

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات برنج کشور

تکنگاشت

تغذیه روی در سیستم‌های کشت برنج

نگارنده:

دکتر شهرام محمودسلطانی
عضو هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور

تابستان ۱۳۹۷

نشریه‌ی شماره‌ی ۳۱

حق چاپ برای موسسه‌ی تحقیقات برنج کشور محفوظ است.

انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور

عنوان نشریه: تغذیه روی در سیستم‌های کشت برنج

نگارنده: شهرام محمودسلطانی

ناشر: انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور

ویراستاران علمی: الهیار فلاح، محمد محمدیان، تیمور رضوی‌پور، محمدحسین داوودی، صاحب
سودایی مشایی

ویراستار ادبی: مهدی جلائیان

صفحه آرای: شهربانو حمیدزاده و فاطمه فرح‌دهر

طراحی جلد: محمدرضا عابدینی

چاپ اول: ۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۵۰۰۰ تومان

شماره‌ی ثبت: ثبت در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به شماره‌ی ۵۳۵۹۸ و تاریخ ۹۷/۰۳/۰۹ می‌باشد.

نشانی: رشت، کیلومتر ۵ جاده تهران، موسسه تحقیقات برنج کشور، صندوق پستی: ۱۶۵۸، کد پستی: ۴۱۹۹۶-۱۳۴۷۵

تلفن: ۰۱۳۳۳۶۹۰۰۵۲، دورنگار: ۰۱۳۳۳۶۹۰۰۵۱، وبسایت: <http://berenj.areeo.ac.ir>

مسئولیت صحت مطالب با نویسنده است.

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۳	۱- پیشگفتار
۳	۲- مقدمه
۶	۳- زیست‌شناسی گیاهی روی
۶	۳-۱- آنزیم و سنتز پروتئین
۷	۳-۲- یکپارچگی ساختاری و عملکردی غشاء پلازما
۷	۳-۳- تقسیم سلولی و تولیدمثل
۷	۳-۴- فتوسنتز
۸	۴- روی در خاک و پویایی آن در سیستم‌های تولید برنج
۸	۴-۱- سیستم کشت غرقابی سنتی
۱۰	۴-۲- کشت هوازی
۱۱	۴-۳- تناوب خشکی و رطوبت
۱۲	۵- روش‌های مصرف کود روی
۱۲	۵-۱- مصرف خاکی روی (اختلاط با خاک)
۱۷	۵-۲- تیمار بذر یا آغشته کردن بذر با کود روی
۱۹	۵-۳- محلول‌پاشی کود
۲۰	۵-۴- فرو بردن ریشه نشاء در محلول‌های حاوی عنصر روی
۲۱	۶- اثر متقابل روی با نیتروژن و فسفر
۲۳	۷- نقش همزیست‌های قارچ ریشه (قارچ‌های میکوریزا)
۲۳	۸- روش‌های زراعی برای مدیریت روی در سیستم‌های تولید برنج
۲۳	۸-۱- عملیات شخم (خاک‌ورزی)
۲۴	۸-۲- تناوب و دوکشتی (کشت مخلوط) محصولات کشاورزی
۲۴	۸-۳- کود دامی
۲۵	۸-۴- روش‌های اصلاحی
۲۵	۸-۵- روش‌های مولکولی
۲۷	۹- پژوهش‌های آینده
۲۸	منابع

۱- پیشگفتار

کمبود روی (Zn) یکی از عوامل غیر زنده‌ی مهم محدود کننده‌ی بهره‌وری برنج در سراسر جهان بوده و همچنین به‌عنوان یک ناهنجاری تغذیه‌ای شناخته شده است که به‌طور وسیعی بر سلامت انسان تاثیر منفی دارد. با توجه به اینکه برنج غذای اصلی مردم در بسیاری از کشورها است بنابراین مطالعه بر روی پویایی یا دینامیک روی و مدیریت آن در خاک‌های شالیزاری از اهمیت زیادی برخوردار است.

تغییرات جهانی آب و هوا تولیدکنندگان برنج را مجبور به تغییر در شرایط کاشت برنج از روش‌های سنتی در خاک‌های غرقاب به کشت‌هایی با صرفه‌جویی در آب از جمله کشت برنج هوازی و سیستم‌های مبتنی بر آبیاری تناوبی (خشک و تر کردن) نموده است. با تغییر خواص خاک ناشی از تغییر مدیریت آب و خاک، حلالیت و قابلیت جذب عنصر روی برای گیاه نیز تحت تاثیر قرار گرفته و این موضوع باید در مدیریت روی در اراضی شالیزاری در نظر گرفته شود. در این مجموعه، نقادانه به نقش روی در زیست‌شناسی گیاهی و پویایی آن در سیستم‌های کشت برنج پرداخته و تلاش شده است تا راهکارهای مناسب برای رفع کمبود روی بررسی گردد. همچنین تلاش گردید تا راهکارهایی برای بهبود جذب روی و راندمان بخش‌بندی^۱ روی در اندام‌های گیاه برنج با استفاده از روش‌های به‌زراعی، به‌نژادی و بیوتکنولوژی ارائه شود.

اگرچه در شرایط عادی برای تامین عنصر روی در خاک به‌طور گسترده‌ای از کودهای معدنی روی استفاده می‌شود، اما تامین آن از طریق کودهای آلی علی‌رغم هزینه‌ی بیشتر، از دیدگاه زیست‌محیطی مناسب‌تر خواهد بود. روش‌های دیگری نیز برای تامین این عنصر برای گیاه برنج وجود دارد که از جمله‌ی آنها می‌توان آغشته کردن بذر با کود روی قبل از بذریابی، محلول پاشی و استفاده از قارچ‌های همزیست مایکوریزا را نام برد. روش‌های سنتی اصلاح ارقام برنج همراه با روش‌های ژنومی^۲ مدرن و بیوتکنولوژی از دیگر ابزارهایی است که می‌توانند به توسعه‌ی ارقام برنج با راندمان جذب روی بهتر کمک نمایند. اگرچه بهتر است این روش‌ها با کاربرد عاقلانه‌ی کود روی برای بهینه‌سازی عملکرد و مقدار روی در دانه‌ی برنج همراه گردد.

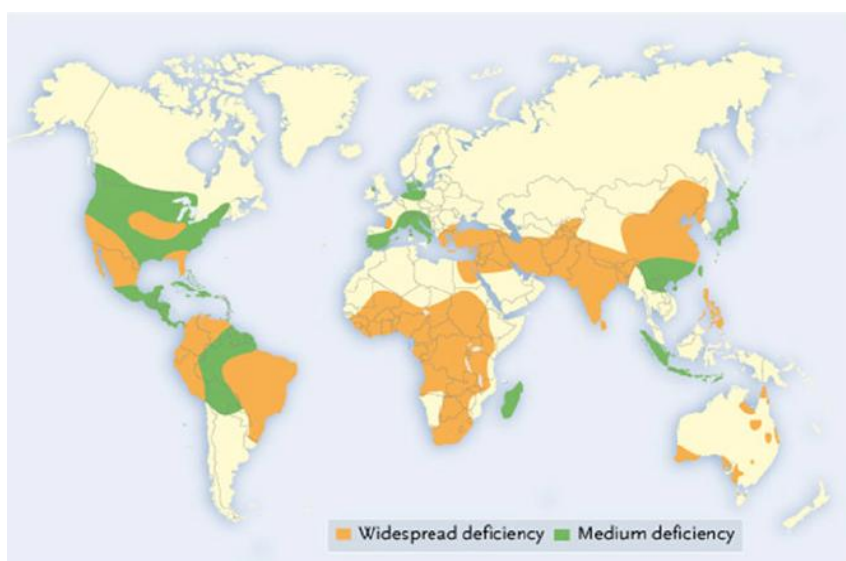
۲- مقدمه

برنج^۳ یکی از غذاهای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان است. این گیاه در بیش از ۱۰۰ کشور که عمدتاً آسیایی هستند، کشت می‌شود. برنج ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز جمعیت‌های انسانی در سطح جهان را فراهم می‌کند (دپار و همکاران، ۲۰۱۱). برای تغذیه‌ی جمعیت در حال افزایش جهان، که تخمین زده می‌شود به بیش از ۱۰ میلیارد نفر تا پایان این قرن برسد (لال، ۲۰۰۹)، شدیداً به افزایش تولید برنج در واحد سطح نیاز است (ون گربرم و همکاران، ۲۰۰۸). اگرچه ارقام پرمحصول

1. Compartmentation
2. Genomic
3. *Oryza sativa* L.

بسیاری معرفی شده‌اند، ولی همچنان یک شکاف بزرگ بین عملکرد در زمین کشاورزان و ایستگاه‌های تحقیقاتی در کشورهای در حال توسعه وجود دارد که نشان می‌دهد علاوه بر آب آبیاری کافی، عرضه‌ی متعادل عناصر پرمصرف و کم مصرف برای پرکردن این شکاف عملکردی حیاتی است.

پس از نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K)، کمبود روی (Zn) یکی از گسترده‌ترین عوامل مهم کاهش عملکرد (بین ۲۰ تا ۸۰ درصد) در برنج است (فاگریا و همکاران، ۲۰۰۲). علائم کمبود روی در برنج برای اولین بار در خاک‌های آهکی شمال هند مشاهده شد (نه نه، ۱۹۶۶). در سطح جهانی، بیش از ۳۰ درصد خاک‌ها (شکل ۱)، دارای روی قابل جذب کمی برای گیاهان هستند (آلوی، ۲۰۰۸).



کمبود گسترده

کمبود متوسط

شکل ۱- توزیع جغرافیایی مناطق با کمبود روی در جهان (آلوی، ۲۰۰۷)

به طور کلی غلات در مقایسه با حبوبات به کمبود روی حساس‌تر بوده و در مواجهه با کمبود روی عملکرد و کیفیت دانه‌ی آن‌ها افت بیشتری می‌کند (چک مک و همکاران، ۱۹۹۹). با این حال فراوانی کمبود روی در برنج از سایر محصولات زراعی بیشتر است (بیش از ۵۰ درصد از ناهنجاری‌های تغذیه‌ای ناشی از کمبودها در سراسر جهان به کمبود روی اختصاص دارد (فاگریا و همکاران، ۲۰۰۲). از این رو، کمبود روی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های تغذیه‌ای در محدود کردن تولید برنج در آسیا در سال‌های اخیر بوده است. گیاهانی که در خاک‌های با روی قابل جذب کم رشد می‌کنند به‌طور کلی عملکرد کم‌تر و کیفیت دانه‌ی نامناسب‌تری دارند (ولش و گراهام، ۱۹۹۹). به‌عنوان مثال، کاهش معنی‌داری (۸۰ درصد) در مقدار روی موجود در دانه در غلات کشت شده در خاک‌های با روی قابل جذب کم مشاهده شده است (چک مک و همکاران، ۱۹۹۷). همچنین کاهش غلظت روی در دانه سبب کاهش فراهمی زیستی

آن در انسان شده و ممکن است به کمبود روی در جمعیت‌های انسانی حساس منجر شود (حسین و همکاران، ۲۰۱۲). در واقع، کمبود روی در غذای جوامع بشری، در حال تبدیل شدن به یکی از مشکلات عمده‌ی بهداشت عمومی در بسیاری از کشورها، به‌ویژه در کشورهایی که مردم آن به مواد غذایی مبتنی بر غلات وابسته هستند، می‌باشد (چک‌مک، ۲۰۰۸).

به تازگی، بحران آب باعث شده است که کشاورزان برای صرفه جویی در مصرف آب آبیاری، به جای استفاده از روش کشت غرقابی درشالیزار به استفاده از کشت هوازی برنج و روش‌های کم آبیاری مانند خشک و تر کردن خاک تمایل پیدا کنند (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱). اگرچه توجه به این نکته‌ی مهم ضروری است که روش‌های استفاده از کشت برنج با آب کم‌تر ممکن است قابلیت فراهمی روی را کاهش دهد (ژائو و همکاران، ۲۰۰۶). برخی عوامل مهم و موثر بر کم‌شدن قابلیت جذب روی در مزارع برنج عبارتند از: pH بالای خاک، مقدار کربنات زیاد و پتانسیل اکسایش و کاهش پایین (آلوی، ۲۰۰۹).

وقوع گسترده‌ی کمبود روی در اراضی غرقابی سنتی (دوبرمن و فیرهورست، ۲۰۰۰) و شالیزارهای به‌تازگی توسعه یافته با سیستم‌های آبیاری مبتنی بر تر و خشک کردن متناوب و یا برنج هوازی (ژائو و همکاران، ۲۰۰۶)، بهره‌برداری از روش‌های اصلاح ارقام برای افزایش جذب روی در این سیستم‌های تولید را ضروری می‌کند (سینق و همکاران، ۲۰۰۳). کاربرد کودهای روی در خاک‌های با کمبود روی یک استراتژی کلی برای مقابله با کمبود آن بوده (رنگل و همکاران، ۱۹۹۹) و به افزایش غلظت روی در دانه می‌انجامد (حسین و همکاران، ۲۰۱۲)؛ اما این رویکرد همیشه از دیدگاه اقتصادی مطلوب نبوده و ممکن است به مطالعات تکمیلی نیاز داشته باشد. این کارها به بهبود دائمی و مبتنی بر گیاه در جذب روی از طریق برنامه‌های اصلاحی منجر می‌شود. اگرچه در گذشته، توجه کمی به غنی‌سازی دانه‌ی غلات شده است، اما در حال حاضر غنی‌سازی زیستی محصولات زراعی عمده با عناصر کم‌مصرف (روی، آهن و ویتامین A) توسط یک گروه از مشاوران شاغل در تحقیقات بین‌المللی کشاورزی^۱ و از طریق برنامه‌ی هاروست پلاس^۲ هدف‌گذاری شده است (چک‌مک، ۲۰۰۸). وجود دامنه‌ی گسترده در غلظت روی در دانه‌ی ارقام برنج (۵۸/۴ - ۱۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم (یانگ و همکاران، ۱۹۹۸؛ گروگوریو، ۲۰۰۲؛ شی و همکاران، ۲۰۰۹) و همچنین تفاوت بین ژنوتیپ‌ها^۳ در پاسخ به کمبود روی، بر امکان‌پذیر بودن عملیات اصلاحی برای توسعه‌ی ارقام برنج با عملکرد بالا و میزان بالای روی در دانه در این سیستم‌های کشت برنج تاکید می‌کند (ولش، ۲۰۰۲). مطالعات بسیاری درباره‌ی تاثیر تغذیه‌ی روی بر عملکرد و کیفیت محصولات زراعی انجام پذیرفته که نتایج‌شان هم اکنون در دسترس ما قرار دارد (برودلی و همکاران، ۲۰۰۷؛ چک‌مک، ۲۰۰۸؛ آلوی، ۲۰۰۹؛ ژائو و همکاران، ۲۰۰۹؛ محمود سلطانی و همکاران، ۲۰۱۶). اگرچه هنوز نیاز است تا مطالعات مهم دیگری درباره‌ی پویایی روی در خاک و مدیریت آن در سیستم‌های مختلف تولید برنج انجام پذیرد.

در این نشریه به نقش روی در زیست شناسی گیاهی و پویایی آن در خاک سیستم‌های مختلف تولید برنج پرداخته و همچنین درباره‌ی بهره‌وری نسبی منابع مختلف و روش‌های مختلف مصرف کود روی در بهبود فراهمی روی در این سیستم‌ها بحث شده است. علاوه بر این، گزینه‌های مدیریت زراعی و اصلاح ارقام به منظور بهبود قابلیت جذب روی و مقدار روی در دانه‌ی برنج برای بهبود کمیت و کیفیت تغذیه‌ای دانه‌ی برنج ارائه شده است.

۳- زیست‌شناسی گیاهی روی

اهمیت روی به‌عنوان یک عنصر کم‌مصرف برای گیاهان زراعی اولین بار توسط سومر و لیپمن (۱۹۲۶) گزارش شده است. به‌طور کلی عنصر روی به‌صورت کاتیون دوظرفیتی (Zn^{2+}) و در pH بالای خاک (ممکن است) کاتیون یک‌ظرفیتی ($ZnOH^+$) آن توسط گیاه جذب می‌شود. جذب روی از طریق غشای پلاسمایی ریشه توسط یک حامل واسطه و به‌صورت انتقال فعال ثانویه انجام می‌پذیرد. انتقال عنصر روی توسط آنزیم‌های گروه روی- آهن پرمیاز جزء سیستم اولیه‌ی جذب در گیاهان بوده، اما از راه کانال پروتئین^۱ نیز ممکن است انجام پذیرد. با این حال، هنوز اینکه روی تا چه حد از طریق کانال‌های غشایی و انتقال خاص در سلول‌های ریشه رخ می‌دهد به‌خوبی روشن نیست (لی و همکاران، ۲۰۱۰a, b).

روی در تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و مکانیزم‌های سوخت و ساز آن مانند فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، متابولیسم‌های درگیر در تولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم باروری (تشکیل گرده) دخالت دارد (چانگ و همکاران، ۲۰۰۵). در بخش زیر به خلاصه‌ای از نقش روی در سیستم‌های گیاهی پرداخته شده است.

۳-۱- آنزیم و سنتز پروتئین

روی برای فعالیت تعدادی از پروتئین‌های گیاهی به‌دلیل نقش آن در تثبیت آن‌ها ضروری است. فوکس و گورینت (۱۹۹۸) گزارش نموده‌اند که روی برای عملکرد بیش از ۳۰۰ آنزیم مورد نیاز است. عنصر روی جزء بخش ساختاری کربنیک آنهیدراز، الکل آنهیدراز، مس/روی- سوپراکسید دیسموتاز و RNA پلیمرز بوده و به‌عنوان یک کوفاکتور در فعالیت آنزیم‌های شش‌گانه (اکسیدوردوکتازها، ترانسفرازها، هیدرولازها، لیازها، ایزومرازها و لیگازها) عمل می‌کند (برودلی و همکاران، ۲۰۰۷). تعدادی از مولکول‌های مرتبط با سنتز DNA و RNA جزء آنزیم‌های دارای فلز روی می‌باشند (برودلی و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین سنتز اکسین در گیاهان نیز توسط روی کنترل می‌شود (اسکوگ، ۱۹۴۰). از این‌رو، کمبود آن منجر به اختلال در رشد برگ و کوتاه شدن میانگرمه می‌شود (ارشاد و همکاران، ۲۰۰۴). محمود سلطانی و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۶) نشان دادند که با مصرف روی به صورت اختلاط با خاک میزان پروتئین کل و تمام

اسیدهای آمینه‌ی موجود در دانه به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته که حاکی از تاثیر عنصر روی در ساخت و ساز پروتئین دانه‌ی برنج می‌باشد.

۳-۲- یکپارچگی ساختاری و عملکردی غشاء پلازما

روی در حفظ یکپارچگی ساختاری و عملکردی غشاهای زیستی نقش ایفا می‌کند (صادق‌زاده و رنگل، ۲۰۱۱)، که این بیش‌تر به دلیل اتصال آن به ترکیبات دارای باندهای سولفوهیدریل می‌باشد (رنگل، ۱۹۹۵). عنصر روی به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از سوپراکسید مس / روی- دسموتاز در زدودن سمیت ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال دخالت داشته و از آسیب به چربی‌های غشایی و گروه‌های سولفوهیدریل در گیاهان در معرض کمبود روی جلوگیری می‌کند (چک مک، ۲۰۰۰a,b). توجه به این نکته نیز ضروری است که اختلال در غشاهای سلولی ناشی از کمبود روی (برخلاف آنچه در مورد کمبود کلسیم رخ می‌دهد) برگشت‌پذیر نیست (ولش و همکاران، ۱۹۸۲).

۳-۳- تقسیم سلولی و تولیدمثل

اکسین یکی از هورمون‌های تنظیم‌کننده‌ی رشد است که نقش کلیدی در تقسیم سلولی و ازدیاد طول گیاه بازی می‌کند (تیله و همکاران، ۲۰۰۶). توقف رشد، کوتاهی ارتفاع گیاه و ریزبرگی، متمایزترین علائم کمبود روی هستند که احتمالاً به دلیل تغییرات در متابولیسم اکسین، به‌ویژه ایندولیک-۳- استیک اسید به‌وجود می‌آیند (آلوی، ۲۰۰۳). براون و همکاران (۱۹۹۳) گزارش داده‌اند که افزودن روی به گیاه برنجی که در خاک آهکی رشد می‌کند به‌طور قابل‌توجهی سبب افزایش غلظت تریپتوفان (پیش‌ماده‌ی بیوسنتز IAA در دانه‌های برنج) می‌شود. علاوه بر این، گیاهانی که در معرض کمبود روی بوده‌اند با کاهش تولید گرده روبرو شده که در نهایت منجر به افزایش پوکی دانه می‌شود. همچنین روی بخشی جدایی‌ناپذیر از عوامل رونویسی ژنی در تکثیر و تمایز سلولی است (والیی و فالچوک، ۱۹۹۳).

۳-۴- فتوسنتز

روی یکی از عناصر سازنده‌ی کربنیک انهیدراز است که برای فعالیت ریبولوز ۱،۵- بی‌فسفات کربوکسیلاز/ اکسیژناز (روبیسکو) مورد نیاز بوده (استوری، ۲۰۰۷)، که آنزیمی فتوسنتزی بوده و سبب تسریع در انتشار گاز CO₂ از سلول به کلروپلاست می‌شود. گیاهان دچار کمبود روی در بیش‌تر مواقع غلظت کلروفیل برگ کم‌تری داشته که نشان‌دهنده‌ی آسیب به بازده کوانتومی ذاتی واحد فتوسیستم دو (PSII) می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۰۸a). این موضوع را می‌توان به کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و آسیب زیاد ناشی از تنش اکسیدی در کلروپلاست نسبت داد که به دلیل بستن مسیر انتقال انرژی از واحد فتوسیستم دو به یک رخ می‌دهد (چن و همکاران، ۲۰۰۹). آسیب‌هایی این‌چنینی به مراکز فتوسنتز، ظرفیت فتوسنتزی برگ را به‌دلیل کاهش تعداد واحد PS-II در واحد سطح برگ کاهش داده و در نهایت برگ‌ها را نسبت به آسیب‌های ناشی از نور حساس می‌کند (چن و همکاران، ۲۰۰۸b).

در گیاهان با کمبود روی، کاهش در جذب CO₂ از آسیب‌های اولیه‌ای است که در اثر آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن به دستگاه فتوسنتزی (ساساکی و همکاران، ۱۹۹۸) و کاهش

فعالیت روبیسکو (ساساکی و همکاران، ۱۹۹۸) بروز می‌کنند. با این حال، تجمع ساکاریدها در برگ (چک مک، ۲۰۰۰ a,b) به دلیل کاهش غلظت CO_2 و هدایت روزنه‌ای ممکن است یک دلیل احتمالی برای کاهش سرعت فتوسنتز تحت کمبود روی باشد.

۴- روی در خاک و پویایی آن در سیستم‌های تولید برنج

غلظت روی در خاک‌های مختلف به‌طور عمده به ترکیب مواد مادری آن‌ها، رسوبات جوی و فعالیت‌های انسانی (افزودن کودهای آلی، کودهای شیمیایی، لجن فاضلاب و مواد زائد صنعتی) بستگی دارد (آلوی، ۲۰۰۳). روی در اشکال شیمیایی گوناگون با حلالیت‌های مختلفی در خاک وجود دارد. این اشکال شامل روی محلول در آب، روی جذب شده در بخش‌های تبادلی (قابل تبادل)، روی متصل به مواد آلی، روی موجود در کانی‌های ثانویه یا سزکویی اکسیدها و روی موجود در ساختمان مواد معدنی اولیه می‌باشند (محمود سلطانی و همکاران، ۲۰۱۵). این شکل‌های گوناگون، حلالیت و فراهمی روی را برای گیاهان کنترل می‌کنند. ولی از بین همه‌ی این شکل‌ها، روی موجود در محلول خاک تنها شکلی از این عنصر است که به‌آسانی برای جذب در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. با این حال، روی جذب شده در نقاط تبادلی با روی محلول در حال تعادل بوده و قابلیت جذب روی را توسط واکنش‌های جذب و واجذب کنترل می‌کند. خصوصیات شیمیایی خاک مانند pH، پتانسیل اکسایش و احیا، مواد آلی، اکسیدهای خاک‌ساز و محتویات گوگرد خاک تاثیر بسیار زیادی بر این واکنش‌های جذب و واجذب داشته و نقشی حیاتی در تنظیم حلالیت روی و شکل‌های گوناگون آن در خاک بازی می‌کنند (آلوی، ۲۰۰۹؛ محمود سلطانی و همکاران، ۲۰۱۵). کمبود روی در خاک‌های قلیایی بسیار معمول بوده و فراهمی آن در این خاک‌ها رابطه‌ی معکوسی با pH خاک دارد. علاوه بر این، در خاک‌های آلی-پیت و خاک‌های شور ساحلی، اشباع خاک با آب عامل اصلی کمبود روی است (نئو و لانتین، ۱۹۹۴). میانگین غلظت روی محلول موجود در محلول خاک کم (4×10^{-6} تا 4×10^{-10} مول؛ باربر، ۱۹۹۵) و در خاک‌های آلوده نشده بین ۱۶۰-۱۷ میکروگرم بر کیلوگرم متغیر است (رید و مارتنز، ۱۹۹۶).

کشت برنج در بسیاری از نقاط جهان در حال گذار از شرایط غرقابی به کشت هوازی یا غیرغرقابی و تر و خشک کردن متناوب و سیستم‌های دیگری از کشت فشرده‌ی برنج است. این تغییر جهت به سمت کشت برنج با تاکید بر صرفه جویی در آب، محتوای آب خاک را کاهش داده، و انتظار می‌رود که عوامل خاکی موثر بر فراهمی روی برای گیاه برنج را نیز تغییر داده و تأثیر عمده‌ای بر تولید برنج در سیستم‌های مختلف داشته باشد. در بخش‌های زیر فراهمی روی و پویایی آن در سیستم‌های مختلف تولید برنج بحث شده است.

۴-۱- سیستم کشت غرقابی سنتی

اراضی کشت غرقابی عموماً جزء اراضی تحت آبیاری طبقه بندی شده و بیش‌تر آن‌ها در آسیا (تولیدکننده‌ی ۷۰ درصد برنج جهان) قرار دارند. آماده‌سازی زمین شامل غرقاب کردن و به‌دنبال آن شخم و گلخراپی خاک اشباع می‌باشد. زمین تحت شرایط غرقابی برای بخش عمده‌ای از فصل زراعی اشباع از آب

نگه داشته می‌شود (بومن و تونگ، ۲۰۰۱). کمبود روی در برنج پس از نشاء رخ داده و یک پدیده گسترده محدود کننده تولید در شالیزارهای اراضی پست است (نئو و لانتین، ۱۹۹۴). پس از غرقابی، مزارع برنج دچار تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی مختلفی شده که در تعیین مناسب بودن زمین برای تولید برنج بسیار مهم است. به‌طور کلی، غرقاب کردن خاک شالیزاری که به‌خوبی زهکشی شده است، باعث می‌شود تا اکسیژن آن تخلیه شده و در نتیجه پتانسیل اکسایش و احیای آن کاهش یافته و pH آن در خاک‌های اسیدی افزایش یابد (محمود سلطانی و همکاران، ۲۰۱۴)، در حالی که در خاک‌های قلیایی و یا آهکی، اسیدیته‌ی خاک در اثر کاهش همزمان شیمیایی برخی عناصر پر و کم‌مصرف کاهش می‌یابد (رنکو و همکاران ۲۰۰۳). با این حال، میزان این تغییرات نیز به ویژگی‌های فیزیکی خاک، رژیم آب و درجه حرارت در ریزوسفر ارتباط دارد. در این شرایط (غرقابی خاک) غلظت روی در محلول خاک کاهش می‌یابد. هر چند به‌طور موقت ممکن است بلافاصله در ابتدای غرقابی افزایش یابد اما در حدود ۰/۳ تا ۰/۵ میکرومول به تعادل می‌رسد (فورنو و همکاران، ۱۹۷۵). این کاهش در غلظت روی قابل جذب معمولاً با فسفر قابل جذب بالا، رسوب هیدروکسید روی ناشی از افزایش pH، تشکیل فرانکلینیت ($ZnFe_2O_4$) نامحلول، سولفید روی در خاک‌های اسیدی و کربنات‌روی ($ZnCO_3$) در خاک‌های آهکی همراه است (بوستیک و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین افزایش جذب سطحی روی توسط اکسید مواد معدنی مانند سزکوبی اکسیدها و همچنین کربنات‌ها، ماده‌ی آلی خاک و کانی‌های رسی، سبب کاهش جذب آن توسط ریشه‌های برنج می‌شود. در این شرایط نشاهای برنج، در عرض ۲-۳ هفته پس از نشاء به کمبود پنهان روی دچار شده و گیاه برنج حتی پس از افزایش روی قابل جذب در خاک (کوددهی)، نیز نشانه‌هایی از تاخیر در بلوغ و کاهش عملکرد را نشان می‌دهد (نئو و لانتین، ۱۹۹۴). همچنین مقدار گوگرد خاک و پتانسیل اکسایش و کاهش نیز می‌تواند قابلیت جذب روی خاک را تحت تاثیر قرار دهد چرا که پتانسیل اکسایش و کاهش پایین یا شرایط کاهش خاک برای رسوب روی به‌صورت سولفید روی مناسب بوده و در نتیجه قابلیت جذب روی برای گیاهان در خاک‌های آهکی کاهش می‌یابد. غلظت پایین روی قابل جذب و میزان بالای بی‌کربنات و مواد آلی و نسبت بالای منیزیم به کلسیم، همزمان با غرقاب طولانی مدت، از دیگر عوامل موثر خاک بر کاهش فراهمی روی برای برنج است (نئو و لانتین، ۱۹۹۴). کمبود روی در برنج به‌طور عمده در خاک‌های آهکی، قلیایی و گلی‌سول‌ها^۱ با توجه به مقدار بی‌کربنات بالا و یا pH بالای خاک رخ می‌دهد. در واقع غلظت بالایی از کربنات خاک مانع از رشد ریشه در گیاه برنج شده و عامل اصلی بازدارنده‌ی انتقال روی از ریشه به ساقه است. دوبرمن و فیرهورست (۲۰۰۰) گزارش داده‌اند که به نظر می‌رسد تجمع اسیدهای آلی، در سلول‌های ریشه از طریق تحریک کربوکسیلاز فسفوانول پیرووات در سیتوپلاسم مانع رشد ریشه در برنج، همراه با مقدار بی‌کربنات بالا و یا اسیدیته‌ی بالا منجر به بروز اولیه‌ی علائم کمبود روی در خاک می‌شود. رشد ضعیف ریشه سبب می‌شود که میزان جذب روی کاهش یافته و در نتیجه به کمبود روی برای گیاه تحت شرایط بی‌هوای منجر شود. در خاک‌های آهکی، عدم تعادل غذایی (به علت اثرات آنتاگونیستی آهن، منگنز، فسفر

و مس با روی) نیز ممکن است برای کاهش غلظت روی در اندام‌های هوایی از غلظت بی‌کربنات‌ها مهم‌تر باشد (قادر، ۲۰۰۲). اثر عدم تعادل مواد غذایی بر رشد برنج ممکن است به علت کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز مس/روی باشد (نئو و لانتین، ۱۹۹۴).

با این وجود به‌نظر می‌رسد تراوش زیاد آنیون‌های اسیدهای آلی، به خصوص سترات نیز به کمبود روی در ارقام برنج تحت شرایط غرقابی منجر شود. با این حال، ریشه‌های برنج با آزادسازی مقادیر کمی فیتوسیدروفور به افزایش جذب روی توسط گیاه کمک شایان توجهی می‌کند (آرنولد و همکاران، ۲۰۱۰). اخیراً، مورته و همکاران (۲۰۱۱)، در یک محلول غذایی آگار، دامنه گسترده‌ای از غلظت روی موجود در دانه (۳۸/۳ - ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بافت‌های گیاه با کمبود روی (۳۱/۸ - ۱۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در ارقام برنج کشت شده در شرایط غرقابی مشاهده کرده‌اند. همچنین حساسیت به کمبود روی با مرحله رشد محصولات کشاورزی مرتبط بوده، به‌نحوی که برخی از ارقام در مراحل رویشی اولیه حساس بوده ولی در مراحل اوج رشد توانستند خود را بازیابی کنند (مورته و همکاران، ۲۰۱۱).

۴-۲- کشت هوازی

به تازگی یک سیستم توسعه یافته برای صرفه‌جویی در آب آبیاری برای کشت برنج «کشت هوازی برنج» رواج یافته که در آن ارقام برنج با شرایط هوازی مانند سایر محصولات زراعی از جمله ذرت و گندم کشت می‌شوند (پراساد، ۲۰۱۱). مطالعات در مورد برنج هوازی عمدتاً بر عملکرد بالقوه و صرفه‌جویی آب متمرکز شده و در حال حاضر در برخی از کشورهای آسیایی مانند چین، فیلیپین و هند به‌طور قابل ملاحظه‌ای توسعه یافته است (ژائو و همکاران، ۲۰۱۲). گزارش‌های زیادی بر گسترش کمبود روی در اراضی کشت مناطق مرتفع یا شرایط هوازی تاکید کرده‌اند (فاروق و همکاران، ۲۰۱۱). کشت هوازی به احتمال زیاد بسیاری از عوامل کنترل‌کننده‌ی فراهمی روی در ریزوسفر مانند pH خاک (که ممکن است بسته به مقدار pH خاک اصلی کاهش یا افزایش یابد) را تغییر داده و همچنین افزایش همزمان در پتانسیل اکسایش و کاهش (ژائو و همکاران، ۲۰۰۲)، (که باعث اکسایش آهن و منگنز و تشکیل اکسیدهای آن‌ها شده) سبب جذب عنصر روی بر روی این اکسیدها می‌شود. افزایش پتانسیل اکسایش و کاهش تحت شرایط هوازی رسوب روی به‌صورت سولفید روی را کاهش می‌دهد. جمعیت و فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده و احیاکننده‌ی آهن ممکن است تحت شرایط هوازی افزایش یابد که تاثیر قابل توجهی بر غلظت روی و گونه‌های شیمیایی آن در محلول خاک دارد.

بهبود و افزایش نیتریفیکاسیون باعث می‌شود تا گیاهان آنیون نیترات را به جای کاتیون آمونیوم جذب کرده و با تراوش یون هیدروکسید ناشی از این تغییر، سبب افزایش pH ریزوسفر و در نتیجه کاهش قابلیت جذب روی شوند. علاوه بر این، کاهش ماده‌ی آلی ناشی از تجزیه‌ی آن در کشت هوازی می‌تواند به بهبود فراهمی روی کمک کند. تعرق گیاه و پخش عناصر در خاک نقش مهمی در جذب روی و جابه‌جایی آن در اندام‌های گیاهان دارد. تحت شرایط هوازی، کاهش محتوای آب خاک ممکن است انتقال روی به سمت ریشه را محدود کند، چرا که حرکت روی در خاک عمدتاً توسط فرایند انتشار کنترل می‌شود. کاهش

در میزان تعرق جریان توده‌ای حرکت عناصر را نیز تحت تاثیر قرارداد و در نتیجه انتقال روی به سمت گیاه و ذخیره‌ی آن در دانه را کاهش می‌دهد. در آزمایش‌های مزرعه‌ای، کاهش غلظت روی در ساقه، عملکرد دانه و شاخص برداشت روی در سیستم کشت هوازی برنج بایستی مورد توجه قرار گیرد. از این‌رو، معرفی سیستم هوازی در خاک‌های آهکی با اسیدیته‌ی بالا ممکن است کمبود روی را تشدید کند. تنوع قابل‌توجهی در میان ارقام برنج هوازی برای کارایی بهتر جذب روی در خاک‌های با روی کم مشاهده شده است، چرا که جذب ریشه‌ای از عوامل مهم جذب روی و انتقال آن از ریشه به ساقه است (ژائو و همکاران، ۲۰۰۵). با این حال، فرایندهایی که طی آن‌ها ارقام برنج در شرایط خاک با کمبود روی به‌خوبی رشد کنند هنوز به درستی شناخته نشده و پاسخ ارقام برنج به کمبود روی در رژیم‌های مختلف آبیاری بایستی مورد ارزیابی بیش‌تر قرار گیرد.

فعالیت‌های ریزوسفری (با توجه به تغییرات ریشه تحت شرایط هوازی) مانند افزایش منطقه‌ی جذب ریشه، نقش میکوریزاها (به‌ویژه در تغییرات pH و ترشحات آزاد شده توسط ریشه) نقش مهمی در جذب روی توسط ریشه‌های برنج تحت شرایط هوازی بازی می‌کنند. حاجی بلند و همکاران (۲۰۰۵) نیز نقش ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم و تراوش شده از ریشه به ریزوسفر را در تحرک روی در برنج دخیل دانستند. آنیون‌های اسیدهای آلی می‌تواند فراهمی روی را به‌دلیل ظرفیت کمپلکس‌سازی‌شان و همچنین به‌دلیل آن که اغلب همراه با پروتون تراوش می‌شوند (برای متعادل‌سازی بار) افزایش داده که نتیجه‌اش کاهش pH و حلالیت بهتر روی در ریزوسفر ریشه است. تنوع ژنوتیپی در تراوش آنیون‌های اسید آلی توسط ریشه در میان ارقام برنج تحت شرایط هوازی در آزمایش با محیط کشت ریزوترون^۱ و آبی دیده شده است. ارقام با کارایی بالاتر جذب روی، میزان بیش‌تری ملات در مقایسه با ارقام با کارایی کم‌تر ترشح می‌کنند. با این حال، شواهد کمی از تراوش آنیون‌های اسید آلی توسط ریشه یا فایتوسیدروفورها^۲ در اراضی هوازی در مقایسه با شرایط غرقابی مبتلا به کمبود روی گزارش شده است.

۴-۳- تناوب خشکی و رطوبت

تر و خشک کردن متناوب یک سیستم تولید برنج برای صرفه‌جویی در آب است که ورودی آب را بین ۳۵-۵ درصد کاهش می‌دهد در حالی که عملکرد محصول برنج در مقایسه با سیستم غرقاب معمولی حفظ و یا حتی افزایش می‌یابد. هم‌اینک این سیستم کشت در چین نهادینه شده و در هند و فیلیپین نیز مراحل آزمایشی خود را می‌گذارند (بومن و تونگ، ۲۰۰۱). تحت شرایط کشت برنج با مدل آبیاری تر و خشک کردن متناوب، پس از نشاکاری (نشاهای برنج) در خاک گل‌خراب شده، شالیزار به مدت ۳-۵ روز در حالت غرقاب نگه داشته شده و پس از آن اجازه داده می‌شود تا سطح خاک برای حدود ۲-۴ روز خشک و هنگامی که سطح آب‌های زیرزمینی به ۲۰-۱۵ سانتی‌متر زیر سطح خاک می‌رسد دوباره غرقاب شوند (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹).

کاهش غلظت روی قابل جذب در خاک‌های با شرایط اشباع متناوب نیز مشاهده شده است. علاوه بر این، استفاده از مواد آلی بیش‌تر ممکن است باعث کاهش شدیدتر غلظت روی شود. افزایش محتوای آهن، منگنز، فسفر و تثبیت میکروبیولوژیکی همراه با مصرف مواد آلی، دلایل دیگری برای کاهش روی قابل جذب می‌باشند. در خاک‌های قلیایی و خاک‌های غنی از مواد آلی، غلظت روی و فسفر قابل دسترس ممکن است با جذب آن‌ها توسط هیدروکسیدهای بی‌شکل آهن و کربنات کاهش یابد. البته این کاهش به‌خصوص تحت نوسانات رژیم آب تشدید می‌شود.

تر و خشک کردن متناوب به‌عنوان یک سیستم نوین کشت برنج در مناطق با کشاورزی فشرده در جهان است که به‌طور بالقوه در کاهش نهاده‌های آبی، نیروی کار و انتشار متان تاثیر فراوان دارد. با این حال، نوسان رژیم آب تهدیدی زیست محیطی در افزایش انتشار اکسید نیتروژن بوده (دیتترت و همکاران، ۲۰۰۲)، و نیاز به اقدامات تکمیلی برای حفظ سطح مناسب روی قابل جذب برای کشت برنج است.

۵- روش‌های مصرف کود روی

روش کاربرد و نوع منابع روی کاربردی بایستی به‌نحوی گزینش شوند که در افزایش قابلیت جذب روی برای گیاه بیش‌ترین تاثیر را داشته باشند (جدول‌های ۱ و ۲). روی را می‌توان به خاک، بذر و برگ افزود و همچنین ریشه‌ی نشاهای برنج را در محلول حاوی کود روی غوطه‌ور کرد. راندمان مصرف روی اغلب بر اساس نسبت وزن خشک ساقه و یا عملکرد دانه تحت کمبود روی به وزن خشک ساقه و یا عملکرد دانه در شرایط کاربرد کود روی تعیین می‌شود. به‌طور کلی، روی مصرف شده در شالیزارهای برنج از طریق ریشه و یا برگ جذب شده (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۷) و یا روی به‌کاربرده شده توسط دانه جذب و در آن ذخیره می‌شود که در مورد اخیر عمدتاً نشات گرفته از روی جذب شده توسط ریشه (روی افزوده شده به خاک پس از گلدهی) است. تاثیر روش‌های گوناگون کاربرد کود روی بر جذب روی توسط گیاه در زیر بحث شده است.

۵-۱- مصرف خاکی روی (اختلاط با خاک)

متداول‌ترین روش افزودن کود روی از طریق کاربرد خاک است. روی را می‌توان از طریق پخش در کل سطح زمین، قرار دادن در مجاورت بذر، و یا از طریق آب آبیاری (کود آبیاری) به خاک افزود. روی را معمولاً در کشت برنج تحت شرایط غرقابی، قبل از غرقاب کردن زمین و یا پس از نشاکاری به خاک اضافه می‌کنند تا از کمبود روی جلوگیری کرده و سبب افزایش عملکرد دانه شود (دوبرمن و فیرهورست، ۲۰۰۰). همچنین گزینش منابع مناسب روی برای کاربرد خاکی نیز می‌تواند راهکاری جایگزین برای بهبود فراهمی روی برای گیاه در شرایط اراضی پست باشد. البته راندمان مصرف خاکی کود روی تحت شرایط غرقاب مداوم باتوجه به شکل‌گیری ترکیبات نامحلول روی مانند سولفید روی و فرانکلینیت روی (پننام پروما، ۱۹۷۲)، تشکیل کربنات روی ناشی از تجزیه‌ی مواد آلی (بوستیاک و همکاران، ۲۰۰۱) و هیدروکسید روی در خاک‌های قلیایی (برار و سخون، ۱۹۷۶) کاهش می‌یابد.

جدول ۱: مطالعه مقایسه‌ای منابع گوناگون روی در کشت برنج

منبع	پارامترهای بررسی شده	یافته‌های آزمایشی	منبع کود روی
نای یار و تاک‌کار (۱۹۸۰)	عملکرد دانه	سولفات روی < اکسید روی < روی دانه ای	سولفات روی، اکسید روی و روی دانه ای
چاند و همکاران (۱۹۸۱)	جذب و مصرف روی	روی دی تی پی ای < فول وایت روی < روی ایی دی تی ای < سولفات روی	روی دی تی پی ای، فول وایت، روی ایی دی تی ای و سولفات روی
نایک و داس (۲۰۰۷)	عملکرد دانه و درصد دانه پر	روی ایی دی تی ای < سولفات روی	سولفات روی و روی ایی دی تی ای
سریواس تاوا و همکاران (۲۰۰۸)	در دسترس بودن روی	روی غنی شده با لجن فعال < سولفات روی	روی غنی شده با لجن فعال، سولفات روی
کانگ و اوکورو (۱۹۷۶)	عملکرد ماده خشک و جذب روی	سولفات روی < روی ایی دی تی ای < روی فلزی < روی دانه ای	سولفات روی، روی ایی دی تی ای، روی فلزی و روی دانه ای
سدبری (۱۹۷۱)	عملکرد دانه	سولفات روی از همه موثرتر است	سولفات روی، کلرید روی، اکسید روی و روی ایی دی تی ای
جیردانو و مورتودت (۱۹۷۲) و وست فال (۱۹۷۱)	پویایی روی در خاک و جذب روی	روی ایی تی ای از همه موثرتر است	سولفات روی، روی ایی تی ای، روی پلی فلووناید و روی نیتریلوآستیک اسید
چانگ و همکاران (۱۹۸۰)	عملکرد دانه	فلوویت روی موثرتر است	سولفات روی و فلوویت روی
ساویتری (۱۹۸۰)	عملکرد دانه و جذب روی	سولفات روی از همه موثرتر است	سولفات روی، کلرید روی، اکسید روی و روی دانه‌ای
سریواس تاوا و همکاران (۱۹۹۹)	عملکرد دانه	سولفات روی، روی موجود در کود ناشی از بقایای مزرعه‌ای از همه موثرتر است	سولفات روی، روی موجود در کود ناشی از بقایای مزرعه‌ای، آمونیوم روی + روی موجود در کود ناشی از بقایای مزرعه‌ای و روی ایی دی تی ای
چاند و همکاران (۱۹۸۱)	عملکرد دانه و انتقال روی در اندام‌های گیاهی	روی دی تی پی ای < فلوویت روی < روی ایی دی تی ای < سولفات روی	سولفات روی، روی ایی دی تی ای، روی دی تی پی ایو فلوویت روی
جیوردانو (۱۹۷۷)	جذب و مصرف روی، غلظت روی در محلول خاک و عملکرد و جذب روی	سولفات روی < روی ایی دی تی ای برای جذب روی، میزان عملکرد دانه مشابه است	سولفات روی و روی ایی دی تی ای
سریواس تاوا و همکاران (۱۹۹۹)	عملکرد و غلظت روی در دانه	برای عملکرد به ترتیب سولفات روی، روی موجود در کود ناشی از بقایای مزرعه‌ای، آمونیوم روی + روی موجود در کود ناشی از بقایای مزرعه‌ای و روی ایی دی تی پی ای، ولی روی در دانه در روی ایی دی تی پی ای بیشتر است	سولفات روی، روی موجود در کود ناشی از بقایای مزرعه‌ای، آمونیوم روی + روی موجود در کود ناشی از بقایای مزرعه‌ای و روی ایی دی تی ای
شیوای (۲۰۰۸)	جذب روی	سولفات روی پوشش داده با اوره بهتر است از اکسید روی	اکسید روی + سولفات روی پوشش داده با اوره

جدول ۲- نمایش مقایسه‌ای روش‌های گوناگون مصرف کودهای روی در سیستم‌های مختلف تولید برنج

منبع روی	میزان مصرف	روش مصرف	سیستم کشت برنج	درصد افزایش عملکرد در مقایسه با شاهد	درصد افزایش غلظت روی در دانه در مقایسه با شاهد	منابع
ZnSO ₄ .7H ₂ O	10 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک (مزرعه)	غرقاب سنتی	۲۰۰	۴۲	محمودسلطانی و همکاران (۲۰۱۶)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	10 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک (گلدان)	غرقاب سنتی	۱۵۰	۳۰	محمودسلطانی و همکاران (۲۰۱۶)
Zn-KCl (1.5 % w/v Zn)	125 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	غرقاب سنتی	۴۱/۲	۶/۷	ناتینی و همکاران (۲۰۰۹)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	50 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	غرقاب سنتی	۳۵/۳	۱۳/۹	ناتینی و همکاران (۲۰۰۹)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	1gkg ⁻¹ seed	تیمار بذر	کشت مستقیم	۱۴/۶	-	سلاتون (۲۰۰۱)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	2.2 gkg ⁻¹ seed	تیمار بذر	کشت مستقیم	۱۷/۳	-	سلاتون (۲۰۰۱)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	4.7 gkg ⁻¹ seed	تیمار بذر	کشت مستقیم	۲۸/۳	-	سلاتون (۲۰۰۱)
Zn-EDTA	1.4 gkg ⁻¹ seed	تیمار بذر	کشت مستقیم	۲۰/۷	-	سلاتون (۲۰۰۱)
Zn-EDTA	2.8 gkg ⁻¹ seed	تیمار بذر	کشت مستقیم	۲۶/۵	-	سلاتون (۲۰۰۱)
Zn-EDTA	5.7 gkg ⁻¹ seed	تیمار بذر	کشت مستقیم	۲۰/۵	-	سلاتون (۲۰۰۱)
Zn-EDTA	20 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	غرقاب سنتی	۰	۱۲/۳	طارق و همکاران (۲۰۰۷)
Zn-EDTA+PGPR	20 kg ha ⁻¹ +PGPR	اختلاط با خاک + غوطه‌ور کردن ریشه نشا در محلول تلقیح	غرقاب سنتی	۰	۱۲/۵	طارق و همکاران (۲۰۰۷)
PGPR	-	غوطه‌ور کردن ریشه نشا در محلول تلقیح	غرقاب سنتی	۶۶/۷	۱۴/۴	طارق و همکاران (۲۰۰۷)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	10 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	غرقاب سنتی	۵۹/۶	-	خان و همکاران (۲۰۰۳)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	1.0 %	غوطه‌ور کردن ریشه نشا	غرقاب سنتی	۵۰/۱	-	خان و همکاران (۲۰۰۳)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.2 %	غوطه‌ور کردن ریشه نشا	غرقاب سنتی	۴۰/۳	-	خان و همکاران (۲۰۰۳)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	5 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	غرقاب سنتی	۲۰/۲	-	خان و همکاران (۲۰۰۲)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	10 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	غرقاب سنتی	۵۹/۸	-	خان و همکاران (۲۰۰۲)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	15 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	غرقاب سنتی	۵۷	-	خان و همکاران (۲۰۰۲)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	13.5 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	کشت مستقیم	۱۸/۵	-	سلاتون (۲۰۰۵)
ZnSO ₄	11.2 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	کشت مستقیم	۱۸/۳	-	سلاتون (۲۰۰۵)
ZnOxS20	11.2 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	کشت مستقیم	۱۸/۶	-	سلاتون (۲۰۰۵)
ZnOxS36	11.2 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	کشت مستقیم	۱۱/۸	-	سلاتون (۲۰۰۵)
ZnOxS10	11.2 kg ha ⁻¹	اختلاط با خاک	کشت مستقیم	۱۴۵/۶	-	سلاتون (۲۰۰۵)

۱۵ / تغذیه روی در سیستم‌های کشت برنج

سلاتون (۲۰۰۵)	-	۱۰۴	کشت مستقیم	اختلاط با خاک		ZnOxS30
سلاتون (۲۰۰۵)	-	۱۵۹	کشت مستقیم	محلول پاشی		ZnSO10
سلاتون (۲۰۰۵)	-	۲۴/۹	کشت مستقیم	محلول پاشی		ZnEDTA
سلاتون (۲۰۰۵)	-	۱۶/۲	کشت مستقیم	محلول پاشی		ZnSO35
پارساد و همکاران (۲۰۲)	-	۱۳/۲	کشت مستقیم	اختلاط با خاک		ZnSO ₄ .7H ₂ O
پارساد و همکاران (۲۰۲)	-	۲۵	کشت مستقیم	اختلاط با خاک		ZnSO ₄ .7H ₂ O
پارساد و همکاران (۲۰۲)	-	۱۹/۵	کشت مستقیم	اختلاط با خاک	-	ZnSO ₄ .7H ₂ O
راتوره و همکاران (۱۹۹۵)	-	۵۴/۲	غرقاب سنتی	اختلاط با خاک	-	ZnSO ₄ .7H ₂ O
راتوره و همکاران (۱۹۹۵)	-	۲۹/۳	غرقاب سنتی	اختلاط با خاک	-	FYM+ ZnSO ₄ .7H ₂ O
راتوره و همکاران (۱۹۹۵)	-	۵۳/۸	غرقاب سنتی	اختلاط با خاک	-	FYM+ ZnSO ₄ .7H ₂ O
راتوره و همکاران (۱۹۹۹)	-	۴۱	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	ZnSO ₄
نایک و داس (۲۰۰۷)	-	۷/۱	غرقاب سنتی	اختلاط با خاک	-	ZnSO ₄
نایک و داس (۲۰۰۷)	-	۲۸/۷	غرقاب سنتی	اختلاط با خاک	-	ZnSO ₄
نایک و داس (۲۰۰۷)	-	۱۷/۸	غرقاب سنتی	اختلاط با خاک	-	Zn-EDTA
نایک و داس (۲۰۰۷)	-	۳۴	غرقاب سنتی	اختلاط با خاک	-	Zn-EDTA
شیوای (۲۰۰۸)	۴/۴	۱۹/۱	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	قرص اکسیدروی با پوشش اوره
شیوای (۲۰۰۸)	۱۲/۸	۶/۸	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	قرص سولفات روی با پوشش اوره
شیوای (۲۰۰۸)	۱۶/۵	۱۰/۶	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	قرص اکسیدروی با پوشش اوره
شیوای (۲۰۰۸)	۲۷/۶	۱۳/۲	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	قرص سولفات روی با پوشش اوره
شیوای (۲۰۰۸)	۳۱	۱۸/۵	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	قرص اکسیدروی با پوشش اوره
شیوای (۲۰۰۸)	۳۶	۲۰/۳	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	قرص سولفات روی با پوشش اوره
شیوای (۲۰۰۸)	۴۰	۲۷/۶	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	قرص اکسیدروی با پوشش اوره
شیوای (۲۰۰۸)	۴۸/۲	۲۹/۶	غرقاب سنتی	غوطه ور کردن ریشه نشا	-	قرص سولفات روی با پوشش اوره

کودهای روی با حلالیت خوب مانند ای دی تی ای روی و سولفات روی در مقایسه با اکسید روی کم محلول و روی دانه‌ای (گرانول) سبب انتقال بیش تر روی به ریشه‌ی گیاه برنج می‌شود. انتقال بیش تر روی در خاک سبب افزایش احتمال جذب روی توسط ریشه‌ی در حال رشد سریع شده، که این حالت ممکن است ناشی از اثربخشی بیش تر کود ای‌دی‌تی‌ای روی افزوده شده به‌روش نواری در مقایسه با روی دانه‌ای باشد. با این حال، نتایج به‌دست آمده از مطالعات کانک و اوگورو (۱۹۷۶) و گوپتا و همکاران (۱۹۹۴) نشان

می‌دهند که هیچ تفاوتی برای تولید ماده خشک در روش‌های کاربرد کود ای‌دی‌تی‌ای روی پیدا نشده است. ولی زمانی که روی دانه‌ای مصرف شده بود، روش مخلوط کردن کود با خاک بهتر از پخش (بدون مخلوط کردن) و روش نواری نتیجه داد. از نظر جذب روی توسط برنج، تاثیر روش کاربرد کود بر جذب به ترتیب عبارتند از: مخلوط با خاک < پخش در سطح خاک < پخش نواری. در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد کود به روش پخش سطحی در مقایسه با قراردادن عمیق کود بازده بهتر و تولید ماده‌ی خشک برنج بیشتری داشته است. خان و همکاران (۲۰۰۳) در یک آزمایش مزرعه‌ای در خاک آهکی-قلیایی و برای بررسی افزایش عملکرد شلتوک توسط هر یک از روش‌های کاربرد کود نشان دادند که مصرف خاکی کود روی در مقایسه با فرو بردن ریشه در محلول حاوی روی یا محلول پاشی عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند. محمود سلطانی و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۶) در بررسی تاثیر روی و آهک در خاک‌های اسید سولفاته در مناطق گرمسیری نشان دادند که افزایش سولفات روی به‌طور معنی‌داری در افزایش عملکرد دانه‌ی برنج (بیش‌تر از ۱۰۰ درصد) موثر بوده‌اند. همچنین در مطالعه‌ی دیگری توسط محمود سلطانی و همکاران (۱۳۸۷) و طی یک آزمایش گلدانی در موسسه تحقیقات برنج و بر روی رقم هاشمی، نتایج نشان داد که کاربرد خاکی نسبت به سایر روش‌ها در افزایش عملکرد محصول موثرتر است. همچنین کود سولفات روی نسبت به اکسید روی و روی ای‌دی‌تی‌ای تاثیر بیشتری بر افزایش عملکرد از خود نشان داده است.

علاوه بر نحوه‌ی مصرف، نوع پاشش و منبع، زمان مصرف کود روی نیز می‌تواند بر فراهمی روی در شرایط غرقابی اراضی پست و همچنین در گذار به سمت سیستم‌های صرفه‌جویی آب تاثیر بگذارد. در یک آزمایش مزرعه‌ای، نایک و داس (۲۰۰۷) دریافتند که تقسیط سولفات روی بهتر از مصرف پایه‌ای آن بوده، در حالی که تقسیط روی-ای‌دی‌تی‌ای در مقایسه با مصرف پایه و یکجای کود روی هیچ تفاوت قابل توجهی در عملکرد برنج نشان نداده‌اند. در آزمون‌های گلخانه‌ای با استفاده از ژنوتیپ‌های با توان جذب روی زیاد در دانه و در خاک لوم رسی لای و با میزان روی اولیه (عصاره‌گیری شده با دی‌تی‌پی‌ای) ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، استفاده از ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار در زمان پر شدن دانه در تقریباً تمام خاک‌ها مقدار روی دانه را از ۳۰ به ۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد (بی‌بوت و همکاران، ۲۰۱۰). در کاری مشابه و در شالیزار برنج و بر روی خاک رس سیلتی (pH= ۶/۳) با شرایط غرقابی اولیه خاک و روی قابل استخراج با دی‌تی‌پی‌ای ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، کاربرد روی به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار و در اواسط پنجه‌زنی اثر مثبت کمی بر مقدار روی موجود در دانه (۲۱-۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) داشت. در حالی که غلظت روی در دانه در سیستم‌های تر و خشک کردن متناوب و سیستم‌های غرقاب برنج با استفاده از یک رقم سازگار محلی مشابه یکدیگر به‌دست آمد (بی‌بوت و همکاران، ۲۰۱۰). در آزمایش‌های مزرعه‌ای دو ساله در خاک رسی شنی و با واکنش نسبتاً قلیایی و روی کافی، رحمان (۲۰۱۲) گزارش کرده است که شاهد افزایش مقدار روی خاک و گیاه پس از مصرف سولفات روی در زمان پنجه‌زنی و یا شروع خوشه‌دهی بوده درحالی‌که کاربرد روی در زمان نشاکاری و یا عدم مصرف کود روی در شرایط غرقابی، تناوب تر و خشکی و شرایط کشت مستقیم هوازی هیچ‌گونه افزایشی در مقدار روی خاک و گیاه دیده نشده است. همچنین

افزایشی در حدود ۲/۵، ۲/۸ و ۲/۳ برابر در مقدار روی دانه در کاربرد کود به صورت پایه به ترتیب در سیستم غرقابی، تر و خشک شدن متناوب و سیستم کشت مستقیم هوازی، هنگامی که روی در شروع خوشه‌دهی به خاک افزوده شده، مشاهده گردیده است. دلیل این افزایش فراهمی بیش‌تر عنصر روی خاک، بهبود جذب روی گیاه و افزایش تحرک دوباره‌ی روی و حرکت آن از برگ‌ها به سمت دانه طی زمان پر شدن دانه در این سیستم‌های کاشت برنج عنوان شده است (رحمان و همکاران، ۲۰۱۲). با این حال، افزایش کمی نیز در روی دانه با کاربرد خاکی کود روی در زمان نشاکاری در شرایط غرقابی اراضی پست مشاهده شده است (سری واستاوا و همکاران، ۱۹۹۹). در یک مطالعه‌ی گلدانی با پنج ژنوتیپ شامل دو سطح هوازی، سه نوع خاک (با اسیدیتی‌های خاک ۵، ۶/۵ و ۷/۵) و دو رژیم آب آبیاری (غرقابی و هوازی) و گیاه با توانایی جذب روی بالا، نتایج نشان می‌دهند که اثر رژیم رطوبتی بر جذب و غلظت روی گیاه در خاک‌های با اسیدیتیه بالاتر معنی‌دارتر است. همچنین جذب روی صرف نظر از رژیم‌های مصرف آب، در همه‌ی ژنوتیپ‌ها در اسیدیتیه‌های پایین‌تر، بیش‌تر بوده است (سوبدی و همکاران، ۲۰۱۰). تاثیر تنوع ژنوتیپی در غلظت روی دانه‌ی برنج ممکن است به علت تفاوت در فرایندهای فیزیولوژیکی موثر بر تجمع روی در دانه باشد (ژائو و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر این، کاربرد روی به صورت پایه در زمان نشاکاری می‌تواند در افزایش عملکرد محصول موثر بوده، اما ممکن است در مرحله‌ی گلدهی برای افزایش غلظت روی دانه کافی نباشد. تحت سیستم کشت برنج مبتنی بر صرفه‌جویی در آب، به علت کاهش پخشیدگی عنصر روی در خاک با رطوبت کم، عنصر روی باید در مراحل مختلف رشد هنگامی مصرف شود که خاک به علت پتانسیل اکسایش و کاهش بالا، نمی‌تواند فراهمی روی بومی را افزایش دهد (ژائو و همکاران، ۲۰۱۰). با این حال، در مورد سیستم کشت برنج بر پایه‌ی صرفه‌جویی در آب، در حال حاضر توصیه‌ای برای استفاده‌ی کود روی و شیوه‌های مدیریت ترکیبی مانند زمان، منبع و میزان مصرف آن وجود ندارد تا براساس آن‌ها به تقاضای محصول زمانی که به غلظت بالای روی نیاز دارد، پاسخ داد. همچنین برای ارقامی که برای غلظت بالای روی در دانه معرفی شده‌اند باید طیف متنوعی از سیستم‌های کشت برنج را نیز در نظر گرفت.

حتی اگر کاربردهای خاکی روی یک راهکار امیدوارکننده برای بهبود غلظت روی در بافت‌های گیاهی و همچنین افزایش رشد گیاه و عملکرد بهتر دانه در برنج باشد، این روش‌های مصرف در افزایش مقدار روی در دانه موثر نیستند. همچنین کودهای گران‌تر ولی موثرتر مانند کودهای کلات روی نیز به دلیل هزینه‌های بیش‌تر از لحاظ اقتصادی مطلوب نمی‌باشند. بنابراین بایستی روش‌های مکمل دیگری برای افزایش تجمع روی در دانه معرفی شوند.

۵-۲- تیمار بذر یا آغشته کردن بذر با کود روی

مقدار بالای روی در بذور همانند یک کوددهی اولیه کافی عمل کرده و محرکی خوب برای دستیابی به عملکرد بالای محصولات کشاورزی است، اگرچه غلظت روی در دانه را بالا نخواهد برد. بهبود در مقدار روی دانه‌ی برنج می‌تواند نتیجه‌ی افزایش جذب روی توسط ریشه پس از گلدهی باشد، بنابراین، همراه با استفاده از بذر با مقدار روی بالا در زمان کاشت، کاربرد روی مکمل نیز برای بهبود عملکرد دانه و مقدار روی دانه

اهمیت دارد. کاربرد روی از طریق تیمار بذر به دو گروه آغشته‌سازی بذر با کود و پوشش بذر با کود تقسیم شود (فاروق و همکاران، ۲۰۱۲).

آغشته‌سازی بذر، روش ساده و کم هزینه‌ی خیساندن بذر در محلول‌هایی دارای عناصر غذایی و یا هرگونه موادی که می‌تواند با تغییر فشار اسمزی بر روی گیاه مانده و پس از کشت بذر آغشته شده به بهبود رشد و تامین عنصر بخصوصی برای گیاه کمک کند. در مقابل، در پوشش بذر، ذرات جامدی که به‌خوبی ریز شده‌اند یا مایعات حاوی مواد جامد محلول یا معلق به‌کار گرفته می‌شوند تا به شکل‌گیری یک لایه‌ی پوششی (یک یا بیش‌تر از یک لایه) پیوسته در اطراف دانه بیانجامد (فاروق و همکاران، ۲۰۱۲). در مقایسه با کاربرد خاکی کود، تیمار بذر به‌دلیل نیاز به مقادیر کمی از مواد مغذی مورد نیاز و روش اجرای آسان گزینه‌ای نسبتاً خوب است. همچنین به بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تنش‌های مختلف غیر زنده کمک شایانی می‌کند.

غوطه‌ور کردن بذر با محلول‌های ای‌دی‌تی‌ای روی و روی دانه‌ای^۱ سبب عملکرد بالاتر و جذب روی بیش‌تر در مقایسه با پخش خاکی و نواری روی می‌شود. محلول ۰/۵ درصد روی برای کشت مستقیم زمستانه‌ی برنج مناسب ارزیابی شده است. غوطه‌ور کردن بذر در محلول‌های حاوی مواد مغذی با غلظت بالا ممکن است سبب آسیب دیدگی دانه شده و جوانه‌زنی بذر را متوقف کند. این محققان دریافتند که غوطه‌ور کردن بذر در محلول روی با غلظت بالا از منبع ای‌دی‌تی‌ای روی سبب تاخیر در جوانه‌زنی و مراحل اولیه‌ی رشد برنج می‌شود، با این حال، گیاهان ممکن است بر توقف و تاخیر رشد در مراحل بعد غلبه نمایند. آسیب اولیه‌ی بذر ناشی از غوطه‌ور کردن بذر در محلول‌های حاوی مواد مغذی ممکن است با استفاده از سوسپانسیون نامحلول کود، مانند کود روی دانه‌ای بهبود یابد چرا که این کودها به جای اینکه جذب بافت دانه شود به سطح دانه، می‌چسبند (کانگ و اوکورو، ۱۹۷۶).

غوطه‌ور کردن بذر برنج با محلول‌های حاوی روی به‌طور قابل توجهی میزان روی در بذر را افزایش داده، اما به عملکرد بالاتر نخواهد انجامید. پس از انجام تعدادی از آزمایش‌های اولیه، جانسون و همکاران (۲۰۰۵) از محلول ۴ میلی مول روی از منبع سولفات روی با ۷ مولکول آب برای غوطه‌ور کردن بذر برنج در یک آزمایش مزرعه‌ای استفاده کردند که منجر به افزایش مقدار روی دانه شده، اما این افزایش در دانه‌ی گیاه سال بعد دیده نشد. در مقابل، اسلاتون و همکاران (۲۰۰۱) گزارش نمودند که از بذور برنجی که در ابتدا بذر آن‌ها در روی غوطه‌ور شده بود، ماده‌ی خشک و غلظت روی بیش‌تر در بافت گیاه و بازده دانه‌ی بالاتری نسبت به مصرف خاکی کود روی به‌دست آمد. آن‌ها همچنین پیشنهاد کردند که غوطه‌ور کردن بذر برنج در محلول روی یک روش جایگزین اقتصادی‌تر و بهتر نسبت به کاربرد خاکی است. جوردانو و مورتودت (۱۹۷۳) گزارش داده‌اند که کاربرد روی در برنج از طریق غوطه‌وری بذر یا آب آبیاری به اندازه‌ی روی مخلوط شده با خاک موثر بودند. تیمار پوشش بذر با فرمول دوغاب غلیظ عناصر کم‌مصرف در مقایسه با سایر روش‌های مصرف روی در اکثر موارد برای بهبود بازده روی در بسیاری از محصولات زراعی موثرتر

است (سینق، ۲۰۰۷). همچنین پوشش بذر با روی هیچ اثر سوء بر جوانه‌زنی نداشته است. از این‌رو، این روش ممکن است برای جلوگیری از کمبود روی و بهبود استقرار نشاء در خاک‌هایی با روی قابل جذب پایین، موثرتر و با صرفه‌تر باشد. پوشش بذر برنج با غلظت کم سولفات روی به همان اندازه‌ی مخلوط سولفات روی با خاک موثر بوده است (جیوردانو و مورتودت، ۱۹۷۳). با این‌حال، منگل و ویلسون (۱۹۷۹) نشان دادند که پوشش دانه‌ی برنج با Zn-EDTA و یا اکسید روی و یا سولفونات روی در بهبود استقرار نشاء و افزایش تعداد خوشه و عملکرد دانه از کاربرد روی برگی در غلظت مشابه موثرتر بودند. از این‌رو، تیمار بذر با روی یک روش امیدوار کننده برای سیستم کشت برنج هوازی و برای تقویت جوانه زنی اولیه و اصلاح کمبود روی حتی در خاک‌های آهکی و قلیایی در طول دوره‌ی استقرار محصول برنج است. اگرچه، افزایش مقدار روی دانه‌ی برنج به ندرت در روش غوطه‌وری بذر در محلول‌های حاوی روی در شرایط مزرعه رخ داده ولی تحقیقات بیش‌تر برای روشن شدن دلایل بالقوه‌ی این نقطه ضعف و اینکه آیا تیمار بذر با کود روی ممکن است برای غلبه بر این ضعف موثر باشد، مورد نیاز است.

۵-۳- محلول‌پاشی کود

عنصر روی زمانی که به‌صورت محلول‌پاشی برگی مصرف شود از طریق روزنه‌ی برگ جذب و سپس از طریق سیستم آوندی گیاه به بخش‌هایی که نیازمند روی هستند، انتقال می‌یابد. تعدادی از منابع روی مانند سولفات روی، نترات روی و ای‌دی‌تی‌ای روی به‌عنوان کود محلول‌پاشی برگی مناسب در تعدادی از محصولات زراعی معرفی شده‌اند. محلول‌پاشی با سولفات روی در تصحیح کمبود روی و بهبود غلظت روی دانه موثر است (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ استومف و همکاران، ۲۰۱۱). افزایش قابل توجهی در عملکرد دانه، کاه و غلظت روی دانه با محلول‌پاشی کودهای سولفات روی و ای‌دی‌تی‌ای روی مشاهده شده، اما بیش‌ترین افزایش با استفاده از کود ای‌دی‌تی‌ای روی مشاهده گردید (کاراک و داس، ۲۰۰۶). اگرچه هر دو روش کاربرد خاکی و محلول‌پاشی روی ممکن است از نظر عملکرد قابل مقایسه باشند، با این‌حال، پاسخ به کاربرد روی ممکن است در سیستم‌های کشت مختلف، متفاوت باشد. برای مثال، در شالیزارهای برنج مناطق پست، مصرف خاکی روی قبل از نشاکاری موثرتر از روش‌های دیگر کودپاشی مانند محلول‌پاشی با سولفات روی ۰/۵ درصد و یا تیمار بذر با محلول ۲-۴ درصد سولفات روی و یا افزودن کود روی به خاک خزانه، یا فرو بردن ریشه‌ی نشاء در دوغاب اکسید روی ۲ درصد است (ساویتری و همکاران، ۱۹۹۸). از سوی دیگر، در مورد کشت مستقیم برنج، محلول‌پاشی روی با سولفات روی ۰/۵ درصد در بهبود کمبود روی موثر بوده است (آبیلا و دی‌داتا، ۱۹۷۸). اگرچه محلول‌پاشی در افزایش میزان روی دانه موثر است ولی زمان محلول‌پاشی برگی روی، یک عامل مهم در این زمینه است.

به‌طور کلی، افزایش زیاد در میزان روی دانه زمانی رخ می‌دهد که عنصر روی به‌صورت محلول‌پاشی در مراحل نهایی رشد گیاه استفاده شود. جیانگ و همکاران (۲۰۰۷) انتقال روی به سمت دانه‌های برنج در محیط کشت آبی فاقد روی با استفاده از ارقام برنج هوازی و با دو روش آغشتن ریشه و محلول‌پاشی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با عرضه‌ی روی کافی، ورود روی به دانه (زمانی که ریشه

به روی آغشته می شود) بیش تر از محلول پاشی است. به طور مشابه، انتقال بیش تر روی از برگ پرچم به دانه زمانی رخ می دهد که روی موجود در یک محلول غذایی در هنگام آبستنی و یا مرحله ی گرده افشانی برای ژنوتیپ های برنج استفاده شده است (وو و همکاران، ۲۰۱۰). محلول پاشی روی (۵/۰ درصد سولفات روی) در شروع خوشه دهی در افزایش دو برابری میزان روی دانه موثر بود (فاتتاراکول، ۲۰۱۱). در خاک رسی شنی با اسیدیته ی کمی قلیایی با میزان روی کافی و در شرایط غرقابی، افزایش ۱/۸ برابری در میزان روی دانه با محلول پاشی برگی سولفات روی ۵/۰ درصد در شروع خوشه دهی در مقایسه با کاربرد خاکی روی در همان مرحله مشاهده شد (رحمان، ۲۰۱۲). این افزایش در غلظت روی دانه به بهبود انتقال مجدد روی در برگ در طول پرشدن دانه نسبت داده شده است.

محلول پاشی می تواند از مشکلات ناشی از جذب و تثبیت روی بر روی ذرات خاک جلوگیری کرده، اما زمان پاشش روی باید در حدود گل دهی انجام شود تا سبب افزایش غلظت روی دانه گردد. همچنین توجه به این نکته نیز مهم است که روش های مختلف کوددهی برای افزایش تجمع روی در دانه ی برنج، مکمل راهبردهای اصلاحی برای غنی سازی زیستی دانه ی برنج با عنصر روی است.

۵-۴- فروردن ریشه ی نشاء در محلول های حاوی عنصر روی

فروردن ریشه ی نشاء در محلول های حاوی کود روی ممکن است رویکردی عملی تر و راحت تر از مصرف خاکی و یا محلول پاشی روی باشد. بنابراین، این روش به عنوان یک گزینه ی جایگزین مناسب برای روش های دیگر کاربرد روی در شرایط اراضی پست و غرقابی است (دوبرمن و فیرهورست، ۲۰۰۰). ایلای و دی داتا (۱۹۷۸) گزارش دادند که کاشت نشاء برنجی که ریشه اش در محلول ۲ درصد اکسید روی غوطه ور شده است عملکرد دانه ی بالاتری نسبت به اختلاط روی به صورت پایه با خاک داشته است. وقتی نشاء برنجی که ریشه اش در محلول ۲ درصد اکسید روی غوطه ور شده است با محلول پاشی تکمیلی با محلول ۵/۰ درصد سولفات روی تیمار گردید، افزایش عملکرد دانه ی بالاتری در مقایسه با فرو بردن ریشه در محلول به تنهایی داشته است. کاشت نشایی که در خزانه در محلول ۱ درصد سولفات روی غوطه ور شده است در مقایسه با محلول پاشی روی (۵/۸ تن در هکتار) و شاهد بدون روی (۱/۶ تن در هکتار) افزایش عملکرد دانه ی برنج بیش تری (۲/۹ تن در هکتار) از خود نشان داده است (خان و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین افزایش عملکرد دانه ی برنج (تا ۴۱ درصد بیش تر از شاهد) با فرو بردن ریشه ی نشاء در محلول ۱ درصد سولفات روی در خزانه ی برنج گزارش شده است (رشید و همکاران، ۱۹۹۹). فرو بردن ریشه ی نشاء در محلول حاوی روی رویکردی عملی و مقرون به صرفه در کشت برنج می باشد که کمبود روی را در مراحل اولیه ی رشد جبران کرده و منجر به عملکرد بهتر می شود.

البته تحقیقات بیش تری نیاز است تا کارایی امکان افزایش غلظت روی دانه از طریق فرو بردن ریشه ی نشاء به عنوان ابزاری برای غنی سازی زیستی روی در دانه اطمینان یافت. علاوه بر این بایستی در سیستم کشت با روش تر و خشک کردن متناوب نیز کاشت نشاهایی که ریشه ی آن ها در محلول سولفات روی قرار

داده شده‌اند، مورد مطالعه قرارگیرد تا مکانیسم‌های جذب روی و انتقال آن در این شرایط به‌خوبی شناخته شوند.

۶- اثر متقابل روی با نیتروژن و فسفر

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که بهبود وضعیت نیتروژن در کاشت محصولات کشاورزی ممکن است نقش مهمی در جذب روی توسط ریشه، توزیع و تجمع در بخش‌های خوراکی گیاه بازی کند. از این‌رو، تغذیه نیتروژن همراه با تغذیه روی در راهبرد غنی‌سازی زیستی روی در محصولات کشاورزی نیاز به توجه خاص دارد. در آزمایش‌های مزرعه‌ای دوساله، خاندان و دیکسیت (۱۹۹۶) دو نوع کود حاوی روی (سولفات روی و روی-ای‌دی‌تی‌ای) و دو روش مصرف روی (خاکی و محلول‌پاشی) را در ترکیب با چهار سطح نیتروژن (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) در خاک لوم شنی که میزان روی آن از حد بحرانی کم‌تر است (۰/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) تحت شرایط شالیزارهای اراضی پست برنج (غرقابی) با هم مقایسه نموده و دریافتند که عملکرد برنج با افزایش میزان نیتروژن افزایش یافته است. با این‌حال، حداکثر افزایش در عملکرد، جذب عناصر غذایی و بازده اقتصادی در ترکیبی از حداکثر نیتروژن و روی، به‌ویژه با ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد. در میان روش‌های کاربرد روی، مصرف خاکی نسبت به بقیه روش‌ها برتر بود. به‌نظر می‌رسد استفاده از منبع مناسبی از نیتروژن ممکن است در بهبود فراهمی روی خاک تحت شرایط غرقابی موثر باشد. علاوه بر کاهش تلفات نیتروژن، استفاده از کود اوره و یا کودهای مبتنی بر آمونیوم نسبت به کود نیتراته موثرترند، چرا که نسبت آنیون/کاتیون را تحت تاثیر قراردادده و اسیدیتتهی ریزوسفر ریشه را کاهش می‌دهند. تحت شرایط غرقابی، برون‌سپاری کاتیون هیدروژن توسط ریشه‌های برنج افزایش یافته و این سبب افزایش روی قابل جذب برای گیاه می‌شود. جذب نیتروژن آمونیومی توسط ریشه، انتشار کاتیون هیدروژن به ریزوسفر ریشه را ترغیب می‌کند. در مقابل، با تغییر سیستم کشت از غرقابی به هوازی، گیاه برنج با جذب نیتروژن نیتراته، آنیون هیدروکسیل را به ریزوسفر ریشه رهاسازی کرده و این خود باعث افزایش pH ریزوسفر ریشه شده و در نتیجه سبب کاهش قابلیت جذب روی می‌شود. با توجه به تغییر در پویایی نیتروژن تحت شرایط هوازی، کاهش جذب روی تحت شرایط مزرعه مشاهده شده است (ژائو و همکاران، ۲۰۰۶). با این‌حال، در خاک‌هایی با اسیدیتتهی بالا، تشکیل کمپلکس روی- آمونیوم می‌تواند به‌طور مستقیم حلالیت روی را افزایش دهد. بنابراین، تغییر در شرایط کشت برنج از غرقابی به تر و خشک کردن متناوب یا هوازی، برفراهمی روی تاثیر می‌گذارد که دلیل آن افزایش روند نیترات‌زایی و افزایش تشکیل نیترات بوده که با افزایش اسیدیتتهی خاک سبب کاهش انتقال روی به سمت ریشه می‌شود. بنابراین لازم است با انتخاب منبع مناسب کود نیتروژنه (مانند سولفات آمونیوم) و اسیدی‌شدن خاک ناشی از افزایش این کود، فراهمی روی افزایش یابد. همچنین با بهینه‌سازی شیوه‌های مدیریت کودی در اراضی زیر کشت برنج با صرفه جویی در آب می‌توان به افزایش قابلیت دسترسی روی در خاک کمک کرد (ژائو و همکاران، ۲۰۱۲).

اگرچه مصرف نیتروژن ممکن است با بهبود رشد ریشه و گیاه به جذب روی کمک نماید، اما اثرات مصرف نیتروژن در مکانیسم‌های درگیر در افزایش روی دانه هنوز نامشخص است. علاوه بر این، بازده مصرف نیتروژن تحت تناوب تر و خشکی کم‌تر از سیستم هوازی یا شرایط غرقابی بوده و نیاز است تا بازده متفاوت مصرف نیتروژن در این سیستم‌ها مورد بررسی بیش‌تری قرار گیرد. علاوه بر این، بیش از ۵۰ درصد از خاک‌های اراضی برنج‌کاری جهان دچار کمبود روی بوده و یا آهنکی و قلیایی هستند (به عنوان مثال در جنوب آسیا). بنابراین، علاوه بر منبع نیتروژن، میزان و زمان استفاده از نیتروژن در ترکیب با روی نیز برای بهبود فراهمی روی در خاک و در نتیجه میزان روی ورودی به دانه بسیار مهم می‌باشد. این بهینه‌سازی تاثیر قابل توجهی بر تغذیه‌ی گندم یا برنج بعدی در تناوب کشت داشته است.

روی قابل جذب خاک با افزایش فسفر قابل جذب خاک کاهش می‌یابد. در محیط خاک فسفر در واکنش با روی سبب کاهش انتقال روی از ریشه به ساقه شده و همچنین نسبت نامتوازن فسفر به روی اثر منفی بر عملکرد برنج بر جای خواهد گذاشت (اولسون، ۱۹۷۲). سیستم‌های صرفه‌جویی در آب آبیاری بر روی ماده‌ی آلی خاک و فسفر قابل جذب تاثیر منفی داشته و بنابراین کاربرد کود فسفره در این سیستم‌ها مهم‌تر از شرایط غرقابی است. طی آزمونی گلخانه‌ای، مندل و مندل (۱۹۹۹) با بررسی اثر مصرف کودهای مختلف فسفره بر تغییر شکل روی بومی و روی افزوده شده به خاک طی کوددهی تحت دو رژیم مختلف آبیاری (غرقابی و غیرغرقابی) بیان داشتند که کاربرد فسفر نه تنها روی محلول در آب و قابل تبادل را کاهش داده بلکه همزمان اشکال تثبیت شده در خاک آن‌را نیز افزایش داده است. این اثرات در رژیم غرقابی شدیدتر از غیرغرقابی بود. همچنین کاربرد فسفر غلظت روی ساقه و ریشه را نیز کاهش داد. مطالعات دیگر نیز نشان داد که کاربرد فسفر، جذب روی توسط برنج و انتقال آن به ساقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (چاترجی و همکاران، ۱۹۸۲؛ لال و همکاران، ۲۰۰۲). اثرات متقابل روی و فسفر نسبت به هم بسته به شرایط آزمایش می‌تواند افزایشی و یا آنتاگونیستی باشد. بررسی‌های محمود سلطانی و همکاران (۲۰۱۴) و (۲۰۱۶) نشان می‌دهد که با افزایش میزان فسفر مصرفی مقدار جذب روی در اندام‌های هوایی (دانه، ساقه، برگ و خوشه‌چه) و ریشه کاهش چشمگیری یافته و نیاز است تا میزان روی مصرفی بیش‌تری به خاک افزوده شود. با این حال، این فعل و انفعالات (اثرات مثبت یا منفی برهم‌کنش عناصر غذایی گوناگون) به صورت گسترده تحت شرایط مختلف آبی (غرقابی در مقابل هوازی یا خشک و تر کردن متناوب) مطالعه نشده است. علاوه بر این، بسیاری از مطالعات تنها گزارش واکنش روی-فسفر و یا اثرات منحصر به فرد فسفر یا روی بر رشد محصول، عملکرد و غلظت روی در بافت گیاه را بررسی کرده‌اند، در حالی که مطالعاتی درباره‌ی فراهمی روی برای برنج به خصوص در سیستم برنج هوازی وجود ندارد. به طور خاص، علاوه بر مصرف فسفر، زمان‌های مصرف آن نیز باید برای تجمع مناسب روی در دانه در سیستم‌های جدید کشت برنج در نظر گرفته شود. با این حال مطالعات بیش‌تری نیاز است تا به نتیجه‌گیری مناسبی از واکنش فسفر-روی در برنج هوازی دست یافت.

۷- نقش همزیست‌های قارچ ریشه (قارچ‌های میکوریزا)

همزیست‌های قارچ ریشه (قارچ‌های میکوریزا) باعث افزایش ظرفیت گیاه میزبان در جذب آب و مواد غذایی می‌شود. این افزایش برای آن دسته از مواد غذایی که مکانیزم انتشار در پویایی و تحرک آن‌ها دخالت دارد، بیش‌تر است. از این عناصر می‌توان به فسفر، روی و مس اشاره کرد. ریشه‌های قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌توانند بخش‌هایی فراتر از ریزوسفر ریشه را برای جذب آب و مواد غذایی درنوردند (مارسچنر و روم هلد، ۱۹۹۸). با این‌حال، پاسخ به تلقیح با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بسته به نوع گیاه و ژنوتیپ‌های قارچی متفاوت بوده و به فرایندهای متغیری نسبت داده می‌شود که در جذب مواد غذایی توسط گیاهان میکوریزایی شده (بسته به نوع مواد مغذی، وضعیت گیاه و بازده ارقام) دخالت دارند (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۰۹). تنوع زیادی در میان ژنوتیپ‌های برنج اراضی شالیزارهای پست غرقابی برای راندمان جذب روی وجود دارد (حافیظ و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه بر این، آزمایش‌ها نشان می‌دهند که تلقیح با میکوریزا جذب روی را در ارقام متحمل و کشت شده تحت شرایط کمبود روی تا ۲ برابر افزایش می‌دهد (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج نشان داد که اگر گیاه برنج تحت کشت هوازی با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار تلقیح شود، زیست‌توده‌ی بیش‌تری تولید کرده و روی بیش‌تری را در مقایسه با شاهد بدون میکوریزا آربوسکولار جذب می‌کند. پس از تلقیح شدن توسط قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار، کلونیزاسیون ریشه‌ای تا ۷۰ درصد طول کل ریشه در برنج هوازی افزایش می‌یابد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۵). در مقابل، چنین افزایشی، کلونیزاسیون ریشه‌های میکوریزا تحت شرایط مزرعه بسیار کم‌تر بوده که این نشان می‌دهد تنوع ژنوتیپی در ارقام برنج هوازی برای جذب روی و یا راندمان جذب روی نه تنها به اثر قارچ‌های گوناگون، بلکه به افزایش سطح ریشه و فرایندهای شیمیایی ریزوسفری مرتبط است (ویسسووا و همکاران، ۲۰۰۶). تلقیح با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌تواند جذب روی توسط برنج در خاک با روی کم را در هر دو شرایط رشد هوازی و غرقابی افزایش دهد. از آنجایی که ظرفیت قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در جذب روی و فسفر متفاوت است، برهم‌کنش‌شان با میزبان در سطح سلولی گیاه نیاز به بررسی بیش‌تر دارد (به‌خصوص با توجه به شکل‌گیری ترکیب پیچیده‌ی پروتئین فیتات و تاثیر آن بر ذخیره‌ی روی در بافت‌های گیاهی و در نتیجه انتقال مجدد روی و راندمان بارگذاری دوباره‌ی آن در دانه).

۸- روش‌های زراعی برای مدیریت روی در سیستم‌های تولید برنج

۸-۱- عملیات شخم (خاک‌ورزی)

باهدوری و پوراکیاستا (۲۰۱۱) گزارش کردند که خاک‌ورزی سنتی و یا کاهش در عملیات خاک‌ورزی اثر کمی بر قابلیت جذب روی در خاک‌های تحت کشت برنج داشته و می‌تواند به‌عنوان یک شاخص کیفیت خاک استفاده شود. از سوی دیگر، فسفر، روی و پتاسیم قابل عصاره‌گیری بالاتری در کشت بدون خاک‌ورزی درمقایسه با سیستم سنتی کشت و کار گزارش شده است (فرانزلوبرز و هونز، ۱۹۹۶). این تناقض در نتایج

توجیه کننده‌ی برهم‌کنش دراز مدت مطالعات میدانی با ترکیبی از سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت آب در تغذیه‌ی روی در تناوب برنج است.

۸-۲- تناوب و دوکشتی (کشت مخلوط) محصولات کشاورزی

طبیعت فشرده‌ی سیستم دوکشتی برنج- گندم در طی بیش از چند دهه در قطعات زراعی مشابه از یک زمین کشاورزی منجر به کمبود عناصر کم‌مصرف به‌ویژه روی می‌شود. تناوب زراعی سبب بهبود راندمان مصرف آب، خصوصیات خاک (مانند مقدار ماده‌ی آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی) شده و چرخه‌ی رشد حشرات، آفات و علف‌های هرز را در هم می‌شکند. تغییرات در خصوصیات خاک می‌تواند بر فراهمی روی تاثیر بگذارد. مندل و همکاران (۲۰۰۰) در یک سری از آزمایش‌ها بر روی آلفی‌سول‌ها و اینسپتی‌سول‌ها در هند گزارش کردند که واجذب روی از سطوح ذرات خاک در شرایط تر و خشک کردن متناوب، بالاتر از شرایط غرقابی بوده و نشان می‌دهد که تناوب کشت برنج غرقابی و ذرت راندمان استفاده از کود روی را در مقایسه با برنج غرقابی (به تنهایی) افزایش می‌دهد. علاوه بر این، افزودن بقولات علوفه‌ای در تناوب با غلات اثر قابل توجهی بر روی قابل جذب خاک داشته است. سوون (۱۹۹۴) اثرات طولانی‌مدت سیستم‌های کشت از جمله کشت مداوم جو، بروموگراس، یونجه، حبوبات، یونجه و جو را طی بیش از ۲۳ سال مورد بررسی قرار داده و نشان داد که کشت پی‌درپی غلات منجر به کاهش قابلیت تبادل خاک و جذب روی، افزایش روی متصل به آهن قابل احیا و منگنز اکسید، روی مسدود شده توسط اکسیدهای آهن و آلومینیم گردیده و این در حالی است که روی رسوب کرده توسط اکسیدهای آهن و آلومینیم ثابت مانده است. پویایی کلی روی در خاک‌های کشاورزی در کشت حبوبات- علوفه بالاتر از غلات- چمن بود. استفاده از منابع آلی روی در مقایسه با سولفات روی باعث حفظ بیش‌تر فراهمی روی خاک در تناوب برنج- گندم شده است (کومار و یادآو، ۱۹۹۵). با این حال، استفاده از تناوب مناسب تاثیر قابل توجهی در افزایش روی قابل جذب خاک یا استفاده از ذخیره‌ی روی بومی خاک داشت. اگرچه بسیاری از این مطالعات از افزایش عملکرد محصولات کشاورزی گزارش داده‌اند ولی به ندرت از اثر تناوب و یا کشت مخلوط بر میزان عناصر کم‌مصرف در غلات سخن گفته‌اند. با این حال، تناوب در کشت، یک راه حل پایدار مدیریتی منجر به افزایش فراهمی زیستی عنصر روی در سیستم‌های مختلف برنج ارائه نموده که باید موضوع تحقیقات بسیاری در آینده باشد.

۸-۳- کود دامی

کودهای دامی منبع غنی از مواد غذایی مورد نیاز گیاهان بوده و کاربرد آن‌ها با تغییر خواص شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک فراهمی این عناصر را بهبود می‌بخشند. کودهای دامی به انباشت و پویایی روی در خاک‌های آهکی از طریق فراهمی نیتروژن و اسیدهای آلی و در نتیجه کاهش اسیدیت‌ی خاک کمک می‌کند. یاسین و همکاران (۱۹۹۹) دریافتند که با کاربرد روی در ترکیب با NPK، کود سبز و یا بقایای مزرعه به افزایش عملکرد کاه و شلتوک کمک می‌کنند. کاربرد توام این کودها به افزایش مقدار نیتروژن و پتاسیم کمک کرده و میزان فسفر را کاهش می‌دهد که احتمالاً به دلیل اثر آنتاگونیستی روی و فسفر است. روی معمولاً به دلیل غلظت بالای بی‌کربنات تحت شرایط غرقابی غیرقابل جذب شده و

با این حال، اختلاط آزولا به عنوان کود سبز چند هفته قبل از کاشت با کاهش مقدار بی‌کربنات مانع کمبود روی در دو هفته پس از غرقاب می‌شود (ماندل و همکاران، ۱۹۹۲). علاوه بر این، مصرف آزولا با روی در طول دوره‌ی رشد ممکن است به آزادسازی آهسته‌ی روی موجود در کودهای آلی در طول تجزیه‌ی آن منجر شود. تاثیر این راهکار برای تغذیه‌ی روی در برنج تحت شرایط اراضی مرتفع ثابت شده است. البته این موضوع بیشتر در کاربرد توام کود مرغی یا گاوی رخ می‌دهد تا مصرف سولفات روی به تنهایی (سینق و همکاران، ۱۹۸۳). تجزیه‌ی مواد آلی باعث آزاد سازی اسید فولیک و دیگر اسیدهای آلی شده که سبب تشکیل ترکیبات پیچیده با روی معدنی و افزایش حلالیت و فراهمی آن برای گیاهان می‌گردد (مقصود و همکاران، ۲۰۱۱).

۸-۴- روش‌های اصلاحی

برای بهبود جذب روی با استفاده از روش‌های اصلاحی برنج می‌بایست تنوع ژنتیکی در میان گونه‌ها و حتی در میان ارقام درون‌گونه‌ای حساس به کمبود روی مد نظر قرار گیرد. کشت ارقام با بازدهی بیش‌تر روی در خاک‌های با روی قابل جذب کم و انتخاب ارقام کارآمد در جذب و مصرف مواد غذایی (غربالگری) ممکن است به بهره‌وری پایدار محصول و افزایش مقدار روی دانه کمک نماید (اسماعیل و همکاران، ۲۰۰۷). بازده مناسب‌تر ارقام برنج در جذب روی خاک به تحمل این ارقام به دیگر تنش‌های غیرزنده مانند pH و بی‌کربنات بالا نیز منجر می‌شود. علاوه بر این، غربالگری در مقیاس بزرگ ژرم‌پلاسم برنج برای تحمل به کمبود روی نشان می‌دهد که تحمل به شوری و کمبود فسفر نیز در این ارقام دیده می‌شوند. تنوع گسترده‌ی ژنوتیپی در محتوای روی دانه فرصتی برای استفاده از روش‌های اصلاحی سنتی برای توسعه‌ی ارقام با بهبود بازده روی در هر دو برنج هوازی و غرقابی ارائه می‌دهد. افزایش کارایی جذب روی در خاک‌هایی با میزان روی قابل جذب کم یا افزایش بازده داخلی مصرف روی گیاه در شرایطی که غلظت روی در بافت گیاه کم است، دو فرایند مهمی هستند که فرصتی مناسب را برای یافتن تنوع ژنوتیپی در ارقام گیاهان کشاورزی با استفاده از ابزارهای اصلاحی فراهم می‌کند (فروسساد و همکاران، ۲۰۰۰). غربالگری ژرم‌پلاسم ارقام محلی و در ادامه رویکرد سنتی اصلاح نباتات در برنج به دلیل وجود تنوع زیاد در ارقام برای جذب روی، انتقال روی جذب شده و پاسخ گیاه تحت کمبود روی می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب برای یافتن ارقام مقاوم مورد استفاده قرار گیرد (ژائو و همکاران، ۲۰۱۲). همان‌طور که رشد ریشه برای جذب روی مهم است، پرورش گیاه با ریشه‌ی طولانی‌تر و نازک‌تر نیز می‌تواند جذب روی و انتقال آن به ساقه‌ها را افزایش دهد (ژائو و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین تفاوت‌های ژنتیکی برای رشد ریشه در هر دو روش کشت هوازی و غرقابی برای ارقام برنج گزارش شده است (ماتسو و موشیزاکی، ۲۰۰۹).

۸-۵- روش‌های مولکولی

مقاومت در برابر کمبود روی (بازده صفر روی) توسط یک ژن تنها و غالب، قابل کنترل نیست (سینق و سترن، ۲۰۰۲). در عوض، ژن‌های انتقالی زیادی سبب افزایش بیان ژن در ریشه‌های برنج تحت کمبود روی می‌شوند که عبارتند از: OsZIP1، OsZIP3، OsZIP4 و OsZIP5 (لی و همکاران، ۲۰۱۰a,b) و

OsZIP1، OsZIP3 و OsZIP4 در دسته‌های آوندی برای انتقال روی به ساقه (ایشیمورو و همکاران، ۲۰۰۶). به‌ویژه، بیان ژن OsZIP4 مسئول انتقال روی در آوندهای ریشه و اندام‌های هوایی در برنج تحت کمبود روی است (ایشیمورو و همکاران، ۲۰۱۱). انتقال مجدد ضعیف روی از بخش‌های رویشی برنج معمولا به کمی مقدار روی دانه منجر می‌شود (ایشیمورو و همکاران، ۲۰۱۲). توسعه‌ی برنج تراریخته با بیان بیش از حد ژن OsZIP4 حاکی از دخالت این ژن در تخلیه‌ی روی در آوند چوبی ریشه و افزایش انتقال روی به ساقه بوده است (ایشیمورو و همکاران، ۲۰۰۷). بیان بیش از حد ژن‌های OsZIP1 و OsZIP3 به‌ترتیب نشان دهنده‌ی دخالت در جذب روی ریشه و روی هموستاز ساقه است (ایشیمورو و همکاران، ۲۰۰۷). توسعه‌ی ارقام برنج با بیان بیش از حد ژن‌های خاص انتقال روی که مسئول جذب روی توسط ریشه و انتقال آن به ساقه هستند ممکن است به بهبود میزان روی در دانه برنج بینجامد. از آنجایی که رهاسازی فیتوسیدروفرا در ریزوسفر ریشه به جذب آهن و روی در تعدادی از گونه‌های گیاهی انجامیده است، انتظار می‌رود بیان بیش از حد ژن خانواده‌ی فایتوسیدروفری میوژنیک اسید مانند HvNAS1 جو در برنج تراریخته منجر به تولید و افزایش انتشار فایتوسیدروفرا شود. در واقع، تولید بیش از حد نیکوتین امین، انتقال آهن و روی (به ترتیب دو تا سه برابر) به دانه‌های برنج را ترغیب می‌کند (ماسودا و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش مقدار روی دانه نیاز به بیان هدفمند ژن‌های مختلف مرتبط با انتقال روی و تنظیمات آن‌ها وابسته است.

مکانیسم‌های مختلفی بر میزان تفاوت‌های روی در دانه‌ی برنج تاثیر می‌گذارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: برون سپاری آنیون‌های اسید آلی با وزن مولکولی کم و فعالیت آنزیم وابسته به روی در ژنوتیپ‌های با بازده متفاوت در تجمع روی در دانه. این خصوصیات به شناسایی فرآیندها و مکانیسم‌هایی برای افزایش تجمع روی در دانه‌های برنج و توسعه‌ی ارقام مناسب کمک خواهد کرد (ایمپا و همکاران، ۲۰۱۰). به‌طور خاص، کنترل زمانی و مکانی بیان ژن انتقال روی از خانواده ZIP برای بهبود جذب، انتقال و ذخیره‌ی روی در دانه را می‌توان در راهبردهای اصلاحی برای افزایش قابل توجه در میزان روی در دانه‌های برنج به منظور کاهش گرسنگی پنهان و سوءتغذیه‌ی انسان مورد استفاده قرار داد (ایشیمورو و همکاران، ۲۰۰۷).

به تازگی، چندین QTL برنج برای محتوای مواد معدنی دانه در نقاط کروموزومی متفاوت تعریف شده است، اما نیاز به نقشه‌برداری دقیق‌تر برای شناسایی بهتر ژن‌ها است تا به گسترش تولید ارقام با چگالی بالای روی در دانه بینجامد (نورتون و همکاران، ۲۰۱۰). بحث بالا نشان می‌دهد که افزایش میزان روی در دانه نتیجه‌ی جذب مداوم روی از طریق ریشه‌ها و انتقال آن به بخش‌های رویشی و دانه، و همچنین انتقال مجدد از بخش‌های رویشی در طول دوره‌ی پر شدن دانه به سمت دانه است. کاربرد کود روی پایه در زمان کاشت در افزایش روی دانه به‌عنوان بخشی از روی اضافه شده در مرحله‌ی پر شدن دانه موثر نیست. بنابراین، استفاده از هر دو روش (ریزمغذی‌های غنی‌کننده‌ی دانه و استراتژی‌های مدیریت روی در ریزوسفر) در تنظیم عرضه‌ی روی به گیاه، زمانی که پتانسیل اکسایش و کاهش خاک در مراحل بعدی رشد

بالا باشد برای اطمینان از میزان روی بالا در دانه‌ی برنج مهم است (بی‌بوت و همکاران، ۲۰۱۰). با این حال، یک راه حل بلندمدت و پایدار شامل ترکیبی از استفاده‌ی صحیح از کودهای روی و ژنوتیپ برنج با بازده جذب روی بالا برای اطمینان از بازده اقتصادی و روی کافی در دانه، حتی در شرایطی که در آن روی کافی در دسترس گیاه نیست، ضروری به نظر می‌رسد.

۹- پژوهش‌های آینده

اغلب خاک‌های مزارع برنج دارای کمبود روی قابل جذب گیاه بوده و در نتیجه با کاهش عملکرد دانه و مقدار روی کم‌تر از حد مطلوب برای تغذیه‌ی انسان روبرو هستند. در سیستم سنتی کشت برنج، راندمان استفاده از کود روی اضافه شده بسیار کم است (۵-۱٪) (بی‌بوت و همکاران، ۲۰۱۰). با این حال، پویایی روی به‌طور قابل توجهی در خاک‌ها و سیستم‌های مختلف تولید برنج متفاوت است. در گذار از کشت غرقابی به کشت برنج مبتنی بر صرفه‌جویی آب، تغییر خواص خاک بر فراهمی روی برای محصولات کشاورزی تاثیر می‌گذارد. نیاز به مطالعه در جزئیات عملکرد و بهره‌وری از کودهای مختلف روی، تحت سیستم‌های مختلف تولید برنج، به‌ویژه در شرایط صرفه‌جویی آب به شدت احساس می‌شود. حلالیت در آب و تحرک کود روی در خاک از عوامل عمده‌ی بهره‌وری استفاده از آن‌ها هستند. اشکال کلاته روی تحرک بیش‌تری در خاک داشته و بنابراین در اصلاح کمبود روی در برنج از شکل‌های غیرآلی موثرترند. علاوه بر این، در مقایسه با کودهای معدنی روی، میزان ترکیبات کلاته شده برای برنج کم‌تر توصیه می‌شود، در حالی که استفاده از آن‌ها برای محیط زیست مفیدتر است. با این حال، اطلاعات کمی در مورد پاسخ این ترکیبات کلاته در سیستم‌های متفاوت تولید برنج وجود دارد. از آنجایی که بسیاری از روی مصرف شده در ساقه‌های برنج تجمع یافته‌اند افزایش انتقال مجدد روی، قبل و بعد از گرده‌افشانی برای افزایش میزان روی دانه در برنج و همچنین افزایش ظرفیت ذخیره‌ی روی قابل استفاده برای افزایش روی در دانه یک راهکار مفید است. این نه تنها باعث بهبود جذب روی شده، بلکه مکانیسم‌های تنظیم هموستاز روی را نیز فعال می‌کند. جذب روی به‌طور مداوم از طریق ریشه‌ها و بارگذاری درآوند چوبی و انتقال آن به دانه (در طول پرشدن دانه) جزء فرآیندهای کلیدی در افزایش میزان روی در دانه هستند. این فرایندها نیاز به افزایش دستکاری ژنتیکی داشته و باید با حفظ فراهمی نسبتاً بالای روی در خاک به‌طور توأمان استفاده شوند. بهبود انتقال روی به دانه از طریق افزایش بیان ژن‌ها در بافت برنج که به تراوش کلات کنندگی روی یا بیوسنتز انتقال دهنده‌های روی مرتبط می‌شوند بایستی به‌طور کامل مشخص شود. تنوع زیاد در جذب روی و میزان غلظت روی دانه در ارقام برنج باید برای شناسایی اهدا کنندگان صفات خاص مناسب برای ژنوتیپ‌ها در محیط‌های خاص مورد بهره‌برداری قرار گیرند. تحولات اخیر در شناسایی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و مولکولی کنترل جذب روی و تنظیم آن‌ها و همچنین تجمع در دانه، فرصت‌هایی را برای کاهش کمبود روی در گیاهان پیشنهاد می‌کند که از جمله می‌توان به یکپارچه‌سازی تکنیک‌های اصلاحی، اصلاح به کمک نشانگرها و

تکنیک‌های تحول در گیاه اشاره کرد. علاوه بر این، استفاده از ژنومیک‌های کاربردی باعث افزایش درک درست از اساس مولکولی تفاوت ژنوتیپی در پویایی روی در سیستم‌های مختلف تولید برنج می‌شود.

منابع

- Abilay WP, De Datta SK (1978) Management practices for correcting Zn deficiency in transplanted and direct seeded wet land rice. *Philipp J Crop Sci* 3:191–194
- Alloway BJ (2003) Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association. <http://zinc-crops.org>. p 114
- Alloway BJ (2009) Soils factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environ Geochem Health* 31(5):537–548
- Arnold T, Kirk GJD, Wissuwa M, Frei M, Zhao FJ, Mason TFD, Weiss DJ (2010) Evidence for the mechanisms of zinc uptake by rice using isotope fractionation. *Plant Cell Environ* 33:380–381
- Barber SA (1995) Soil nutrient bioavailability, 2nd edn. Wiley, New York
- Beebout SJ, Tuyogon D, Rubianes F, Castillo O, Larazo W, Bunquin M, Laureles E (2010) Improved zinc management strategies for rice scientists and farmers. In: Proceedings of 2010 International Annual Meetings of ASA-CSSA-SSSA, October 31 to November 04, 2010, Long Beach, California, USA
- Bostick BC, Hansel CM, La Force MJ, Fendorf S (2001) Seasonal fluctuations in Zinc speciation within a contaminated wetland. *Environ Sci Technol* 35:3823–3829
- Bouman BAM, Tuong TP (2001) Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. *Agric Water Manag* 49:11–30
- Brar MS, Sekhon GS (1976) Effect of Fe and Zn on the availability of micronutrients under flooded and unflooded condition. *J Indian Soc Soil Sci* 24:446–454
- Broadley MR, White PJ, Hammond JP, Zelko L, Lux A (2007) Zinc in plants. *New Phytol* 173:677–702
- Cakmak I (2000a) Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytol* 146:185–205
- Cakmak I (2000b) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytol* 146:185–205
- Cakmak I (2008) Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification. *Plant Soil* 302:1–17
- Chand M, Randhawa NS, Bhumbla DR (1981) Effectiveness of zinc chelates in zinc nutrition of greenhouse rice crop in a saline sodic soil. *Plant Soil* 59:217–225
- Chand M, Randhawa NS, Sinha MK (1980) Effect of gypsum, press-mud, fulvic acid and zinc sources on yield and zinc uptake by rice crop in a saline sodic soil. *Plant Soil* 55:17–24
- Chang H-B, C-Win Lin, Huang HJ (2005) Zinc induced cell death in rice (*Oryza sativa* L.) roots. *Plant Growth Regul* 46:261–266
- Chatterjee AK, Mandal LN, Haldar M (1982) Interaction of Zinc and Phosphorus in relation to micronutrient nutrition of rice plant at two different growth stages. *Z Pflanzenernahr Bodenk* 145:460–469
- Chen W, He ZL, Yang X, Feng Y (2009) Zinc efficiency is correlated with root morphology, ultrastructure, and antioxidative enzymes in rice. *J Plant Nutr* 32:287–305
- Chen W, Yang X, He Z, Feng Y, Hu F (2008a) Differential changes in photosynthetic capacity, 77 K chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure between Zn-efficient and Zn-inefficient rice genotypes (*Oryza sativa*) under low zinc stress. *Physiol Plant* 132:89–101
- Chen WR, Feng Y, Chao YE (2008b) Genomic analysis and expression pattern of OsZIP1, OsZIP3 and OsZIP4 in two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different zinc efficiency. *Russ J Plant Physiol* 55:400–409
- De Datta SK (1981) Principles and practices of rice production. John Wiley and Sons, New York
- Depar N, Rajpar I, Memon MY, Imtiaz M, Zia-ul-hassan (2011) Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes. *Pak J Agric Agril Eng Vet Sci* 27:134–142
- Dittert K, Lin S, Kreye C, Zheng XH, Xu YC, Lu SJ, Huang Y, Shen QR, Fan XL, Sattelmacher B (2002) Saving water with ground-cover rice production systems (GCRPS) at the price of increased greenhouse gas emissions? In: Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban PS, Tuong TP, Ladha JK (eds) Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production Los Banos, Philippines, 8– 11 April 2002. International Rice Research Institute, Los Banos, p 365
- Dobermann A, Fairhurst TH (2000) Nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute, PPI of Canada and International Rice Research Institute, Singapore, 192 pp
- Fageria NK, Baligar VC, Clark RB (2002) Micronutrients in crop production. *Adv Agron* 77:185–268
- Farooq M, Kobayashi NK, Wahid A, Ito O, Basra SMA (2009) Strategies for producing more rice with less water. *Adv Agron* 101:351–388
- Farooq M, Rehman A, Aziz T, Habib M (2011a) Boron nutrient priming improves the germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *J Plant Nutr* 34:1507–1515

- Farooq M, Siddique KHM, Rehman H, Aziz T, Lee D-J, Wahid A (2011b) Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities. *Soil Till Res* 111:87–98
- Farooq M, Wahid A, Siddique KHM (2012) Micronutrients application through seed treatments - a review. *J Soil Sci Plant Nutr* 12:125–142
- Forno DA, Yoshida S, Asher CJ (1975) Zinc deficiency in rice I. Soil factors associated with the deficiency. *Plant Soil* 42:537–550
- Franzluebbers AJ, Hons FM (1996) Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no tillage. *Soil Till Res* 39:229–239
- Frossard E, Bucher M, Mozafar FA, Hurrell R (2000) Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants of human nutrition. *J Sci Food Agric* 80:861–879
- Gao S, Tanji KK, Scardaci SC, Chow AT (2002) Comparison of redox indicators in a paddy soil during rice growing season. *Soil Sci Soc Am J* 66:805–817
- Gao X, Akhter F, Tenuta M, Flaten DN, Gawalko EJ, Grant CA (2010) Mycorrhizal colonization and grain Cd concentration of field-grown durum wheat in response to tillage, preceding crop and phosphorus fertilization. *J Sci Food Agric* 90:750–758
- Gao X, Hoffland E, Stomph TJ, Grant CA, Zou C, Zhang F (2012) Improving zinc bioavailability in transition from flooded to aerobic rice. A review. *Agron Sustain Dev* 32:465–478
- Gao XP, Zou C, Zhang F, van der Zee SETM, Hoffland E (2005) Tolerance to zinc deficiency in rice correlates with zinc uptake and translocation. *Plant Soil* 278:253–261
- Gao XP, Zou CQ, Fan XY, Zhang FS, Hoffland E (2006) From flooded to aerobic conditions in rice cultivation: consequences for zinc uptake. *Plant Soil* 280:41–47
- Giordano PM (1977) Efficiency of zinc fertilization for flooded rice. *Plant Soil* 48:673–684
- Giordano PM, Mortvedt JJ (1973) Zinc sources and methods of application for rice. *Agron J* 65:51–53
- Graham RD, Senadhira D, Beebe SE, Iglesias C, Oritz- Monasterio I (1999) Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: Conventional approaches. *Field Crop Res* 60:57–80
- Gregorio GB (2002) Progress in breeding for trace minerals in staple crops. *J Nutr* 132:500–502
- Hafeez B, Khanif YM, Samsuri AW, Radziah O, Zakaria W (2009) Zinc efficiency of rice genotypes grown in solution culture. 4th Conference on Recent Technologies in Agriculture, 2009. 3 to 5 November 2009, Cairo, Giza, Egypt
- Hajiboland R, Aliasgharzad N, Barzeghar NR (2009) Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on uptake of Zn and P by two contrasting rice genotypes. *Plant Soil Environ* 55:93–100.
- Hajiboland R, Yang XE, Romheld V, Nuemann G (2005) Effect of bicarbonate on elongation and distribution of organic acids in root and root zone of Zn efficient and Zn inefficient rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Environ Exp Bot* 54:163–173
- Hussain S, Maqsood MA, Rengel Z, Aziz T (2012) Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant Soil*. doi:10.1007/s11104-012-1217-4
- Impa SM, Schulin R, Ismail A, Beebout JS (2010) Unravelling the mechanisms influencing grain-zn content in rice genotypes. In: Abstracts, International Rice Congress, Hanoi-Vietnam, Nov 8-12, 2010
- Irshad M, Gill MA, Aziz T, Rahmatullah, Ahmad I (2004) Growth response of cotton cultivars to zinc deficiency stress in chelator-buffered nutrient solution. *Pak J Bot* 36:373–380
- Ishimaru Y, Bashir K, Nishizawa NK (2011) Zn uptake and translocation in rice plants. *Rice* 4:21–27
- Ishimaru Y, Masuda H, Suzuki M, Bashir K, Takahashi M, Nakanishi H (2007) Overexpression of the OsZIP4 zinc transporter confers disarrangement of zinc distribution in rice plants. *J Exp Bot* 58:2909–2915
- Ishimaru Y, Suzuki M, Tsukamoto T, Suzuki K, Nakazono M, Kobayashi T (2006) Rice plants take up iron as an Fe³⁺-phytosiderophore and as Fe²⁺. *Plant J* 45:335–346
- Ismail AM, Heuer S, Thomson JT, Wissuwa M (2007) Genetic and genomic approaches to develop rice germplasm for problem soils. *Plant Mol Biol* 65:547–570
- Jiang W, Struik PC, Lingna J, van Keulen H, Ming Z, Stomph TJ (2007) Uptake and distribution of root applied or foliar applied Zn after flowering in aerobic rice. *Ann Appl Biol* 150:383–391
- Jiang W, Struik PC, Zhao M, van Keulen H, Fan TQ, Stomph TJ (2008) Indices to screen for grain yield and grain zinc mass concentration in aerobic rice at different soil Zn levels. *NJAS Wageningen J Life Sci* 55:181–197
- Kang BT, Okoro EG (1976) Response of flooded rice grown on a vertisol from northern Nigeria to zinc sources and methods of application. *Plant Soil* 44:15–25
- Karak T, Das D (2006) Effect of foliar application of different sources of Zn application on the changes in Zn content, uptake and yield of rice (*Oryza sativa* L). 18th World Congress of Soil Science, July 9-15, 2006-Philadelphia, Pennsylvania, USA
- Khan MU, Qasim M, Jamil M (2002) Response of rice to zinc fertilizer in calcareous soils of D.I. Khan. *Asian J Plant Sci* 1:1–2
- Khan MU, Qasim M, Subhan M, Jamil M, Ahmad RD (2003) Response of rice to different methods of Zn application in calcareous soils. *Pak J Appl Sci* 3:524–529

- Kumar A, Yadav DS (1995) Use of organic manure and fertilizers in rice ± wheat cropping systems for sustainability. *Indian J Agric Sci* 65:703–707
- Lal B, Majumdar B, Venkatesh MS (2000) Individual and interactive effects of phosphorus and zinc in lowland rice. *Indian J Hill Farming* 13:44–46
- Lal R (2009) Laws of sustainable soil management. *Agron Sustain Dev* 29:7–10
- Lee S, Jeong HJ, Kim SA, Lee J, Guerinot ML, An G (2010a) OsZIP5 is a plasma membrane zinc transporter in rice. *Plant Mol Biol* 73:507–517
- Lee S, Kim SA, Lee J, Guerinot ML, An G (2010b) Zinc deficiency-inducible OsZIP8 encodes a plasma membrane-localized zinc transporter in rice. *Mol Cells* 29:551–558
- Li Y, Barker R (2004) Increasing water productivity for paddy irrigation in China. *Paddy Water Environ* 2:187–193
- Mahmoud Soltani, S., Hanafi, M. M., Wahid, S. A., & Kharidah, S. M. S. (2015). Growth performance of rice in Zinc deficit soils added with Zinc, Phosphorus and lime. PhD thesis desertation. UPM University. Malaysia.
- Mahmoud Soltani, S., Hanafi, M. M., Wahid, S. A., & Kharidah, S. M. S. (2015). Zinc fractionation of tropical paddy soils and their relationships with selected soil properties. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 27(2), 53-61.
- Mahmoud Soltani, S., Mohamed Musa Hanafi, Samsuri Abd. Wahid, Syed Muhamad Sharifah Kharidah. 2016. Lime and Zn application effects on soil and plant Zn status at different growth stages of rice in tropical acid sulphate paddy soil. *International journal of agricultural and biology*. (Accepted).
- Mahmoud Soltani, S., Mohamed Musa Hanafi, Samsuri Abd. Wahid, Syed Muhamad Sharifah Kharidah. 2016. Phosphorous and lime-induced zinc fractions under submerged condition in Zn deficit tropical paddy soils. *Agrokimia*. (Accepted).
- Mamoud Soltani, S. M., Hanafi, M. M., Samsuri, A. W., Muhammed, S. K. S., & 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), 152-162.
- Mandal B, Chatterjee J, Hazra GC, Mandal LN (1992) Effect of preflooding on transformation of applied zinc and its uptake by rice in lateritic soils. *Soil Sci* 153:250–257
- Mandal B, Hazra GC, Mandal LN (2000) Soil management influences on zinc desorption for rice and maize nutrition. *Soil Sci Soc Am J* 64:1699–1705
- Mandal B, Mandal LN (1999) Effect of phosphorus application on transformation of zinc fraction in soil and on the zinc nutrition of lowland rice. *Plant Soil* 121:115–123
- Maqsood MA, Hussain S, Aziz T, Ashraf M (2011) Wheat exuded organic acids influence zinc release from calcareous soils. *Pedosphere* 21(5):657–665
- Marschner H, Romheld V (1998) Role of root growth, arbuscular mycorrhiza and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. *Field Crops Res* 56:203–207
- Masuda H, Usuda K, Kobayashi T, Ishimaru Y, Kakei Y, Takahashi M, Higuchi K, Nakanishi H, Mori S, Nishizawa NK (2009) Overexpression of the barley nicotianamine synthase gene *hvnas1* increases iron and zinc concentrations in rice grains. *Rice* 2:155–166
- Matsuo N, Mochizuki T (2009) Genotypic differences in root traits of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings grown under different soil environments. *Plant Root* 3:17–25
- Morete MJ, Impa SM, Rubianes F, Beebout SEJ (2011) Characterization of zinc uptake and transport in rice under reduced conditions in agar nutrient solution., 2011. 14th Philippine Society of Soil Science and Technology, Scientific Conference, 25–27 May, VSU, Baybay, Leyte, Philippines
- Naik SK, Das DK (2007) Effect of split application of zinc on yield of rice (*Oryza sativa* L.) in an inceptisol. *Arch Agron. Soil Sci* 53(3):305–313
- Nattinee P, Cakmak I, Panomwan B, Jumniun W, Benjavan R (2009) Role of Zn fertilizers in increasing grain zinc concentration and improving grain yield of rice. *The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI*, Department of Plant
- Nayyar VK, Takkar PN (1980) Evaluation of various zinc sources for rice grown on alkali soil. *J Plant Nutr Soil Sci* 143:489–493
- Nene YL (1966) Symptoms, cause and control of Khaira disease of paddy. *Bull Indian Phytopathol Soc* 3:97–191
- Neue HU, Lantin RS (1994) Micronutrient toxicities and deficiencies in rice. In: Yeo AR, Flowers TJ (eds) *Soil mineral stresses: approaches to crop improvement*. Springer, Berlin, pp 175–200
- Norton GJ, Deacon CM, Xiong LZ, Huang SY, Meharg AA, Price AH (2010) Genetic mapping of the rice ionome in leaves and grain: identification of QTLs for 17 elements including arsenic, cadmium, iron and selenium. *Plant Soil* 329:139–153
- Olsen SR (1972) Micronutrient interaction. In: *Micronutrients in agriculture*. Soil Sci. Society of America. Inc. Madison, Wisconsin, pp 243–264

- Parsad B, Sharma MM, Sinha SK (2002) Evaluating Zn fertilizer requirements on typical haplaquent in the rice-wheat cropping system. *J Sustain Agric* 19:39–49
- Phattarakul N, Mongon J, Rerkasem B (2011) Variation in rice grain zinc and their response to zinc fertilizer. 3rd International Zinc Symposium 10-14 October 2011, Hyderabad, India
- Ponnampereuma FN (1972) The chemistry of submerged soils. *Adv Agron* 24:29–96
- Prasad R (2011) Aerobic rice systems. *Adv Agron* 111:207–247
- Qadar A (2002) Selecting rice genotypes tolerant to zinc deficiency and sodicity stresses. I. Differences in zinc, iron, manganese, copper, phosphorus concentrations and phosphorus/zinc ratio in their leaves. *J Plant Nutr* 25:457–473
- Rashid A, Yasin M, Ashraf M (1999) Zinc enrichment of the mat-type rice nursery. *IRRN* 27:32–33
- Rathore GS, Dubey SB, Khamparia RS, Sharma BL (1995) Annual progress report of all India Co-ordinated scheme of micronutrient and secondary nutrients and pollutants in soils and plants. Department of Soil Science, JNKVV, Jabalpur, Madhya Pradesh
- Reed ST, Martens DC (1996) Copper and zinc. In: Sparks DL (eds) *Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods*: Madison, Wisconsin, Soil Sci. Soc. of America, Inc
- Rehman H, Farooq M, Basra SMA (2012) High grain Zn content results from increased Zn supply and remobilization during grain filling in water saving rice cultivation. In: *Abstracts of 14th Congress of Soil Science*, 12-15 March, 2012, Lahore, Pakistan
- Rengel Z (1995a) Carbonic anhydrase activity in leaves of wheat genotypes differing in Zn efficiency. *J Plant Physiol* 147:251–256
- Rengel Z (1995b) Sulfhydryl groups in root-cell plasma membranes of wheat genotypes differing in Zn efficiency. *Physiol Plant* 95:604–612
- Rengel Z, Batten G, Crowley D (1999) Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Res* 60:28–40
- Renkou X, Zhao A, Li Q, Kong X, Ji G (2003) Acidity regime of the Red Soils in a subtropical region of southern China under field conditions. *Geoderma* 115:75–84
- Sadeghzadeh B, Rengel Z (2011) Zinc in soils and crop nutrition. In: Hawkesford MJ, Barraclough P (eds) *The molecular basis of nutrient use efficiency in crops*. Wiley, London, pp 335–376
- Sasaki H, Hirose T, Watanabe Y, Ohsugi R (1998) Carbonic anhydrase activity and CO₂-transfer resistance in Zn deficient rice leaves. *Plant Physiol* 118:929–934
- Savithri P, Perumal R, Nagarajan R (1998) Soil and crop management technologies for enhancing rice production under micronutrient constraints. *Nutr Cycl Agroecosyst* 53:83–92
- Sedberry JE, Peterson FJ Jr, Wilson E, Nugent AL, Engler RM, Brupbacher RH (1971) Effects of zinc and other elements on the yield of rice and nutrient content of rice plants. *Louisiana State Univ. Agric. Exp. Stn. Bull.* 653
- Shi J, Li L, Pan G (2009) Variation of grain Cd and Zn concentrations of 110 hybrid rice cultivars grown in a low Cd paddy soil. *J Environ Sci* 21(2):168–172
- Shivay YS, Kumar D, Prasad R, Ahlawat LPS (2008) Relative yield and zinc uptake by rice from zinc sulphate and zinc oxide coatings onto urea. *Nutr Cycl Agroecosyst* 80:181–188
- Shuman LM, McCracken DV (1999) Tillage, lime, and poultry litter effects on soil zinc, manganese, and copper. *Commun Soil Sci Plant Anal* 30:1267–1277
- Singh AP, Sakal R, Singh BP (1983) Relative effectiveness of various types and methods of zinc application on rice and maize crops grown in calcareous soil. *Plant Soil* 73:315–322
- Singh MV (2003) Micronutrient seed treatment to nourish the crops at the critical stages of growth. *Tech. Bull. IISS, Bhopal*, pp 1–93
- Singh MV (2007) Efficiency of seed treatment for ameliorating zinc deficiency in crops. *Proceedings of Zinc Crops Conference, Istanbul, Turkey*
- Singh SP, Westermann DT (2002) A single dominant gene controlling resistance to soil zinc deficiency in common bean. *Crop Sci* 42:1071–1074
- Skoog F (1940) Relationships between zinc and auxin in the growth of higher plants. *Am J Bot* 27:937–951
- Slaton NA, Gbur EE Jr, Wilson CE Jr, Norman RJ (2005a) Rice response to granular zinc sources varying in water soluble zinc. *Soil Sci Soc Am J* 69:443–452
- Slaton NA, Norman RJ, Wilson CE Jr (2005b) Effect of Zn source and application time on Zn uptake and grain yield of flood irrigated rice. *Agron J* 92:272–278
- Slaton NA, Wilson CE Jr, Ntamatungiro S, Norman RJ, Boothe DL (2001) Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agron J* 93:152–157
- Stomph TJ, Hoebe N, Spaans E, van der Putten PEL (2011) The relative contribution of post-flowering uptake of zinc to rice grain zinc density. 3rd International Zinc Symposium 10-14 October 2011, Hyderabad, India
- Storey JB (2007) Zinc. In: Barker AV, Pilbeam DJ (eds) *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, pp 411–436
- Subedi M, Kreye C, Becker M (2010) Effects of moisture regimes and soil pH on micronutrient uptake of aerobic rice. *Nepal J Agric Sci* 8:16–25

-
- Takkar PN, Sidhu BS (1977) Kinetics of Zn transformations in submerged alkaline soils in the rice growing tracts of Punjab. *J Agric Res (Camb)* 93:441–451
 - Tariq M, Hameed S, Malik KA, Hafeez FY (2007) Plant root associated bacteria for Zn mobilization in rice. *Pak J Bot* 39:245–253
 - Teale WD, Paponov IA, Palme K (2006) Auxin in action: signaling, transport and control of plant growth and development. *Nat Rev Mol Cell Biol* 7:847–859
 - Vallee BL, Falchuk KH (1993) The biochemical basis of zinc physiology. *Physiol Rev* 73:79–118
 - Von Grebmer K, Fritschel H, Nestorova, B, Olofinbiyi T, Pandya-Lorch R, Yohannes Y (2008) Global Hunger Index. The Challenge of Hunger 2008. Bonn, Washington D.C., Dublin, October 2008
 - Welch RM (2002) Breeding strategies for biofortified staple plant foods to reduce micronutrient malnutrition globally. *J Nutr* 132:495–499
 - Welch RM, Graham RD (1999) A new paradigm for world agriculture: meeting human needs. Productive, sustainable, nutritious. *Field Crops Res* 60:1–10
 - Welch RM, Webb MJ, Loneragan JF (1982) Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity (Crops). In: Scaife A (ed) Plant nutrition. Proceedings of the 9th International Plant Nutrition Colloquium, Warwick University, England, August 1982, pp 710–715
 - Wissuwa M, Ismail AM, Yanagihara S (2006) Effects of zinc deficiency on rice growth and genetic factors contributing to tolerance. *Plant Physiol* 142:731–741
 - Wu C, Lu LL, Yang X-E, Feng YY, Wei Y-Y, Hao H-LL, Stoffella PJ, He Z-L (2010) Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. *J Agric Food Chem* 58:6767–6773
 - Yang X, Ye ZQ, Shi CH, Zhu ML, Graham RD (1998) Genotypic differences in concentrations of iron, manganese, copper, and zinc in polished rice grains. *J Plant Nutr* 21:1453–1462
 - Zhang XH, Zhu YG, Chen BD, Lin AJ, Smith SE, Smith FA (2005) Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to resistance of upland rice to combined metal contamination in soil. *J Plant Nutr* 28:2065-2077

لیست نشریه‌های موسسه‌ی تحقیقات برنج کشور

شماره‌ی نشریه	عنوان	نویسنده(گان)	سال	قیمت (تومان)
۱	روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی دانه‌ی برنج	فاطمه حبیبی	۱۳۹۲	۳۰۰۰
۲	کرم ساقه‌خوار نواری برنج (شناسایی، زیست‌شناسی، خسارت و کنترل)	فرزاد مجیدی	۱۳۹۲	۳۰۰۰
۳	بیماری سوختگی باکتریایی برگ برنج	مریم خشکدامن	۱۳۹۲	۳۰۰۰
۴	مراحل فنولوژی برنج	مجید نحوی و مهرزاد اله‌قلی‌پور	۱۳۹۳	۳۰۰۰
۵	خصوصیات برخی از ارقام محلی برنج در شرایط استان گیلان	مهرزاد اله‌قلی‌پور و محمد صالح محمد صالحی	۱۳۹۳	۳۰۰۰
۶	اصلاح روش اندازه‌گیری میزان آمیلوز در دانه‌ی برنج بر اساس روش ایزو ۶۶۴۷	فاطمه حبیبی و همکاران	۱۳۹۳	۳۰۰۰
۷	بیماری سیاهک دروغی برنج	فریدون پاداشت و سمیه داریوش	۱۳۹۳	۳۰۰۰
۸	معرفی‌نامه‌ی موسسه تحقیقات برنج کشور	فرامرز علی‌نیا، مهدی جلالیان، آتوسا فرحپور	۱۳۹۳	---
۹	پروانه‌ی تک‌نقطه‌ای برنج و روش‌های کنترل آن	فرزاد مجیدی	۱۳۹۳	۳۰۰۰
۱۰	راهنمای استفاده از تراکتور دو چرخ و خاک همزن	علیرضا علامه	۱۳۹۳	۳۰۰۰
۱۱	راهنمای ارزیابی مزارع برنج خسارت دیده	ناصر دوات‌گر و شهریار بابازاده	۱۳۹۴	۳۰۰۰
۱۲	زهرابه‌های قارچی در برنج	فریدون پاداشت و همکاران	۱۳۹۴	۳۰۰۰
۱۳	اهمیت تغذیه برگی عناصر کم مصرف در کشت برنج	حسن شکری‌واحد	۱۳۹۴	۳۰۰۰
۱۴	بومی‌سازی توسعه سریع نسل (RGA) در گیاه برنج	محسن قدسی و همکاران	۱۳۹۵	۳۰۰۰
۱۵	تبدیل کاه و کلش برنج به کمپوست و موارد استفاده از آن	تیمور رضوی‌پور و شهریار بابازاده	۱۳۹۵	۳۰۰۰

شماره‌ی نشریه	عنوان	نویسنده(گان)	سال	قیمت (تومان)
۱۶	کلکسیون قارچ‌های برنج ایران	فریدون پاداشت و سمیه داریوش	۱۳۹۵	۳۰۰۰
۱۷	پتاسیم در خاک و روش‌های عصاره‌گیری آن در خاک‌های شالیزاری	مسعود کاوسی	۱۳۹۵	۳۰۰۰
۱۸	ضرورت مصرف کود سیلیکاته در اراضی شالیزاری	الهیار فلاح و محمد محمدیان	۱۳۹۵	۳۰۰۰
۱۹	گیلانه، رقم جدید برنج	مهرزاد اله‌قلی‌پور	۱۳۹۵	۳۰۰۰
۲۰	دستورالعمل زراعی رقم جدید برنج، گیلانه	مهرزاد اله‌قلی‌پور و همکاران	۱۳۹۶	۳۰۰۰
۲۱	توده‌های محلی و ارقام برنج لنجان	احمد رضانی	۱۳۹۶	۳۰۰۰
۲۲	کمبود روی، علل، علائم و راه‌کارهای مقابله با آن	شهرام محمودسلطانی	۱۳۹۶	۳۰۰۰
۲۳	کوتولگی برنج و مدیریت آن	بیژن یعقوبی	۱۳۹۶	۳۰۰۰
۲۴	دستورالعمل ملی کدگذاری لاین‌های اصلاحی برنج	مجید ستاری و همکاران	۱۳۹۶	۳۰۰۰
۲۵	معرفی شب‌پره برگ‌خوار قهوه‌ای برنج <i>Rivula sericealis</i> (اولین گزارش خسارت در مزارع برنج شمال ایران)	مهرداد عمواقلی‌طبری و همکاران	۱۳۹۶	۳۰۰۰
۲۶	سابقه کشت برنج در اصفهان	احمد رضانی	۱۳۹۶	۳۰۰۰
۲۷	حلزون گیاهچه‌خوار برنج <i>Succinea putris</i> L. (زیست‌شناسی و کنترل)	مهرداد عمواقلی‌طبری و همکاران	۱۳۹۶	۳۰۰۰
۲۸	اکولوژی برنج	الهیار فلاح	۱۳۹۷	۳۰۰۰
۲۹	استفاده از روش میلگارد در ارزیابی خواص حسی برنج	فاطمه حبیبی و کبری تجددی‌طلب	۱۳۹۷	۳۰۰۰
۳۰	کرم سبز برگ‌خوار برنج و کنترل آن	فرزاد مجیدی‌شیل‌سر	۱۳۹۷	۵۰۰۰

شماره‌ی نشریه	عنوان	نویسنده (گان)	سال	قیمت (تومان)
۳۱	تغذیه روی در سیستم‌های کشت برنج	شهرام محمودسلطانی	۱۳۹۷	۵۰۰۰

علاقه‌مندان به خرید نشریه می‌توانند به آدرس موسسه‌ی تحقیقات برنج کشور مکاتبه نموده یا با مسئول کتابخانه‌ی موسسه تماس حاصل فرمایند. شماره‌ی تماس: تلفن: ۰۱۳-۳۳۶۹۰۰۵۲ داخلی ۲۲۳؛ دورنگار: ۰۱۳-۳۳۶۹۰۰۵۱