تأثیر تغذیه روی در محیط آبکشت بر ترشح فیتوسیدروفور ریشه در سه رقم گندم متفاوت از لحاظ روی-کارآیی

بهاره دانش بخش[۱*]، امیر حسین خوشگفتارمنش[۲] و حسین شریعتمداری[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۳)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تغذیه روی بر مقدار ترشح فیتوسیدروفور ریشه در سه رقم گندم نان (روشن، کویر و بک‌کراس‌روشن‌بهاره) با روی- کارایی متفاوت به‌صورت آبکشت انجام شد. بذرهای گندم در ماسه سترون کاشته شده و حدود دو هفته پس از کاشت گیاهان به محلول غذایی حاوی تیمارهای روی منتقل شدند. ده روز بعد از اعمال تیمار روی، فیتوسیدروفور ترشح شده از ریشه گیاه جمع‌آوری و به روش آزادسازی مس از رزین اندازه‌گیری گردید. حدود یک ماه پس از اعمال تیمارهای روی گیاهان برداشت شد و غلظت آهن و روی در ریشه و شاخسار اندازه‌گیری شده و مقدار کل (جذب) آهن و روی شاخسار محاسبه شد. در رقم روشن، کاربرد روی غلظت و مقدار کل روی شاخسار را افزایش داد در حالی‌که اثر معنی‌داری بر غلظت و مقدار کل روی شاخسار در رقم‌های کویر و بک‌کراس‌روشن بهاره نداشت. افزودن روی به محلول غذایی، غلظت و مقدار کل آهن شاخسار را در تمامی ارقام گندم کاهش داد اگرچه این کاهش معنی‌دار نبود. تغذیه روی غلظت آهن ریشه را در رقم‌های کویر و بک‌کراس روشن بهاره کاهش داد ولی اثر معنی‌داری بر غلظت آهن ریشه رقم گندم روشن نداشت. از طرف دیگر تغذیه روی غلظت روی ریشه در رقم‌های روشن و کویر را افزایش داد ولی باعث کاهش معنی‌دار غلظت روی ریشه در رقم بک‌کراس‌روشن‌بهاره شد. اثر تغذیه روی بر مقدار ترشح فیتوسیدروفور ریشه در ارقام گندم، متفاوت بود. تغذیه روی باعث افزایش ترشح فیتوسیدروفور در رقم گندم روشن شد ولی در سایر رقم‌ها اثر معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی: ترشحات ریشه، روی- کارآیی، گندم، عناصر کم‌مصرف

۱. مرکز پژوهشی کشت بدون خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: daneshbakhsh@yahoo.com

مقدمه

در سال‌های اخیر، توسعه ژنوتیپ‌های گیاهی با روی- کارایی بالا در نقاط مختلف دنیا، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. روی- کارائی از نقطه نظر زراعی و در مفهوم کاربردی آن، نسبت تولید دانه یا وزن خشک اندام‌هوایی گیاه در شرایط کمبود روی به شرایط بدون کمبود تعریف می‌شود (۱۲). به‌طورکلی، در ارقام روی- کارآ، کارایی جذب روی، کارایی مصرف روی در گیاه و یا هر دو بیشتر از ارقام روی- ناکارآ است. به‌دلیل برخی عوامل زراعی (مانند محدودیت‌های موجود در خاک زیرسطحی و برهمکنش عوامل بیماری‌زا)، اقتصادی (قیمت بالای کودهای حاوی روی و دسترسی نداشتن بسیاری از زارعان کم درآمد به این کودها) و محیطی (نظیر آلودگی ناشی از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی)، کاربرد کودهای شیمیائی، راهکار کاملاً مؤثری برای برطرف کردن کمبود روی نمی‌باشد (۱۳ و ۱۵). به‌نظر می‌رسد برای مقابله با محدودیت‌های ناشی از کمبود روی و جلوگیری از کاهش تولید محصول، توسعه و به‌کارگیری ژنوتیپ‌های گیاهی روی- کارآ در کنار کوددهی راهکار مناسبی باشد.

به‌کارگیری رقم‌های روی- کارآ، فواید متعددی مانند کاهش مصرف کودهای شیمیایی، بهبود قدرت بوته‌ها، مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت تغذیه‌ای دانه را در پی دارد (۲، ۱۱، ۱۳ و ۱۴). در مقایسه با سایر غلات نظیر چاودار، تری‌تیکاله و جو، رقم‌های گندم نان و دوروم حساسیت بیشتری به کمبود روی دارند (۹ و۱۹). بنابراین، گندم یکی از غلات با روی- کارآیی پایین می‌باشد (۱۹). از طرفی، تفاوت‌های ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای در بین رقم‌های مختلف گندم از نظر تحمل به کمبود روی وجود دارد (۶، ۹ و ۱۹). در سال‌های اخیر، آزمایش‌های متعددی برای درک فیزیولوژی سازوکارهای روی- کارآئی در گیاهان انجام شده است (۷، ۱۰، ۱۶، ۱۷ و ۲۹). به‌طورکلی، در گیاهانی که در محیط فقیر از نظر روی کاشته می‌شوند، سازوکارهای مختلفی ممکن است باعث افزایش جذب روی به‌وسیله ریشه‌ها شود (۲۳). اغلب، بیش از یک سازوکار در افزایش تحمل برخی ژنوتیپ‌های گیاهی به کمبود روی مؤثر می‌باشد. چهار فرآیند کلیدی در گیاه، در روی- کارآئی نقش دارند (۱۶): ۱) فعل و انفعالات مربوط به ریشه که سبب افزایش قابلیت استفاده روی خاک برای جذب ریشه‌ای می‌شوند، ۲) افزایش جذب و انتقال روی از ریشه به اندام هوایی، ۳) تغییر جزءبندی درون سلولی روی در اندام هوائی گیاه، به‌طوری‌که مقدار بیشتری از روی در سیتوپلاسم قرار بگیرد، و ۴) بهبود و یا افزایش کارآئی مصرف بیوشیمیائی روی در سلول‌های گیاه. در رابطه با فعل و انفعالات مربوط به ریشه ترکیب فیتوسیدروفور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فیتوسیدروفورها، که فیتومتالوفورها نیز نامیده می‌شوند (۳۴)، شامل اسیدهای آمینه غیرپروتئینی بوده که در شرایط کمبود آهن (۳۰، ۳۱ و ۲۴) و روی (۳۵)، از ریشه گندمیان ترشح می‌شود. این احتمال وجود دارد که رها شدن فیتوسیدروفورها یک پاسخ انطباقی گیاهان جنس گندمیان در برابر کمبود روی و آهن باشد (۲۳). فیتوسیدروفورها در کمپلکس‌کردن و پویا ساختن روی در خاک‌های آهکی بسیار مؤثر هستند (۳۲). این ترکیبات در پویا ساختن روی از آپوپلاسم بوته‌های گندم شرکت داشته (۳۶) و ممکن است در حلالیت و انتقال روی در داخل گیاه نیز مؤثر باشند (۳۴).

تفاوت در روی- کارآئی در بین رقم‌های گندم نان و دوروم، همبستگی نزدیکی با مقدار رهاسازی فیتوسیدروفورها دارد (۳ و ۳۳). در شرایط کمبود روی، مقدار ترشح فیتوسیدروفورها از ریشه‌های گندم دوروم (روی- ناکارآ)، در حدود ۶ تا ۸ برابر کمتر از گندم نان (روی- کارآ) می‌باشد (۸). هم‌چنین در شرایط کمبود روی، مقدار فیتوسیدروفور (به‌طور عمده، اسید دی اکسی موژینیک) در بافت‌های ریشه رقم‌های روی-کارآ بیشتر می‌باشد. افزایش ساخته‌شدن فیتوسیدروفورها و ترشح آنها از ریشه، به‌عنوان یکی از سازوکارهای سازگاری گراس‌های وحشی با کمبود روی در خاک‌های آهکی مورد نظر می‌باشد (۴).

براساس نتایج به‌دست آمده، مقایسه ظرفیت تولید و رهاسازی فیتوسیدروفورها، یکی از روش‌های مناسب مطالعه

روی- کارآئی در رقم‌های گندم می‌باشد. اما همیشه، مقدار ترشح فیتوسیدروفورها ارتباط مثبتی با تفاوت روی- کارآئی در بین رقم‌های مختلف گندم نان نداشته است (۶). به‌عنوان مثال، مقدار ترشح فیتوسیدروفورها در چاودار، که یک گیاه روی- کارآ است، از رقم‌های گندم نان که روی- ناکارآ هستند، کمتر است. فیتوسیدروفور ترشح شده از گندم، اسید ۲- موژینیک و از چاودار، اسید هیدروکسی موژینیک می‌باشد (۲۵ و ۴). با توجه به روی- کارآیی بالاتر چاودار (۹)، به‌نظر می‌رسد هیدروکسی موژینیک در مقایسه با سایر فیتوسیدروفورها، از لحاظ پویا ساختن و حلالیت روی، هم در ریزوسفر و هم در داخل گیاه، مؤثرتر باشد. البته انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری است.

کک مک و همکاران (۵) نشان دادند که ترشح فیتوسیدروفور در شرایط کمبود روی نیز اتفاق می‌افتد. هم‌چنین نتایج آنها نشان داد که در شدت نور بالا، آزادسازی فیتوسیدروفور در رقم گندم آرونا که یک رقم روی- کارآ است، پنج برابر بیشتر از رقم روی- ناکارآی دوراتی بود.

در مجموع، در ارزیابی روی- کارآئی رقم‌های گیاهی، رهاسازی فیتوسیدروفورها توسط ریشه اندازه‌گیری می‌شود. در طی سال‌های اخیر، طی آزمایش‌های مختلف مزرعه‌ای و گلدانی، روی- کارایی ارقام مختلف گندم نان موجود در بانک جرم‌پلاسم موسسه تحقیقات بذر و نهال کشور مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۰). در ادامه این مطالعات، سه رقم گندم با روی- کارایی مختلف انتخاب شده و در این آزمایش در محیط آبکشت از لحاظ مقدار ترشح فیتوسیدروفور مورد مقایسه قرار گرفتند. در واقع هدف مطالعه حاضر، مقایسه مقدار ترشح فیتوسیدروفور در سه رقم گندم با روی- کارایی مختلف و تأثیر آن بر جذب آهن و روی توسط این گیاهان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان در محیط آبکشت انجام شد. آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۳×۲ با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: سه رقم گندم با روی- کارایی متفاوت شامل روشن، بک‌کراس‌روشن‌بهاره (ارقام روی- کارآ) و کویر (رقم روی- ناکارآ) و دو غلظت روی در محلول غذایی شامل صفر و یک میکرومولار سولفات‌روی. نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه آماری شده و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شد.

برای تهیه نهال از جعبه کاشت حاوی ماسه سترون استفاده شد. ابتدا بذرهای ارقام مختلف گندم به‌طور سطحی توسط محلول هیپوکلریت‌سدیم یک درصد سترون شده و پس از ضدعفونی شدن با محلول قارچ‌کش به صورت ردیفی در ماسه کاشته شدند.

حدود دو هفته بعد از کاشت، بوته‌های گندم از جعبه‌های کاشت به محلول غذایی حاوی سطوح صفر و ۱ میکرومولار روی انتقال داده شدند. ترکیب محلول‌غذایی مورد استفاده در محیط آبکشت در جدول ۱ ارائه شده است. در محلول غذایی از غلظت ۱/۰ میلی‌مولار MES برای بافرکردن pH محلول غذایی استفاده شد. در سیستم کاشت، از تشت‌های پلی‌اتیلنی با ظرفیت ۱۴ لیتر به‌صورت واحدهای مجزای آزمایشی استفاده شد. در هر ظرف نیز ۳ تکرار که هر تکرار شامل ۳۲ بوته گندم بود در نظر گرفته شد. محلول غذایی تشت‌ها هر هفته تعویض شد.

اندازه‌گیری مقدار ترشح فیتوسیدروفور

حدود ده روز پس از انتقال بوته‌ها به محلول غذایی، فیتوسیدروفور ترشح شده از ریشه گیاهان جمع‌آوری شد. جهت جمع‌آوری فیتوسیدروفور، سه ساعت پس از طلوع آفتاب، ریشه گیاهان دو مرتبه با آب مقطر شستشو شده و به‌مدت سه ساعت در ۷۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. ترشحات جمع‌آوری شده به بطری‌های ۱ لیتری حاوی میکروپور (Roth GmbH, Karlsruhe-Germany) منتقل شده و در دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شد (۵).

جدول ۱. ترکیب محلول غذایی محیط آبکشت برای گیاه گندم

عناصر کم‌مصرف	عناصر پرمصرف
۱ µM H_3BO_3	۲mM $Ca(NO_3)_2$
۰/۰۲ µM $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	۰/۱ mM KCl
۳۰ µM $FeCl_3$	۱ mM $MgSO_4$
۰/۵ µM $MnSO_4$	۰/۸۸mM K_2SO_4
۰/۲ µM $CuSO_4$	۰/۲۵ mM KH_2PO_4
۰/۱ µM $NiCl_2$	۱ mM MES

مقدار ترشح فیتوسیدروفور به روش آزادسازی مس از رزین پیشنهاد شده توسط والتر و همکاران (۳۳) اندازه‌گیری شد. جهت آماده‌سازی رزین اشباع از مس، ۳ گرم رزین به‌مدت ۲۰-۱۵ دقیقه در اسید کلریدریک ۱ مولار به‌هم زده شد و پس از آن با آب دوبار تقطیر شستشو شده تا pH آن بین ۵/۵-۴/۵ رسید. سپس رزین به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۳۰۰ میلی‌لیتر سولفات‌مس ۵۰ میلی‌مولار به‌هم زده شد و بعد با آب دوبار تقطیر شستشو شد تا غلظت مس در آب خارج شده به زیر حد تشخیص دستگاه جذب اتمی برسد. جهت اندازه‌گیری مقدار فیتوسیدروفور، رزین اشباع از مس در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر نگهداری شد.

ترشحات نگهداری شده در بطری از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند و سپس در خشک‌کن تهویه‌دار در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا حجم آن به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. مقدار ۴ میلی‌لیتر از محلول نمونه با ۵ میلی‌لیتر محلول MES ۰/۰۲ مولار (بافر شده در پ- هاش ۴/۶) و ۱ میلی‌لیتر رزین اشباع شده با مس مخلوط و به‌مدت سه ساعت تکان داده شد. پس از عبور دادن از کاغذ صافی واتمن ۴۲، غلظت مس در محلول با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل پرکین المر ۳۰۳۰) تعیین گردید (۳۳).

تجزیه‌های آزمایشگاهی

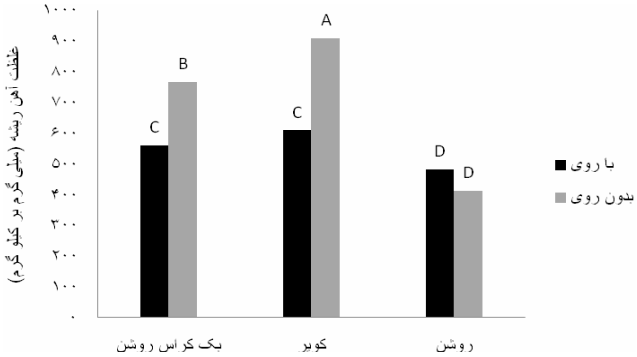
حدود یک ماه پس از انتقال بوته‌ها به محلول‌غذایی، ۹ بوته از هر تکرار با آب مقطر شسته شد. سپس ریشه و شاخسار هر گیاه از محل طوقه جدا شد و هر کدام به‌طور جداگانه به پاکت‌های کاغذی منتقل شدند. سپس نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن تهویه‌دار خشک شدند. نمونه‌های خشک شده برای انجام آزمایش‌های مورد نظر، آسیاب شده و در ظروف پلاستیکی نگهداری شدند.

حدود ۱ گرم از بافت‌گیاهی پودر شده (ریشه و شاخسار) در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس کوره الکتریکی خاکستر شده و سپس عصاره‌گیری با استفاده از اسیدکلریدریک ۲ مولار انجام شد. غلظت روی و آهن در عصاره‌های ریشه و شاخسار توسط دستگاه جذب اتمی (مدل پرکین المر ۳۰۳۰) اندازه‌گیری شد و مقدار کل (جذب) آهن و روی شاخسار از حاصل‌ضرب غلظت در وزن خشک شاخسار محاسبه گردید.

نتایج و بحث

غلظت آهن ریشه

در بین ارقام گندم، اختلاف معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) از نظر غلظت آهن ریشه مشاهده شد (شکل ۱). رقم کویر بیشترین (۷۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و رقم روشن کمترین (۴۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) غلظت آهن ریشه را داشتند. اثر تغذیه روی بر غلظت آهن ریشه معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) بود. کاربرد روی غلظت آهن ریشه گندم را از ۶۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار بدون روی به ۵۵۰ میلی‌گرم بر



شکل ۱. تأثیر تغذیه روی بر غلظت آهن ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ارقام مختلف گندم

کیلوگرم در تیمار با روی کاهش داد. در رقم‌های کویر و بک‌کراس‌روشن‌بهاره، تغذیه روی، غلظت آهن ریشه را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) کاهش داد در حالی‌که روی اثر معنی‌داری بر غلظت آهن ریشه گندم در رقم روشن نداشت (شکل ۱). افزودن روی به محلول غذایی باعث به وجود آمدن رقابت در محل‌های جذب بین یون‌های روی و آهن شده و احتمالاً کاهش غلظت آهن ریشه در حضور روی در رقم‌های کویر و بک‌کراس‌روشن‌بهاره به علت وجود این رقابت است (۱).

غلظت آهن شاخسار

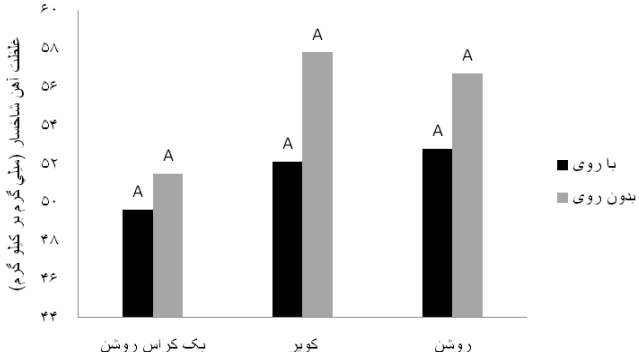
بین سه رقم گندم مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت آهن شاخسار مشاهده نشد (شکل ۲). اثر متقابل رقم در روی نیز معنی‌دار نشد. در هر سه رقم گندم مورد مطالعه، کاربرد روی، غلظت آهن شاخسار را کاهش داد (شکل ۲). در این رابطه در تیمار با روی، احتمالاً به‌دلیل ایجاد رقابت بین عناصر روی و آهن در محل های جذب ریشه، جذب آهن و در نهایت انتقال آن به شاخسار گیاه کاهش یافته است (۱).

غلظت روی ریشه

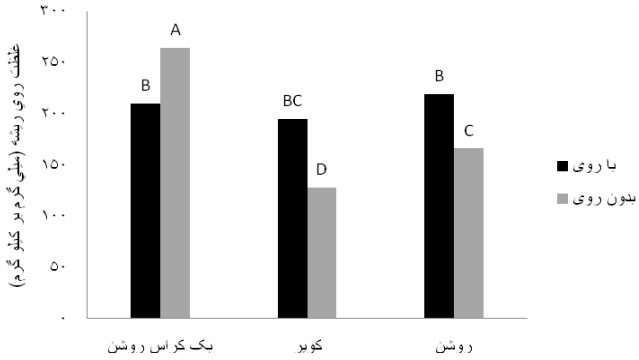
بیشترین و کمترین غلظت روی ریشه به‌ترتیب مربوط به رقم بک‌کراس‌روشن‌بهاره (۲۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کویر (۱۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۳). کاربرد روی، غلظت روی ریشه را از ۱۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار بدون روی به ۲۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش داد. در رقم‌های روشن و کویر، تغذیه روی غلظت روی ریشه را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) افزایش داد ولی در رقم بک‌کراس‌روشن‌بهاره، افزودن روی به محلول غذایی، باعث کاهش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) غلظت روی ریشه شد (شکل ۳). کاهش معنی‌دار غلظت روی ریشه در رقم گندم بک‌کراس‌روشن‌بهاره می‌تواند به‌علت اثر رقیق شدن ناشی از افزایش زیست‌توده ریشه گیاه باشد (۱).

غلظت روی شاخسار

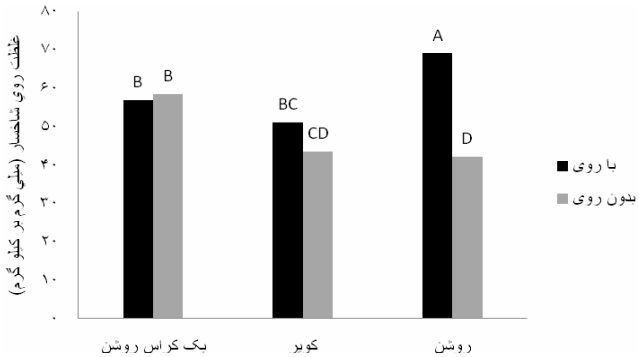
غلظت روی شاخسار در رقم‌های گندم بک‌کراس‌روشن‌بهاره (۵۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روشن (۵۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بیشتر از رقم کویر (۴۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۴). تفاوت بین غلظت روی در ارقام مختلف گندم توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (۹ و ۱۹). در این رابطه خوشگفتارمنش و همکاران (۲۱) در مطالعه اثر شوری آب آبیاری بر تغذیه روی در پنج رقم گندم روشن، فلات، بک‌کراس‌روشن‌بهاره (ارقام روی‌کارآ)، دوروم و کویر (ارقام روی ناکارآ) نشان دادند که غلظت روی شاخسار در رقم‌های روشن و بک‌کراس‌روشن‌بهاره به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارقام دیگر بود. مطابق با این نتایج، چنین به نظر می‌رسد که رقم‌های روی- کارآ، توانایی ویژه‌ای در جذب روی دارند. تفاوت بین ارقام کارآ و ناکارآ از



شکل ۲. تأثیر تغذیه روی بر غلظت آهن شاخسار (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ارقام مختلف گندم

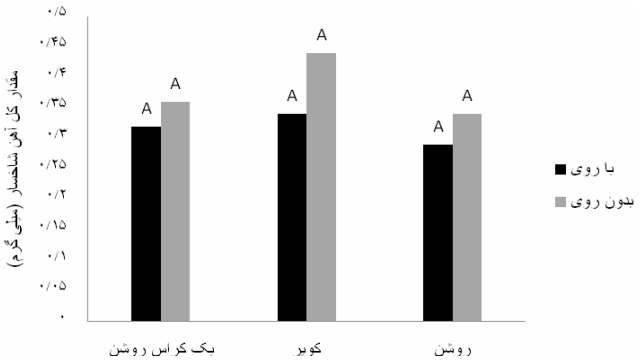


شکل ۳. تأثیر تغذیه روی بر غلظت روی ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ارقام مختلف گندم



شکل ۴. تأثیر تغذیه روی بر غلظت روی شاخسار (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ارقام مختلف گندم

لحاظ غلظت روی شاخسار ممکن است به‌علت تغییر محیط ریشه توسط ارقام روی- کارآ مثل کاهش پ- هاش یا آزادسازی لیگاندهای آلی از ریشه باشد (۱۶). افزودن ۱ میکرومولار روی به محلول غذایی، غلظت روی شاخسار گندم را ۲۲/۷ درصد در مقایسه با تیمار بدون روی افزایش داد. در رقم روشن، تغذیه روی، غلظت روی شاخسار را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) افزایش داد ولی در رقم‌های کویر و بک‌کراس‌روشن‌بهاره، تغذیه روی تأثیری بر غلظت روی شاخسار نداشت (شکل ۴). در این رابطه، خوشگفتارمنش و همکاران (۲۲) طی بررسی برهمکنش تغذیه روی و شوری



شکل ۵. تأثیر تغذیه روی بر مقدار کل آهن شاخسار (میلی‌گرم در گلدان) ارقام مختلف گندم

نشان دادند که افزودن ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی به خاک، غلظت روی شاخسار رقم گندم روشن را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد ولی تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی شاخسار سایر رقم‌های مورد مطالعه نداشته یا سبب کاهش غلظت روی شد.

مقدار کل آهن شاخسار

بین ارقام گندم مورد مطالعه از نظر مقدار کل آهن شاخسار اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) دیده شد (شکل۵). بیشترین و کمترین مقدار کل آهن شاخسار به‌ترتیب مربوط به رقم کویر (۰/۳۹ میلی‌گرم در گلدان) و روشن (۰/۳۲ میلی‌گرم در گلدان) بود. افزودن ۱ میکرومولار روی به محلول غذایی، مقدار کل آهن شاخسار گندم را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) کاهش داد. در هر سه رقم گندم مورد مطالعه، کاربرد روی، مقدار کل آهن شاخسار را کاهش داد ولی این کاهش در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود (شکل۵).

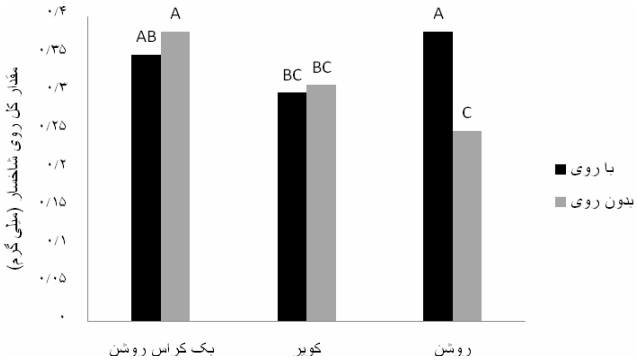
مقدار کل روی شاخسار

مقدار کل روی شاخسار در رقم بک‌کراس روشن‌بهاره (۰/۳۷ میلی‌گرم در گلدان) به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بیشتر از رقم‌های کویر (۰/۳۰ میلی‌گرم در گلدان) و روشن (۰/۳۲ میلی‌گرم در گلدان) بود. در رقم روشن، تغذیه روی، مقدار کل روی شاخسار را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) افزایش داد ولی در رقم‌های کویر و بک‌کراس‌روشن‌بهاره، تغذیه روی تأثیر معنی‌داری بر مقدار کل روی شاخسار نداشت (شکل ۶).

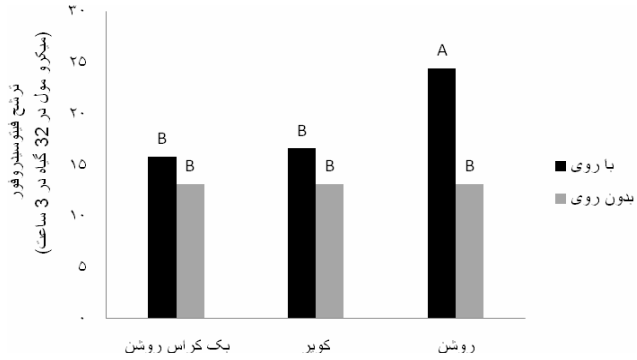
ترشح فیتوسیدروفور از ریشه گندم

ترشح فیتوسیدروفور در ارقام مختلف گندم مورد مطالعه متفاوت بود به‌طوری‌که رقم روشن (۱۸/۷ میکرو مول در ۳۲ گیاه در ۳ ساعت)، بیشترین و رقم بک کراس روشن بهاره (۱۴/۴ میکرو مول در ۳۲ گیاه در ۳ ساعت) کمترین ترشح ریشه را داشتند (شکل ۷). ترشح فیتوسیدروفور در رقم روشن به‌طور میانگین ۲۷/۹ درصد بیشتر از سایر ارقام گندم بود. تفاوت در مقدار ترشح فیتوسیدروفور در ارقام مختلف گندم توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (۳). رنگل و رمهلد (۲۸) گزارش کردند که رابطه معنی‌داری بین ترشح فیتوسیدروفور و روی‌کارآیی ارقام گندم وجود دارد. پدلر و همکاران (۲۷) نیز با مطالعه رابطه ترشح فیتوسیدروفور و روی-کارآئی ارقام مختلف گندم در محیط آبکشت دریافتند که ترشح فیتوسیدروفور در ارقام گندم روی- کارآ (آرونا و اکسکالیبور) بیشتر از ارقام روی- ناکارآ بود . برخلاف انتظار، کاربرد روی در هر سه رقم گندم باعث افزایش معنی‌دار ترشح فیتوسیدروفور شد (شکل ۵)، در حالی‌که بیشتر محققان بر این عقیده‌اند که در شرایط کمبود روی، ترشح فیتوسیدروفور افزایش می‌یابد.

در این رابطه کک‌مک و همکاران (۵) دریافتند که در



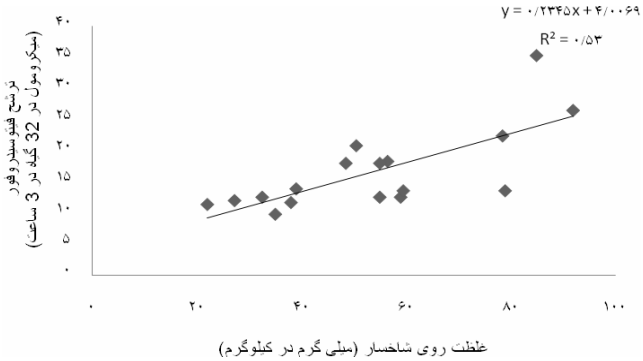
شکل ۶. تأثیر تغذیه روی بر مقدار کل روی شاخسار (میلی‌گرم در گلدان) ارقام مختلف گندم



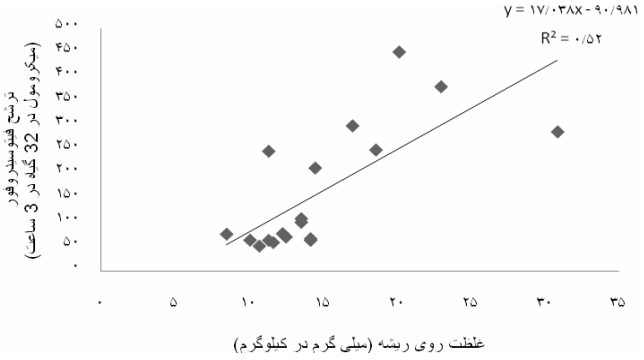
شکل ۷. تأثیر تغذیه روی بر ترشح فیتوسیدروفور از ریشه ارقام مختلف گندم (میکرو مول در ۳۲ گیاه در ۳ ساعت) ده روز پس از اعمال تیمارهای روی

شرایط با روی، ترشح فیتوسیدروفور در دو رقم آرونا (روی- کارآ) و دوروم (روی- ناکارآ) بسیار کم و در حدود ۱ تا ۴ میکرومول در ۳۲ گیاه در ۳ ساعت بود ولی در شرایط کمبود روی، ترشح فیتوسیدروفور در دو رقم گندم بسته به شدت نور متفاوت بود. در شدت نور کم، ترشح فیتوسیدروفور در رقم‌های آرونا و دوروم تفاوتی نداشتند در حالی‌که در شدت نور زیاد، ترشح فیتوسیدروفور در رقم آرونا ۵ برابر بیشتر از رقم دوروم بود. علت احتمالی افزایش ترشح فیتوسیدروفور در تیمار با روی، رقابت این عنصر با آهن در مکان‌های جذب ریشه گیاه و در نتیجه، کاهش جذب آهن می‌باشد (شکل ۲). در این شرایط، گیاه دچار کمبود آهن شده و فیتوسیدروفور بیشتری ترشح می‌کند. نتایج برخی مطالعات دیگر نیز نشان داد که در شرایط کمبود آهن، ارقام مختلف گندم، در مقایسه با شرایط کمبود روی فیتوسیدروفور بیشتری ترشح می‌کنند (۲۸). از طرف دیگر، به‌علت این‌که جمع‌آوری ترشحات ریشه ۱۰ روز پس از اعمال تیمارهای روی انجام گرفت، در این صورت ممکن است گیاه هنوز از ذخیره روی بذر خود استفاده کرده است. ارقام مختلف گندم، با افزایش مدت زمان تنش کمبود روی، فیتوسیدروفور بیشتری ترشح می‌کنند (۲۸). در این رابطه، رنگل و رمهلد (۲۸) طی بررسی ترشح فیتوسیدروفور در ۱۰ رقم گندم متفاوت از لحاظ روی‌کارآیی، چنین استنباط نمودند که ۱۶ روز پس از اعمال تنش کمبود روی، ترشح فیتوسیدروفور در ژنوتیپ‌های روی- کارآ در مقایسه با ژنوتیپ‌های روی- ناکارآ افزایش یافت.

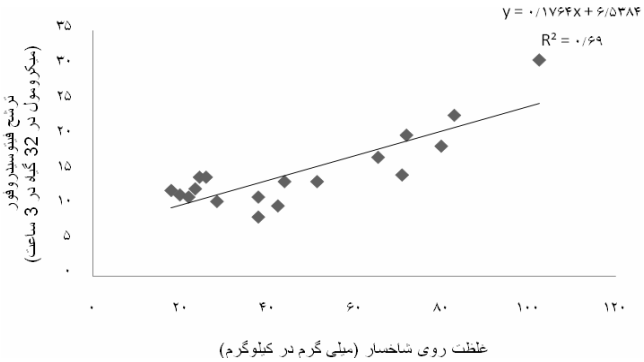
در رقم گندم روشن همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت روی شاخسار و ترشح فیتوسیدروفور (R^2= ۰/۵۳)



شکل ۸. همبستگی بین مقدار ترشح فیتوسیدروفور و غلظت روی شاخسار رقم گندم روشن



شکل ۹. همبستگی بین مقدار ترشح فیتوسیدروفور و غلظت روی ریشه رقم گندم کویر



شکل۱۰. همبستگی بین مقدار ترشح فیتوسیدروفور و غلظت روی شاخسار رقم گندم کویر

مشاهده شد (شکل ۸). در رقم گندم کویر نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ترشح فیتوسیدروفور و غلظت روی ریشه (R^2=۰/۵۲) و شاخسار (R^2=۰/۶۹) مشاهده شد (شکل‌های ۹ و ۱۰). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این رقم‌های گندم، افزایش ترشح فیتوسیدروفور، جذب روی توسط ریشه گیاه و انتقال آن به شاخسار را افزایش داده است.

از طرف دیگر در رقم بک کراس روشن بهاره، نتایج نشان داد که متناسب با کاهش غلظت آهن شاخسار، ترشح فیتوسیدروفور از ریشه گیاه افزایش یافت که این روند نشان‌دهنده نقش کلیدی عنصر آهن در ترشح فیتوسیدروفور در

این رقم می‌باشد. با کاهش غلظت آهن شاخسار سیگنال‌های کمبود آهن به ریشه فرستاده شده و گیاه فیتوسیدروفور بیشتری ترشح می‌کند. در واقع نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده این است که اختلاف ارقام از لحاظ جذب آهن نیز در ترشح فیتوسیدروفور توسط ریشه و پاسخ گیاه از لحاظ ترشح فیتوسیدروفور در شرایط مختلف تغذیه‌ای روی مؤثر است. به نظر می‌رسد که رقابت روی و آهن در جذب در رقم بک‌کراس بیشتر بوده و به همین دلیل نتایج متفاوت از دو رقم دیگر است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، پاسخ ارقام مختلف گندم به تغذیه روی متفاوت بود. تغذیه روی، تأثیر معنی‌داری بر غلظت و مقدار کل (جذب) آهن شاخسار نداشت ولی در رابطه با اثر تغذیه روی بر غلظت آهن ریشه، در رقم کویر و بک کراس روشن بهاره غلظت آهن ریشه با کاربرد روی کاهش یافت در حالی‌که غلظت آهن ریشه در رقم روشن تغییری نکرد. تغذیه روی غلظت و مقدار کل روی شاخسار را در رقم گندم روشن افزایش داد در حالی‌که اثری بر غلظت و مقدار کل روی شاخسار رقم‌های گندم کویر و بک‌کراس‌روشن‌بهاره نداشت. نتایج اندازه‌گیری مقدار ترشح فیتوسیدروفور نیز نشان داد که کاربرد روی در رقم گندم روشن ترشح فیتوسیدرفور را از ریشه گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش داد در نتیجه می‌توان علت احتمالی افزایش غلظت و مقدار کل روی در این رقم گندم را افزایش ترشح فیتوسیدروفور از ریشه گیاه دانست.

منابع مورد استفاده

۱. خوشگفتارمنش، الف.ح. ۱۳۸۶. *مبانی تغذیه گیاه*. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

2. Bouis, H. 1996. Enrichment of food staples through plant breeding: A new strategy for fighting micronutrient malnutrition. Nutr. Rev. 54: 131-137.
3. Cakmak, I., K. Y. Gülüt, H. Marschner and R. D. Graham. 1994. Effect of zinc and iron deficiency on phytosiderophore release in wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Plant Nutr. 17: 1-17.
4. Cakmak, I., L. Ozturk, S. Karanlik, H. Marschner and H. Ekiz. 1996d. Zinc-efficient wild grasses enhance release of phytosiderophores under zinc deficiency. J. Plant Nutr. 19:551-563.
5. Cakmak, I., B. Erenoglu, K. Y. Gülüt, R. Derici and V. Römheld. 1998. Ligh-mediated release of phytosiderophores in wheat and barley under iron or zinc deficiency. Plant Soil 202: 309-315.
6. Cakmak, I., L. Ozturk, S. Eker, B. Torun, H. I. Kalfa and A. Yilmaz. 1997. Concentration of zinc and activity of copper/zinc-superoxidase dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency. J. Plant Physiol. 151:91-95.
7. Cakmak, I., A. Yilmaz, M. Kalayci, H. Ekiz, B. Torun, B. Erenoglu and H. J. Braun. 1996a. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. Plant Soil 180:165-172.
8. Cakmak, I., N. Sari, H. Marschner, H. Ekiz, M. Kalayci, A. Yilmaz and H. J. Braun. 1996c. Phytosiderophore release in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. Plant Soil 180:183-189.
9. Cakmak, I., H. Ekiz, A. Yilmaz, B. Torun, N. Köleli, I. Gültekin, A. Alkan and S. Eker. 1997a. Differential response of rye, triticale, bread wheat and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. Plant Soil 188: 1-10.
10. Dong, Y. P., Z. Rengel and R. D. Graham. 1995. Root morphology of wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Plant Nutr. 18: 2761-2773.
11. Graham, R. D. and M. J. Webb. 1991. Micronutrient and Plant Disease Resistance and Tolerance in Plants, PP. 329-370. *In*: J. J. Mortvedi, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch (Eds.), Micronutrients in Agriculture. SSSA Book Series No. 4. Madison, WI.
12. Graham, R. D. and J. S. Marschner. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. Plant Soil 146: 241-250.
13. Graham, R. D. and Z. Rengl. 1993. Genotypic Variation in Zinc Uptake and Utilization by Plants. PP. 107-118. *In*: A.D. Robson (Ed.), Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Pub., Dordrecht. The Netherlands.
14. Graham, R. D. and R. M. Welch. 1996. Breeding for Staple-Food Crops with High Micronutrient Density. Working Papers on Agricultural Strategies for Micronutrients, No. 3. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.

15. Hacisalihoglu, G. 2002. Physiological and Biochemical Mechanisms Underlying Zinc Efficiency in Monocot and Dicot Crop Plants. PhD. Thesis. Cornell University, Ithaca, New York, USA.
16. Hacisalihoglu, G. and L.V. Kochian. 2003c. How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. New Phytol. 159: 341-350.
17. Hacisalihoglu, G., J. J. Hart, I. Cakmak, R. M. Welch and L. V. Kochian. 2003a. Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of Cu/Zn superoxide dismotase and carbonic anhydrase in wheat. Plant Physiol. 131: 595-602.
18. Hepkins, B. G., D. A. Whitney, R. E. Lamond and V. D. Jolley. 1998. Phytosiderophore release by sorghum, wheat and corn under zinc deficiency. J. Plant Nutr. 21: 2623-2637.
19. Kalayci, M., B. Torun, S. Eker, M. Aydin, L. Ozturk and I. Cakmak. 1999. Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivation grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. Field Crops Res. 63: 87-98.
20. Khoshgoftarmanesh, A. H., A. Sadrarhami, H. R. Sharifi, D. Afiuni and R. Schulin. 2009. Selecting Zinc-Efficient Wheat Genotypes with High Grain Yield Using a Stress Tolerance Index. Agron. J. 101: 1409-1416.
21. Khoshgoftarmanesh, A. H., H. Shariatmadari, N. Karimian, M. Kalbasi and S. E. A. T. M. van der zee. 2006. Cadmium and zinc in saline soil solutions and their concentrations in wheat. Soil Sci. 70: 582-589.
22. Khoshgoftarmanesh, A. H., H. Shariatmadari, N. Karimian, M. Kalbasi, S. E. A. T. M. van der zee and D. R. Parker. 2004. Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. Soil Sci. 68: 1885-1889.
23. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. 2th ed., Harcourt Brace and Company Pub., San Diego.
24. Marschner, H., V. Romheld and M. Kissel. 1986. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. J. Plant Nutr. 9:695-713.
25. Mori, S. 1994. Mechanisms of Iron Acquisition by Graminaceous (Strategy II) Plants. PP. 225-250. *In*: Manthey, J. A., D. E. Crowley and D. G. Luster (Eds.), Biochemistry of Metal Micronutrients in the Rhizosphere. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
26. Murakami, T., K. Ise, M. Hayakawa, S. Kamei and S. Takagi. 1989. Stabilities of metal complexes of mugineic acids and their specific affinities for iron (III). Chem. Lett. 12: 2137-2140.
27. Pedler, J. F., D. R. Parker and D. E. Crowley. 2000. Zinc deficiency-induced phytosiderophore release in solution culture. Planta 211: 120-126.
28. Rengel, Z. and V. Römheld. 2000. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. Plant Soil 222: 25-34.
29. Rengel, Z., H. Marschner, V. Romheld. 1998. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Plant Physiol. 152: 433-448.
30. Takagi, S. 1976. Naturally occurring iron-chelating compounds in oat and rice root washing. I. Activity measurement and preliminary characterization. Soil Sci. Plant Nutr. 22: 423-433.
31. Takagi, S., K. Nomoto and S. K. Mehta. 1989. Twenty Years of Coordinated Research of Micronutrients in Soil and Plants. Indian Institute of Soil Science, Bhopal, IISS, Bull. I.
32. Treeby, M., H. Marschner and V. Römheld. 1989. Mobilization of iron and other micronutrient cations from a calcareous soil by plant borne, microbial and synthetic metal chelators. Plant Soil 114: 217-226.
33. Walter, A., V. Romheld and H. Marschner. 1994. Is the release of phytosiderophores in zinc-deficient wheat plants response to impaired iron utilization. Physiol. Plant 92: 493-500.
34. Welch, R. M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. Crit. Rev. Plant Sci. 14: 49-82.
35. Zhang, F. S., V. Romheld and H. Marschner. 1989. Effect of zinc deficiency in wheat on release of zinc and iron mobilizing exudates. Plant Soil 152: 205-210.
36. Zhang, F. S., V. Romheld and H. Marschner. 1991. Diurnal rhythm of release of zinc phytosiderophores and uptake rate of zinc in iron-deficient wheat. Soil Sci. Plant Nutr. 37: 671-678.

Effect of Zinc Nutrition in Solution Culture on Phytosiderophore Release by Roots of Three Different Zinc-Efficient Wheat Genotypes

B. Daneshbakhsh[1]*, A. H. Khoshgoftarmanesh[2], H. Shariatmadari[2]

(Received : Apr. 11-2011 ; Accepted : Jan. 22 -2013)

Abstract

This research was carried out in a hydroponic culture to investigate the effect of Zn nutrition on phytosiderophore release by roots of three bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L. cvs. Rushan, Kavir, and Cross) differing in Zn-efficiency. The wheat seeds were germinated in sterile sand and two weeks later the plants were transferred to nutrient solution containing different Zn levels. Phytosiderophore released by plant roots was collected ten days after applying Zn treatments and measured using resin-Cu-mobilization test. A month after their transfer to nutrient solution, the plants were harvested and Fe and Zn concentrations in root and shoot were measured, and total amounts (uptake) of these nutrients were determined. Zinc addition increased concentration and total amount of Fe and Zn in shoot in Rushan genotype, while it had no significant effect on concentration and total amount of Zn in shoot and root of Kavir and Spring Back-Cross-Rushan genotypes. Addition of Zn to the nutrient solution decreased concentration and total amount of Fe in shoot of all wheat genotypes. On the other hand, Zn nutrition increased root Zn concentration in Rushan and Kavir genotypes, while it resulted in significant decrease of root Zn concentration in Back-Cross-Rushan genotype. Effect of Zn nutrition on the amount of phytosiderophore release by roots of wheat genotypes was different. Zinc nutrition resulted in an increase of phytosiderophore release by roots of Rushan, while it had no significant effect on phytosiderophore release in other wheat genotypes.

Keywords: Root exudates, Zinc-efficiency, Wheat, Micronutrient.

1. Soilless Culture, Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.
2. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: daneshbakhsh@yahoo.com