Archive of SID

ارزیابی پاسخ مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های محلی و اصلاح شده برنج ایرانی به کمبود آهن محلول غذایی

علیرضا اسماعیلی‌راد[۱]، محمدحسین اهتمام[۲*] و جمشید رزمجو[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۸)

چکیده

مصرف بالای کودهای فسفر، استفاده از منابع آبی بی‌کربناتی جهت آبیاری و پایین بودن میزان ماده آلی در خاک در اغلب نقاط کشور ما منجر به کمبود آهن در گیاهان است. یکی از راهکارهای مقابله با این مسئله انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود آهن (ژنوتیپ‌های آهن کارآ) یا اصلاح ارقامی با قدرت جذب بیشتر عناصر کم‌مصرف می‌باشد. لذا این مطالعه به‌منظور تعیین حساسیت نسبت به کمبود آهن ۱۲ ژنوتیپ برنج محلی و اصلاح شده ایرانی (طارم محلی، آمل ۲، موسی طارم، غریب، شیرودی، بجار، ندا، نوگوران، جوزدان، سازندگی، زاینده‌رود و کوهرنگ) در دو سطح کودی کلات آهن شامل ۵ میکرومولار (کمبود آهن) و ۵۰ میکرومولار (بدون کمبود آهن) محلول غذایی یوشیدا به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در مرکز کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۲ اجرا گردید. نتایج آزمایش نشان داد میزان آهن، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، وزن خشک کل، سطح برگ، طول و حجم ریشه و تعداد پنجه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر ژنوتیپ، کود آهن و نیز برهمکنش بین آنها قرار گرفت. میانگین وزن خشک کل در ارقام محلی شمال، اصلاح شده شمال و مرکزی ایران در شرایط بدون کمبود آهن به‌ترتیب ۰/۲۱۵، ۰/۱۳۸، ۰/۲۵۵ گرم در هر بوته بود، که این مقادیر در اثر کمبود آهن به‌ترتیب ۲۵/۷، ۳۵/۲ و ۲۳/۰ درصد کاهش یافتند. براساس میزان کاهش وزن خشک گیاه در شرایط کمبود آهن، در بین ژنوتیپ‌های محلی شمال، اصلاحی شمال و مرکزی ایران به‌ترتیب موسی‌طارم، بجار و زاینده‌رود بیشترین تحمل و ژنوتیپ‌های جوزدان، آمل ۲ و شیرودی کمترین تحمل به کمبود آهن را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: کلات آهن، وزن خشک کل، متحمل به کمبود آهن، حساس به کمبود آهن

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hehtemam@cc.iut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

برنج به‌عنوان یکی از مهم‌ترین غلات دنیا، از نظر سطح زیر کشت و تولید در رتبه سوم جهان، تأمین کننده پروتئین و کالری حدود ۴۰ درصد از مردم و یکی از محصولات راهبردی و استراتژیک با سطح زیر کشت حدود ۵۶۳ هزار هکتار در ایران بوده که بعد از گندم مهم‌ترین ماده غذایی مردم را تشکیل می‌دهد (۴، ۶ و ۲۵). آهن یکی از عناصر ضروری ولی کم‌مصرف است که برای رشد طبیعی و تولید گیاهان زراعی مورد نیاز می‌باشد (۳ و ۱۱). به‌دلیل وجود شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، مصرف بالای فسفر در خاک، بی‌کربناتی بودن آب آبیاری و پایین بودن میزان ماده آلی در خاک، اغلب کمبود عناصر کم‌مصرف از قبیل آهن در بعضی مناطق کشور به‌ویژه مناطق مرکزی اتفاق می‌افتد که برای مقابله با این مشکل باید از ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود آهن (ژنوتیپ‌های آهن‌کارآ) و یا از ارقامی با قدرت جذب بیشتر عناصر کم‌مصرف استفاده کرد (۱ و ۱۵). آهن یکی از عناصر مهم در واکنش‌های اکسایش – احیاء در گیاهان بوده و حدود ۸۵ درصد از آهن سلول با کلروپلاست در ارتباط است (۱۸). در شرایط کمبود آهن، تعداد رنگدانه‌های فتوسنتز کننده و مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابد (۱۹). تأمین عناصر غذایی در خاک می‌تواند موجب توازن آن در گیاه و در نهایت افزایش تولید و کیفیت محصول شود. در شرایط مزرعه‌ای و در خاک‌های دارای کمبود آهن، وقتی که سطح خاک خشک است، محلول‌پاشی آهن نسبت به مصرف خاک کاربرد آن مناسب‌تر است. علائم کمبود آهن ابتدا در جوان‌ترین برگ‌ها به‌صورت زردی بین رگبرگی و سرانجام در پهنک برگ به رنگ زرد و حتی سفید بروز می‌کند (۱۷). این نشانه‌ها معمولاً می‌توانند در مراحل مختلف رشد مانند جوانه‌زنی، رشد رویشی و مرحله زایشی در برنج بروز کند (۲۱). تیواری (۲۷) بیان کرد که عنصر آهن یکی از مهم‌ترین عناصری است که در متابولیسم نیتروژن و در نتیجه افزایش سطح برگ گیاه نقش دارد. مارشنر (۱۷) بیان کرد که کمبود آهن در سطح ۲ میلی‌گرم آهن در لیتر، باعث کاهش شدید وزن و طول گیاه، کاهش غلظت آهن در بخش هوایی و بروز علائم نامطلوب زردی گیاه برنج شد. شمالی و همکاران (۲۴) گزارش کردند که کمبود آهن در محلول غذایی (۲ میلی‌گرم در لیتر) موجب کاهش چشمگیر وزن تر و خشک، کلروفیل شده و افزایش غلظت آهن موجب افزایش میزان این عنصر در بخش هوایی و ریشه گیاه برنج می‌شود، به‌طوری‌که تجمع آهن در ریشه بسیار بالاتر می‌باشد. کیانی چلمردی (۱۴) در آزمایش خود بیان کرد کمبود آهن منجر به کاهش وزن خشک و ارتفاع در گیاه برنج شد. حد بحرانی غلظت آهن محلول خاک برای گیاه برنج ۵ میلی‌گرم برگیلوگرم و غلظت آستانه آهن در برگ‌های برنج ۲۰۰ – ۱۰۰ میلی‌گرم درگیلوگرم می‌باشد (۱۶). با توجه به اسیدیته بالا و در نتیجه کمبود آهن در بعضی از اراضی کشور و نیز با توجه به اهمیت روز افزون برنج به‌عنوان ماده غذایی ارزشمند در جیره غذایی انسان، پژوهشی به‌منظور بررسی تحمل به کمبود آهن ۱۲ ژنوتیپ مختلف برنج محلی و اصلاح شده ایرانی در مرحله گیاهچه‌ای و ارزیابی برخی صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی مرتبط با آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان در شرایط دمای ۲۵ تا ۳۲ درجه سلسیوس (میانگین روز ـ شب) و رطوبت نسبی ۷۰ درصد اجرا شد. در این آزمایش پاسخ رشد گیاهچه‌های ۱۲ ژنوتیپ برنج، شامل ژنوتیپ‌های ارقام برنج محلی شمال (طارم محلی، موسی طارم و غریب)، ارقام اصلاح شده شمال (آمل ۲، شیرودی، بجار و ندا) و ارقام مرکزی ایران (محلی نوگوران، جوزدان، سازندگی، زاینده‌رود و کوهرنگ) (جدول ۱) (۲) در دو سطح کودی کلات آهن (تولید شرکت گرین فرتیلیزر ایتالیا با عامل کلات کننده EDDHA حاوی ۶ درصد آهن) شامل ۵ میکرومولار (کمبود آهن) و ۵۰ میکرومولار (آهن معمولی) (۹ و ۲۶) در محلول غذایی یوشیدا به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مشخصات، سال اصلاح و شجره‌نامه ارقام برنج مورد استفاده

ردیف	نام رقم	استان (محل معرفی)	عملکرد (تن در هکتار)	ویژگی‌های عمده رقم	سال اصلاح	شجره نامه
۱	طارم محلی	مازندران (توده بومی است و معرفی نشده است)	۴	پابلند، حساس به ورس و بیماری بلاست، کیفیت پخت عالی	-	توده بومی مازندران می‌باشد
۲	آمل ۲	مازندران	۶/۵	راندمان بالا عملکرد، کوتاهی قد و مقاومت به بلاست	۱۳۵۸	انتخاب از ژنوتیپ‌های ارسالی از مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IR28)
۳	محلی موسی‌طارم	مازندران (توده بومی است و معرفی نشده است)	۴	پابلند، حساس به ورس و بیماری بلاست، کیفیت پخت عالی	-	توده بومی مازندران می‌باشد
۴	محلی غریب	گیلان (توده بومی است و معرفی نشده است)	۴/۴	پابلند، حساس به ورس و بیماری بلاست، کیفیت پخت عالی	-	توده بومی گیلان می‌باشد
۵	شیرودی	مازندران	۷/۵	دارای بازارپسندی و کیفیت مطلوب پخت، مقاوم به آفات و بیماری‌های مهم، عملکرد بالا	۱۳۸۷	حاصل تلاقی خزر × طارم دیلمانی
۶	بجار	گیلان	۷	مقاوم به بیماری بلاست، ارتفاع مناسب ، مقاومت به ورس، زودرس	۱۳۷۲	دم‌سیاه/ IR8 // IR28
۷	ندا	مازندران	۷/۵	عملکرد بالا، مقاوم به ورس	۱۳۷۷	حاصل تلاقی بین سه رقم سنگ طارم، حسن سرایی و آمل ۳، سنگ طارم
۸	محلی نوگوران	اصفهان (توده بومی است و معرفی نشده است)	۵	پابلند، حساس به ورس و بیماری بوته‌میری، کیفیت پخت عالی	-	توده بومی اصفهان می‌باشد
۹	سازندگی	اصفهان	۸/۵	عملکرد بالا، ارتقاع مناسب، کودپذیری بالاتر نسبت به توده محلی	۱۳۷۴	انتخاب از توده محلی برنج نوگران منطقه لنجانات اصفهان
۱۰	زاینده‌رود	اصفهان	۸/۵	عملکرد بالا، ارتقاع مناسب، کودپذیری بالاتر نسبت به توده محلی	۱۳۷۱	انتخاب از توده محلی برنج نوگران منطقه لنجانات اصفهان
۱۱	محلی جوزدان	اصفهان (توده بومی است و معرفی نشده است)	۵	پابلند، حساس به ورس و بیماری بوته‌میری، کیفیت پخت عالی	-	توده بومی اصفهان می‌باشد
۱۲	کوهرنگ	چهارمحال و بختیاری	۶/۵	عملکرد بالاتر از چمپای محلی عطربسیار خوب و کیفیت پخت مطلوب، نسبت به چمپای محلی درصد خرد دانه کمتر و درصد برنج سالم بیشتری دارد	۱۳۷۹	خالص‌سازی توده محلی چمپا منطقه لردگان استان چهارمحال و بختیاری

www.SID.ir

Archive of SID

گرفت. بذر ژنوتیپ‌های مورد نظر از مراکز تحقیقات برنج شمال واقع در شهرستان‌های رشت و آمل و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری تهیه شد. بذور مورد نظر ابتدا به‌وسیله محلول هیپوکلرید سدیم دو درصد ضدعفونی و در سینی‌های پلاستیکی کوچک تا جوانه‌زنی و سبز شدن کامل نگهداری شدند. سپس گیاهچه‌های دو برگی به ظرف‌های پلاستیکی حاوی صفحات یونولیتی منفذدار منتقل شدند. پس از سه روز آب مقطر موجود در ظرف با محلول غذایی تهیه شده براساس روش یوشیدا و همکاران (۲۶) جایگزین و بعد از یک هفته تیمار آهن به گیاهچه‌ها اعمال شد (۱۳ و ۱۴). در طی دوره انجام آزمایش اسیدیته محلول غذایی به‌طور روزانه با استفاده از هیدروکسید پتاسیم و اسید کلریدریک یک نرمال در سطح ۵/۵ ثابت نگه داشته شد. محلول غذایی هر ۷ روز یک‌بار تعویض گردید. ۲۸ روز پس از اعمال تنش کمبود آهن بوته‌های برنج در مرحله پنجه‌زنی برداشت شدند. برای اندازه‌گیری غلظت آهن ریشه و اندام هوایی، از روش هضم تر (۱۰) استفاده شد. بدین‌منظور، ابتدا ۰/۳ تا ۰/۴ گرم از هر نمونه گیاهی توسط ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۱) وزن و درون ظرف هضم ماکروفر ریخته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک (HNO_3)، ۲ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (HCl) و ۵ میلی‌لیتر پروکسید هیدروژن (H_2O_2) به آن اضافه و به‌منظور تماس کامل بافت گیاه با اسید، ظرف به آرامی تکان داده شد. به‌منظور انجام عملیات هضم، ظروف حاوی نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۱/۵ ساعت با قدرت ۹۰ درصد درون دستگاه ماکروفر قرار داده شدند. پس از به اتمام رسیدن عملیات هضم، عصاره حاصل، صاف شده و با آب مقطر در بالن‌های ۲۵ میلی‌لیتری به حجم رسانده شدند. در نهایت، برای اندازه‌گیری غلظت آهن عصاره‌های به‌دست آمده از دستگاه جذب اتمی (مدل PERKIN-ELMER 3030) استفاده گردید. برای این منظور، ابتدا محلول‌های استاندارد مورد نظر به دستگاه داده شد و سپس غلظت عنصر آهن کل در نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. سطح برگ به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیر سطح برگ (Green Leaf Area Tester model GA-5)، عدد کلروفیل یا شاخص سبزینگی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Spad-502)، حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرارگیری ریشه در حجم مشخصی از آب و طول ریشه با خط‌کش میلی‌متری از محل طوقه تا انتهای ریشه‌ها اندازه‌گیری شد (۹). وزن خشک ریشه و اندام هوایی پس از قرار دادن گیاهچه‌ها در داخل آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت با ترازوی دقیق دیجیتالی تعیین گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها و همبستگی صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS و MSTAT-C صورت گرفت. نمودارها با نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین اثرات ساده با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت آهن در بخش هوایی

تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر غلظت آهن در بخش هوایی از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط کمبود آهن محلول غذایی، غلظت آهن در بخش هوایی ژنوتیپ‌های محلی شمال، اصلاحی شمال و مرکزی ایران به‌ترتیب ۳۰/۱، ۳۳/۹ و ۱۱/۶ درصد کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین غلظت آهن در بخش هوایی با ۱۱/۴٪ کاهش نسبت به آهن معمولی به ژنوتیپ کوهرنگ و کمترین غلظت آهن در بخش هوایی با ۴۶/۸٪ کاهش به ژنوتیپ‌های سازندگی و آمل ۲ تعلق داشت (شکل ۱- الف). ویژگی‌های ژنوتیپی که باعث بروز نشانه‌های متفاوت کمبود آهن در ژنوتیپ‌های مختلف می‌شود به توان این گیاهان برای محلول کردن، جذب و مصرف کارآتر و مؤثرتر این عنصر مربوط است (۲۲). کیانی چلمردی و همکاران (۱۳) بیان کردند میزان آهن در تیمارهای صفر و ۲ میلی‌گرم در لیتر آهن به کاهش میزان آهن در بخش هوایی گیاه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس غلظت آهن اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کل ژنوتیپ‌های مختلف برنج تحت دو سطح کودی ۵ و ۵۰ میکرومولار کلات آهن محلول غذایی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		غلظت آهن بخش هوایی	غلظت آهن ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک کل
تکرار	۳	۳۶	۲۴۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
رقم	۱۱	۱۴۲۷۲ **	۳۶۲۸۳۰۵**	۰/۰۲۶**	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۳۴**
کود	۱	۱۲۸۷۸۲ **	۱۵۹۱۳۶۰۴**	۰/۰۵۱**	۰/۰۰۲**	۰/۰۷۲**
رقم × کود	۱۱	۱۹۹۲**	۱۵۹۰۰۸**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۳*	۰/۰۰۱**
خطا	۶۹	۲۶	۱۴۶۴۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۲/۴۱	۵/۷۶	۱۱/۹	۱۳/۲	۱۰/۶

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

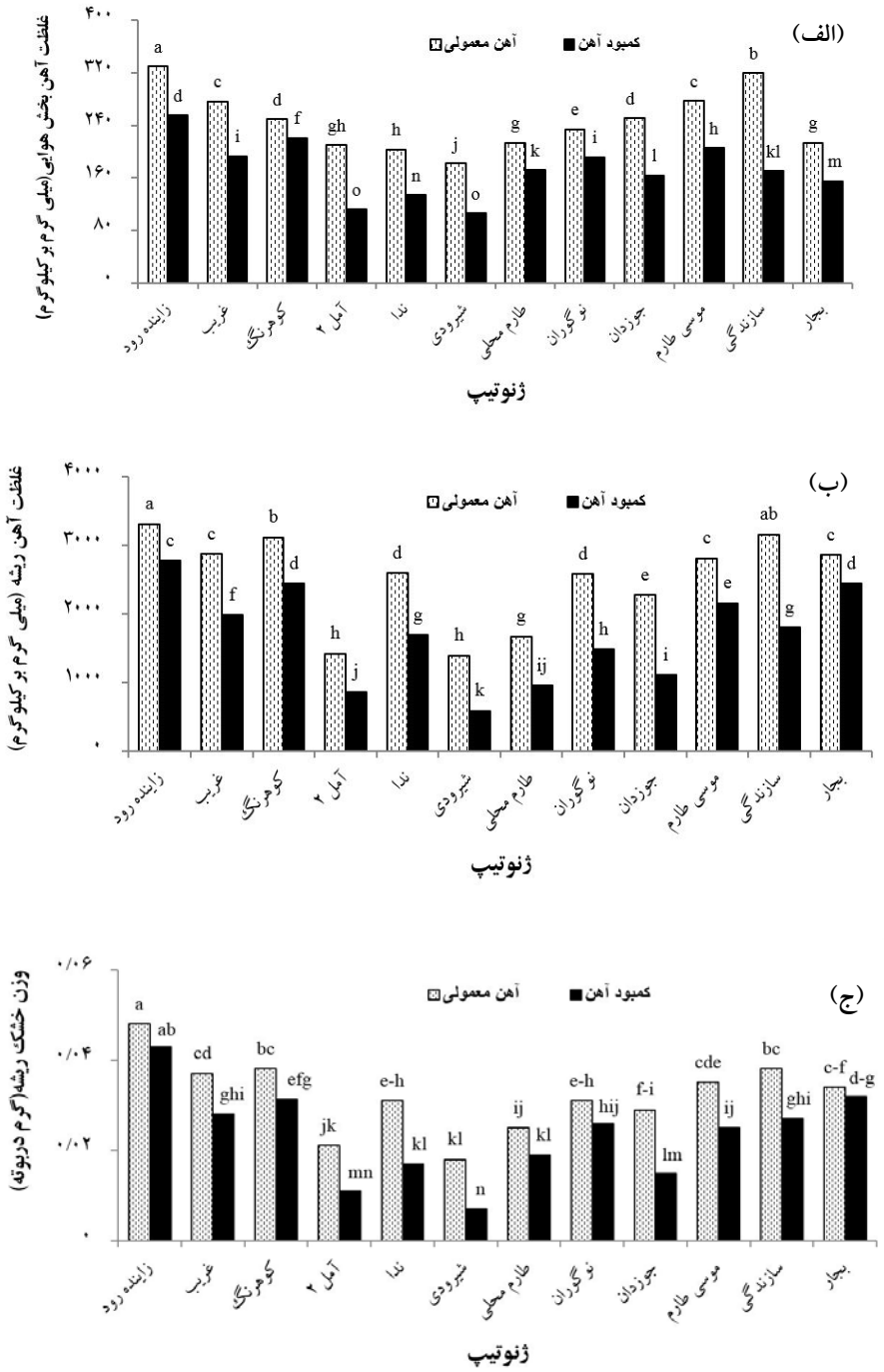
برنج نسبت به تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آهن منجر شد. مارشنر (۱۷) بیان کرد که کمبودآهن در سطح ۲ میلی‌گرم آهن در لیتر، باعث کاهش غلظت آهن در بخش هوایی و بروز علائم نامطلوب زردی گیاه برنج شد. در این مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین وزن خشک کل، سطح برگ و غلظت آهن در بخش هوایی دیده شد (جدول ۳) که ممکن است حاکی از نقش این صفات در زیست‌توده کل و سطح برگ گیاه باشد. در کلروپلاست‌های دارای کمبود آهن سرعت جذب CO_2 فتوسنتزی به‌دلیل کاهش در ظرفیت فتوشیمیایی، کاهش می‌یابد. کاهش کلروفیل و صدمه به انتقال الکترون فتوسنتزی موجب کاهش قندها و کاهش رشد می‌گردد (۱۵).

غلظت آهن در ریشه

تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر غلظت آهن در ریشه از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). ژنوتیپ‌های مرکزی، محلی شمال و اصلاحی شمال به‌ترتیب با ۳۳/۴، ۳۲/۱ و ۳۱/۰ درصد کاهش در این صفت به تنش کمبود آهن پاسخ نشان دادند. ژنوتیپ‌های بجار (۱۴/۴٪) و زاینده‌رود (۱۶/۱٪) بیشترین و ژنوتیپ‌های شیرودی (۵۷/۷٪) و جوزدان (۵۱/۲٪) کمترین درصد کاهش غلظت آهن ریشه را در پاسخ به کمبود آهن از خود نشان دادند (شکل ۱- ب). به‌نظر می‌رسد کارآمدی ژنوتیپ‌های متحمل در مصرف آهن در شرایط کمبود آن نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها به‌علت هم‌افزایی رشد و افزایش سطح جذب توسط ریشه این گیاهان باشد. ویژگی‌هایی که سبب کارآیی برخی ژنوتیپ‌ها در مصرف آهن می‌شود، شامل: توان بیشتر ریشه‌ها در کاهش Fe^{3+} به Fe^{2+} از طریق تولید H^+ و یا آنزیم‌های کاهش دهنده آهن سه ظرفیتی و برهمکنش کمتر با سایر عناصر و تولید کلات‌ها یا ترکیبات ذخیره‌ای و یا فرآیندهای شیمیایی- فتوشیمیایی داخلی که دسترسی به آهن و مصرف آن را تنظیم می‌کنند، می‌باشد (۵). کیانی‌چلمردی و همکاران (۱۳) بیان کردند میزان آهن در تیمارهای صفر و ۲ میلی‌گرم در لیتر آهن به کاهش میزان آهن در ریشه گیاه برنج نسبت به تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آهن منجر شد. ونگ (۲۸) بیان کرد که در گندم در شرایط کمبود آهن (یک میلی‌مولار) نسبت به تیمار شاهد غلظت آهن در ریشه ۴۵ درصد کاهش یافت. در این آزمایش همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح

www.SID.ir

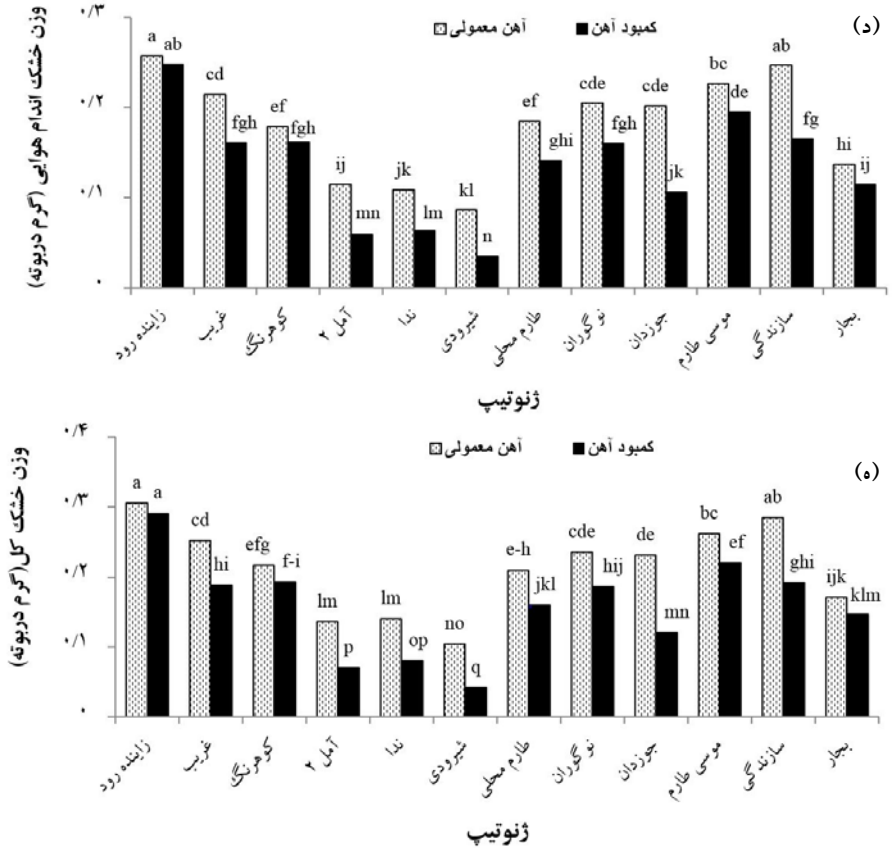
Archive of SID



شکل ۱. تـأثیـر برهمکنش ژنوتیپ و کود بر غلظت آهن در بخش هوایی(الف)، غلظت آهن ریشـه (ب)، وزن خشـک ریشه (ج)، وزن خشک اندام هوایی (د) و وزن خشک کل (ه) در ژنوتیپ‌های مختلف برنج تحت دو سطح کودی ۵ و ۵۰ میکرومولار کلات آهن محلول غذایی. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

www.SID.ir

Archive of SID



ادامه شکل ۱. تأثیر برهمکنش ژنوتیپ و کود بر غلظت آهن در بخش هوایی(الف)، غلظت آهن ریشه (ب)، وزن خشک ریشه (ج)، وزن خشک اندام هوایی (د) و وزن خشک کل (ه) در ژنوتیپ‌های مختلف برنج تحت دو سطح کودی ۵ و ۵۰ میکرومولار کلات آهن محلول غذایی. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۳. ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های برنج در دو سطح کودی ۵ و ۵۰ میکرومولار کلات آهن محلول غذایی

ردیف	صفت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	تعداد پنجه	۱								
۲	طول ریشه	۰/۵۳۴**	۱							
۳	حجم ریشه	۰/۷۱۵**	۰/۴۱۹**	۱						
۴	سطح برگ	۰/۶۹۵**	۰/۴۷۰**	۰/۸۰۹**	۱					
۵	وزن خشک اندام هوایی	۰/۵۷۶**	۰/۴۷۵**	۰/۸۰۸**	۰/۸۶۸**	۱				
۶	وزن خشک ریشه	۰/۷۵۸**	۰/۵۷۶**	۰/۷۵۷**	۰/۷۹۳**	۰/۷۹۰**	۱			
۷	وزن خشک کل	۰/۶۱۷**	۰/۵۰۲**	۰/۸۲۲**	۰/۸۸۰**	۰/۹۹۶**	۰/۸۴۱**	۱		
۸	غلظت آهن اندام هوایی	۰/۷۶۷**	۰/۵۱۷**	۰/۸۶۶**	۰/۸۸۲**	۰/۸۶۸**	۰/۸۱۸**	۰/۸۸۴**	۱	
۹	غلظت آهن ریشه	۰/۷۸۵**	۰/۵۷۰**	۰/۷۱۰**	۰/۷۷۱**	۰/۷۱۶**	۰/۸۸۲**	۰/۷۵۹**	۰/۸۲۳**	۱

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

احتمال یک درصد بین وزن خشک کل و غلظت آهن در بخش هوایی با غلظت آهن در ریشه دیده شد که ممکن است حاکی از نقش صفت غلظت آهن ریشه در زیست‌توده کل و غلظت آهن در بخش هوایی باشد (جدول ۳). در اثر کمبود آهن چون ریشه نتوانسته آهن کافی جذب کند احتمالاً میزان کمتری آهن به بخش هوایی فرستاده که خود باعث کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه شده است، چرا که آهن نقش مستقیمی در فرآیند اولیه فتوسنتز و هم‌چنین زنجیره انتقال الکترون دارد. این نتایج با نتایج طباطبایی و همکاران (۲۶) مطابقت دارد.

وزن خشک ریشه

تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر وزن خشک ریشه از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط شاهد یا کفایت آهن ژنوتیپ‌های زاینده‌رود و شیرودی با میانگین‌های ۰/۰۴۸ و ۰/۰۱۸ گرم در بوته، به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه را داشتند. هم‌چنین در شرایط کمبود آهن ژنوتیپ‌های بجار (۵/۸۸٪) و زاینده‌رود (۱۰/۴٪) کمترین و ژنوتیپ شیرودی (۶۱/۱٪) بیشترین درصد کاهش وزن خشک ریشه را در پاسخ به کمبود آهن از خود نشان دادند. در شرایط کمبود آهن محلول غذایی ژنوتیپ‌های محلی شمال، اصلاحی شمال و مرکزی ایران به‌ترتیب ۲۹/۸، ۳۲/۶ و ۲۲/۸ درصد کاهش یافتند (شکل ۱- ج). شمالی و همکاران (۲۱) در مطالعه خود بر روی گیاه برنج، گزارش کردند که کمبود آهن در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر کاهش چشمگیر وزن ریشه و افزایش غلظت آهن در سطوح بالا موجب افزایش معنی‌دار رشد ریشه شد. در مطالعه ونگ (۲۸) در گندم کمبود آهن باعث کاهش وزن خشک ریشه گندم گردید. در این مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین وزن خشک کل، وزن خشک اندام هوایی و غلظت آهن ریشه با وزن خشک ریشه مشاهده شد که نقش این صفت را در تولید زیست‌توده کل گیاه روشن می‌سازد (جدول ۳). کمبود آهن احتمالاً منجر به کاهش فعالیت پراکسیداز دیواره‌ای ریشه به‌عنوان آنزیم دخیل در بیوسنتز ترکیبات دیواره‌ای سلول مانند لیگنین و سوبرین شده است. با توجه به کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و دخالت آهن در فرآیندهای مهم سلول، برای مثال در تشکیل کلروفیل و رشد کلروپلاست کاهش رشد گیاهان در شرایط کمبود آهن قابل توجیه می‌باشد (۱۳).

وزن خشک اندام هوایی

تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر وزن خشک اندام هوایی از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط شاهد یا کفایت آهن ژنوتیپ‌های زاینده‌رود و شیرودی با میانگین‌های ۰/۲۵۸ و ۰/۰۸۶ گرم در بوته، به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند. حساسیت ژنوتیپ‌های برنج به کمبود آهن متفاوت و میزان کاهش وزن خشک در شرایط کمبود آهن بسته به نوع ژنوتیپ، فرق داشت به‌طوری‌که در شرایط کمبود آهن محلول غذایی، بیشترین وزن خشک ریشه با ۳/۸۷٪ و ۹/۵۰٪ کاهش به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های زاینده‌رود و کوهرنگ و کمترین وزن خشک اندام هوایی با ۵۹/۳۰٪ به ژنوتیپ شیرودی تعلق یافت. هم‌چنین ژنوتیپ‌های مرکزی، محلی شمال و اصلاحی شمال به‌ترتیب با ۲۲/۹، ۲۵/۱ و ۳۵/۸ درصد کاهش به تنش کمبود آهن پاسخ دادند (شکل ۱- د). در این آزمایش ممکن است به‌علت توقف تقسیم سلولی در شرایط کمبود شدید آهن، رشد برگ و در نتیجه وزن خشک اندام هوایی برنج کاهش یافته باشد. در مطالعه حاضر همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین سطح سبز برگ، وزن خشک کل و وزن خشک ریشه با وزن خشک شاخساره وجود داشت که احتمالاً حاکی از نقش این صفات در تولید زیست‌توده بوده است (جدول ۳). در همین راستا بننت و متوسلین (۵ و ۲۰) گزارش کردند که کمبود آهن در گیاه باعث از بین رفتن هم‌زمان کلروفیل و تخریب ساختمان

www.SID.ir

Archive of SID

کلروپلاست شده که خود باعث کاهش فتوسنتز، کاهش میزان کاروتن، افزایش میزان گزانتوفیل و زردی یا به اصطلاح کلروز شده و در نهایت باعث کاهش وزن خشک بخش هوایی در گیاه می‌شود.

وزن خشک کل

تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر وزن خشک کل از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط شاهد یا کفایت آهن ژنوتیپ زاینده‌رود با میانگین ۰/۳۰۶ گرم در بوته بیشترین و ژنوتیپ‌های شیرودی، آمل ۲ و ندا با میانگین‌های ۰/۱۰۴، ۰/۱۳۶ و ۰/۱۴ گرم در بوته کمترین وزن خشک کل را داشتند. در شرایط کمبود آهن محلول غذایی، کمترین درصد کاهش وزن خشک کل با ۴/۹۰٪ و ۱۱/۱٪ به ژنوتیپ‌های زاینده‌رود و کوهرنگ و بیشترین درصد کاهش وزن خشک کل با ۵۹/۶۱٪ به ژنوتیپ شیرودی تعلق داشت. در شرایط کمبود آهن ژنوتیپ‌های مرکزی، محلی شمال و اصلاحی شمال به‌ترتیب ۲۳/۰، ۲۵/۷ و ۳۵/۲ درصد کاهش یافتند (شکل ۱- ه). آهن نقش مستقیمی در فرآیند اولیه فتوسنتز یعنی تبدیل انرژی الکتروشیمیایی به انرژی شیمیایی (ATP) و هم‌چنین زنجیره انتقال الکترون دارد. بنابراین کمبود آهن، سبب افت شدید فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه می‌شود (۷). هم‌چنین بنت (۵) بیان کرد که آهن به‌عنوان عامل همراه (Co-Factor) در تعدادی از آنزیم‌ها و عوامل کاهش دهنده در فرآیندهای اصلی مربوط به سوخت‌وساز گیاه شامل فتوسنتز، تنفس، حفاظت سلولی و تثبیت نیتروژن دخالت دارد. با توجه به این گزارشات کاهش وزن خشک کل گیاه در اثر کمبود آهن قابل توجیه است. مارشنر (۱۷) بیان کرد که کمبود آهن در سطح ۲ میلی‌گرم آهن در لیتر، باعث کاهش شدید وزن خشک گیاه برنج شد. در این مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین وزن خشک گیاهچه و غلظت آهن اندام هوایی با صفت وزن خشک کل نشان داده شد که حاکی از نقش بسیار مهم این صفات در تولید زیست‌توده کل گیاه می‌باشد. هم‌چنین با سایر صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). وجود همبستگی‌های مذکور مؤید این مطلب است که صفات غلظت آهن با وزن خشک بسیار به هم وابستگی داشته به‌طوری‌که احتمالاً افزایش جذب آهن منجر به بهبود تولید ماده خشک وافزایش محتوای آهن در گیاه شده است. این نتایج با نتایج طباطبایی و همکاران (۲۶) مطابقت دارد.

سطح برگ

تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آنها در سطح احتمال ۵ درصد بر سطح سبز برگ از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۴). کمبود آهن محلول غذایی کاهش سطح برگ ارقام مختلف را به‌دنبال داشت که این کاهش در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود. در شرایط شاهد یا کفایت آهن ژنوتیپ‌های زاینده‌رود و سازندگی با میانگین‌های ۶/۶ و ۶/۳۵ و ژنوتیپ‌های شیرودی و آمل ۲ با میانگین‌های ۵ و ۵/۲ به‌ترتیب بیشترین و کمترین سطح برگ را داشتند. میزان کاهش سطح سبز برگ ژنوتیپ‌های مختلف در اثر کمبود آهن متفاوت بود. ژنوتیپ‌های شیرودی، آمل ۲ و جوزدان با ۲۰، ۲۰/۲ و ۱۹/۷ درصد کاهش بیشترین و ژنوتیپ‌های زاینده‌رود و کوهرنگ با ۲/۲۷ و ۵/۸۳ درصد، کمترین درصد کاهش سطح سبز برگ را در پاسخ به تنش کمبود آهن از خود نشان دادند (شکل ۲- الف). عنصر آهن یکی از مهم‌ترین عناصری است که در متابولیسم نیتروژن و در نتیجه افزایش سطح برگ گیاه نقش دارد (۲۷). تقسیم سلولی در شرایط کمبود شدید آهن متوقف شده، موجب کاهش رشد برگ می‌شود. مشخص‌ترین علامت کمبود آهن در گیاه، ممانعت از تکامل کلروپلاست برگ است (۱۱). در آزمایش عشقی‌زاده و همکاران (۸) کمبود آهن سبب کاهش سطح برگ گیاهان هیبرید ذرت شیرین ۴۰۴، هیبرید ذرت دانه‌ای ۵۰۰، گلرنگ رقم S-۳۱۱۰، گلرنگ رقم S-۴۱۱، آفتابگردان رقم

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تعداد پنجه، طول ریشه، حجم ریشه و سطح برگ ژنوتیپ‌های مختلف برنج تحت دو سطح کودی ۵ و ۵۰ میکرومولار کلات آهن محلول غذایی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تعداد پنجه	طول ریشه	حجم ریشه	سطح برگ
تکرار	۳	۰/۰۰۲	۰/۸۹	۰/۰۰۷	۰/۰۸۲
رقم	۱۱	۰/۹۷**	۸۲/۰**	۰/۱۲۹**	۲/۶۵**
کود	۱	۷/۴۳**	۱۰۲**	۰/۴۵۳**	۱۲/۵**
رقم × کود	۱۱	۰/۱۸**	۳/۶۷**	۰/۰۰۸**	۰/۲۲۴*
خطا	۶۹	۰/۰۰۷	۱/۲۱	۰/۰۰۳	۰/۱۱۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۳	۹/۰۱	۱۱/۸	۶/۱۶

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

هایسون و گندم دوروم رقم شوگا شد. به‌طوری‌که بیشترین کاهش سطح برگ مربوط به هیبرید ۴۰۴ ذرت شیرین بود.

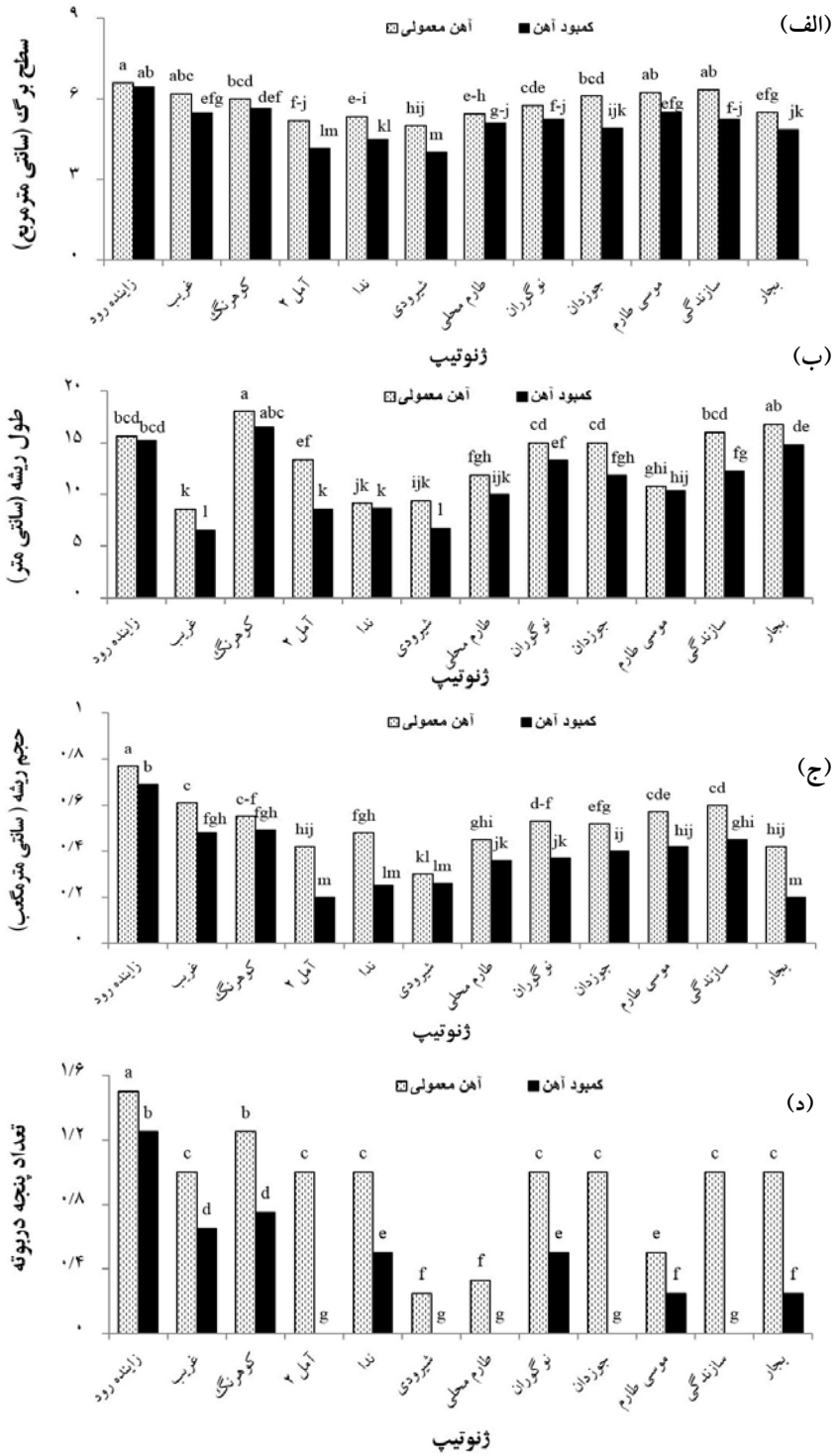
براساس مقایسه میانگین‌ها در این صفت ژنوتیپ‌های اصلاحی شمال بیشترین درصد کاهش را با (۱۵/۷٪) در مقایسه با ژنوتیپ‌های محلی شمال (۱۲/۵٪) و مرکزی (۱۰/۷٪) از خود نشان دادند (شکل ۲- الف). در مطالعه حاضر همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین وزن خشک گیاهچه، وزن خشک کل و غلظت آهن اندام هوایی با سطح سبز برگ دیده شد و هم‌چنین با سایر صفات مورد بررسی در پژوهش همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). چون عنصر آهن در بیوسنتز کلرفیل دخالت دارد احتمالاً با کمبود آهن تولید کلروفیل کاهش و در نتیجه فتوسنتز، متابولیسم، تقسیم سلولی و سطح سبز برگ نیز کاهش پیدا کرده که باعث کاهش وزن خشک گیاه شده است. نتایج پژوهش خوشگفتارمنش مؤید این مطلب می‌باشد (۱۰).

طول ریشه

در این مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین وزن خشک کل و غلظت آهن ریشه با طول ریشه دیده شد (جدول ۳). کمبود آهن افزون بر کاهش کارایی فتوسنتز، کاهش تعداد برگ و به‌دنبال آن کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه برنج را نیز به‌دنبال داشت، احتمالاً برآیند این روند تأثیر خود را بر رشد ریشه و ویژگی‌های آن نظیر طول ریشه نشان داده است. این نتایج با نتایج عشقی‌زاده و خوشگفتارمنش مطابقت دارد (۹). تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر طول ریشه از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در شرایط شاهد یا کفایت آهن ژنوتیپ‌های کوهرنگ و بجار با میانگین‌های ۱۸ و ۱۶/۸ سانتی‌متر و ژنوتیپ‌های غریب، ندا و شیرودی با میانگین‌های ۸/۶، ۹/۱۲ و ۹/۳۷ سانتی‌متر به‌ترتیب بیشترین و کمترین طول ریشه را داشتند. ژنوتیپ‌های آمل ۲ و غریب به‌ترتیب ۳۵/۷ و ۲۴/۴ درصد بیشترین و ژنوتیپ‌های زاینده‌رود (۲/۲۷٪) و کوهرنگ (۸/۳۳٪) کمترین درصد کاهش طول ریشه را در پاسخ به تنش کمبود آهن از خود نشان دادند. در شرایط کمبود آهن طول ریشه در ژنوتیپ‌های محلی شمال، اصلاحی شمال و مرکزی ایران به‌ترتیب ۲۰/۴، ۱۴/۶ و ۱۳/۳ درصد کاهش داشت (شکل ۲- ب). عشقی‌زاده و خوشگفتارمنش (۹) در مطالعه بر روی پاسخ چهار دو رگه ذرت به کمبود آهن در محلول غذایی گزارش کردند تأثیر کمبود آهن بر طول ریشه بسته به نوع هیبرید متفاوت بود و دو رگه ۵۰۰ بیشترین و دو

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. تأثیر برهمکنش ژنوتیپ و کود بر سطح برگ (الف)، طول ریشه (ب)، حجم ریشه (ج) و تعداد پنجه (د) در ژنوتیپ‌های مختلف برنج تحت دو سطح کودی ۵ و ۵۰ میکرومولار کلات آهن محلول غذایی. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

www.SID.ir

Archive of SID

رگه ۷۰۰ کمترین کاهش رشد ریشه را در شرایط کمبود آهن دارا بودند.

حجم ریشه

همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین وزن خشک گیاهچه، وزن خشک کل و غلظت آهن اندام هوایی با صفت حجم ریشه مشاهده شد که احتمالاً حاکی از نقش این صفت درغلظت آهن اندام هوایی و زیست‌توده کل گیاه می‌باشد (جدول ۳). در اثر کمبود آهن علاوه بر کاهش کارایی فتوسنتز، کاهش تعداد برگ و به‌دنبال آن کاهش سطح فتوسنتز کننده و در نهایت وزن خشک گیاه برنج نیز اتفاق افتاده است که احتمالاً برآیند این روند تأثیر خود را بر رشد ریشه و ویژگی‌های آن نظیر حجم ریشه نشان داده است. این نتایج با نتایج عشقی‌زاده و خوشگفتارمنش مطابقت دارد (۹). تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر حجم ریشه از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در شرایط شاهد یا کفایت آهن ژنوتیپ زاینده‌رود با میانگین ۰/۷۷ سانتی‌متر مکعب و ژنوتیپ شیرودی با میانگین ۰/۳ سانتی‌متر مکعب به‌ترتیب بیشترین و کمترین حجم ریشه را داشتند. ژنوتیپ‌های آمل ۲ (۵۲/۴٪) و بجار (۵۲/۴٪) بیشترین و ژنوتیپ‌های زاینده‌رود (۱۰/۴٪) و کوهرنگ (۱۰/۹٪) کمترین درصد کاهش حجم ریشه را در پاسخ به تنش کمبود آهن از خود نشان دادند. ژنوتیپ‌های محلی شمال، اصلاحی شمال و مرکزی ایران به‌ترتیب با ۲۸/۷، ۴۱/۰ و ۱۹/۲ درصد کاهش در صفت حجم ریشه به کمبود آهن (۵ میکرومولار) پاسخ نشان دادند (شکل ۲- ج). احتمالاً ساختار ریشه در بین گونه‌های گیاهی و ارقام مختلف داخل یک گونه، متفاوت بوده و یکی از عوامل مؤثر بر توان جذب و نیز کارایی تغذیه‌ای گیاهان می‌باشد. نشان داده شده که ارقام روی کارآمد گندم، سطح ریشه گسترده‌تری در خاک داشته و نسبت ریشه‌های ریز در آنها بیشتر است. ریشه‌های نازک‌تر سبب افزایش سطح ریشه شده و از این طریق قابلیت استفاده از روی و سایر عناصر غذایی به‌ویژه عناصر غیر پویا را افزایش می‌دهند (۱۲). عشقی‌زاده و خوشگفتارمنش (۹) گزارش کردند که کمبود آهن تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر حجم ریشه دورگه‌های ذرت داشت، به‌طوری‌که منجر به کاهش حدود ۲/۸۳ برابری آن شد.

تعداد پنجه

همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال یک درصد بین غلظت آهن اندام هوایی، غلظت آهن ریشه و وزن خشک کل با صفت تعداد پنجه مشاهده شد که احتمالاً حاکی از نقش این صفت در غلظت آهن اندام هوایی و ریشه و در نهایت زیست‌توده کل گیاه می‌باشد (جدول ۳). احتمالاً تأثیر تغذیه آغازه‌های پنجه‌ها و نگهداری آنها از نظر مواد غذایی کافی، امکان دست‌یابی به تعداد پنجه مطلوب در گیاه را فراهم می‌کند. وجود عناصر غذایی کافی در مرحله پنجه‌زنی در گیاه برنج و تداوم آن، وضعیت تولید ماده خشک گیاهی را بهبود می‌بخشد و در نتیجه مرگ و میر پنجه‌ها کمتر می‌شود. نتایج پژوهش کیانی‌چلمردی و همکاران مؤید این مطلب می‌باشد (۱۳). تأثیر کود آهن محلول غذایی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها برتعداد پنجه از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در شرایط شاهد یا کفایت آهن ژنوتیپ‌های زاینده‌رود و کوهرنگ با میانگین‌های ۱/۵ و ۱/۲۵ و ژنوتیپ‌های شیرودی و طارم محلی با میانگین‌های ۰/۲۵ و ۰/۳۳ به‌ترتیب بیشترین و کمترین تعداد پنجه را داشتند. ژنوتیپ‌های آمل ۲، شیرودی، طارم محلی، جوزدان و سازندگی (۱۰۰٪) بیشترین و ژنوتیپ زاینده‌رود (۱۶/۶٪) کمترین درصد کاهش تعداد پنجه را در پاسخ به تنش کمبود آهن از خود نشان دادند. ژنوتیپ‌های محلی شمال، اصلاحی شمال و مرکزی ایران به‌ترتیب با ۶۸/۲، ۶۶/۷ و ۵۶/۵ درصد کاهش در صفت تعداد پنجه به کمبود آهن (۵ میکرومولار) پاسخ نشان دادند (شکل ۲- د). کیانی‌چلمردی و همکاران (۱۳) در مطالعه خود گزارش کردند که تعداد پنجه در تیمارهای صفر و ۲ میلی‌گرم در لیتر آهن نسبت به تیمار ۱۰

www.SID.ir

Archive of SID

میلی‌گرم در لیتر، در گیاه برنج کاهش معنی‌دار پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد تنوع ژنتیکی قابل توجهی از نظر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک مورد مطالعه در شرایط آهن معمولی و کمبود آهن محلول غذایی در بین ژنوتیپ‌های برنج ایرانی مشاهده شد. هم‌چنین در بین ژنوتیپ‌های اصلاح شده شمال، محلی شمال و مرکزی ایران نیز تنوع چشم‌گیری در پاسخ به تنش کمبود آهن وجود داشت. در مقایسه با اندام هوایی، ریشه گیاه برنج به کمبود آهن حساس‌تر بوده و با سرعت بیشتری به تنش پاسخ داد. به‌علت توقف تقسیم سلولی در شرایط کمبود شدید آهن، در ارقام مورد مطالعه گیاه برنج رشد برگ و زیست‌توده کل کاهش یافتند. با توجه به اهمیت وزن خشک گیاه در ایجاد قابلیت لازم برای تولید عملکرد اقتصادی و زراعی یک محصول، میزان کاهش این صفت به‌عنوان شاخص اصلی ارزیابی تعیین حساسیت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به کمبود آهن در نظر گرفته شد. لذا براساس میزان کاهش وزن خشک گیاه در شرایط کمبود آهن، در بین ژنوتیپ‌های محلی شمال، اصلاحی شمال و مرکزی ایران به‌ترتیب موسی‌طارم، بجار و زاینده‌رود بیشترین تحمل و ژنوتیپ‌های جوزدان، آمل ۲ و شیرودی کمترین تحمل به کمبود آهن را نشان دادند. به‌نظر می‌رسد که بتوان از تنوع ژنتیکی مشاهده شده در توسعه تحمل به کمبود آهن ارقام برنج ایرانی و نیز در راستای مدیریت زراعی تولید برنج در شرایط کمبود آهن بهره‌برداری کرد.

منابع مورد استفاده

1. Ai-Qing, Z., B. Qiong-Li, T. Xiao-Hong, L. Xin-Chun and W. Jeff Gale. 2011. Combined effect of iron and zinc on micronutrient levels in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Environmental Biology* 32: 235-239.
2. Alinia, F., M. Z. Nouri and M. Hosseini. 2015. Booklet of Revolution in Rice Production through Introduction of High-Yield Varieties. (Under Publication). (In Farsi).
3. Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2th Ed. Published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.
4. Anonymous. 2012. Agricultural Statistics. (VI, the Crop Production in 2010 and 2011). Agriculture Ministry. Planning and Economic Management. The Office of Statistics and Information Technology, Tehran, Iran. pp. 132.
5. Bennett, J. H., R. A. Olsen and R. B. Clark. 1982. Modification of soil fertility by plant roots: Iron stress- response mechanism. *Plant Physiology* 13: 1-4.
6. Chaker-Al-Hossaini, M., R. Mohtashami Vah and R. Oliyayi. 2009. The evaluation of quantity, source, and the method of zinc fertilizer consumption effects on rice, cv. Cheram, quantitative and qualitative traits. *Journal of Research in Agricultural Science* 5: 33-43. (In Farsi)
7. Chen, Y. and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advances in Agronomy* 35: 217-240.
8. Eshghizadeh, H., A. H. Khoshgoftarmanesh, A. Ashrafi, A. H. Moallem, N. Porsakhi, N. Pour ghasemian, M. Gorji and A. Miladi. 2008. Iron-efficiency of some crops in solution culture media. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 46: 655-664. (In Farsi)
9. Eshghizadeh, H., A. H. Khoshgoftarmanesh, P. Ehsanzadeh and M. Kafi. 2011. The response of four maize hybrids to Iron and Zinc deficiency in nutrient solution under condition of soilless culture. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 57: 159-168. (In Farsi)
10. Khoshgoftarmanesh, A. H. 2006. Evaluation of Plant Nutrition Status and Optimum Fertilizer Management. Isfahan University of Technology Press. Isfahan. (In Farsi).
11. Khoshgoftarmanesh, A. H. 2007. The Principle of Plant Nutrition. Isfahan University of Technology Press. Isfahan. (In Farsi).
12. Khoshgoftarmanesh, A. H. 2010. The Advanced Topics in Plant Nutrition. Isfahan University of Technology Press. Isfahan. (In Farsi).
13. Kiani Chelmardi, Z., A. Abdolzadeh and H. Sadeghipour. 2012. The evaluation of effects of silicon nutrition on alleviation of iron deficiency in rice plants (*Oriza sativa* L.) with emphasis on growth and antioxidant enzymes activity. *Journal of Plant Biology* 14: 61-74. (In Farsi).

www.SID.ir

Archive of SID

14. Kiani Chelmardi, Z., A. Abdolzadeh and H. Sadeghipour. 2014. The growth stimulation; increased amount of Iron, Potassium and cell wall ingredients using silicon in rice under iron deficiency condition. *Iran Agronomy Research Bulletin* 12: 65-72. (In Farsi).
15. Malakouti, J., M. Gheybi and M. Tehrani. 2005. The Role of Micronutritions on Yield Increase and Improvement of Crop Quality. The University of Tehran Press. (In Farsi).
16. Malakouti, M. J., P. Keshavarz and N. Karimiyan. 2008. A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable a griculture . Tarbiat Modarres University Publication. Tehran. (In Farsi).
17. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition Academic Press New York. 89: 313-323.
18. Mengel, K. and E. A. Kirby. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Justus Liebig University, Giessen, German Federal Republic.
19. Morales, F., A. Abadia and J. Abadia. 1995. Characterization of the xanthophylls cycle and other photosynthetic pigment changes induced by iron deficiency in sugar beet. *Plant Physiology* 94: 607-613.
20. Motevaselin, R. 2003. The effects of iron deficiency on growth and photosynthesis of tomato Lycopersicon esculentum Mill. MSc. Thesis. The faculty of science, the department of Biology. The University of Kharazmi. Tehran, Iran.
21. Sahrawat, K. L. 2004. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1471-1504.
22. Sharma, S. 2007. Adaptation of photosynthesis under iron deficiency in maize. *Journal of Plant Physiology* 164: 1261-1267.
23. Shomali, R., A. Abdolzadeh, GH. Hadadchi and H. Sadeghi Pour. 2007. The effect of different potassium and iron concentration on growth, ion contents and some biochemical parameters in rice (Var. Tarem). *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 4: 64-77. (In Farsi).
24. Shomali, R., A. Abdolzadeh., G. R. Haddadchi and H. R. Sadeghipou. 2008. Effect of different potassium and iron concentration on growth, ion contents and some biochemical parameters in rice. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 14: 64-77.
25. Sleper, D. A. and J. M. Poehlman. 2006. Breeding Field Crops. 6th Edition. VanNostrand Reinhold Company. New York.
26. Tabatabaee, S. S., A. Razazi, A. H. Khoshgoftarmanesh, N. Khodaeian, Z. Mehrabi, E. Asgari, SH. Fathian and F. Ramezanzadeh. 2011. Effect of Fe-deficiency on uptake, concentration and translocation of Fe, Zn, Mn in some plants with different Fe-efficiency in hydroponics culture. *Journal of Water and Soil* 25: 728-735. (In Farsi).
27. Tewari, R. K., P. Kumar and P. N. Sharma. 2005. Sing of oxidative stress in the chlorotic leaves of iron starved plants. *Plant Science* 169: 1037-1045.
28. Wong, H. M. 2009. Probing the interactions between iron nutrition, salinity and ultraviolet-B radiation on the physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) PhD. Dissertation. The University of Lincoln. Ellesmere, New Zealand.
29. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.

www.SID.ir