نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۵، آذر –دی ۱۳۹۶، ص. ۱۴۳۱-۱۴۲۳

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 5, Nove.-Dec. 2017, p. 1423-1431

بررسی کارآیی مصرف و کودپذیری آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم

پیمان کشاورز[1*]- مجید فروهر[2]- مسعود دادیور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲

چکیده

شناخت و تمایز ارقام عنصرکارآ و کودپذیر از یکدیگر برای کاشت در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک و سیستم‌های کشاورزی پر نهاده ضروری است. در کشاورزی ارگانیک ژنوتیپ‌های عنصر کارآ به دلیل کودپذیری پایین در اولویت انتخاب قرار دارند، در حالی‌که در کشاورزی پر نهاده و پر تولید، ارقام پرمحصول انتخابی، معمولا کودپذیری بالایی دارند. به منظور شناخت و تمایز ژنوتیپ‌های گندم آهن کارا و کودپذیر از یکدیگر، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (طرق) طی سال‌های۹۱-۱۳۸۹ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۶ ژنوتیپ گندم (گونه‌های گندم تریتیکاله و دوروم (رقم بلیخ – ۲) و ارقام الوند، فلات، C75-5 و طوس) و دو مقدار مصرف آهن (صفر و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کلات Fe-EDDHA) بود. نتایج نشان داد مصرف آهن به طور میانگین، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ($P< 0.05$) به میزان ۹/۹ درصد نسبت به شاهد گردید. در بین ژنوتیپ‌های گندم، بیشترین افزایش عملکرد در گندم دوروم به میزان ۱۷/۱ درصد) و کمترین آن در گندم رقم طوس (به میزان ۴/۱ درصد) بدست آمد. در اثر مصرف آهن، تغییر غلظت آهن در دانه، علی‌رغم ۵/۷ درصد افزایش، از نظر آماری معنی‌دار نگردید. ولی جذب آهن در دانه گندم به میزان ۱۶/۴ درصد افزایش معنی‌داری یافت ($P< 0.01$). کارایی مصرف آهن در ژنوتیپ های مختلف گندم به صورت: طوس و فلات> تریتیکاله> الوند> C75-5 >دوروم بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: آهن کارا، تریتیکاله، دوروم، عناصر کم مصرف، کارآیی زراعی

مقدمه

در بیش از ۳۰ درصد خاک‌های زراعی دنیا فقر آهن یک مشکل اساسی محسوب می‌شود (۱ و ۱۲). کمبود این عنصر در اراضی تحت کشت غلات علاوه بر کاهش عملکرد دانه، کیفیت تغذیه‌ای غلات تولید شده را کاهش داده و اختلالات تغذیه‌ای کمبود آهن را در جوامع بشری مصرف کننده غلات به دنبال خواهد داشت. بر این اساس، بیش از ۲ بیلیون نفر از جمعیت جهان دچار اختلالات تغذیه‌ای کمبود آهن هستند (۳۴).

در ایران نیز کمبود آهن در خاک‌ها به دلیل آهکی بودن، pH بازی، فقر مواد آلی و همچنین بی‌کربناته بودن آب‌های آبیاری، گسترش زیادی دارد. طبق بررسی‌های انجام شده، ۳۷ تا ۴۰ درصد از مزارع تحت کشت گندم آبی ایران دچار کمبود شدید آهن می‌باشند (۳ و ۳۰). در چنین شرایطی حصول به عملکرد مطلوب کمی و کیفی دانه، مستلزم مصرف مقادیر زیادی از کودهای شیمیایی است که به نوبه خود تخریب ساختمان خاک، بهم خوردن تعادل عناصر غذایی و آلودگی محیط زیست را به دنبال خواهد داشت (۱۵، ۱۶ و ۳۳).

برای اجتناب از خسارت‌های فزاینده‌ی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، شناخت گونه‌ها و یا ارقامی از محصولات زراعی که از نظر مصرف عناصر غذایی کارآمد هستند از اهمیت بسزایی برخوردار است. گیاهان عنصر کارا یا گیاهان با کارایی بالای مصرف یک عنصر غذایی، نیاز خود به آن عنصر غذایی را از دو طریق برطرف می‌کنند. این گیاهان ممکن است دارای ساز و کارهای قوی برای جذب عنصر از خاک باشند و یا توانایی خوبی در انتقال و به‌کارگیری عنصر در داخل گیاه داشته باشند. تغییر ریخت‌شناسی ریشه، برقراری روابط همزیستی با ریزجانداران، ترشح کلات‌ها و ترکیب‌های احیاء کننده در ریزوسفر (به عنوان ابزاری برای جذب بهتر عنصر از خاک) و تغییر در فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه (به عنوان ابزاری برای انتقال و به‌کارگیری بهتر عنصر در داخل گیاه) از جمله راهبردهای افزایش کارایی مصرف محسوب می‌شوند (۲۱).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و مربیان پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: P.keshavars@areeo.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v31i5.62545

ژنوتیپ‌های گندم آهن کارا، قابلیت رشد بهتر و تولید عملکرد بالاتری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود آهن دارا می باشند (۴). ویژگی‌هایی نظیر توان بیشتر ریشه‌ها درکاهش آهن سه ظرفیتی به آهن دو ظرفیتی از طریق تولید H^+ و یا احیاکننده‌های آهن سه ظرفیتی، برهمکنش کمتر با فسفر، کلسیم، آلومینیوم، مس، روی، مولیبدن و سایر عناصر سنگین همچنین تولیدکلات‌ها یا دارا بودن ترکیب‌های ذخیره‌ای و اعمال برخی فرآیندهای شیمیایی- فتوشیمیایی داخلی که دسترسی به آهن و مصرف آن را تنظیم می کنند، سبب کارآمدی بعضی ژنوتیپ‌ها در مصرف آهن می‌شود (۸). مطالعات نشان می‌دهد که گندمیان، فیتوسیدروفورها راکه شامل اسیدهای آمینه غیرپروتئینی است، در محلول خاک ترشح می‌کنند. فیتوسیدروفورها با یون‌های آهن سه ظرفیتی کمپلکس آهن- فیتوسیدروفور تشکیل داده و قابلیت دسترسی آهن را بهبود می‌بخشند (۲۳).

بر اساس نتایج تحقیقات مختلف، بین ژنوتیپ‌های گندم، از نظرکارایی آهن تفاوت‌های آشکاری وجود دارد (۱۶). در مقایسه با ژنوتیپ‌های آهن ناکارآ، ژنوتیپ‌های آهن کارا معمولا عکس‌العمل کمتری نسبت به مصرف کود نشان می‌دهند و کودپذیری کمی دارند (۱۷). شناخت و تمایز ژنوتیپ‌های عنصر کارآ و کودپذیر از یکدیگر، از عوامل ضروری و مؤثر در اتخاذ راهبرد مناسب کشت و کار و از آن جمله، انتخاب رقم و مدیریت کوددهی مناسب می‌باشد. در این راستا، تحقیق حاضربه مقایسه گونه‌ها و ارقام گندم از لحاظ کارایی مصرف آهن و کودپذیری (نسبت به کود آهن) پرداخته و اثرات این عنصر را بر عملکرد دانه و غلظت آهن در دانه این ژنوتپ‌ها بررسی می‌نماید.

مواد و روش‌ها

به منظور شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌های مختلف گندم از نظر کارایی مصرف آهن و تعیین کودپذیری آنها، آزمایشی به صورت فاکتوریل با دو فاکتور ژنوتیپ گندم و مقدار آهن در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (طرق) طی دو سال زراعی ۹۱-۱۳۸۹ انجام گردید. ژنوتیپ‌های گندم شامل گونه‌های گندم دوروم (رقم بلیخ- ۲) و تریتیکاله و ارقام گندم نان الوند، طوس، فلات و لاین C75-5 و مقدار آهن در دو سطح صفر و ۱۰ کیلوگرم در هکتار مصرف خاکی کلات آهن ۶ درصد با بنیان EDDHA بود (معادل با صفر و ۰/۳ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک). میزان آهن قابل جذب خاک با استفاده از روش لیندزی و نورول (۲۰)، کمتر از ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.کربن آلی خاک به روش هضم تر، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسید و تیتراسیون برگشتی با سود، فسفر قابل استفاده به روش السن عصاره گیری و با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. پتاسیم قابل استفاده، با استات آمونیم نرمال در پ هاش ۷، عصاره‌گیری و با دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شد (۱۹). عناصر میکرو قابل استفاده (آهن، روی، منگنز و مس) به روش لیندزی و نورول عصاره‌گیری (۲۰) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. آهن برگ و دانه، با هضم خاکستر آن‌ها در اسید کلریدریک ۲ نرمال، عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (۲۵)

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Some physical and chemical properties of the experimental soil (0-30 cm)

Soil Texture بافت خاک	Cu ava مس قابل استفاده	Mn ava منگنز قابل استفاده	Fe ava آهن قابل استفاده	Zn ava روی قابل استفاده	K ava پتاسیم قابل استفاده	P ava فسفر قابل استفاده	ECe هدایت الکتریکی	pHe پ هاش	O.C کربن آلی	T.N.V کربنات کلسیم معادل
	mgkg^{-1}						dSm^{-1}			%
لومی سیلتی Silt Loam	0.7	3.4	2.4	0.52	180	7.2	1.4	8.1	0.48	18.7

pH در گل اشباع و EC در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد

طول هر کرت آزمایشی ۹ متر و عرض آن ۳/۶ متر در نظر گرفته شد. به جز آهن، سایر عناصر غذایی ضروری، بر اساس توصیه‌های مبتنی بر آزمون خاک در تمامی کرت‌ها بصورت یکسان مصرف شد. مقدار بذر مصرفی برای هر کرت با توجه به وزن هزار دانه هر ژنوتیپ و بر اساس تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع، محاسبه و قبل از کاشت، با قارچکش ویتاواکس به نسبت ۲ در هزار ضدعفونی شد. سپس توسط دستگاه بذرکار تحقیقاتی غلات کشت شد. علف‌های هرز بصورت دستی کنترل گردید. یک سوم کل اوره مورد نیاز، در هنگام کاشت و

مابقی به صورت سرک در دو مرحله انتهای پنجه‌دهی و ابتدای خوشه‌دهی مصرف شد. به منظور تعیین غلظت و جذب آهن در اندام هوایی در مرحله رشد رویشی GS6 در مقیاس فیکس (ابتدای ساقه رفتن و ظهور اولین گره ساقه) نمونه‌برداری از کل اندام هوایی انجام شد. بعد از برداشت و تعیین عملکرد دانه بر اساس روابط زیر اقدام به محاسبه کارایی آهن در ارقام و گونه‌های گندم گردید.

گراهام و همکاران (۱۳) کارایی عناصر غذایی را بر حسب عملکرد نسبی یک ژنوتیپ در خاک فقیر، در مقایسه با عملکرد آن در شرایط تغذیه مطلوب را بر اساس رابطه ۱ تعریف نمودند.

$$\text{کارایی مصرف} = \frac{\text{عملکرد دانه در تیمار شاهد } (Fe_0)}{\text{عملکرد دانه در تیمار کودی } (Fe_1)} \times ۱۰۰ \quad \text{[رابطه ۱]}$$

کراس ول و گودوین (۹) نوع دیگری از کارایی را بصورت تولید اقتصادی بدست آمده به ازای هر واحد عنصر غذایی مصرف شده تعریف نمودند و آنرا با استفاده از رابطه ۲ محاسبه نمودند. [رابطه ۲]

$$\text{کارایی زراعی (کودپذیری)} = \frac{\text{عملکرد دانه در شاهد}(Fe_0) - \text{عملکرد دانه در تیمار } Fe_1)}{\text{مقدار کود مصرف شده (کود آهن)}}$$

رائون و جانسون (۲۸)، نوع دیگری از کارایی تحت عنوان کارایی بازیافت را بر حسب مقدار عنصر غذایی جذب شده به ازای هر واحد عنصر غذایی مصرف شده بر اساس رابطه ۳ محاسبه نمودند.

رابطه [۳]

$$\text{کارایی بازیافت} = \frac{\text{(جذب (آهن) در دانه شاهد - جذب (آهن) در دانه تیمار)}}{\text{مقدارعنصر (آهن) مصرف شده}}$$

نتایج و بحث

باتوجه به اینکه آزمون بارتلت یکنواختی واریانس‌ها را برای هر یک از متغیرهای مورد اندازه‌گیری در طی دو سال آزمایش تأیید کرد، تجزیه مرکب دو ساله داده‌ها برای هر یک از متغیرها انجام شد. در زیر نتایج تجزیه مرکب دو ساله داده‌ها ارائه شده است.

تأثیر مصرف آهن بر عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم

مصرف آهن به طور میانگین سبب افزایش عملکرد دانه گندم به میزان ۹/۹ درصد نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). بیشترین افزایش عملکرد ناشی از مصرف آهن در گندم دوروم و ارقام C75-5 و الوند به ترتیب با ۱۷/۱ و ۱۳/۰ و ۱۱/۷ درصد و کمترین آن از ارقام طوس، فلات و گندم تریتیکاله بترتیب برابر با ۴/۱، ۴/۹ و ۸/۸ درصد بدست آمد. افزایش عملکرد ناشی از مصرف آهن در گندم دوروم ۴/۲ برابر رقم طوس بود. همانتارانجان و گراگ (۱۸) نشان دادند که آهن با تأثیر بر کلروفیل برگ، موجب افزایش معنی‌داری در اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد. آنها همچنین اعلام نمودند که مقدار کلروفیل a و b در اثر مصرف آهن افزایش می‌یابد. افزایش مقدار کلروفیل موجب افزایش مقدار فتوسنتز شده که این امر موجب تولید ماده خشک و عملکرد بیشتری می‌گردد. ضیائیان و ملکوتی (۳۵) گزارش نمودند که مصرف آهن، عملکرد دانه و کلش گندم را به ترتیب ۸ و ۱۰ درصد افزایش داد.

میانگین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مختلف گندم (اثر اصلی رقم) نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان داد، به طوری‌که بیشترین عملکرد از گندم تریتیکاله با ۷۹۹۹/۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار از رقم C75-5 برابر با ۵۹۱۷/۷ کیلوگرم در هکتار بدست آمد.

غلظت آهن در اندام هوایی

جدول ۳ نشان می‌دهد که میانگین اثر مصرف آهن بر غلظت آهن در اندام هوایی ژنوتیپ‌های گندم اگرچه افزایشی است ولی معنی‌دار نیست.

جدول ۲- اثر مصرف آهن (Fe) بر عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم (آزمون دانکن α =0.05)

Table 2- Effect of iron use on grain yield of wheat genotype (Duncan's multiple range test)

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه ($Kgha^{-1}$) Grain yield			درصد افزایش عملکرد دانه Grain yield increase percentage
	-Fe	+Fe	میانگین Mean	
دوروم Durum	5855.6 ef	6860.8 cd	6358.2 c	17.1
تریتیکاله Thriticosecale	7661.1 b	8338.1 a	7999.6 a	8.8
الوند Alwand	6263.6 de	6996.0 c	6629.8 bc	11.7
فلات Falat	6809.8 cd	7145.1 bc	6977.5 b	4.9
C75-5	5556.5 f	6279.0 de	5917.7 d	13.0
طوس Toos	6533.5 cd	6799.8 cd	6666.6 bc	4.1
Mean	6446.6	7069.8**		9.9

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

با این وجود بیشترین افزایش غلظت آهن در اندام هوایی مربوط به گندم تریتیکاله (۷ درصد افزایش) و کمترین آن در گندم دوروم (۱/۴ درصد) می‌باشد. دامنه کفایت غلظت آهن در بافت گیاهی گندم معمولا بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک می‌باشد (۶ و ۲۹). در مقادیر کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، شاهد بروز کمبود آهن خواهیم بود (۲۶).

جدول ۳- غلظت آهن در اندام هوایی در ژنوتیپ‌های گندم در مرحله ابتدای ساقه رفتن (GS6) آزمون دانکن (α= 0.05)

Table 3- Iron concentration in shoot of wheat genotypes at stem elongation stage (Duncan's multiple range test)

ژنوتیپ Genotype	غلظت آهن اندام هوایی Concentrationof Fe in shoot($mgkg^{-1}$)			افزایش غلظت آهن (درصد) Increase of Fe Concentration (%)
	- Fe	+ Fe	Mean	
Durumدوروم	128.8 b	130.6 b	129.7 b	1.4
Thriticosecaleتریتیکاله	137.6 ab	147.3 a	142.5 a	7.0
Alwandالوند	133.1 b	137.6 ab	135.4 ab	3.4
Falatفلات	133.8 b	137.8 ab	135.8 ab	3.0
C75-5	134.6 ab	141.0 ab	137.8 ab	4.7
Toosطوس	135.5 ab	138.5 ab	137.0 ab	2.2
Mean	133.9	138.8 ns		3.6

nsدر سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست

با تأمل در جداول ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود که در ارقام گندم طوس و فلات، کوددهی آهن تأثیری بر غلظت آهن در برگ و عملکرد دانه نداشته است. یا به عبارت دیگر این دو رقم قادر به تأمین آهن مورد نیاز خود در شرایط بدون کوددهی هستند. در ارقام دوروم، تریتیکاله، الوند و C75-5 کوددهی آهن نیز اگرچه تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن برگ نداشته ولی عملکرد دانه را بطور معنی‌داری ($P<0.05$) افزایش داده است. این عدم همخوانی ظاهری تغییرات غلظت آهن در برگ با تغییرات عملکرد دانه می‌تواند به سبب اثر رقت رخ داده باشد. به عبارت دیگر کوددهی آهن علاوه بر افزایش عملکرد دانه، سبب افزایش رشد اندام هوایی و جذب بیشتر آهن نیز شده است ولی اثر رقت حاصل از افزایش رشد اندام هوایی سبب ثابت ماندن مقدار آهن در واحد وزن اندام هوایی شده است.

غلظت و جذب آهن در دانه

مصرف آهن موجب افزایش میانگین غلظت آهن در دانه به میزان ۵/۷ درصد گردید ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). با این وجود بیشترین افزایش غلظت آهن در اثر مصرف این عنصر در دانه، مربوط به گندم دوروم و به میزان ۱۷/۸ درصد بود.

همچنین مقایسه ژنوتیپ‌های گندم در ارتباط با جذب آهن توسط دانه نشان می‌دهد که گندم تریتیکاله دارای بیشترین میزان جذب آهن برابر با ۳۳۹/۶ گرم در هکتار و گندم C75-5 دارای کمترین مقدار جذب آهن برابر با ۲۶۰/۳ گرم در هکتار می‌باشد. در اثر مصرف آهن در ارقام مختلف گندم، میانگین جذب آهن دانه، به مقدار۱۶/۴ درصد ($P<0.01$) افزایش یافت. بیشترین افزایش جذب آهن در دانه، مربوط به گندم دوروم با ۳۸/۱ درصد افزایش و کمترین افزایش جذب آهن در دانه مربوط به رقم طوس با ۵/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آهن) بود. ضیائیان و ملکوتی (۳۵) گزارش نمودند که بر اثر مصرف آهن، غلظت و جذب آن در دانه گندم به ترتیب ۱۵ و ۲۵ درصد افزایش می‌یابد.

کیفیت غذایی دانه گندم، شامل وضعیت غلظت عناصر کم مصرف در آن، موضوع مشترک مورد توجه متخصصان کشاورزی و تغذیه می‌باشد (۳۲). گاوالکو و همکاران (۱۱) در یک بررسی سه ساله روی نمونه‌های گندم گردآوری شده از مزارع گندم کانادا، دریافتند که عوامل خاکی از گزینه‌های اصلی مؤثر در کنترل غلظت عناصر کم مصرف در دانه گندم هستند. مک‌گرات (۲۲) اختلافات ناچیزی بین ارقام مختلف گندم از لحاظ غلظت عناصر کم‌مصرف در دانه، گزارش کرد. این در حالی است که دکمن و همکاران (۱۰)، مورگانف و همکاران (۲۴) و چاتزاف (۷) تفاوت‌های بارزی بین ارقام مختلف گندم ملاحظه کردند. در پژوهش‌های انجام شده روی ۸۱ ژنوتیپ گندم، غلظت آهن دانه بین ۴۱/۴ تا ۶۶/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود (۲).

دامنه کفایت غلظت آهن در دانه گندم بین ۲۵ تا ۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک دانه گزارش شده است (۶ و ۲۹). این در حالی است که بر اساس اظهارات گراهام و همکاران (۱۴) غلظت تأثیرگذار آهن بر سلامت افراد جامعه، ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک دانه گندم می‌باشد.

جدول ٤- اثر مصرف آهن بر غلظت و جذب آهن در دانه ژنوتیپ های گندم

Table 4- Effect of iron use on iron concentration and uptake in grain of wheat genotypes

ژنوتیپ Genotype	غلظت آهن Fe Concentration (mg kg^{-1})			افزایش غلظت آهن در دانه (٪) Increase of Fe concentration in grain	جذب آهن در دانه Fe Uptake in grain(gha^{-1})			افزایش جذب آهن در دانه (٪) Increase of Fe uptake in grain (%)
	- Fe	+ Fe	Mean		-Fe	+ Fe	Mean	
Durumدوروم	44.8 ^{ab}	52.8 ^{a}	48.8 ^{a}	17.8	262.3 ^{cd}	362.2 ^{a}	312.2 ^{a}	38.1
Thriticosecaleتریتیکاله	41.0 ^{b}	43.8 ^{ab}	42.8 ^{a}	6.8	314.1 ^{bc}	365.2 ^{a}	339.6 ^{a}	16.2
Alwandالوند	45.5 ^{ab}	48.3 ^{ab}	46.9 ^{a}	6.1	284.9 ^{bcd}	337.9 ^{abc}	311.4 ^{a}	18.6
Falatفلات	45.1 ^{ab}	46.1 ^{ab}	45.6 ^{a}	2.2	307.1 ^{bcd}	329.3 ^{ab}	318.2 ^{a}	7.2
C75-5	44.0 ^{ab}	44.0 ^{ab}	44.0 ^{a}	0	244.4 ^{d}	276.2 ^{bcd}	260.3 ^{b}	13.0
Toosطوس	42.5 ^{ab}	43.0 ^{ab}	42.7 ^{a}	1.1	277.6 ^{bcd}	292.3 ^{abc}	284.9 ^{ab}	5.3
Mean	43.9	46.2 ^{ns}		5.7	282.2	326.6 **		16.4

کارایی آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم

کارایی مصرف، کارایی زراعی (اقتصادی یا کودپذیری) و کارایی بازیافت آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در جدول ۵ نشان داده شده است. به طوری‌که ملاحظه می‌گردد ارقام گندم فلات، طوس و همچنین گندم تریتیکاله دارای کارایی مصرف آهن بالاتر از ۹۰ درصد بوده و در دسته ارقام با کارایی مصرف بالای آهن قرار می‌گیرند. در مقابل گندم دوروم با کارایی مصرف ۸۱/۰۲ درصد کمترین کارایی را در مقایسه با سایر ارقام گندم دارد. کارایی زراعی آهن (کودپذیری) در ژنوتیپ‌های مختلف نیز در گندم دوروم بیش از سایر ارقام بوده و کمترین کارایی زراعی مربوط به ارقام گندم فلات و طوس می‌باشد. به عبارت دیگر به ازاء مصرف هر کیلوگرم کود آهن در هکتار، ۱۳۰/۲ کیلوگرم دانه در گندم دوروم تولید شده است. نتایج مربوط به کارایی بازیافت آهن در ژنوتیپ های مختلف نیز نشان دهنده آن است که بیشترین کارایی بازیافت مربوط به رقم دوروم با ۱۶/۶۵ درصد بوده و سایر ارقام گندم مورد مطالعه در این آزمایش بطور کلی دارای کارایی بازیافت کمتری برای آهن می‌باشند.

جدول ۵ -کارایی مصرف، زراعی و بازیافت آهن در زنوتیپ‌های گندم

Table 5- Iron use efficiency, agronomic efficiency and apparent recovery efficiency wheat genotypes

ژنوتیپ Genotype	کارایی مصرف Use Efficiency (٪)	کارآیی زراعی (کودپذیری) Agronomic Efficiency (kgkg^{-1})	کارایی بازیافت ظاهری Apparent Recovery Efficiency (٪)
Durumدوروم	81.02	130.22	16.65
Thriticosecaleتریتیکاله	91.80	67.70	8.51
Alwandالوند	89.50	73.24	8.83
Falatفلات	95.30	33.53	3.70
C75-5	88.40	72.25	5.30
Toosطوس	96.00	26.63	2.45

راحمی و همکاران (۲۷)، در یک تحقیق گلخانه‌ای با سه رقم گندم فلات، پیشتاز و پارسی، مشاهده‌کردند که در رقم فلات با افزایش آهن، جذب، عملکرد رویشی و نسبت ریشه به اندام هوایی افزایش یافت و در بین این سه رقم، رقم فلات کارایی کمتری در جذب آهن داشت.

در تحقیق انجام شده توسط شی و همکاران (۳۱)، هیچ همبستگی معنی‌داری بین غلظت آهن دانه و کارآیی آهن در مراحل اول رشد وجود نداشت. بررسی‌های بیشتر توسط آن‌ها نشان داد که

اصلی‌ترین عامل مؤثر در کارایی مصرف آهن، جذب آهن بوده و این عامل نیز بیشتر تحت تأثیر سطح ریشه بوده است.

پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با کارایی عناصر کم‌مصرف در خانواده گرامینه نشان می‌دهد که این کارآیی بیشتر متأثر از توانایی گیاه برای جذب این عناصر از خاک است، تا تحرک مجدد آن‌ها در درون گیاه (۱۳). در ارتباط با گندم، ساز و کارهایی نظیر ریخت‌شناسی ریشه، تلقیح میکروبی، ترشح فیتوسیدروفورهای متحرک کننده آهن و تفاوت در جذب، ممکن است در افزایش آهن کارایی دخالت داشته باشند (۵). کاکماک و همکاران (۵) اظهار داشتند که آزاد شدن فیتوسیدروفورها از ریشه گیاهان خانواده گرامینه که به استراتژی دو (II) مشهور است، در شرایط کمبود آهن صورت می‌گیرد. این موضوع در تحمل ژنوتیپ‌های گندم به کمبود آهن دخالت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

ژنوتیپ‌های مختلف گندم مورد بررسی در این تحقیق، توانایی های متفاوتی در جذب و مصرف آهن داشتند. در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق، ارقام طوس، فلات و گندم تریتیکاله کارایی آهن بالاتری داشتند. این ارقام ضمن داشتن کارایی بالای مصرف آهن، عملکردهای بالای دانه را نیز به خود اختصاص داده‌اند.

منابع

1- Aciksoz S.B., Yazici A., Ozturk L., and Cakmak I. 2011. Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers. Plant and Soil. (349):215-225.
2- Badakhshan H., Namdar M., Mohammadzadeh H., and Mohammadi R. Z. 2013. Genetic variability analysis of grains Fe, Zn and beta-carotene concentration of prevalent wheat varieties in Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences.(6):57-62.
3- Balali M.R., Malakouti M.J., Khademi Z., and Mashayekhi H.H. 1999. The effects of micronutrients on the increase of yield, and determination of their critical level in irrigated wheat in Iran. Journal of Soil and Water (Special Issue, Wheat), 12(6):111-119. (In Persian with English abstract).
4- Behl K.R., Osaki M., Wasaki J., Watanabe T., and Shinano T. 2003. Breeding wheat for zinc efficiency improvement in semi-arid climate- A review. Tropics. (12): 295-312.
5- Cakmak I., Sari N., Marschner H., Yilmaz M., Ekiz S., and Gulut K.Y. 1996. Dry matter production and distribution of zinc in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. Plant and Soil. (180): 173-181.
6- Cakmak I., Pfeiffer W.H., and McClafferty B. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. Cereal Chemistry. 87(1): 10-20.
7- Chatzav M., Peleg Z., Ozturk L., Yazici A., Fahima T., Cakmak I., and Saranga Y. 2010. Genetic diversity of grain nutrients in wild emmer wheat: potential for wheat improvement. Annals of Botany.(105).1211-1220.
8- Clark R.B. 1983. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. Plant and Soil.(72): 175-196.
9- Craswell E.T., and Godwin D.C. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. Advances in Plant Nutrition.
10- Dikeman E., Pomeranz Y., and Lai F.S. 1982. Mineral and protein contents in hard red winter wheat. Cereal chemistry. 59(2): 139-142.
11- Gawalko E.J., Garret R.G., and Nowicki T.W. 2001. Trace elements in western Canadian hard red spring wheat (*Triticum aesativum* L.): Levels and quality assurance. The Journal of AOAC International (84): 1953-1963.
12- Gayomba S.R., Zhai Z., Jung H.I., and Vatamaniuk O.K. 2015. Local and systemic signaling of iron status and its interactions with homeostasis of other essential elements. Frontiers in Plant Science. (6):716.
13- Graham R.D., Ascher J.S., and Hynes S.C. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotype for soils of low zinc sastus. Plant and Soil. (146): 241-250.
14- Graham R.D., Welch R.M., Saunders D.A., Ortiz-Monasterio I., Bouis H.E., Bonierbale M., Haan S., Burgos G., Thiele G., Liria R., Meisner C.A., Beebe S.E., Potts M.J., Kadian M., Hobbs P.R. Gupta R., and Twomlow S. 2007. Nutritious subsistence food systems. Advanced in Agronomy. (92): 1-72
15- Kalayci M., Torun B., Eker S., Aydin M., Ozturk L., and Cakmak I. 1999. Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivation grown in a zinc– deficient calcareous soil in field and greenhouse. Field Crop Research.(63): 87-98.
16- Khoshgoftarmanesh A.H., Razizadeh E.S., Eshghizadeh H.R., Sharifi H.R., Savaghebi GH., Afiuni D., and Tadaionnejad M. 2012. Comparison of different spring wheat genotypes based on their response to iron fertilization in a calcareous soil. Jornal of Water and Soil Science - Isfahan University. 15 (58):99-107.
17- Hajiboland R., Yang X.E., Romheld V., and Neumann G. 2005. Effect of bicarbonate on elongation and distribution of organic acids in root and root zone of Zn-efficient and Zn-inefficient rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Environmental and Experimental Botany.(54): 163-173.
18- Hemantaranjam A., and Grag O.K. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of T*riticum*

aestivum L. Journal of Plant Nutrition. (11):1439-1450.
19- Klute A. 1986. Method of soil analysis, part I: Chemical and microbiologicalmethods. Madison, Wiscansin USA
20- Lindsay W. L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. (42): 421–428
21- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants 2nd Academic press. 890P. Newyork.
22- McGrath S.P. 1985. The effects of increasing yield on the macro and microelement concentration and offtakes in the grain of winter wheat. Journal of the Science of Food and Agriculture.(36):1073-1083
23- Mendoza A.B. 1999. Absorption and assimilation of iron in plant. Departamento De Horticultura, Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Translation by Roger Miller. Available in electronic address: http://home.infinet.net/teban/iron/ironw.html.
24- Morgounov A., Gomez-Becerra H.F., Abugalieva A., Dzhunusova M., Yessimbekova M., Muminjanov H., Zelenskiy Y., Ozturk L., and Cakmak I. 2007. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. Euphytica.(155):193–203.
25- Paye A.L., Miler R.H., and Keeney D.R. 1984. Method of soil analaysis. Part II. SSSA Inc.
26- Pervaiz Z., Hussain K., Kazmi S.S.H., Gill K.H., and Sheikh A.A. 2003. Iron requirement of barani wheat. International Journal ofAgricultureand Biology. (5):608-610.
27- Rahemi S., Khorassani R., and Halajnia A. 2014. Uptake efficiency of iron in different wheat varieties. Journal of Water and Soil. (28), No: 3: 556-564. (In Persian with English abstract)
28- Raun W.R., and Johnson G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. (91):357-363.
29- Rengel Z., Batten G.D., and Crowley D.E. 1999. Agronomic approaches for improving the micronutrient density inedible portions of field crops. Field Crops Research(60):27-40.
30- Shahbazi K., and Besharati H. 2013. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Journal Management System. 1(1): 1-15. (In Persian with English abstract).
31- Shi R.L., Zhang F.S., and Zou C.Q. 2010. Iron efficiency of different wheat genotypes and its main contributed factor. Plant Nutrition and Fertilizer Science. 16(6): 1306-1311.
32- Svecnjak Z., Jenel M., Bujan M., Vitali D., and Dragojevic I.V. 2013. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. Agricultural and Food Science. (22): 445-451.
33- Tinker P. B., and Lauchli A. 1984. Advances in plant nutrition. Academic Pub., Dordrecht, the Netherlands.
34- Velu G., Ortiz-Monasterio I., Cakmak I., Hao Y., and Singh R.P. 2014. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. Jornal of Cereal Science. 59(3): 365-372.
35- Ziayeian A., and Malakouti M.J. 1999. The Performance of wheat in some strongly calcareous soil supplemented with Fe, Mn, Zn and Cu in greenhouse. Journal of Soil and Water (Special Issue, Wheat), 12(6):75-86. (In Persian with English abstract).

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 5, Nove.-Dec. 2017, p. 1423-1431

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۶، ص. ۱۴۳۱- ۱۴۲۳

Application and Fertilization Efficiency of Iron in Some Wheat Genotypes

P. Keshavars[*1]- M. Forouhar[2]- M. Dadivar[3]

Received: 13-03-2017
Accepted: 13-08-2017

Introduction: World cereal demand is growing at present in accordance with the global expansion of human populations. Deficiency of micronutrients in cereal cropping is one of the major worldwide problems. Beside of lowering grain yield, it may cause some healthy problems in human populations. Iron is an essential micro element in the soil that mainly had been found as the insoluble (Ferric or Fe^{3+}) form. Although ferric iron is relatively insoluble in water, the solubility of total inorganic iron decreases between pH of 7.4 to 8.5 range which is dominant in calcareous soils. It is estimated that nearly half of the world population is affected from Fe deficiency problem. Major reason for widespread occurrence of Fe deficiency in human populations is very little dietary diversity and high consumption of cereal-based foods with very low amount and poor availability of Fe. Bread wheat is the most widely grown cereal grain with 65% (6.5 million hectares) of the total crop cultivated area in calcareous soils of Iran. Most wheat cultivars currently used have been selected for high yields under optimum fertilizer conditions. Consequently, research is needed to select efficient genotypes that will grow and produce under conditions of lower fertilizer input or soil micronutrients deficiencies. This is especially true for the expansion of wheat cultivation which is often growing in calcareous soil of Iran. These soils are characterized with low fertility, high pH value, low organic matter content and low micronutrients availability. Environmental concerns in wheat production for human population indicate that to improve wheat quality and quantity, the zero or possible lowest amounts of chemical fertilizers would be applied. In this regard, the use of iron-efficient genotypes that have also high yield can be considered as a key strategy.

Materials and Methods: In order to investigate Fe efficiency in various wheat genotypes, a factorial experiments a randomized complete block design was carried out with three replications in agricultural and natural resource research and education center of Khorasan Razavi province, Mashhad (Torough Station), Iran, during 2009-2011. Treatments were consisted of two levels of Fe fertilizer (0 and 10 kg h^{-1} as Fe-EDDHA) and six genotyps of wheat including: three cultivars and one line of bread wheat (Alvand, Falat, Toos, and C75-5, respectively), two species of wheat known as Thriticosecale and Durum. The trial plots's size was 9×3.6 (32.4 m^2). According to the results of soil analysis, total nitrogen, available forms of phosphorus and potassium were 0.05%, 7.2, and 180 mg kg^{-1}, respectively. DTPA extractable of iron, zinc, manganese and copper were 2.4, 0.52, 3.4 and 0.7 mg kg^{-1}, respectively. Soil texture was silt loam. Soil organic carbon percentage and equivalent $CaCO_3$ percentage (T.N.V) were 0.48% and 18.7%, respectively. The electrical conductivity (EC) and pH measured in saturated extract were 1.4 dSm^{-1} and 8.1, respectively. At defined phonological stage (SG6 based on Fix's Index), the Fe concentration in shrub was measured. Moreover, grain yield and Fe uptake by grain were determined at the end of ripening stage. Iron use efficiency, agronomic efficiency and apparent recovery efficiency were calculated and studied as dependent variables.

Results and Discussion: The grain yield is the most integrative trait of a particular genotype. The results showed that Fe application increased significantly grain yield by 9.9% in comparison with control. In our research the highest grain yield increase due to Fe application was found in Durum wheat (17.1%), and the lowest grain yield increase, were found in Toos cultivar (4.1% yield increase). Application of Fe increased Fe concentration and uptake in grain about 5.7% and 16.4%, respectively. In terms of iron uptake by grain, Thriticosecale wheat and C75-5 cultivar had the highest (339.6 g ha^{-1}) and the lowest amounts of Fe uptake (260.3 g ha^{-1}), respectively. Also, application of Fe had no significant effects on Fe concentration in shoot. Fe use efficiency in bread wheat genotype, Durum and Thriticosecale wheat was ranked as: Durum < C75-5 < Alvand < Triticale< Falat < Toos. According to our research results, Toos and Falat cultivars and Thriticosecale have higher iron use efficiency than Alvand and C75-5 cultivars and Durum wheat. The results also suggest that to obtain higher yield in Durum wheat, soil and foliar application of Feis more necessary in comparison with other genotypes especially Toos and Falat.

1, 2 and 3- Associate Professor and Instructors of Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: P.keshavars@areeo.ac.ir)

Conclusion: There were various abilities to uptake and use Fe by different wheat genotypes. Fe-efficient genotypes of wheat were Toos and Falat also Triticale. Moreover, these genotypes also had higher grain yield.

Keywords: Durum, Agronomic efficiency, Iron Efficient, Microelement , Thriticosecale