرحله بیشتر بر انتقال این عنصر به سایر بخش‌ها تمرکز داشته و همچنین ساقه در مقایسه با برگ از سطح تماس کمتری برخوردار است و از طرف دیگر چون در این مرحله هنوز نیاز به روی از شدت بالایی در مکانیزم‌های فیزیولوژیکی برخوردار نیست بنابراین جذب روی و انتقال آن روند یکسانی را طی کرده و تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار نمی‌گیرد. این در حالی است که محتوای روی در ساقه در مرحله گلدهی اگرچه از اثرات ساده مصرف خاکی و محلول¬پاشی روی (به ترتیب در سطح احتمال 5 و 1 درصد) تأثیر می‌پذیرد ولی اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول¬پاشی براین صفت تأثیر معنی‌داری ندارد. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که محتوای روی در برگ در مرحله رسیدن دانه از کاربرد خاکی روی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال 5 درصد تاثیر معنی‌داری می‌پذیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در مرحله گلدهی و پس از آن و با افزایش نیاز گیاه به عنصر روی مسیرهای انتقالی ساقه نقش خود را در انتقال روی جذب شده از ریشه و روی ناشی از

www.SID.ir

Archive of SID

محلول¬پاشی و انتقال مجدد از برگ به خوشه نشان می-دهد. از بین منابع بیرونی یعنی جذب از طریق خاک (کاربرد خاکی) و اندام‌های هوایی (محلول¬پاشی)، این جذب از طریق اندام‌های هوایی (محلول¬پاشی) است که به دلیل سهل الوصول بودن تأثیر بیشتری بر محتوای آن در ساقه در مرحله گلدهی دارد. این در حالی است که در مرحله رسیدن دانه با افزایش نیاز گیاه به روی برای پرشدن دانه به منبع قوی‌تر مانند روی خاکی نیاز بیشتری داشته و از آن تأثیر بیشتری می‌پذیرد. بنابراین بسته به مرحله رشد گیاه منابع داخلی ناشی از انتقال مجدد[1] این عناصر در بافت‌های گیاهی یا روی ذخیره شده از جذب توسط ریشه (کاربرد خاکی) اهمیت پیدا کرده و اثربخشی مثبت خود را بروز می‌دهند. مطالعات نشان می‌دهد که منبع اول با کاربرد راهبردهای به‌زراعی همانند افزایش شکل‌های قابلیت جذب این عنصر در خاک با مصرف منابع قابل جذب آن شکل می‌گیرد (گراهام و همکاران (2007؛ وایت و بروادلی (2009). منبع دوم، مخازن زیستی قابل استفاده مجدد این عنصر در بافت‌های گیاهان پیش از زمان گلدهی بوده که پویایی آنها به روابط بین میزان این عنصر درخاک، میزان کل آن در گیاه و غلظت آن در تک تک بافت‌های گیاهان زراعی بستگی دارد (جیانگ و همکاران، 2008؛ استومف و همکاران، 2009).

نتایج مقایسه میانگین روی در ساقه برنج رقم هاشمی تحت تأثیر تیمارهای روی (مصرف خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها نشان می‌دهد که اگرچه کاربرد آنها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشته است ولی از نظر عددی مصرف خاکی روی از منبع سولفات روی 22% به میزان 20 کیلوگرم روی در هکتار (بالاترین سطح از تیمار مصرف خاکی) مقدار آنرا در مرحله پنجه زنی 7/50 درصد و ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی 13/20 درصد نسبت به شاهد افزایش داده است. این درحالی است که بیشترین میزان افزایش روی در ساقه در مرحله گلدهی در بین اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی متعلق به تیمار 20 کیلوگرم روی در هکتار و در حدود 7/50 درصد، در اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف نیز مربوط به محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی و در حدود 15 درصد نسبت به شاهد و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای روی برگ در مرحله گلدهی به میزان 27/50 درصد نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 10 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی می‌باشد (جدول 2تا 4). محمود سلطانی و همکاران (1399) با بیان اینکه توزیع روی در بافت‌های ساقه در مراحل مختلف رشد در هر دو رقم برنج اصلاح شده (گیلانه) و محلی (هاشمی) از یک روند تبعیت کرده است نشان دادند که بالاترین میزان آن در مرحله پنجه زنی در ساقه برنج رقم هاشمی و گیلانه به ترتیب 18/2 و 17 میلی‌گرم در کیلوگرم، در مرحله گلدهی به ترتیب حدود 19 میلی-گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (2/5 برابر افزایش نسبت به شاهد) و 15 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (3/7 برابر افزایش نسبت به شاهد) و در مرحله رسیدگی به ترتیب 33/7 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (2/9 برابر افزایش نسبت به شاهد) و 37 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (2/5 برابر افزایش نسبت به شاهد) و با کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به همراه محلول-پاشی با سولفات روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی بدست آمده است.

در پژوهشی دیگر، 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 (400-20 میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از اندام‌های زایشی (در دانه 50-20 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (جیانگ وهمکاران، 2008). گزارش شده است که غلظت روی گیاه برنج در تیمار شاهد برابر 61/8 میلی‌گرم در کیلوگرم و با کاربرد سولفات روی به میزان 5 و 10 کیلوگرم در هکتار به ترتیب برابر 64/3 و 64/6 میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت (ناتان و همکاران، a 2005).

محتوای روی ریشه

نتایج تجزیه واریانس اثر ساده عوامل نشان داد تنها تیمار مصرف خاکی ($p\leq0.01$) بر محتوای روی ریشه در مرحله پنجه‌زنی و گلدهی تأثیر معنی دار داشته و در مرحله رسیدگی هم از تیمار کاربرد خاکی و هم از تیمار

[1] Remobilization

www.SID.ir

Archive of SID

محلول‌پاشی ($p\leq0.01$) بطور معنی‌داری تأثیر می‌پذیرد (جدول 1). این نتایج با مطالعات محمود سلطانی و همکاران (1399) در یک راستا است که بیان داشتند مصرف روی به ویژه محلول¬پاشی روی بر محتوای روی ریشه در مرحله پنجه زنی تأثیر معنی‌داری نداشته ولی بر محتوای روی ریشه در مرحله گلدهی و رسیدن دانه تأثیر معنی‌داری دارد. در مطالعه دیگر توسط محمود سلطانی و همکاران(2017) نشان داد که محتوای روی ریشه از کاربرد خاکی تأثیر معنی‌داری پذیرفته و بیشترین تأثیر را مصرف 10 کیلوگرم در هکتار روی دارد.

نتایج مقایسه میانگین روی در ریشه برنج رقم هاشمی تحت تأثیر تیمارهای روی (کاربرد خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها نشان می‌دهد که اگرچه محلول¬پاشی روی در مرحله پنجه زنی تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشته است ولی از نظر عددی محلول¬پاشی در این مرحله مقدار آنرا 6/50 درصد افزایش می‌دهد. درحالیکه کاربرد 20 کیلوگرم روی در هکتار در مرحله پنجه زنی بطور معنی‌داری سبب افزایش 20 درصدی آن نسبت به شاهد شده است. همچنین تیمار ترکیبی کاربرد 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی 91 درصد در مقایسه با شاهد منجر به افزایش محتوای روی در ریشه در مرحله پنجه زنی شده است. بیشترین میزان افزایش روی در ریشه در مرحله گلدهی مربوط به اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی 22% به میزان 20 کیلوگرم روی در هکتار (بالاترین سطح از تیمار مصرف خاکی) و در حدود 67 درصد، در بین اثر ساده محلول¬پاشی روی مربوط به محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی و در حدود 23 درصد نسبت به شاهد و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای روی برگ در مرحله گلدهی به میزان 2/2 برابر نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی می‌باشد. بیشترین میزان افزایش روی در ریشه در مرحله رسیدن دانه در بین اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی متعلق به تیمار 20 کیلوگرم روی در هکتار و در حدود 2 برابر نسبت به شاهد، اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف مربوط به محلول¬پاشی در مرحله گلدهی و در حدود 2/5 برابر نسبت به شاهد و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین مقدار محتوای روی ریشه در مرحله گلدهی به میزان 99/27میلی گرم در کیلوگرم مربوط به ترکیب تیماری 10 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله گلدهی می‌باشد (جدول 2 و 4). محمود سلطانی و همکاران (1399) گزارش کردند که محتوای روی در ریشه دو رقم برنج هاشمی و گیلانه در مرحله پنجه زنی به‌ترتیب حدود 35 و 35/3 میلی‌گرم در کیلوگرم، گلدهی 36 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (1/5 برابر افزایش نسبت به شاهد) و 46 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (1/4 برابر افزایش نسبت به شاهد) و در مرحله رسیدن دانه 33/7 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (1/3 برابر افزایش نسبت به شاهد) و 32 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (1/3 برابر افزایش نسبت به شاهد) بوده که تحت تأثیر دو بار محلول¬پاشی بدست آمده است. احمد (2012) گزارش نمود که کاربرد بیش از 6 کیلوگرم در هکتار روی می‌تواند محتوای روی ریشه را بطورمعنی داری افزایش داده و این به علت توانمندی ریشه در جذب و ذخیره سازی روی در دیواره‌های سلولی گیاه برنج میباشد. این موضوع که با مصرف عنصر روی در اراضی شالیزاری و افزایش فراهمی آن در خاک بر میزان جذب و نگاهداری ان توسط ریشه افزوده می شود توسط بسیاری از پژوهشگران پذیرفته شده است (چاودوری و سینق، 2007؛ فاگریا و همکاران، 2011؛ مندل و همکاران، 2012؛ موتوماراجا و سیررام چاندراسخاران،2012).

محتوای روی خوشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده هر یک از عوامل و اثر متقابل آنها روی محتوای روی خوشه تأثیر معنی‌داری داشته است ($p\leq0.01$) (جدول 1). نتایج مقایسه میانگین محتوای روی در خوشه برنج رقم هاشمی تحت تأثیر تیمارهای روی (کاربرد خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها نشان می‌دهد که کاربرد 20 کیلوگرم روی در هکتار (در بین تیمارهای کاربرد خاکی) سبب بیشترین میزان افزایش این صفت در مرحله رسیدن دانه و در حدود 2/46 برابر در مقایسه با شاهد شده است. در بین اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف بیشترین میزان افزایش در حدود 3/58 برابر نسبت به شاهد و در محلول¬پاشی مرحله رسیدن دانه بدست آمده و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای روی خوشه به میزان 5 برابر نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 10 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله گلدهی می‌باشد (جدول 2 و 4). استومف و همکاران (2014) بر این نکته تأکید داشتند که روی جذب شده از ریشه به تدریج و به نزدیک شدن به مرحله رسیدن دانه در خوشه ذخیره شده و میزان آن از محتوای روی در ساقه و سایر بخش‌ها نیز بیشتر می‌شود. چرا که این موضوع برای تشکیل دانه و پرشدن آن و

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین ارتقای کیفیت دانه بسیار ضروری است. اگرچه در انتهای این مرحله از محتوای روی در خوشه به دلیل انتقال آن به دانه بشدت کاسته می‌شود. نتایج همچنین نشان می دهد که هرچه محتوای روی در اندام‌های گیاهی (غیر از خوشه و دانه) بیشتر باشد محتوای روی در خوشه بطور خطی افزوده می‌شود. بررسی‌های محمود سلطانی و همکاران (1399) نشان دادند که بالاترین محتوای روی در خوشه (اندازه گیری شده در مرحله گلدهی) در تیمارهای محلول‌پاشی با روی و فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد که به ترتیب 120/7 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (حدود سه برابر افزایش نسبت به شاهد) و 101/6 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (2/8 برابر افزایش نسبت به شاهد) بود. این در حالی است که در ابتدای رسیدن دانه بالاترین محتوای روی در خوشه در تیمارهای محلول-پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به همراه محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار به دست آمد که به ترتیب 163/4 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (حدود سه برابر افزایش نسبت به شاهد) و 133 میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (2/3 برابر افزایش نسبت به شاهد) است. این موضوع با یافته‌های استومف (2014) که نشان می‌دهد روی از هر منبعی که باشد در نهایت در خوشه انباشت شده و هر چه به زمان رسیدن دانه نزدیک شویم بر مقدار آن افزوده می‌شود، مطابقت دارد.

میزان روی در دانه برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده هر یک از عوامل و اثر متقابل آنها روی محتوای روی دانه برنج تأثیر معنی‌داری داشته است ($p\leq0.01$) (جدول 1). نتایج مقایسه میانگین محتوای روی در دانه برنج رقم هاشمی تحت تأثیر تیمارهای روی (کاربرد خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها نشان می‌دهد بیشترین میزان افزایش روی در دانه مربوط به اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی 22% به میزان 10 کیلوگرم روی در هکتار (کمترین سطح از تیمار مصرف خاکی روی) و در حدود 2/6 برابر در مقایسه با شاهد، در بین اثر ساده محلول¬پاشی روی مربوط به محلول¬پاشی در مرحله رسیدن دانه و در حدود 47 درصد نسبت به شاهد بدست آمده است. در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای روی دانه به میزان 2 برابر نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 10 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی می باشد (جدول 2 تا4). به اعتقاد پژوهشگران محلول‌پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در طول دوره پر شدن دانه می‌شود (رحمان و همکاران، 2012). گزارش شده محلول‌پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحله گرده‌افشانی برنج سبب انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ‌های با محتوای روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ‌های با مقدار روی پایین شد (وو و همکاران، 2010). افزایش محتوای روی دانه برنج در اثر محلول‌پاشی کود روی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (جیانگ و همکاران، 2008؛ استومف و همکاران، 2011). در پژوهشی افزایش معنی‌دار محتوای روی دانه برنج با محلول‌پاشی کود روی از نوع سولفات روی و کلات روی را گزارش کردند (کاراک و داس، 2006). در تحقیق مشابهی که با محلول‌پاشی سولفات روی پنج درصد در مرحله شروع خوشه‌دهی برنج انجام شد گزارش شد که محلول‌پاشی در افزایش دو برابری مقدار روی دانه مؤثر بود (فاتاراکول و همکاران، 2011). محمود سلطانی و همکاران (2017) نشان دادند که با کاربرد خاکی روی محتوای روی در دانه نسبت به شاهد تا 40 درصد افزایش می‌یابد.

محتوای پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت محتوای پروتئین دانه برنج (برنج سفید) نشان داد که کاربرد تیمارهای خاکی روی و محلول‌پاشی با سولفات روی پنج درهزار در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) و اثر متقابل آنها در سطح احتمال 5 درصد ($p\leq0.05$) بر این صفت اثر معنی‌دار داشتند (جدول 1). نتایج مقایسه میانگین محتوای پروتئین در دانه برنج رقم هاشمی تحت تأثیر تیمارهای روی (کاربرد خاکی و محلول¬پاشی) و برهمکنش آنها نشان می‌دهد که کاربرد 20 کیلوگرم روی در هکتار (در بین تیمارهای مصرف خاکی) سبب بیشترین میزان افزایش این صفت در حدود 10 درصد در مقایسه با شاهد شده است. در بین اثر ساده عامل محلول‌پاشی در مراحل مختلف نیز بیشترین میزان افزایش در حدود 12 درصد نسبت به شاهد و در محلول¬پاشی مرحله گلدهی بدست آمده و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای پروتئین دانه به میزان 40 درصد نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله گلدهی می‌باشد (جدول 2 تا 4). نتایج تحقیقات نشان داده است که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد. در نتیجه سنتز پروتئین با کاهش مواجه می‌شود. بنابراین در صورت در دسترس بودن روی برای غلات، درصد پروتئین دانه

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش می‌یابد (مارشنر، 2011). محمود سلطانی و همکاران (2016) نشان دادند که با کاربرد تیمارهای روی محتوای پروتئین دانه کامل، سبوس و برنج سفید به ترتیب 12/3، 8 و 27 درصد افزایش یافته و محتوای روی برنج سفید به طورمعنی داری با محتوای پروتئین دانه سفید (0/91**) همبستگی دارد. همچنین فاگریا و همکاران (2011) در مطالعات خود نشان دادند که با افزایش محتوای روی بدون توجه به نوع روش مصرف (مخلوط با خاک یا محلول‌پاشی) به دلیل افزایش جذب روی توسط ریشه و یا اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و خوشه) بر محتوای پروتئین دانه افزوده می‌شود، چراکه عنصر روی یک عنصر مهم و ضروری هم از نظر ساختار پروتئین و هم از نظر فعال‌سازی آنزیم‌های مؤثر بر تولید پروتئین هستند.

رگرسیون و همبستگی خطی بین محتوای روی در اندام-های گیاهی در مراحل مختلف رشد برنج

ضریب‌های همبستگی خطی بین محتوای روی در اندام‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد برنج و همچنین محتوای پروتئین دانه در جدول 5 نشان داده شده است. بیشترین ضریب همبستگی خطی بین محتوای روی دانه با محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه (0/58**)، محتوای روی در ریشه در مرحله گلدهی (0/55**)، و محتوای روی در برگ در مرحله رسیدن دانه (0/52**)، محتوای روی در ریشه در مرحله رسیدن دانه (0/49**) و محتوای روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (0/42**) بدست آمده است. این در حالیست که محتوای پروتئین دانه به ترتیب با محتوای روی دانه (0/68**)، محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه (0/64*) و محتوای روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (0/64**) همبستگی مثبت و با محتوای روی ریشه در مرحله رسیدن دانه (0/58**) بیشترین همبستگی خطی را داشته است. در بین محتوای روی در اندامهای مختلف برنج در مراحل مختلف رشد بیشترین ضریب همبستگی خطی به ترتیب بین محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه با محتوای روی در برگ درهمین مرحله (0/69**)، محتوای روی درساقه و برگ در مرحله گلدهی (0/65**)، محتوای روی ساقه در مرحله رسیدن دانه با محتوای روی در برگ در مرحله گلدهی (0/45**) و میزان محتوای روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه با محتوای روی در ریشه در مرحله گلدهی (0/45**) می-باشد (جدول 4).

جدول 5- ضرایب همبستگی خطی بین محتوای روی در اندام‌های گیاه برنج در مراحل گوناگون رشد

	ZL1	ZS1	ZR1	ZL2	ZS2	ZR2	ZL3	ZS3	ZR3	ZSP3	GZ	GP
ZL1	1											
ZS1	0/14	1										
ZR1	0/24	0/01	1									
ZL2	-0/17	-0/10	0/02	1								
ZS2	0/19	0/09	0/14	0/65**	1							
ZR2	0/16	-/10	0/26	0/19	0/23	1						
ZL3	0/24	0/25	0/11	0/42*	0/61**	0/38*	1					
ZS3	0/01	0/01	0/23	0/45**	0/49**	0/45**	0/51**	1				
ZR3	-0/07	0/25	0/17	0/13	0/12	0/35*	0/39*	0/26	1			
ZSP3	0/12	0/10	/21	0/23	0/31	0/23	0/69**	0/38*	0/46**	1		
GZ	0/22	-0/04	/23	0/16	0/27	0/55**	0/52**	0/42*	0/49**	0/58**	1	
GP	0/22	0/16	0/09	0/20	0/35**	0/34*	0/64**	0/23	0/58**	0/64**	0/65**	1

Z ، L ، S ، R ، P ، G به ترتیب عبارتند از روی، برگ، ساقه، ریشه، خوشه و دانه؛ 1، 2 و 3 به ترتیب مرحله پنجه زنی، گلدهی و رسیدن دانه؛ ns، *، ** به ترتیب عبارتند از عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال 5% و معنی‌داری در سطح احتمال 1%

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 6 - ضرایب معادله رگرسیون خطی بین مقدار روی و پروتئین دانه با سایر صفات

صفت اصلی	اجزای معادله	اجزای معادله	ضرائب	معنی داری تصحیح شده معادله R	
روی دانه (GZ)	(Constant)	ضریب ثابت معادله	3/35	0/49	0/001
	ZP3	مقدار روی در خوشه مرحله رسیدن دانه	0/06		0/001
	ZR2	مقداروی برگ مرحله گلدهی	0/15		0/001
پروتئین دانه (GP)	(Constant)	ضریب ثابت معادله	9/46		0/000
	GZ	مقدار روی دانه	0/043		0/028
	ZL3	مقداروی دربرگ مرحله رسیدن دانه	0/004	0/56	0/01
	ZR3	مقداروی ریشه در مرحله رسیدن دنه	0/013		0/04

رابطه شماره 1 $GZn=3.35+ 0.06\ ZP3 + 0.15\ ZR2$

رابطه شماره 2 $GP= 9.46+ 0.043\ GZ + 0.043ZL3+0.013ZR3$

اثر متقابل مقادیر عنصر روی در اندام‌های مختلف گیاه برنج در مراحل مختلف رشد با محتوای روی و پروتئین برنج سفید با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی گام به گام نشان می‌دهد که متغیرهای محتوای روی در خوشه در مرحله پرشدن دانه و محتوای روی در ریشه در مرحله گلدهی رابطه معنی‌داری با محتوای روی برنج سفید داشتند .این دو متغیر بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده 49 درصد از تغییرات محتوای روی در برنج سفید را تشریح می‌نمایند (جدول 6). در میان این متغیرها محتوای روی در خوشه در مرحله پرشدن دانه بیش‌ترین سهم را در تغییرات مقدار روی در برنج سفید در این مدل داشته و به نظر می‌رسد این متغیر مناسبترین و دردسترس‌ترین منبع تغذیه روی برای افزایش روی در دانه و نهایتاً برنج سفید می‌باشد. نتایج مطالعات فیفر و مک کلافرتی (2007)، وایت و بروادلی (2009) و محمود سلطانی و همکاران(2017) نشان دادند که روی جذب شده تو سط گیاه برنج در مراحل پیش از رسیدن دانه در اندام‌های مختلف گیاه برنج ذخیره و در مرحله رسیدن دانه بهمراه روی جذب شده به دلیل انتقال مجدد این عنصر توسط برگ و ساقه به نقاط مورد نیاز مانند خوشه در مرحله گلدهی، و خوشه ودانه در زمان پرشدن آن منتقل می‌شود. بنابراین انباشت روی در خوشه در زمان رسیدن دانه امری بدیهی بوده و بهمین دلیل محتوای روی در دانه از محتوای روی در خوشه در مرحله پرشدن دانه تأثیر بیشتر می‌پذیرد (رابطه 1).

همچنین مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی گام به گام برازش داده شده بین محتوای پروتئین برنج سفید و سایر مقادیر روی در بافت‌های گیاه برنج در مراحل گوناگون رشد (جدول 5) حاکی از این است که متغیرهای محتوای روی در دانه، محتوای روی برگ و ریشه در مرحله پرشدن دانه رابطه معنی‌داری با محتوای پروتئین دانه داشته و به نظر می‌رسد این سه متغیر بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده56 درصد از تغییرات محتوای پروتئین در برنج سفید را تشریح می‌نمایند. در میان این متغیرها محتوای روی در دانه بیش‌ترین سهم را در تغییرات مقدار پروتئین در برنج سفید در این مدل داشته و به نظر می‌رسد این متغیر مناسبترین و دردسترس ترین منبع تغذیه روی برای افزایش پروتئین در دانه و نهایتاً برنج سفید می‌باشد. نتایج تحقیقات نشان داده است که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد. در نتیجه سنتز پروتئین با کاهش مواجه می¬شود. بنابراین در صورت در دسترس بودن روی برای غلات، درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد (مارشنر، 2011). محمود سلطانی و همکاران (2016) نشان دادند که با کاربرد تیمارهای روی محتوای پروتئین دانه کامل، سبوس و برنج سفید به ترتیب 12/3، 8 و 27درصد افزایش یافته و محتوای روی برنج سفید به طورمعنی‌داری با محتوای پروتئین دانه سفید (**0/91) همبستگی دارد. همچنین فاگریا و همکاران (2011) در مطالعات خود نشان دادند که با افزایش محتوای روی بدون توجه به نوع روش مصرف (مخلوط با خاک یا محلول¬پاشی) به دلیل افزایش جذب روی توسط ریشه و یا اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و خوشه) بر محتوای پروتئین دانه افزوده می‌شود، چراکه عنصر روی یک عنصر مهم و ضروری هم از نظر ساختار پروتئین و هم از نظر فعال سازی آنزیم‌های مؤثر بر تولید پروتئین هستند.

نتیجه‌گیری

علی رغم مطالعات بسیار در خصوص تأثیر کاربرد جداگانه مصرف خاکی و محلول¬پاشی روی برگیاه برنج، کارهای بسیارکمی در زمینه پراکنش روی در

www.SID.ir

Archive of SID

اندام‌های مختلف برنج و کمیت و کیفیت دانه (روی و پروتئین بیشتر) تحت تأثیر همزمان مصرف خاکی و محلول¬پاشی روی انجام شده است. نتایج نشان داد که اگرچه میزان عملکرد دانه (4283 کیلوگرم در هکتار) (32 درصد بیشتر از شاهد) و زیست توده (7213 کیلوگرم در هکتار) از نظر عددی در تیمار 20 کیلوگرم در هکتار بیشتر است ولی به دلیل عدم معنی‌داری مصرف 10 کیلوگرم در هکتار از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است. همچنین به نظر می‌رسد هر چه محلول‌پاشی به مرحله رسیدن دانه نزدیکتر باشد تأثیر بیشتری بر افزایش عملکرد دارد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان افزایش روی در برگ در مرحله رسیدن دانه در بین اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی متعلق به تیمار 20 کیلوگرم روی در هکتار و در حدود دو برابر نسبت به شاهد، در اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف مربوط به محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی و در حدود سه برابر نسبت به شاهد و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای روی برگ در مرحله گلدهی به میزان دو و نیم برابر نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 20 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی می‌باشد.

همچنین بیشترین میزان افزایش روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه در بین اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی متعلق به تیمار 20 کیلوگرم روی در هکتار و در حدود 72/45 درصد نسبت به شاهد، در اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف مربوط به محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی و در حدود 24/77 نسبت به شاهد و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای روی ساقه در مرحله گلدهی به میزان 27/60 درصد نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 10 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله پنجه زنی می‌باشد. بیشترین میزان افزایش روی در ریشه در مرحله رسیدن دانه در بین اثر ساده عامل مصرف خاکی کود سولفات روی متعلق به تیمار 20 کیلوگرم روی در هکتار و در حدود 2 برابر نسبت به شاهد، در اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف مربوط به محلول¬پاشی در مرحله گلدهی و در حدود 2/5 برابر نسبت به شاهد و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین مقدار روی ریشه در مرحله گلدهی به میزان 99/27 میلی گرم در کیلوگرم مربوط به ترکیب تیماری 10 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله گلدهی می‌باشد. همچنین کاربرد 20 کیلوگرم روی در هکتار (در بین تیمارهای کاربرد خاکی) سبب بیشترین میزان افزایش محتوای روی خوشه در مرحله رسیدن دانه و در حدود 2/46 برابر در مقایسه با شاهد شده است. در بین اثر ساده عامل محلولپاشی در مراحل مختلف بیشترین میزان افزایش در حدود 3/58 برابر نسبت به شاهد و در محلول¬پاشی مرحله رسیدن دانه بدست آمده و در اثر متقابل تیمارها نیز بیشترین افزایش در محتوای روی خوشه به میزان 5 برابر نسبت به شاهد مربوط به ترکیب تیماری 10 کیلوگرم روی در هکتار و محلول¬پاشی در مرحله گلدهی می‌باشد. بیشترین ضریب همبستگی خطی بین محتوای روی دانه با محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه (0/58**) بدست آمده است. این در حالیست که محتوای پروتئین دانه به ترتیب با محتوای روی دانه (0/68**)، محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه (0/64*) و محتوای روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (0/64**) همبستگی مثبت داشته است. بیشترین ضریب همبستگی خطی به ترتیب بین محتوای روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه با محتوای روی در برگ در همین مرحله (0/69**)، محتوای روی درساقه و برگ در مرحله گلدهی (0/65**)، محتوای روی ساقه در مرحله رسیدن دانه با محتوای روی در برگ در مرحله گلدهی (0/45**) و محتوای روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه با محتوای روی در ریشه در مرحله گلدهی (0/45**) می‌باشد.

همچنین مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی گام به گام برازش داده شده بین محتوای پروتئین برنج سفید و سایر مقادیر روی در بافت های گیاه برنج در مراحل گوناگون رشد حاکی از این است که متغیرهای محتوای روی در دانه، محتوای روی برگ و ریشه در مرحله پرشدن دانه رابطه معنی‌داری با محتوای پروتئین دانه داشته و این دو متغیر بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده56 درصد از تغییرات محتوای پروتئین در برنج سفید را تشریح می-نمایند. با توجه به نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد کاربرد خاکی 20 کیلوگرم روی و محلول¬پاشی در مراحل گلدهی برای دست‌یابی به اهداف تعیین شده بسیار کارایی دارد. برای دست یابی به نتایج دقیق تر پیشنهاد می‌شود اثر کاربرد عنصر روی (با روش ها و غلظت‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر) بر فتوسنتز و پارامترهای وابسته به شاخص‌های فتوسنتزی در گیاه برنج، جذب سایر عناصر غذایی (مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و محتوای اسید فیتیک دانه ارقام برنج هاشمی (محلی) گیلانه (اصلاح شده) نیزمورد ارزیابی قرار گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع:

1. چاکرالحسینی، م.ر.، ر. محتشمی و ح. اولیایی.1388. بررسی اثرات میزان، منبع و روش مصرف کود روی بر صفات کمی و کیفی برنج زراعی رقم چرام 1. مجله پژوهش در علوم کشاورزی 5 (1): 43-33.
2. حسین زاده، س.ج.، ع.م. مهدوی دامغانی، ب. دلخوش و س. دستان. 1393. بررسی اثر سولفات روی بر برخی شاخص های کیفی و غلظت روی دانه برنج رقم شیرودی. یافته های نوین کشاورزی.8 (3): 227-219.
3. رمضانی، ا.، ع. سروش زاده و م. صلحی.1395. اثر سیستم‌های کشت و تغذیه برگی با کود روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و آب مصرفی برنج. تحقیقات غلات.6(1):55-43.
4. Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemistry and Health, 31(5), pp.537-548.
5. Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I. and A. Lux. 2007. Zinc in plants. New phytologist, 173(4), pp.677-702.
6. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. Plant and soil, 302(1-2), pp.1-17.
7. Chaudhary, S.K., and N.K. Sinha. 2007. Effect of levels of nitrogen and zinc on grain yield and their uptake in transplanted rice. Oryza, 44(1), p.44 .
8. Dobermann, A., and T.H. Fairhurst. 2000. Nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute: Singapore.
9. F.A.O. 2018. Rice market monitor. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations: Rome.
10. Fageria, N.K., Baligar, V.C., and R.B. Clark. 2002. Micronutrients in crop production. In Advances in Agronomy (Vol. 77, pp. 185-268). Academic Press.
11. Fageria, N.K., Santos, A.B., and T. Cobucci. 2011. Zinc nutrition of lowland rice. Communication in Soil Science and Plant nutrition, 42: 1719- 1727.
12. Graham, R.D., Welch, R.M., Saunders, D.A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis, H.E., Bonierbale, M. De, Haan, S., Burgos, G., Thiele, G., and R. Liria. 2007. Nutritious subsistence food systems. Advanced Agronomy, 92: 1-74.
13. Graham, R., Senadhira, D., Beebe, S., Iglesias, C. and L. Monasterio. 2001. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. Field crops research, 60 (1-2), pp.57-80.
14. Graham, R. D., Welch, R. M., Saunders, D. A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis, H. E., Bonierbale, M., and Meisner, C. A. 2007. Nutritious subsistence food systems. Advances in Agronomy, 92, 1-74.
15. Gupta, U.C., and Y.P. Kalra. 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), pp.2505-2511.
16. Hussain, S., Maqsood, M.A., Rengel, Z., and T. Aziz. 2012. Bio-fortification 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.
17. Jiang, W., Struik, P.C., Van Keulen, H., Zhao, M., Jin, L.N., and T.J. Stomph. 2008. Does increased zinc uptake enhance grain zinc mass concentration in rice? Annals of Applied Biology, 153(1): 135-147.
18. Jiang, W., Struik, P.C., Lingna, J., Van Keulen, H., Ming, Z., and T.J. Stomph. 2007. Uptake and distribution of root-applied or foliar-applied 65Zn after flowering in aerobic rice. Annals of Applied Biology, 150(3), pp.383-391.
19. Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M., and J.M. Duxbury. 2005. A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of

www.SID.ir

Archive of SID

chickpea (Cicer arietinum), lentil (Lens culinaris), rice (Oryza sativa) and wheat (Triticum aestivum) in Nepal. Experimental Agriculture, 41(4), pp.427-448.

20. Kabeya, M. J., and A. Shankar. 2013. Effect of different levels of zinc on growth and uptake ability in rice zinc contrast lines (Oryza Sativa L.). Asian J. Plant Sci. Res, 3(3), 112-116.
21. Khan, M.U., Qasim, M., and M. Jamil. 2002. Response of rice to zinc fertilizer in calcareous soils of DI Khan. Asian J Plant Sci, 1, pp.1-2.
22. Khayri, N., Ajamnowroozi, H., Torabi, B., and H.R. Mobser. 2017. The evaluation of nano- particle of Zinc and Silicon foliar and soil broad application on some physiological characters of rice (Oryza Sativa L.). Plant Environmental Physiology, (84)18-25.
23. Khoshgoftarmanesh, A.H., Sadrarhami, A., Sharifi, H.R., Afiuni, D., and R. Schulin. 2009. Selecting zinc-efficient wheat genotypes with high grain yield using a stress tolerance index. Agronomy journal, 101(6), pp.1409-1416.
24. Mahmoud Soltani S, Mohamed, M.H., Samsuri, A., Syed, M., and K. Sharifah. 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.
25. Mahmoud Soltani, S. 2018. Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. Technical Bulletin. Rice research institute of Iran.31p .
26. Mahmoud Soltani, S., Hanafi, M.M., Samsuri, A.W., Muhammed, S.K.S., and M.A. Hakim. 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.
27. Mahmoud Soltani, S., Mohamed, M.H., Abdul, W.S., and K. Sharifah. 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.
28. Mahmoud Soltani, 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.
29. Mandal, B., Hazra, G.C. and L.N. Mandal. 2000. Soil management influences on zinc desorption for rice and maize nutrition. Soil Science Society of American Journal, 64: 1699-1705.
30. Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press .
31. Muthukumararaja, T.M., and M.V. Sriramachandrasekharan. 2012. Effect of zinc on yield, zinc nutrition and zinc use efficiency of lowland rice. Journal of Agricultural Technology, 8 (2): 551-561.
32. Naik, S.K. and D.K. Das. 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.
33. Nathan, A.S., Gbur, E.E., Jr, C.E., Wilson, J. and R.J. Norman. 2005a. Rice response to granular zinc Sources Varying in Water-Soluble Zinc. Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 2. 443-452.
34. Nathan, A.S., Norman, R.J. and C.E. Wilson. 2005b. Effect of zinc source and application time on zinc uptake and grain yield of flood-irrigated rice. Agron. J. 97: 272-278.
35. Palmgren, M.G., Clemens, S., Williams, L.E., Kramer, U., Borg, S., Schjørring, J. K. and D. Sanders. 2008. Zinc bio-fortification of cereals: problems and solutions. Trends in Plant Sciences, 13: 464 – 473.
36. Pfeiffer, W.H., and B. McClafferty. 2007. Harvest Plus: breeding crops for better nutrition. Crop Science, 47: 88-105.
37. Phattarakul, N., Mongon, J., and B. Rerkasem. 2011. Variation in rice grain zinc and their response to zinc fertilizer. In 3rd International Zinc Symposium. pp. 10-14.

www.SID.ir

Archive of SID

38. Rahman, K.M., Chowdhury, M.A.K., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A. and G.C. Biswas. 2011. Effect of zinc and phosphorus on yield of Oryza sativa (cv. br-11). Bangladesh Res. Pub. J, 5(4), pp.315-358.
39. Rehman, H.U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A. and Z. Rengel. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant and soil, 361(1-2), pp.203-226.
40. Stomph, T.J., Hoebe, N., Spaans, E., and P. Van der Putten. 2011. The relative contribution of post-flowering uptake of zinc to rice grain zinc density. 3rd International Zinc Symposium, Hyderabad, India.
41. Stomph, T.J., Jiang,W., and P.C. Struik. 2009. Zinc bio-fortification of cereals: rice differs from
42. Stomph, T., Jiang, W., Putten, P.V.D., and P.C. Struik. 2014. Zinc allocation and re-allocation in rice. Frontiers in plant science, 5, p.8.
43. Tonini, A., and E. Cabrera. 2011. Opportunities for global rice research in a changing world (No. 2215-2019-1630.(
44. Welch, R.M., and R.D. Graham. 2000. A new paradigm for world agriculture: productive, sustainable, nutritious, healthful food systems. Food and Nutrition Bulletin, 21(4), pp.361-366.wheat and barley. Trends in Plant Sciences, 14(3): 123-124.
45. White, P.J., and M.R. Broadley. 2009. Bio-fortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. New Phytology, 182: 49-84.
46. Wu, C.Y., Lu, L.L., Yang, X.E., Feng, Y., Wei, Y.Y., Hao, H.L., Stoffella, P.J., and Z.L. He. 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.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Soil and Foliar Application of Zinc Sulfate Fertilizer on Zn and Protein Content of Grain, and Zn Content of Rice Tissues at Different Growth Stages

S. Mahmoud Soltani[1], M. Allagholipoor, M. Shakoori Katigari, M. Paykan, H. Shabanzadeh, A. Attar, A. Poorsafar Tabalvandi, and F. Keshtekar

Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and extension Organization, Rasht, Iran; E-mail: shmsoltani@gmail.com

Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and extension Organization, Rasht, Iran; E-mail: mehrzadallahgholipour@yahoo.com

Lab Staff, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and extension Organization, Rasht, Iran; E-mail: maryamshakouri@ymail.com; m.paykan@yahoo.com; a.attar@yahoo.com; shabanzadeh.hamidreza@yahoo.com; alipoursafar7@gmail.com; fateme.keshtkar@yahoo.com

Received: May, 2020 and Accepted: October, 2020

Abstract

Although there are numerous studies on the effect of soil and foliar application of Zn on rice yield, knowledge on Zn distribution in rice tissues through simultaneous soil and foliar application of Zn is limited. Therefore, The current experiment was conducted to explore the effect of soil and foliar application of zinc sulfate fertilizer on Zn and protein content of grain, and Zn content of rice (*Oryza Sativa* L.) tissues at different growth stages of Hashemi local cultivar. This filed experiment was carried out on two factors (soil application of Zn at three levels and foliar application of Zn at four levels) using complete randomized block design with three replications. The maximum grain yield (4283 kg ha^{-1}) was recorded at simultaneous application of 20 kg Zn ha^{-1} (basal soil application) with foliar application of Zn solution at ripening stage, giving 32% increase compared to the control (2915 kgha^{-1}). The highest increase in leaves and stems Zn content (2 times) was recorded at the combined treatments (10 kg Zn ha^{-1} and foliar spray at the maximum tillering stage). Also, the maximum increase in panicle and rice grain Zn (around 2.5 times) was obtained by application of 10 kg Zn ha^{-1} and foliar spray at the flowering stage. The highest linear correlation coefficient was found between grain and panicle Zn content (0.58**). Meanwhile, the grain protein content positively correlated with grain Zn content (0.68**), panicle Zn content (0.64**) and Zn content of stem (0.64**). Among the aerial parts, the highest linear correlation coefficient was found between Zn content of panicle and leaves at ripening stage (0.69**), Zn content of leaves and stems at flowering stage (0.65**), Zn content of stems at ripening stage and root Zn content at flowering stage (0.45**). The fitted stepwise multiple regression analysis among protein content of rice grains and Zn content of all rice tissues at different rice growth stages indicated that grain Zn content, Zn content of leaves and stems at ripening stage had positive significant relationship with protein content of grains. According to adjusted coefficient of determination, these characters demonstrated 56% of protein content variations. It can be concluded that soil application of 20 kg Zn ha^{-1} in combination with Zn foliar application of 0.5% Zn sulfate at flowering stage of rice plant enhance grain yield and quality.

Keywords: *Oryza Sativa* L., Rice grain protein , Rice yield, Grain quality

[1]. Corresponding author: Soil and Water Research Department, Rice research Institute of Iran, Rasht, Iran

www.SID.ir