

اثر کمبود روی قابل جذب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گندم نان

سیدمحسن نیازخانی^۱، بابک عبدالهی مندولکانی^{۲*}، مراد جعفری^۳، میرحسن رسولی صدقیانی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۸)

چکیده

عنصر روی (Zn) یکی از حیاتی‌ترین عناصر غذایی محدود کننده رشد گیاهان می‌باشد. به منظور بررسی اثر کمبود روی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا شد. ارقام روی-کارا (بیات و نیک‌نژاد) و روی-ناکارا (هیرمند و کرج ۱) در دو شرایط روی کافی (پنج میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کمبود روی (صفر میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) کشت و صفات و وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، میزان کلروفیل، غلظت روی دانه، ریشه و برگ و برخی صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شدند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی سطح روی و ارقام بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود، درحالی‌که اثر متقابل سطح روی در ارقام فقط برای صفات غلظت روی ریشه، روی شاخساره و روی دانه، معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود. نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که در شرایط کمبود روی، غلظت روی در ریشه ارقام روی-کارا (نیک‌نژاد و بیات به ترتیب ۵۹ و ۴۴/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) به طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بیشتر از ارقام روی-ناکارا (هیرمند و کرج ۱ به ترتیب ۳۰/۵۸ و ۳۲/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. همچنین غلظت روی دانه در رقم روی-کارای بیات (۲۸/۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) به طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) از ارقام روی-ناکارا (هیرمند و کرج ۱ به ترتیب ۲۴/۹۵ و ۲۲/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بود. محاسبه درصد کاهش صفات در شرایط کمبود روی نشان داد که میزان کاهش در عملکرد ماده خشک شاخساره، غلظت روی ریشه، غلظت روی دانه و میزان کلروفیل برگ در ارقام روی-ناکارا بیشتر از ارقام روی-کارا بود. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام روی-کارا نسبت به ارقام روی-ناکارا در شرایط کمبود روی خاک، از توانایی بیشتری در رشد و تولید ماده خشک برخوردار بوده و قادرند میزان روی بیشتری در دانه ذخیره نمایند.

واژه‌های کلیدی: تعداد دانه در سنبله، کارایی جذب روی، گندم نان، غلظت روی دانه، وزن هزار دانه

نیازخانی س. م.، عبدالهی مندولکانی ب.، جعفری م.، رسولی صدقیانی م. ح. ۱۳۹۸. اثر کمبود روی قابل جذب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گندم نان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷. شماره ۴. صفحه: ۹۹-۱۱۰.

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۳- دانشیار گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۴- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک: b.abdollahi@urmia.ac.ir

مقدمه

کمبود روی می‌باشند، عامل اصلی در شیوع گسترده کمبود روی در بدن انسان می‌باشند (Welch, 1993). در انسان کمبود روی باعث عقب‌افتادگی رشد شده و با کاهش در پاسخ ایمنی همراه است (Singh *et al.*, 2005). از طرفی در بین عناصر غذایی کم‌مصرف، روی به دلیل نقش آن در سنتز هورمون‌های گیاهی اهمیت ویژه‌ای دارد. بذور با مقادیر بالاتر این عنصر، دارای قدرت جوانه‌زنی بیشتر، سیستم ریشه‌ای بزرگ‌تر و عملکرد بالاتری در خاک‌هایی با کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف می‌باشند (Wissuwa *et al.*, 2006). عنصر روی برای رشد و متابولیسم گیاهی ضروری بوده (Haydon & Cobbett, 2007) و یک محتوای روی مناسب، باعث افزایش بهره‌وری محصول می‌شود (Cakmak, 2008). در گیاهان، روی یک جزء ضروری برای بیش از ۳۰۰ آنزیم از جمله، RNA پلی‌مراز، آلکالاین فسفاتاز، الکل دهیدروژناز و کربنیک آنهیدراز است و در کنترل رشد، توسعه و تمایز سلول‌ها مؤثر می‌باشد (Li *et al.*, 2013). کمبود روی در خاک-های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک، یکی از عوامل محدود کننده رشد گیاهان می‌باشد (Hacisalihoglu *et al.*, 2003). به‌طور کلی خاک‌هایی که کمتر از ۰/۵ میلی-گرم در کیلوگرم روی داشته باشند خاک‌های با کمبود روی محسوب می‌شوند (Lindsay & Norvell, 1978). در حدود ۵۰ درصد مناطق تحت کشت غلات دارای کمبود روی قابل جذب هستند (Graham *et al.*, 1992). فقر گسترده عناصر غذایی کم-مصرف در بسیاری از کشورهای آسیایی به‌علت طبیعت آهکی خاک، pH بالا، کمبود مواد آلی، تنش شوری، خشکی طولانی مدت، بی‌کربنات بالا در آب آبیاری و کاربرد نامتوازن کودهای NPK است (Ahmadikhah *et al.*, 2010). خاک‌های ایران در کمربند کمبود روی در جهان واقع شده (Cakmak, 2008) و تقریباً ۸۰ درصد از زمین‌های زراعی ایران دچار کمبود روی هستند (Ghasemi *et al.*, 2015). یکی از راه‌های مقابله با این مشکل، کشت گیاهان با توان جذب روی بالا می‌باشد. بعضی از ژنوتیپ‌ها در خاک‌های با کمبود روی، ظرفیت رشد و تولید محصول خوبی دارند و قادرند مقدار روی محدود موجود در خاک را به‌خوبی جذب نمایند. این ژنوتیپ‌ها، روی-کارا یا "Zn-efficient" نامیده می‌شوند

غلات نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی مردم جهان دارند. در بین غلات، گندم نان (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین محصول استراتژیک به‌شمار می‌رود که در سطح گسترده‌ای از جهان تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kasirajan *et al.*, 2013). این گیاه وسیع‌ترین سطح زیر کشت دیم را در جهان دارد (Hossain *et al.*, 2012) به‌طوری‌که در حال حاضر در ۱۷ درصد از زمین‌های زراعی جهان کشت شده و ۳۵ درصد از انرژی و پروتئین جیره غذایی (Khavarinejad & Babajanov, 2011; Mirzamasoumzadeh *et al.*, 2013) و بیش از ۲۰ درصد کالری مورد نیاز جمعیت جهان (Bushuk & Rasper, 1994) را تأمین می‌کند. در ایران بیش از ۴۰ درصد کالری و همچنین ۵۰ درصد پروتئین مورد نیاز افراد جامعه از طریق گندم نان تأمین می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2011). در سال‌های اخیر توجه به نقش عناصر غذایی کم‌مصرف از جمله روی در غلات به دلیل کمبود آن در خاک‌های زراعی افزایش قابل توجهی یافته است (Alloway, 2008). عناصر غذایی کم‌مصرف از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان می‌باشد که در فرایندهای مختلف مربوط به فتوسنتز، رشد و نمو گیاه مشارکت می‌کنند و کمبود آنها اثر بسزایی در کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی می‌گذارد. این عناصر سوخت و ساز مواد غذایی را در بدن تنظیم می‌نمایند و کمبود آنها، سلامت جوامع را به خطر می‌اندازد. حدود ۳۰ سال قبل سوءتغذیه فقط مفهومی معادل کمبود دریافت پروتئین و انرژی داشت، اما امروزه نگرش جهان به معنی سوءتغذیه تغییر کرده است و علاوه بر پروتئین و انرژی، گستره وسیعی از کمبود عناصر غذایی کم-مصرف را نیز شامل می‌شود. بیش از سه میلیارد نفر در سراسر جهان تحت اثر سوءتغذیه عناصر غذایی کم-مصرف می‌باشند که یکی از عوامل مهم در به‌خطر افتادن سلامت و میزان مرگ و میر بالا در جهان به-شمار می‌آید (Pfeiffer & McClafferty, 2007). این امر به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه که در آنها رژیم غذایی اغلب بصورت گیاه‌خواری است یک مشکل عمده می‌باشد (Lonergan *et al.*, 2009). وجود نسبت بالایی از غذاهای مبتنی بر غلات در رژیم غذایی که دارای

شده در این تحقیق از بستر شنی رودخانه فصلی "خان آرخی" ارومیه، با مقدار روی بسیار کم تهیه گردید (جدول ۱). بستر شنی مورد استفاده در این تحقیق بعد از غربال با الک دو میلی‌متری، ابتدا پنج بار با آب معمولی شسته شده و در نهایت با آب دوبار تقطیر آب-کشی گردید. مواد غذایی مورد نیاز (Baghban-Tabiat & Rasouli-Sadaghiani, 2012) قبل از کشت به صورت محلول تهیه و با خاک مورد استفاده کاملاً مخلوط گردید (جدول ۲). علاوه بر مواد غذایی که به خاک اضافه شد، به نیمی از گلدان‌ها عنصر روی به صورت $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ افزوده شد (Baghban-Tabiat & Rasouli-Sadaghiani, 2012). تعداد ۱۰ عدد بذر گندم از هر یک از ارقام، بعد از ضدعفونی با الکل ۷۰ درصد و آب ژاول در هر یک از گلدان‌های پلی‌اتیلنی به قطر ۱۱ و ارتفاع ۳۴ سانتی‌متر حاوی ۴ کیلوگرم خاک کشت گردید. بعد از ۱۰ روز تعداد گیاهان به هفت عدد کاهش داده شد. در طول فصل، آبیاری با استفاده از آب دوبار تقطیر در حد ظرفیت مزرعه انجام گردید. به‌منظور جلوگیری از کمبود نیتروژن، هر دو هفته یک‌بار محلول نترات آمونیوم به‌همراه آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه گردید. در مرحله ۳۰ درصد سنبله‌دهی، ریشه و شاخساره گیاهان برداشت شده و جهت تعیین عناصر به آزمایشگاه گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انتقال داده شد. برای اندازه‌گیری روی، وزن تر نمونه‌های گیاهی توزین و سپس در پاکت‌های کاغذی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد در دستگاه خشک‌کن قرار داده شد و بعد از اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها توسط آسیاب پودر گردیده و غلظت روی آنها اندازه‌گیری شد. غلظت روی ریشه، اندام هوایی و دانه از طریق سوزاندن خشک نمونه‌ها در کوره الکتریکی و قرائت عصاره استخراجی توسط دستگاه جذب اتمی (مدل SHIMADZU AA-6300) اندازه‌گیری شد. در مرحله ۳۰ درصد سنبله‌دهی، از هر گلدان پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از خط-کش، طول بوته و طول پدانکل اندازه‌گیری گردید. بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان، با خط‌کش طول ریشک و با استفاده از کولیس، قطر طوقه اندازه‌گیری و یادداشت شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه، از هر گلدان پنج سنبله به‌صورت تصادفی

(Pearson & Rengel, 1997). در تحقیقی که روی ارقام روی-کارا و روی-ناکارای نخود فرنگی انجام گردید، مشاهده شد هنگامی که ارقام با روی-کارایی متفاوت به مدت ۲۰ روز با روی کافی تیمار شدند، هیچکدام علائم کمبود روی را بروز نداده و اختلاف معنی‌داری از نظر رشد و عملکرد نشان ندادند ولی در شرایط کمبود روی شدید و متوسط، برخلاف ارقام روی-کارا، ارقام روی-ناکارا علاوه بر نشان دادن علائم کمبود روی مانند کلروز و کاهش سطح برگ، کاهش معنی‌داری در عملکرد نشان دادند (Pandey et al., 2012). در مطالعه دیگری که روی ارقام برنج با روی-کارایی متفاوت انجام گرفت، گزارش شد که در شرایط کمبود متوسط روی، ژنوتیپ روی-کارا بهتر از روی-ناکارا رشد کرده و علائم کمبود روی را نشان نمی‌دهد، هر چند در شرایط کمبود شدید روی، بیوماس هر دو ژنوتیپ شدیداً کاهش یافت اما کاهش در تولید ماده خشک، در ژنوتیپ روی-ناکارا به‌طور قابل توجهی بیشتر از ژنوتیپ روی-کارا بود (Chen et al., 2009). در تحقیقاتی که در گندم (Dong et al., 2003; Haciosalihoglu et al., 1995)، برنج (Sakal et al., 1998) و نخود سیاه (Gupta et al., 2011) انجام گرفته، بیشتر تمرکز بر مطالعه اثر کمبود روی بر صفت ماده خشک تولیدی بود و صفات مهم دیگر مانند اجزای عملکرد در شرایط کمبود روی در بیشتر گیاهان مطالعه نشده است. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی اثر کمبود روی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مهم در ارقام روی-کارا و روی-ناکارای گندم نان در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتور اول کاربرد روی در دو سطح صفر (کمبود روی) و پنج میلی‌گرم در کیلوگرم (روی کافی) (Baghban-Tabiat & Rasouli-Sadaghiani, 2012) از منبع سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) و فاکتور دوم ارقام بیات و نیک‌نژاد (روی-کارا) و هیرمند و کرج ۱ (روی-ناکارا) بود (Baghban-Tabiat & Rasouli-Sadaghiani, 2012; Khoshgofarmanesh et al., 2009). خاک استفاده

(2012). میزان کلروفیل کل برگ به روش لیچنتنالتار (Lichtenthaler, 1987) اندازه‌گیری شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها و اشتباهات آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار MINITAB (نسخه ۱۹) انجام گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین تیمارها (به روش دانکن در سطح یک درصد) و محاسبه همبستگی بین صفات توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) انجام گرفت.

انتخاب و وزن ۱۰۰ عدد دانه توسط ترازوی دیجیتالی با حساسیت ۰/۰۰۱ تعیین و عدد حاصل در ۱۰ ضرب شد. همچنین تعداد روز از زمان جوانه‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی دانه یادداشت‌برداری گردید. جهت محاسبه درصد کاهش صفات در شرایط کمبود روی، مقدار صفت مزبور در حالت تنش اندازه‌گیری و بر مقدار همان صفت در تیمار شاهد (پنج میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد (Pandey *et al.*,

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی بستر شنی مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the sandy bed used in the current study

EC	pH	P	K	Zn	N	CaCO ₃	OM	Clay	Silt	Sand
(dS m ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)				(%)			
1.19	7.8	2.4	9.4	0.15	0.61	9	0.69	3	1	96

جدول ۲- ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Composition of the nutrient solution used in the experiment

Ingredients	Concentration (gr l ⁻¹)	Amount (ml kg ⁻¹)
K ₂ SO ₄ / KH ₂ PO ₄	(48.407) / (30.242)	(3)
NH ₄ NO ₃ / CaCl ₂ .2H ₂ O	(93) / (147.016)	(1)
MgSO ₄ .7H ₂ O	(20.5)	(1)
MnSO ₄ .H ₂ O / Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O / CuSO ₄ .5H ₂ O / H ₃ BO ₃	(7.5) / (0.083) / (1.05) / (0.333)	(2)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	(13.14)	(1.67)

نتایج و بحث

ارقام روی-ناکارا روی بیشتری جذب نموده و به دانه و دیگر اندام‌های گیاه انتقال می‌دهند (Pandey *et al.*, 2012). با این حال در شرایط کمبود روی اختلاف معنی‌داری بین غلظت روی شاخساره ارقام روی-کارا و روی-ناکارا مشاهده نمی‌شود. در گیاهان دیگر نیز گزارش شده زمانی که ارقام روی-کارا و روی-ناکارا تحت شرایط کمبود روی رشد می‌کنند فقط ژنوتیپ‌های روی-ناکارا علائم کمبود را نشان می‌دهند و اختلافات معنی‌داری بین غلظت روی شاخساره و برگ ارقام روی-کارا و روی-ناکارا مشاهده نمی‌شود (Rengel, 1995; Cakmak *et al.*, 1997; Cakmak *et al.*, 1999; Hacisalihoglu *et al.*, 2001; Hacisalihoglu *et al.*, 2003). بنابراین می‌توان بیان نمود که احتمالاً غلظت روی شاخساره شاخص مناسبی برای تفکیک ارقام روی-کارا از روی-ناکارا گندم نان نباشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد در شرایط روی کافی، تفکیک مشخصی بین ارقام روی-کارا و روی-ناکارا به لحاظ میزان روی ریشه، شاخساره و دانه وجود نداشت.

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر متقابل سطح روی در رقم برای صفات غلظت روی ریشه، روی شاخساره و روی دانه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود. همچنین اثر رقم بر تمامی صفات معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بود. اثر سطح روی نیز روی اکثر صفات مورد مطالعه به غیر از وزن تر شاخساره، تعداد میانگرمه، طول ریشک و زمان رسیدگی دانه در سطح پنج و یا یک درصد معنی‌دار بود.

مقایسه میانگین اثر متقابل سطح روی در رقم (جدول ۴) نشان می‌دهد در شرایط کمبود روی، غلظت روی ریشه و روی دانه در رقم روی-کارای بیات به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بیشتر از ارقام روی-ناکارا بود. این نتایج نشان می‌دهد ارقام روی-کارا در شرایط کمبود روی مقدار روی بیشتری از طریق ریشه جذب می‌کنند و غلظت روی دانه آنها نیز بیشتر از ارقام روی-ناکارا می‌باشد. البته در این مطالعه رقم روی-ناکارای هیرمند در شرایط کمبود روی، درصد بیشتری از میزان روی جذب شده را به دانه انتقال داد. در نخود فرنگی نیز گزارش شد که در شرایط کمبود روی، ارقام روی-کارا نسبت به

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تنش کمبود روی در ارقام گندم نان

Table 3. Analysis of variance for the studied traits under Zinc deficiency stress in bread wheat cultivars

SOV	df	Mean square					
		RZC	SZC	GZC	RFW	SFW	RDW
Zn Level	1	129549.65**	24890.54**	7370.31**	0.51**	1.25 ^{ns}	0.01**
Cultivar	3	3151.46**	232.07**	39.31**	24.57**	4.88**	0.62**
Zn × Cultivar	3	1332.94**	249.95**	85.72**	0.06 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.0008 ^{ns}
Error	16	31.17	16.75	0.72	0.04	0.36	0.0006
CV (%)		4.75	6.75	2.04	4.5	9.6	4.3

SOV	df	Mean square					
		SDW	NON	FLA	PH	PL	FLL
Zn Level	1	0.11**	0.032 ^{ns}	14.64*	63.26**	4.93**	6.79*
Cultivar	3	0.08**	1.57**	18.64**	605.54**	122.65**	10.15**
Zn × Cultivar	3	0.009 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.60 ^{ns}	5.85 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.62 ^{ns}
Error	16	0.003	0.05	3.17	3.64	0.16	1.41
CV (%)		5.6	8.28	8.12	2.86	1.4	5.4

SOV	df	Mean square						
		SL	AL	TGW	CD	NGS	GM	ChC
Zn Level	1	1.47*	1.42 ^{ns}	35.37**	0.49**	27.45*	10.67 ^{ns}	0.16**
Cultivar	3	2.97**	19.15**	23.47**	0.31**	47.55**	61.67**	0.08**
Zn × Cultivar	3	0.13 ^{ns}	0.35 ^{ns}	1.39 ^{ns}	0.003 ^{ns}	6.77 ^{ns}	4.78 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Error	16	0.21	0.37	1.32	0.009	14.81	10.87	0.006
CV (%)		6.16	10.04	3.7	4.76	12.73	3.3	5.24

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

RZC: Root Zn concentration, SZC: Shoot Zn concentration, GZC: Grain Zn concentration, RFW: Root fresh weight, SFW: Shoot fresh weight, RDW: Root dry weight, SDW: Shoot dry weight, NON: Number of nodes, FLA: Flag leaf area, PH: Plant height, PL: Peduncle length, FLL: Flag leaf length, SL: Spike length, AL: Awn length, TGW: 1000 grain weight, CD: Crown diameter, NGS: Number of grains per spike, GM: Grain maturity, ChC: Chlorophyll content.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح روی در رقم برای صفات غلظت روی ریشه، شاخساره و دانه

Table 4. Mean comparison for interaction effect of Zn levels × cultivar for root, shoot and grain Zn concentration

Zn Level (mg kg ⁻¹)		RZC (mg kg ⁻¹)	SZC (mg kg ⁻¹)	GZC (mg kg ⁻¹)
0	Bayat	44.75 ^e	31.34 ^c	28.82 ^d
	Nik-Nejhad	59.00 ^d	25.64 ^c	23.96 ^e
	Hirmand	30.58 ^f	24.96 ^c	20.70 ^f
	Karaj-1	42.05 ^{ef}	32.99 ^c	22.85 ^e
5	Bayat	154.41 ^c	98.94 ^a	53.16 ^c
	Nik-Nejhad	241.64 ^a	80.01 ^b	66.37 ^a
	Hirmand	177.90 ^b	106.26 ^a	57.92 ^b
	Karaj-1	190.19 ^b	86.23 ^b	59.38 ^b

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Means with similar letter(s) in each column are not significantly different at 1% probability level, based on Duncan's multiple range test.

RZC: Root Zn concentration, SZC: Shoot Zn concentration, GZC: Grain Zn concentration

ویژه گندم می‌باشد و به‌طور معنی‌داری عملکرد بذر گیاه را کاهش می‌دهد (Erenoglu *et al.*, 2002). این عنصر با دخالت در توانایی دانه گرده برای لقاح، تقسیم سلولی، لقاح جنسی و تولید زیست‌توده (بیوماس) به‌طور مستقیم در افزایش عملکرد دانه مؤثر می‌باشد (Ebrahimian & Bybordi, 2011). عنصر روی با افزایش جذب عنصر پتاسیم، نقش مهمی در تنظیم

مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک در شرایط کمبود روی و روی کافی (جدول ۵) نشان می‌دهد که مقدار صفات وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و شاخساره، طول گیاه، طول پدانکل، وزن هزار دانه، قطر طوقه و مقدار کلروفیل برگ در شرایط کمبود روی به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) کاهش می‌یابد. کمبود روی یکی از شایع‌ترین کمبودها در بین عناصر غذایی کم‌مصرف در غلات به

مؤثر باشد (Choudhury *et al.*, 2006). در مطالعه دیگری در گندم گزارش شده که کمبود روی علاوه بر کاهش کیفیت دانه، موجب کاهش عملکرد دانه نیز می‌شود (Haydon & Cobbett, 2007). در نخود فرنگی نیز ارقام روی-کارا در شرایط کمبود روی نسبت به ارقام روی-ناکارا، دارای عملکرد ماده خشک و غلظت روی بیشتری بودند (Pandey *et al.*, 2012). در برنج نیز گزارش شده است که تحت شرایط کمبود شدید روی، بیوماس ارقام برنج شدیداً کاهش می-یابد (Chen *et al.*, 2009).

روزنه‌ها و در نتیجه میزان فتوسنتز دارد. این عنصر از طریق محافظت از گروه سولفیدریل، در سنتز کلروفیل شرکت می‌کند (Cakmak, 2000). از طرفی گزارش شده که عنصر روی با دخالت در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل قادر است در بیوسنتز کلروفیل و کاروتنوئیدها شرکت کرده و در نهایت کارایی فتوسنتز گیاه را افزایش دهد (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2004). همچنین عنصر روی می‌تواند بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل مانند آهن و منیزیم یا عناصری که قسمتی از مولکول کلروفیل هستند نیز

جدول ۵- مقایسه میانگین سطوح روی برای صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

Table 5. Mean comparison of Zn levels for studied morphological and physiological traits

Zn Level	RFW (gr)	RDW (gr)	SDW (gr)	PH (Cm)	PL (Cm)	TGW (gr)	CD (Cm)	ChC (mg gFW ⁻¹)
0 (mg kg ⁻¹)	4.33 ^b	0.54 ^b	0.97 ^b	65.14 ^b	27.29 ^b	29.81 ^b	1.88 ^b	1.45 ^b
5 (mg kg ⁻¹)	4.62 ^a	0.58 ^a	1.11 ^a	68.39 ^a	28.20 ^a	32.24 ^a	2.17 ^a	1.52 ^a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف لاتین متفاوت می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد دارند.

Means with different letters in each column are significantly different at 1% probability level, based on Duncan's multiple range test.

RFW: Root fresh weight, RDW: Root dry weight, SDW: Shoot dry weight, PH: Plant height, PL: Peduncle length, TGW: 1000 grain weight, CD: Crown diameter, ChC: Chlorophyll content

شرایط کمبود شدید روی، عملکرد ماده خشک همه ارقام روی-کارا و روی-ناکارا به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد اما کاهش عملکرد برای رقم روی-کارا کمتر بود (Chen *et al.*, 2009). دو گیاه چاودار و گندم روی-کارا بزوستایا نیز در خاک دارای کمبود روی، تنها ۱۶ درصد کاهش عملکرد ماده خشک نشان دادند درحالی‌که در همین شرایط رقم روی-ناکارا BDME و ارقام گندم دوروم که عموماً نسبت به روی ناکارا می-باشند به‌ترتیب ۳۶ و ۴۷ درصد کاهش عملکرد نشان دادند (Cakmak *et al.*, 1997).

مطالعه همبستگی بین صفات (جدول ۷) نشان می‌دهد که بین میزان روی ریشه، روی شاخساره، روی دانه، وزن خشک شاخساره و کلروفیل همبستگی مثبت و معنی-داری وجود دارد و با افزایش روی ریشه مقدار کلروفیل افزایش یافته و در نتیجه توانایی فتوسنتز بیشتر شده و در نهایت عملکرد خشک بالا می‌رود. همچنین همبستگی معنی‌داری بین میزان کلروفیل برگ و تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه مشاهده شد. در مطالعات متعددی به ارتباط مثبت بین کاربرد روی و افزایش وزن هزار دانه و میزان کلروفیل برگ اشاره شده است (Thalooth *et al.*, 2005; Ziaician & Malakouti,)

مقایسه میانگین صفات در ارقام مطالعه شده (جدول ۶) نشان می‌دهد که رقم روی-کارا بیات دارای بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه و شاخساره بود در حالیکه کمترین مقادیر این صفات در رقم روی-ناکارا هیرمند مشاهده گردید. عنصر روی از طریق اثر بر افزایش مقدار کلروفیل برگ و بهبود عمل فتوسنتز و جذب بهتر مواد مغذی، باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه می-شود (Gurmani *et al.*, 2012). همچنین این عنصر به-عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها از طریق شرکت در بیوسنتز اسید آمینه تریپتوفان و به‌عنوان پیش‌ماده سنتز اکسین موجب تحریک رشد گیاه می‌شود (Weisany *et al.*, 2012). به‌نظر می‌رسد ارقام روی-کارا نسبت به ارقام روی-ناکارا، از قدرت بیشتری در استفاده بهینه از کمترین روی موجود در محیط برخوردار بوده و قادرند با کاربرد آن در متابولیسم سلولی نسبت به ارتقاء قدرت فتوسنتز و در نهایت رشد و نمو بهتر گیاه اقدام نمایند. در مطالعه‌ای که در ژنوتیپ‌های نخود فرنگی در خاک دارای کمبود روی انجام گرفت گزارش شد که ارقام روی-کارا نخود فرنگی دارای رشد بهتر و عملکرد ماده خشک بالاتری نسبت به ارقام روی-ناکارا می‌باشند (Pandey *et al.*, 2012). در برنج نیز گزارش شد تحت

متوسط ۱۳ درصد افزایش می‌یابد (Cakmak *et al.*, 1997). بررسی اثر عناصر آهن، منگنز، روی و مس بر عملکرد و کیفیت دانه گندم در اراضی آهکی نشان داد که با مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف، عملکرد دانه، کاه، وزن هزار دانه و میزان پروتئین دانه به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد (Ziaeian & Malakouti, 2002). در آفتابگردان نیز اثر مثبت محلول‌پاشی روی بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گزارش شده است (Thalooth *et al.*, 2005).

این افزایش احتمالاً مربوط به اثر عنصر روی بر هورمون ایندول استیک اسید می‌باشد (Mohammad *et al.*, 1990; Yilmaz *et al.*, 1997). همچنین گزارش شده که تولید بیشتر کلروفیل و هورمون ایندول استیک اسید می‌تواند باعث تأخیر در پیری و فرسودگی گیاه شود و طول دوره فتوسنتز را افزایش دهد که به نوبه خود سبب افزایش تولید کربوهیدرات و انتقال آن به دانه‌ها و افزایش عملکرد می‌شود (Rajaie & Ziaeyan, 2009). در گندم گزارش شده که در اثر مصرف روی، عملکرد دانه گندم به طور

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر رقم برای برخی صفات مورد مطالعه

Table 6. Mean comparison of the cultivar effect for some studied traits

	RFW (gr)	SFW (gr)	RDW (gr)	SDW (gr)	NON	FLA (Cm ²)	PH (Cm)	PL (Cm)
Bayat	7.27 ^a	7.39 ^a	1.03 ^a	1.19 ^a	2.71 ^c	24.22 ^a	55.36 ^d	22.07 ^d
Nik-Nejhad	3.85 ^c	6.17 ^b	0.42 ^c	1.04 ^b	2.26 ^d	20.51 ^b	64.48 ^c	33.09 ^a
Hirmand	2.47 ^d	5.18 ^c	0.31 ^d	0.91 ^c	3.47 ^a	22.42 ^{ab}	67.52 ^b	28.41 ^b
Karaj-1	4.30 ^b	6.21 ^b	0.48 ^b	1.03 ^b	3.05 ^b	20.58 ^b	79.69 ^a	27.43 ^c

	FLL (Cm)	SL (Cm)	AL (Cm)	TGW (gr)	CD (Cm)	NGS	GM (Day)	ChC (mg g FW ⁻¹)
Bayat	23.88 ^a	7.15 ^b	6.35 ^b	30.33 ^{bc}	2.14 ^a	32.61 ^a	98.33 ^{ab}	1.56 ^a
Nik-Nejhad	21.17 ^b	6.53 ^c	6.30 ^b	28.74 ^c	1.69 ^b	32.71 ^a	98.83 ^a	1.60 ^a
Hirmand	21.65 ^b	8.09 ^a	8.00 ^a	33.41 ^a	2.08 ^a	27.95 ^{ab}	94.50 ^b	1.38 ^b
Karaj-1	21.15 ^b	7.83 ^a	3.68 ^c	31.61 ^{ab}	2.19 ^a	27.63 ^b	102.33 ^a	1.39 ^b

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف لاتین مشترک می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 1% probability level, based on Duncan's multiple range test.

RFW: Root fresh weight, SFW: Shoot fresh weight, RDW: Root dry weight, SDW: Shoot dry weight, NON: Number of nodes, FLA: Flag leaf area, PH: Plant height, PL: Peduncle length, FLL: Flag leaf length, SL: Spike length, AL: Awn length, TGW: 1000 grain weight, CD: Crown diameter, NGS: Number of grains per spike, GM: Grain maturity, ChC: Chlorophyll content

جدول ۷- همبستگی بین صفات مورد مطالعه در ارقام روی-کارا و روی-ناکارا گندم نان

Table 7. Correlation between studied traits in zinc-efficient and -inefficient bread wheat cultivars

	RZC	SZC	GZC	SDW	PH	SL	FLL	CD	NGS	TGW	FLA
SZC	0.85 ^{**}										
GZC	0.98 ^{**}	0.89 ^{**}									
SDW	0.55 ^{**}	0.54 ^{**}	0.56 ^{**}								
PH	0.19	0.17	0.17	0.23							
SL	0.16	0.39	0.25	-0.16	0.44 [*]						
FLL	0.20	0.33	0.29	0.63 ^{**}	-0.46 [*]	-0.04					
CD	0.34	0.65 ^{**}	0.46 [*]	0.28	0.28	0.64 ^{**}	0.38				
NGS	0.31	0.22	0.29	0.47 [*]	-0.40	-0.26	0.21	-0.17			
TGW	0.32	0.59 ^{**}	0.42 [*]	0.007	0.37	0.85 ^{**}	0.08	0.68 ^{**}	-0.15		
FLA	0.23	0.40 [*]	0.30	0.39	-0.36	0.11	0.62 ^{**}	0.46 [*]	0.16	0.23	
ChC	0.38 [*]	0.18	0.32	0.51 ^{**}	-0.50 [*]	-0.59 ^{**}	0.29	-0.23	0.50 [*]	0.48 [*]	0.18

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively

RZC: Root Zn concentration, SZC: Shoot Zn concentration, GZC: Grain Zn concentration, SDW: Shoot dry weight, PH: Plant height, SL: Spike length, FLL: Flag leaf length, CD: Crown diameter, NGS: Number of grains per spike, TGW: 1000 grain weight, FLA: Flag leaf area, ChC: Chlorophyll content.

روی-کارا و روی-ناکارا محاسبه شد (جدول ۸). ارقام روی-کارا (بیات و نیک‌نژاد) در شرایط کمبود روی، به-طور متوسط حدود ۹۶ درصد وزن خشک ریشه را نسبت

جهت توصیف بهتر اثر تنش کمبود روی بر صفات مورد مطالعه، میانگین صفات مورفولوژیکی و درصد کاهش آنها در دو شرایط کمبود روی و روی کافی در ارقام

به شرایط روی کافی تولید کردند، در حالیکه ارقام روی- ناکارا (هیرمند و کرج ۱) به طور متوسط قادر به تولید ۸۶/۱۹ درصد وزن خشک ریشه در شرایط کمبود روی بودند.

جدول ۸- میزان کاهش صفات مورد مطالعه در ارقام گندم نان روی-کارا و روی-ناکارا در شرایط کمبود روی خاک

Table 8. Decline in studied traits in Zn-efficient and -inefficient wheat cultivars under Zn deficiency conditions

	Root dry weight (gr)		Shoot dry weight (gr)		Plant height (Cm)	
	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)
Bayat	1.02 (98.15%)	1.04	1.10 (88.99%)	1.24	54.37 (96.5%)	56.36
Nik-nejhad	0.41 (93.74%)	0.44	0.97 (84.37%)	1.15	63.4 (96.64%)	65.59
Mean	95.94%	(100%)	86.68%	(100%)	96.55%	(100%)
Hirmand	0.27 (79.39%)	0.34	0.81 (80.22%)	1.01	66.2 (96.19%)	68.83
Karaj-1	0.47 (92.99%)	0.50	0.96 (88.07%)	1.09	76.6 (92.53%)	82.78
Mean	86.19%	(100%)	84.14%	(100%)	94.36%	(100%)
	Flag leaf length (Cm)		Zn Root concentration (g kg ⁻¹)		Zn Shoot concentration (g kg ⁻¹)	
	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)
Bayat	23.4 (95.96%)	24.37	44.75 (28.98%)	154.41	31.34 (31.67%)	98.94
Nik-nejhad	20.93 (97.8%)	21.40	59.00 (24.41%)	241.64	25.64 (32.04%)	80.01
Mean	96.88%	(100%)	26.69%	(100%)	31.86%	(100%)
Hirmand	21.24 (96.3%)	22.06	30.58 (17.19%)	177.91	24.95 (23.48%)	106.26
Karaj-1	20.2 (91.07)	22.14	42.05 (22.11%)	190.19	32.98 (38.24%)	86.24
Mean	93.68%	(100%)	19.65%	(100%)	30.86%	(100%)
	Grain Zn concentration (g kg ⁻¹)		Spike length (Cm)		Awn length (Cm)	
	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)
Bayat	28.82 (54.22%)	53.16	7.09 (98.13%)	7.22	6.20 (95.38%)	6.50
Nik-nejhad	24.27 (36.56%)	66.37	6.33 (94.16%)	6.73	6.23 (97.90%)	6.37
Mean	45.39%	(100%)	96.14%	(100%)	96.64%	(100%)
Hirmand	24.96 (43.09%)	57.92	7.70 (90.68%)	8.49	7.40 (86.04%)	8.60
Karaj-1	22.86 (38.49%)	59.39	7.50 (91.87%)	8.16	3.52 (91.91%)	3.83
Mean	40.79%	(100%)	91.27%	(100%)	88.97%	(100%)
	Peduncle length (Cm)		Crown diameter (Cm)		1000 grain weight (gr)	
	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)
Bayat	21.82 (97.76%)	22.32	2.00 (88.16%)	2.27	29.59 (94%)	31.46
Nik-nejhad	32.79 (98.22%)	23.38	1.58 (87.46%)	1.81	27.4 (93.32%)	29.63
Mean	97.99%	(100%)	87.81%	(100%)	93.17%	(100%)
Hirmand	27.54 (94.03%)	29.29	1.91 (85.08%)	2.25	31.6 (89.96%)	35.17
Karaj-1	27.04 (97.16%)	27.83	2.04 (86.68%)	2.35	30.96 (94.6%)	32.71
Mean	95.59%	(100%)	85.88%	(100%)	92.29%	(100%)
	Flag leaf area (Cm ²)		Number of grains per spike		Chlorophyll content (mg gFW ⁻¹)	
	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)	0 (mg kg ⁻¹)	5 (mg kg ⁻¹)
Bayat	23.7 (95.94%)	24.72	32.53 (99.48%)	32.70	1.55 (98.42%)	1.57
Nik-nejhad	20 (95.13%)	21.02	31.86 (94.93%)	33.56	1.58 (97.41%)	1.62
Mean	95.53%	(100%)	97.20%	(100%)	97.91%	(100%)
Hirmand	21.4 (90.97%)	23.48	25.37 (83.10%)	30.53	1.33 (93.99%)	1.42
Karaj-1	19.5 (90.29%)	21.63	26.87 (94.64%)	28.39	1.34 (92.29%)	1.45
Mean	90.63%	(100%)	88.79%	(100%)	93.14%	(100%)

صفات ارتفاع گیاه، سنبله، ریشک، پدانکل، سطح برگ پرچم و قطر طوقه در شرایط کمبود روی، بین ارقام روی-کارا و روی-ناکارا نشان داد ارقام روی-کارا از قابلیت بیشتری برای استفاده از حداقل روی خاک برخوردار بوده و در تمامی صفات ذکر شده دارای مقادیر بالاتری می‌باشند. از نظر میزان روی ریشه و دانه، نیز کاهش قابل توجهی در ارقام روی-ناکارا نسبت به ارقام روی-کارا در شرایط کمبود روی مشاهده شد. این مسئله

این موضوع بیانگر نقش تغذیه‌ای عنصر روی در تولید وزن خشک ریشه بوده و نشان می‌دهد که ارقام روی-کارای گندم در شرایط کمبود روی در خاک، ماده خشک بیشتری نسبت به ارقام روی-ناکارا تولید می‌کنند. در حالیکه مقایسه کاهش وزن خشک شاخساره در ارقام نشان می‌دهد ارقام روی-کارا (۱۳/۳ درصد) و روی-ناکارا (۱۵/۸ درصد) اختلاف محسوسی در میزان کاهش وزن خشک شاخساره ندارند. مقایسه کاهش

به‌طور قابل ملاحظه‌ای آنها را کاهش می‌دهد. همچنین ارقام روی-کارای گندم نان در شرایط کمبود روی، دارای غلظت روی دانه بیشتری می‌باشند. بنابراین با توجه به اینکه بیش از ۸۰ درصد خاک‌های کشور ایران دارای کمبود روی می‌باشد پیشنهاد می‌شود این آزمایش در شرایط مزرعه تکرار شده و در صورت حصول نتایج مشابه، کشت این ارقام در نواحی مختلف گسترش یابد. همچنین پیشنهاد می‌شود به‌منظور درک مکانیسم مولکولی جذب روی در ارقام مختلف گندم و طراحی برنامه‌های اصلاحی مؤثر جهت تولید ارقام کارا، بیان ژن‌های دخیل در جذب روی از خاک (ژن‌های خانواده ZIP) در ارقام روی-کارا و روی-ناکارا و ارتباط آن با میزان روی دانه مطالعه شود.

تشکر و قدردانی

از گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، گروه علوم خاک و پژوهشکده زیست‌فناوری دانشگاه ارومیه به خاطر حمایت‌های فنی و ارائه امکانات لازم، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

نشان می‌دهد که ارقام روی-کارا گندم در شرایط کمبود روی دارای محتوای روی دانه بیشتری هستند. همچنین از بین دو صفت وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه که از اجزای اصلی عملکرد دانه هستند، ارقام روی-کارا دارای قابلیت بیشتری در استفاده از روی محیط در جبران کاهش ناشی از کمبود روی در صفت تعداد دانه در سنبله می‌باشند. غلظت کلروفیل کل در برگ گیاهان مورد مطالعه، در شرایط کمبود روی کمتر از شرایط روی کافی بود (جدول ۵). نتایج نشان داد کاهش در میزان کلروفیل ارقام روی-ناکارای هیرمند و کرج ۱ به ترتیب ۶ و ۷/۵ (به‌طور متوسط ۶/۸۶) درصد بود که بیش از کاهش آن در ارقام روی-کارای بیات و نیک‌نژاد با کاهش ۱/۵ و ۲/۵ درصدی (به‌طور متوسط ۲/۰۹ درصد) بود.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که کمبود روی خاک در ارقام روی-ناکارای گندم بر میزان کلروفیل، تولید ماده خشک، غلظت روی دانه و برخی اجزای عملکرد دانه گندم (وزن هزار دانه) اثر گذاشته و

References

- Cakmak I., Kalaycı, M., Ekiz, H., Braun, H.J., Kılınç, Y. and Yılmaz, A. 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-science for stability project. *Field Crops Research*, 60 (1-2): 175-188.
- Ahmadi J., Khatibi M., Amirshakeri H., and Amini Dehagi M. 2011. Evaluation of the effective morpho-physiological indices on the yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) using multivariate statistical methods. *Journal of Agronomy Sciences*, 2(4): 55-66.
- Ahmadikhah A., Narimani H., Rahimi M.M., and Vaezi B. 2010. Study on the effects of foliar spray of micronutrient on yield and yield components of durum wheat. *Archives of Applied Science Research*, 2(6): 168-176.
- Alloway B.J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition (2nd Ed.). International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association, Brussels, 135p.
- Baghban-Tabiat S., and Rasouli-Sadaghiani M.H. 2012. Investigation of Zn utilization and acquisition efficiency in different wheat genotypes at greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3(2): 17-32. (In Persian)
- Bushuk W., and Rasper V.F. 1994. Wheat: production, properties and quality. Springer Science and Business Media, London, 239p.
- Cakmak I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*, (146): 185-205.
- Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* 302 (1-2): 1-17.
- Cakmak I., Ozturk L., Eker S., Torun B., Kalfa H.I. and Yilamaz A. 1997. Concentration of zinc and activity of copper/zinc superoxide dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency. *Journal of Plant Physiology*, (151): 91-95.

- Chen W.R., He Z.L., Yang X.E., and Feng Y. 2009. Zinc efficiency is correlated with root morphology, ultra-structure, and antioxidative enzymes in rice. *Journal of Plant Nutrition*, (32): 287-305.
- Choudhury R.P., Kumar A., and Garg A.N. 2006. Analysis of Indian mint (*Mentha spicata*) for essential, trace and toxic elements and its antioxidant behavior. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, (41): 825-832.
- Dong B., Rengel Z., and Graham R.D. 1995. Root Morphology of wheat genotype differing in Zn efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, (18): 2761-2773.
- Ebrahimian E., and Bybordi A. 2011. Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, (9): 422-427.
- Erenoglu B., Nikolic M., Römheld V. and Cakmak I. 2002. Uptake and transport of foliar applied zinc (^{65}Zn) in bread and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. *Plant and Soil*, 241(2): 251-257.
- Ghasemi S., Khoshgoftarmanesh A.H., Sayed-Tabatabaei B.E. and Khaksar G. 2015. Expression level of *ZIP1* and *ZIP5* transporters in root and leaves of three different zinc-efficiency wheat cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, 4(11): 23-32. (In Persian)
- Graham R.D., Ascher J.S. and Hynes S.C. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant and Soil*, 146 (1-2): 241-250.
- Gupta B., Pathak G.C., and Pandey N. 2011. Induction of oxidative stress and antioxidant responses in *Vigna mungo* by zinc stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 58(1): 85-91.
- Gurmani A.R., Din J.U., Khan S.U., Andaleep R., Waseem K., Khan A. and Hadyat-Ullah. 2012. Soil application of zinc improves growth and yield of tomato. *International Journal of Agriculture and Biology*, (14): 91-96.
- Hacisalihoglu G., Hart J.J., Wang Y.H., Cakmak I. and Kochian L.V. 2003. Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of zinc-requiring enzymes in wheat. *Plant Physiology*, (131): 595-602.
- Hacisalihoglu, G., Hart, J.J. and Kochian, L.V. 2001. High- and low-affinity zinc transport systems and their possible role in zinc efficiency in bread wheat. *Plant Physiology*, 125(1), 456-463.
- Haydon M.J., and Cobbett C.S. 2007. Transporters of ligands for essential metal ions in plants. *New Phytologist*, 174(3): 499-506.
- Hossain A., Silva J.A.T., Lozovskaya M.V., Zvolinsky V.P. and Mukhortov V.I. 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in south-eastern Russia: yield, relative performance and heat susceptibility index. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4(11): 184-196.
- Kasirajan L., Boomiraj K., and Bansal K.C. 2013. Optimization of genetic transformation protocol mediated by biolistic method in some elite genotypes of wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Biotechnology* 12(6): 531-538.
- Khavarinejad M.S., and Babajanov A.V. 2011. Identification of relationships of quantitative and morphological traits to spring wheat genotype yields in drought levels of Mazandaran (north of Iran). *International Journal of Agricultural Sciences*, 1(6): 329-339.
- Khoshgoftarmanesh A.H., Sadrarhami A., Sharifi H.R., Afiuni D. and Schulin R. 2009. Selecting Zinc-efficient wheat genotypes with high grain yield using a stress tolerance index. *Agronomy Journal*, 101(6): 1409-14016.
- Li S., Zhou X., Huang Y., Zhu L., Zhang S., Zhao Y., Guo J., Chen J. and Chen R. 2013. Identification and characterization of the zinc-regulated transporters, iron-regulated transporter-like protein (*ZIP*) gene family in maize. *BMC plant Biology*, 13(1): 1-14.
- Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*. Academic Press, (148): 350-382.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Journal of American Soil Science*, 42: 421-428.
- Loneragan P.F., Pallotta M.A., Lorimer M., Paul J.G., Barker S.J. and Graham R.D. 2009. Multiple genetic loci for zinc uptake and distribution in barley (*Hordeum vulgare*). *New Phytologist*, 84(1): 168-179.

- Mirzamasoumzadeh B., Ghalichechi S., Salami M., Karimi M. and Baghal Mohseni A. 2013. The study of wheat genotypes is planted in Ardabil using multivariate statistical methods. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(8): 188-189.
- Mohammad W., Iqbal M.M., and Shah S.M. 1990. Effect of mode of application of zinc and iron on yield of wheat (CV. Pak-81). *Sarhad Journal of Agriculture*, 6(6): 615-618.
- Movahhedi Dehnavi M., Modarres Sanavi A.M., Soroush-Zade A., and Jalali M. 2004. Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and manganese. *Dissert*, 9 (1): 93-110.
- Pandey N., Gupta B. and Pathak G.C. 2012. Antioxidant responses of pea genotypes to zinc deficiency. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59 (2):198-205.
- Pearson J.N., and Rengel Z. 1997. Mechanisms of plant resistance to nutrient deficiency stress. In: Basra, A.S. and Basra, R.K. (Ed.), *Mechanisms of environmental stress resistance in plant*, Amsterdam: Harwood Academic Publishers, pp. 213-240
- Pfeiffer W.H., and McClafferty B. 2007. Harvest Plus: breeding crops for better nutrition. *Crop Science*, 47: 88-105.
- Rajaie M., and Ziaeyan A.H. 2009. Combined effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn. *International Journal of Plant Production*, 3 (3): 435-440.
- Rengel Z. 1995. Carbonic anhydrase activity in leaves of wheat genotypes differing in Zn efficiency. *Journal of Plant Physiology*, 147 (2), 251-256.
- Sakal R., Verma M.K., Singh A.P., and Singh M.K. 1998. Relative tolerance of some rice varieties to zinc deficiency in calcareous soil. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 36: 492-495.
- Singh B., Natesan S.K.A., Singh B.K., and Usha K. 2005. Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science*, 88 (1): 36-44.
- Thalooth A.T., Badr N.M., and Mohamed M.H. 2005. Effect of foliar spraying with Zn and different levels of phosphatic fertilizer on growth and yield of sunflower plants grown under saline conditions. *Egyptian Journal of Agronomy*, (27): 11-22.
- Welch R.M. 1993. Zinc concentrations and forms in plants for humans and animals. In: Robson A.D. (Ed.), *Zinc in soils and plants*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 183-195.
- Wissuwa M., Ismail A.M., and Yanagihara S. 2006. Effects of zinc deficiency on rice growth and genetic factors contributing to tolerance. *Plant Physiology*, 142 (2): 731-741.
- 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.
- Ziaeiian A.H., and Malakouti M.J. 2002. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. In: Horst W.J. *et al.*, *Plant Nutrition*, Developments in Plant and Soil Sciences Book Series, pp. 840-841.

The Effect of Absorbable Zinc Deficiency on some Physiological and Morphological Traits in Bread Wheat

Seyyed Mohsen Niazkhani¹, Babak Abdollahi Mandoulkani^{2*}, Morad Jafari³,
MirHassan Rasouli-Sadaghiani⁴

(Received: June 2018 Accepted: December 2018)

Abstract

Zinc is one of the most critical nutrient elements limiting the plant growth. To investigate the effects of soil Zn deficiency on some physiological and morphological traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.), a factorial experiment was conducted based on completely randomized design (CRD) with three replications in greenhouse. Zn-efficient (Bayat and Nik-nejhad) and inefficient (Hirmand and Karaj-1) cultivars were grown in Zn-deficit (0 mg kg⁻¹ soil) and -adequate (5 mg kg⁻¹ soil) soils. The studied traits were 1000 grain weight, number of grains per spike, chlorophyll content, grain, root and leaf Zn concentrations and some morphological traits. The results of variance analysis showed that all traits are significantly ($P \leq 0.01$) affected by Zn levels and cultivars, while the interaction effects of Zn level \times cultivars were only significant ($P \leq 0.01$) for root, shoot and grain Zn concentrations. Mean comparisons of the interaction effects revealed that under soil Zn deficiency, the concentration of root Zn in Zn-efficient cultivars (Nik-nejhad: 59 mg kg⁻¹, Bayat: 44.75 mg kg⁻¹) is significantly ($P \leq 0.01$) more than those of Zn-inefficient cultivars (Hirmand: 30.58 mg kg⁻¹, Karaj-1: 32.98 mg kg⁻¹). The grain Zn concentration of Bayat (28.82 mg kg⁻¹) cultivar was also significantly ($P \leq 0.01$) more than those of Zn-inefficient cultivars (Hirmand: 24.95 mg kg⁻¹ and karaj-1: 22.85 mg kg⁻¹). The estimation of trait decline percentage under soil Zn deficiency revealed more decrease for shoot dry weight, root and grain Zn concentrations and chlorophyll content in Zn-inefficient cultivars, compared to Zn-efficient ones. In conclusion, the results of the current study demonstrated that Zn-efficient bread wheat cultivars are able to produce more dry matter and accumulate more Zn in grains under soil Zn deficiency conditions.

Keywords: Bread Wheat, Number of grain/spike, 1000 grain weight, Grain Zn concentration, Zinc uptake efficiency.

Niazkhani S.M., Abdollahi Mandoulkani B., Jafari M., and Rasouli-Sadaghiani M.H. 2019. The effect of absorbable zinc deficiency on some physiological and morphological traits in Bread Wheat. *Applied Soil Research*, 7(4):99-110.

1. PhD Student of Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Urmia University

2. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Urmia University

3. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Urmia University

4. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University

* Corresponding Author Email: b.abdollahi@urmia.ac.ir