

اثر میزان درونی روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر عملکرد و ترکیبات ذخیره‌ای دانه

گندم

مجید عبدلی^۱، عزت‌اله اسفندیاری^{۲*}، سید بهمن موسوی^۳، بهزاد صادق‌زاده^۴ و محسن سعیدی^۵

- (۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
- (۲) دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
- (۳) دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
- (۴) استادیار مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ایران.
- (۵) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

* نویسنده مسئول: Esfand1977@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۰۱

چکیده

به منظور بررسی اثر محتوای درونی روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر عملکرد و کیفیت دانه گندم نان رقم کوه‌دشت این تحقیق به صورت گلدانی در سال ۱۳۹۳ در دانشگاه مراغه انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول میزان درونی روی بذر که شامل بذور با روی کم (۱۹۹ نانوگرم روی در بذر) و بذور با روی زیاد (۵۹۵ نانوگرم روی در بذر) و فاکتور دوم محلول پاشی سولفات روی شامل بدون محلول پاشی (شاهد) و محلول پاشی با غلظت دو گرم بر لیتر در مراحل ساقه‌دهی و آغاز پر شدن دانه بودند. نتایج نشان داد که محتوای روی بیش تر بذر اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر درصد سبز شدن، عملکرد دانه و شاخص برداشت داشت، اما اثر این تیمار بر صفات زیست‌توده تولیدی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه بارور و غلظت عناصر کم‌نیاز دانه معنی‌دار نبود. محلول پاشی سولفات روی نیز بر عملکرد دانه، زیست‌توده، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه بارور و ارتفاع بوته معنی‌دار بود که به ترتیب باعث افزایش ۵۸/۳، ۴۶، ۷۸/۶، ۲۶/۱ و پنج درصدی صفات فوق نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) گردید و همچنین سبب افزایش ۱۸/۵ و ۳۳/۲ درصدی غلظت عناصر روی و منگنز در دانه گندم شد اما اثر معنی‌داری بر غلظت آهن و مس نداشت. محلول پاشی سولفات روی هر چند سبب کاهش ۲۴/۷ درصدی میزان اسیدفیتیک در دانه شد ولی از لحاظ آماری تفاوتی با عدم محلول پاشی نداشت.

واژه‌های کلیدی: اسیدفیتیک، خاک آهکی و عملکرد دانه.

مقدمه

گیاهان در طول دوره رشد و نمو خود تحت اثر انواع مختلف تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرند که از بین تنش‌های غیرزیستی می‌توان به کمبود عناصر ریزمغذی به ویژه در خاک‌های آهکی اشاره کرد. کمبود عنصر روی یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین کمبود عناصر ریزمغذی در دنیا می‌باشد (Cakmak, 2008). طبق گزارش Malakouti (۲۰۰۷) بالغ بر ۶۰ درصد اراضی ایران به درجات مختلف کمبود روی مبتلا بوده و این عامل باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد محصولات می‌شود. اگرچه نیاز گیاهان به عنصر روی اندک است ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارآمدی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی رنج خواهند برد (Sadeghzadeh, 2013). از دلایل کمبود این عنصر می‌توان به آهکی بودن خاک‌ها، بی‌کربناتی بودن آب آبیاری، پایین بودن مواد آلی خاک و مصرف بی‌رویه کودهای فسفاتی اشاره کرد، که برآیند این عوامل موجب کمبود روی در گیاه، کاهش عملکرد و افت ارزش تغذیه‌ای محصولات تولیدی (به خاطر افزایش میزان اسیدفیتیک) و در نهایت سبب بروز کمبود روی در جامعه انسانی که از این محصولات استفاده می‌کنند، می‌شود. امروزه کمبود این عنصر در بین مردم کشورهای در حال توسعه مانند ایران به عنوان یک مشکل عمومی مطرح است. به طوری که بیش از دو میلیارد نفر از مردم این کشورها و به طور کلی تقریباً یک سوم جمعیت جهان از کمبود روی رنج می‌برند (Alloway, 2009). باتوجه به اینکه روی در ساختار نزدیک به ۳۰۰ آنزیم نقش کوفاکتوری ایفا می‌کند پس کمبود آن سبب ضعف سیستم ایمنی بدن، کوتاهی قد افراد، ریزش مو، ناباروری و کاهش ضریب هوشی افراد جامعه می‌گردد (Rosado, 2003; Hotz and Brown, 2004). سازمان بهداشت جهانی^۱ (۲۰۰۲) برآورد نموده‌است که به طور میانگین کمبود روی عامل مرگ ۸۰۰ هزار انسان در سال می‌باشد و کمبود این عنصر را پنجمین عامل مرگ و میر در کشورهای در حال توسعه اعلام کرده‌است (White and Broadley, 2009). امروزه محققان متعددی بهترین روش مقابله با کمبود ریزمغذی‌ها را غنی‌سازی زیستی^۲ می‌دانند که قادر است با افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم امنیت غذایی را بهبود بخشد (Mayer et al., 2008; Khoshgoftar et al., 2010; Abdoli et al., 2014). با توجه به مزیت‌های یاد شده، امروزه این روش در کشورهای متعددی مانند ترکیه، پاکستان، هند، استرالیا و برخی دیگر از کشورها با هدف کاهش سوء تغذیه و تقویت سیستم ایمنی و بهبود سلامت جامعه در حال اجرا می‌باشد. تاکنون تحقیقات متعددی در ارتباط با اثر محتوای روی بذر و روش‌های مختلف کاربرد روی بر عملکرد کمی و کیفی گندم صورت گرفته‌است (ثوابقی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۸۲؛ استیری و همکاران، ۱۳۹۳؛ Yilmaz et al., 1998). به طوری که، اثر محلول پاشی عناصر کم نیاز به ویژه روی و در نتیجه افزایش میزان آن در

¹ World Health Organization (WHO)

² Biofortification

بذر سبب توسعه بهتر و بیش تر ریشه در مدت زمان جوانه زنی می شود (برانی دستجردی و همکاران، ۱۳۹۴). زیرا مقدار زیاد این عنصر در بذر طی مدت جوانه زنی باعث افزایش فعالیت های متابولیکی جهت تفکیک سلول ها می شود. از طرف دیگر سبب حفاظت گیاهچه های جوانه زده در برابر بیماری های خاکزی و افزایش تحمل نسبت به تنش های محیطی می شود. Yilmaz و همکاران (۱۹۹۸) و ثوابی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۲) با تحقیق بر گیاه گندم اظهار کردند که عملکرد بوته های حاصل از بذور محتوای روی بالا، بیش از بذور با روی کم تر است. هم چنین برخی از محققان گزارش کردند که مصرف کودهای شیمیایی حاوی روی توانست ضمن افزایش میزان عملکرد دانه، میزان روی موجود در دانه را افزایش دهد که برآیند آن کاهش اسیدفیتیک دانه و افزایش عملکرد کیفی گندم تولید شده بود (ثوابی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۸۲؛ کدخدایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Hussain *et al.*, 2013). مارالیان و همکاران (۱۳۸۷) گزارش کردند که محلول پاشی آهن و روی با غلظت سه در هزار توأم در مراحل پنجه زنی، سنبله دهی و پر شدن دانه ها سبب بهبود صفات زراعی (مانند تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور و عملکرد دانه) و افزایش کیفیت دانه (به ویژه میزان پروتئین، روی، آهن و منگنز) گردید، که احتمالاً به دلیل اثر عنصر روی بر کلروفیل برگ و هورمون ایندول استیک اسید می باشد که با افزایش میزان رنگیزه ها، فتوسنتز بهبود می یابد و در نهایت موجب تولید ماده خشک و عملکرد بیش تر می شود. از طرف دیگر عنصر روی در گندم باعث تسهیل جریان کربوهیدرات ها از برگ و ساقه به دانه و در نهایت باعث بالا رفتن کیفیت دانه نیز می شود. از دیگر مزایای مصرف روی، می توان به کاهش تجمع سدیم در بافت های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر اشاره کرد که برآیند این عوامل سبب بهبود عملکرد کمی و کیفی طی مصرف روی در محصولات زراعی می شود (Krishna, 1995; Malakouti, 2008). بایوردی و طهرانی (۱۳۸۹) نیز اثر مثبت مصرف خاکی و محلول پاشی روی را بر عملکرد کمی و کیفی گندم گزارش کرده اند. باتوجه به موارد یاد شده و نقش مهم گندم در تأمین انرژی مورد نیاز مردم کشور و درصد بالای خاک های آهنکی در ایران به همراه اثر منفی بالا بودن میزان اسیدفیتیک و نسبت مولی اسیدفیتیک به روی، در این آزمایش سعی شده است اثر کاربرد برگی روی و محتوای روی بذر بر عملکرد کمی و کیفی گندم نان در خاک آهنکی بررسی شود.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر محتوای درونی روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر عملکرد و کیفیت دانه گندم نان رقم بهاره کوهدشت، این آزمایش در فضای آزاد به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در دانشگاه مراغه انجام شد. در این آزمایش فاکتور اول محتوای روی بذر شامل ۱۹۹ و ۵۹۵ نانوگرم روی در بذر (به ترتیب به عنوان مقادیر کم و زیاد روی بذر در نظر گرفته شد) و فاکتور دوم محلول پاشی سولفات روی شامل بدون محلول پاشی

(شاهد) و محلول پاشی با غلظت دو گرم بر لیتر از منبع $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ در مراحل ساقه‌دهی و آغاز پر شدن دانه بودند. در سال قبل اثر دزهای مختلف محلول پاشی سولفات روی (صفر تا ۳ گرم بر لیتر) و هم‌چنین محلول پاشی سولفات روی در مراحل مختلف رشدی گندم (از مرحله پنجه‌زنی تا اواسط پر شدن دانه) بر عملکرد دانه بررسی شده بود و مناسب‌ترین دز و بهترین مرحله رشدی برای محلول پاشی در این آزمایش انتخاب شد (نتایج منتشر نشده است). به منظور جذب بهتر روی به محلول مورد استفاده در زمان اسپری برگی، اوره (۱۰ درصد وزنی- حجمی) و چند قطره تیپول به عنوان مویان اضافه شد (Singh Shivay *et al.*, 2008). هم‌چنین عملیات محلول پاشی در ساعات پایانی روز با استفاده از سمپاش پشتی انجام گردید. لازم به ذکر است که بذور گندم با میزان روی متفاوت از محلول پاشی سولفات روی بر بوته‌های گندم در آزمایشات مزرعه‌ای سال قبل به‌دست آمد. میزان عنصر روی در دانه پس از تهیه عصاره با دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300 Shimadzu) اندازه‌گیری و پس از تجزیه نتایج اختلاف بذور از نظر میزان روی در سطح احتمال یک درصد مشخص گردید (جدول ۱).

پس از بررسی‌های اولیه خاک مورد نظر (خاک آهکی با ۲۰ درصد کربنات کلسیم و دارای روی قابل جذب کم‌تر از ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) انتخاب و پس از هوا خشک کردن، از الک عبور داده شد. عناصری نظیر نیتروژن (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیترات کلسیم) و فسفر (۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفات پتاسیم) با توجه به نتایج آزمون خاک و نیاز غذایی گیاه با خاک مخلوط شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است. بذور یکنواخت گندم با مقادیر متفاوت روی، در گلدان‌هایی با ابعاد $50 \times 30 \times 30$ سانتی‌متر به‌ترتیب طول، عرض و ارتفاع، که با ۲۵ کیلوگرم خاک پر شده بود در عمق سه تا چهار سانتی‌متری کشت شدند. به‌طوری‌که در هر گلدان ۹۰ عدد بذر با فواصل یکنواخت در ۲۰ فروردین ۱۳۹۳ کشت گردید. در طول دوره داشت، آبیاری گلدان‌ها بسته به شرایط جوی و نیاز گیاه به‌طور کلی به‌صورت یک روز در میان صورت گرفت. میانگین دمای هوا، بارندگی و رطوبت نسبی در طول فصل زراعی در جدول ۳ نشان داده شده‌است.

برای اندازه‌گیری درصد سبز شدن بذور، زمان‌های ظاهر شدن گیاهچه در سطح خاک به مدت دو هفته بعد از کشت، ثبت گردید. برای تخمین وزن خشک کاه سنبله و میان‌گره دم گل آذین^۱، سه هفته بعد از محلول پاشی (مصادف با اواسط پر شدن دانه) از هر یک از تیمارها پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از تفکیک به قسمت‌های مختلف در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، خشک و سپس توزین شد. در نهایت پس از رسیدن بوته‌های گندم به رسیدگی فیزیولوژیکی در تاریخ ۲۵ تیرماه ۱۳۹۳، برای تعیین عملکرد دانه و زیست‌توده تولیدی، کلیه بوته‌های در گلدان

^۱ Peduncle

کف بر شدند و برای محاسبه تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، تعداد سنبلچه بارور و ارتفاع بوته، ۲۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و پارامترهای مذکور اندازه گیری شدند. ارتفاع بوته فاصله بین سطح خاک در گلدان تا سنبلچه انتهایی در نظر گرفته شد.

نمونه های دانه در هر تیمار و تکرار جداگانه آسیاب شده و از هر کدام ۰/۵ گرم توزین و توسط کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت شش ساعت خاکستر شد. نمونه های خاکستر در پنج میلی لیتر اسید کلریدریک (دو نرمال) حل شده و به مدت ۴۵ دقیقه روی هات پلات در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و در نهایت با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده و عصاره گیری با عبور دادن محلول از کاغذ صافی انجام گرفت. در عصاره های به دست آمده میزان عناصر روی، آهن، مس و منگنز با دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300 Shimadzu) اندازه گیری شد (امامی، ۱۳۷۵). از روش Haug و Lantzs (۱۹۸۳) برای اندازه گیری اسیدفیتیک در دانه استفاده شد. نسبت مولی اسیدفیتیک^۱ به روی^۲ بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (Erdal et al., 2002):

$$\text{PA/Zn} = [۶۵ / \text{غلظت روی (میلی گرم بر کیلوگرم)}] / [۶۶۰ / \text{غلظت اسیدفیتیک (میلی گرم بر ۱۰۰ گرم)}]$$

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

جدول ۱: غلظت و محتوای عنصر روی دو نوع بذر استفاده شده در آزمایش

میزان عنصر روی	غلظت عنصر روی در بذر (میلی گرم بر کیلوگرم)	محتوای روی بذر (نانوگرم در بذر)
کم	۷/۷ ± ۰/۲b	۱۹۹ ± ۲۸b
زیاد	۱۹/۷ ± ۳/۶a	۵۹۵ ± ۱۰۲a

بذور با میزان عنصر روی متفاوت از محلول پاشی سولفات روی در مزرعه طی سال قبل به دست آمده بود. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری ندارند. میانگین ± اشتباه معیار.

جدول ۲: برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربنات کلسیم (درصد)	اسیدیته	آهن	مس	روی	پتاسیم (پی.پی.ام)	کلسیم	منیزیم	فسفر
۲/۳	۲۰	۷/۲	۳/۱۲	۰/۷	۰/۶	۳۶۰	۴۶	۲۲/۸	۶/۱

جدول ۳: میانگین دمای هوا، بارندگی و رطوبت نسبی به تفکیک ماه در فصل زراعی ۱۳۹۳

ماه	دما (درجه سانتی گراد)			میزان بارندگی (میلی متر)	رطوبت نسبی (درصد)		
	میانگین	حداکثر	حداقل		میانگین	حداکثر	حداقل
فروردین	۱۱/۳	۱۷/۲	۵/۳	۲۴/۴	۷۱	۲۸	۵۰
اردیبهشت	۱۸/۶	۲۵/۱	۱۲/۱	۲۱/۷	۶۴	۲۵	۴۵
خرداد	۲۲/۵	۲۹/۶	۱۵/۳	۷/۰	۵۲	۱۸	۳۵
تیر	۲۷/۹	۳۴/۸	۲۰/۹	۳/۷	۴۸	۱۸	۳۳

منبع: سایت هواشناسی کشور، آذربایجان شرقی، مراغه، ایران، ۱۳۹۳.

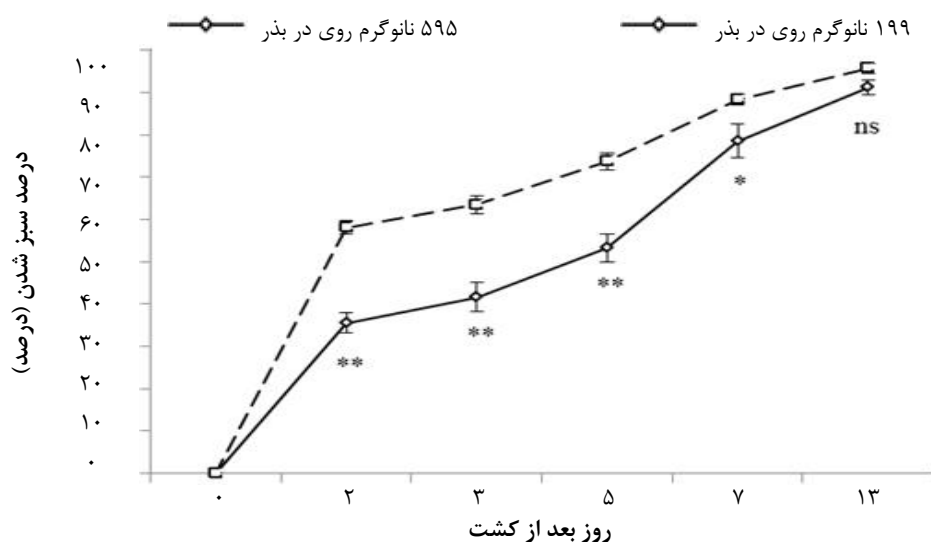
^۱ Phytic acid (PA)

^۲ Zinc (Zn)

نتایج و بحث

درصد سبز شدن

بررسی نتایج نشان داد که بذر با روی بیش‌تر (۵۹۵ نانوگرم روی در بذر) در مقایسه با بذر محتوای روی کم (۱۹۹ نانوگرم روی در بذر) سریع‌تر سبز شده و در سطح خاک ظاهر شدند. به طوری که طی ۴۸ ساعت بعد از کشت در حدود ۶۰ درصد بذر با روی بیش‌تر و در حدود ۳۰ درصد بذر با روی کم جوانه زده و در سطح خاک مشاهده شدند. اما با گذشت زمان و در ۱۳ روز پس از کشت درصد بذر سبز شده در هر دو نوع بذر با روی کم و زیاد یکسان شد (شکل ۱). این امر نشانگر استقرار سریع‌تر بذر با محتوای روی زیاد است. با توجه به نقش کوآنزیمی روی در آنزیم‌های متعدد، احتمالاً فرآیندهای متابولیسمی نظیر تجزیه ذخایر بذر و آزادسازی انرژی آن‌ها به همراه تأمین سوبسترای اولیه بیوسنتز سایر بیومولکول‌ها مانند پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک سریع‌تر اتفاق افتاده و این عمل منجر به جوانه‌زنی زود هنگام و ظهور بذر با روی بیش‌تر شده است. در این ارتباط، بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه در بذر با محتوای روی بیش‌تر در نواحی با کمبود روی گزارش شده است (عبدلی و اسفندیاری، ۱۳۹۳؛ Cakmak, 1998; Yilmaz *et al.*, 2008).



شکل ۱: اثر محتوای روی بذر بر درصد سبز شدن گیاهچه گندم

ns, * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد در هر یک از روزهای پس از کشت بین بذر با محتوای روی متفاوت می‌باشند. میله بارها نشانگر میزان اشتباه معیار است.

عملکرد دانه و اجزای آن

نتایج حاصل نشان داد که محتوای روی بذر اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه و شاخص برداشت گندم رقم کوه‌دشت داشت، ولی بر صفات زیست‌توده تولیدی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبلچه بارور از نظر

آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). با این حال بذور غنی از روی از نظر تمامی صفات فوق برتری نسبی داشتند به گونه‌ای که افزایش ۲۸/۷ درصدی عملکرد دانه، ۱۴ درصدی زیست‌توده، ۱/۸ درصدی وزن هزار دانه و ۱۹/۱ درصدی تعداد دانه در سنبله را داشت (جدول ۵). این افزایش عملکرد دانه در بذور حاوی روی زیاد نسبت به بذور با روی کم در صورت عدم محلول‌پاشی برگ‌ی سولفات‌روی چندان با اختلاف بالایی نیست. همین‌طور بر اساس نتایج به‌دست آمده در بذور با روی زیاد میزان شاخص‌های مورد ارزیابی بالاتر از بذور با روی کم می‌باشد، که مجموع این تغییرات در نهایت سبب بهبود عملکرد شده است. هم‌چنین افزایش شاخص برداشت تأیید کننده این مورد می‌باشد. زیرا در صورت عدم محلول‌پاشی برگ‌ی، روی موجود در دانه رقیق شده و اثرات مثبت آن کاهش می‌یابد. از طرفی با توجه به اینکه در این آزمایش میزان روی قابل جذب در خاک آهکی کم‌تر از نیاز گندم می‌باشد، بنابراین وجود روی بیشتر در بذور قادر است با تأمین نیازهای متابولیسمی گیاه، سبب گردد تا گیاه در شرایط مناسب‌تری قرار گرفته و بتواند گیاهچه‌های قوی‌تری در شرایط کمبود روی تولید نماید. درصد بیش‌تر سبز شدن بذر و سریع‌تر آن در بذور محتوای روی بیش‌تر به نوعی تأییدی بر این ادعاست (شکل ۱). به علاوه در بذور با محتوای روی بیش‌تر، گیاهچه‌های قوی‌تری ایجاد می‌شود که از توان فتوسنتزی بیش‌تری برخوردار است. در این ارتباط Yilmaz و همکاران (۱۹۹۸) و ثواقبی‌فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۲) نیز اثر میزان روی بذر را در افزایش عملکرد دانه گندم در خاک آهکی گزارش کرده‌اند.

جدول ۴: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محتوای روی بذر و محلول‌پاشی سولفات‌روی بر عملکرد دانه و اجزای آن

میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	زیست‌توده	عملکرد دانه	شاخص برداشت	تعداد سنبله در گلدان	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله
بلوک	۲	۳/۷۱ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۲/۷۷ ^{ns}	۲۸/۶ ^{ns}	۲/۱۸ ^{ns}	۰/۷۴ ^{ns}
محتوای روی بذر	۱	۳۵/۰ ^{ns}	۱۱/۲*	۴۲/۶*	۸/۳۳ ^{ns}	۰/۶۱ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}
کاربرد سولفات‌روی	۱	۲۸۱/۳**	۳۶/۱**	۲۷/۰ ^{ns}	۲۷/۰ ^{ns}	۱۲/۲ ^{ns}	۴۹/۳**
محتوای روی بذر × کاربرد سولفات‌روی	۱	۳۳/۷ ^{ns}	۲/۵۶ ^{ns}	۲/۲۵ ^{ns}	۸۵/۳ ^{ns}	۴/۲۰ ^{ns}	۲/۱۷ ^{ns}
خطا	۶	۱۱/۵	۱/۱۸	۶/۹۷	۴۰/۸	۴/۸۱	۲/۱۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۳/۱	۱۴/۲	۹/۰۱	۸/۵۶	۸/۵۴	۲۰/۴

ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر ساده محتوای روی بذر و محلول‌پاشی سولفات‌روی بر عملکرد دانه و اجزای آن در گندم

تیمارها	عملکرد دانه (گرم بر گلدان)	زیست‌توده (گرم بر گلدان)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد سنبله در گلدان	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله بارور در سنبله
محتوای روی بذر (نانوگرم در بذر)							
۱۹۹	۶/۷۲b	۲۴/۲	۲۷/۴b	۷۳/۸	۲۵/۵	۶/۶	۴/۸
۵۹۵	۸/۶۵a	۲۷/۶	۳۱/۲a	۷۵/۵	۲۵/۹	۷/۸	۴/۹
تغییرات (درصد)	+۲۸/۷	+۱۴/۰	+۱۳/۸	+۲/۳	+۱/۸	+۱۹/۱	+۲/۴
کاربرد سولفات‌روی							
شاهد (عدم مصرف)	۵/۹۵b	۲۱/۱b	۲۷/۸	۷۳/۲	۲۶/۷	۵/۲b	۴/۳b
محلول‌پاشی	۹/۴۲a	۳۰/۷a	۳۰/۸	۷۶/۲	۲۴/۷	۹/۲a	۵/۴a
میزان تغییرات نسبت به شاهد (درصد)	+۵۸/۳	+۴۶/۰	+۱۰/۷	+۴/۱	-۷/۵	+۷۸/۶	+۲۶/۱

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، زیست‌توده تولیدی و عملکرد دانه در اثر محلول پاشی سولفات روی به ترتیب ۲۶/۱، ۷۸/۶، ۴۶ و ۵۸/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۵). تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه از جمله ویژگی‌های تعیین‌کننده ظرفیت مخزن به شمار می‌آید که تابع عوامل ژنتیکی و تغذیه‌ای است. میزان روی قابل جذب خاک، به دلیل نقش‌های فیزیولوژیک این عنصر در سلول‌های گیاهی، از عوامل تغذیه‌ای اثر گذار بر مراحل رشد گندم مانند جوانه‌زنی، استقرار و در نهایت عملکرد دانه محسوب می‌شود (Cakmak, 2008). در مراحل اولیه رشد گیاهچه، در اختیار گذاشتن مقدار مناسب روی، با بهبود ویگور گیاهچه و به دنبال آن افزایش توان تولید محصولات فتوسنتزی منجر به تشکیل تعداد بیش‌تر سنبلچه در سنبله می‌گردد. تعداد سنبلچه بارور در سنبله نتیجه توان فتوسنتزی گیاه می‌باشد، به طوری که هرچه تولید مواد فتوسنتزی^۱ در گیاه بیش‌تر باشد به دلیل تخصیص بیش‌تر آن‌ها به سنبله در حال تکامل (به ویژه پس از گرده‌افشانی)، از عدم تکامل سنبلچه‌ها و سقط جنین پیشگیری شده و تعداد سنبلچه بارور در سنبله و یا گلچه بارور در سنبلچه افزایش می‌یابد که از وضعیت تغذیه‌ای گیاه از جمله محتوای روی متأثر می‌شود (Bagci et al., 2007; Abdoli et al., 2014). محلول پاشی سولفات روی در مراحل رشدی ساقه‌دهی و پر کردن دانه توانست میزان پارامترهای تعداد سنبلچه بارور در سنبله و تعداد دانه در سنبله را افزایش دهد (جدول ۵). که احتمالاً ناشی از اختصاص مواد فتوسنتزی کافی برای حفظ و در ادامه رشد هر یک از اجزای عملکرد می‌باشد. در این ارتباط بیان شده است که روی سبب افزایش غلظت کلروفیل و بیوسنتز اکسین (ایندول استیک اسید) می‌شود که در پی آن افزایش میزان فتوسنتز، مقدار ماده خشک تولیدی و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (استیری و همکاران، ۱۳۹۳؛ Brown et al., 1993). روی به عنوان کوفاکتور در بسیاری از آنزیم‌ها از جمله کربنیک‌آنهیدراز^۲، دهیدروژناز، پروتئیناز و پپتیداز می‌باشد (Vallace and Aulld, 1990). پس در خاک‌های آهکی که دارای کمبود عناصر ریزمغذی به ویژه روی می‌باشند با مصرف سولفات روی، فعالیت آنزیم‌های فوق که نقش به‌سزایی در سوخت و ساز گیاه دارند افزایش می‌یابد. افزایش تعداد سنبلچه بارور در سنبله و تعداد دانه در سنبله منجر به افزایش وزن سنبله و در نهایت عملکرد دانه خواهد شد (جدول ۵). مطابق با نتایج این تحقیق، سایر محققان نیز افزایش عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را در اثر کاربرد سولفات روی در گندم گزارش کرده‌اند (مارالیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ شاه‌امیری و مظاهری، ۱۳۹۳؛ Seadh et al., 2009).

وزن خشک کاه سنبله و میان‌گره دم گل آذین و ارتفاع بوته

نتایج جدول ۶ نشان داد که محتوای روی بذر اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه گندم داشت. به طوری که در بذور غنی از عنصر روی، ارتفاع بوته به ۳۷/۶ سانتی‌متر رسید که افزایش ۴/۶ درصدی نسبت به بذور با روی کم داشت (جدول ۷).

¹ Photoassimilate

² Carbonic anhydrase

جدول ۶: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محتوای روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر وزن خشک کاه سنبله و میان گره دم گل آذین و ارتفاع بوته

ارتفاع بوته	میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
	وزن خشک میان گره دم گل آذین	وزن خشک کاه سنبله		
۰/۷۶ ^{ns}	۰/۵۸ ^{ns}	۲۸۴/۳ ^{ns}	۲	بلوک
۸/۳۳*	۱۲۶/۸ ^{ns}	۱۳۳/۳ ^{ns}	۱	محتوای روی بذر
۹/۷۲*	۱۱۰/۲/۱*	۶۳۴/۰**	۱	کاربرد سولفات روی
۹/۰۱*	۸۰/۰ ^{ns}	۵۸۸/۰ ^{ns}	۱	محتوای روی بذر × کاربرد سولفات روی
۱/۱۱	۸۴/۱	۱۳۱/۷	۶	خطا
۲/۸۶	۱۹/۳	۱۱/۱	-	ضریب تغییرات (درصد)

ns, * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر ساده محتوای روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر وزن خشک کاه سنبله و میان گره دم گل آذین و ارتفاع بوته گندم

ارتفاع بوته (سانتی متر)	وزن خشک میان گره دم گل آذین (میلی گرم)	وزن خشک کاه سنبله (میلی گرم)	تیمارها
۳۶/۰b	۴۴	۱۰۰	محتوای روی بذر (نانوگرم در بذر)
۳۷/۶a	۵۱	۱۰۶	۱۹۹
+۴/۶	+۱۵/۰	+۶/۸	۵۹۵
			تغییرات (درصد)
			کاربرد سولفات روی
۳۵/۹b	۳۸b	۸۰b	شاهد (عدم مصرف)
۳۷/۷a	۵۷a	۱۲۶a	محلول پاشی
+۵/۰	+۵۱/۷	+۵۷/۹	میزان تغییرات نسبت به شاهد (درصد)

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

همچنین محلول پاشی سولفات روی (در مراحل ساقه دهی و پر شدن دانه) سبب افزایش وزن خشک کاه سنبله، وزن خشک میان گره دم گل آذین و ارتفاع بوته شد (جدول ۷). مشخص شده که عنصر روی در تشکیل آنزیم ریبولوز ۱ و ۵- بیس فسفات کربوکسیلاز و اکسیژناز (روبیسکو) دخالت دارد و این آنزیم در تثبیت دی اکسید کربن در فتوسنتز شرکت می کند (Brown *et al.*, 1993). از این رو محلول پاشی روی احتمالاً سبب افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و افزایش ماده خشک تولیدی و وزن کاه سنبله و میان گره دم گل آذین شده است. نتایج برهمکنش محتوای روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر ارتفاع بوته نشان داد که در بذور حاوی روی زیاد (۵۹۵ نانوگرم در بذر) محلول پاشی سولفات روی اثری بر ارتفاع گیاه نداشت ولی در بذور حاوی غلظت روی کم محلول پاشی روی سبب افزایش ارتفاع گیاه گردید به طوری که به ارتفاع گیاه بذور غنی از روی رسید (جدول ۱۰). با توجه به اینکه تریپتوفان جهت سنتز ایندول استیک اسید (اکسین) لازم است و عنصر روی در تولید اسید آمینه فوق نقش به سزایی دارد و از طرف دیگر هورمون اکسین در گسترش و طویل شدن سلول ها مؤثر است، پس احتمالاً محلول پاشی روی با تولید اکسین بیش تر سبب توسعه میان گره ها ساقه و در نهایت ارتفاع گیاه گندم شده است. مطابق با نتایج این تحقیق Abdoli و همکاران (۲۰۱۴) طی بررسی دو ساله بر گندم نان گزارش کردند که محلول پاشی توأم در مراحل ساقه دهی و آغاز پر شدن دانه نسبت به فقط

محلول پاشی در مرحله ساقه‌دهی اثر بهتری بر ارتفاع بوته گندم دارد به طوری که افزایش ۲۳/۱ درصدی ارتفاع بوته را در پی داشت.

غلظت عناصر کم‌نیاز و کیفیت دانه

نتایج اثر محتوای روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر غلظت عناصر کم‌نیاز دانه (از جمله روی، آهن، مس و منگنز) و نسبت مولی اسیدفیتیک به روی دانه گندم در جدول ۹ ارائه شده است. با توجه به این که بذور غنی از روی سبب بهبود توسعه گیاه در مراحل اولیه جوانه‌زنی و رشد شده بودند، در بهبود جذب و انباشت عناصر کم‌نیاز از جمله روی، مس و منگنز در دانه مؤثر بود ولی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با بذور حاوی روی کم نداشت (جدول ۸). با توجه به اینکه این تحقیق در یک خاک آهکی انجام شد، احتمالاً در جذب عناصر کم‌نیاز توسط گیاه مؤثر بوده است و یکی از دلایل عدم اختلاف شاید این مورد باشد. با توجه به اینکه بین بذور حاوی روی کم و زیاد از نظر غلظت عناصر کم‌نیاز دانه اختلافی مشاهده نشد (جدول ۹). با این حال بذور غنی از روی دارای اسیدفیتیک کم‌تری در دانه‌های تولیدی بودند و از نظر نسبت مولی اسیدفیتیک به روی نیز کاهش نشان دادند، که هر چه میزان نسبت مولی اسیدفیتیک به روی کم‌تر باشد در جذب عنصر روی توسط سیستم گوارشی بدن انسان اثر مثبتی دارد (جدول ۹). زیرا اسیدفیتیک در حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد کل فسفر را شامل می‌شود که در مراحل توسعه و تشکیل دانه به صورت ترکیبی از نمک‌های فیتات آهن، روی، کلسیم، منیزیم و پتاسیم مشاهده می‌شود (Harland and Oberleas, 1987; Doria *et al.*, 2009). این ترکیب (نمک فیتات) قابلیت جذب و استفاده از این عناصر را به واسطه ایجاد پیوند قوی به شدت کاهش داده و سبب اختلال در جذب و هضم آن‌ها در دستگاه گوارش انسان می‌شود (Urbano *et al.*, 2000; Prasad, 2003). پس هر عاملی که در کاهش میزان اسیدفیتیک مؤثر باشد در جذب عناصر پر نیاز (به ویژه کلسیم، منیزیم و پتاسیم) و کم‌نیاز (به ویژه روی و آهن) مؤثر خواهد بود. نتایج نشان داد که محلول پاشی سولفات روی بر غلظت عناصر روی و منگنز در دانه گندم اثر مثبتی را داشت و سبب افزایش آن‌ها به ترتیب به میزان ۱۸/۵ و ۳۳/۲ درصد شد ولی اثر چندانی بر غلظت آهن و مس نداشت (جدول ۹). مطابق با نتایج این تحقیق برخی از محققان گزارش کردند که مصرف سولفات روی نه تنها عملکرد را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد بلکه غلظت این عنصر را در دانه افزایش داده و باعث غنی‌سازی دانه گندم می‌شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۸؛ بای‌بوردی و طهرانی، ۱۳۸۹؛ کدخدایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Yilmaz *et al.*, 1997). نتایج برهمکنش محتوای روی بذر و محلول پاشی بر غلظت روی دانه نشان داد که محلول پاشی در بذور حاوی روی زیاد سبب افزایش بیش‌تر نسبت به بذور با روی کم شده است (جدول ۱۰). هم‌چنین نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که در بذور حاوی روی زیاد (۵۹۵ نانوگرم در بذر) محلول پاشی سولفات روی اثری بر غلظت عناصر مس و منگنز دانه نداشت ولی در بذور حاوی روی کم محلول پاشی

روی سبب افزایش غلظت عناصر فوق (مس و منگنز) در دانه گردید به طوری که به غلظت مس و منگنز دانه‌های تولیدی در بذور غنی از روی رسید (جدول ۱۰). این مطلب نشانگر این است که محلول پاشی سولفات روی در مراحل ساقه‌دهی و آغاز پر شدن دانه در بذور کشت شده با محتوای روی کم، اثر بهتری نسبت به بذور حاوی روی زیاد بر غلظت عناصر کم‌نیاز به ویژه مس و منگنز دارد. در این ارتباط مبصر و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند که مصرف سولفات روی و سولفات آهن در خاک باعث افزایش غلظت این عناصر در دانه گندم گردید.

جدول ۸: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محتوای روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر غلظت عناصر روی، آهن، مس و منگنز دانه، اسیدفیتیک و نسبت مولی اسیدفیتیک به روی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		غلظت روی	غلظت آهن	غلظت مس	غلظت منگنز	اسیدفیتیک
بلوک	۲	۰/۱۴ ^{NS}	۱۰۵۱/۵ ^{NS}	۷/۸۵ ^{NS}	۲/۲۶ ^{NS}	۱۸۲۲/۳ ^{**}
محتوای روی بذر	۱	۱/۲۰ ^{NS}	۱۴۳۰/۱ ^{NS}	۵/۳۳ ^{NS}	۱۰/۳ ^{NS}	۱۴۲۱/۴ ^{**}
کاربرد سولفات روی	۱	۴۱۰/۷ ^{**}	۳۰۴/۰ ^{NS}	۲۳/۵ ^{NS}	۱۲۱/۰ ^{**}	۳۵۰/۰ [*]
محتوای روی بذر × کاربرد سولفات روی	۱	۲۲/۴ [*]	۵۹/۰ ^{NS}	۴۴/۱ [*]	۵۶/۸ ^{**}	۱۸/۸ ^{NS}
خطا	۶	۱/۸۹	۷۴۹/۳	۶/۵۷	۱/۹۰	۸۳/۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱/۹۹	۱۹/۹	۲۱/۱	۶/۱۷	۲۳/۸

NS، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

جدول ۹: مقایسه میانگین اثر ساده محتوای روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر غلظت عناصر روی، آهن، مس و منگنز دانه، اسیدفیتیک و نسبت مولی اسیدفیتیک به روی در گندم

تیماها	غلظت عناصر در دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				نسبت مولی اسیدفیتیک به روی
	روی	آهن	مس	منگنز	
محتوای روی بذر (نانوگرم در بذر)					
۱۹۹	۶۸/۹	۱۴۸/۸	۱۱/۵	۲۱/۴	۴۹/۳a
۵۹۵	۶۹/۶	۱۲۷/۰	۱۲/۸	۲۳/۲	۲۷/۶b
تغییرات (درصد)	+۰/۹	-۱۴/۷	+۱۱/۹	+۸/۷	-۴۴/۰
کاربرد سولفات روی					
شاهد (عدم مصرف)	۶۳/۴b	۱۲۴/۹	۱۰/۷	۱۹/۱b	۴۳/۸
محلول پاشی	۷۵/۱a	۱۳۲/۸	۱۳/۵	۲۵/۵a	۳۳/۰
میزان تغییرات نسبت به شاهد (درصد)	+۱۸/۵	-۷/۱	+۲۶/۰	+۳۳/۲	-۲۴/۷

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۱۰: مقایسه میانگین برهمکنش محتوای روی بذر و محلول پاشی سولفات روی بر غلظت عناصر روی، مس و منگنز دانه و ارتفاع بوته گندم

تیماها	غلظت عناصر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)			ارتفاع بوته (سانتی‌متر)
	روی	مس	منگنز	
محتوای روی بذر (نانوگرم در بذر)				
۱۹۹	۶۴/۵c	۸/۲c	۱۶/۰c	۳۴/۲b
۵۹۵	۷۳/۴b	۱۴/۸a	۲۶/۷a	۳۷/۷a
شاهد (عدم مصرف)	۶۲/۴c	۱۳/۳ab	۲۲/۲b	۳۷/۶a
محلول پاشی	۷۶/۸a	۱۲/۳b	۲۴/۲b	۳۷/۷a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

رحیمی چگینی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی سطوح متفاوت کودهای سولفات روی و منگنز بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم گزارش کردند که بیش‌ترین و کم‌ترین تجمع غلظت روی در دانه به ترتیب مربوط به تیمار مصرف توأم سولفات روی به همراه سولفات منگنز (به ترتیب ۲۵ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد (عدم مصرف کود) بود که معادل ۲۹/۳ و ۲۳/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم دانه گندم بود. به‌طور کلی محلول پاشی سولفات روی با این که سبب کاهش ۷/۱ و ۲۴/۷ درصدی غلظت آهن و میزان اسیدفیتیک در دانه شد ولی از لحاظ آماری اختلافی با عدم محلول پاشی نداشت (جدول ۹). با این حال اثر محلول پاشی سولفات روی در کاهش نسبت مولی اسیدفیتیک به روی در دانه (۳۵/۹ درصد) چشم‌گیر بود. سازمان بهداشت جهانی (۱۹۹۶) طبقه‌بندی زیر را با توجه به نسبت مولی اسیدفیتیک به روی برای جذب روی موجود در جیره غذایی پیشنهاد کرد که اگر این نسبت کم‌تر از پنج باشد در حدود ۵۰-۵۵ درصد روی موجود توسط انسان جذب می‌شود و اگر این نسبت بین ۵-۱۵ باشد در حدود ۳۰-۳۵ درصد و در نهایت اگر این نسبت بیش‌تر از ۱۵ باشد کم‌تر از ۱۵ درصد روی موجود در غذا جذب می‌شود. متشعرزاده و ثواقبی (۱۳۹۱) طی تحقیقی بر ارقام مختلف لوبیا قرمز گزارش کردند که مصرف بهینه کود موجب کاهش نسبت مولی اسیدفیتیک به روی گردید که این امر می‌تواند در ارتقای سطح سلامت افراد جامعه از طریق بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی مورد نیاز انسان مؤثر باشد. در این تحقیق نیز با افزایش میزان روی در دانه و کاهش اسیدفیتیک به عنوان عامل ضد تغذیه‌ای، بهبود کیفیت دانه تولیدی را در پی داشته است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که کشت بذور غنی از روی سبب تولید عملکرد بیش‌تر در خاک آهکی می‌شود و محلول پاشی سولفات روی در مراحل ساقه‌دهی و آغاز پر شدن دانه نه تنها عملکرد و صفات زراعی را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد بلکه غلظت عناصر روی، مس و منگنز در دانه گندم را افزایش داده و باعث غنی‌سازی دانه می‌شود. از طرفی کشت بذور غنی از روی سبب کاهش فیتات و افزایش نسبت مولی روی به فیتات گردید که این امر می‌تواند در ارتقای سطح سلامت افراد جامعه از طریق بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی مورد نیاز انسان مؤثر باشد.

سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد که مورد حمایت و پشتیبانی پژوهشکده فرهنگ و معارف اسلامی وابسته به نهاد نمایندگی مقام معظم رهبری در دانشگاه‌ها قرار گرفته‌است. هم‌چنین از دانشگاه مراغه بدلیل حمایت و فراهم نمودن امکانات سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

استیری، ه.، آرمین، م. و فیله‌کش، ا. ۱۳۹۳. تأثیر محلول پاشی مقادیر مختلف سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه تولید گیاهان روغنی. ۱: ۶۵-۷۷.

امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه (جلد اول). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۹۸۲. ۱۲۸ ص.

بای‌بوردی، م.ر. و طهرانی، م.م. ۱۳۸۹. اثر برهمکنش مقادیر و روش مصرف مس و روی بر خصوصیات گیاهی و پروتئین گندم. مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲ (۸): ۲۹-۴۴.

برانی‌دستجردی، م.، رفیعی‌الحسینی، م.، دانش‌شهرکی، ع. و هاشمی‌جزی، س.م. ۱۳۹۴. بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی لوبیا قرمز تولیدی در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی منگنز و روی. نشریه علوم و فناوری بذر ایران. ۴ (۱): ۸۳-۹۶.

ثوابی‌فیروزآبادی، غ.، ملکوتی، م.ج. و اردلان، م. ۱۳۸۲. اثر سولفات روی و غلظت روی بذر بر پاسخ‌های گیاه گندم در خاک آهکی. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۴: ۴۸۲-۴۷۱.

رحیمی‌چگینی، ر.ا.، خورگامی، ع.، رفیعی، م. و زیدی‌طولابی، ن.ا. ۱۳۹۰. بررسی اثر سطوح مختلف کودهای سولفات روی و سولفات منگنز بر خصوصیات کمی و کیفی سه رقم گندم آبی در شهرستان خرم‌آباد. مجله دانش زراعت. ۴ (۵): ۳۳-۴۲.

شاه‌امیری، س.م. و مظاهری، د. ۱۳۹۳. بررسی اثر عناصر کم مصرف آهن و روی بر بهبود عملکرد سه رقم گندم بهاره. مجموعه مقالات اولین کنگره بین‌المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، ۴-۶ شهریور ۱۳۹۳، کرج، ایران.

عبدلی، م. و اسفندیاری، ع.ا. ۱۳۹۳. تأثیر محلول‌پاشی روی بر عملکرد کمی و کیفی و خصوصیات رشدی گیاهچه گندم نان (رقم کوه‌دشت). نشریه زراعت دیم ایران. ۳ (۱): ۷۷-۹۰.

کدخدایی، ا.، کلباسی، م.، صلحی، م.، نادیان، ح.ا. و غلامی، ع. ۱۳۹۳. مطالعه اثر کاربرد بقایای گیاهی و سولفات روی بر عملکرد کمی و کیفی گندم. مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶ (۲۱): ۶۱-۷۲.

مارالیان، ح.، دیدار طالشمیکائیل، ر.، شهبازی، ک. و ترابی‌گیگلو، م. ۱۳۸۷. اثر محلول‌پاشی آهن و روی در بهبود خصوصیات کمی و کیفی دانه سه رقم گندم. مجله پژوهش کشاورزی (آب، خاک و گیاه در کشاورزی). ۸ (۴): ۵۹-۴۷.

مبصر، ح.ر.، حیدری‌شریف‌آباد، ح.، موسوی‌نیک، س.م.، نورمحمدی، ق. و درویش، ف. ۱۳۸۴. مطالعه تأثیر مصرف عناصر پتاسیم، روی و مس بر عملکرد و غنی‌سازی بذر گندم در شرایط کمبود آب. مجله علوم کشاورزی. ۱۱ (۴): ۱۳۳-۱۴۲.

متشعرزاده، ب. و ثواقبی، غ.ر. ۱۳۹۱. تأثیر مصرف بهینه کود بر غلظت عناصر غذایی و نسبت مولی اسیدفیتیک به روی در ارقام ایرانی لوبیا قرمز در مراحل مختلف تکامل دانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۳ (۹): ۷۳-۸۳.

ملکوتی، م.ج.، ملکوتی، ا.، مجیدی، ع.، بای‌بوردی، ا.، سالاری، ا. و فلاحی، ا. ۱۳۸۸. مقایسه اثر بخشی غنی‌سازی گندم در مزرعه با غنی‌سازی آرد در کارخانه در ارتقای سطح سلامت جامعه. مجله علوم و صنایع غذایی. ۶: ۱۱۷-۱۳۰.

Abdoli, M., Esfandiari, E., Mousavi, S. B. and Sadeghzadeh, B. 2014. Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat (cv. Kohdasht). *Azarian Journal of Agriculture* 1 (1): 11-17.

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

Bagci, S. A., Ekiz, H., Yilmaz, A. and Cakmak, I. 2007. Effect of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193 (3): 198-206.

Brown, P. H., Cakmak, I. and Zang, Q. 1993. Form and function of zinc in plant. In: Robson, A.D. (ed.) *Zinc in Soils and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 90-106.

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

Doria, L., Galleschi, L., Calucci, L., Pinzino, C., Pilu, R., Cassani, E. and Nielsen, E. 2009. Phytic acid prevents oxidative stress in seeds: evidence from a maize (*Zea mays* L.) low phytic acid mutant. *Journal of Experimental Botany* 60 (3): 967-978.

Erdal, I., Yilmaz, A., Tan, S., Torun, B. and Cakmak, I. 2002. Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 25 (1): 113-127.

Harland, B. F. and Oberleas, D. 1987. Phytate in foods. In: Bourne, G.H. (ed.). *World Review of Nutrition and Dietetics*, Basel: Karger Medical Publishing Co. pp. 235-259.

Haug, W. and Lantzsch, H. J. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereal products. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 34 (12): 1423-1426.

Hotz, C. and Brown, K. H. 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin* 25 (1): S91-S204.

Hussain, S., Maqsood, M. A., Rengel, Z., Aziz, T. and Abid, M. 2013. Estimated zinc bioavailability in milling fractions of biofortified wheat grains and in flours of different extraction rates. *International Journal of Agriculture and Biology* 15 (5): 921-926.

Khoshgofarmanesh, A. H., Schulin, R., Chaney, R. L., Daneshbakhsh, B. and Afyuni, M. 2010. Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30 (1): 83-107.

Krishna, S. 1995. Effect of sulphur and zinc application on yield, sulphur and zinc uptake and protein content of mung bean (green gram). *Legume Research* 18 (2): 89-92.

Malakouti, M. J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology* 1 (1):1-12.

Malakouti, M. J. 2008. The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. *Turkish Journal of agriculture and Forestry* 32 (3): 215-220.

Mayer, J., Pfeiffer, W. and Beyer, P. 2008. Biofortification crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Current Opinion in Plant Biology* 11 (2): 166-170.

Prasad, A. S. 2003. Zinc deficiency. *British Medical Journal* 326: 409-410.

Rosado, J. 2003. Zinc and copper: proposed fortification levels and recommended zinc compounds. *Journal of Nutrition* 133 (9): 2585-2989.

Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13 (4): 905-927.

Seadh, S. E., El-Abady, M. I., El-Ghamry, A. M. and Farouk, S. 2009. Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed. *Journal of Biological Sciences* 9 (8): 851-858.

Singh Shivay, Y., Prasad, R. and Rahal, A. 2008. Relative efficiency of zinc oxide and zinc sulphate-enriched urea for spring wheat. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82 (3): 259-264.

Urbano, G., Lopez-Jurado, M., Aranda, P., Vidal-Valverde, C., Tenorio, E. and Porres, J. 2000. The role of phytic acid in legumes. *Journal of Physiology and Biochemistry* 56 (3): 283-294.

Vallace, B. L. and Aulld, D. S. 1990. Zinc coordination, function and structure of zinc enzyme and other protein. *Biochemical Journal* 29 (24): 5647-5659.

White, P. J. and Broadley, M. R. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182 (1): 49-84.

World Health Organization. 1996. Trace Element in Human Nutrition and Health. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland.

World Health Organization. 2002. World Health Report 2002: reducing risks, promoting healthy life. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland.

Yilmaz, A., Ekis, H., Gultekin, I., Torun, B., Barut, H., Karanlik, S. and Cakmak, I. 1998. Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 21 (10): 2257-2264.

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A. and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 20 (4-5): 461-471.