نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۸۹، ص. ۱۵۳-۱۴۵

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 1, Mar-Apr 2010, p. 145-153

# کارایی روی در ارقام متفاوت گندم در یک خاک آهکی دچار کمبود روی

فرهاد مشیری[۱] - محمد معز اردلان[۲*] - محمد مهدی طهرانی[۳] - غلامرضا ثواقبی[۴]

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۱۲
تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۳

## چکیده

به دلیل حاکمیت شرایط آهکی در خاک، کمبود روی یک عامل محدود کننده تولید گندم در ایران محسوب می‌شود. یکی از راه های مقابله با این مشکل، کاشت ارقامی است که کارایی جذب روی بیشتری داشته باشند. در این تحقیق تفاوت ده رقم گندم (نه رقم گندم نان و یک رقم گندم دوروم) نسبت به کمبود روی در گلخانه مطالعه شد. دو سطح روی (صفر و ۱۰ میلی گرم روی در کیلوگرم خاک) در چهار تکرار به کار رفت. در آزمایش دیگر، ترشح فیتوسیدروفر از ریشه دو رقم گندم با کارایی روی متفاوت (حاصل از نتایج آزمایش گلخانه‌ای) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که علائم کمبود روی از قبیل ظهور لکه های کم رنگ و نکروزه و کاهش ارتفاع گیاه در ارقام الوند، مهدوی و دوروم بیشتر بود. در شرایط کمبود روی، وزن خشک اندام هوایی در اغلب ارقام کاهش یافت. میزان کارایی روی ارقام بین ۸۰/۴ و ۱۰۶/۲ درصد متغیر بود. ارقام پیشتاز و داراب بیشترین کارایی روی و ارقام الوند و مهدوی کمترین کارایی روی را داشتند. کاربرد روی، غلظت روی را در اندام هوایی تمام ارقام افزایش داد. جذب روی در ارقام مختلف در شرایط کمبود و کفایت روی متفاوت بود. به طور متوسط، ارقامی که کارایی روی بیشتری داشتند، کارایی بیشتری نیز در جذب روی داشتند. حساسیت متفاوت ارقام همبستگی خوبی با غلظت روی در اندام هوایی نداشت. در مقابل، مقدار کل روی در اندام هوایی رابطه بهتری با حساسیت ارقام نسبت به کمبود روی داشت. در شرایط کمبود روی، توانایی متفاوت ارقام گندم در ترشح فیتوسیدروفر مشاهده شد. پیشتاز به عنوان رقم روی کارا فیتوسیدروفر بیشتری نسبت به رقم الوند با کارایی روی کمتر تولید کرد. جذب بیشتر روی در ارقام روی کارا می‌تواند به آزادسازی بیشتر فیتوسیدروفر از ریشه آنها وابسته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ارقام گندم، روی کارایی، غلظت روی، جذب روی، فیتوسیدروفر

## مقدمه

کمبود روی در خاکها به خصوص در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک به عنوان یک عامل محدود کننده تغذیه‌ای محسوب می‌شود (۳۰) در مطالعه‌ای که توسط سازمان خواروبار و کشاورزی (FAO) انجام شد، نشان داده شده است که در حدود ۳۰ درصد از خاکهای تحت کشت دنیا دچار کمبود روی می‌باشند (۲۸). حدود ۵۰ درصد از خاک هایی که برای تولید غلات در دنیا استفاده می‌شود مقدار روی قابل استفاده کمی دارند (۱۳). کمبود روی در خاک های تحت کشت گندم در ایران حدود ۴۰ درصد تخمین زده می‌شود (۱۱).

pH بالا، وجود کربنات کلسیم زیاد و بافت سنگین خاک به همراه مقدار کم مواد آلی و رطوبت خاک از جمله عوامل کاهش قابلیت استفاده روی برای گیاهان محسوب می‌شود (۹). کمبود روی در گیاهان نه تنها تولید دانه را کاهش می‌دهد، بلکه ارزش غذایی دانه را نیز کم می‌کند. کمبود روی در انسان نیز یک مساله تغذیه ای متداول است ( ۱۳ و۳۳). اختلاف بین گونه های غلات و بین ارقام یک گونه در پاسخ به کمبود روی شناخته شده است (۴، ۸ و ۱۱) گندم از جمله غلاتی است که در آن اختلاف در پاسخ ارقام نسبت به کمبود روی زیاد است (۹ و ۱۱). دلیل این تفاوت ژنتیکی بین ارقام گندم و همچنین بین گونه های مختلف گیاهی هنوز به خوبی شناخته نشده است (۶). تعدادی از سازوکارهای دخیل در کارایی روی شامل اختلاف در مورفولوژی ریشه، آلودگی ریشه توسط میکوریزا، ترشح فیتوسیدروفرهای کمپلکس کننده روی از ریشه، جذب و انتقال روی به اندام هوایی مورد بررسی قرار گرفته اند (۱۲).

ریشه های گندم در شرایط کمبود روی فیتوسیدرفر ترشح می‌کنند

۱- دانشجوی دکتری خاکشناسی و عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب،
۲و۴ – به ترتیب استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
(* - نویسنده مسئول: Email: mardalan@ut.ac.ir)
۳- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب

(۵، ۳۲ و۳۴). به علاوه، به نظر می رسد که ارقام روی کارای گندم مقدار بیشتری از فیتوسیدروفرها را برای افزایش تحرک اشکال کم محلول روی، ترشح می‌کنند (۵ و۶). فیتوسیدروفرها، ظرفیت بالایی برای تشکیل پیوند با آهن و روی و افزایش تحرک آنها در خاک‌های آهکی دارند (۳۱). نوع غالب فیتوسیدروفر ترشح شده از ریشه گندم (2-deoxymugineic acid, DMA) در شرایط کمبود روی و آهن مشابه می‌باشد (۵ و۲۲).

در آزمایشات کوتاه مدت، تحت شرایط کنترل شده، ارقام گندم با روی کارایی بیشتر نرخ جذب روی بیشتری نسبت به ارقام با روی کارایی کمتر داشتند (۸، ۲۱ و۲۲). رنگل و ویل (۲۵) نشان دادند که در شرایط کمبود روی، ارقام روی کارای[1] گندم نان حداکثر جذب خالص روی (Imax) بیشتری نسبت به ارقام روی ناکارای[2] گندم داشتند. حداکثر جذب خالص روی نشان دهنده ظرفیت جذب توسط ریشه است. به عبارت دیگر ارقام روی کارا ظرفیت و توان بیشتری برای جذب روی توسط ریشه دارند. ژنوتیپ‌های کارا در جذب روی آنهایی هستند که وقتی در خاکهای دارای کمبود روی کشت می‌شوند نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر بهتر رشد کرده و عملکرد بیشتری دارند (۱۶).

انتخاب ژنوتیپ هایی از گیاهان که مقاومت بیشتری نسبت به کمبود روی داشته باشند، روش مناسبی برای غلبه بر کمبود روی در گیاهان محسوب می‌شود (۶). در میزان اثرپذیری مدیریت روی، توجه به ارقام روی کارای گیاهان از اهمیت خاصی برخوردار است (۲۷).

بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی کارایی روی ده رقم متفاوت گندم در خاک آهکی، مطالعه میزان جذب روی توسط این ارقام و ارزیابی میزان فیتوسیدروفر ترشح شده توسط ارقام روی کارا و روی ناکارا در شرایط کمبود روی می باشد.

## مواد و روش‌ها

### آزمایش اول: کارایی روی ارقام گندم

نه رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.) و یک رقم گندم دوروم (*Triticum durum* Desf.) در گلخانه کشت شدند. ارقام گندم نان شامل مهدوی، روشن، داراب، مرودشت، شیراز، پیشتاز، الوند، چمران و کویر بودند. رقم گندم دوروم در این آزمایش رقم یاوارس بود. خاک مورد استفاده در این آزمایش، از بانک خاک موسسه تحقیقات خاک و آب انتخاب شد (۲). تعداد ۱۲۸ نمونه خاک سطحی، بر اساس میزان روی قابل عصاره‌گیری با DTPA (۱۹) در خاک مقایسه شدند. تمام نمونه ها کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی قابل استفاده (قابل عصاره‌گیری با DTPA) داشتند که این میزان به عنوان حد بحرانی روی در خاک های آهکی پذیرفته شده است (۲۹). از میان این مجموعه، خاکی با کمبود شدید روی واقع در استان خراسان از سری راه‌چمن با نام M-fine-loamy, mixed, thermic, Haplocambids انتخاب شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر در (جدول ۱) آمده است.

برای کشت گلخانه‌ای، خاک از الک ۴ میلی متری عبور داده شد. تیمارهای مصرف روی ( ده میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و بدون مصرف روی در ۴ تکرار به کار رفت. قبل از کشت، ۵۰ میلی گرم نیتروژن به صورت اوره، ۵۰ میلی‌گرم فسفر به صورت $KH_2PO_4$ ۵ میلی گرم منگنز از منبع سولفات منگنز، ۵ میلی‌گرم آهن از منبع سکسترین آهن در هر کیلوگرم خاک به صورت محلول به هر گلدان اضافه شد. چهار هفته پس از کشت نیز ۵۰ میلی گرم نیتروژن در هر کیلوگرم خاک از منبع اوره به عنوان سرک به کار رفت. تعداد ۱۰ عدد بذر در هر گلدان پلاستیکی حاوی سه کیلوگرم خاک کشت شد. دو هفته پس از کشت، ۵ عدد گیاه یکنواخت در هر گلدان باقی گذاشته شد. آبیاری با آب مقطر انجام شده و رطوبت هر روز با وزن کردن گلدان‌ها در حد رطوبت مزرعه (FC) نگه داشته شد.

هشت هفته پس از کشت، اندام هوایی گیاهان از محل طوقه جدا شده، و در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد در آون خشک شدند. وزن خشک اندام هوایی اندازه گیری شد. نمونه ها آسیاب شده و ۰/۵ گرم از نمونه ها با روش هضم تر عصاره گیری شدند (۱۷). غلظت روی در عصاره با کمک دستگاه طیف سنجی جذب اتمی مدل Perkin-Elmer 3030 اندازه‌گیری شد. قبل از کشت، غلظت روی در بذر ارقام گندم نیز با این روش اندازه‌گیری شد.

### آزمایش دوم: ترشح فیتوسیدرفر

بذرهای یک اندازه از دو رقم پیشتاز و الوند انتخاب شده و سطح بذرها از طریق قوطه‌ور کردن آنها در محلول هیپوکلریت سدیم (۵ درصد کلر فعال) برای مدت پنج دقیقه ضدعفونی شدند. سپس بذرها شش بار با ۱۵۰ میلی لیتر آب مقطر استریل شستشو داده شدند. بذرها بر روی کاغذ صافی استریل جوانه دار شدند. در این مدت آبیاری با آب مقطر استریل، دو بار در روز انجام شد. پس از پنج روز، گیاهچه های یک اندازه (۳۲ نهال در هر ظرف) به ظروف پلاستیکی حاوی ۴ لیتر محلول غذایی که به طور مداوم هوادهی می‌شد منتقل شدند. برای جلوگیری از نفوذ نور به داخل ظرف و اطمینان از رشد مناسب ریشه‌ها، ظروف با رنگ مشکی رنگ آمیزی شدند. ترکیب محلول غذایی به صورت زیر بود (۷):

$Ca(NO_3)_2$، ۲ میلی مولار؛ $K_2SO_4$، ۰/۸۸ میلی مولار؛ $KH_2PO_4$، ۰/۲۵ میلی مولار؛ KCl، ۰/۱ میلی مولار، $H_3BO_3$، ۱ میکرومولار؛ $MnSO_4$، ۰/۵ میکرومولار؛ $CuSO_4$، ۰/۲ میکرومولار؛

1- Zn-efficient
2- Zn-inefficient

FeEDTA، ۷۵ میکرومولار؛ $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$، ۰/۰۲ میکرومولار و یک میلی مولار MES-KOH برای ثابت نگه داشتن اسیدیته محلول در حد ۶/۰ در تیمار مصرف روی، $ZnSO_4$ با غلظت یک میکرومولار به کار رفت. اسیدیته محلول هر روز کنترل شده و به کمک HCl و یا KOH، یک مولار تنظیم می شد. محلول غذایی در روزهای ۵، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ روز پس از انتقال گیاهان تعویض شد.

گیاهان در اتاقک رشد در دمای ۲۶°C در روز و ۲۱°C در شب، ۱۶ ساعت دوره روشنایی و شدت نور در حدود $\mu mol\ photon\ m^{-2}s^{-1}$ ۳۵۰ رشد کردند. برای جمع آوری ترشحات ریشه ای از روش رنگل و همکاران (۲۲) استفاده شد. ریشه های ۸ گیاه، چهار بار برای مدت یک دقیقه در ۲/۵ لیتر آب مقطر فرو برده شده و سپس به یک بشر پلاستیکی حاوی ۷۵ میلی لیتر آب مقطر منتقل شدند. جمع آوری ترشحات ریشه ای پس از گذشت ۲ ساعت از شروع دوره روشنایی و به مدت ۲ ساعت انجام شد. پس از این مدت، برای جلوگیری از رشد میکروبی، یک میلی لیتر از محلول ضدعفونی کننده بنزال کونیوم کلراید (حاوی ۵ درصد کلر فعال) به محلول حاوی ترشحات ریشه ای اضافه شده و از کاغذ صافی عبور داده شد. سپس حجم ترشحات جمع آوری شده در آون فن دار در دمای ۵۰°C به ۲۰ میلی لیتر رسانده شد، یک میلی لیتر دیگر از محلول بنزال کونیوم کلراید به آن اضافه شد و در دمای ۱۸°C- نگه‌داری شد. ترشحات ریشه ای ۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۲۱ روز پس از انتقال نهال ها جداسازی شد.

غلظت ترکیبات کمپلکس کننده در ترشحات ریشه ای به طور غیر مستقیم به کمک روش ارزیابی پیوند با آهن اندازه گیری شد. غلظت این ترکیبات ارتباط خوبی با مقدار فیتوسیدروفر اندازه گیری شده با HPLC در گیاه جو دارد (۱۵). برای این منظور، ۰/۵ میلی لیتر از محلول $FeCl_3$ ۰/۵ میلی‌مولار با pH برابر ۲/۱ به ۱۰ میلی لیتر از محلول حاوی ترشحات ریشه ای اضافه شده و برای ۱۵ دقیقه تکان داده شد. یک میلی‌لیتر از بافر استات سدیم در pH برابر ۷ به آن اضافه شده و برای ۱۰ دقیقه دیگر تکان داده شد. سپس محلول، صاف شده و به ۰/۲۵ میلی لیتر HCl ۶ نرمال اضافه گردید. آهن سه ظرفیتی با افزودن ۰/۵ میلی‌لیتر از هیدروکسیل آمین هیدروکلراید ۸ درصد در دمای ۶۰°C به مدت ۲۰ دقیقه احیا شد. غلظت آهن احیا شده به روش رنگ سنجی در طول موج ۵۶۲ نانومتر با افزودن ۰/۲۵ میلی لیتر فروزین (Ferrozine) ۰/۲۵ درصد و یک میلی لیتر بافر استات سدیم در pH برابر ۴/۷ اندازه گیری شد.

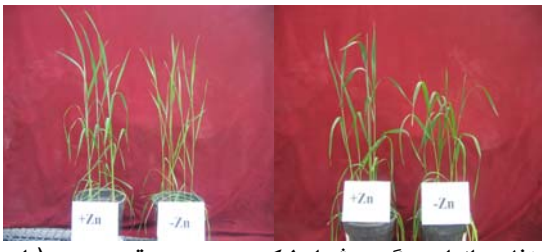
## نتایج و بحث

### ظهور علائم کمبود و رشد اندام هوایی

حساسیت ارقام گندم به کمبود روی بر اساس پیشرفت و شدت علائم برگی متفاوت بود. سه هفته پس از سبز شدن، علائم کمبود روی از قبیل ظهور لکه های کم رنگ و نکروزه بر روی پهنک برگ در شرایط کمبود روی مشاهده گردید. علائم کمبود روی در مراحل اولیه رشد شدیدتر بود. این علائم در مراحل اولیه رشد در برخی از ارقام در شرایط فراهم بودن روی نیز مشاهده شد. زمان و شدت ظهور علائم کمبود روی در بین ارقام مختلف متفاوت بود. ارقام الوند، مهدوی و یاوارس علائم کمبود شدیدتری نشان دادند، در حالی که، ارقام پیشتاز، شهریار و چمران کمتر تحت تأثیر این علائم قرار گرفتند. کاهش ارتفاع گیاه و اندازه برگ در ارقام مهدوی و الوند مشاهده شد (شکل ۱). علائم کمبود روی در ارقام گندم مشابه علائم مشاهده توسط دیگران بود (۶ و ۸).

**(جدول ۱)- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایشی**

| رس | سیلت | شن | بافت | pH | EC | OM | $CaCO_3$ | K | P | Zn | Fe | Mn | Cu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| g kg $^{-1}$ | | | | | ($dS\ m^{-1}$) | g kg $^{-1}$ | | | mg kg $^{-1}$ | | | | |
| ۸۲ | ۲۶۰ | ۶۵۸ | لوم‌شنی | ۸ | ۱/۸ | ۲/۸ | ۱۶۸ | ۲۴۹/۰ | ۶/۸ | ۰/۲۰ | ۳/۴۴ | ۵/۵۶ | ۰/۵۴ |




**(شکل ۱) - کاهش ارتفاع و اندازه برگ در شرایط کمبود روی در رقم مهدوی (راست) و الوند (چپ)**

خوشگفتارمنش و همکاران (۱۸)گزارش کردند که علائم ظاهری کمبود روی در مرحله پنجه زنی بیش از مرحله خوشه روی است.

غلظت روی در بذر در بین ارقام متفاوت بود (جدول ۲). اختلاف غلظت روی در بذر با حساسیت ارقام نسبت به کمبود روی مرتبط نبود. با وجود آنکه ارقام چمران و داراب علائم کمبود شدیدی نداشتند، غلظت روی در بذر آنها کمترین مقدار بود. در حالی که، ارقام الوند و یاوارس با حساسیت زیاد نسبت به کمبود روی، غلظت روی بیشتری در بذر داشتند. چک ماک و همکاران (۷) نیز چنین مشاهده ای داشتند. هر چند، در دیگر مطالعات، غلظت روی در بذر ها به عنوان یک عامل در اختلاف پاسخ ارقام به کمبود روی در کشت هیدروپونیک معرفی شده است (۲۴).

دو شاخص حساسیت به کمبود روی برای ده رقم گندم مورد بررسی در نظر گرفته شد: ۱- رشد نسبی اندام هوایی و ۲- وزن خشک اندام هوایی در شرایط کمبود روی (جدول ۳). کاربرد روی در خاک در اکثر ارقام سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید. میزان افزایش تولید ماده خشک در بین ارقام بسیار متفاوت بود.

**(جدول ۲) - غلظت روی در بذر ارقام گندم مورد مطالعه داده ها میانگین سه تکرار می‌باشد.**

| رقم | غلظت روی (میکروگرم در گرم وزن خشک) |
|---|---|
| پیشتاز | ۱۹/۸ |
| داراب | ۱۷/۱ |
| شهریار | ۱۹/۳ |
| کویر | ۲۵/۳ |
| چمران | ۱۶/۵ |
| مرودشت | ۲۴/۲ |
| روشن | ۲۱/۶ |
| یاوارس | ۲۳/۷ |
| مهدوی | ۲۰/۰ |
| الوند | ۲۲/۷ |
| LSD (٪۵): ۸/۶۹ | |

در شرایط کمبود روی، تولید ماده خشک در تمام ارقام کاهش یافت و این کاهش در ارقام الوند و مهدوی بیشتر بود (جدول ۳). هر چند، در رقم پیشتاز، کاهش وزن خشک اندام هوایی با مصرف روی احتمالاً به دلیل مقاومت این رقم به کمبود روی بوده است. روی کارایی بین ارقام متفاوت بود. میزان روی کارایی بین ۸۰/۴ تا ۱۰۶/۲ درصد تغییر کرد. ارقام الوند و مهدوی کمترین روی کارایی و ارقام پیشتاز، داراب و شهریار بیشترین روی کارایی را داشتند (جدول ۳).

تولید ماده خشک اندام هوایی در شرایط کمبود روی بین ارقام متفاوت بود (جدول ۳). پیشتاز و چمران بیشترین وزن خشک را بدون مصرف روی تولید کردند، در حالی که، وزن خشک اندام هوایی در ارقام الوند و کویر در شرایط کمبود روی کمترین مقدار بود. رقم الوند بر اساس دو شاخص رشد نسبی اندام هوایی و تولید ماده خشک در شرایط کمبود روی رقمی حساس نسبت به کمبود روی بود. رقم مهدوی بر اساس شاخص رشد نسبی اندام هوایی از نظر حساسیت به کمبود روی در رتبه دوم قرار گرفت. وزن خشک اندام هوایی ارقام پیشتاز، داراب و شهریار کمتر تحت تأثیر کمبود روی قرار گرفت. تفاوت پاسخ ارقام گندم به مصرف روی در جنوب استرالیا (۱۲)، در آنتالیای ترکیه (۹) و در ایران (۳ و ۱۸) مشاهده شده است. نتایج مشابهی در آزمایشات انجام شده در محلول غذایی نیز گزارش شده است (۷ و۲۳).

دلایل اختلاف در حساسیت بین ارقام گندم در شرایط کمبود روی به خوبی شناخته نشده است. این اختلاف ممکن است مربوط به تفاوت در رشد ریشه (۱۰)، افزایش رشد ریشه در مقایسه با رشد ساقه (۷) و جذب بیشتر روی در ارقام روی کارا (۸، ۹ و۱۱)، آزادسازی فیتوسیدروفرهای متحرک کننده روی از ریشه ها به محیط ریزوسفر (۵ و ۶) و افزایش قابلیت انتقال روی از ریشه ها به اندام هوایی و مریستم ساقه در شرایط کمبود روی (۵ و۷) باشد. فیتوسیدروفرها در تحرک ترکیبات کم محلول روی از طریق تشکیل کلات ها در خاک‌های آهکی مؤثرند (۳۱ و ۳۴).

## غلظت و جذب کل روی

غلظت و جذب کل روی در اندام هوایی با مصرف روی افزایش یافت (جدول ۴). در شرایط کمبود روی، غلظت روی در اندام هوایی در تمام ارقام حداقل ۱/۵ برابر کمتر از شرایط کفایت روی بود. غلظت روی در اندام هوایی ارقام مختلف متفاوت بود. مقدار روی بین ۱۵/۷ و ۲۲/۹ میکروگرم در گرم وزن خشک بدون مصرف روی و بین ۳۲/۴ و ۶۱/۲ میکروگرم در گرم وزن خشک با مصرف روی تغییر کرد. در شرایط کمبود روی، ارقام پیشتاز، چمران، مهدوی و الوند بیشترین و ارقام شهریار، داراب و روشن کمترین غلظت روی را در اندام هوایی داشتند. با مصرف روی، ارقام کویر، مهدوی و روشن غلظت روی را در اندام هوایی به طور قابل ملاحضه‌ای افزایش دادند (جدول ۴).

**(جدول ۳) - اثر مصرف روی (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بر وزن خشک اندام هوایی و کارایی روی ارقام مختلف گندم در یک خاک آهکی دچار کمبود روی**

| رقم | وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) | | کارایی روی* (درصد) |
|---|---|---|---|
| | بدون مصرف روی | با مصرف روی | |
| پیشتاز | ۴/۹۴ | ۴/۶۵ | ۱۰۶/۲ |
| داراب | ۴/۵۰ | ۴/۷۲ | ۹۵/۳ |
| شهریار | ۴/۲۷ | ۴/۵۷ | ۹۳/۴ |
| کویر | ۳/۵۷ | ۳/۹۳ | ۹۰/۸ |
| چمران | ۴/۸۵ | ۵/۳۶ | ۹۰/۵ |
| مرودشت | ۳/۹۰ | ۴/۳۷ | ۸۹/۲ |
| روشن | ۴/۰۱ | ۴/۵۳ | ۸۸/۵ |
| یاوارس | ۴/۲۲ | ۴/۹۳ | ۸۵/۶ |
| مهدوی | ۳/۹۴ | ۴/۷۲ | ۸۳/۵ |
| الوند | ۳/۴۱ | ۴/۲۴ | ۸۰/۴ |
| LSD (۵٪) رقم×روی: ۰/۶۵ | | | |

*- روی کارایی= ۱۰۰× (وزن خشک با مصرف روی/ وزن خشک بدون مصرف روی)

**(جدول ٤) - اثر مصرف روی (۱۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) بر غلظت و جذب کل روی اندام هوایی و کارایی جذب روی ارقام گندم**

| رقم | غلظت روی (میکروگرم در گرم وزن خشک) | | جذب کل روی (میکروگرم در هر گلدان) | | کارایی جذب روی* (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|
| | بدون روی | با روی | بدون روی | با روی | |
| پیشتاز | ۲۱/۹ | ۴۶/۵ | ۱۰۷/۶ | ۲۱۶/۰ | ۴۹/۸ |
| داراب | ۱۷/۸ | ۴۵/۷ | ۸۰/۱ | ۲۱۵/۶ | ۳۷/۲ |
| شهریار | ۱۵/۷ | ۳۳/۷ | ۶۷/۳ | ۱۵۴/۱ | ۴۳/۷ |
| کویر | ۱۹/۷ | ۵۵/۸ | ۷۰/۱ | ۲۱۹/۱ | ۳۲/۰ |
| چمران | ۲۲/۹ | ۴۰/۵ | ۱۱۰/۹ | ۲۱۷/۳ | ۵۱/۰ |
| مرودشت | ۲۰/۲ | ۳۲/۴ | ۷۸/۳ | ۱۴۱/۷ | ۵۵/۳ |
| روشن | ۱۹/۳ | ۴۸/۶ | ۷۷/۳ | ۲۲۰/۶ | ۳۵/۰ |
| دوروم یاوارس | ۱۹/۵ | ۵۵/۱ | ۸۱/۷ | ۲۶۹/۵ | ۳۰/۳ |
| مهدوی | ۲۲/۵ | ۶۱/۲ | ۸۸/۱ | ۲۸۸ | ۳۰/۶ |
| الوند | ۲۱/۸ | ۴۹/۲ | ۷۴/۱ | ۲۰۸/۱ | ۳۵/۶ |
| LSD (۵٪) رقم×روی | ۳/۶۵ | | ۲۲/۰۱ | | |

*- کارایی جذب روی= ۱۰۰× (جذب کل روی با مصرف روی/ جذب کل روی بدون مصرف روی)

در شرایط کمبود شدید روی، غلظت روی در اندام هوایی در محدوده کم قرار داشت (جدول ۴). غلظت روی در اندام هوایی شاخص خوبی برای مشخص کردن حساسیت ارقام گندم به کمبود روی نیست. به طور متوسط، غلظت روی در اندام هوایی ارقام گندم با روی کارایی کمتر (الوند، مهدوی و یاوارس) بیشتر و یا برابر با غلظت روی در اندام هوایی ارقام روی کارا بود. این امر را می‌توان به اثر رقت در نتیجه افزایش رشد نسبت داد. در دیگر تحقیقات نیز نتایج مشابهی به دست آمده است (۵ و۱۱). خوشگفتارمنش و همکاران (۱۸) گزارش کردند که کارایی روی ارقام گندم با غلظت روی در ساقه به ویژه در زمان پنجه‌زنی گندم همبستگی ندارد. آنان نشان دادند که در مرحله پنجه‌زنی، غلظت روی در گیاهانی که در معرض کمبود روی بودند بیش از گیاهانی بود که روی کافی دریافت کرده بودند.

اختلاف بین ارقام در حساسیت به کمبود روی ارتباط بهتری با جذب کل روی در اندام هوایی و کارایی جذب روی داشت. جذب کل روی توسط اندام هوایی با مصرف روی به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۴). در شرایط کمبود روی، ارقام گندم مقادیر متفاوتی از روی را در اندام هوایی خود جذب کردند. در شرایط کمبود روی، رقم پیشتاز به عنوان یک رقم روی کارا مقدار زیادی روی را در اندام

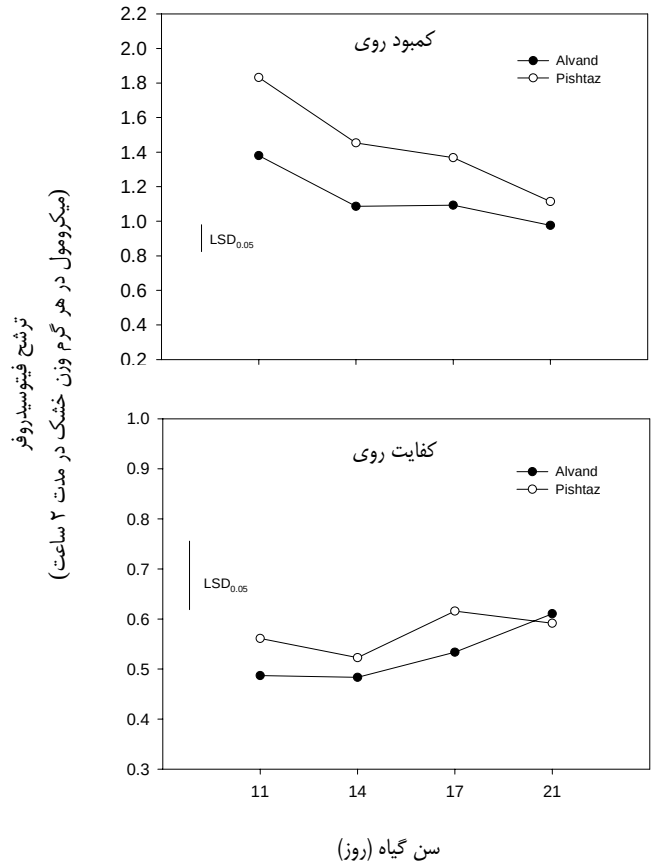
هوایی خود جذب کرده بود در حالی که، در رقم روی ناکارای الوند، جذب روی در اندام هوایی کم بود. به طور متوسط، در ارقام با روی کارایی بالاتر، مقدار کارایی جذب روی ۱۲ درصد بیش از ارقام با روی کارایی کمتر بود.

در مقایسه با شهریار، کویر و الوند، ارقام دیگر نظیر پیشتاز و چمران، مقدار روی بیشتری را هنگامی که در معرض کمبود روی قرار گرفتند، جذب کردند. بر اساس کارایی جذب روی، مقدار روی در ارقام پیشتاز، مرودشت و چمران در شرایط کمبود روی کمتر تحت تأثیر قرار گرفت، در حالی که، با مصرف روی افزایش در مقدار روی در اندام هوایی در ارقام یاوارس، مهدوی و الوند بیشتر بود. چک ماک و همکاران (۴) بیان داشتند که اختلاف حساسیت به کمبود روی در بین گونه های غلات ارتباط نزدیکی با مقدار کل روی در ساقه دارد. آنان نشان دادند که غلظت روی در ساقه چاودار به عنوان روی کاراترین گونه غلات، با غلظت روی در ساقه گندم دوروم به عنوان روی ناکاراترین گونه تفاوت نداشت، در حالی که مقدار کل روی در ساقه چاودار ۶ برابر بیش از گندم دوروم بود. نتایج مشابهی در بین ارقام مختلف کلزا (۱۴) و گندم (۲۲) مشاهده شده است.

## ترشح فیتوسیدروفر

میزان فیتوسیدروفر ترشح شده در شرایط کمبود روی بین دو رقم مورد بررسی متفاوت بود (شکل ۲). فیتوسیدروفر آزادشده از ریشه‌های رقم پیشتاز (رقم مقاوم به کمبود روی) نسبت به رقم الوند (رقم حساس به کمبود روی) به طور معنی‌داری بیشتر بود. با افزایش سن گیاه، هر دو رقم مقدار کمتری فیتوسیدروفر را ترشح کردند (شکل ۲). شدت این کاهش در رقم پیشتاز بیش از رقم الوند بود. پس از گذشت ۲۱ روز، مقدار فیتوسیدروفر ترشح شده از ریشه های رقم پیشتاز اختلاف معنی داری با میزان آن در رقم الوند نداشت.

در شرایط کفایت روی، میزان آزادسازی فیتوسیدروفر از ریشه‌های هر دو رقم به طور معنی داری کمتر از شرایط کمبود روی بود، به گونه ای که میزان آن از ۰/۶ میکرومول در هر گرم وزن خشک ریشه تجاوز نکرد. در این شرایط، بین دو رقم اختلاف معنی داری در ترشح فیتوسیدروفر در طول ۲۱ روز رشد مشاهده نشد.




**(شکل ۲)- ترشح فیتوسیدروفر از ریشه های گندم رقم الوند (حساس به کمبود روی) و پیشتاز (مقاوم به کمبود روی) در شرایط کمبود و کفایت روی پس از ۲۱ روز رشد در محلول غذایی**

تفاوت در میزان آزادسازی فیتوسیدروفر از ریشه های ارقام مختلف گندم در شرایط کمبود روی توسط دیگران نیز گزارش شده است (۵، ۳۲ و۳۴). در حالی که، در برخی مطالعات بر روی جو و گندم افزایش ترشح فیتوسیدروفر در شرایط کمبود روی مشاهده نشده است (۱۵ و ۲۰). در مطالعه حاضر، میزان ترشح فیتوسیدروفر در رقم روی کارای پیشتاز بیش از رقم روی ناکارای الوند بود. دیگران نیز نتایج مشابهی به دست آورده‌اند (۶ و۲۴). مقدار فیتوسیدروفر اندازه گیری شده توسط برخی از محققین (تا ۹ میکرومول در هر گرم وزن خشک) بیش از مقداری است که در این مطالعه اندازه گیری شده است (۶ و۲۴). میزان آزادسازی فیتوسیدروفر توسط ریشه ها به عوامل مختلفی به ویژه سن گیاه، شدت کمبود روی، تجزیه میکروبی فیتوسیدروفر، دما و شدت نور بستگی دارد (۲۶ و ۳۵). پس از ۱۱ روز، مقدار ترشح فیتوسیدروفر در هر دو رقم کاهش یافت. این امر ممکن است ناشی از افزایش شدت کمبود روی و به دنبال آن کاهش فتوسنتز باشد (۶). کاهش در ترشح فیتوسیدرفر در اکثر ارقام گندم ۱۴ تا ۲۰ روز پس از رشد توسط دیگران نیز گزارش شده است (۶ و ۱۵).

## جمع بندی

در کل می‌توان نتیجه گرفت که ارقام گندم از نظر کارایی روی متفاوت بودند.ارقام الوند و مهدوی کارایی روی کمتری داشتند. وزن خشک اندام هوایی در رقم الوند در شرایط کمبود روی به نسبت پایین بود و کاربرد روی تولید ماده خشک را در هر دو رقم افزایش قابل ملاحظه ای داد. بر اساس این شاخص، پیشتاز روی کاراترین رقم بود. تفاوت در کارایی روی ارقام ارتباط بیشتری با جذب روی توسط ارقام داشت. به طور متوسط، ارقام با کارایی روی بالاتر، جذب کل روی بیشتری نیز داشتند. در شرایط کمبود روی در خاک های آهکی، جذب بیشتر روی توسط ارقام روی کارا به احتمال زیاد به توانایی بیشتر این ارقام در ترشح فیتوسیدروفر باز می گردد. به عبارت دیگر، افزایش ترشح فیتوسیدروفر در شرایط کمبود روی یک عامل مؤثر در کارایی ارقام گندم در جذب روی محسوب می شود. نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاف ارقام گندم در پاسخ به مصرف روی عامل مهمی است که می‌تواند در توصیه مصرف کود و برنامه های به نژادی مورد توجه قرار گیرد.

## منابع


۱- بلالی م.ر.، ملکوتی م.ج. ، مشایخی ح. ، و خادمی ز. ۱۳۷۸. اثر عناصر کم مصرف بر افزایش عملکرد گندم در ده استان کشور. مجله خاک و آب. جلد ۱۲، ۱۱۹-۱۱۱.

۲- خادمی ز، مسیح آبادی م.ح. ، رضایی ح. ، طهرانی م.م. ، بازرگان ک. ، بلالی م.ر.، و سپهر ا. ۱۳۸۴. شناسایی و انتخاب هدفمند مکانهای مطالعاتی در خاکهای تحت کشت گندم. نشریه شماره ۱۲۲۴. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۳- کشاورز. پ. ۱۳۸۲. اثرات مصرف روی بر عملکرد چند واریته گندم در استان خراسان. نشریه شماره ۱۳۵. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

4- Cakmak I., Ekiz H., Yilmaz A., Torun B., Koleli N., Gultekin I., Alkan A., and Ekern S. 1997. Differential response of rye, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. Plant Soil 188: 1-10.

5- Cakmak I., Gulut K.Y., Marschner H., and Graham R.D. 1994. Effect of zinc and iron deficiency on phytosiderophore release in wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Plant Nutr., 17: 1-17.

6- Cakmak I., Sary N., Marschner H., Ekiz H., Kalaycy M., Yilmaz A., and Braun H.J. 1996a. Phytosiderophore release in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. Plant Soil, 180:183-189.

7- Cakmak I., Sary N., Marschner H., Kalaycy M., Yilmaz A., Eker S., and Gulut K.Y. 1996b. Dry matter production and distribution of zinc in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. Plant Soil, 180:173-181.

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

9- Cakmak I., Yilmaz A., Kalaycy M., Ekiz H., Torun B., Erenoglu B., and Braun H.J. 1996c. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. Plant Soil 180: 165-172.

10- Dong B., Rengel Z., and Graham R.D. 1995. Root morphology of wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Plant Nutr., 18:2761-2773.

11- Graham R.D., Ascher J.S., and Hynes S.C. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. Plant Soil 146: 241-250.

12- Graham R.D., and Rengel Z. 1993. Genotypic variation in zinc uptake and utilization by plants. In: Robson, A. D. (Ed.), Zinc in soils and plants. Kluwer academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp 107-118.

13- Graham R.D., and Welch R.M. 1996. Breeding for staple food crops with high micronutrient density. Agricultural strategies for micronutrients, working paper No. 3. IFPRI, Washington, DC.

14- Grewal H.S., Stangoulis J.C.R., Potter T.D., and Graham R.D. 1997. Zinc efficiency of oilseed rape (Brassica

napus and B. Juncea) genotypes. Plant Soil 191: 123-132.
15- Gries D., Brunn S., Crowley D.E., Parker D.R. 1995. Phytosiderophore release in relation to micronutrient metal deficiencies in barely. Plant Soil, 172: 299-308.
16- 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. Environ. Exp. Botany 54: 163-173.
17- Huang C.Y.L., and Schulte E.E. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission analysis. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 16: 943-958.
18- Khoshgoftarmanesh A.H., Shariatmadari H., Karimian N., Kabasi M., and Khjehpour M.R. 2004. Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a saline calcareous soil. J. Plant Nutr. 27: 1953-1962.
19- Lindsay W.L., and Norvel W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 42: 421-428.
20- Pedler J.F., Parker D.R., Crowley D.E. 2000. Zinc deficiency-induced phytosiderophore release by the Triticaceae is not consistently expressed in solution culture. Planta, 211:120-126.
21- Rengal Z., and Graham R.D. 1996. Uptake of zinc from chelate-buffered nutrient solutions by wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Exp. Bot., 47:217-226.
22- Rengel Z., Marschner H., and Romheld V. 1998. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Plant Physiol. 152: 433-438.
23- Rengel Z., and Romheld V. 2000a. Differential tolerance to Fe and Zn deficiencies in wheat germplasm. Euphytica 113: 219-225.
24- Rengel Z., and Romheld V. 2000b. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. Plant Soil 222: 25-34.
25- Rengel Z., and Wheal M.S. 1997. Kinetic parameters of zinc uptake by wheat are affected by the herbicide chlorsulfuron. J. Exp. Bot. 48:935-941.
26- Romheld V., and Marschner H. 1990. Genotypical differences among graminaceous species in release of phytosiderophores and uptake of iron phytosiderophores. Plant Soil, 123: 147-153.
27- Romheld V., and Kirkby E.A. 2007. The need for innovative and physiologically-based Zn fertilization strategies for crops. Proceedings of zinc crop Cong. Istanbul, Turkey.
28- Sillanpaa M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. FAO, Soils Bulletin No. 48. FAO, Rome.
29- Sims J.T., and Johnson G.V. 1991. Micronutrient soil tests. In: Mordvedt, J. J., et al. (Eds.), Micronutrients in agriculture. 2nd ed., Book Series No. 4, Soil Sci. Soc. Am, Madison, WI. USA, pp 427-476.
30- Takkar P.N., and Walker C.D. 1993. The distribution and correction of Zinc deficiency. In: Robson, A. D. (Ed.), Zinc in soils and plants. Kluwer academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp 151-166.
31- Treeby M., Marschner H., and Romheld V. 1989. Mobilization of iron and other micronutrient cations from a calcareous soil by plant-borne, microbial and syntetic metal chelators. Plant soil, 114: 217-226.
32- Walter A., Romheld V., Marschner H., Mori S. 1994. Is the release of phytosiderophores in zinc-deficient wheat plants a response to impaired iron utilization? Physiol. Plant, 92: 493-500.
33- Welch R.M. 1993. Zinc concentrations in plants for humans and animals. In: A. D. Robson (Ed.), Zinc in soils and plants. Kluwer academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp 183-195.
34- Zhang F., Romheld V., and Marschner H. 1989. Effects of zinc deficiency in wheat on the release of zinc and iron mobilizing exudates. J. Plant Nutr. Soil Sci., 152: 205-210.
35- Zhang F.S., Romheld V., Marschner H. 1991. Diurnal rhythm of release of phytosiderophores and uptake rate of zinc in iron-deficient wheat. Soil Sci. Plant Nutr., 37: 671-678.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 1, Mar-Apr 2010, p. 145-153

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۸۹، ص. ۱۵۳-۱۴۵

# Zinc efficiency of wheat cultivars in a calcareous soil with low zinc status

**F. Moshiri[1]- M. Ardalan[2*] - M.M. Tehrani[3]- Gh. Savaghebi[4]**

## Abstract

Due to calcareous soil conditions, zinc deficiency is a yield limiting factor for wheat production in Iran. One solution for this problem is the cultivation of Zn-efficient wheat varieties. Ten wheat cultivars (nine bread wheat and one durum wheat) with different tolerance to Zn deficiency were studied in a greenhouse experiment. Plants were treated with Zn (10 mg Zn $Kg^{-1}$ soil as $ZnSO_4.7H_2O$) and without it. Based on the results of pot experiment, two wheat cultivars with different Zn efficiency were selected to assess the ability of phytosiderophore release from their roots. Visual Zn deficiency symptoms, such as light colored necrotic patches and reduction in plant height appeared more severe in Alvand, Mahdavi (bread wheat) and Yavares (durum wheat) cultivars. Under Zn deficiency, shoot dry matter decreased in most cultivars. Zn efficiency of wheat cultivars ranged from 80.4% to 106.2%. Based on shoot dry weight, Pishtaz and Darab were the most Zn-efficient and Alvand and Mahdavi were the most Zn-inefficient wheat cultivars. Zn supply markedly increased the Zn concentration and content of shoots of all cultivars. Cultivars differed in Zn uptake under Zn-deficient and Zn-sufficient conditions. On average, Zn-efficient cultivars had more Zn uptake efficiency compared to Zn-inefficient cultivars. Our results strongly suggested that sensitivity to Zn deficiency varied widely among wheat cultivars. Different susceptibility of cultivars did not correspond well with the Zn concentration of the shoot. In contrast, the total amount of Zn of shoot was better related to the sensitivity of wheat cultivars to Zn deficiency. Under Zn deficiency, different ability of genotypes to release phytosiderophore from roots was observed. Pishtaz exuded more phytosiderophore than Alvand. Higher Zn uptake in Zn-efficient wheat genotypes may be attributed to higher release rates of Zn-mobilizing phytosiderophores from roots.

**Keywords:** Wheat cultivars, Zinc efficiency, Zinc concentration, Zinc uptake

1,2,3,4– A Contribution from Soil and Water Research Institute, and Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural resources, University of Tehran
(* - Corresponding author Email: mardalan@ut.ac.ir)