

ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به کمبود روی با استفاده از برخی پارامترهای فیزیولوژیک در خاک آهکی تحت شرایط کنترل شده در مرحله پنجه‌زنی

زهرا بهره‌ور^۱، عزت‌اله اسفندیاری^{۲*}، صدیقه حاجی حسینلو^۳، اسماعیل کریمی^۴، شهریار دشتی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۳- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۴- گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

* مسئول مکاتبه: esfand1977@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.367648.1284

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

چکیده

کمبود روی قابل دسترس در خاک‌های زراعی ایران شایع بوده و گندم از سایر غلات به کمبود روی حساس‌تر است. وجود تنوع بالا در ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی، راهکاری جهت دستیابی به ارقام متحمل‌تر است. به‌منظور بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های گندم نان به کمبود عنصر روی و با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با ۲۸ ژنوتیپ پائیزه گندم نان در خاک آهکی با بافت لومی اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل ژنوتیپ گندم و کاربرد خاکی روی (شاهد) و افزودن ۵ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ بود. بوته‌های گندم ۴۵ روز در شرایط کنترل شده نگهداری و سپس، نمونه‌ها کفبر و میزان ماده خشک بخش هوایی، کارایی روی، غلظت، محتوا و کارایی مصرف روی، مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر میزان ماده خشک بخش هوایی، کارایی روی، محتوا و غلظت روی تنوع بالایی وجود دارد. همچنین، به دلیل مقادیر یکسان و یا بیشتر بودن محتوا و غلظت روی در ژنوتیپ‌های حساس نسبت به ژنوتیپ‌های مقاوم، پارامترهای غلظت و محتوای روی گیاهچه‌ها معیار مناسبی برای گزینش، نیستند. در مجموع، ماده خشک بخش هوایی و کارایی روی برای گزینش ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم قابل اعتمادتر بوده و ژنوتیپ‌های L_{28} ، L_{22} و L_{10} از ماده خشک بخش هوایی و کارایی روی بالاتری برخوردار بوده و متحمل به کمبود روی بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های L_2 ، L_{32} و L_{13} کارایی روی و ماده خشک پائینی در شرایط کمبود روی داشتند و حساس به کمبود روی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تحمل به کمبود عناصر، غلظت روی، کارایی روی، ماده خشک بوته

مقدمه

بیش از ۶۰ درصد زمین‌های زراعی ایران با کمبود روی قابل جذب مواجه هستند (Malakouti, 2007). از دلایل پائین بودن روی قابل جذب در خاک‌های زراعی می‌توان به آهکی بودن خاک، pH بالای خاک، بی‌کربناته بودن آب آبیاری و مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاته اشاره نمود (Khoshgoftar-Manesh, 2007). از بین عوامل یاد شده، pH خاک مهمترین عامل تأثیرگذار بر میزان روی قابل دسترس در خاک می‌باشد. در خاک‌های آهکی میزان بی‌کربنات بالا بوده و مقادیر بالای این ترکیب با روی وارد واکنش شده و با تبدیل نمودن آن به ZnCO_3 ، میزان روی قابلیت دسترسی زیستی روی را کاهش می‌دهد (Khoshgoftar-Manesh et al., 2010). اگرچه برای جلوگیری از بروز کمبود روی در گیاهان از روش‌هایی مانند

روی از جمله عناصر ضروری است که به‌عنوان کوفاکتور در ساختار بیش از ۳۰۰ آنزیم ملنند کربنیک آنهیدراز، دهیدروژنازها، پروتئازها و کربوکسی پپتیدازها و فسفلاتازها حضور داشته و در مسیرهای بیوسنتزی بیومولکول‌هایی نظیر RNA و DNA، اکسین، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه سیستئین، هیستیدین، اسید گلوتامیک و اسید آسپارتیک ایفای نقش می‌کند (Passerini et al., 2007; Shu et al., 2008). همچنین، این عنصر کوفاکتور برخی از آنزیم‌های دفاعی نظیر سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیدازها می‌باشد (Hemantaranjan et al., 2009; Esfandiari et al., 2018). حدود ۵۰ درصد خاک‌های زیر کشت غلات در جهان و

فرآیندهای مؤثر در متابولیسم گیاه مانند کربونیک آنهیدراز یا آنزیم‌های دفاعی نظیر سوپراکسید دیسموتاز اشاره نمود (Hajiboland *et al.*, 2011; Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2011).

اهمیت گندم در تغذیه مردم جامعه، گستردگی اراضی مبتلا به کمبود روی در کشور، محدودیت‌های استفاده از روش به‌زرایی و نقش این عنصر در عملکرد کمی و کیفی گندم، بیانگر ضرورت دستیابی به ارقام یا ژنوتیپ‌های سازگار به کمبود روی است. لذا، در این مطالعه ۲۸ ژنوتیپ گندم نان از نظر پاسخ به کمبود روی در خاک آهکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی پاسخ تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم نان به کمبود روی، پژوهشی به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل سطوح کاربرد روی (بدون افزودن روی به خاک (شاهد) و افزودن روی به خاک (پنج میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) (Cakmak *et al.*, 1999; Abdoli *et al.*, 2019) و ۲۸ ژنوتیپ پایتزه گندم نان (منابع ژنتیکی ایرانی، چهار رقم معرفی شده شامل باران، آذر ۲، سرداری و اوحدی به‌همراه ۲۴ لاین) بود که از موسسه تحقیقات دیم کشور تهیه گردید.

خاک آهکی مورد استفاده در این پژوهش دارای بافت لومی و با مشخصات رده‌بندی کلسی‌زرپتر^۱ از منطقه نظرکهریزی شهرستان هشترود به محل اجرای آزمایش انتقال یافت. در جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده آورده شده است. در این خاک کربن آلی خاک به روش والکلی و بلاک، درصد مواد خنثی شونده، درصد نیتروژن خاک به روش کجلدال و میزان عناصر قابل دسترس پرمصرف و کم‌مصرف بر اساس دستورالعمل موسسه تحقیقات خاک و آب کشور سنجش شد (Ali-Ehiayi and Behbahani, 1993).

به خاک براساس آزمون خاک و نیازهای غذایی گندم عناصر نیتروژن (از منبع نترات کلسیم $(Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O)$ به میزان

بذرمال کردن بذور، پیش‌تیمار کردن بذور، محلول‌پاشی، افزودن کود حاوی روی به خاک و یا ترکیب آنها استفاده می‌شود (Cakmak, 2008)، اما روشی پایدار نبوده و با توجه به موارد ذکر شده به‌ویژه در شرایط کمبود آب امکان بروز کمبود در گیاهان خواهد بود (Cakmak, 2002). بنابراین، امروزه برای رفع معایب ذکر شده روش غنی‌سازی زیستی ژنتیکی مورد توجه محققین قرار گرفته و برای مقابله با کمبود ریزمغذی‌ها (عناصر کم‌مصرف نظیر روی و ویتامین‌ها و کوآنزیم‌ها مانند اسید فولیک) در گیاهانی مانند گندم استفاده می‌گردد (Kalayci *et al.*, 1999; Cakmak, 2008).

گندم در مقایسه با یولاف، چاودار و جو به کمبود روی حساس‌تر می‌باشد. با وجود این، بین گونه‌های گندم تنوع ژنتیکی بالایی از نظر توانایی رشد گیاه، ماده خشک تولیدی، کارایی روی و بروز علائم ظاهری در پاسخ به کمبود روی گزارش شده است (Genc *et al.*, 2002; Genc and McDonald, 2004 and 2008; Narwal *et al.*, 2012; Vanitha *et al.*, 2016; Hajihoseinlou *et al.*, 2023). در بررسی‌های انجام شده بر روی ۳۰ ژنوتیپ گندم هگزاپلوئید سنتتیک و ۷ ژنوتیپ گندم مدرن در شرایط کمبود و کفایت روی گزارش شده است که از نظر علائم ظاهری و کارایی روی (بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد)، بین آنها تفاوت‌های ژنتیکی محسوس وجود دارد (Genc and McDonald, 2004). پژوهش‌های صورت گرفته بر روی گندم، وجود تنوع ژنتیکی به کمبود روی را تأیید کرده‌اند (Torun *et al.*, 2000; Narwal *et al.*, 2012). همچنین، این محققین معتقدند که به دلیل وجود تنوع ژنتیکی در پاسخ به کمبود روی می‌توان با برنامه‌های اصلاحی ارقام سازگار به کمبود روی را تولید و معرفی نمود.

به ارقام یا ژنوتیپ‌های گندم که به کمبود روی سازگار می‌باشند و از توانایی بهتری برای رشد و تولید ماده خشک در شرایط کمبود روی برخوردار هستند روی کارا گفته می‌شود (Narwal *et al.*, 2012). از دلایل روی کارا بودن آنها می‌توان به افزایش میزان جذب روی توسط ریشه‌ها با رهاسازی فیتوسیدروفور، جابه‌جایی و کارایی بهتر این عنصر در ژنوتیپ‌های متحمل و یا اختصاص روی جذب شده به

¹ Calcixerpet

خاک از منبع سولفات آنها (Faezi-Asl *et al.*, 2003) اضافه شد. سپس، به بخشی از خاک ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی اضافه شده و به باقیمانده خاک روی اضافه نگردید (Cakmak *et al.*, 1999; Abdoli *et al.*, 2019).

۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و پتاسیم و فسفات (از منبع دی‌پتاسیم هیدروژن فسفات (K_2HPO_4) به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و سایر عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بجز روی (تا رسیدن به آستانه بحرانی به ترتیب برای عناصر مس، آهن و منگنز، ۱/۸، ۸/۸ و ۱۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آهکی تهیه شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

هدایت	مقدار ماده آلی	اسیدیته الکتریکی	مقدار آهک	مگنیز قابل جذب	آهن قابل جذب	مس قابل جذب	روی قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیترژن قابل جذب	نسبت شن	نسبت گل	نسبت رس	نسبت لوم
Electric conductivity	pH	Organic matter	Calcareous content	Absorbable manganese	Absorbable iron	Absorbable copper	Absorbable zinc	Absorbable potassium	Absorbable phosphorus	Total nitrogen	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
			(%)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)	
0.49	6.8	0.5	39	1.29	2.39	0.5	0.41	102.2	8.4	0.1	47.6	35.2	12.7	Loam

وزن خشک اندام هوایی در شرایط کافی بودن روی کارایی روی = $100 \times \frac{\text{وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون روی}}{\text{وزن خشک اندام هوایی در شرایط کافی بودن روی}}$

Genc *et al.*, 2002 (۲)

کارایی مصرف روی = $\frac{\text{ماده خشک تولید شده}}{\text{میلی گرم روی موجود در بافت گیاه}}$

اندازه‌گیری عنصر روی در گیاه

روی موجود در بخش هوایی بوته‌های گندم با روش خشک و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu, AA-6300) اندازه‌گیری شد (Ali-Ehiayi and Behbahani, 1993).

تجزیه آماری داده‌ها

داده‌های صفات مورد بررسی در نرم‌افزار Excel وارد شده و برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ، بر صفات وزن خشک بخش هوایی، غلظت و محتوای روی و کارایی استفاده از روی در بوته‌های گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). اثر متقابل کاربرد روی در ژنوتیپ تنها برای پارامترهای وزن خشک و محتوای روی اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار

خاک‌های آماده شده در گلدان‌های سه کیلویی پر شده و بذور گندم در عمق سه تا چهار سانتی‌متری کشت شدند. برای ممانعت از ورود احتمالی روی و ایجاد خطا در نتایج آزمایش در تمامی مراحل از آب دیونیزه برای آبیاری استفاده گردید. با در نظر گرفتن امکان تغییر للگوی رفتاری گیاه در مراحل فنولوژیکی مختلف به تنش‌های محیطی و تأثیر منفی حساسیت به کمبود روی در مراحل اولیه رشد بر بنیه و استقرار گیاهچه‌ها به‌همراه اثرگذاری منفی مراحل یاد شده بر عملکرد، در این مطالعه اولین مرحله گزینش در پاسخ به کمبود روی مراحل اولیه رشدی در نظر گرفته شد (Cakmak *et al.*, 1999; Genc and McDonald, 2004; Abdoli and Esfandiari, 2017).

به این منظور، بوته‌ها ۴۵ روز در شرایط کنترل شده تا قبل از ساقه‌دهی رشد نموده و سپس به صورت کفبر، برداشت شد. صفات مورد اندازه‌گیری شامل وزن خشک بوته (پس از ۲۴ ساعت آون خشک در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد)، کارایی روی^۱ (رابطه ۱)، محتوای روی^۲ (میکروگرم بر وزن خشک تک بوته)، غلظت روی^۳ (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) و کارایی مصرف روی^۴ (میلی‌گرم ماده خشک بر میکروگرم روی) (رابطه ۲) بود که روش محاسبه آنها در روابط زیر آورده شده است.

Welch *et al.*, 1993 (۱)

³ -Zn concentration

⁴ -Zn use efficiency

¹ Zn efficiency

² Zn content

گردید (جدول ۲).

وزن خشک بخش هوایی

بین ارقام و ژنوتیپ‌های گندم از نظر وزن خشک بخش هوایی تنوع بالایی در شرایط کمبود و مصرف کافی روی مشاهده شد (شکل ۱). در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی برخی از آنها نظیر ژنوتیپ‌های L₂, L₁₃, L₃₂ و L₂₅ از کاربرد روی متاثر شده و میزان ماده خشک بخش هوایی در شرایط کاربرد روی در مقایسه با عدم کاربرد روی افزایش یافت (شکل ۱). در مقابل ژنوتیپ‌هایی مانند L₂₇, L₅, L₁ و L₃₄ نسبت به افزودن روی به خاک بی تفاوت بوده و میزان وزن خشک بخش هوایی آنها نسبت به شرایط عدم کاربرد روی تغییری نشان نداد (شکل ۱). به طوری که وزن خشک بخش هوایی بین ۹۹/۵±۳/۰۸

تا ۱۷۲/۸۳۳±۲/۶۹ میلی گرم بر بوته به ترتیب در ژنوتیپ‌های L₃₄ و L₂₈ و در ارقام گندم بین ۱۳۹/۸۸۹±۳/۳۷ تا ۱۵۵/۱±۵۵/۳۹ میلی گرم بر بوته به ترتیب در ارقام سرداری و آذر ۲ در شرایط کمبود روی متغیر بود. اما وزن خشک بخش هوایی در شرایط کافی بودن روی قابل جذب بین ۱۰۱/۵±۰/۹۲ تا ۱۹۶/۶۱۱±۱۳/۵۵ میلی گرم بر بوته به ترتیب در ژنوتیپ‌های L₃₄ و L₂ و در ارقام گندم بین ۱۴۵/۲۲۲±۱/۲۶ تا ۱۵۷/۱±۷۲۲/۰۱ میلی گرم بر بوته به ترتیب در ارقام اوحدی و آذر ۲ متغیر بود (شکل ۱). همچنین، وزن خشک بخش هوایی بوته‌های گندم از ۱۳۹/۳۹ میلی گرم بر بوته در شرایط کمبود روی به ۱۵۲/۴۱ میلی گرم بر بوته در شرایط کافی روی رسید که افزایش ۹/۳۴ درصدی را در پی داشت (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ‌های گندم دوروم و اثرات متقابل آن‌ها بر پارامترهای مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance of effect of zinc sulphate application and durum wheat genotypes and their interactions on studied parameters

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	غلظت روی Zinc concentration	محتوای روی Zinc content	کارایی مصرف روی Zinc use efficiency
بلوک Block	2	2241.7**	5.47*	1.01**	178.93*
ژنوتیپ Genotype	27	1917.9**	4.13**	0.494**	126.74**
کاربرد روی Zinc application	1	7121.8**	605.7**	22.6**	17192.2**
ژنوتیپ×روی Genotype×Zinc application	27	427.4**	1.41 ^{ns}	0.129**	48.34 ^{ns}
خطا Error	110	67.03	1.31	0.039	53.17
ضریب تغییرات C.V. (%)		15.58	8.16	9.57	9.94

**، * و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال آماری یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری

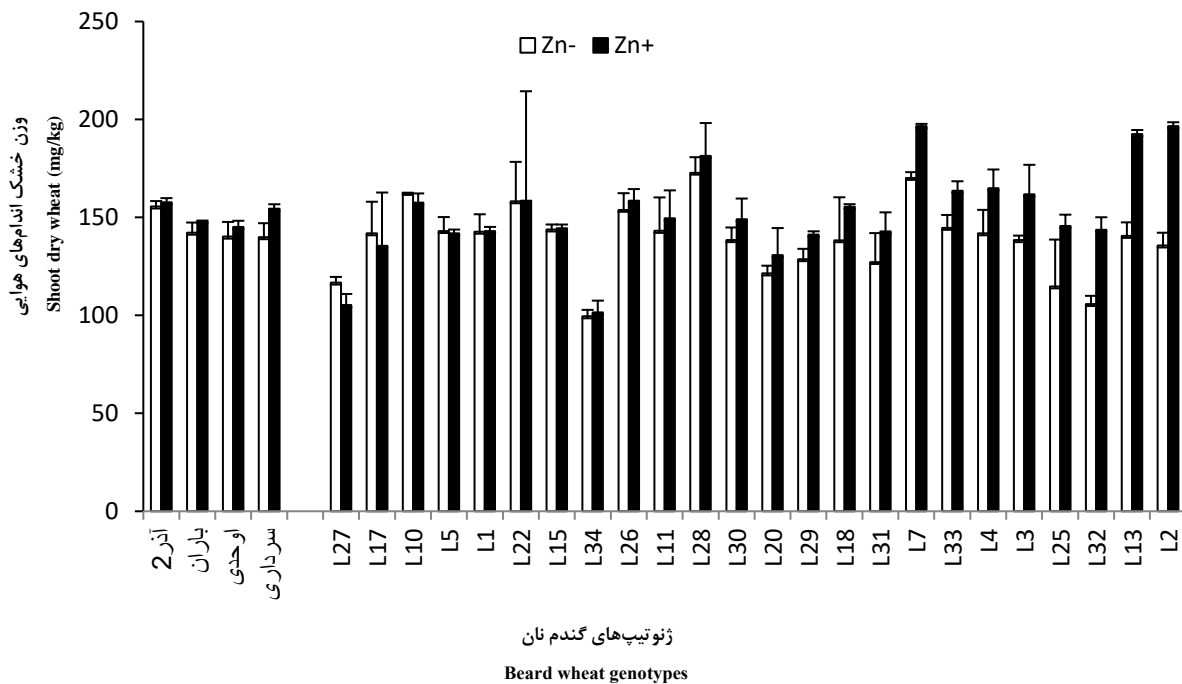
**، *، ^{ns}: Significance at the level of statistical probability of one percent, five percent and non-significance, respectively

می‌باشد (Esfandiari and Mahboob, 2014). لذا، میزان ماده خشک تولید شده توسط گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی به‌عنوان شاخص ارزیابی تحمل به تنش استفاده می‌گردد (Esfandiari and Javadi, 2014; Eker *et al.*, 2006; Munns and Tester, 2008). به عبارتی دیگر، در شرایط کمبود روی هر قدر یک ژنوتیپ بتولند ماده خشک بیشتری تولید نماید حاکی از توانایی این گیاه در اجرای مطلوب

با توجه نقش‌های فیزیولوژیک روی در سلول‌های گیاهی و نقش کوفاکتوری آن در بیش از ۳۰۰ آنزیم، کمبود این عنصر نوعی تنش محیطی محسوب شده و همانند سایر تنش‌های محیطی منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (Tauris *et al.*, 2009). وزن خشک بوته، حاصل تثبیت و احیای دی‌اکسید کربن به کربوهیدرات طی فرآیند فتوسنتز و تبدیل کربوهیدرات حاصل به سایر بیومولکول‌های سازنده ساختار گیاه

می‌باشد (Abdoli *et al.*, 2019). وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ و ارقام گندم در پاسخ به کمبود روی توسط محققینی متعددی گزارش شده است (Kalayaci *et al.*, 1999; Moshiri *et al.*, 2007; Abdoli and Esfandiari, 2017).

فرآیند فتوسنتز و مسیرهای متابولیسمی برای تولید سایر بیومولکول‌های شرکت کننده در ساختار گیاهچه است. این موارد نشان می‌دهد که ارزیابی میزان تولید ماده خشک در هر دو شرایط کمبود و کافی بودن روی از اهمیت بالایی برخوردار



شکل ۱- اثر متقابل کاربرد سولفات روی در ژنوتیپ بر وزن خشک قسمت هوایی گیاهچه‌های گندم نان

Figure 1- Interaction effect of zinc sulfate application in genotype on dry weight of aerial parts of bread wheat seedlings

دارند که به ترتیب در شرایط کافی بودن و کمبود روی، ماده خشک بخش هوایی برای ژنوتیپ L_{۲۷}، ۱۰۵/۲۲ و ۱۱۶/۷۲ میلی‌گرم بر بوته و برای ژنوتیپ L_{۳۴}، ۹۹/۵ و ۱۰۱/۵ میلی‌گرم بر بوته بود (شکل ۲).

یکی از فاکتورهای مهم در تعیین بنیه گیاهچه‌ها و تحمل آنها به شرایط دشوار محیطی وزن خشک آنها می‌باشد. به طوری که هرچه میزان ماده خشک تولید شده در یک ژنوتیپ در شرایط تنش به شرایط مطلوب نزدیک‌تر باشد عملاً تحمل بالاتری به شرایط دشوار محیطی مانند کمبود روی دارند (Abdoli and Esfandiari, 2017). بر این اساس برخی از ارقام و یا ژنوتیپ‌های گندم از ماده خشک تولید شده تقریباً مشابهی در شرایط کمبود یا کافی بودن روی برخوردار هستند که می‌توان به L_{۳۴} و L_{۱۵} اشاره نمود (شکل ۲). اگرچه هر دو ژنوتیپ قادرند در شرایط کمبود روی، مشابه کافی بودن آن تولید ماده خشک نمایند اما میزان ماده خشک تولید شده در

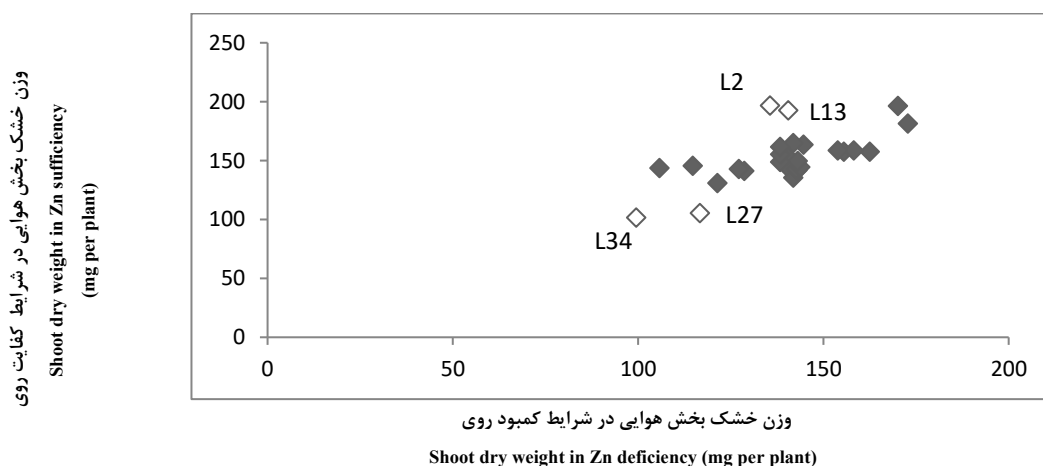
در این مطالعه پاسخ ژنوتیپ‌های گندم به کاربرد روی را می‌توان به دو گروه مجزا تقسیم‌بندی نمود. گروه اول شامل ژنوتیپ‌هایی است که به کاربرد روی پاسخ مثبت داده و میزان ماده خشک بخش هوایی آنها در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد روی) افزایش معنی‌داری داشتند که اصطلاحاً به آنها ژنوتیپ‌های کودپذیر گفته می‌شود. در این دسته ژنوتیپ‌هایی مانند L_۲ و L_{۱۳} قرار دارند که به ترتیب در شرایط کافی بودن و کمبود روی ماده خشک بخش هوایی برای ژنوتیپ L_۲، ۱۹۶/۶۱۱ و ۱۳۵/۶۶۷ میلی‌گرم بر بوته و برای ژنوتیپ L_{۱۳}، ۱۹۲/۵ و ۱۴۰/۵۵۶ میلی‌گرم بر بوته بود (شکل ۲).

گروه دیگر شامل ژنوتیپ‌هایی است که کاربرد روی، تأثیر معنی‌دار بر میزان ماده خشک بخش هوایی آنها نداشته و در هر دو شرایط کفایت و کمبود روی ماده خشک بخش هوایی آنها تقریباً یکسان بود که اصطلاحاً به آنها ژنوتیپ‌های کودناپذیر گفته می‌شود. در این دسته ژنوتیپ‌هایی مانند L_{۲۷} و L_{۳۴} قرار

حالیکه رقم آذر ۲ علیرغم کشت در خاک آهکی و دارای روی قابل جذب ۰/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (حد بحرانی روی برای گندم یک میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است Faezi-Asl *et al.*, 2003))، در مقایسه با کاربرد روی به میزان ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک ماده خشک یکسانی تولید نموده است. در مقابل رقم سرداری به کاربرد خاکی روی پاسخ مثبت داده است (شکل ۲). رفتارهای مشابهی نیز توسط برخی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در پاسخ به کاربرد روی مشاهده شد (شکل ۲). این نتایج نشان می‌دهد که رقم آذر ۲ ممکن است از ویژگی‌های خاص ژنتیکی نظیر توانایی ترشح فیتوسیدروفور از ریشه و یا اختصاص روی موجود در سلول به فرآیندهای حیاتی گیاه مانند آنزیم کربونیک آنهیدراز و یا مکانیسم‌های دفاعی برخوردار باشد که منجر به متحمل شدن این رقم به کمبود روی می‌گردد. همچنین، در شرایط کمبود روی افزایش ترشح فیتوسیدروفور یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاه به تنش یاد شده است (Cakmak *et al.*, 1998).

ژنوتیپ L₁₅، در حدود ۳۳ درصد بیشتر از ژنوتیپ دیگر در هر دو شرایط است که به نوعی بیانگر عملکرد بهتر این ژنوتیپ در تثبیت دی‌اکسید کربن به قند و تبدیل آن به واحدهای ساختاری می‌باشد. در مجموع، این دسته از ژنوتیپ‌ها که از بنیه گیاهی‌ای بالاتری برخوردار هستند، اهمیت بیشتری از دیدگاه محققین دارند.

بررسی تنوع ژنتیکی از گام‌های اولیه برای شناخت ژنوتیپ‌ها در پاسخ به کمبود روی جهت انجام کارهای اصلاحی و رسیدن به رقم یا ارقامی است که از توانایی بالایی برای مقابله با کمبود روی برخوردار بوده و بتواند ماده خشک بالاتری تولید نماید. اگرچه رسیدن به این مورد، هدفی بلند مدت است، ولی بررسی تنوع ژنتیکی برخی اطلاعات از ویژگی ژنوتیپ‌ها را در اختیار محقق قرار می‌دهد که می‌تواند کاربرد کوتاه مدت داشته باشد مانند شناسایی ارقام یا ژنوتیپ‌های کودپذیر یا کود ناپذیر. تأثیر مثبت کاربرد روی به فرم‌های مختلف (خاکی، برگی و یا ترکیب آنها) بر افزایش ماده خشک و عملکرد گندم توسط محققین گزارش شده است (Abdoli *et al.*, 2016).



شکل ۲- ارتباط بین وزن خشک بوته‌های گندم در شرایط کمبود و کافی بودن روی در ژنوتیپ‌ها و ارقام گندم نان

Figure 2- The relationship between the dry weight of wheat plants in conditions of deficiency and sufficiency of zinc in bread wheat genotypes and varieties

خود اختصاص داده است (جدول ۲). در حالی که در شرایط کفایت روی به ترتیب ژنوتیپ L₅ با ۱۳/۷ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و رقم اوحدی با ۱۴ میلی‌گرم روی در کیلوگرم کمترین و ژنوتیپ L₁₁ با ۱۸ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و رقم آذر ۲ و باران با ۱۶ میلی‌گرم روی در کیلوگرم بیشترین میزان روی را به خود اختصاص داده است (جدول ۲). همچنین، نتایج مقایسه

غلظت و محتوای روی بخش هوایی

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که از نظر غلظت روی در گیاهیچه در شرایط کمبود روی ژنوتیپ L₂₇ با ۱۰/۳ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم و رقم باران با ۱۱/۷ میلی‌گرم روی در کیلوگرم کمترین و ژنوتیپ L₁₅ با ۱۴/۷ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و رقم آذر ۲ با ۱۳ میلی‌گرم روی در کیلوگرم بیشترین میزان را به

غلظت روی و محتوای روی به‌ترتیب بیانگر میزان روی موجود در یک کیلوگرم ماده خشک گیاه و مقدار روی انباشته شده در تک بوته است (Sadeghzadeh *et al.*, 2009). با توجه به نقش فیزیولوژیک روی در فرآیندهای متابولیسمی و در نهایت ایجاد ساختار گیاه، انتظار می‌رود ژنوتیپ‌هایی که در شرایط افزودن روی به خاک غلظت و محتوای روی بیشتری در مقایسه با عدم افزودن روی به خاک (جدول ۳) دارند، میزان ماده خشک بخش هوایی آن‌ها در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر باشد (شکل ۱). در این خصوص، ارتباط مستقیم بین غلظت و محتوای روی با تولید ماده خشک و ایجاد گیاهچه‌های قوی‌تر گزارش شده است (Beygi *et al.*, 2012). در این پژوهش ژنوتیپ‌های L_{28} و L_2 به‌ترتیب در شرایط کمبود و کافی بودن روی، بیشترین میزان ماده خشک تولید شده را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند (شکل ۱) اما، ژنوتیپ L_{15} در شرایط کمبود روی و ژنوتیپ L_{12} در شرایط کافی بودن روی غلظت روی بیشتری داشتند (جدول ۳) که میزان ماده خشک بخش هوایی آنها کمتر از ژنوتیپ‌های یاد شده است (شکل ۱). همچنین، به‌عنوان مثال در ژنوتیپ‌های L_5 ، L_{10} و L_{15} در پی افزودن روی به خاک غلظت و محتوای روی بخش هوایی در مقایسه با شاهد افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. درحالی‌که ماده خشک بخش هوایی در این ژنوتیپ‌ها با اضافه نمودن روی به خاک تغییر معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱). به‌عبارتی دیگر، میزان روی افزوده شده به خاک بیش از نیاز گندم بود و توسط ریشه ژنوتیپ‌ها جذب و به بخش هوایی انتقال می‌یابد که افزایش غلظت و محتوای روی در ژنوتیپ‌های L_5 ، L_{10} و L_{15} نشان دهنده آن است (جدول ۳). افزایش شاخص‌های یاد شده الزاماً به مفهوم بکارگیری روی در فرآیندهای متابولیسمی و بهبود فرآیندهای آن نیست. بطوریکه ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی قادرند مقادیر کم این عنصر را به بخش‌های کلیدی متابولیسم نظیر آنزیم کربونیک آنهیدراز یا آنزیم‌های دخیل در مکانیسم‌های دفاعی همچون سوپراکسید دیسموتاز اختصاص دهد که برآیند آن بهبود عملکرد متابولیسمی و افزایش ماده خشک بخش هوایی است. در مطالعات انجام شده پراکنش روی در اندامک‌های مختلف سلول نظیر غشاها، آپوپلاست، واکوئل و دیواره سلولی توسط گزارش شده است (Hacisalihoglu *et al.*, 2003). این محققین گزارش نمودند بین اندامک‌های

میانگین نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت روی و ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود و کافی بودن روی وجود دارد. بدین ترتیب که غلظت روی از $12/1$ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط کمبود روی به $15/1$ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط کافی بودن روی رسید که این میزان افزایش معادل $31/4$ درصد بود (جدول ۳).

نتایج اثرات متقابل پارامترهای مورد بررسی مشخص نمود که بین ژنوتیپ‌ها و ارقام گندم مورد مطالعه از نظر محتوای روی بخش هوایی تنوع قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. بطوریکه ژنوتیپ‌های L_2 و L_{34} به‌ترتیب با مقادیر $2/6$ و $1/4$ میکروگرم در بوته بیشترین و کمترین میزان محتوای روی را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). همچنین، ژنوتیپ‌های L_{27} و L_{34} و رقم باران با $1/7$ میکروگرم در بوته کمترین محتوای روی و ژنوتیپ L_{15} و رقم آذر ۲ به‌ترتیب با $2/1$ و 2 میکروگرم در بوته بیشترین محتوای روی را در شرایط کمبود روی دارا بودند (جدول ۳). از طرفی، در شرایط کافی بودن روی ژنوتیپ L_2 و رقم آذر ۲ با $3/3$ و $2/5$ میکروگرم در بوته بیشترین محتوای روی و ژنوتیپ‌های L_{27} و L_{34} با $1/7$ میکروگرم در بوته و رقم اوحدی ۲ میکروگرم در بوته کمترین محتوای روی را داشتند (جدول ۳). همچنین، محتوای روی گیاهچه‌ها در اثر کاربرد خاکی سولفات روی از $1/7$ میکروگرم در بوته در شرایط کمبود روی به $2/4$ میکروگرم در بوته در شرایط کافی بودن روی رسید که حاکی از افزایش حدود 41 درصدی آن می‌باشد (جدول ۳). افزایش غلظت و محتوای روی در بخش هوایی بوته‌های گندم توسط برخی از محققین در اثر کاربرد روی گزارش شده است (Cakmak *et al.*, 1998; Moshiri *et al.*, 2010). همچنین، وجود تنوع ژنتیکی از نظر غلظت و محتوای روی در قسمت‌های هوایی گندم، جو، برنج، ذرت و لوبیا مشاهده شده است (Gregorio *et al.*, 2000; Genc *et al.*, 2002; Mentovi *et al.*, 2003; Genc and McDonald, 2004; Sadeghzadeh *et al.*, 2009) که از دلایل آن می‌توان به ترشح فیتوسیدروفرا در گیاهان تک لپه‌ای، ساختار ریشه از نظر طول و قطر و اختصاص و بکارگیری روی جذب شده در نواحی مختلف سلول اشاره نمود (Graham and Rengel, 1993; Hacisalihoglu and Kochian, 2003; Khoshgoftar-Manesh *et al.*, 2010).

مختلف در ارقام با کارایی روی بالا و پایین از نظر میزان روی متفاوتی وجود ندارند. آنها دلیل حساسیت ارقام با کارایی روی پائین را ناشی از عدم توانایی در تخصیص روی در شرایط کمبود

روی به فعالیت آنزیم‌های مانند کربونیک آنهیدراز و Cu/Zn- SOD می‌دانند.

جدول ۳- اثر کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ بر غلظت و محتوای روی و کارایی استفاده از روی در بخش هوایی بوته‌های ارقام و ژنوتیپ‌های گندم

Table 3-The effect of zinc sulfate application and genotype on the concentration and content of zinc and the efficiency of zinc use in the shoot of wheat varieties and genotypes

کارایی استفاده از روی			محتوای روی اندام هوایی			غلظت روی اندام هوایی			ژنوتیپ
Zinc use efficiency(mg dry matter/ μg Zinc)			Zinc content of shoot(μg per plant)			Zinc concentration of shoot(mg.Kg ⁻¹)			
میانگین	افزودن روی	بدون روی	میانگین	افزودن روی	بدون روی	میانگین	افزودن روی	بدون روی	ژنوتیپ
Mean	Zn+	Zn-	Mean	Zn+	Zn-	Mean	Zn+	Zn-	Genotypes
69.9(a-d)	62.7(3.92)	77.2(5.96)	2.3(a-d)	2.5(0.13)	2.0(0.19)	14.5(a-d)	16(1.0)	13(1.0)	آذر ۲
75.6(a-d)	62.7(3.92)	88.6(2.36)	2.0(c-f)	2.4(0.37)	1.8(0.15)	13.8(c-f)	16(2.52)	11.7(1.0)	باران
75.6(a-d)	72.1(8.33)	79.1(3.70)	1.9(d-f)	2.0(0.11)	1.8(0.25)	13.3(d-f)	14(0.58)	12.7(1.73)	اوحدی
75.3(a-d)	66.9(4.47)	83.7(7.0)	2.0(c-f)	2.3(0.12)	1.8(0.32)	13.5(c-f)	15(1.0)	12(1.0)	سرداری
81.5(ab)	71.7(5.13)	91.4(8.34)	1.8(fg)	2.0(0.14)	1.6(0.13)	12.8(fg)	14(1.0)	11(1.0)	L1
66.3(cd)	60.4(5.71)	72.2(9.62)	2.6(a)	3.3(0.4)	1.9(0.55)	5.15(a)	16.7(1.73)	14(1.53)	L2
73.3(a-d)	63.0(6.42)	83.7(7.0)	2.1(b-f)	2.6(0.14)	1.6(0.33)	14(b-f)	16(1.0)	12(1.73)	L3
74.9(a-d)	63.9(2.41)	85.9(17.2)	2.1(b-f)	2.6(0.45)	1.7(0.1)	12.8(b-f)	15.7(2.65)	12(0.58)	L4
83.2(a)	73.8(8.58)	92.6(16.0)	1.8(fg)	1.9(0.32)	1.6(0.23)	12.3(fg)	13.7(1.73)	11(1.53)	L5
73.7(a-d)	61.6(5.61)	85.9(4.37)	2.6(a)	2.3(0.21)	2.0(0.55)	14(a)	16.3(0.58)	11.7(1.53)	L7
79.7(a-c)	70.1(5.92)	89.3(11.6)	2.0(c-f)	2.3(0.23)	1.8(0.16)	12.8(c-f)	14.3(1.53)	11.3(1.15)	L10
68.6(a-d)	55.7(3.10)	81.6(8.7)	2.2(a-e)	2.7(0.19)	1.8(0.2)	15.2(a-e)	18(1.15)	12.3(1.0)	L11
73.6(a-d)	63.9(2.41)	83.3(0.0)	2.4(a-c)	3.0(0.08)	1.7(0.18)	13.8(a-c)	15.7(0.0)	12(0.58)	L13
63.8(d)	58.8(0.0)	68.7(7.42)	2.3(a-d)	2.5(0.42)	2.1(0.19)	15.8(a-d)	17(1.53)	14.7(0.0)	L15
68.7(a-d)	60.2(0.0)	77.2(5.96)	2.1(c-f)	2.3(0.23)	1.8(0.25)	14.8(c-f)	16.7(1.0)	13(1.15)	L17
73.9(a-d)	64.1(4.53)	83.7(7.0)	2.1(c-f)	2.4(0.14)	1.7(0.33)	13.8(c-f)	15.7(1.0)	12(1.15)	L18
73.8(a-d)	61.3(2.12)	86.2(8.7)	1.8(fg)	2.1(0.11)	1.4(0.25)	14(fg)	16.3(1.15)	11.7(0.58)	L20
70.2(a-d)	58.8(0.00)	81.6(8.7)	2.3(a-c)	2.7(0.21)	2.0(0.02)	14.7(a-c)	17(1.15)	12.3(0.0)	L22
76.9(ab)	65.3(2.41)	88.4(4.37)	1.8(fg)	2.2(0.21)	1.3(0.09)	13.3(fg)	15.3(0.58)	11.3(0.58)	L25
70.2(a-d)	61.3(2.12)	79.1(3.70)	2.3(a-d)	2.6(0.09)	1.9(0.06)	14.5(a-d)	16.3(0.58)	12.7(0.58)	L26
81.2(a-d)	62.7(3.92)	99.7(2.19)	1.4(g)	1.7(0.25)	1.2(0.12)	13.2(g)	16(2.8)	1.3(1.0)	L27
74.3(b-d)	62.7(3.92)	85.9(4.37)	2.5(a)	2.9(0.11)	2.0(0.12)	13.8(a)	16(0.58)	11.7(1.0)	L28
69.9(a-d)	60.3(5.71)	79.4(6.87)	2.0(c-f)	2.4(0.27)	1.6(0.31)	14.7(c-f)	16.7(1.15)	12.7(1.53)	L29
74.6(a-d)	62.7(3.92)	86.2(8.70)	2.0(c-f)	2.4(0.18)	1.6(0.34)	13.8(c-f)	16(1.15)	11.7(1.0)	L30
67.9(cd)	59.0(3.47)	76.9(0.0)	2.0(c-f)	2.4(0.26)	1.7(0.2)	15(c-f)	17(0.0)	13(1.0)	L31
70.1(a-d)	59.0(3.47)	81.2(3.70)	1.9(e-f)	2.4(0.07)	1.3(0.12)	14.7(e-f)	17(0.58)	12.3(1.0)	L32
74.6(a-d)	65.5(5.15)	83.7(7.00)	2.1(b-f)	2.5(0.21)	1.7(0.19)	13.7(b-f)	15.3(1.0)	12(1.15)	L33
71.9(a-d)	60.0(2.12)	83.7(7.00)	1.4(g)	1.7(0.04)	1.2(0.06)	14.5(a-d)	16.7(1.0)	12(0.58)	L34
	63.2 (b)	83.4 (a)		2.4 (a)	1.7 (b)		15.9 (a)	12.1 (b)	میانگین Mean

علامت خط تیره (-) بین حروف نشانگر وجود سایر حروف بین آنهاست و براساس الفبای لاتین می‌باشد. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

A dash (-) sign between letters indicates the presence of other letters between them. Means in each column by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

کارایی مصرف روی

وجود دارد (جدول ۲). به طوری که ژنوتیپ‌های L_{۱۵} و L_۲ به ترتیب با ۶۳/۸ و ۶۶/۳ میلی‌گرم ماده خشک بر میکروگرم روی کمترین و ژنوتیپ‌های L_۵ و L_۱ به ترتیب با ۸۳/۲ و ۸۱/۵ میلی‌گرم ماده خشک بر میکروگرم روی بیشترین میزان کارایی استفاده از روی را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). همچنین،

میزان ماده خشک تولید شده به ازای هر میلی‌گرم روی کارایی مصرف روی تعریف می‌گردد (Narwal et al., 2012). نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر کارایی مصرف روی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

گیاه می‌باشد.

طبق تعریف کارایی روی، هرچه میزان این پارامتر بیشتر باشد ژنوتیپ یا رقم به کمبود روی متحمل‌تر بوده و پارامتر موثری برای گزینش ژنوتیپ‌ها می‌باشد، ولی دارای اشکالاتی است که می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها ایجاد خطا نماید. برای مثال ژنوتیپ‌های L_{28} و L_{34} دارای کارایی روی نسبتاً یکسان هستند (شکل ۳) ولی از نظر ویژگی‌ها و توانایی تولید ماده خشک کاملاً متفاوت هستند (شکل ۱). با توجه به اینکه ویژگی اولیه گیاهچه اثر مثبتی بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه دارد، طبیعتاً ژنوتیپی که گیاهچه‌های قوی‌تری تولید می‌کند در مقایسه با ژنوتیپ دیگر، از توانایی مناسب‌تری برای اجرای فرآیندهای حیاتی متابولیسم برخوردار است و بر ژنوتیپ دیگر ارجحیت دارد.

برآیند این عوامل نشان می‌دهد ژنوتیپ‌ها یا ارقامی که کارایی روی بالایی دارند، در شرایط کمبود و کفایت روی میزان ماده خشک نسبتاً یکسانی را تولید می‌نمایند. این امر نشان می‌دهد که اجرای چرخه کالوین در این دسته از ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط بهم نزدیک بوده و منجر به تولید ماده خشک یکسان می‌شود. اما همان‌گونه که اشاره شد ژنوتیپ‌هایی با کارایی روی یکسان، ممکن است از نظر میزان ماده خشک بخش هوایی با هم متفاوت باشند (اشکال ۲ و ۳) که می‌تواند ناشی از تفاوت آنها در مصرف پتانسیل هیدروژن حاصل از واکنش‌های نوری فتوسنتز باشد. ژنوتیپ‌هایی که علیرغم داشتن کارایی روی بالا، ماده خشک بخش هوایی آنها کم می‌باشد عملاً پتانسیل هیدروژن حاصل از واکنش‌های نوری فتوسنتز را در مکانیسم‌های دفاعی نظیر چرخه‌های گلوکوتائین-آسکوربات، مه‌لر و گزانتوفیل به‌هدر می‌دهند و بخشی از پتانسیل هیدروژن حاصل از مرحله یاد شده برای اجرای چرخه کالوین اختصاص می‌یابد (Esfandiari and Mahboob, 2014). در مقابل ژنوتیپ‌هایی که ضمن برخورداری از کارایی روی بالا، دارای ماده خشک بخش هوایی بالاتری هستند بخش قابل توجهی از پتانسیل هیدروژن حاصل از واکنش‌های نوری فتوسنتز را برای تثبیت دی‌اکسید کربن و تبدیل آن به کربوهیدرات در چرخه کالوین مصرف کرده‌اند. اجرای این چرخه مهم‌ترین مکانیسم

کارایی استفاده از روی در اثر کاربرد سولفات روی در گیاهچه‌های ارقام و ژنوتیپ‌های گندم کاهش یافت و از ۸۳/۴ به ۶۳/۲ میلی‌گرم ماده خشک بر میکروگرم روی رسید (جدول ۳) که ناشی از افزایش غلظت یا جذب روی گیاهچه است. کاهش کارایی مصرف روی با افزودن روی به خاک و وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های گندم توسط محققین متعددی نیز گزارش شده است (Genc et al., 2002; Genc and McDonald, 2004) (and 2008; Narwal et al., 2012; Vanitha et al., 2016). لازم به‌ذکر است که بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان از نظر توانایی جذب و مصرف عناصر غذایی تفاوت‌هایی وجود دارد که برای محققین ابهام ایجاد می‌کند. کارایی مصرف روی به‌طور همزمان ویژگی‌های مرتبط با جذب و مصرف عناصر را در گیاهان نشان می‌دهد و برخی از تضادهای موجود بین ارتباط فاکتورها مانند غلظت روی با ماده خشک تولید شده را رفع می‌نماید (Sepehr et al., 2009).

کارایی روی

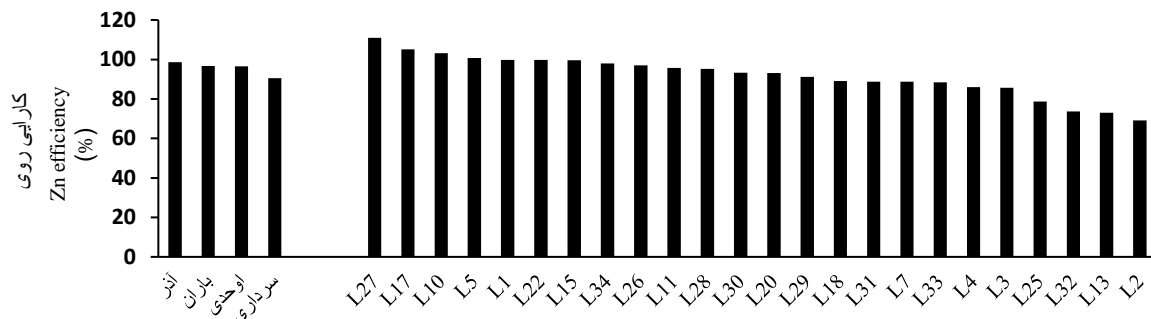
کارایی روی^۱ بیانگر نسبت وزن خشک بخش هوایی تولید شده در شرایط کمبود روی به وزن خشک بخش هوایی تولید شده در شرایط کافی بودن روی است (Welch et al., 1993). این پارامتر برای بررسی وجود تنوع بین ژنوتیپ‌ها و یا توضیح اختلاف بین گیاهان در مقاومت به کمبود روی کاربرد دارد (Khan et al., 1998; Rengel et al., 1998). لذا می‌توان عنوان نمود که هرچه میزان ماده خشک تولید شده در بخش هوایی در شرایط کمبود و کافی بودن روی بهم نزدیک‌تر باشد ژنوتیپ مورد نظر روی کارآمدتر است.

در این مطالعه بین ژنوتیپ‌های گندم، از نظر کارایی روی تنوع خوبی مشاهده شد و میزان این شاخص بین ۶۵/۱۵ تا ۱۱۰/۹۴ درصد متغیر بود (شکل ۳). تنوع در کارایی روی در گندم توسط محققینی متعددی گزارش شده است (Neue et al., 1998; Rengel et al., 1998; Khoshgoftar-Manesh et al., 2006; Rasouli-Sadaghiani et al., 2006). این محققین معتقدند که اختلاف بین ارقام یا ژنوتیپ‌های گندم حاکی از وجود پتانسیل ژنتیکی برای توسعه کارایی روی در این

¹ Zn efficiency

گیاه برای مقابله با انواع اکسیژن فعال برخوردار می‌باشند. در مقابل ژنوتیپ‌های روی کارآمد با ویگور بالای گیاهچه به شرط عدم بروز علائم ظاهری، به دلیل اجرای مناسب چرخه کالوین لزومی بر اجرای سایر مکانیسم‌های دفاعی گیاه برای ممانعت از تولید یا جمع‌آوری انواع اکسیژن فعال تولید شده در واکنش‌های نوری فتوسنتز ندارند. لذا، برآیند این عوامل نشان می‌دهد که برای گزینش صحیح ژنوتیپ‌های متحمل یا مقاوم به کمبود روی در نظر گرفتن همزمان ماده خشک بخش هوایی و کارایی روی حائز اهمیت است.

دفاعی گیاه بوده و ضمن کاهش تولید انواع اکسیژن فعال در کلروپلاست، تولید کربوهیدرات‌ها را افزایش می‌دهد که در نهایت بالا رفتن تولید سایر بیومولکول‌ها و وزن خشک ساختاری گیاهچه را در پی دارد (Esfandiari and Mahboob, 2014). لازم به ذکر است که به لحاظ فیزیولوژیک هر دو دسته ژنوتیپ‌ها که دارای کارایی روی بالایی هستند از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. زیرا هر کدام اطلاعات ارزشمندی از بعد رفتار فیزیولوژیک گیاه در شرایط کمبود روی نشان می‌دهد. در واقع ژنوتیپ‌ها روی کارآمد اما با ویگور گیاهچه ضعیف به شرط عدم بروز علائم ظاهری، از توان بالایی در اجرای مکانیسم‌های دفاعی



شکل ۳- تغییرات شاخص کارایی روی در اثر کاربرد سولفات روی در ارقام و ژنوتیپ‌های گندم نان

Figure 3- Changes in zinc efficiency index as a result of zinc sulfate application in bread wheat varieties and genotypes

مجموع، در بین پارامترهای مورد بررسی برای تعیین ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به کمبود روی، لازم است بطور همزمان اطلاعات ماده خشک بخش هوایی در شرایط کمبود یا کفایت روی همراه با کارایی آن مورد بررسی قرار گیرد. لذا، می‌توان ژنوتیپ‌های L₂₈، L₂₂ و L₁₀ را به دلیل نزدیکی میزان ماده خشک اندام‌های هوایی در شرایط کافی بودن روی و کمبود روی به یکدیگر، بنیه قوی‌تر و کارایی روی بالا جزو ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی دانست. در مقابل ژنوتیپ‌های L₂، L₃₂ و L₁₃ کارایی روی و ماده خشک پائینی در شرایط کمبود روی داشتند و به همین جهت حساس به کمبود روی می‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اگرچه گندم نان به کمبود روی حساس می‌باشد اما، بین ژنوتیپ‌ها و ارقام مورد بررسی از نظر تحمل یا مقاومت به کمبود روی تنوع خوبی وجود دارد. همچنین، هر یک از پارامترهای مورد اندازه‌گیری بخشی از ویژگی‌های مربوط به خصوصیات رفتاری ارقام یا ژنوتیپ‌ها را در اختیار محقق قرار می‌دهد. لازم به ذکر است که پارامترهای غلظت و جذب روی گیاهچه‌ها شاخص‌های مناسبی برای گزینش و جداسازی ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس نمی‌باشد. زیرا، در مواردی ژنوتیپ‌های حساس دارای مقادیر یکسان و یا بیشتر محتوا و غلظت روی در مقایسه با ژنوتیپ‌های مقاوم هستند. در

References

- Abdoli, M. and Esfandiari, E., 2017. Assessment of genetic variation and zinc deficient tolerance in spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes in calcareous soil with zinc deficiency. *Journal of Genetic Resources*, 3(1), pp.7-17. doi: 10.22080/jgr.2017.13099.10070

- Abdoli, M., Esfandiari, E., Aliloo, A.A., Sadeghzadeh, B. and Mousavi, S.B., 2019. Study of genetic diversity in different wheat species with various genomes based on morphological characteristics and zinc use efficiency under two zinc deficient growing conditions. *Acta Agriculturae Slovenica*, 113(1), pp.147-161. doi: **10.14720/aas.2019.113.1.13**
- Abdoli, M., Esfandiari, E., Sadeghzadeh, B. and Mousavi, S.B., 2016. Zinc application methods affect agronomy traits and grain micronutrients in bread and durum wheat under zinc-deficient calcareous soil. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), pp.202–214.
- Ali-Ehiayi, M. and Behbahani, A., 1993. Description of soil chemical analysis methods. Soil and Water Research Institute.
- Beygi, M., Savaghebi, Gh. and Motesarezadeh, B., 2012. Study of zinc efficiency in selected common bean cultivars. *Journal of Water and Soil*, 26(1), pp.33-41. [In Persian]
- Cakmak, I., 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil*, 247(1), pp.3-24. doi: **10.1007/978-94-017-2789-1-1**
- Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1), pp.1-17. doi: **10.1007/s1110-007-9466-3**
- Cakmak, I., Erenoglu, B., Güllüt, Y., Derici, R. and Römheld, V., 1998. Light-mediated release of phytosiderophores in wheat and barley under iron or zinc deficiency. *Plant and Soil*, 202(3), pp.309-315. doi: **10.1023/A:1004384712817**
- Cakmak, I., Tolay, I., Ozkan, H., Ozdemir, A. and Braun, H., 1999. Variation in zinc efficiency among and within *Aegilops* species. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences*, 162(3), pp.257-262. doi: **10.1002/(sici)1522-2624(19906)162:3**
- Esfandiari, E. and Abdoli, M., 2017. Improvement of agronomic and qualitative characters of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes by application of zinc sulfate under zinc deficiency stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(3), pp.619-636. [In Persian]
- Esfandiari, E. and Javadi, A., 2014. Different responses of two wheat cultivars to salinity stress at seedling stage. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6(2), pp.1-16. [In Persian]
- Esfandiari, E., Abdoli, M., Sadeghzadeh, B. and Mousavi, S.B., 2018. Evaluation of Turkish durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum*) genotypes based on quantitative traits and shoot zinc accumulation under zinc-deficient calcareous soil. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 8(4), pp.2525-2537. [In Persian]
- Esfandiari, E. and Mahboob, S.A., 2014. Plants biochemistry. Medicinal Science University of Tabriz. 315 p. [In Persian]
- Faezi-Asl, V., Valizadeh, Gh., Toshih, V., Taliei, A. and Belson, V., 2003. Determination of critical levels of micronutrients for dryland wheat in the North West of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 5(4), pp.236-249. [In Persian]
- Genc, Y. and McDonald, G.K., 2004. The potential of synthetic hexaploid wheats to improve zinc efficiency in modern bread wheat. *Plant and Soil*, 262(2), pp.23-32. doi: **10.1023/b:plso.0000037024.55764.26**

- Genc, Y. and McDonald, G.K., 2008. Domesticated emmer wheat [*T. turgidum* L. subsp. dicoccon (Schrank) Thell.] as a source for improvement of zinc efficiency in durum wheat. *Plant and Soil*, 310(1), pp.67-75. doi: **10.1007/s11104-008-9630-4**
- Genc, Y., McDonald, G.K. and Graham, R.D., 2002. A soil-based method to screen for zinc efficiency in seedlings and its ability to predict yield responses to zinc. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(4), pp.409-421. doi: **10.1071/ar01088**
- Graham, R.D. and Rengel, Z., 1993. Genotypic variation in zinc uptake and utilization by plants. soils and plants (pp. 107-118). Springer, Dordrecht.
- Hacisalihoglu, G. and Kochian, L.V., 2003. How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. *New Phytologist*, 159(2), pp.341-350. doi: **10.1046/j.1469-8137.2003.00826.x**
- Hajiboland, R., Singh, B. and Römheld, V., 2011. Retranslocation of Zn from leaves as important factor for zinc efficiency of rice genotypes. In *Plant Nutrition* (pp. 226-227). Springer, Dordrecht.
- Hajihoseinlou, S., Esfandiari, E. Karimi, E. and Ozturk, O., 2023. The response of genetic diversity of durum wheat for zinc deficiency stress in calcareous soil using some physiological parameters. *Journal of Crop Ecophysiology*, 17(3), pp.333-350. [In Persian]
- Hemantaranjan, A., 2009. Advancements in micronutrient research. Scientific publishers (India). 465 P.
- Kalayci, M., Torun, B., Eker, S., Aydin, M., Ozturk, L. and Cakmak, I., 1999. Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. *Field Crops Research*, 63(1), pp.87-98. doi: **10.1016/s0378-4290(99)00028-3**
- Khan, H.R., McDonald, G.K. and Rengel, Z., 1998. Chickpea genotypes differ in their sensitivity to Zn deficiency. *Plant and Soil*, 198(1), pp.11-18.
- Khoshgoftar-Manesh, A.H., 2007. Evaluation of plant nutrition status and optimum fertilizer management. Isfahan University of Technology Press. [In Persian]
- Khoshgoftar-Manesh, A.H., Schulin, R., Chaney, R.L., Daneshbakhsh, B. and Afyuni, M., 2010. Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), pp.83-107. doi: **10.1051/agro%2f2009017**
- Malakouti, M.J., 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(1), pp.1-12.
- Moshiri, F., Ardalan, M., Tehrani, M.M. and Savaghebi, Gh., 2010. Zinc efficiency of wheat cultivars in a calcareous soil with low zinc status. *Journal of Water and Soil*, 24(1), pp.145-153. doi: **10.1081/pln-200030068**
- Munns, R. and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review in Plant Biology*, 59(1), pp. 651-681. doi: **10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911**
- Narwal, R.P., Dahiya, R.R., Malik, R.S. and Kala, R., 2012. Influence of genetic variability on zinc, iron and manganese responses in wheat. *Journal of Geochemical Exploration*, 121(1), pp.45-48. doi: **10.1016/j.gexplo.2012.06.006**

- Neue, H.U., Quijano, C., Senadhira, D. and Setter, T., 1998. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems. *Field Crops Research*, 56(1), pp.139-155. doi:10.1016/s0378-4290(97)00125-1
- Passerini, A., Andreini, C., Menchetti, S., Rosato, A. and Frasconi, P., 2007. Predicting zinc binding at the proteome level. *BMC Bioinformatics*, 1(1), pp.8-39. doi: 10.1186/1471-2105-8-39
- Rasouli-Sadaghiani, M.S., Javadi-Paydar, M., Gharedaghi, M.H., Fard, Y.Y. and Dehpour, A.R., 2011. Antidepressant-like effect of pioglitazone in the forced swimming test in mice: The role of PPAR-gamma receptor and nitric oxide pathway. *Behavioral Brain Research*, 224(2) pp.336-343. doi: 10.1016/j.bbr.2011.06.011
- Sadeghzadeh, B., Rengel, Z. and Li, C., 2009. Differential zinc efficiency of barley genotypes grown in soil and chelator-buffered nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 32(10), pp.1744-1767. doi: 10.1080/01904160903150974
- Sepehr, E., Malakouti, M.J., Kholdebarin, B., Samadi, A. and Karimian, N., 2009. Genotypics variation in P efficiency of selected Iranian cereals in greenhouse experiment. *Plant Production*, 3(1), pp.17-28. [In Persian]
- Shu, N., Zhou, T. and Hovmoller, S., 2008. Prediction of zinc-binding sites in proteins from sequence. *Bioinformatics*, 24(6), pp.775-782. doi: 10.1093/bioinformatics/btm618
- Singh, B., Kumar, S., Natesan, A., Singh, B.K. and Usha, K., 2005. Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science*, 10(1), pp.36-44.
- Torun, B., Bozbay, G., Gultekin, I., Braun, H.J., Ekiz, H. and Cakmak, I., 2000. Differences in shoot growth and zinc concentration of 164 bread wheat genotypes in a zinc-deficient calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 23(9), pp.1251-1265. doi: 10.1080/01904160009382098
- Vanitha, J., Amudha, K., Kumari, R. and Robin, S., 2016. Genetic variability studies for zinc efficiency in aerobic rice. *Journal of Agricultural Science and Research*, 3(1), pp.49-56.
- Welch, R.M., Norvell, W.A., Schaefer, S.C., Shaff, J.E. and Kochian, L.V., 1993. Induction of iron (III) and copper (II) reduction in pea (*Pisum sativum* L.) roots by Fe and Cu status: Does the root-cell plasmalemma Fe (III)-chelate reductase perform a general role in regulating cation uptake? *Planta*, 190(4), pp.555-561.

Genetic diversity of beard wheat genotypes in response to zinc efficiency in a calcareous soil

Zahra Bahrever¹, Ezatollah Esfandiari^{2*}, Sedighe Hajihoseinlou³, Esmail Karimi⁴, Shahriyar Dashti²

¹ M.Sc Graduate, Department of Plant Genetic and Production Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

² Department of Plant Genetic and Production Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

³ Ph.D Graduate, Department of Plant Genetic and Production Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

⁴ Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

*Corresponding Author: esfand1977@yahoo.com

Received: 9 November 2022 Accepted: 16 March 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.367648.1284

Abstract

Introduction: Zinc is an essential micronutrient in plant nutrition and, plays a critical role in enzymatic reactions in plants. Zinc deficiency in the soils limits crops' growth and development, reduces the yield-related quantitative and qualitative traits. Wheat is the main source of food in Iranian diets. Wheat production is negatively affected by insufficient zinc in soils. Because of the high amount of lime in Iranian soils, Zinc deficiency is a common phenomenon in these soils. To overcome this challenge, the selection of zinc deficiency tolerant wheat cultivars could be one of the best strategies. To reach this goal; in this research, 28 genotypes and bread wheat cultivars were evaluated for their response to zinc deficiency in a calcareous soil containing 39% CaCO₃. We expected that zinc-deficient tolerant wheat cultivars should perform well under zinc deficiency compared to other wheat cultivars.

Materials and Methods: To test this hypothesis, 24 genotypes and 4 bread wheat cultivars were collected from the Institute of Seedlings and Seeds and, their growth characteristics were evaluated under control and zinc sulfate (5 mg. kg⁻¹) application. This experiment was performed as a factorial based on a randomized complete block design with three replications. Wheat genotypes and cultivars seedlings were kept under controlled conditions for 45 days and, irrigation was done with deionized water during the experiment. At the end of the experiment, wheat seedlings were cut from the land surface and the dry mass of areal part, zinc efficiency, zinc concentration, zinc content, and zinc use efficiency were assayed in the laboratory of agronomy at the University of Maragheh.

Results and Discussion: Results showed high variation among the cultivars and genotypes of wheat for the dry weight mass of aerial parts at zinc deficiency and with zinc treatment. The dry weight of aerial parts was varied between 99.5±3.08 to 172.833±2.69 mg.plant⁻¹ in L34 and L28 genotypes and 139.889±3.37 to 155.55±1.39 mg.plant⁻¹ in Sardari and Azar 2 cultivars, respectively under zinc deficiency conditions. But, the dry weight mass of aerial parts in the conditions of sufficient zinc absorption was between 101.5±0.92 to 196.611±13.55 mg.plant⁻¹ in L34 and L2 genotypes and in wheat cultivars, respectively. Zinc concentration of seedlings in conditions of zinc deficiency in L27 genotype was 10.3 mg.kg⁻¹ zinc and, Baran cultivar with 11.7 mg.kg⁻¹ zinc had the lowest and L15 genotype with 14.7 mg.kg⁻¹ zinc and Azar 2 cultivar with 13 mg.kg⁻¹ contained the highest amount. While with zinc application, L5 genotype with 13.7 mg.kg⁻¹ and Ouhadi cultivar with 14 mg.kg⁻¹ had the lowest and L11 genotype with 18 mg.kg⁻¹ and Azar 2 and Baran cultivar both with 16 mg.kg⁻¹ had the highest amount of zinc. Genotypes L15 with 63.8 and L2 with 66.3 mg dry weight mass per µgr zinc had the lowest and, L5 and L1 genotypes respectively with 83.2 and 81.5 mg dry weight mass per µgr zinc, had the highest efficiency of zinc use. Zinc application from zinc sulfate sources decreased the zinc efficiency of wheat genotypes and cultivars. Also, the efficiency of zinc application

due to the application of zinc sulfate in seedlings of wheat cultivars and genotypes decreased from 83.4 to 63.2 mg dry weight mass per μg zinc. Among genotypes, a desirable diversity of zinc efficiency was observed. The value of this index was varied between 65.15 to 110.94 %.

Conclusion: The results showed that despite the sensitivity of wheat to zinc deficiency, there was a high diversity between genotypes and cultivars in terms of shoot dry matter, zinc efficiency, and the content and concentration of zinc. Also, due to the same or more amounts of zinc content and concentration in sensitive genotypes compared to the resistant ones, the seedlings' zinc concentration and content are not suitable parameters for genotype selection programs. Overall, among the studied parameters, shoot dry matter and zinc efficacy are more reliable criteria for selecting sensitive and resistant zinc-deficient genotypes.

Keywords: Shoot dry matter, Zn concentration, Zn content, Zn efficiency, Zn use efficiency