نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۰، ص. ۷۳۵-۷۲۸

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.4, Sep-Oct 2011, p. 728-735

تاثیر کمبود آهن بر غلظت، جذب و انتقال نسبی آهن، روی و منگنز در برخی محصولات زراعی با آهن‌کارایی مختلف در شرایط آبکشت

سمیرا سادات طباطبایی[1*]- عارفه رزازی[2]- امیرحسین خوشگفتارمنش[3]- ناهید خدائیان[4]- زهرا مهرابی[5]- احسان عسگری[6]- شیما فتحیان[7]- فرشته رمضان زاده[8]

تاریخ دریافت:۸۸/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش:۹۰/۳/۲۴

چکیده

آزمایش حاضر بمنظور مقایسه تاثیر کمبود آهن بر غلظت، جذب و انتقال نسبی آهن، روی و منگنز در برخی گیاهان زراعی در شرایط آبکشت بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۸۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان به اجرا درآمد. هفت گیاه زراعی با آهن‌کارایی مختلف شامل دو رقم گندم نان (قدس و بک کراس روشن)، تریتیکاله (رقم الینر)، ذرت شیرین (هیبرید سینگل کراس کرج ۴۰۳)، ذرت دانه‌ای (هیبرید سینگل کراس۷۰۴) و دو رقم گلرنگ (رقم کوسه و اراک ۲۸۱۱) در دو غلظت آهن در محیط کشت محلول شامل ۵ (کمبود) و ۵۰ (کفایت) میکرومولار از منبع FeEDTA کاشته شدند. متحمل‌ترین و حساسترین محصولات زراعی به کمبود آهن بترتیب گندم رقم قدس با آهن-کارایی ۱۲۵ درصد و گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ با آهن-کارایی ۳/۵ درصد بودند. بین آهن-کارایی گیاهان مورد مطالعه و محتوای آهن، روی و منگنز کل و همچنین انتقال نسبی آهن از ریشه به شاخساره همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. تنوع بالایی میان محتوی منگنز، آهن و روی ریشه وساقه گیاهان مورد مطالعه مشاهده شد. ژنوتیپ‌های قدس و بک کراس روشن گندم مقادیر بالاتری از منگنز، آهن و روی را در ساقه هایشان در مقایسه با دیگر ژنوتیپ ها تجمع دادند. بالاتر بودن جذب و انتقال از ریشه به ساقه عناصر کم مصرف در ژنوتیپ های آهن- کارامد یک جنبه مهم در برنامه های غنی سازی زیستی با هدف بهبود کیفیت محصولات است.

واژه‌های کلیدی: آبکشت، کمبود آهن، عناصر غذایی کم‌مصرف، آهن-کارایی، جذب، انتقال عناصر کم‌مصرف

مقدمه

از دهه‌های گذشته تلاش‌های زیادی درجهت افزایش تولید گیاهان زراعی صورت گرفته که عمده‌ترین این تلاش‌ها، ایجاد تغییراتی در شرایط خاک در جهت تامین با نیازهای گیاهان بوده است. استفاده از کودهای شیمیایی یکی از این راهکارها بوده که البته در افزایش تولید گیاهان زراعی موثر واقع شده است. هر چند که این روش منجر به ایجاد مشکلاتی از جمله مصرف زیاد انرژی، سرمایه و نیروی کار، آلودگی محیط زیست و تخریب منابع شده‌است. بروز چنین مشکلاتی منجر به اتخاذ راهکارهای متفاوتی شد که تاکید آن‌ها بر انتخاب و اصلاح ژنوتیپ‌هایی است که سازگاری بیشتری با شرایط کمبود عناصر در خاک دارند (۱۸). یکی از مشکلات عمده‌ی خاک-های قلیایی که بخش عمده‌ایی از خاک‌های مناطق خشک و نیمه-خشک ایران را تشکیل می‌دهند، کمبود آهن قابل استفاده گیاه می-باشد. آهن یکی از عناصر کم مصرف بسیار مهم برای گیاهان بحساب می‌آید (۸). کمبود آهن منجر به بروز زرد برگی (۹)، کاهش فتوسنتز و غلظت کلروفیل (۸، ۹ و ۱۵)، کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه (۱، ۲، ۴، ۹، ۱۰ و ۱۷)، تغییر غلظت و محتوای آهن (۱، ۲، ۵ و ۹) و سایر عناصر فلزی در بافتهای گیاهی (۶) می‌شود که این صفات ارتباط نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند. یک راه حل پایدار برای افزایش تولید در مناطقی که دچار کمبود آهن هستند، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود آهن یا ژنوتیپ‌های آهن-کارآمد می-

۱و۶- دانشجویان دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email:ss_tabatabai@yahoo.com)
۲- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۴،۵،۷و۸- دانشجویان سابق کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

باشد. مطالعات نشان داده تنوع ژنتیکی زیادی در پاسخ گیاهان به کمبود آهن وجود دارد (۲، ۹، ۱۰ و ۱۷). در شرایط کمبود آهن، ژنوتیپ‌های متحمل در سه سطح ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، پاسخ‌های کنترل کننده از خود بروز می‌دهند (۱۱). تفاوت ژنوتیپ‌ها از لحاظ تحمل به کمبود آهن می‌تواند در جذب، انتقال و مصرف درونی آن باشد. بعنوان مثال، تفاوت جذب آهن در دولپه‌ایی‌ها و تک لپه‌های غیر گندمیان در شرایط کمبود آهن ناشی از تغییرات فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی در ریشه می‌باشد که در نتیجه آن، انتقال ترکیبات کم محلول آهن موجود در محیط ریشه تسهیل می‌شود (راهبرد نوع اول). اسیدی کردن ریزوسفر، افزایش کلات فریک ردوکتاز (FCR) و افزایش توان جذب Fe(II)، واکنشهایی هستند که در این دسته از گیاهان در شرایط کمبود آهن رخ می‌دهد (۶ و ۱۹). در مطالعات متعدد (۶ و ۹) تنوع زیادی بین توانایی گیاهان راهبرد نوع اول از نظر توان جذب آهن مشاهده شد. در مقابل سیدروفورهای گیاهی (فیتوسیدروفور) ترکیباتی هستند که در شرایط کمبود آهن و روی از ریشه گیاهان خانواده گندمیان ترشح می‌شوند (راهبرد نوع دوم). ترکیب فیتوسیدروفور با آهن، کمپلکس محلولی تشکیل داده و با افزایش پویایی آهن خاک، قابلیت جذب آهن توسط گیاه را افزایش می‌دهد (۵، ۱۶ و ۱۷). نتایج برخی مطالعات (۵، ۱۲ و ۱۷) نشان داد در شرایط کمبود آهن و روی، مقدار ترشح سیدروفورهای گیاهی در بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاهی متفاوت می‌باشد. برخی سازوکارهای بکارگرفته شده توسط گیاهان آهن-کارآمد ممکن است بر جذب و انتقال سایر عناصر به ویژه روی و منگنز به اندام‌های هوایی نیز تاثیر داشته باشند. این مطلب به ویژه در بحث کیفیت محصولات کشاورزی اهمیت دارد. در پژوهش قبلی، اختلاف پاسخ گیاهان زراعی به کمبود آهن مورد بررسی قرار گرفت (۱). هدف ازانجام این پژوهش شناخت ارتباط بین کارایی وزن خشک محصولات مختلف زراعی در شرایط کمبود آهن با غلظت و محتوای آهن، روی و منگنز بود. بدون تردید نتایج حاصل از این مطالعه راهگشایی جهت شناخت سازوکارهای تحمل کمبود آهن در گیاهان زراعی خواهد بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار، در پاییز سال ۱۳۸۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان با میانگین دمای روزانه و شبانه بترتیب حدود ۲۲ و ۱۸ درجه سلسیوس و شدت نور حدود ۴۰۰۰۰ لوکس در محیط آبکشت انجام شد. فاکتورها عبارتند از هفت محصول زراعی شامل هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.)، هیبرید سینگل کراس کرج ۴۰۳ ذرت شیرین (*Zea mays* L. cv. Saccharata)، ارقام گندم(*Triticum aestivum* L.) بک کراس روشن و قدس، تریتیکاله رقم الینر (*X. triticalosecale*)، و گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) ارقام اراک ۲۸۱۱ و کوسه و دو سطح آهن در محلول غذایی شامل ۵ (کمبود آهن) و ۵۰ (کفایت آهن) میکرومولار آهن از ترکیب FeEDTA. پاسخ هفت گیاه زراعی مذکور در شرایط کمبود و کفایت آهن مورد مطالعه قرار گرفت.

ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است (۳). بذرهای محصولات زراعی مورد نظر ابتدا بوسیله‌ی محلول هیپوکلریت سدیم ۲ درصد ضدعفونی شده و سپس در گلدان‌های حاوی ماسه‌ی شسته، کاشته شدند. سپس گیاهچه‌های دو برگی به ظرف های یک لیتری سفیدرنگ پلاستیکی حاوی محلول غذایی که با پوشش‌سیاه رنگی پوشیده شده بودند، منتقل شد. پس از استقرار گیاهچه‌ها، هر روز حدود یک ساعت از طریق سامانه‌ی تهویه برای ظرف های مورد نظر اکسیژن رسانی انجام شد.

در طول دوره آزمایش به منظور جلوگیری از نوسانات غلظت محلول، اسیدیته محلول (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) به طور مرتب بازبینی شد. pH در حدود ۵/۷ تنظیم شد. برای تنظیم pH محلول غذایی از محلول KOH ۱ مولار برای افزایش و اسید نیتریک ۲ مولار جهت کاهش pH استفاده شد. بعد از گذشت حدود ۳۰ روز از آزمایش، گیاهان مورد نظر از محلول خارج شده و بخش هوایی و ریشه آن‌ها از یکدیگر جدا گردید. ریشه و بخش هوایی هر گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک‌کن قرار داده شد و سپس وزن خشک آنها با ترازوی دقیق اندازه گیری شد. برای اندازه گیری غلظت آهن، روی و منگنز در ریشه و شاخساره، نمونه‌های یک گرمی آسیاب شده از آنها درون بوته‌های چینی قرار داده شدند. نمونه-های گیاهی به مدت دو ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس کوره‌ی الکتریکی به خاکستر تبدیل شده و با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری انجام شد (۱۳). سپس غلظت آهن، روی و منگنز در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin 3030 Elmer) اندازه‌گیری شد. همچنین محتوای کل آهن، روی و منگنز از حاصلضرب غلظت آن‌ها در کل ماده‌ی خشک محاسبه شد. مقدر انتقال نسبی آهن، از ریشه به اندام هوایی برای محصولات مختلف از رابطه ۱ اندازه‌گیری شد.

(۱) انتقال نسبی آهن = (محتوای آهن کل/ محتوای آهن بخش هوایی) ×۱۰۰

همچنین برای مقایسه بهتر ژنوتیپ‌ها از لحاظ تحمل به کمبود آهن، آهن-کارایی وزن خشک بخش هوایی (۱) بعنوان معیار در نظر گرفته شد. تجزیه آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS، نسخه ۹ (۱۴) و رسم نمودارها با نرم افزار اکسل، نسخه ۲۰۰۳ انجام شد. همچنین میانگین صفات اندازه گیری شده، با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. همچنین کلیه ضرایب همبستگی بین آهن-کارایی صفات محاسبه شد.

جدول۱ - ترکیب شیمیایی محلول غذایی مورد استفاده

عنصر	ترکیب شیمیایی	غلظت (mM)	عنصر	ترکیب شیمیایی	غلظت (µM)
N	KNO_3	۸/۰	Cl	KCl	۵۰
K	KNO_3	۳/۰	Mn	$MnSO_4 . H_2O$	۲/۰
Ca	$Ca(NO_3)_2 . 4H_2O$	۲/۰	Zn	$ZnSO_4 . 7H_2O$	۲/۰
P	$NH_4H_2PO_4$	۱/۰	Cu	$CuSO_4. 5H_2O$	۰/۵
Mg	$MgSO_4 .7H_2O$	۰/۵	Mo	H_2MoO_4	۰/۵
			B	H_3BO_3	۲۵
			Fe	Fe- EDTA	*۵۰

*:در تیمار کمبود، از غلظت ۵ میکرومولار آهن استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای آهن کل

کمبود آهن تاثیر متفاوتی بر محتوای کل آهن محصولات زراعی مورد مطالعه داشت (جدول۲). ذرت دانه‌ایی ۷۰۴ در شرایط کفایت آهن بالاترین و تریتیکاله رقم الینر در شرایط کمبود آهن دارای پایین‌ترین محتوای آهن کل بودند (جدول ۲). با کاهش غلظت آهن در محیط کشت، محتوای آهن در کلیه محصولات زراعی مورد مطالعه بجز ذرت شیرین ۴۰۳ و گلرنگ رقم کوسه کاهش یافت (جدول۲). بیشترین میزان کاهش محتوای آهن در شرایط کمبود آهن برابر با ۸۹ درصد و مربوط به ذرت دانه‌ایی ۷۰۴ بود. مشابه نتایج پژوهش حاضر، در مطالعه محمودی و همکاران (۹) نیز کمبود آهن منجر به کاهش معنی‌دار محتوای آهن بقولات مورد بررسی شد هر چند که تاثیر کمبود آهن بر محتوای آهن ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متفاوت بود. عشقی‌زاده و همکاران (۲) نیز اختلاف معنی‌داری بین گیاهان زراعی مورد مطالعه از لحاظ محتوای آهن کل گزارش کردند.

انتقال نسبی آهن از ریشه به شاخساره

کمبود آهن تاثیر متفاوتی بر انتقال نسبی آهن از ریشه به شاخساره محصولات زراعی داشت و در گندم رقم بک‌کراس روشن، ذرت شیرین ۴۰۳ و گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ منجر به کاهش و در سایر گیاهان مورد بررسی موجب افزایش انتقال نسبی آهن شد (جدول۲). کاهش انتقال نسبی آهن از ریشه به شاخساره تحت شرایط کمبود آهن در گندم رقم بک‌کراس روشن، ذرت شیرین ۴۰۳ و گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ با افزایش نسبت ریشه به شاخساره در این شرایط، همروندی قابل توجهی دارد (داده‌های ارائه نشده). بنظر می‌رسد راهکار بکارگرفته شده توسط این سه محصول زراعی در شرایط کمبود آهن، افزایش انتقال مواد غذایی بسمت ریشه می‌باشد. تریتیکاله رقم الینر در شرایط کمبود آهن بالاترین و گندم رقم بک‌کراس روشن در شرایط کفایت آهن پایین‌ترین میزان انتقال نسبی آهن از ریشه به شاخساره را داشتند (جدول۲). بیشترین افزایش انتقال نسبی آهن در شرایط کمبود نسبت به کفایت آهن، برابر با ۲۰۳ درصد و متعلق به تریتیکاله رقم الینر بود. عشقی‌زاده و همکاران (۲) نیز در مطالعه خود تفاوت بسیار معنی‌داری از لحاظ انتقال نسبی آهن از ریشه به شاخساره در بین محصولات زراعی مختلف گزارش کردند.

غلظت منگنز شاخساره

تاثیر کمبود آهن بر غلظت منگنز بخش هوایی گیاهان مختلف بسته به نوع گیاه بسیار متفاوت بود (جدول ۲). در شرایط کمبود آهن در مقایسه با کفایت، غلظت منگنز بخش هوایی گندم رقم قدس و گلرنگ رقم کوسه کاهش و در سایر گیاهان، افزایش یافت (جدول ۲). گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ در شرایط کمبود آهن و ذرت شیرین ۴۰۳ در شرایط کفایت آهن بترتیب بالاترین و پایین‌ترین غلظت منگنز بخش هوایی را داشتند (جدول ۲). بیشترین و کمترین افزایش غلظت منگنز بخش هوایی در شرایط کمبود آهن بترتیب متعلق به ذرت دانه‌ایی ۷۰۴ (۸۱ درصد) و گندم رقم قدس (۶۵ درصد) بود (جدول ۲). در پژوهش چن و همکاران (۶)، کمبود آهن منجر به افزایش غلظت مس ریشه و بخش هوایی شد. ایشان اظهار داشتند کمبود آهن منجر به تحریک بیان ژن‌های پروتئین‌های ناقل آهن می‌شود و از آنجا که فلزات سنگین توسط ناقل‌های مشابهی جذب می‌شوند، تحت شرایط کمبود آهن، تجمع روی، منگنز، مس و کادمیم در ریشه و بخش هوایی گیاهان افزایش می‌یابد. در مطالعه کولی و همکاران (۷) نیز غلظت مس و آهن در گیاهانی که در معرض کمبود روی بودند در مقایسه با گیاهانی که در شرایط کفایت روی رشد کرده بودند، افزایش یافت. ایشان نیز دلیل این امر را وجود یک سیستم انتقال عمومی در سطح غشاء پلاسمایی برای فلزات و وجود رقابت بین عناصر فلزی برای انتقال توسط این سیستم عنوان کردند. در سایر مطالعات (۱۲ و ۱۸) نیز به پدیده جذب جبرانی اشاره شده است.

غلظت منگنز ریشه

کمبود آهن منجر به افزایش غلظت منگنز ریشه در کلیه گیاهان مورد بررسی شد (جدول۲). البته این افزایش در گیاهان مختلف یکسان نبود. بیشترین افزایش غلظت منگنز ریشه در شرایط کمبود آهن ۶۰۰ درصد و متعلق به ذرت دانه‌ایی ۷۰۴ و کمترین میزان آن ۱۱۵درصد متعلق به تریتیکاله رقم الینر بود (جدول۲).

محتوای منگنز کل

پاسخ گیاهان زراعی مورد بررسی از نظر محتوای منگنز کل به کمبود آهن متفاوت بود (جدول۲). بگونه‌ایی که کمبود آهن منجر به افزایش محتوای منگنز کل ارقام قدس و رقم بک‌کراس روشن گندم، تریتیکاله رقم الینر و گلرنگ رقم کوسه و کاهش آن در ذرت دانه‌ایی ۷۰۴، ذرت شیرین ۴۰۳ و گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ شد (جدول ۲). کاهش محتوای منگنز کل ذرت دانه‌ایی ۷۰۴، ذرت شیرین ۴۰۳ و گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ در شرایط کمبود آهن، علیرغم افزایش غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه تحت چنین شرایطی در این گیاهان، مربوط به کاهش شدید (بیش از ۷۰ درصد) وزن خشک محصولات زراعی مذکور در شرایط کمبود آهن می‌باشد (۱). گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ و گندم رقم قدس در شرایط کفایت بترتیب دارای بیشترین و کمترین محتوای منگنز کل بودند (جدول۲).

غلظت روی شاخساره

کمبود آهن در همه گیاهان مورد بررسی به جز گلرنگ رقم کوسه، منجر به افزایش غلظت روی شاخساره شد (جدول۲). افزایش غلظت روی در شرایط کمبود آهن نه تنها مربوط به اثر رقت (کاهش وزن گیاه تحت شرایط کمبود) (۵) می‌باشد بلکه، پدیده جذب جبرانی نیز در افزایش غلظت این عنصر موثر می‌باشد (۷). کاهش غلظت روی بخش هوایی گلرنگ رقم کوسه تحت شرایط کمبود آهن علیرغم کاهش وزن خشک این بخش تحت همین شرایط (۱) می‌تواند بدین مفهوم باشد که پدیده جذب جبرانی در این محصول در حداقل ممکن صورت می‌گیرد. گندم رقم قدس در شرایط کمبود آهن و ذرت دانه‌ای ۷۰۴ در شرایط کفایت آن بترتیب بیشترین و کمترین غلظت روی شاخساره را داشتند (جدول ۲). بیشترین و کمترین افزایش غلظت روی شاخساره در شرایط کمبود به کفایت آهن بترتیب ۶۷۷ درصد و ۸۵ درصد و متعلق به ذرت دانه‌ایی ۷۰۴ و گلرنگ رقم کوسه بود (جدول ۴).

غلظت روی ریشه

در شرایط کمبود آهن، غلظت روی ریشه همه محصولات زراعی مورد بررسی افزایش یافت و تنها غلظت روی ریشه در گلرنگ رقم کوسه تحت کمبود روی ۳۸ درصدکاهش یافت (جدول ۲). بیشترین و کمترین غلظت روی ریشه بترتیب متعلق به تریتیکاله رقم الینر در شرایط کمبود و ذرت دانه‌ای ۷۰۴ در شرایط کفایت آهن بود (جدول ۲). مقدار افزایش غلظت روی در شرایط کمبود آهن در گیاهان مورد مطالعه متفاوت بود. بیشترین (۵۰۷ درصد) و کمترین (۱۳۷ درصد) افزایش غلظت روی ریشه بترتیب مربوط به ذرت دانه‌ای ۷۰۴ و گندم رقم قدس بود (جدول ۲). همبستگی معنی‌داری بین کارایی غلظت روی و وزن خشک شاخسار مشاهده نشد.

محتوای روی کل

محصولات زراعی مختلف از نظر محتوای روی کل، پاسخ مشابهی به کمبود آهن نشان ندادند بگونه‌ایی که کمبود آهن منجر به افزایش محتوای روی کل در گندم رقم قدس، گندم رقم بک‌کراس روشن، تریتیکاله رقم الینر و ذرت شیرین ۴۰۳ و کاهش آن در ذرت دانه‌ایی ۷۰۴، گلرنگ رقم کوسه و رقم اراک ۲۸۱۱ شد (جدول۲). کاهش محتوای روی کل در گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ و ذرت دانه‌ای ۷۰۴ در شرایط کمبود آهن به دلیل کاهش شدید وزن خشک کل هر دو محصول زراعی (بترتیب ۹۸ درصد و ۹۵ درصد) در شرایط کمبود آهن می‌باشد (۱). کاهش محتوای روی کل در گلرنگ رقم کوسه مربوط به کاهش شدید غلظت روی در بخش هوایی و ریشه می‌باشد (جدول۲). کمترین محتوای روی کل در ذرت شیرین ۴۰۳ و در شرایط کمبود آهن و بالاترین محتوای روی کل در گندم رقم بک‌کراس روشن در شرایط کفایت آهن، مشاهده شد (جدول۲). بیشترین افزایش محتوای روی کل در شرایط کمبود آهن مربوط به گندم رقم بک‌کراس روشن (۲۷۱ درصد) بود.

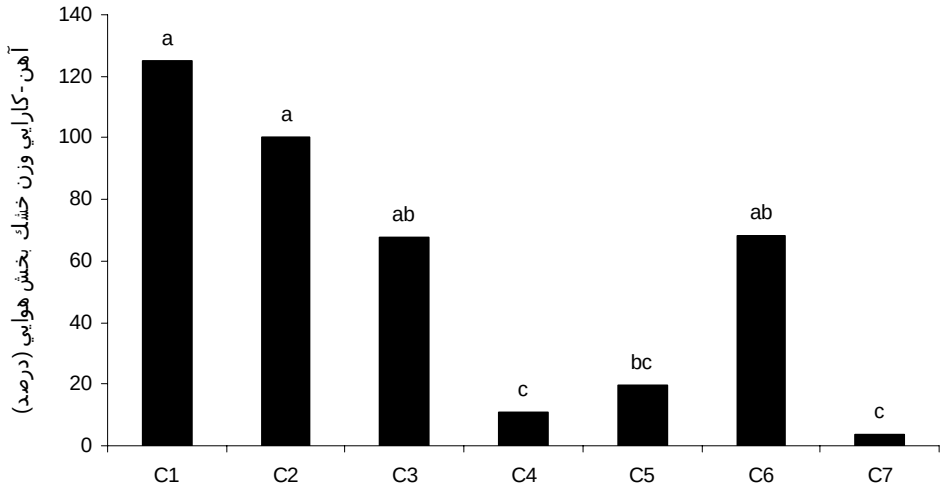
وزن خشک شاخسار

کمبود آهن منجر به کاهش وزن خشک شاخسار همه محصولات زراعی مورد مطالعه بجز رقم قدس گندم شد (۱). اگرچه میزان کاهش وزن خشک در شرایط کمبود آهن بسته به نوع گیاه، متفاوت بود. بنابراین گندم رقم قدس با کارایی ۱۲۵ درصد متحمل‌ترین و گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ با کارایی ۴ درصد ناکارآمدترین (حساسترین) محصولات زراعی بودند (۱). در مطالعه عشقی زاده و همکاران (۲) نیز کمبود آهن منجر به کاهش وزن خشک محصولات زراعی شد و بین آهن کارایی وزن خشک بخش هوایی محصولات زراعی مختلف تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در مطالعه کاکمک و همکاران (۴) هم کمبود روی منجر به کاهش وزن خشک بخش هوایی غلات مورد مطالعه شد و میزان کاهش در بین محصولات زراعی متفاوت بود. بگونه‌ایی که چاودار با ۱۵ درصد کمترین و گندم دوروم با ۶۵ درصد بیشترین کاهش وزن خشک بخش هوایی را داشتند. همچنین در

مطالعه کولی و همکاران (۷) رشد بخش هوایی دو رقم گندم نان و دوروم در اثر کمبود روی کاهش یافت که این کاهش در گندم دوروم بیشتر از گندم نان بود. در سایر مطالعات (۴، ۹، ۱۰، ۱۷ و ۱۸) نیز به کاهش رشد گیاهان در اثر کمبود عناصر کم‌مصرف و تفاوت در پاسخ گیاهان مختلف به کمبود این عناصر اشاره شده است. وجود همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار بین آهن-کارایی وزن خشک بخش هوایی و آهن-کارایی محتوای آهن کل ($r=۰/۷۸^{**}$)، روی کل ($r=۰/۸۲^{**}$)، منگنز کل ($r=۰/۸۲^{**}$) و انتقال نسبی آهن از ریشه به شاخساره ($r=۰/۴۶^{*}$) بیانگر آن است که ارقام متحمل به کمبود آهن (آهن-کارآمد) در شرایط کمبود آهن، نه تنها محتوای آهن، روی و منگنز کل بالاتری دارند بلکه نسبت بیشتری از آهن جذب شده توسط ریشه را به اندام هوایی خود انتقال داده‌اند. عشقی‌زاده و همکاران (۲) در مطالعه خود همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری بین مقدار نسبی انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی و آهن-کارایی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ وزن خشک اندام هوایی مشاهده کردند و اظهار داشتند ارقام متحمل به کمبود آهن نسبت کمتری از آهن جذب شده توسط ریشه را به اندام هوایی خود انتقال می‌دهند. بعلاوه ایشان در مطالعه خود همبستگی معنی‌داری بین محتوای آهن کل و کارایی وزن خشک بخش هوایی مشاهده نکردند.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش بمنظور یافتن عوامل مرتبط با تحمل کمبود آهن در هفت محصول زراعی مختلف، غلظت و محتوای آهن، روی و منگنز در ریشه و شاخساره و همچنین انتقال نسبی آهن از ریشه به شاخساره مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های حاصل از این آزمایش می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که توانایی برخی از گیاهان زراعی مورد بررسی از جمله ارقام قدس و بک‌کراس روشن گندم در بالاتر نگهداشتن محتوای آهن، منگنز و روی کل و همچنین انتقال بخش عمده‌ایی از آهن جذب شده توسط ریشه به شاخساره در شرایط کمبود آهن نسبت به کفایت آن می‌تواند در تحمل این گیاهان در برابر کمبود آهن موثر باشد.



شکل۱- مقادیر «آهن کارایی» محتوای آهن کل، منگنز کل و روی کل در محصولات زراعی مختلف C۱: گندم رقم قدس، C۲: گندم رقم بک‌کراس روشن، C۳: تریتیکاله رقم الینر، C ٤: ذرت دانه‌ایی ۷۰٤، C٥: ذرت شیرین ٤۰۳، C٦: گلرنگ رقم کوسه و C۷: گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱

جدول۲- اثرات متقابل سطوح آهن با گیاه بر میانگین[1] برخی صفات اندازه گیری شده

سطوح آهن	گیاه	محتوای آهن کل (mg plant^{-1})	انتقال نسبی آهن (٪)	غلظت منگنز اندام هوایی (mg kg^{-1})	غلظت منگنز ریشه (mg kg^{-1})	محتوای منگنز کل (mg plant^{-1})	غلظت روی اندام هوایی (mg kg^{-1})	غلظت روی ریشه (mg kg^{-1})	محتوای روی کل (mg plant^{-1})
۵ میکرو مولار (کمبود)	گندم رقم قدس	۲۰۸ d	۳۲/۴ a	۳۹ a	۱۰۴ a	۲۷ a	۵۹۱ a	۸۵۹ a	۳۱۶ a
	گندم رقم بک-کراس روشن	۳۷۸ cd	۲۵/۸ a	۱۶۳ a	۱۱۹۳ a	۶۷ a	۱۷۵ cd	۶۷۹ a	۶۵ a
	تریتیکاله رقم الینر	۱۶۷ d	۶۹/۶ a	۱۴۴ a	۱۷۲ a	۴۳ a	۳۱۱ bc	۱۲۸۱ a	۱۲۵ a
	ذرت دانه‌ایی ۷۰۴	۵۹۵ cd	۳۷ a	۱۴۶ a	۶۶ a	۱۷۶ a	۱۴۹ cd	۱۳۷ a	۳۴۹ a
	ذرت شیرین ۴۰۳	۳۳۱ b	۱۰ a	۴۴ a	۱۱۳ a	۲۳۲ a	۱۸۴ c	۳۶۴ a	۷۶۲ a
	گلرنگ رقم کوسه	۱۷۶ c	۵۲ a	۴۷ a	۲۲۵ a	۲۶۲ a	۹۲ cd	۵۹ a	۳۱۱ a
	گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱	۱۹۸ d	۲۲ a	۲۹۸ a	۱۳۳ a	۳۲ a	۳۶۹ b	۵۱۱ a	۴۸ a
۵۰ میکرومولار (کفایت)	گندم رقم قدس	۳۲۸ cd	۱۷/۸ a	۶۰ a	۶۰ a	۲۲ a	۲۹۳ bc	۶۳۱ a	۱۴۱ a
	گندم رقم بک-کراس روشن	۶۳۵ cd	۳۳/۴ a	۹۵ a	۲۷۲ a	۲۸ a	۹۱ cd	۲۲۲ a	۲۴ a
	تریتیکاله رقم الینر	۳۴۹ cd	۳۴/۲ a	۵۱ a	۱۴۹ a	۲۹ a	۷۴ d	۸۸۲ a	۷۶ a
	ذرت دانه‌ایی ۷۰۴	۵۲۰ a	۳۲ a	۱۸ a	۱۱ a	۳۸۶ a	۲۲ d	۲۷ a	۵۶۰ a
	ذرت شیرین ۴۰۳	۳۰۴ bc	۲۸ a	۱۶ a	۳۵ a	۲۴۲ a	۴۱ d	۸۵ a	۵۸۷ a
	گلرنگ رقم کوسه	۱۵۷ cd	۵۰ a	۴۹ a	۶۵ a	۲۴۴ a	۱۰۸ cd	۹۶ a	۵۱۶ a
	گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱	۱۵۸ bc	۳۷ a	۹۲ a	۱۰۵ a	۶۹۵ a	۱۷۲ cd	۲۲۰ a	۱۳۵ a

۱- میانگین‌های هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار(LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

منابع

۱- طباطبایی س.س.، رزازی ع.، خوشگفتارمنش ا.ح.، خدائیان ن.، مهرابی ز.، فتحیان ش.، عسکری ا.، رمضان زاده ف.، و عرب‌زادگان ح. ۱۳۸۸. پاسخ برخی گیاهان زراعی به کمبود آهن در محیط کشت بدون خاک. مجله پژوهش و سازندگی (در دست انتشار).

۲- عشقی‌زاده ح.ر.، خوشگفتارمنش ا.ح.، اشرفی ع.، معلم ا.ح.، پورسخی ن.، پورقاسمیان ن.، گرجی م.، و میلادی ا. ۱۳۸۷. «آهن کارایی» تعدادی از محصولات زراعی در محیط کشت محلول. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان (در دست انتشار).

3- After Johnson C.M., Stout P.R., Broyer T.C., and Carlton A.B. 1957. Comparative chlorine requirements of different plants species, Plant and Soil, 8:337-353.

4- Cakmak I., Torun B., Erenoglu B., Oztürk L., Marschner H., Kalayci M., Ekiz H., and Yilmaz A. 1998. Morphological and physiological differences in cereals in response to zinc deficiency, Euphytica, 100: 349–357.

5- Cakmack I., and Braun H.J. 2001. Genotypic variation for zinc efficiency, In Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio J.I., and McNab A. (ed.) Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F.: CIMMYT.

6- Chen Y., Shi J., Tin G., Zheng S., and Lin Q. 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in Commelia communis, Plant science, 166: 1371-1377.

7- Koleli N., Eker S., and Cakmak I. 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil, Environmental Pollutions, 131: 453-459.

8- Ksouri R., Debez A., Mahmoudi H., Ouerghi Z., Gharsalli M., and Lachaa M. 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency, Plant Physiology and

Biochemistry, 45: 315-322.
9- Mahmoudi H., Ksouri R., Gharsalli M., and Lachaal M. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*), Journal of Plant Physiology, 162 (11): 1237-1245.
10- Mahmoudi H., Labidi N., Ksouri R., Gharsalli M., and Abdelly C. 2007. Differential tolerance to iron deficiency of chickpea varieties and Fe resupply effects, Comptes Rendus Biologies, 330 (3):237-246.
11- Pestana M., and Varennes A. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution, Scientia Horticulturae, 104: 25-36.
12- Rengel Z. 1999. Zinc deficiency in wheat genotypes grown in conventional and chelator-buffered nutrient solutions, Plant science, 143: 221-230.
13- Rengel Z., and Romheld V. 2000. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency, Plant and Soil, 222: 25-34.
14- SAS Institute 2000: SAS/ STAT user's guide. Version 9. Cary, SAS Inst. NC.
15- Thoiron S., and Briat J. 1999. Differential expression of maize sugar responsive genes in response to iron deficiency, Plant Physiology and Biochemistry, 37 (10): 759-766.
16- Yousfi S., Wissal M., Mahmoudi H., Abdelly C., and Gharsalli M. 2007. Effect of salt on physiological responses of barley to iron deficiency, Plant Physiology and Biochemistry, 45:309-314.
17- Yousfi S., Rabhi M. Abdelly C., and Gharsalli M. 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum maritimum*) and cultivated barley (*Hordeum vulgare*), Comptes Rendus Biologies, 332(6):523-533.
18- Yu Q., and Rengel Z. 1991. Micronutrient deficiency influences plant growth and activities of superoxide dismutase in narrow-leafed lupines, Annals of Botany, 83:175-182.
19- Zaharieva T.B., Gogorcena Y., and Abad J. 2004. Dynamics of metabolic responses to iron deficiency in sugar beet roots, Plant Science, 166: 1045-1050.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.4, Sep-Oct 2011, p. 728-735

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۰، ص. ۷۳۵-۷۲۸

Effect of Fe-Deficiency on Uptake, Concentaration and Translocation of Fe, Zn, Mn in Some Plants with Different Fe-efficiency in Hydroponics Culture

S.S. Tabatabaee[1]*- A. Razazi[2]- A.H. Khoshgoftarmanesh [3]- N. Khodaeian[4]- Z. Mehrabi[5]- E. Asgari[6]- Sh. Fathian[7]- F. Ramezanzadeh[8]

Received:13-1-2010
Accepted:14-6-2011

Abstract

A hydroponics experiment was conducted to compare effect of Fe-deficiency on concentration, uptake, translocation of Fe, Zn, Mn in some plants. A completely randomized block design in triplicates was conducted in research greenhouse. Seven plants with different Fe-efficiency contained two bread wheat genotypes (*Triticum aestivium* L. CVs. Backcross Roshan and Qods), triticale (X. Triticosecale Cv eleanor), dent corn (*Zea Mays* L. CV. S.C704) and two safflower (*Carthamus tinctorius* L. CVs Arak2811 and Koose) were grown in a nutrient solution at two Fe levels of 5 and 50 µM Fe EDTA. The most tolerant and the most sensitive of plants to Fe-deficiency were bread wheat (Qods genotype) with 125% Fe-efficiency and safflower (Arak2811) with 3.5% Fe-efficiency, respectively. A significant and positive correlation was found between the Fe-efficiency and Zn, Fe and Mn contents and root to shoot translocation of Fe among the studied crops. Large variation was found among the studied crops in shoot and root Zn, Fe and Mn content. The Qods and cross back Roshan wheat genotypes accumulated greater Zn, Fe and Mn in their shoots compared to other genotypes. Higher uptake and root to shoot translocation of microelements in the Fe-efficiency genotypes is an important aspect for biofertilization programs with the aim of improving crop quality.

Keywords: Hydroponic Culture, Iron deficient, Fe-efficiency, Micronutrient, Uptake, Translocation of micronutrient

1,6- PhD Students, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology
(*- Corresponding Author Email: ss_tabatabai@yahoo.com)
2- PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University
3-Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology
4,5,7,8- Former MSc Students, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology