نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد یازدهم، شماره ۳(۴۳)، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۶۳۶ـ۶۱۹

بهبود خصوصیات زراعی و کیفی ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) با کاربرد سولفات روی در شرایط تنش کمبود روی

عزت‌اله اسفندیاری[1] و مجید عبدلی[2*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۰

چکیده

به منظور بررسی اثرات کاربرد خارجی عنصر روی بر عملکرد دانه و برخی از ویژگی‌های کیفی آن در خاک آهکی، آزمایشی گلدانی در سال زراعی ۱۳۹۳ به‌صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۴ ژنوتیپ گندم دوروم و ۲ سطح کاربرد خارجی سولفات روی (شاهد و کاربرد خاکی به همراه اسپری برگی در مراحل ساقه‌روی + آغاز پرشدن دانه) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد خارجی روی توانست میزان عملکرد بیولوژیک و دانه ژنوتیپ RCOL را به‌ترتیب در حدود ۲ و ۴ برابر در مقایسه با شاهد افزایش داد درحالی‌که در سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کاربرد عنصر روی بر عملکرد بیولوژیک و دانه تأثیر معنی‌داری نداشت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین افزایش وزن هزار دانه در اثر کاربرد عنصر روی به میزان ۲۰/۷ درصد در ژنوتیپ RCOL صورت گرفت. در بین ژنوتیپ‌ها بیشترین میزان کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی در ژنوتیپ Ege-88 مشاهده شد و این نسبت از ۵۲/۲ در شاهد به ۸/۴ در شرایط کاربرد روی رسید که این امر نشانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های گندم دوروم به شرایط محیطی از جمله کمبود روی در خاک است. نتایج حاصل همچنین نشان داد که کاربرد خارجی سولفات روی سبب افزایش ۲۲/۷ درصدی تعداد دانه در سنبله و کاهش ۶۲/۳ درصدی میزان اسید فیتیک شد. همچنین با کاربرد سولفات روی غلظت روی دانه از ۲۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط شاهد به ۶۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. به‌طور کلی اگرچه کاربرد خارجی عنصر روی منجر به افزایش عملکرد همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشد اما با تأثیر بر پارامترهای مورد مطالعه میزان کیفی عملکرد را بهبود داد. لذا، اگرچه برای اطمینان از نتایج حاصل انجام آزمایشات دیگری لازم است ولی، می‌توان استفاده از کاربرد خارجی روی را روش مناسبی برای بهبود همزمان عملکرد کمی و کیفی دانست.

واژگان کلیدی: اسید فیتیک، پروتئین دانه، غنی‌سازی زیستی، کمبود روی، گندم.

۱- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان ایران. (* نگارنده‌ی مسئول): majid.abdoli64@yahoo.com

مقدمه

در ایران سالانه بیش از ۵۵۰ هزار تن گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) از مزارع دیم و آبی از سطح زیر کشت بالغ بر ۲۱۰ هزار هکتار تولید می‌گردد که اکثراً در مناطق معتدل سرد تا مناطق گرم واقع شده است. در حدود ۶۰ درصد گندم دوروم بدست آمده برای تولید ماکارونی مورد استفاده قرار گرفته و مابقی نیاز به این نوع گندم از خارج وارد می‌شود (Mottaghi *et al.*, 2013). نیاز صنایع ماکارونی سازی کشور به آرد سمولینا که از دانه گندم دوروم حاصل می‌گردد، ایجاب می‌نماید که ژنوتیپ هایی با سازگاری و پایداری عملکرد بالا، مورد توجه قرار گیرد. در این بین غلات به‌خصوص گندم مهمترین منبع تأمین کننده انرژی مورد نیاز مردم کشورهای در حال توسعه از جمله ایران به‌شمار می‌آیند. به‌طور مثال در این قبیل کشورها، به‌طور متوسط گندم نزدیک به ۵۰ درصد انرژی روزانه مورد نیاز مردم را تأمین می‌کند که در مناطق روستایی به بیش از ۷۰ درصد می‌رسد (Cakmak *et al.*, 2004). متأسفانه گندم به‌طور ذاتی توانایی پائینی در انباشت عنصر روی در دانه داشته و در صورت کشت در خاک‌های آهکی و یا خاک‌هایی که با کمبود روی مواجه هستند میزان روی انباشته شده در دانه‌ها کمتر نیز خواهد شد (Cakmak *et al.*, 2004). صرف‌نظر از این ویژگی، حضور ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک در گندم جذب عناصر ریزمغذی مانند روی را در بدن انسان کاهش می‌دهند. برآیند این عوامل به‌همراه تنوع کم رژیم غذایی سبب دریافت کمتر از نیاز روزانه این عنصر و سوء تغذیه ناشی از آن می‌گردد (Esfandiari *et al.*, 2016).

امروزه سوء تغذیه ناشی از دریافت کم روی یکی از مشکلات کنونی ایران و دیگر کشورهای در حال توسعه محسوب می‌گردد. از عوارض کمبود روی می‌توان به کوتاهی قد کودکان، افزایش ابتلا به بیماری‌های عفونی، آسیب ذهنی، کاهش باروری در زنان و افزایش مرگ و میر در جوامع انسانی اشاره نمود (Cunningham-Rundles *et al.*, 2005). امروزه تخمین زده می‌شود که حداقل یک سوم مردم دنیا به‌ویژه کودکان به کمبود عنصر روی مبتلا بوده (Anonymous, 2002) و سالانه نزدیک به ۴۵۰ هزار کودک زیر ۵ سال در اثر کمبود آن می‌میرند (Bryce *et al.*, 2005; Cakmak, 2008). با توجه به نقش گندم در تأمین انرژی مورد نیاز مردم دنیا، محققین بسیاری معتقدند که افزایش میزان عنصر روی انباشته شده در دانه گندم با استفاده از روش غنی‌سازی زیستی، راهکار مناسبی برای تأمین عنصر روی مورد نیاز بدن انسان و کاهش اثرات منفی ناشی از سوء تغذیه آن در جوامع در حال توسعه می‌باشد (Cakmak *et al.*, 2010; Abdoli *et al.*, 2014). روش غنی‌سازی زیستی به دو شکل به‌زراعی و ژنتیکی اتفاق می‌افتد. در روش به‌زراعی، با استفاده از روش‌های مختلف مانند کاربرد خاکی و محلول‌پاشی، میزان روی مورد نیاز گیاه را تأمین می‌نمایند. از طرف دیگر ریزمغذی‌ها (منجمله عنصر روی) از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان می‌باشند که در فرآیندهای مختلف مربوط به فتوسنتز و رشد و نمو گیاهان مشارکت می‌کنند و کمبود آنها تأثیر به سزایی در کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی دارد (Cole *et al.*, 2010). تأمین عنصر روی مورد نیاز گیاه، ضمن بهبود فرآیندهای متابولیسمی مانند بیوسنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، منجر به افزایش

عملکرد (Bharti *et al.*, 2013; Nawaz *et al.*, 2015) و میزان عنصر روی انباشته شده در دانه می‌گردد. همچنین، کاربرد روی سبب کاهش میزان اسید فیتیک موجود در دانه می‌گردد (Khan *et al.*, 2008; Singh and Singh-Shivay, 2015; Baghbani *et al.*, 2016). برآیند این تغییرات کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه و امکان افزایش جذب این عنصر در بدن را در پی خواهد داشت. نسبت مولی اسید فیتیک به روی برای ارزیابی زیست فراهمی روی در بدن مورد استفاده قرار می‌گیرد و معیاری برای ارزیابی کیفیت گندم تولید شده محسوب می‌گردد. به‌طور معمول در نسبت‌های بالاتر از ۱۵ جذب روی در بدن به شکل قابل توجهی کاهش می‌یابد (Anonymous, 1996). همچنین، زیست فراهمی روی معمولاً متأثر از کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی به کمتر از ۱۵ نمی‌گردد.

تشکیل اسید فیتیک سبب کاهش زیست فراهمی روی دانه گندم در سیستم گوارشی انسان می‌گردد و با افزایش دفع آن از بدن زمینه بروز کمبود این عنصر در انسان را فراهم می‌نماید (Doria *et al.*, 2009). با توجه به اثرات منفی اسید فیتیک بر جذب عناصر ریزمغذی از جمله روی در بدن و نقش ویژه گندم در تغذیه مردم به‌خصوص کشورهای در حال توسعه، محققین تلاش می‌کنند میزان اسید فیتیک موجود در دانه را کاهش دهند. در یک تحقیق، عبدلی و همکاران (Abdoli *et al.*, 2016 b) در بررسی روش‌های مختلف کاربرد سولفات روی بر عملکرد کمی و کیفی گندم‌های نان و دوروم بیان کردند که کاربرد توأم خاکی و محلول‌پاشی سولفات روی سبب بهبود عملکرد و غلظت روی دانه و کاهش میزان اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی می‌گردد، با این حال محلول‌پاشی عنصر روی بیشترین تأثیر را در افزایش غلظت عناصر ریزمغذی (به‌ویژه روی، آهن و منگنز) و آسکوربیک اسید دانه داشت. همچنین، افزایش غلظت عنصر روی در دانه، کاهش میزان اسید فیتیک، کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی و فراهمی زیستی عنصر روی در بدن در اثر کاربرد عنصر روی در گندم و برنج گزارش شده است (Mabesa *et al.*, 2013; Imran *et al.*, 2015; Abdoli *et al.*, 2016a). یکی از عوامل تعیین کننده کیفیت گندم تولید شده میزان پروتئین آن می‌باشد. امروزه نقش عنصر روی در بیوسنتز پروتئین اثبات شده است (Passerini *et al.*, 2007; Shu *et al.*, 2008). در این راستا چاکماک و همکاران (Cakmak *et al.*, 1989) گزارش می‌کنند که در شرایط کمبود روی اسیدهای آمینه آزاد در سلول‌های لوبیا افزایش یافته و در مقابل به دلیل اختلال در بیوسنتز پروتئین میزان آن کاهش می‌یابد. در مقابل، افزایش پروتئین در اثر کاربرد عنصر روی توسط بایبوردی و ملکوتی (Bybordi and Malakouti, 2007)، پورغلام و همکاران (Pourgholam *et al.*, 2013) و اسفندیاری و همکاران (Esfandiari *et al.*, 2016) گزارش شده است. روی به‌عنوان کوفاکتور در ساختار آنزیم RNA-پلی‌مراز عمل می‌کند. به‌علاوه عنصر روی از اجزای ساختاری ریبوزوم به‌شمار می‌آید و در نبود آن عملکرد ریبوزوم‌ها و بیوسنتز پروتئین کاهش می‌یابد. کمبود روی را در مواردی که ناشی از محدودیت‌های خاک زیرین، خشکی خاک‌های سطحی و بیماری‌ها باشد نمی‌توان به‌طور کامل و قطعی از طریق مصرف کودهای حاوی روی رفع نمود. بنابراین استفاده از ژنوتیپ‌های کارآمد برای جذب عنصر روی

می‌تواند راه‌حلی مؤثر و پایدار برای تولید بیشتر محصولات زراعی در شرایط کمبود روی باشد (Sadeghzadeh, 2013). استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم و کارا در جذب و استفاده از روی می‌تواند تکمیل کننده کاربرد خاکی و محلول‌پاشی روی در نظر گرفته شود، مخصوصاً زمانی که کشاورزان از کمبود روی در خاک مزرعه خود آگاه نبوده و یا دسترسی به کود روی ندارند. استفاده از ارقام دارای کارآیی بالای عنصر روی، می‌تواند با حداقل میزان روی در دسترس علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش کمی و کیفی محصول گردند (Sadeghzadeh and Rengel, 2011). به‌دلیل شیوع سوء تغذیه ناشی از کمبود روی در جامعه به‌همراه نقش‌های فیزیولوژیک متعدد عنصر روی در گیاه و با توجه به اهمیت بهبود همزمان عملکرد کمی و کیفی گندم، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثرات کاربرد خارجی سولفات روی بر عملکرد دانه و برخی از پارامترهای کیفی نظیر غلظت عناصر ریزمغذی، میزان اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک بر روی در خاک‌های آهکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سال زراعی ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌صورت گلدانی در خاک آهکی (دارای ۲۰ درصد کربنات کلسیم) و با میزان روی قابل جذب ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۴ ژنوتیپ گندم دوروم بهاره و ۲ سطح کاربرد خارجی سولفات روی (شاهد و کاربرد خاکی به میزان ۵ میلی‌گرم عنصر روی بر کیلوگرم خاک به همراه اسپری برگی با غلظت ۲ گرم بر لیتر در مراحل ساقه‌روی + آغاز پرشدن دانه از منبع سولفات روی) بودند. ویژگی‌های ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ بیان شده است. بذور گندم دوروم از موسسه تحقیقات دیم کشور تهیه و در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند.

در این پژوهش بر اساس آزمون خاک (جدول ۲) قبل از کشت عناصر نیتروژن، فسفات و پتاسیم به ترتیب از منبع نیترات کلسیم (۲۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) و پتاسیم دی هیدروژن فسفات (۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) اضافه گردید. همچنین، به نیمی از خاک عنصر روی به میزان ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات روی اضافه شد و از اضافه نمودن این عنصر ضروری به نیم دیگر خاک اجتناب گردید. سپس ۳/۵ کیلوگرم از خاک دارای روی و بدون روی به‌عنوان تیمارهای مورد مطالعه، در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر ریخته شد. در تیمار اضافه نمودن روی به خاک، اسپری برگی سولفات روی در مراحل ساقه‌روی و آغاز پرشدن دانه‌ها (به ترتیب در مراحل ۳۷ و ۷۱ بر اساس کدبندی زادوکس) با غلظت ۲ گرم بر لیتر نیز انجام گرفت (Abdoli *et al.*, 2016 b).

در تاریخ ۱۸ فروردین ماه ۱۳۹۳ در هر کدام از گلدان‌ها ۱۴ عدد بذر در عمق ۳ تا ۴ سانتی‌متری کاشته شد و با استقرار گیاهچه‌ها در خاک (در مرحله ۲ تا ۳ برگی) عمل تنک کردن صورت گرفته و تعداد گیاهچه‌ها به ۷ عدد در هر گلدان رسید و تا انتهای آزمایش حفظ گردید. لازم به‌ذکر است که در تمامی مراحل (از کاشت تا برداشت) از آب دیونیزه برای آبیاری گلدان‌ها استفاده شد تا از امکان اضافه شدن عنصر روی به خاک و اثر بر نتایج حاصل ممانعت به عمل آید. در

زمان رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌های گندم برداشت و پارامترهایی مانند ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای آن به‌همراه برخی از ویژگی‌های مرتبط با کیفیت دانه نظیر پروتئین دانه، میزان اسید فیتیک، غلظت روی در دانه و نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه اندازه‌گیری گردید.

نمونه‌های 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 سلسیوس به مدت شش ساعت خاکستر شد. نمونه‌های خاکستر در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (دو نرمال) حل شده و به‌مدت ۴۵ دقیقه روی هات‌پلات در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند و در نهایت با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده و عصاره‌گیری با عبور دادن محلول از کاغذ صافی انجام گرفت. در عصاره‌های به‌دست آمده میزان عنصر روی با دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300 Shimadzu) اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

از روش هانگ و لانتچ (Haug and Lantzsch, 1983) برای اندازه‌گیری اسید فیتیک در دانه و از روش کجلدال برای اندازه‌گیری نیتروژن دانه استفاده شد که برای برآورد آن و اعمال ضریب ۵/۷ (فاکتور پروتئین) درصد پروتئین دانه محاسبه شد (Peleg *et al.*, 2008). نسبت مولی اسید فیتیک به روی بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد (Erdal *et al.*, 2002):

رابطه (۱):

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

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تجزیه واریانس شدند. پیش از تجزیه واریانس، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف و اسمیرنوف با نرم‌افزار SPSS بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل هر دو تیمار فوق در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج حاصل نشان داد که کاربرد سولفات روی توانست افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه ژنوتیپ RCOL باعث گردد و در بقیه ژنوتیپ‌ها کاربرد سولفات روی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵).

به‌طور کلی با کاربرد عنصر روی، عملکرد دانه در ژنوتیپ RCOL تغییرات چشمگیری را داشت به‌طوری که عملکرد دانه از ۰/۱۵ گرم بر بوته در شرایط عدم کاربرد روی به ۰/۶۱ گرم بر بوته در شرایط کاربرد سولفات روی رسید که معادل افزایش ۴ برابری در عملکرد دانه بود. همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط کاربرد عنصر روی در ژنوتیپ‌های KC-3426 و Ege-88 حاصل شد و کمترین آن در ژنوتیپ RCOL در شرایط عدم کاربرد روی بود. در ژنوتیپ RCOL بیشترین تغییرات در مقابل کاربرد سولفات روی مشاهده شد. به‌طوری که عملکرد بیولوژیک در این ژنوتیپ در اثر کاربرد عنصر روی در حدود ۱۴۳ درصد افزایش یافت (جدول ۵). نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ RCOL از نظر عملکرد بیولوژیک تغییرات زیادی را در اثر کاربرد روی دارد و به‌عبارت دیگر حساس به کمبود روی

است. افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه در اثر کاربرد خارجی روی توسط محققین متعددی در گندم گزارش شده است (Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2011; Dargahi *et al.*, 2014; Nawaz *et al.*, 2015; Abdoli *et al.*, 2016 b). افزایش عملکرد بیولوژیک با مصرف ریزمغذی روی علل مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر ریزمغذی روی (Cakmak *et al.*, 1989) و راه اندازی برخی از آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل و افزایش فتوسنتز (Marschner, 1995; Rehman *et al.*, 2012) و در نتیجه افزایش بیوماس در گیاه اشاره نمود. همچنین، تفاوت بین ارقام و ژنوتیپ‌های گندم از نظر کارایی جذب روی توسط جنس و همکاران (Genc *et al.*, 2006)، جنس و مک‌دونالد (Genc and McDonald, 2008) و رسول صادقیانی و همکاران (Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2011) گزارش گردیده است. وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها در پاسخ به کمبود روی به خاطر متفاوت بودن مکانیسم‌های درگیر در داخل گیاه و نیز خاک می‌باشد. این مکانیسم‌ها شامل: (الف) افزایش روی قابل جذب در ناحیه ریزوسفر، (ب) افزایش میزان جذب روی توسط ریشه‌ها و (پ) جابه‌جایی و کارآیی بهتر در استفاده از روی در داخل گیاه می‌باشد (Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2011).

در این تحقیق نیز عدم افزایش قابل توجه عملکرد بیولوژیک و دانه گندم در ژنوتیپ‌های Ege-88، KC-3426 و Bisu-1 در مقابل افزایش چشمگیر پارامترهای مورد اشاره در ژنوتیپ RCOL دلیلی بر تفاوت در یک مکانیسم و یا مکانیسم‌های دخیل در کارایی جذب روی از خاک و انتقال بهتر در گیاه این ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده و متقابل کاربرد عنصر روی و ژنوتیپ بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد سولفات روی تأثیری بر شاخص برداشت ژنوتیپ‌های Ege-88 و Bisu-1 با بیشترین مقدار، و ژنوتیپ KC-3426 با کمترین مقدار، نداشت. اما کاربرد سولفات روی سبب افزایش چشمگیر و معنی‌دار شاخص برداشت در ژنوتیپ RCOL شد. به‌طوری‌که در این ژنوتیپ شاخص برداشت از ۲۷/۲ درصد در شرایط شاهد به ۴۷/۶ درصد در اثر کاربرد خارجی سولفات روی رسید. در پاسخ ژنوتیپ RCOL به کاربرد خارجی روی، عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک افزایش بیشتری داشت (به‌ترتیب ۴ و ۲ برابر در مقایسه با شاهد) که منجر به افزایش قابل توجه شاخص برداشت شد (جدول ۵). این پاسخ به کاربرد خارجی روی در ژنوتیپ RCOL می‌تواند دلیلی بر حساسیت بیشتر آن به کمبود روی قابل جذب در خاک باشد. افزایش میزان شاخص برداشت در ارقام گندم در پاسخ به مصرف سولفات روی توسط خان و همکاران (Khan *et al.*, 2008) گزارش شده است. همچنین، مقصودی و همکاران (Maghsoudi *et al.*, 2014) عدم افزایش شاخص برداشت را در پی مصرف کود روی در ارقام مقاوم گندم گزارش نموده است.

تعداد دانه در سنبله

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تعداد دانه در سنبله اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اثر ساده کاربرد سولفات روی بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد خارجی سولفات روی سبب افزایش ۲۲/۷ درصدی تعداد دانه در سنبله

ژنوتیپ‌های مورد بررسی گندم شد (جدول ۴). تعداد دانه در سنبله از جمله فاکتورهای تعیین کننده ظرفیت مخزن به‌شمار می‌آید که تابع عوامل ژنتیکی و تغذیه‌ای است. عنصر روی از عوامل تغذیه‌ای اثر گذار بر مراحل رشد گندم مانند سبز شدن و استقرار و در نهایت بهبود تعداد دانه در سنبله و 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 هرچه تولید فتوآسیمیلات‌ها در گیاه بیشتر باشد، به دلیل تخصیص بیشتر آنها به سنبله در حال تکامل و 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 دریافت روی متأثر می‌گردد (Abdoli *et al.*, 2014). در این ارتباط فتحی و عنایت قلی‌زاده (Fathi and Enayat Gholizadeh, 2009) با بررسی عناصر ریزمغذی بر رشد و عملکرد دانه ارقام جو گزارش کردند که بیشترین تعداد سنبله، تعداد دانه و وزن هزار دانه با مصرف کود ریزمغذی آهن و روی بدست آمد. در این مورد اظهار شده که عقیمی گل‌های سنبله در گیاهانی که در خاک‌های دچار کمبود روی رشد می‌کنند شدیدتر بوده و افزودن روی مشکل عقیمی سنبله را کاهش می‌دهد (Bagci *et al.*, 2007).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل کاربرد سولفات روی در ژنوتیپ بر وزن هزار دانه معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه (۴۷ گرم) در ژنوتیپ Ege-88 در شرایط کاربرد سولفات روی بود که با ژنوتیپ Bisu-1 در شرایط کاربرد سولفات روی تفاوت معنی‌داری ندارد و کمترین وزن هزار دانه (۲۷/۵ گرم) در ژنوتیپ KC-3426 در شرایط عدم کاربرد سولفات روی بدست آمد. بیشترین افزایش وزن هزار دانه در اثر کاربرد سولفات روی به میزان ۲۰/۷ و ۱۶/۷ درصد به ترتیب در ژنوتیپ‌های RCOL و KC-3426 مشاهده شد (جدول ۵)، که این نتایج نشانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های گندم دوروم به کمبود روی در خاک است. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2008) اظهار داشتند که مصرف کود روی باعث افزایش وزن هزار دانه گندم می‌گردد. احتمالاً افزایش وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌تواند به دلیل اثر مثبت عناصر ریزمغذی مثل روی در به تأخیر انداختن پیری برگ به خصوص برگ پرچم باشد. چون میزان فتوسنتز و بارگیری مواد فتوسنتزی از مبدأ به مقصد در دوران رشد دانه افزایش یافته، در نتیجه وزن دانه‌های تشکیل شده در سنبله بیشتر می‌شود (Maghsodi *et al.*, 2014).

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که اثر کاربرد سولفات روی بر ارتفاع بوته غیر معنی‌دار بود و فقط در بین ژنوتیپ‌های گندم از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). ژنوتیپ KC-3426 با ۵۲/۷ سانتیمتر بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۴). ارتفاع بوته گندم حاصل افزایش تعداد گره و یا طول میانگره‌ها در بوته است. روی در فرآیندهایی مانند فتوسنتز و تولید اکسین دخالت داشته و باعث افزایش ارتفاع

بوته ژنوتیپ‌های گندم شده است (Marschner, 1995; Cakmak *et al.*, 1989)، که برخلاف انتظار و نتایج گزارش شده توسط خان و همکاران (Khan *et al.*, 2008) و عبدلی و همکاران (Abdoli *et al.*, 2016 b)، چنین نتیجه‌ای حاصل نگردید.

پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کاربرد عنصر روی بر پروتئین دانه غیر معنی‌دار بود ولی اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). ژنوتیپ KC-3426 با ۱۷/۱ درصد بیشترین و ژنوتیپ Ege-88 با ۱۰/۲ درصد کمترین میزان پروتئین دانه را داشتند (جدول ۴). احتمالا افزایش میزان پروتئین در ژنوتیپ KC-3426 به خاطر کارآمدتر بودن مکانیسم‌های درگیر در سنتز پروتئین ژنوتیپ فوق باشد (Bayat *et al.*, 2011). در تحقیقات پلج و همکاران (Peleg *et al.*, 2008) نیز واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم از نظر میزان پروتئین دانه گزارش شده است.

غلظت روی در دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کاربرد سولفات روی در سطح احتمال یک درصد بر روی میزان غلظت روی در دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاربرد سولفات روی غلظت روی دانه از ۲۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط شاهد (عدم مصرف) به ۶۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. به‌عبارت دیگر، با کاربرد خاکی و برگی، غلظت روی دانه بیش از دو برابر افزایش یافت (جدول ۴). افزایش میزان روی دانه در اثر کاربرد این عنصر در گندم توسط محققین متعددی (Bharti *et al.*, 2013; Abdoli *et al.*, 2014; Imran *et al.*, 2015) گزارش شده است. کاربرد خارجی عنصر روی زمینه دسترسی به مقادیر قابل جذب بیشتر این عنصر توسط بوته‌های گندم را فراهم نموده و بدین ترتیب روی در دانه انباشته می‌گردد. چاکماک و همکاران (Cakmak *et al.*, 1998)، باغبان طبیعت و رسولی صدقیانی (Baghban-Tabiat and Rasouli-Sadaghiani, 2012) و لی و همکاران (Li *et al.*, 2014) نیز بر روی گیاه گندم نتایج مشابهی گزارش کردند، که کاربرد عنصر روی سبب افزایش غلظت روی در ارقام گندم می‌شود. احتمالاً ارایه حجم عظیمی از عنصر روی از طریق اندام‌های رویشی طی بازگسیل و بافت‌های سبز طی پرشدن دانه (به طور مثال از طریق محلول‌پاشی برگی) باعث انتقال عنصر روی از بافت‌های فوق به دانه می‌شود که نقش مهمی در افزایش عنصر روی در دانه گندم (Cakmak, 2008) و ذرت (Mahmoodi and Yarnia, 2013) دارد.

میزان اسید فیتیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کاربرد سولفات روی بر میزان اسید فیتیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین حاکی از کاهش میزان اسید فیتیک دانه در اثر کاربرد سولفات روی بود. به‌طوری‌که میزان این آنتی‌نوترینت با کاربرد روی از ۹۵ به ۳۵/۸ میلی‌گرم بر گرم کاهش یافت که میزان اسید فیتیک دانه تقریباً به یک سوم شاهد رسید (جدول ۴). اسید فیتیک فرم ذخیره‌ای فسفر در دانه است که عوامل ژنتیکی و محیطی از جمله تغذیه گیاه می‌تواند بر مقدار آن موثر باشد. نزدیک به ۵۰ تا ۸۰ درصد فسفر کل دانه غلات و حبوبات به فرم اسید فیتیک بوده و این ترکیب با کاتیون‌هایی مانند روی ترکیب شده و فیتات غیر محلول مانند فیتات روی را به‌وجود می‌آورد و مانع

جذب این عنصر در روده انسان می‌گردد (Urbano *et al.*, 2000; Prasad, 2003). کاهش اسید فیتیک با کاربرد سولفات روی توسط یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2011) گزارش شده است که به نوعی ارتباط منفی بین عنصر روی با اسید فیتیک را نشان می‌دهد. این رابطه معکوس بین پارامترهای یاد شده قبلاً نیز توسط حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2012)، مابسا و همکاران (Mabesa *et al.*, 2013) و عمران و همکاران (Imran *et al.*, 2015) گزارش شده است. همچنین، اردال و همکاران (Erdal *et al.*, 2002) با مطالعه بر روی بیست نوع گندم گزارش کردند که با کاربرد خاکی سولفات روی (۲۳ کیلوگرم بر هکتار) میزان اسید فیتیک در دانه کاهش و غلظت عنصر روی در دانه افزایش یافت. متشرع‌زاده و ثواقبی (Motesharezadeh and Savaghebi, 2012) معتقدند که افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد عنصر روی، سبب رقیق شدن میزان فسفر موجود در دانه می‌گردد که حاصل آن کاهش اسید فیتیک می‌باشد.

نسبت مولی اسید فیتیک به روی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ بر نسبت مولی اسید فیتیک به روی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد سولفات روی توانست نسبت مولی اسید فیتیک به روی را در دانه تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کاهش دهد. همچنین، در بین ژنوتیپ‌ها بیشترین میزان کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی در ژنوتیپ Ege-88 مشاهده شد و این نسبت از ۵۲/۲ در شاهد به ۸/۴ در شرایط کاربرد روی رسید (جدول ۵). در این مطالعه تنها در پی کاربرد خارجی عنصر روی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نسبت مولی اسید فیتیک به روی به کمتر از ۱۵ کاهش یافت. کاهش این نسبت ناشی از کاهش هم‌زمان میزان اسید فیتیک و افزیش روی در دانه بود. در این ارتباط بهارتی و همکاران (Bharti *et al.*, 2013) بیان کردند که کاربرد خاکی به‌همراه محلول‌پاشی روی سبب افزایش ۸۰ درصدی غلظت روی در دانه و کاهش ۲۳/۲ درصدی میزان اسید فیتیک شد. یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2011) بیان کردند که محلول‌پاشی در مرحله پرشدن دانه بیشترین تأثیر را بر افزایش غلظت روی در دانه و کاهش شاخص نسبت مولی اسید فیتیک به روی داشت. همچنین، نان و همکاران (Nan *et al.*, 2002) و عمران و همکاران (Imran *et al.*, 2015) معتقدند که کاربرد عنصر روی موجب افزایش روی در دانه، کاهش میزان اسید فیتیک و در نهایت کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی می‌توان عنوان نمود که پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم از بعد کمی عملکرد به کاربرد خارجی سولفات روی یکسان نبود. اما استفاده از این عنصر به صورت کاربرد خاکی و محلول‌پاشی توانست با کاهش میزان اسید فیتیک دانه، افزایش میزان روی دانه و کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی بعد کیفی عملکرد را بهبود دهد. اگرچه برای اطمینان از نتایج حاصل بایستی آزمایش‌های متعدد دیگری به‌خصوص مزرعه‌ای انجام شود با این‌حال، می‌توان کاربرد سولفات روی (به روش مصرف خاکی و محلول‌پاشی) را روش مناسبی برای بهبود همزمان عملکرد کمی و کیفی دانست.

جدول ۱- اسامی و برخی از خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد بررسی در این آزمایش

Table 1- Names and some of agronomic characters of durum wheat genotypes used in the experiment

شماره Number	شجره ژنوتیپ Pedigree of genotype	کد ژنوتیپ Code of genotype	وزن هزار دانه Thousand grain weight (g)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)
1	Ege-88	Ege-88	38	50	2709
2	KC-3426	KC-3426	34	66	1000
3	RCOL/THKNEE-2/3/SORA /2*PLATA-12//SOMAT	RCOL	33	48	2075
4	Bisu-1//CHEN-1/TEZ /3/HUI//CIT71/Cll	Bisu-1	29	50	2300

گندم دوروم از موسسه تحقیقات دیم کشور تهیه گردید.

The seeds of durum wheat were provided by Dryland Agricultural Research Institute (DARI) of Iran.

جدول ۲- نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Results of physiochemical properties of soil used in experiment

پتاسیم قابل جذب Absorbable K (ppm)	کلسیم قابل جذب Ca (ppm)	منیزیم قابل جذب Mg (ppm)	فسفر قابل جذب Absorbable P (ppm)	اسیدیته pH	بافت texture
360	46	22.8	6.1	7.2	لومی-رسی Clay loam
آهن قابل جذب Fe ($mg\ kg^{-1}$ soil)	**مس قابل جذب** Cu ($mg\ kg^{-1}$ soil)	**روی قابل جذب** Zinc ($mg\ kg^{-1}$ soil)	**کربنات کلسیم** $CaCO_3$ (%)	**هدایت الکتریکی** ECe ($ds\ m^{-1}$)	
3.12	0.7	0.6	20	2.3	

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ بر صفات زراعی و کیفی دانه گندم

Table 3- Analysis of variance (mean square) of the effect of zinc sulfate application and genotype on agronomy and quality traits of grain wheat

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)				
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن هزار دانه Thousand grain weight
تکرار Replication (R)	2	0.002 ns	0.009 ns	1.80 ns	0.338 ns	3.72 ns
کاربرد سولفات روی Zinc sulfate application (Zn)	1	0.149 **	0.549 **	172.3 *	64.4 *	46.2 *
ژنوتیپ Genotype (G)	3	0.044 *	0.504 **	274.4 **	40.2 ns	307.3 **
کاربرد سولفات روی × ژنوتیپ Zn × G	3	0.065 **	0.178 *	154.5 **	40.1 ns	30.3 *
خطا Error	14	0.013	0.052	24.9	12.3	7.31
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		23.5	18.2	12.7	27.4	7.05

ادامه جدول ۳

Table 3- Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)				
		ارتفاع بوته Plant height	پروتئین دانه Grain protein	میزان اسید فیتیک Phytic acid content	غلظت روی در دانه Zinc concentration of grain	نسبت مولی اسید فیتیک به روی Phytic acid to zinc molar ratio
تکرار Replication (R)	2	11.1 ns	8.0 *	870.8 *	1004.6 *	55.5 *
کاربرد سولفات روی Zinc sulfate application (Zn)	1	1.98 ns	1.45 ns	21039.7 **	7304.6 **	4853.6 **
ژنوتیپ Genotype (G)	3	282.5 **	49.9 **	121.2 ns	431.2 ns	330.9 **
کاربرد سولفات روی × ژنوتیپ Zn × G	3	62.2 ns	6.27 ns	80.9 ns	239.9 ns	226.6 **
خطا Error	14	18.7	1.90	187.1	166.2	12.3
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		10.0	10.1	20.9	27.3	17.1

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns,* and**: non-significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ بر صفات زراعی و کیفی دانه گندم

Table 4- Mean comparison of the effect of zinc sulfate application and genotype on agronomy and quality traits of grain wheat

تیمارهای آزمایشی Treatments	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	ارتفاع بوته Plant height (cm))	غلظت روی در دانه Zinc concentration of grain (mg.kg^{-1} dry weight)	پروتئین دانه Grain protein (%)	میزان اسید فیتیک Phytic acid content (mg.g^{-1})
Zinc sulfate application **کاربرد سولفات روی**					
Control (zinc deficient) **شاهد** (کمبود روی)	11.1 b		29.9 b		95.0 a
Zinc application (non- zinc deficient) **کاربرد روی** (کفایت)	14.4 a		64.7 a		35.8 b
Genotypes **ژنوتیپ‌ها**					
Ege-88		43.4 b		10.2 c	
KC-3426		52.7 a		17.1 a	
RCOL		37.8 b		12.7 b	
Bisu-1		38.6 b		14.4 b	

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه گندم

Table 5- Mean comparison of interactions between zinc sulfate application and genotype on grain yield, biological yield, harvest index, thousand grain weight and phytic acid to zinc molar ratio of grain wheat

تیمارهای آزمایشی Treatments		عملکرد دانه Grain yield (g.plant^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.plant^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	وزن هزار دانه Thousand grain weight (g)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی Phytic acid to zinc molar ratio
کاربرد سولفات روی Zinc sulfate application	ژنوتیپ‌ها Genotypes					
شاهد (کمبود روی) Control (zinc deficient)	Ege-88	0.56 a	1.26 b	44.3 a	43.4 abc	52.2 a
	KC-3426	0.43 a	1.39 ab	30.9 b	27.5 d	25.0 c
	RCOL	0.15 b	0.53 c	27.2 b	31.9 d	23.1 c
	Bisu-1	0.48 a	1.10 b	44.2 a	45.1 ab	38.4 b
کاربرد روی (کفایت) Zinc application (non- zinc deficient)	Ege-88	0.61 a	1.39 ab	43.8 a	47.0 a	8.4 d
	KC-3426	0.53 a	1.75 a	30.3 b	32.1 d	4.7 d
	RCOL	0.61 a	1.29 b	47.6 a	38.5 c	6.2 d
	Bisu-1	0.50 a	1.07 b	46.3 a	41.4 bc	5.8 d

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.

References منابع مورد استفاده

- Abdoli, M., A. Esfandiari, S.B. Mousavi, B. Sadeghzadeh, and M. Saeidi. 2016a. The effect of seed zinc internal content and foliar application of zinc sulfate on yield and storage compositions of wheat grain. *Crop Physiology Journal.* 7(28): 91-106. (In Persian).
- Abdoli, M., E. Esfandiari, B. Sadeghzadeh, and S.B. Mousavi. 2016b. Zinc application methods affect agronomy traits and grain micronutrients in bread and durum wheat under zinc-deficient calcareous soil. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences.* 26(2): 202-214.
- Abdoli, M., E. Esfandiari, S.B. Mousavi, and B. Sadeghzadeh. 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.
- Anonymous. 1996. Trace element in human nutrition and health. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland.
- Anonymous. 2002. The world health report. Reducing risks, promoting healthy life. World Health Organization (WHO), Geneva, 284 p.
- Bagci, S.A., H. Ekiz, A. Yilmaz, and I. Cakmak. 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.
- Baghbani, A., A. Kadkhodaie, and S.A.M. Modarres-Sanavy. 2016. Effects of wheat and bean residues along with zinc sulfate application on some qualitative and quantitative characteristices of wheat. *Journal of Crop Ecophysiology.* 39(3): 555-566. (In Persian).
- Baghban-Tabiat, S., and M. Rasouli-Sadaghiani. 2012. Investigation of Zn utilization and acquisition efficiency in different wheat genotypes at greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture.* 3(10): 17-32. (In Persian).
- Bayat, Z., A. Ahmadi, and M. Sabokdast. 2011. Genotypic variation for yield and grain protein concentration and its relationship with nitrogen remobilization in Iranian wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science.* 42(3): 565-573. (In Persian).
- Bharti, K., N. Pandey, D. Shankhdhar, P.C. Srivastava, and S.C. Shankhdhar. 2013. Improving nutritional quality of wheat through soil and foliar zinc application. *Plant, Soil and Environment.* 59(8): 348-352.
- Bryce, J., C. Boschi-Pinto, K. Shibuya, and R.E. Black. 2005. WHO Child Health Epidemiology Reference Group. WHO estimates of the causes of death in children. *Lancet.* 365(9465): 1147-1152.
- Bybordi, A., and M.J. Malakouti. 2007. Effects of zinc fertilizer on the yield and quality of two winter varieties of canola. Zinc crops. International Congress of Improving Crop Production and Human Health, 24-26 May, Istanbul, Turkey.

- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil.* 302: 1-17.
- Cakmak, I., A. Torun, E. Millet, M. Feldman, T. Fahima, A. Korol, E. Nevo, H.J. Braun, and H. Ozkan. 2004. *Triticum dicoccoides*: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 50: 1047-1054.
- Cakmak, I., H. Marschner, and F. Bangerth. 1989. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany.* 40(212): 405-412.
- Cakmak, I., M. Kalayci, Y. Kaya, A.A. Torun, N. Aydin, Y. Wang, Z. Arisoy, H. Erdem, O. Gokmen, L. Ozturk, and W.J. Horst. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 58: 9092-9102.
- Cole, C.R., F.K. Grant, E.D. Swaby-Ellis, J.L. Smith, and A. Jacques. 2010. Zinc and iron deficiency and their interrelations in low income African American and Hispanic children in Atlanta. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 91: 1027-1034.
- Cunningham-Rundles, S., D.F. McNeeley, and A. Moon. 2005. Mechanisms of nutrient modulation of the immune response. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 115: 1119-1128.
- Dargahi, M., R. Sadrabadi Haghighi, and K. Bakhsh Kelarestaghi. 2014. Effect of zinc chelate foliar application on yield and yield components of fourwheat cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*. 30(2): 137-148. (In Persian).
- Doria, L., L. Galleschi, L. Calucci, C. Pinzino, R. Pilu, E. Cassani, and E. Nielsen. 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.
- Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Technical Bulletin No. 982, Soil and Water Research Institute, Tehran, 130 p. (In Persian).
- Erdal, I., A. Yilmaz, S. Tan, B. Torun, and I. Cakmak. 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.
- Esfandiari, E., M. Abdoli, S.B. Mousavi, and B. Sadeghzadeh. 2016. Impact of foliar zinc application on agronomic traits and grain quality parameters of wheat grown in zinc deficient soil. *Indian Journal of Plant Physiology.* 21(3): 263-270.
- Fathi, G.A., and M.R. Enayat Gholizadeh. 2009. Effect of low consumption of fertilizers, iron, zinc and copper on growth and yield of barley weather conditions in Khuzestan. *Journal of Crop Physiology.* 1(1): 28-41. (In Persian).
- Genc, Y., and G.K. McDonald. 2008. Domesticated emmer wheat [*T. turgidum* L. subsp. dicoccon (Schrank) Thell.] as a source for improvement of zinc efficiency in durum wheat. *Plant and Soil.* 310: 67-75.

- Genc, Y., G.K. McDonald, and R.D. Graham. 2006. Contribution of different mechanisms to zinc efficiency in bread wheat during early vegetative stage. *Plant and Soil.* 281: 353-367.
- Haug, W., and H.J. Lantzsch. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereal products. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 34(12): 1423-1426.
- Hussain, S., M. Aamer Maqsood, Z. Rengel, and T. Aziz. 2012. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant and Soil.* 361: 279-290.
- Imran, M., S. Kanwal, S. Hussain, T. Aziz, and M. Aamer-Maqsood. 2015. Efficacy of zinc application methods for concentration and estimated bioavailability of zinc in grains of rice grown on a calcareous soil. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences.* 52(1): 169-175.
- Khan, M.A., M.P. Fuller, and F.S. Baloch. 2008. Effect of soil applied zinc sulfate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil Pakistan. *Cereal Research Communications.* 36(4): 571-582.
- Li, M., X.W. Yang, X.H. Tian, S.X. Wang, and Y.L. Chen. 2014. Effect of nitrogen fertilizer and foliar zinc application at different growth stages on zinc translocation and utilization efficiency in winter wheat. *Cereal Research Communication*. 42(1): 81-90.
- Mabesa, R.L., S.M. Impa, D. Grewal, and S.E. Johnson-Beebout. 2013. Contrasting grain-Zn response of biofortification rice (*Oryza sativa* L.) breeding lines to foliar Zn application. *Field Crops Research.* 149: 223-233.
- Maghsoudi, B., B. Jafari Haghighi, and A.R. Jafari. 2014. Effect of micronutrient elements and hormone auxin on yield and yield components of durum wheat. *Journal of Plant Ecophysiology*. 6(16): 13-26. (In Persian).
- Mahmoodi, J., and M. Yarnia. 2013. The effect of zinc sulfate different amount soil and foliar application on correlated grain characters in sweet corn. *Journal of Crop Ecophysiology.* 24(4): 429-442. (In Persian).
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition Academic Press. New York. 890 p.
- Motesharezadeh, B., and G. Savaghebi. 2012. The effect of balanced fertilization on nutrients' concentration and phytic acid to zinc molar ratio in Iranian red bean (*Phaseolus calcaratus* L.) cultivars at different stages of seed development. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture.* 3(9): 73-84. (In Persian).
- Mottaghi, M., S.A. Seyed-Mohammadi, and T. Sakynzhad. 2013. Quality and technological value of wheat. Publication of Behta Pazhuhesh. 432 p. (In Persian).
- Nan, Z., J. Li, J. Zhang, and G. Cheng. 2002. Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *Science of the Total Environment.* 285: 187-195.

- Nawaz, H., N. Hussain, A. Yasmeen, M. Arif, M. Hussain, M.I.A. Rehmani, M.B. Chattha, and A. Ahmad. 2015. Soil applied zinc ensures high production and net returns of divergent wheat cultivars. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences.* 2(1): 1-7.
- Passerini, A., C. Andreini, S. Menchetti, A. Rosato, and P. Frasconi. 2007. Predicting zinc binding at the proteome level. *BMC Bioinformatics.* 8: 1-13.
- Peleg, Z., Y. Saranga, A. Yazici, T. Fahima, L. Ozturk, and I. Cakmak. 2008. Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc-efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes. *Plant and Soil.* 306: 57-67.
- Pourgholam, M., N. Nemati, and M. Oveysi. 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on prolin, protein and nitrogen leaf of rapeseed (*Brassica napus*). *Annals of Biological Research.* 4(7): 200-203.
- Prasad, A.S. 2003. Zinc deficiency. *British Medical Journal.* 326: 409-410.
- Rasouli-Sadaghiani, M.H., B. Sadeghzadeh, E. Sepehr, and Z. Rengel. 2011. Root exudation and zinc uptake by barley genotypes differing in Zn efficiency. *Journal of Plant Nutrition.* 34: 1120-1132.
- Rehman, H., T. Aziz, M. Farooq, A. Wakeel, and Z. Rengel. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: A review. *Plant and Soil.* 361: 203-226.
- Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 13(4): 905-927.
- Sadeghzadeh, B., and Z. Rengel. 2011. Zinc in Soils and Crop Nutrition. In: Malcolm J. Hawkesford and Peter Barraclough (eds.). The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops, Chapter 16. pp: 335-375.
- Shu, N., T. Zhou, and S. Hovmöller. 2008. Prediction of zinc-binding sites in proteins from sequence. *BMC Bioinformatics.* 24: 775-782.
- Singh, A., and Y. Singh-Shivay. 2015. Zinc application and green manuring enhances growth and yield in basmati rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Journal of Plant Physiology.* 20(3): 289-296.
- Urbano, G., M. Lopez-Jurado, P. Aranda, C. Vidal-Valverde, E. Tenorio, and J. Porres. 2000. The role of phytic acid in legumes. *Journal of Physiology and Biochemistry.* 56(3): 283-294.
- Yang, X.W., X.H. Tian, W.J. Gale, X.Y. Cao, X.C. Lu, and A.Q. Zhao. 2011. Effect of soil and foliar zinc application on zinc concentration and bioavailability in wheat grain on potentially zinc deficient soil. *Cereal Research Communication.* 39: 535-543.

Improvement of Agronomic and Qualitative Characters of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) Genotypes by Application of Zinc Sulfate under Zinc Deficiency Stress

Ezatollah Esfandiari[1], and Majid Abdoli[2*]

Received: Jully 2016 , Revised: 25 Jully 2017, Accepted: 1 November 2017

Abstract

To evaluate the effects of Zn application on seed yield and some qualitative properties of wheat in a calcareous soil an experiment was carried out in factorial randomized complete block design (RCBD) with three replications at the Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran, during 2014 growing season. The first factor consisted of four durum wheat genotypes and the second factor of levels two zinc sulfate application (control and foliar application of Zn on soil at stem elongation + seed filling stages). The results showed that application of zinc sulfate could increase biological and seed yields of RCOL genotype by 2 and 4 times compared to control respectively. The effects application of zinc sulfate on biological and seed yields of other genotypes were not significant. Based on the results obtained from this study the highest increase in seed weight was 20.7% in the RCOL genotype by Zn application. The highest reduction in phytic acid to zinc molar ratio was observed in Ege-88 genotype and this ratio was decreased by 52.2 percent in the control to 8.4% due to Zn application. This may indicate different responses of durum wheat genotypes to the zinc deficiency in the soil. The results also showed that the number of seed per spike was increased by 22.7 percent and phytic acid was decreased by 62.3 percent due to the application of zinc sulfate. Also, application of zinc sulfate increased Zn concentration in seed from 29.9 $mg.kg^{-1}$ to 64.7 $mg.kg^{-1}$ in control. In general, however, the application of zinc was not the reason of seed yield improvement of all genotypes studied but it improved seed yield qualities. It can be concluded that use of Zn is an appropriate method to improve the qualitative and quantitative traits of seed yield. To confirm these results other studies are needed.

Key words: Biofortification, Grain protein, Phytic acid, Wheat, Zinc deficient.

1- Associate Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

2- Young Researchers and Elite Club, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran.

* *Corresponding Author: majid.abdoli64@yahoo.com*