بررسی کارآیی جذب و مصرف روی در ارقام مختلف گندم در شرایط گلخانه‌ای

سمیرا باغبان طبیعت و میرحسن رسولی صدقیانی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱/۱)

چکیده

امروزه برای ارزیابی کارآیی تغذیه‌ای گیاهان تأکید زیادی بر استفاده از بسترهای بدون خاک در کشت‌های گلخانه‌ای می‌شود. به منظور بررسی کارآیی جذب و مصرف روی در ارقام مختلف گندم، آزمایشی در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل و در سه تکرار اجرا گردید. به منظور بررسی کارآیی جذب روی (ZACE)، کارآیی مصرف روی (ZUTE)، کارآیی روی محاسبه شده (CZE) و روی‌کارآیی اندام هوایی(SZE)، ۲۰ رقم مختلف گندم (داراب، هیرمند، بیات، کاوه، نوید، دز، شعله، گلستان، آریا، آزادی، رسول، مرودشت، اترک، اینیا، کرج۱، کرج ۲، مغان۱، شیراز، نیک نژاد، هامون) در بستر شنی با محلول غذایی حاوی ۵ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم (Zn+) و فاقد روی (Zn-) کاشته شدند. نتایج نشان داد که ارقام گندم از نظر روی‌کارآیی (ZE) و کارآیی جذب و مصرف روی در ریشه و شاخساره متفاوت بودند. رقم هامون بیشترین ZE و رقم هیرمند کمترین ZE را در بین ارقام دارا بودند. ZACE در شاخساره رابطه معنی‌داری با ZE ارقام گندم داشت. به طوری که در رقم روی‌کارآی هامون، ZACE در شاخساره بیشتر از رقم غیرکارآی هیرمند بود. ارقام نوید (۳/۶۷٪) و اینیا (۳/۹۸٪) کمترین و رقم مرودشت (۱۰/۵۸٪) بیشترین ZUTE در شاخساره را به خود اختصاص دادند. نتایج نشان داد که بین ZE و CZE رابطه معنی‌دار (P<۰/۰۱) وجود داشت. ارقام مرودشت (۶۴۳٪) و آریا (۱۵۸٪) به ترتیب بیشترین و کمترین CZE را در بین سایر ارقام به خود اختصاص دادند. به طور کلی، در محیط‌های گلخانه‌ای می‌توان با استفاده منظم از محلول‌های غذایی و ایجاد یک محیط یک‌نواخت، بسیاری از نیازهای مربوط به جداسازی و انتخاب ژنوتیپ‌های گیاهی مقاوم به کمبود روی را برطرف کرد.

واژه‌های کلیدی: ژنوتیپ گندم، روی‌کارآیی، کارآیی روی محاسبه شده، محلول غذایی

مقدمه

کمبود روی در خاک‌ها به عنوان اختلال تغذیه‌ای گسترده در جهان، به ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، شناسایی شده است (۱۱). هم‌چنین در اکثر کشورهای در حال توسعه که در آنها غلات مهمترین ماده غذایی می‌باشد و پروتئین حیوانی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، کمبود روی خطر جدی برای سلامتی انسان محسوب می‌شود (۴۶). کمبود روی یکی از شایع‌ترین کمبودها در عناصر کم مصرف در غلات می‌باشد و به طور معنی‌داری تولید ماده خشک گیاه را کاهش می‌دهد (۲۱). تفاوت در توانایی جذب (Acquisition) و مصرف عناصر غذایی (Utilization) در ژنوتیپ‌های مختلف گیاهی، محققین را به مطالعه پارامتر کارآیی (Efficiency)، که متأثر از جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌ها و استفاده آنها در گیاه است، ترغیب می‌کند. اهمیت این راه‌کار وابسته به نوع عنصر (ماده غذایی) و گونه گیاهی می‌باشد (۴۲). گندم گونه‌ای از غلات است که اختلافات ژنوتیپی در حساسیت به کمبود

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

روی از خود نشان می‌دهد (۳۲ و ۳۸) و ارقام آن در جذب روی از خاک‌ها و استفاده آن در گیاه متفاوتند (۸، ۱۲، ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۳۶). روی‌کارآیی به معنای توانایی یک رقم به رشد و عملکرد زیاد در شرایط کمبود روی نسبت به شرایط کفایت روی است. تاکنون مطالعات زیادی پیرامون شناسایی ارقام روی‌کارآی گندم در محیط‌های هیدروپونیک و محلول‌های غذایی انجام گرفته است (۱۶ و ۲۹). به طور رایج، سیستم خاکی در مطالعات تغذیه معدنی گیاهان (۳۵) و سیستم‌های هیدروپونیک در مطالعات تغذیه‌ای عناصر کم‌نیاز (۳۴) به کار می‌روند. در واقع یکی از روش‌های مناسب جهت مقابله با کمبود روی در گیاهان، سازگار کردن آنها به شرایط خاکی می‌باشد (۲۹). در این مطالعات، منظور از سازگار کردن گیاهان در واقع تعیین کارآیی مصرف عناصر غذایی می‌باشد. با استفاده از سیستم‌های هیدروپونیک، فعالیت عناصر کم‌مصرف در محیط به خوبی کنترل شده و از این رو شرایط محلول خاک با تعیین دقیق فعالیت عناصر شبیه‌سازی می‌شود (۲۸). بسیاری از محققین، ژنوتیپ‌های مختلف گندم را که رشد و عملکرد زیادی در شرایط کمبود روی داشتند شناسایی کرده‌اند (۲۲ و ۲۹). ژنوتیپ‌هایی که کارآیی خوبی در جذب روی در شرایط کمبود آن دارند، به راحتی می‌توانند خود را با شرایط خاک‌های دچار کمبود روی مطابقت دهند (۲۹). مطالعات اپستاین (۱۴) نشان داد که کشت هیدروپونیک با ایجاد یک محیط یک‌نواخت، که به راحتی آماده و کنترل می‌شود، بسیاری از نیازهای مربوط به جداسازی و انتخاب ژنوتیپ‌های گیاهی مقاوم به کمبود روی را برطرف می‌کند. هر چند که جداسازی و انتخاب ژنوتیپ‌های گیاهی در شرایط مختلف هیدروپونیک از جمله کشت در ماسه (Sand culture) این اجازه را نمی‌دهد تا همه عوامل خاکی مؤثر در جذب روی شبیه‌سازی و ایجاد گردند، ولی با این وجود، این کار روشی سریع و مؤثر برای ارزیابی مقاومت به کمبود روی در گیاهان بوده و به راحتی می‌توان غلظت‌های مورد نظر را برای گیاه اعمال نمود (۲۹). لذا در محیط‌های گلخانه‌ای می‌توان با استفاده منظم از محلول‌های غذایی، مشکل ناشی از کمبود تحمیلی روی در گیاهان را برطرف کرد (۷). در ایران نیز مطالعاتی در مورد انتخاب ارقام روی‌کارآ در محیط‌های هیدروپونیک انجام گرفته است (۴، ۵ و ۲۷). در مطالعه‌ای که در شرایط هیدروپونیک روی ارقام مختلف گندم نان و دوروم توسط رسولی‌صدقیانی و همکاران (۴) انجام گرفت، نشان داده شد که بین ارقام مختلف گندم از نظر روی کارآیی اختلاف معنی‌دار وجود داشت و ارقام گندم نان در مقایسه با گندم دوروم روی‌کارآیی بیشتری نشان دادند. خوشگفتار و همکاران (۲۷) نیز در مطالعه‌ای که روی ارقام مختلف گندم در شرایط خاک شور داشتند، نشان دادند که بین ارقام مختلف گندم از نظر روی‌کارآیی اختلاف وجود دارد. این محققین گزارش کردند که اختلاف بین ارقام گندم ناشی از وجود پتانسیل ژنتیکی برای توسعه روی‌کارآیی در این گیاهان می‌باشد. چندین مکانیسم پیشنهاد شده که اساس فیزیولوژیک کارآیی جذب روی در ژنوتیپ‌های گندم را نشان می‌دهد که شامل مورفولوژی ریشه (۱۱)، آزاد سازی ترشحات ریشه‌ای متحرک کننده روی (فیتوسیدروفورها) (۹ و ۱۵) و جذب ریشه‌ای و انتقال روی از ریشه به شاخساره (۱۱، ۱۶ و ۳۷) می‌باشد. هم‌چنین مطالعاتی پیرامون روی‌کارآیی ارقام مختلف لوبیاچیتی و ذرت دانه‌ای انجام گرفته که نتایج این تحقیقات نشان داد ارقام روی‌کارآ بیشترین مقدار ماده خشک، غلظت و جذب روی را نسبت به ارقام غیر کارآ داشتند (۲ و ۳).

با عنایت به مطالب فوق، این پژوهش گلخانه‌ای با هدف بررسی کارآیی جذب و مصرف روی در ارقام مختلف گندم، جهت انتخاب و معرفی ارقام روی‌کارآ در راستای افزایش قابلیت تولید محصول در خاک‌های آهکی با روی قابل دسترس کم در بستر ماسه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در محل گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه طی سال‌های ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری کاملاً

جدول۱. ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در آزمایش (۴۱)

ردیف	مواد مورد استفاده	غلظت محلول غذایی (g/L)	مقدار محلول غذایی مورد نیاز (ml/kg)
۱	NH_4NO_3 / $CaCl_2.2H_2O$	(۵۷) /(۹۰)	۱/۶۷
۲	K_2SO_4 / KH_2PO_4	(۴۲) /(۳۰/۲۴۲)	۳
۳	$MgSO_4.7H_2O$	(۲۴)	۱/۶۷
۴	$MnSO_4.H_2O$ / $Na_3[Co(NO_3)_6]$ / $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2o$ / $CuSO_4.5H_2O$ / H_3BO_3	(۶) /(۰/۵۵)/(۰/۶۲)/(۱/۲)/(۰/۴۲)	۱/۶۷
۵	Fe – EDTA	(۴۱/۶۶)	۲
۶	$ZnSO_4.7H_2O$	(۱۳/۱۴)	۱/۶۷

تصادفی به اجرا درآمد. برای کشت ارقام گندم (داراب، هیرمند، بیات، کاوه، نوید، دز، شعله، گلستان، آریا، آزادی، رسول، مرودشت، اترک، اینیا، کرج ۱، کرج ۲، مغان ۱، شیراز، نیک‌نژاد و هامون) ماسه مورد نیاز از بستر رودخانه زولاچای واقع در شهرستان سلماس تهیه و پس از آبشویی حدود ۳/۵ کیلوگرم از آن در هر لوله پلی‌اتیلنی با ارتفاع ۴۵ و قطر ۱۵ سانتی‌متر ریخته شد. به طور متوسط هفت بذر گندم، بعد از استریل شدن با اتانول ۷۰٪ و آب ژاول، در بستر شنی کشت شدند. محلول‌های غذایی که ترکیب آنها در جدول ۱ آورده شده است، قبل از کشت با بستر مورد نظر مخلوط و در اختیار گیاهان قرار داده شد. جهت جلوگیری از کمبود نیتروژن، محلول نیترات آمونیوم هر دو هفته یکبار به گلدان‌ها اضافه گردید. طی دوره رشد، گلدان‌ها با آب مقطر دیونیزه آبیاری و با توزین، رطوبت آنها در حد ظرفیت زراعی (FC) نگه داشته شد. دمای گلخانه در حدود ۳۰– ۲۸ درجه سلسیوس و طول دوره روشنایی ۱۴–۱۳ ساعت بود.

فاکتور اول شامل تیمار روی در دو سطح صفر (Zn-) و پنج میلی‌گرم بر کیلوگرم روی (Zn+)، از منبع سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$) بود که سطح دوم به تیمارهای دارای روی اضافه گردید. فاکتور دوم مربوط به ارقام مختلف گندم بود که در بالا نام برده شدند.

بعد از سپری شدن دوره رشد ۴ ماهه و خوشه‌دهی گیاهان، به منظور بررسی عملکرد گیاهان و مقایسه آنها با یکدیگر، ریشه و اندام هوایی گیاهان برداشت شده و شاخص‌هایی نظیر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، روی‌کارآیی شاخساره، غلظت و مقدار روی در ریشه و اندام هوایی و کارآیی جذب (Acquisition) و مصرف (Utilization) روی در اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری گردید (۳۳، ۳۷ و ۴۲). برای تعیین شاخص‌های مورد نظر از روابط زیر استفاده گردید:

$$SZE= [SDW_{-Zn} / SDW_{+Zn}] \times 100 \quad [۱]$$

که در آن SZE روی‌کارآیی شاخساره، SDW وزن خشک شاخساره، Zn- عدم کاربرد روی و Zn+ کاربرد روی می‌باشد.

$$ZACE = [TZ_{-Zn}/ TZ_{+Zn}] \times 100 \quad [۲]$$

که در آن ZACE کارآیی جذب روی، TZ_{-Zn} روی کل جذب شده در شرایط عدم مصرف روی و TZ_{+Zn} روی کل جذب شده در شرایط کاربرد روی می‌باشد.

$$ZUTE = [SDW / STZ] \times 100 \quad [۳]$$

که ZUTE کارآیی مصرف روی در اندام هوایی و STZ مقدار کل روی در اندام هوایی می‌باشد.

$$CZE= ZACE \times ZUTE \quad [۴]$$

که در آن CZE کارآیی روی محاسبه شده است.

داده‌های مربوط به غلظت روی در ریشه و اندام هوایی از

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر شنی مورد استفاده در آزمایش

بافت	pH	EC (dS/m)	OM (٪)	آهک کل (٪)	K (mg/kg)	P (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
شنی	۷/۴	۰/۳۴	۰/۲۹	۵/۵	۳۹	۴/۸	۰/۹۴	۵/۸	۰/۰۸	۰/۲۴

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات رشدی تحت تأثیر تیمارهای مختلف تغذیه روی و ارقام گندم

متغیرها	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		SDW	RDW
روی	۱	۲/۱*	۳۷*
رقم گندم	۱۹	۴۹*	۴۲*
روی × رقم گندم	۱۹	۲/۵*	۱۱*
اشتباه آزمایشی	۸۰	۰/۱۹	۰/۲۸

SDW: وزن خشک اندام هوایی؛ RDW: وزن خشک ریشه

* وns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و غیر معنی‌دار

طریق سوزاندن خشک نمونه‌ها در کوره الکتریکی و قرائت عصاره استخراجی توسط دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu AA-6300) به دست آمد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر شنی مورد استفاده با روش‌های استاندارد در آزمایشگاه اندازه‌گیری و تعیین گردید. بر این اساس، بافت خاک به روش هیدرومتری، pH با دستگاه pH متر، EC با دستگاه EC متر، مواد آلی به روش والکلی- بلک، کربنات کلسیم و فسفر به روش اولسن، پتاسیم به روش فلیم فتومتری (نشر شعله‌ای) و عناصر میکرو (آهن، روی، مس و منگنز) به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۴۴) که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

در پایان، داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزارهای MSTATC، SAS و EXCEL و آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر مصرف روی بر عملکرد گیاه

نتایج تجزیه واریانس مربوط به وزن خشک اندام هوایی و ریشه در جدول ۳ نشان داده شده است. داده‌های این جدول نشان می‌دهد که هر سه اثر تغذیه روی، رقم گندم و اثر متقابل آنها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد.

هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که در شرایط کمبود روی، تولید ماده خشک اندام هوایی در بین ارقام گندم متفاوت بوده و بین ۳/۸ گرم در گلدان در رقم آریا و ۱۳ گرم در گلدان در رقم شعله متغیر بود. ارقام شعله، کرج ۱ و کرج ۲ بیشترین و ارقام هیرمند و آریا کمترین وزن خشک اندام هوایی را در شرایط کمبود روی به خود اختصاص دادند.

مطابق جدول ۴، وزن خشک اندام هوایی در اکثر ارقام در شرایط کمبود روی (Zn-) و فراهمی روی (Zn+) اختلاف آماری معنی‌داری (P<۰/۰۵) نشان نداد. لیکن در برخی ارقام نظیر آزادی، بیات، هامون و شعله وزن خشک تولیدی در شرایط کمبود روی (Zn-) بیشتر از وزن خشک آنها در شرایط فراهمی روی (Zn+) بود. زیاد بودن وزن خشک اندام هوایی در شرایط کمبود روی نسبت به فراهمی روی ممکن است به علّت افزایش پنجه‌دهی و مقاومت به شرایط کمبود روی در این ارقام باشد (۵). در واقع می‌توان پدیده افزایش تعداد پنجه را به عنوان

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی و ریشه و شاخص ZE تحت تأثیر متقابل تغذیه روی و ارقام گندم

رقم گندم	SDW (g/pot)		RDW (g/pot)		ZE
	−Zn	+Zn	−Zn	+Zn	
داراب	۵/۳	۴/۹	۰/۴۵	۰/۳۳	۱/۰۷
هیرمند	۴/۲	۵/۷	۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۷۳
آزادی	۵/۹	۵	۰/۸۲	۰/۵۴	۱/۲
بیات	۸/۰۴	۶/۸	۲/۶	۱/۸	۱/۲
کاوه	۹/۸	۱۰/۵	۴/۱	۳/۱	۰/۹۳
دز	۵/۲	۴/۵	۰/۹۱	۰/۷۹	۱/۲
آریا	۳/۸	۳/۷	۰/۳۵	۰/۳۴	۱/۰۳
اینیا	۹/۰۴	۱۰/۶	۱۴	۳/۸	۰/۸۵
کرج ۲	۱۲	۱۳	۱۱	۵	۰/۹۷
اترک	۵/۰۱	۴/۸	۱/۰۷	۰/۷۲	۱/۰۵
نیکنژاد	۵/۶	۵/۴	۰/۹۵	۰/۹۱	۱/۰۴
مغان ۱	۵/۳	۵/۰۶	۰/۸۴	۰/۹۸	۱/۰۴
مرودشت	۵/۲	۵/۰۰	۱/۰۶	۰/۷۲	۱/۰۴
شیراز	۵/۶	۵/۳	۱/۵	۱/۲	۱/۰۶
رسول	۴/۳	۳/۹	۰/۴	۰/۹۴	۱/۱
گلستان	۶/۴	۵/۹	۱/۴	۲/۲	۱/۱۰
هامون	۷/۷	۴/۶	۱/۲	۱/۱	۱/۷
کرج ۱	۱۲	۱۴	۵/۴	۴/۹	۰/۸۴
شعله	۱۳	۹/۶	۵/۷۰	۵/۲	۱/۳
نوید	۸/۴	۸/۴	۵/۴	۳/۳	۰/۹۹
	$LSD_{0.05}$=۰/۸۵		$LSD_{0.05}$=۰/۷۱		$LSD_{0.05}$=۰/۹۳

Zn-: بدون مصرف روی؛ Zn+: با مصرف ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی

SDW: وزن خشک اندام هوایی؛ RDW: وزن خشک ریشه

ZE: روی‌کارآیی = (وزن خشک اندام هوایی با مصرف روی / وزن خشک اندام هوایی بدون مصرف روی)

یکی از شاخص‌های کارآیی در نظر گرفت. ارناوغلو و همکاران (۱۷) نیز نتیجه مشابهی در مورد ارقام گندم به دست آوردند. البته در رقم کرج ۱، وزن خشک اندام هوایی در شرایط کمبود روی کمتر از شرایط فراهمی روی بود.

برخی گزارش‌ها نشان داده که پاسخ به کمبود روی و تولید ماده خشک در بین غلات مختلف، متفاوت بوده و روند یکسانی در تولید ماده خشک ریشه و اندام هوایی به عنوان شاخص روی‌کارآیی غلات در شرایط کمبود روی دیده نشده است (۳۸ و ۴۰). نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر متقابل تغذیه روی و ارقام گندم (جدول ۴) نشان دهنده این است که تولید وزن خشک ریشه نیز در شرایط کمبود روی در بین ارقام متفاوت است. وزن خشک ریشه در ارقام بیات، کاوه،

جدول ۵. تجزیه واریانس غلظت و مقدار روی در شاخساره و ریشه ارقام مختلف گندم

متغیرها	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت روی (اندام هوایی)	مقدار روی (اندام هوایی)	غلظت روی (ریشه)	مقدار روی (ریشه)
روی	۱	۹۹۷۰*	۴۶۵۹۹۴*	۲۰۸۵۱۴*	۲۵۹۰۲^{ns}
رقم گندم	۱۹	۲۶۸*	۷۷۰۶۰*	۲۲۶۱۲*	۱۶۵۰۹۱۳*
روی × رقم گندم	۱۹	۲۱۴*	۲۴۷۲۶*	۲۶۱۷*	۱۳۳۱۵۴*
اشتباه آزمایشی	۸۰	۵/۲	۴۶۰	۱۶۱	۱۷۹۷۲

* وns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و غیر معنی‌دار

اینیا، کرج ۲ و نوید به طور معنی‌داری در شرایط کمبود روی افزایش یافت. ارقام اینیا و کرج ۲ به ترتیب با ۳/۸ و ۲/۳ برابر، بیشترین افزایش را در وزن خشک ریشه در شرایط کمبود روی داشتند و ارقام آریا و رسول کمترین وزن خشک ریشه را در بین ارقام داشتند. با اینحال اثر مثبت تأثیر تغذیه روی بر وزن خشک ریشه گندم گزارش شده است (۱۸). هم‌چنین مورفولوژی و ساختار ریشه توابع مهمی در تحصیل کارآمد روی و سایر عناصر غذایی از خاک و هم‌چنین آماده‌سازی گیاهان به شرایط کمبود آب و مواد غذایی در خاک می‌باشند (۴۳). در واقع تغییرات مورفولوژی ریشه از طریق افزایش حجم خاک در دسترس ریشه، افزایش سطوح جذب کننده، افزایش ترشحات ریشه‌ای و هم‌چنین افزایش وزن یا طول ریشه باعث افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه می‌شوند (۱).

روی‌کارآیی (ZE)

روی کارآیی اندام هوایی (SZE) به عنوان یک پارامتر کاربردی در توضیح اختلافات ژنوتیپی گیاهان در مقاومت به کمبود روی است (۱۰، ۲۶، ۴۰ و ۴۵). در این تحقیق، دامنه وسیعی از اختلافات در پاسخ به کمبود روی و ZE در بین ارقام گندم مشاهده گردید. مقادیر SZE در جدول ۴ آمده است. بر اساس جدول ۴، مقادیر SZE از ۱/۷ برای رقم هامون (بیشترین ZE) تا ۰/۷۳ برای رقم هیرمند (کمترین ZE) متغیر بود و بقیه ارقام در حد واسط این ارقام قرار گرفتند. بنابراین ارقام هامون، شعله، بیات، آزادی و دز به عنوان ارقام روی‌کارآ، ارقام هیرمند، کرج ۱ و اینیا به عنوان ارقام غیر کارآ و سایر ارقام (مرودشت، رسول، نیک نژاد، نوید، گلستان، داراب، شیراز، اترک، مغان ۱، آریا، کرج۲ و کاوه) به عنوان ارقام متوسط (Intermediate) از نظر کارآیی روی بر حسب وزن خشک اندام هوایی معرفی شدند. مکانیسم‌های مسئول در اختلاف ZE گیاهان به طور کامل شناخته شده نیست. با این وجود، ژنوتیپ‌های گونه‌های کارآ با جذب زیاد روی از خاک توسط اصلاح و توسعه مورفولوژی ریشه به صورت ریشه‌های باریک و بلند شناخته می‌شوند (۶ و ۱۳). با وجود این، طبق نتایج تحقیقات مختلف، چنین برداشت می‌شود که پاسخ گیاه به کمبود روی و به اصطلاح تولید وزن خشک در گیاهان مختلف متفاوت بوده و هیچ روند یک‌نواختی در تولید وزن خشک ریشه و شاخساره در بین غلات در شرایط کمبود روی گزارش نشده است (۲ و ۴۳).

غلظت و مقدار روی در اندام هوایی و ریشه

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که اثر متقابل تغذیه روی و ارقام گندم بر غلظت و مقدار روی در شاخساره و ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد.

داده‌های مربوط به غلظت روی در شاخساره ارقام گندم در جدول ۶ آمده است. در شرایط کمبود روی، غلظت روی در شاخساره تمامی ارقام کم و در محدوده ۹/۵ تا ۲۷ میلی‌گرم

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های غلظت و مقدار روی در شاخساره ارقام گندم

رقم گندم	غلظت روی (mg/kg)		مقدار روی (µg/pot)	
	-Zn	+Zn	-Zn	+Zn
داراب	۱۹	۳۲	۹۹	۱۵۹
هیرمند	۱۷	۳۸	۷۱	۲۱۴
آزادی	۱۹	۳۷	۱۰۹	۱۸۲
بیات	۲۲	۴۰	۱۷۳	۲۶۷
کاوه	۲۲	۳۸	۲۱۷	۳۹۶
دز	۲۱	۴۱	۱۱۰	۱۸۸
آریا	۲۰	۶۵	۷۷	۲۴۰
اینیا	۲۵	۴۹	۲۲۷	۵۲۳
کرج۲	۱۶	۴۱	۲۰۰	۵۲۳
اترک	۱۸	۵۳	۹۳	۲۵۶
نیکنژاد	۲۲	۲۴	۱۲۲	۱۳۱
مغان ۱	۲۱	۲۶	۱۰۹	۱۳۰
مرودشت	۹/۵	۱۶	۴۹	۸۲
شیراز	۱۷	۳۷	۹۵	۱۹۸
رسول	۱۷	۴۰	۷۵	۱۵۶
گلستان	۱۷	۲۳	۱۱۲	۱۳۷
هامون	۲۵	۳۰	۱۹۳	۱۳۶
کرج ۱	۲۱	۵۱	۲۴۲	۷۱۴
شعله	۲۱	۵۳	۲۶۷	۵۰۵
نوید	۲۷	۲۶	۲۲۹	۲۲۳
	$LSD_{0.05}$= ۳/۷		$LSD_{0.05}$= ۳۵	

Zn-: بدون مصرف روی؛ Zn+: با مصرف ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی

روی در کیلوگرم وزن خشک قرار داشت. محلول غذایی Zn+، غلظت روی در تمام ارقام گندم را افزایش داد (جدول ۶). چاکماک و همکاران (۱۱) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند. ارقام نوید، اینیا و هامون دارای بیشترین غلظت روی در شرایط کمبود روی بودند. گزارش مشابهی توسط مارشنر (۳۰ و ۳۱) و خان و همکاران (۲۶) ارائه گردیده است.

با این وجود، همانطور که چاکماک و همکاران (۱۱) گزارش کردند، اختلاف چندانی در غلظت روی در شاخساره در شرایط کمبود روی در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده نشد (جدول ۶).

مطالعات حاجی‌صالح‌اوغلو و همکاران (۲۴) نشان داد که غلظت روی در گیاهان پارامتر خوبی برای تشخیص ژنوتیپ‌های مقاوم به کمبود روی نیست. با این وجود، توانایی ارقام مختلف گندم در تجمع روی در دوحالت تغذیه با روی و

جدول۷. مقایسه اثر متقابل میانگین‌های غلظت و مقدار روی در ریشه ارقام گندم

رقم گندم	غلظت روی (mg/kg)		مقدار روی (µg/pot)	
	-Zn	+Zn	-Zn	+Zn
داراب	۵۵/۸۶	۱۷۲/۱	۲۵/۰۵	۵۷/۵۸
هیرمند	۵۳/۵۹	۷۵/۲۹	۳۲/۴۲	۴۲/۱۶
آزادی	۴۴/۴۹	۱۰۱	۳۶/۳۵	۵۵/۴۷
بیات	۵۳	۱۹۰/۹	۱۳۹/۶	۳۵۵/۸
کاوه	۱۵۹/۲	۲۳۲/۶	۶۵۹/۲	۷۲۷/۴
دز	۴۵/۷۴	۵۱/۴۵	۴۱/۴۸	۴۰/۳۳
آریا	۲۰/۳۷	۸۰/۶۵	۶/۹۱	۲۷/۵۵
اینیا	۹۵/۴۷	۲۳۳/۸	۱۳۶۹	۸۸۰/۳
کرج۲	۲۰۷/۵	۲۷۷/۵	۲۳۶۶	۱۳۷۸
اترک	۳۰/۱۰	۱۱۰/۳	۳۱/۷۶	۸۰/۲۰
نیکنژاد	۴۸/۷۸	۱۱۵/۱	۴۶/۴۸	۱۰۲/۵
مغان ۱	۲۱/۱۷	۹۹/۳۹	۱۷/۶۶	۹۷/۴۴
مرودشت	۳۰/۲۸	۸۲/۷۸	۳۲/۴۸	۵۹/۵۲
شیراز	۲۸/۶۷	۱۵۹/۱	۴۲/۷۹	۱۱۸/۸
رسول	۱۹/۹۴	۹۸/۹۲	۷/۷۸	۹۳/۰۹
گلستان	۸۱/۵۷	۲۲۵/۳	۱۱۳/۲	۴۹۱/۸
هامون	۶۷/۷۴	۱۵۱/۹	۸۰/۱۳	۱۷۳/۳
کرج ۱	۱۸۰/۱	۲۴۶/۳	۹۷۱/۶	۱۲۰۱
شعله	۱۸۵/۵	۲۳۱/۹	۱۰۵۷	۱۲۰۵
نوید	۵۵/۴۵	۲۱۵/۵	۳۰۳/۴	۷۱۱/۴
	$LSD_{0.05}$= ۲۰/۵۸		$LSD_{0.05}$= ۲۱۷/۸	

Zn-: بدون مصرف روی؛ Zn+: با مصرف ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی

بدون روی متفاوت است (۲۷). در واقع مقادیر کل روی جذب شده در شاخساره بهتر از غلظت روی می‌تواند اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد (۲۴، ۲۷ و ۴۳). داده‌های مربوط به مقادیر روی در شاخساره (جدول ۶) نشان داد که مقدار روی در شاخساره نیز با کاربرد روی افزایش یافته است. نتایج مشابهی توسط برخی محققین گزارش شده است (۵ و ۱۱). در شرایط کمبود روی، ارقام روی‌کارآ مقادیر بیشتری از روی در شاخساره را نسبت به ارقام غیر کارآ داشتند. به طوری که ارقام هامون و شعله با SZE زیاد (جدول ۴) دارای بیشترین مقادیر روی (جدول ۶) و رقم هیرمند با SZE کم دارای کمترین مقدار روی در شاخساره بودند. چاکماک و همکاران (۱۱) و خوشگفتار و همکاران (۲۷) نیز نتیجه مشابهی را گزارش نمودند. هم‌چنین مطابق جدول ۷، مقادیر غلظت روی در ریشه در همه ارقام گندم به طور معنی‌داری افزایش نشان داد. تنها در رقم دز این حالت مشاهده نشد. داده‌های مربوط به غلظت روی در ریشه بین ۲۰ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

جدول ۸. نتایج تجزیه واریانس کارآیی مصرف روی در شاخساره و ریشه ارقام مختلف گندم

متغیرها	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		ZUTE (ریشه)	ZUTE (اندام هوایی)
روی	۱	۶۵*	۱۶۷*
رقم گندم	۱۹	۴/۷*	۷/۴*
روی × رقم گندم	۱۹	۲/۶*	۲/۲*
اشتباه آزمایشی	۸۰	۰/۱۴	۰/۰۸۹

* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و غیر معنی‌دار

ZUTE: کارآیی مصرف روی

در رقم رسول و ۲۰۷ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در رقم کرج ۲ متغیر بود.

مطابق جدول ۷، مقدار روی در ریشه ارقام دز، اینیا و کرج۲ در شرایط کمبود روی افزایش یافت که این افزایش فقط در ارقام اینیا و کرج ۲ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. در سایر ارقام، در شرایط کمبود روی، مقدار روی در ریشه کاهش یافت که فقط در ارقام بیات، گلستان، کرج ۱ و نوید مقدار این کاهش در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار گردید. کمترین مقدار روی در ریشه در شرایط کمبود روی مربوط به ارقام آریا و رسول (به ترتیب ۶/۹ و ۷/۸ میکروگرم بر کیلوگرم) و بیشترین مقدار آن مربوط به ارقام کرج ۲ و اینیا (به ترتیب ۲۳۶۶ و ۱۳۶۹ میکروگرم بر کیلوگرم) بود. سایر ارقام از نظر مقدار روی در ریشه در حد واسط این ارقام قرار گرفتند.

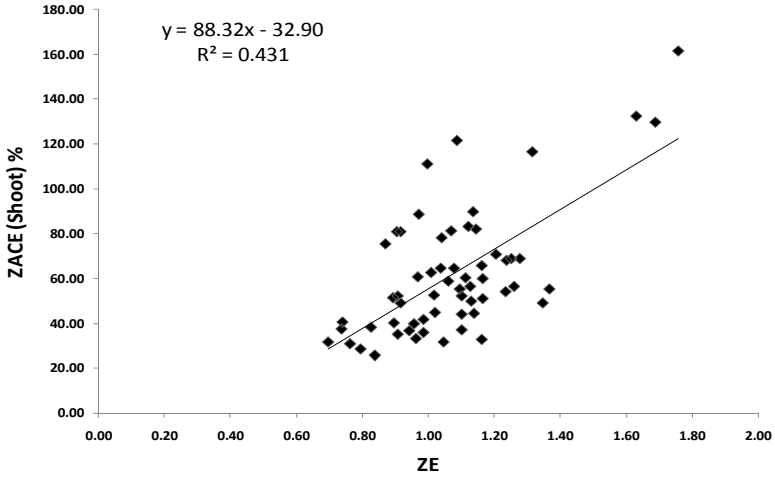
کارآیی جذب و مصرف روی در اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان می‌دهد که اثر رقم گندم، تیمار روی و هم‌چنین اثر متقابل آنها بر ZUTE در شاخساره ارقام مختلف گندم در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار گردید.

مطابق جدول ۹، ZACE در شاخساره ارقام مختلف گندم، متفاوت بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که بین ارقام گندم از لحاظ ZUTE در شاخساره نیز اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ وجود داشت. داده‌های مربوط به ZACE در شاخساره از ۳۲ در رقم آریا تا ۱۴۱ در رقم هامون متغیر بود. نتایج بیانگر این است که ZACE در شاخساره رابطه معنی‌داری ($P<0/05$) با ZE ارقام گندم دارد (شکل ۱). نتایج تحقیقات نشان داده که ZE زیاد در چاودار و برخی از ارقام گندم نان به توانایی آنها در جذب روی مربوط است. لذا توانایی ژنوتیپ‌ها به جذب و انتقال روی در شاخساره از ویژگی‌های مهم گیاه در بیان ZE در شرایط کمبود روی است (۹). هم‌چنین مطابق شکل ۱، با افزایش ZE در ارقام گندم، ZACE هم افزایش می‌یابد. به طوری که در رقم روی کارآی هامون، ZACE در شاخساره بیشتر از رقم غیر کارآی هیرمند بود (جدول ۴ و جدول ۹).

در آزمایش‌هایی که توسط حاجی بلند و صالحی (۲۵) در مزرعه و گلخانه انجام گرفت، گزارش شد که ارقام روی‌کارآی برنج در شرایط کمبود روی کارآیی جذب بیشتری داشتند. در حالی که در ارقام غیر کارآ نه تنها کارآیی جذب و استفاده از روی کم بود، بلکه عملکرد دانه نیز کاهش نشان داد. چاکماک و همکاران (۱۲) گزارش کردند که افزایش جذب کل و مصرف روی، همراه با اختصاص بیشتر روی به تولید وزن خشک، یکی از ویژگی‌های ژنوتیپ‌های روی‌کارآ در شرایط کمبود روی است.

با توجه به جدول ۹، ZUTE در شاخساره در تمامی ارقام، بجز رقم نوید، در شرایط کمبود روی نسبت به شرایط فراهمی روی افزایش یافت. ارقام نوید (با ۳/۷ درصد) و اینیا (با ۳/۹ درصد)



شکل ۱. رابطه بین روی‌کارآیی (ZE) و کارآیی جذب روی (ZACE) در شاخساره در ارقام مختلف گندم

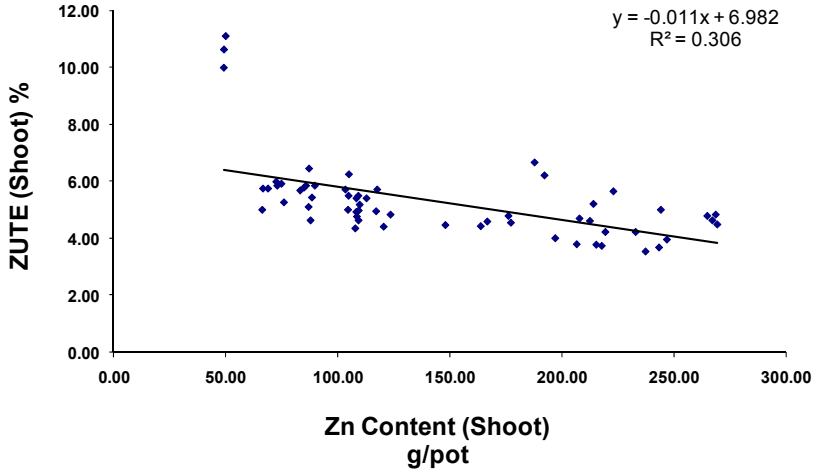
جدول ۹. مقایسه میانگین‌های کارآیی جذب و مصرف روی و کارآیی روی محاسبه شده در اندام هوایی ارقام مختلف گندم

رقم گندم	ZACE (اندام‌هوایی)	ZUTE (اندام‌هوایی)	CZE (اندام‌هوایی)
داراب	۶۲	۵/۴	۳۳۷
هیرمند	۳۳	۵/۸	۱۹۶
آزادی	۶۰	۵/۴	۳۲۴
بیات	۶۵	۴/۶	۳۰۳
کاوه	۵۵	۴/۵	۲۵۱
دز	۵۹	۴/۸	۲۸۴
آریا	۳۲	۴/۹	۱۵۸
اینیا	۴۳	۳/۹	۱۷۳
کرج۲	۳۸	۶/۲	۲۰۳
اترک	۳۶	۵/۴	۱۹۷
نیک‌نژاد	۹۳	۴/۶	۴۳۲
مغان۱	۸۴	۴/۸	۴۰۷
مرودشت	۶۰	۱۰/۶	۶۴۳
شیراز	۴۸	۵/۹	۲۸۷
رسول	۴۸	۵/۸	۲۸۲
گلستان	۸۱	۵/۸	۴۷۱
هامون	۱۴۱	۴/۰۵	۵۷۰
کرج۱	۳۴	۴/۹۰	۱۶۶
شعله	۵۳	۴/۷	۲۵۱
نوید	۱۰۳	۳/۷	۳۸۲
	$LSD_{0.05}$ = ۱۵/۷۰	$LSD_{0.05}$ = ۰/۵۶	$LSD_{0.05}$ = ۷۵

ZACE: کارآیی جذب روی در شاخساره

ZUTE: کارآیی مصرف روی در شاخساره

CZE: کارآیی روی محاسبه شده



نمودار ۲. رابطه بین مقادیر روی در شاخساره و کارآیی مصرف روی (ZUTE) در شاخساره در ارقام مختلف گندم

کمترین و مرودشت (با ۱۱ درصد) بیشترین ZUTE را در بین ارقام دارا بودند. به طور کلی، گزارش شده که تفاوت در عنصر کارآیی ممکن است به علت افزایش جذب عنصر غذایی از خاک (Uptake efficiency) و یا افزایش مصرف عنصر غذایی توسط گیاه (Utilization efficiency) باشد (۳۷). هرچند که این مهم در مورد روی به طور مفصل مورد مطالعه قرار نگرفته است ولی با این وجود به نظر می‌رسد که ZACE و ZUTE در بافت‌ها و سلول‌های گیاهی عامل مهمی در ZE غلات به شمار می‌آید (۱۰).

هم‌چنین بین مقادیر روی در شاخساره و ZUTE نیز رابطه معنی‌داری ($P<$۰/۰۱) وجود داشت (شکل ۲). مطابق شکل ۲، با افزایش مقادیر روی جذب شده در شاخساره، ZUTE کم می‌شود.

کارآیی زیاد در مصرف درونی روی، وابسته به افزایش ظرفیت جذب روی توسط ریشه‌ها به منظور تأمین میزان رشد زیاد در غلظت‌های کم روی در بافت‌های گیاهی است (۱۱).

کارآیی روی محاسبه شده

نتایج جدول ۹ بیانگر این است که مقادیر CZE در بین ارقام گندم اختلاف نشان داد. مطابق این جدول، ارقام مرودشت (۶۴۳٪) و آریا (۱۵۸٪) به ترتیب بیشترین و کمترین CZE را در بین ارقام به خود اختصاص دادند. مقادیر ZE (جدول ۳) و CZE (جدول ۹) نشان دهنده وجود رابطه معنی‌دار بین ZE و CZE است. به طوری که ارقام روی‌کارآی هامون، گلستان، شعله و نیک نژاد (جدول ۳) CZE بیشتری در بین سایر ارقام داشتند (جدول ۹).

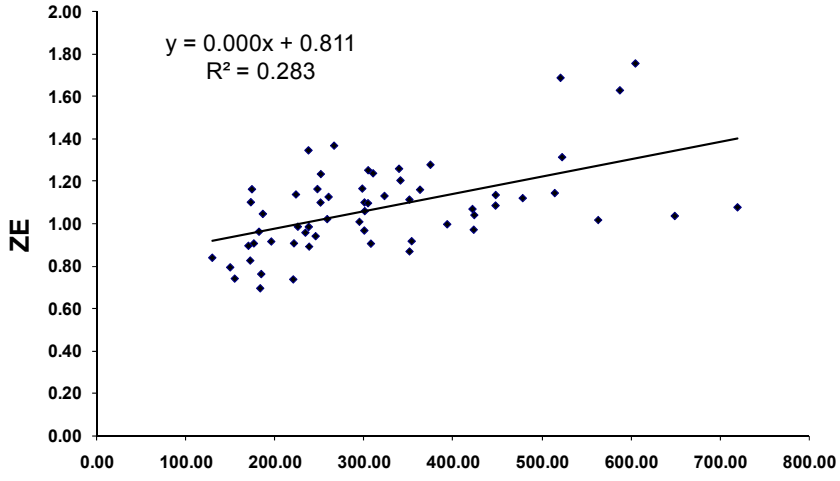
شکل ۳ رابطه معنی‌داری ($P<$۰/۰۱) را بین ZE و CZE در ارقام مختلف گندم نشان می‌دهد.

بر اساس شکل ۳، با افزایش ZE در ارقام گندم، CZE، که از حاصلضرب ZACE و ZUTE به دست می‌آید، افزایش می‌یابد.

کارآیی جذب و مصرف روی در ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس ۸ نشان می‌دهد که هر سه اثر رقم گندم، تیمار روی و هم‌چنین اثر متقابل آنها بر ZUTE در ریشه ارقام مختلف گندم در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار گردید. مقادیر مربوط به ZACE و ZUTE در ریشه در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

مطابق جدول ۱۰، ZUTE در ریشه در ارقام مختلف گندم، متفاوت است. هم‌چنین ZUTE در ریشه در بیشتر ارقام گندم (به غیر از هیرمند، کاوه، دز، کرج ۲، کرج ۱ و شعله) در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۱۰). بیشترین ZUTE در ریشه در شرایط کمبود آن مربوط به ارقام آریا و رسول (به ترتیب با ۵/۲ و ۵/۰۴ درصد) و کمترین



شکل ۳. رابطه بین روی‌کارآیی (ZE) و کارآیی روی محاسبه شده (CZE) در ارقام مختلف گندم

جدول ۱۰. مقایسه میانگین‌های درصدکارآیی جذب و مصرف روی در ریشه ارقام مختلف گندم

رقم گندم	ZACE (ریشه)	ZUTE (ریشه)
داراب	۳۵	۱/۸
هیرمند	۵۲	۱/۹
آزادی	۵۴	۲/۳
بیات	۳۳	۱/۹
کاوه	۶۴	۰/۶۴
دز	۱۰۸	۲/۲
آریا	۲۶	۵/۲
اینیا	۳۵	۱/۰۵
کرج۲	۷۳	۰/۴۹
اترک	۲۹	۳/۴
نیکنژاد	۴۵	۲/۰۵
مغان ۱	۲۲	۴/۸
مرودشت	۳۸	۳/۴
شیراز	۲۰	۳/۶
رسول	۲۳	۵/۰۴
گلستان	۴۰	۱/۲
هامون	۷۵	۱/۵
کرج ۱	۶۲	۰/۵۶
شعله	۱۰۶	۰/۵۴
نوید	۲۶	۱/۸
	$LSD_{0.05}$ = ۲۱	$LSD_{0.05}$ = ۰/۶۱

آن مربوط به رقم کرج ۲ (با ۰/۴۹ درصد) بود. مطابق جدول ۱۰، ارقام آریا، مغان۱، مرودشت، شیراز و رسول بیشترین ZUTE و ارقام کاوه، کرج ۲، کرج ۱ و شعله کمترین ZUTE در ریشه را در بین ارقام به خود اختصاص دادند. سایر ارقام نیز از لحاظ ZUTE در ریشه در حد متوسط قرار داشتند. هم‌چنین مطابق جدول ۱۰، ZACE در ریشه نیز در بین ارقام متفاوت بود. بر این اساس، ارقام دز و شعله (به ترتیب با ۱۰۸ و ۱۰۶ درصد) بیشترین و رقم شیراز (با ۲۰ درصد) کمترین ZACE در ریشه را در بین ارقام از خود نشان دادند. داده‌های مربوط به ZACE در ریشه (جدول ۱۰) نشان داد که ارقام داراب، بیات، آریا، اینیا، اترک، مغان۱، شیراز، رسول و نوید کمترین و ارقام دز، شعله، کرج۲ و هامون بیشترین ZACE در ریشه را در بین ارقام دارا بودند. سایر ارقام نیز از نظر ZACE در حد متوسط بودند. به طور کلی ZE در یک ژنوتیپ مشخص، توسط مکانیسم‌هایی از قبیل جذب زیاد روی توسط ریشه‌ها، انتقال آن به شاخساره و کارآیی فیزیولوژیک (کارآیی مصرف) تعیین می‌گردد (۱۹، ۲۰ و ۳۹).

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که بین ارقام مختلف گندم از نظر کارآیی جذب و مصرف روی اختلاف ژنوتیپی وجود دارد. هم‌چنین نتایج نشان دهنده وجود رابطه معنی‌دار بین روی‌کارآیی با کارآیی جذب روی در شاخساره و کارآیی روی محاسبه شده بود. با افزایش روی‌کارآیی، مقادیر روی جذب شده در گیاه نیز افزایش یافت. بنابراین می‌توان با انتخاب و شناسایی ارقام روی‌کارآی گندم، ژن‌های دخیل و مسئول در روی‌کارآیی را شناسایی کرد و از طریق اصلاح نباتات و مهندسی ژنتیک، ارقامی با قدرت تولیدی زیاد را برای کشت در خاک‌های مبتلا به کمبود روی، به ویژه در خاک‌های آهکی، معرفی کرد. انتخاب و اصلاح ارقام روی‌کارآی گیاهان، می‌تواند به عنوان یک راه‌کار موفق و نویدبخش برای حفظ تولید در سیستم‌های کشاورزی کم‌نهاده و دوست‌دار محیط زیست استفاده گردد و بدین طریق می‌توان کیفیت و کمیت گندم و در راستای آن سلامتی افراد جامعه را افزایش داد.

منابع مورد استفاده

۱. بیگی، م. ۱۳۸۸. روی- کارآیی و مکانیسم‌های آن در گیاهان زراعی. سمینار کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۲. بیگی، م.، غ. ثواقبی و ب. متشرع زاده. ۱۳۸۹. کارآیی جذب روی در ارقام مختلف لوبیای چیتی در یک خاک آهکی. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم، اصفهان.

۳. چعب، ع.، ثواقبی، غ. و ب. متشرع زاده. ۱۳۸۹. اثر روی‌کارآیی بر عملکرد اندام هوایی در ارقام مختلف ذرت دانه‌ای. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم، اصفهان.

۴. رسولی‌صدقیانی، م. ح.، م. ج. ملکوتی و ک. خاوازی. ۱۳۸۵. غربال کردن ارقام مختلف گندم نان و دوروم از تظر روی-کارآیی. نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۵. مشیری، م.، م. م. اردلان، م. م. طهرانی و غ. ثواقبی. ۱۳۸۹. کارآیی روی در ارقام متفاوت گندم در یک خاک آهکی دچار کمبود روی. نشریه آب و خاک ۲۴(۱): ۱۴۵-۱۵۳.

6. Brennan, R. F. 2005. Zinc applications and its availability to plants. PhD Thesis of Soil Science and Plant Nutrition, Murdoch University, Perth, Australia.
7. Brown, J. F. 1986. Kinetics of zinc uptake by two rice cultivars. Plant Soil 94: 99-107.
8. Cakmak, I., A. Yilmaz, M. Kalayci, H. Ekiz, B. Torun, B. Erenoglu and H. J. Braun. 1996a. Zinc deficiency as a ciritical problem in wheat production in central Anatolia. Plant Soil 180: 165-172.
9. Cakmak, I., N. Sari, H. Marschner, H. Ekiz, M. Kalayci, A. Yilmaz and H. J. Braun. 1996b. Phytosiderophore release in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. Plant Soil 180: 183-189.

10. Cakmak, I., H. Ekiz, A. Yilmaz, B. Torun, N. Koleli, I. Gultekin, A. Alkan and S. Eker. 1997. Differential response of rye, triticale, bread wheat, and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. Plant Soil 188: 1-10.
11. Cakmak, I., B. Torun, B. Erenoglu, L. Ozturk, H. Marschner, M. Kalayci, H. Ekiz and A. Yilmaz. 1998. Morphological and physiological differences in the response of cereals to zinc deficiency. Euphytica 100: 349-357.
12. Cakmak, I, M. Kalayci, H. Ekiz, H. J. Braun, Y. Kilinc and Y. Yilmaz. 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-science for stability project. Field Crops Res. 60: 175-188.
13. Dong, B., Z. Rengel and R. D. Graham. 1995. Root morphology of wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Plant Nutr. 18: 2761-2773.
14. Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, New York, USA.
15. Erenoglu, B., I. Cakmak, H. Marschner, V. Romheld, S. Eker, H. Daghan, M. Kalayci and H. Ekiz. 1996. Phytosiderophore release does not relate well with Zn efficiency in different bread wheat genotypes. J. Plant Nutr. 19: 1569-1580.
16. Erenoglu, B., I. Cakmak, H. Marschner, V. Romheld, R. Derici and Z. Rengel. 1999. Uptake of zinc by rye, bread wheat, and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. Plant Soil 209: 245-252.
17. Erenoglu, B., M. Nikolic, V. Romheld and I. Cakmak. 2002. Uptake and transport of foliar zinc (^{65}Zn) in bread and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. Plan Soil 241: 251-257.
18. Fageria, N. K. 2002. Micronutrients influence on root growth of upland rice, common bean, corn, wheat, and soybean. J. Plant Nutr. 35: 613-622.
19. Gao, X., C. Zou, F. Zhang, S. van der Zee and E. Hoffland. 2005. Tolerance to zinc deficiency in rice correlates with zinc uptake and translocation. Plant Soil 278: 253-261.
20. 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 Soil 281(1-2): 353-367.
21. Graham, R. D., J. S. Ascher and S. C. Hynes. 1992. Selecting zinc efficient genotypes for soils of low zinc status. Plant Soil 146: 241-250.
22. Grewal, H. S., R. D. Graham and Z. Rengel. 1996. Genotypic variation in zinc efficiency and resistance to crown rot disease in wheat. Plant Soil 186: 219-226.
23. Grewal, H. S., J. C. R. Stangoulis, T. D. Potter and R. D. Graham. 1997. Zinc efficiency of oilseed rape (*Brassica napus* and *B. juncea*) genotypes. Plant Soil 191: 123-132.
24. Hacisalihoglu, G., L. Ozturk, I. Cakmak, R. M. Welch and L. Kochian. 2004. Genotypic variation in common bean in response to zinc deficiency in calcareous soil. Plant Soil 259: 71-83.
25. Hajiboland, R. and S. Y. Salehi. 2006. Characterization of zinc efficiency in Iranian rice genotypes I. uptake efficiency. Plant physiol. 32(3-4): 191-206.
26. Khan, H. R., G. K. McDonald. and Z. Rengel. 1998. Chickpea genotypes differ in their sensivity to Zn deficiency. Plant Soil 198: 11-18.
27. Khoshgoftar, A. H., H. Shariatmadari, N. Karimian and M. R. Khajehpour. 2006. Responses of wheat genotypes to zinc fertilization under saline soil conditions. J. Plant Nutr. 29: 1543-1556.
28. Lombnaes, B. and B. R. Singh. 2003. Varietal tolerance to zinc deficiency in wheat and barley grown in chelator-buffered nutrient solution and its effect on uptake of Cu, Fe, and Mn. J. Plant Nutr. 166: 76-83.
29. Maqsood, M. A., A. M. Rahmatullah Ranjha. and M. Hussain. 2009. Differential growth response and zinc utilization efficiency of wheat genotypes in chelator buffered nutrient solution. Soil Environ. 28(2): 174-178.
30. Marschner, H. 1993. Zinc uptake from soils. PP. 59-79. *In:* Robson, A. D. (Ed.), Zinc in Soils and Plants, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, The Netherlands.
31. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, New York.
32. Neue, H. U., C. Quijano, D. Senadhira and T. Setter. 1998. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems. Field Crops Res. 56: 139-155.
33. Osborne, L. D. and Z. Rengel. 2002. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of P uptake and utilization. Aust. J. Agric. Res. 53: 837-844.
34. Parker, D. R. 1997. Responses of six crop species to solution zinc activities buffered with HEDTA. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 167-176.
35. Parker, D. R. and W. A. Norvell. 1999. Advances in solution culture methods for plant mineral nutrition research. Adv. Agron. 65: 151-213.
36. Rengel, Z. and R. D. Graham. 1995. Wheat cultivars differ in Zn efficiency when grown in chelate-buffered nutrient solution. Plant Soil 176: 307-316.
37. Rengel, Z. and R. D. Graham. 1996. Uptake of zinc from chelate-buffered nutrient solution by wheat genotypes differing in Zn efficiency. Exp. Bot. 47: 217-226.
38. Rengel, Z., H. Marschner and V. Römheld. 1998. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in zinc efficiency. Plant Physiol. 152: 433-438.

39. Rengel, Z. 1999. Physiological mechanisms underlying differential nutrient efficiency of crop genotypes. PP. 227-265. *In:* Rengel, Z. (Ed.), Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implications, Food Products, New York.
40. Rengel, Z. and V. Romheld. 2000. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. Plant Soil 222: 25-34.
41. Sadeghzadeh, B., Z. Rengel and C. Li. 2009. Differential zinc efficiency of barley genotypes grown in soil and chelator-buffered nutrient solution. J. Plant Nutr. 32(10): 1744-1767.
42. Sepehr, E., M. J. Malakouti, B. Kholdebarin, A. Samadi and N. Karimian. 2009. Genotypics variation in P efficiency of selected Iranian cereals in greenhouse experiment. Plant Produc. 3: 17-28.
43. Singh, B., S. Kumar, A. Natesan, B. K. Singh and K. Usha. 2005. Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. Current Sci. 10(1): 36-44.
44. Sparks, D. L. 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods, SSSA Book Ser. 5, Madison, WI, USA. 1390 p.
45. Trehan, S. P. and J. S. Grewal. 1995. Response to zinc, copper and iron and their critical levels for potato. Indian Soc. Soil Sci. 43: 89-91.
46. Welch, R. M. 1993. Zinc concentrations and forms in plants for humans and animals. PP. 183-195. *In:* Robson, A.D. (Ed.), Zinc in Soil and Plants, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, The Netherlands.