

مقایسه تعدادی از مهم‌ترین ارقام برج نسبت به تحمل کمبود عنصر روی در شرایط مزرعه‌ای و آبکشت

رقیه حاجی بلند^۱، سید یحیی صالحی^۲، طاهره السادات آقاجانزاده^۳، معصومه ابهری^۴ و احسان نظیفی^۵

چکیده

کمبود روی یکی از مهم‌ترین نارسائی‌های تغذیه‌ای پس از عناصر پر مصرف در گیاه برج نسبت به تفاوت‌های ژنتیکی قابل توجهی بین ارقام مختلف برج از نظر تحمل کمبود روی وجود دارد. شناخت این تفاوت‌ها و معرفی ارقام متحمل به کمبود می‌تواند مصرف کودها را کاهش دهد. در پژوهش حاضر، تحمل تعدادی از مهم‌ترین ارقام رایج برج شمال کشور نسبت به کمبود روی در طی یک آزمایش مزرعه‌ای (۱۱ رقم) و آبکشت (۱۶ رقم) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها در طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از طرح دو عاملی شامل سطح روی و رقم انجام شد. چهار سطح کود روی در آزمایش مزرعه‌ای (شاهد، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود روی) و سه سطح در آزمایش آبکشت با استفاده از تکنیک کلاتور- بافر (شامل ۱۳۰ پیکومول فعالیت روی آزاد به عنوان شاهد، ۲۳ و ۵ پیکومول به عنوان تیمار کمبود) اعمال گردید. علاوه بر سنجش اجزای عملکرد در شرایط مزرعه‌ای و شاخص‌های رشد در شرایط آبکشت، غلظت و مقدار عنصر روی در بخش‌های مختلف گیاهان سنجش شد. در آزمایش مزرعه‌ای، با توجه به همه اجزای عملکرد، ارقام اوندا و کادوس به عنوان ناکاراترین نسبت به روی (حساس ترین در برابر کمبود) و ارقام دشت و خزر به عنوان کارآترین نسبت به روی (متحمل ترین در برابر کمبود) ارزیابی شد. در آبکشت، سه رقم فجر، طارم هاشمی و اوندا به عنوان حساس ترین و ارقام شفق، آمل و میانه به عنوان متتحمل ترین ارقام معرفی شدند. بیشترین غلظت روی در دانه در ارقام فجر و ندا و بیشترین پاسخ به کود روی از نظر انباشتگی این عنصر در دانه‌ها در دو رقم نعمت و طارم دیلمانی مشاهده شد در حالی که در کادوس، این عنصر عمدتاً در کاه انباشته شد. این بررسی علاوه بر معرفی نمودن ارقامی که بدون نیاز به کود روی عملکرد مناسبی را نشان می‌دهند، مناسب ترین ارقام را از نظر انباشت این عنصر در دانه‌ها که ارزش غذایی برج را افزایش می‌دهد، مشخص کرده است.

واژه‌های کلیدی: برج، ارقام برج، کمبود روی، کارائی نسبت عنصر روی

۱. به ترتیب استادیار و کارشناس ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. مریم فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران

۳. دانشجوی سابق کارشناسی علوم گیاهی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۴. دانشجوی سابق کارشناسی زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران

مقدمه

پرمصرف گزارش شده است (۳). ولی نژاد و همکاران حد بحرانی روی را ۱/۱ میلی گرم در کیلوگرم تعیین کرده و پاسخ برنج به سولفات روی را در ۴۵ درصد از اراضی شالیزاری مازندران گزارش کردند (۳). از آن زمان، کاربرد کود روی به زارعین توصیه شده و هر ساله مقادیر قابل توجهی کود روی توسط برنج کاران مصرف می شود.

استفاده از کود روی هزینه های تولید را بالا می برد. از سوی دیگر با توجه به این که بیشتر شالیکاران هرساله بدون توجه به مقدار واقعی فراهمی روی در خاک و براساس نتایج سال های گذشته و یا توصیه برنج کاران دیگر کود روی مصرف می کنند، پدیده انباشتگی عناصر نادر همراه این کودها در خاک و آلودگی آب های زهکشی می تواند در بلند مدت به یک معضل در اکوسیستم های کشاورزی تبدیل شود (۲۱). بدیهی است که شناخت ژنتیک های متتحمل به کمبود روی و ترویج استفاده از این ژنتیک ها می تواند کاربرد کودها را کاهش دهد.

تفاوت های ژنتیکی قابل توجهی در تحمل کمبود روی وجود دارد. در مورد ژنتیک های اصلاح شده در مؤسسه بین المللی تحقیقات برنج (IRRI)، بررسی های زیادی انجام گرفته و ارقام معینی به عنوان ارقام متتحمل به کمبود معرفی شده و مشخص گردیده است که این ژنتیک ها دارای کارایی (efficiency) بالاتری نسبت به عنصر روی می باشند (۱۱). کارایی نسبت به یک عنصر به عنوان توانایی یک ژنتیک برای تولید بیشترین عملکرد در خاک هایی با کمبود آن عنصر برای یک ژنتیک استاندارد تعریف می گردد (۱۵). تفاوت های ژنتیکی در تحمل کمبود یا کارایی مربوط به عوامل متعددی از جمله تفاوت در کارایی جذب عنصر از خاک یا محیط غذایی، تفاوت در انتقال به اندام هوایی و یا تفاوت در بهره وری نسبت به عنصر مورد نظر در سطح بافتی است (۱۵).

از سوی دیگر، کمبود روی در رژیم غذایی ایرانیان بخصوص زنان باردار، گزارش شده (۱) و با توجه به این که برنج دومین غذای ملی در ایران است، مرتفع کردن کمبود روی در رژیم غذایی با استفاده از غنی سازی دانه های این گیاه

عنصر روی دارای نقش های فیزیولوژیکی گوناگونی در گیاهان است. روی جزء فلزی کامل کننده نزدیک به ۳۰۰ آنزیم می باشد. عنصر روی در برخی آنزیم ها (کربونیک آنهیدراز، کربوکسیلاز، الکالین فسفاتاز و فسفولیپاز) نقش کاتالیتیک و در برخی دیگر (الکل دهیدروژناز، سوپر اکسید دیسموتاز و RNA پلی مراز) نقش ساختاری دارد. در کنار آنزیم های دارای روی، این عنصر برای فعالیت تعدادی دیگر از آنزیم ها (دهیدروژناز ها، آلدولاژها، ایزومراز ها، ترانس فسفریلاژها و پیروفسفاتاز نآلی وابسته به روی) ضروری بوده و یا فعالیت آنها را تنظیم می نماید (۱۵). آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز رادیکال های آزاد سوپر اکسید که عامل آسیب به سلول ها می باشند را بسی اثر می کند (۲۳) و به همین دلیل این عنصر برای جذب عناصر و جلوگیری از نشت آنها از ریشه ضروری است (۱۲). در گیاهان دچار کمبود روی به ویژه در شرایط بی هوایی یا کم هوایی مانند خاک های غرقابی، ممکن است فعالیت الكل دهیدروژناز کاهش یافته و سبب انباشتگی ترکیب سمی آستالدئید در ریشه ها شود (۲۲).

کمبود روی یکی از مهم ترین نارسانی های تغذیه ای گیاه برنج غرقابی در کشورهای مختلف از جمله هند، پاکستان، چین، ژاپن، فیلیپین، تایوان، شمال استرالیا و آمریکاست. شرایط غرقابی و احیا، pH بالای خاک و درصد بالای کربنات کلسیم در بسیاری از خاک های زیر کشت برنج دنیا مهم ترین عوامل ایجاد کمبود روی است (۸ و ۲۸). در شرایط احیائی موجود در خاک های غرقاب، به دو دلیل، فراهمی روی کاهش می باید، اول تشکیل رسوب سولفید روی و دوم، جذب روی بر سطح کربنات کلسیم و هم رسوبی با سایر ذرات خاک (۱۴ و ۱۷). افزایش غلظت بی کربنات محلول خاک شرایط غرقاب به عنوان یکی از عوامل ایجاد کمبود روی در شالیزارهای برنج گزارش شده است (۷ و ۲۰).

در ایران، کمبود روی در کشت برنج غرقابی در شمال کشور مهم ترین نارسانی تغذیه ای این گیاه پس از عناصر

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از آزمایش

بافت خاک (%)			%OC	EC	%TNV	pH
سیلت	رس	ماسه		(dS m ⁻¹)		
۳۷	۳۶	۲۷	۱/۷۸	۰/۲۲	۵/۹	۶/۵

انتخاب و کاشته شدند. کلیه ارقام مورد مطالعه به جز گرده میانه در شمال کشور کاشته می‌شوند. سایر بذرها به جز بذر گرده میانه که از زارعین تهیه شد، از مؤسسه تحقیقات برنج در گیلان (رشت) یا مازندران (آمل) تهیه گردید.

کشت مزرعه‌ای

این آزمایش در طی بهار و تابستان ۸۳ در یکی از شالیزارهای روستای سروکلا، کیلومتر پنج جاده قائم شهر - جویبار انجام شد. قبل از کاشت، نمونه‌ای از خاک مزرعه آزمایشی (تا عمق ۲۵ سانتی‌متری) برداشت و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). در پنج سال گذشته هیچ کودی شامل عناصر پر مصرف و یا کود روی در خاک مورد آزمایش مصرف نشده بود. مقدار عنصر روی قابل استخراج با DTPA در این خاک ۰/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و مقدار روی کل ۱۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین شد.

آماده سازی زمین بر اساس عرف شالیکاران انجام و پس از مرز بندی بین کرت‌ها نسبت به اعمال تیمارهای کودی اقدام شد. آزمایش در یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل شامل رقم و کود روی انجام شد. هر تیمار با ۴ تکرار و در هر تکرار ۵ پایه گیاه کاشته شد. ابعاد کرت‌های مورد آزمایش به ازای هر تکرار ۴۰×۴۰ سانتی‌متر و فاصله کاشت نشاها ۲۵×۲۵ سانتی‌متر بود. کودهای سوپرفسفات تریپل، اوره و کلرور پتاسیم با توجه به توصیه‌های کودی برای خاک‌های منطقه مورد استفاده قرار گرفت (۳).

خرزانه کاری و انتقال به مزرعه: در اواخر فروردین، بذرها به مدت ۴ روز در مکانی مرطوب و نسبتاً گرم جوانه زدند، سپس به خزانه منتقل و به مدت ۳۰ روز در آن رشد داده شدند.

مناسب‌ترین راهکار در مقایسه با استفاده از مکمل‌های دارویی محسوب می‌شود.

در استان‌های مازندران و گیلان، ارقام متعدد برنج اعم از محلی و خارجی که برخی مراحل اصلاح را در ایران پشت سر گذاشته، کشت می‌شود که اطلاعات در مورد مقاومت به آفات، دوره رسیدگی یا تحمل غرقابی (۲) آنها نسبتاً کافی است ولی در مورد تحمل کمبود عناصر در آنها خصوصاً عناصر کم مصرف مانند روی هیچ اطلاعی موجود نمی‌باشد.

پژوهش حاضر با هدف مقایسه ژنوتیپ‌های ایرانی برنج از لحاظ تحمل کمبود روی و بررسی تأثیر افزودن این عنصر به محیط رشد بر غلظت آن در اندام هوایی و دانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این بررسی شامل سه آزمایش جداگانه بود. آزمایش مزرعه‌ای با استفاده از ۱۱ رقم و آزمایش در محیط آبکشت با استفاده از تکنیک کلاتور - بافر بر روی ۱۶ رقم انجام شد. برای مقایسه نتایج حاصل از محیط کلاتور - بافر با محیط آبکشت غیر کلاتور - بافر، آزمایش سوم با استفاده از ۴ رقم انجام شد. شانزده رقم مورد استفاده در آبکشت کلاتور - بافر شامل فجر، طارم هاشمی، اوندا، طارم رمضانعلی، ساحل، دشت، طارم محلی، طارم دیلمانی، ندا، کادوس، نعمت، خزر، طارم، شفق، آمل و میانه بود. تهیه بذر همه ۱۶ رقم برای آزمایش مزرعه‌ای محدود نشد و ۱۱ رقم در این آزمایش (همه ارقام بجز طارم هاشمی، طارم رمضانعلی، طارم، آمل و میانه) بررسی شدند. در آزمایش سوم چهار رقم با حساسیت متفاوت به کمبود روی در آزمایش کلاتور - بافر شامل (طارم هاشمی، اوندا، آمل و میانه)

جدول ۲. محیط آبکشت با استفاده از تکنیک کلاتور- بافر برای گیاه برنج (pH=6.8)

عناصر کم مصرف	عناصر پر مصرف
2.0 μM H_3BO_3	1.5 mM NH_4NO_3
5.0 μM MnSO_4	1 mM CaCl_2
2.0 μM CuSO_4	1.6 mM MgSO_4
0.05 μM $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	2 mM K_2SO_4
40 μM FeCl_3	0.1 mM KH_2PO_4
20 μM ZnSO_4 (در تیمارهای شاهد)	
100 μM HEDTA (N-2-hydroxyethyl-ethylenediamine-N,N',N'-triacetate)	
5 mM MES (2-[N-morpholino]-ethanesulfonate)	

جدول ۳. محیط آبکشت غیر کلاتور- بافر برای گیاه برنج (pH=6.8)

عناصر کم مصرف	عناصر پر مصرف
2.0 μM H_3BO_3	1.5 mM NH_4NO_3
5.0 μM MnSO_4	1 mM CaCl_2
0.2 μM CuSO_4	1.6 mM MgSO_4
0.05 μM $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	1 mM K_2SO_4
100 μM Fe(II)EDTA	0.3 mM KH_2PO_4
0.5 μM ZnSO_4 (در تیمارهای شاهد)	

آزمایشی به طور یکنواخت انجام شد.

برداشت

برداشت در هفته اول شهریور ماه زمانی که خوشها کاملاً رسیده بودند، انجام شد. پس از جدا کردن بذرها از کاه بادست، وزن تر کاه و پس از خشک کردن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در خشک کن، وزن خشک تعیین شد. همچنین وزن هزاردانه و نیز تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه تعیین شد.

آزمایش در محیط آبکشت

این آزمایش در دو محیط متفاوت انجام شد که شامل محیط کشت کلاتور - بافر (با استفاده از HEDTA) ارائه شده برای این گیاه (۲۶) و محیط کشت غیر کلاتور - بافر موسوم به محیط یوشیدا (۲۹) بوده است. ترکیب محیط کشت در این دو محیط در جداول ۲ و ۳ آمده است.

در مرحله خزانه، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرف شد. پس از ۳۰ روز نشاها به مزرعه منتقل شدند. قبل از انتقال نشاها به زمین، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود کلرور پتاسیم به کرت‌ها اضافه شد. کود به کار رفته اکسی سولفات روی تجاری با خلوص ۳۰٪ بود که به صورت چهار سطح تیماری شامل شاهد (بدون افزودن کود روی)، سطح ۱ (۲۵ کیلوگرم کود معادل ۷/۵ کیلوگرم روی در هکتار)، سطح ۲ (۵۰ کیلوگرم معادل ۱۵ کیلوگرم روی در هکتار) و سطح ۳ (۱۰۰ کیلوگرم معادل ۳۰ کیلوگرم روی در هکتار) اعمال گردید. نوع کود روی و مقادیر به کار رفته منطبق بر نوع و مقدار توصیه شده این کود در اراضی مازندران بوده است (۳). سی روز پس از نشاکاری، مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم و در سه نوبت شامل ۱۰، ۲۵ و ۴۰ روز پس از نشاکاری جمعاً به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به کرت‌ها اضافه شد. عملیات داشت شامل آبیاری، مصرف سم و علف کش، وجین و مبارزه با آفت‌ها در تمامی کرت‌های

تصادفی (شامل عامل رقم و عامل کود روی) با چهار تکرار اجرا شد.

برداشت

پس از سه هفته رشد در محیط تیمار، گیاهان برداشت شدند. بالا فاصله قبل از برداشت، مقدار کلروفیل با استفاده از کلروفیل متر (Minolta, SPAD, 502) در برگ سوم هر گیاه که شاخص ترین پاسخ را به تیمارها می‌دادند، اندازه‌گیری شد. ریشه و اندام هوایی با آب دو بار تقطیر شستشو شده و در روی کاغذ صافی خشک شدند. پس از جدا کردن ریشه و اندام هوایی از هم و تعیین وزن تر، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در خشک کن در دمای ۷۰ درجه قرار گرفته و وزن خشک آنها تعیین شد. در گروه دیگری از نمونه‌ها طول ریشه با استفاده از روش شمارش شبکه‌ای اندازه‌گیری شد (۲۴). روی-کارایی (Zn Efficiency) به صورت کسری از جزء عملکرد مورد نظر در شرایط کمبود (Zn-) به شرایط غیر کمبود (+Zn) و به صورت درصد (۱۵) محاسبه گردید.

تجزیه عنصری نمونه‌ها

برای تعیین غلظت عناصر در نمونه‌های گیاهی آزمایش مزرعه‌ای، پس از خرد کردن زیر نمونه‌هائی به وزن تقریبی ۵۰۰ میلی‌گرم برداشت و برای سنجش آماده شدند. اندازه‌گیری غلظت روی در نمونه‌های بذر نیز با برداشت تصادفی تعدادی بذر با وزن تقریبی ۵۰۰ میلی‌گرم انجام شد. در آزمایش آبکشت تمام نمونه‌ها پس از تعیین وزن خشک تجزیه شدند. ابتدا نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس در کوره خاکستر شدند. پس از انحلال در اسید کلریدریک ۱۰٪، در صورت سفید نبودن نمونه‌ها، با استفاده از اسید نیتریک غلیظ، نمونه‌ها مجدداً در روی صفحه حرارتی تا خشک شدن، هضم شده و مجدداً ۴ ساعت دیگر در کوره قرار گرفتند. نمونه‌های خاکستر شده ابتدا در اسید کلریدریک ۱۰٪ حل شده و با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شدند. غلظت دو عنصر

آزمایش در محیط آبکشت کلاتور - بافر

در این آزمایش ۳ سطح روی اعمال شد که بر اساس کارهای قبلی در مورد ژنتیپ‌های مختلف از مؤسسه IRRI بوده است (۱۰). سطوح مختلف روی به ترتیب برای تیمارهای کمبود تا کفايت ۱/۲۵، ۵/۰ و ۲۰ میکرومول بود. فعالیت روی آزاد در این محیط‌ها که توسط نرم افزار GEOCHEM محاسبه شد (۱۸) به ترتیب ۵، ۲۳ و ۱۳۰ پیکومول بوده است.

آزمایش در محیط آبکشت غیر کلاتور - بافر

در این آزمایش ۵ سطح روی اعمال شد که شامل محیط غذایی تهیه شده در آب دو بار تقطیر بدون افزودن روی (سطح صفر اول)، محیط غذایی تهیه شده با آب یکبار تقطیر بدون افزودن روی (سطح صفر دوم)، و محیط غذایی با ۰/۱ و ۰/۵ و ۱/۰ (سطح صفر ثالث) میکرومولار روی بوده است. استفاده از آب دو بار و یکبار تقطیر در دو تیمار اول برای مشاهده تأثیر ناخالصی موجود در آب دو بار و یکبار تقطیر و مقایسه نتایج رشد در این دو محیط با سایر تیمارهای روی بوده است.

در آزمایش‌های آبکشت، ابتدا بذرهای ارقام مختلف، پس از ضد عفونی سطحی با سدیم هیپوکلریت ۰/۰۵ به مدت ۱۰ دقیقه، در تاریکی جهت جوانه زنی قرار گرفتند. پس از جوانه زنی (حدود ۵ روز پس از خیساندن) دانه رست‌های جوان بر روی شبکه نایلونی که در تستکی پر از آب (و سولفات کلسیم ۰/۰۵ میلی‌مول) غوطه ور بود، قرار گرفتند. پس از ۲ روز محلول غذایی ۲۵٪ و پس از ۳ روز دیگر محلول غذایی ۵٪ به دانه رست‌ها اعمال شد و گیاهان تا ۱۵ روزگی در این محیط پیش کشت شدند. پس از آن انتقال دانه رست‌ها به گلدان‌ها (با حجم ۳ لیتر) انجام شد. در هر گلدان سه تا ۵ دسته گیاه بسته به نوع آزمایش و در هر دسته ۳ گیاه کاشته شد. تعویض محیط غذایی هر ۷ روز یکبار انجام شد و روزانه تبخر آب با افزودن آب مقطر جبران شد و pH محلول‌های غذایی تنظیم گردید. آزمایش در محیط آبکشت نیز به صورت فاکتوریل و در قالب بلوك‌های کامل

است. تأثیر منفی مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود روی بر وزن تر اندام هوایی در ارقام اوندا و شفق، بر وزن خشک اندام هوایی در ارقام اوندا، دشت، طارم محلی و کادوس و بر ارتفاع گیاه در ارقام طارم محلی، کادوس، نعمت و شفق معنی دار بود (جدول ۴). در رقم کادوس افزایش تعداد دانه‌های خالی و کاهش وزن هزار دانه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود روی معنی دار بود (جدول ۵). به همین دلیل محاسبه شاخص کارایی بر اساس مقایسه بین داده‌های شاهد و سطح کود ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار انجام شد (جدول ۵).

از نظر وزن خشک اندام هوایی، به ترتیب ژنتیپ‌های کادوس، اوندا و شفق بیشترین پاسخ را به کود روی نشان دادند و بنابراین از نظر این جزء عملکرد، ناکاراترین ژنتیپ‌ها بودند، در حالی که از نظر وزن هزار دانه، بیشترین پاسخ به ترتیب در کادوس، اوندا و طارم دیلمانی مشاهده شد. تعداد دانه‌های خالی در اثر کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود روی در رقم اوندا تا نصف کاهش یافت (جدول ۵). در مجموع و با توجه به مقادیر محاسبه شده کارآئی نسبت به هر دو جزء عملکرد (جدول ۵)، می‌توان اوندا و کادوس را ناکاراترین و دشت و خزر را کاراترین ارقام در آزمایش مزرعه‌ای معرفی کرد.

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنتیپ و کود روی بر همه اجزای عملکرد در سطح ۰٪ معنی دار است. از طرف دیگر اثر متقابل معنی‌داری بین ژنتیپ و کود روی مشاهده نشد. بنابراین پاسخ ژنتیپ‌ها به کود روی در سطوح مختلف کود روی متفاوت نبود (جدول ۶).

مقایسه پاسخ ژنتیپ‌ها به روی در محیط آبکشت آزمایش در محیط آبکشت کلاتور- بافر

کاهش رشد ریشه اولین علامتی بود که قبل از حتی ظهور تفاوت بین تیمارها از نظر ارتفاع گیاه قابل مشاهده بود. علائم ظاهری کمبود روی به صورت کاهش ارتفاع گیاهان، برنزه شدن برگ‌ها و کاهش مقدار کلروفیل برگ‌ها مشاهده شد. با توجه به

روی و آهن با دستگاه جذب اتمی (Shimadzu, AA 6500) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار Sigma stat (2.03) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از تست توکی ($P < 0.05$) انجام شد.

نتایج

مقایسه پاسخ ژنتیپ‌ها به روی در آزمایش مزرعه‌ای در تعدادی از ژنتیپ‌ها مصرف کود روی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و به‌ویژه ارتفاع گیاه نداشت، ولی تأثیر کود روی بر این شاخص‌ها در برخی ژنتیپ‌ها در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۴). تأثیر مصرف کود روی بر وزن تر اندام هوایی در ارقام اوندا، دشت و شفق، بر وزن خشک اندام هوایی در ارقام اوندا، طارم دیلمانی، کادوس و شفق و بر ارتفاع گیاه در ارقام طارم محلی، طارم دیلمانی، کادوس و شفق معنی دار بود (جدول ۴). تأثیر کود روی بر تعداد دانه‌های خالی و وزن هزار دانه نیز منحصرًا در برخی ژنتیپ‌ها معنی دار بود (جدول ۵). پاسخ به کود روی در ارقام دشت، طارم دیلمانی، نعمت و شفق از نظر کاهش تعداد دانه‌های خالی و ارقام اوندا، طارم دیلمانی، ندا و کادوس از نظر افزایش وزن هزار دانه معنی دار بود (جدول ۵). تأثیر کود روی بر اجزای عملکرد متفاوت بود و تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه بیشتر از سایر اجزای عملکرد تحت تأثیر کود دهی قرار گرفت (جدول ۵). به طوری که به عنوان مثال در رقم طارم دیلمانی اثر مثبت کوددهی بر وزن خشک اندام هوایی ۲۰٪، بر ارتفاع گیاه ۴٪ و بر وزن هزار دانه ۱۵٪ بود ولی اثر آن در کاهش تعداد دانه‌های خالی تا ۴۰٪ بالغ شد (جدول ۵). افزایش اجزای عملکرد عمده‌تا سطح دوم کود (۵۰ کیلوگرم در هکتار) قابل مشاهده بود و سطح سوم کود (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، موجب کاهش عمومی اجزای مختلف عملکرد شد و نشان داد که این سطح بیشتر از نیاز گیاهان بوده

جدول ۴. وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتقای گیاه در زنوب‌تپه‌های مختلف شناخت شده‌اند (مدون کودده، و با سطوح مختلف کود روی (کلیوگرم در هکتار) در شرایط مزرعه‌ای کاشته شدند.

ثبات می‌باشد، اعداد کم را در میان می‌توانند هر کدام از احتمالات عملکرد که با حروف K ، S ، M ، L ، G مشخص شده‌اند، معنی دار نبوده است ($\text{H}_0 \neq \text{P}$)

جدول ۵. تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه و وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های مختلف گیاه برنج که در شرایط شاهد (بدون کود دهن) و یا مسطوح مختلف کود روی (کیلوگرم در هکتار) در شرایط مزدیعی کاشته شدند. کارائی ژنوتیپ‌ها با فرمول زیر محاسبه شد: وزن خشک اندام هوایی یا وزن هزار دانه در تیمار ۵ کیلوگرم کود روی $\times 100$.

کارائی نسبت به عنصر روى	وزن خشک وزن هزار دانه	وزن هزار دانه (گرم)				تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه				شاهد	ژنوتیپ
		۵۰	۲۵	۱۰۰	۲۲۳/۵۰±۲/۰ ^a	۲۲/۵۰±۰/۵ ^a	۲۱/۱±۱/۲ ^a	۲۰/۵۰±۱/۶ ^a	۱۴۲±۲۶ ^a		
۹۱	۸۰	۲۲۳/۵۰±۲/۰ ^a	۲۲/۵۰±۰/۵ ^a	۲۱/۱±۱/۲ ^a	۲۰/۵۰±۱/۶ ^a	۱۴۲±۲۶ ^a	۱۸۲۴±۴۰ ^a	۱۸۶±۴۱ ^a	۱۹۴±۹۵ ^a	فخر	اوپدا
۸۴	۷۶	۲۱۷/۹±۱/۲ ^a	۲۲۶/۸±۰/۸ ^a	۲۲۴/۷±۰/۳ ^a	۲۲۷/۴±۰/۶ ^a	۱۱۱۲±۲۸ ^a	۹۷±۱۷ ^a	۱۱۳۱±۲۵ ^a	۱۹۰±۱۸ ^a	ساحل	دشت
۸۸	۸۵	۲۲۵/۰±۰/۷۷ ^a	۲۲۳/۲±۱/۷ ^{ab}	۲۱۷/۸±۱/۲ ^{bc}	۲۰/۰±۱/۰ ^c	۱۰۸±۲۱ ^a	۲۳۰±۴۶ ^a	۱۸۱±۴۹ ^a	۱۹۰±۱۸ ^a	طارم محلی	طارم دیلمانی
۹۷	۸۸	۱۹/۲±۱/۲ ^a	۲۰/۰±۰/۴۹ ^a	۱۹/۴±۱/۱ ^a	۲۰/۰±۱/۷ ^a	۱۵۶±۵۲ ^{ab}	۱۰۹±۱۲ ^b	۱۰۱±۲۵ ^{ab}	۱۹۲±۴۱ ^a	ندا	ندا
۹۰	۸۲	۱۹/۴±۰/۹۲ ^a	۱۹/۲±۰/۸۴ ^a	۱۹/۰±۱/۳ ^a	۱۷/۲±۱/۰ ^a	۲۲۴±۵۸ ^a	۱۸۵±۶۲ ^a	۲۱۳۱±۳۹ ^a	۲۲۸±۴۳ ^a	خزر	شفق
۸۵	۸۱	۲۰/۰±۰/۷ ^a	۱۹/۰±۰/۴ ^{ab}	۱۸/۸±۰/۸ ^b	۱۸/۶±۰/۶ ^c	۱۲۲۷±۴۷ ^b	۱۴۳۴±۳۴ ^b	۲۰۳۰±۱۷ ^a	۲۱۸±۱۷ ^a	کادوس	کادوس
۹۰	۸۴	۲۰/۵۰±۲/۰ ^a	۲۲/۵۰±۲/۰ ^{ab}	۲۱/۲±۰/۹ ^b	۲۱/۲±۰/۹ ^a	۱۷۷۲±۵۹ ^a	۱۷۷۲±۴۹ ^a	۲۸۹±۵۱ ^a	۱۹۹±۱۹۲ ^a	نعمت	نعمت
۸۱	۷۵	۱۷/۷±۱/۰ ^c	۲۱/۲±۱/۳ ^a	۲۱/۲±۱/۱ ^{ab}	۱۸/۰±۰/۸ ^c	۳۲۲۲±۴۲ ^a	۱۸۱±۵۸ ^b	۲۱۰±۱۷ ^{ab}	۲۰۵۰±۴۸ ^{ab}	پرور	پرور
۸۹	۸۱	۱۹/۵۰±۰/۸ ^a	۲۲/۰±۰/۸ ^a	۲۱/۲±۰/۹ ^a	۱۹/۰±۰/۸ ^a	۱۷۷۲±۴۰ ^b	۱۸۰±۷۵ ^b	۱۷۰±۶۵ ^{ab}	۳۰۸±۴۹ ^a	پارسا	پارسا
۹۲	۸۰	۲۳/۰۹±۰/۵ ^a	۲۳/۰۰±۱/۰ ^a	۲۱/۷±۱/۳ ^a	۲۱/۰±۱/۰ ^a	۱۳۲۷±۳۴ ^a	۲۰۰۰±۴۰ ^a	۱۸۴۰±۳۲ ^a	۱۶۲۳±۳۶ ^a	پارسا	پارسا
۹۸	۷۸	۱۹/۰۰±۰/۲ ^a	۱۹/۰۰±۰/۲ ^a	۱۸/۰۰±۱/۰ ^a	۱۸/۰۰±۱/۰ ^a	۲۲۶۶±۲۵ ^b	۲۲۸۰±۲۵ ^b	۳۴۹۰±۲۷ ^a	۳۶۴۰±۴۷ ^a	پارسا	پارسا

تفاوت مابین اعداد یک ردیف مربوط به کدام از اجراء عملکرد که با حروف یکسانی مشخص شده‌اند، معنی دار نبوده است ($P < 0.05$).

جدول ۶. تجزیه واریانس برای صفات رشدی اندازه‌گیری شده در آزمایش مزرعه‌ای

میانگین مرباعات								منابع
وزن هزار دانه	تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه	ارتفاع گیاه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	درجه آزادی			
۹۱/۶**	۴۳۲۸۸/۸**	۵۴۸۷/۸**	۷۳۹۵/۷**	۸۷۶۷۵/۹**	۱۰			ژنوتیپ
۶۲/۳**	۴۲۵۲۹/۶**	۳۵۲/۹**	۱۰۰۹۰/۸**	۴۲۷۰۵/۷**	۳			کود روی
۷/۳۵ ns	۸۴۴۷/۲ ns	۲۶/۷ ns	۱۴۵/۹ ns	۳۷۵۲/۲ ns	۳۰			ژنوتیپ × کود روی
۲/۴۲	۲۵۴۰/۴	۱۳/۴۹	۲۹۶/۱	۳۸۱۹/۶	۱۷۶			باقی مانده
۸/۱	۵۸۱۰/۱	۲۷۴/۷	۷۳۹/۶	۸۲۱۹/۹	۲۱۹			کل

ns: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

هوایی کمتر بود (به عنوان مثال ۳۲٪ در مقایسه با ۵۹٪ در رقم فجر)، نسبت ریشه به اندام هوایی از نظر وزن خشک در همه ژنوتیپ‌ها و تیمارها افزایش یافت. طول ریشه مانند وزن خشک ریشه در همه تیمارها و ژنوتیپ‌ها در پاسخ به کاهش عرضه روی کاهش یافت، مگر در مورد طارم محلی و طارم دیلمانی که افزایش معنی دار طول ریشه در تیمار ۲۳ پیکومول روی مشاهده شد. تفاوت‌های ژنوتیپی در کاهش مقدار کلروفیل در شرایط کمبود روی نیز تا حد زیادی با تفاوت‌های موجود در پاسخ وزن خشک اندام هوایی انتباطی داشت (جدول ۷).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های این آزمایش نیز نشان داد که اثر ژنوتیپ و تیمار روی بر همه شاخص‌های رشدی مورد بررسی معنی‌دار بوده است. از سوی دیگر برخلاف آزمایش مزرعه‌ای، اثر متقابل بین ژنوتیپ و تیمار روی معنی‌دار شد که نشان می‌دهد پاسخ ژنوتیپ‌ها به تیمار روی در سطوح مختلف تیمار روی متفاوت بود (جدول ۸).

آزمایش در محیط آبکشت غیر کلاتور- بافر

این آزمایش بر روی چهار ژنوتیپ انجام شد. علائم ظاهری کمبود روی به صورت برزنه شدن برگ‌ها فقط در طارم هاشمی مشاهده شد. تأثیر حذف روی از محلول غذایی بر رشد گیاهان معنی‌دار بود. بررسی اثر سطوح مختلف روی در محلول غذایی

کاهش آلودگی محیط غذایی در این روش، و تفاوت زیاد بین سه سطح تیماری از نظر فعالیت روی آزاد در محلول، تفاوت‌های ژنوتیپی از نظر رشد به وضوح قابل مشاهده بود (جدول ۷).

در سطح تیماری ۵ پیکومول روی آزاد، به دلیل شرایط فقر کامل این عنصر و با توجه به طولانی بودن دوره رشد (۲۱ روز)، تفاوت‌هایی که بین ژنوتیپ‌های مختلف در طی دوره آزمایش از نظر رشد دیده شده بود، بتدریج به سمت پایان دوره آزمایش کاهش یافت. لذا با توجه به این که تفاوت بین ژنوتیپ‌ها در سطح ۲۳ پیکومول به صورت واقعی‌تر منعکس می‌شود، در این گزارش بین دو سطح ۱۳۰ و ۲۳ پیکومول روی آزاد مقایسه‌های مربوطه انجام گرفته است.

اسامی ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر عددی به دست آمده برای کارایی، از ناکاراترین ارقام به کاراترین ارقام نوشته شد و در سایر جداول نیز این ترتیب رعایت گردید. کاهش رشد اندام هوایی در ژنوتیپ‌های فجر، طارم هاشمی و اوんだ به ترتیب ۵۹ و ۴۱ درصد بود در حالی که کمبود روی تأثیر معنی‌داری روی ژنوتیپ‌های شفق، آمل، میانه، طارم و خزر نداشت (جدول ۷).

وزن خشک ریشه نیز هرچند در پاسخ به عرضه بسیار کم روی کاهش یافت، ولی چون این کاهش در مقایسه با اندام

جدول ۷. وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی، طول ریشه و مقدار کلروفیل در چندین ژنتیپ برخیج که در مقادیر متفاوت فعالیت روی در محلول غذانی کالاتور- بافر شد داده شدند. کارایی ژنتیپ ها با فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{وزن خشک اندام هوایی در تیمار } ۲۲ \text{ پیکومول} / \text{وزن خشک اندام هوایی در تیمار } ۲۰ \text{ پیکومول} \times ۱۰۰.$$

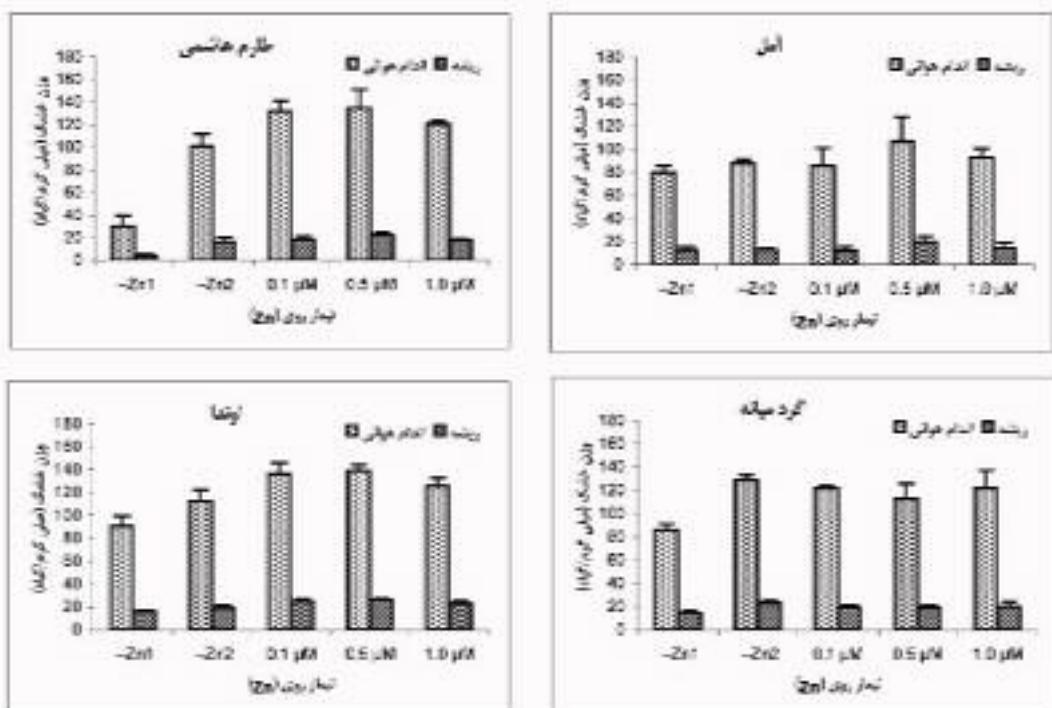
کارائی	کاروفیل (واحد نسی)	طول ریشه (سانسیتر/گیاه)	نسبت ریشه/اندام هوایی			وزن خشک اندام هوایی (میلی گرم/گیاه)			وزن خشک ریشه (میلی گرم/گیاه)				
			فعالیت روی آزاد در محلول (پیکومول)			فعالیت روی آزاد در محلول (پیکومول)			فعالیت روی آزاد در محلول (پیکومول)				
			۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰		
۴۱	۱۰۰±۱/۹ ^a	۸۵۰±۷/۴ ^a	۵۱۸±۱۳/۷ ^b	۷۷۴±۱۸ ^a	۵۱۸±۱۵ ^b	۳۵۴±۴۳ ^b	۰/۵۵	۱۰۴±۳ ^a	۵۱±۱ ^c	۳۰۷±۷ ^a	۱۳۷±۱۳ ^b	۹۲±۷ ^c	
۴۲	۱۰۰±۱/۲ ^a	۸۱±۲ ^b	۶۲±۲ ^a	۴۵±۲ ^a	۴۰±۲ ^a	۳۰۳±۲۱ ^b	۰/۴۰	۱۱۰±۲ ^a	۶۱±۵ ^b	۱۴۹±۱ ^b	۱۱۷±۵ ^c	طازه هاشمی	
۵۸	۱۰۰±۰/۸۵ ^a	۹۳۰±۴۵ ^a	۸۱۷±۴۴ ^b	۳۹۷±۶۶ ^a	۳۷۰±۸۲ ^a	۱۳۱±۱۳ ^b	۰/۳۴	۱۱۵±۱۳ ^a	۴۴±۴ ^c	۱۲۳۰±۲۰ ^a	۱۱۲۰±۲۰ ^b	آرددا	
۵۹	۱۰۰±۱/۰ ^a	۸۷۰±۳۰ ^b	۵۷۰±۲۰ ^a	۵۱۰±۱۵ ^a	۵۰۰±۲۰ ^a	۱۸۷±۴۱ ^b	۰/۳۹	۱۰۰±۱۳ ^a	۱۴۴±۴ ^b	۵۰±۴ ^c	۱۳۹۰±۱۰ ^b	طازه رزمضانی	
۶۵	۱۰۰±۰/۷۵ ^a	۹۱۰±۴۵ ^b	۷۱۰±۴۵ ^a	۱۲۷۰±۱۸۰ ^a	۱۰۰۰±۵۰ ^b	۱۲۷۰±۴۰ ^c	۰/۴۰	۰/۸۱	۲۰۰±۲۱ ^a	۲۰۰±۶ ^c	۱۲۳۰±۵۰ ^a	۱۱۷۰±۵۰ ^c	ساحل
۶۶	۱۰۰±۱/۰ ^a	۹۲۰±۱۰ ^b	۶۰۰±۲۰ ^a	۷۷۰±۱۰ ^a	۷۰۰±۱۰ ^a	۱۲۵±۴۰ ^b	۰/۳۰	۰/۴۰	۱۸۰±۰ ^a	۱۸۰±۰ ^c	۱۲۳۰±۱۰ ^a	۱۱۹۰±۱۰ ^b	دشت
۷۰	۱۰۰±۱/۱ ^a	۸۷۰±۱۰ ^b	۷۰۰±۱۰ ^a	۷۴۰±۱۰ ^a	۷۰۰±۱۰ ^a	۱۱۳۰±۱۰ ^b	۰/۳۵	۰/۵۰	۲۰۰±۱۰ ^a	۲۰۰±۱۰ ^c	۱۲۴۰±۱۰ ^a	۱۱۹۰±۱۰ ^b	طازه محلی
۷۲	۱۰۰±۱/۹ ^a	۸۴۰±۲۰ ^b	۵۰۰±۲۰ ^a	۵۰۰±۲۰ ^a	۵۰۰±۲۰ ^a	۲۷۰۰±۱۰ ^c	۰/۳۹	۰/۷۰	۱۱۵±۱۵ ^a	۱۱۵±۱۵ ^a	۲۱۱۰±۱۰ ^a	۱۱۷۰±۱۰ ^c	طازه دیلمانی
۷۹	۱۰۰±۱/۰ ^a	۹۴۰±۲۰ ^b	۵۰۰±۲۰ ^a	۵۰۰±۲۰ ^a	۵۰۰±۲۰ ^a	۲۷۰۰±۱۰ ^b	۰/۴۰	۰/۵۰	۱۲۶۰±۱۰ ^a	۱۲۶۰±۱۰ ^c	۲۱۳۰±۱۰ ^a	۱۱۰۰±۱۰ ^c	ندا
۸۳	۱۰۰±۱/۰ ^a	۹۴۰±۲۰ ^b	۵۰۰±۲۰ ^a	۵۰۰±۲۰ ^a	۵۰۰±۲۰ ^a	۲۷۰۰±۱۰ ^b	۰/۴۰	۰/۵۰	۱۲۶۰±۱۰ ^a	۱۲۶۰±۱۰ ^c	۲۱۳۰±۱۰ ^a	۱۱۰۰±۱۰ ^c	کادوس
۸۷	۱۰۰±۱/۷ ^a	۸۸۰±۱۰ ^b	۴۷۰۰±۱۰ ^c	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۱۶۰۰±۱۰ ^b	۰/۳۹	۰/۵۹	۱۰۰±۱۲ ^a	۱۰۰±۱۲ ^a	۲۳۲۰±۱۰ ^a	۱۱۷۰±۱۰ ^c	نمودت
۸۸	۱۰۰±۱/۰ ^a	۹۰۰±۱۰ ^b	۴۷۰۰±۱۰ ^c	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۱۶۰۰±۱۰ ^b	۰/۴۰	۰/۶۰	۱۰۰±۱۰ ^a	۱۰۰±۱۰ ^c	۲۳۲۰±۱۰ ^a	۱۱۷۰±۱۰ ^c	خرز
۸۹	۱۰۰±۱/۷ ^a	۸۸۰±۱۰ ^b	۴۷۰۰±۱۰ ^c	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۱۶۰۰±۱۰ ^b	۰/۳۹	۰/۵۹	۱۰۰±۱۲ ^a	۱۰۰±۱۲ ^a	۲۳۲۰±۱۰ ^a	۱۱۷۰±۱۰ ^c	طازه
۹۱	۱۰۰±۱/۷ ^a	۸۸۰±۱۰ ^b	۴۷۰۰±۱۰ ^c	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۱۶۰۰±۱۰ ^b	۰/۴۰	۰/۶۰	۱۰۰±۱۰ ^a	۱۰۰±۱۰ ^c	۲۳۲۰±۱۰ ^a	۱۱۷۰±۱۰ ^c	شفق
۹۳	۱۰۰±۱/۰ ^a	۹۵۰±۱۰ ^b	۴۷۰۰±۱۰ ^c	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۱۶۰۰±۱۰ ^b	۰/۳۸	۰/۴۱	۱۰۰±۱۰ ^a	۱۰۰±۱۰ ^c	۲۳۲۰±۱۰ ^a	۱۱۷۰±۱۰ ^c	آمل
۹۹	۱۰۰±۱/۴ ^a	۹۰۰±۱۰ ^b	۴۷۰۰±۱۰ ^c	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۱۶۰۰±۱۰ ^b	۰/۴۹	۰/۵۰	۱۰۰±۱۰ ^a	۱۰۰±۱۰ ^c	۲۳۲۰±۱۰ ^a	۱۱۷۰±۱۰ ^c	میانه
۱۰۸	۱۰۰±۱/۱۳ ^a	۹۴۰±۱۰ ^b	۴۷۰۰±۱۰ ^c	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۴۷۰۰±۱۰ ^a	۱۶۰۰±۱۰ ^b	۰/۴۸	۰/۴۷	۱۰۰±۱۰ ^a	۱۰۰±۱۰ ^c	۲۳۲۰±۱۰ ^a	۱۱۷۰±۱۰ ^c	میانه

تفاوت مابین اعداد یک ریف برویت به هر کدام از شناخت ها که با حروف یکسانی مشخص شده اند، معنی دار نبوده است ($P < 0.05$)

جدول ۸. تجزیه واریانس برای صفات رشدی اندازه‌گیری شده در آزمایش کلاتور - بافر

منابع	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	طول ریشه	کلروفیل (نسبی)	میانگین مربعات
ژنوتیپ	۱۵	۵۸۹۲۰/۹**	۱۳۳۰۹/۱**	۲۸۵۰۸۹/۵**	۲۷۶/۹**	
تیمار روی	۲	۱۶۱۶۳۶۵/۹**	۱۴۱۲۹۴/۹**	۳۱۴۰۶۵۳/۴**	۱۸۳۱۷/۴**	
ژنوتیپ × تیمار روی	۳۰	۱۹۳۳۲/۹**	۲۵۴۱/۲**	۷۹۷۴۲/۵**	۱۷۷/۹**	
باقی مانده	۱۴۴	۶۱۳/۲	۸۱/۲	۳۷۷۲۲/۳	۹/۸	
کل	۱۹۱	۲۵۳۱۷/۶	۳۰۲۷/۲	۷۱۸۷۵/۶	۲۵۲/۵	

**: اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱



شکل ۱. وزن خشک اندام هوایی و ریشه در چهار رقم مختلف برنج که در مقادیر متفاوت عرضه روی در محلول غذایی غیر کلاتور - بافر رشد داده شدند. سطح صفر اول مربوط به محیط آبکشت واجد تمام عناصر به استثنای روی می باشد که با آب دو بار تقطیر جهت کاهش ناخالصی تهیه شده است. سطح صفر دوم مربوط به محیط آبکشت واجد تمام عناصر به استثنای روی می باشد که با آب یکبار تقطیر تهیه شده است.

برنج (۲۵) است. کمبود روی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی در تمام ارقام شد، بیشترین کاهش مربوط به دو رقم طارم هاشمی (٪/٪۷۸) و اوندا (٪/٪۳۴) و کمترین کاهش مربوط به آمل (٪/٪۲۵) و میانه (٪/٪۲۷) بود (شکل ۱).

نشان داد که ۰/۵ میکرومول روی در محلول غذایی سبب افزایش رشد تمام ارقام شد، در حالی که به کار بردن ۱/۰ میکرومول روی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی گردید که در تطابق با مقدار توصیه شده برای محیط کشت یوشیدا برای

هوایی مشخص گردید که کاهش غلظت آهن در اندام هوایی در مورد برخی از ارقام بهدلیل کاهش ورود آن به اندام هوایی (فجر) و در مورد برخی دیگر نتیجه رقیق شدن این عنصر بهدلیل تحریک رشد با عرضه روی (طارم هاشمی) بوده است. در ریشه تمایلی به کاهش در غلظت آهن در ارقام ناکارا و افزایش در غلظت آهن در ارقام کارا که در مورد آمل معنی دار بود، مشاهده گردید (شکل ۲). با توجه به وزن خشک ریشه مشخص گردید که تغییر در غلظت آهن مربوط به تغییر مقدار این عنصر در ریشه است و نتیجه تغییرات وزن خشک نمی‌باشد.

سفر مربوط به نمونه‌های آزمایش کلاتور- بافر نیز بهدلیل اثر متقابل شناخته شده‌ای که این عنصر با روی دارد، در برخی از ارقام سنجش شد. مطابق انتظار، غلظت سفر ریشه بهمراه کمتر از اندام هوایی بود. کمبود روی تغییر معنی داری در غلظت سفر ریشه موجب نشد، در حالی که غلظت این عنصر را در اندام هوایی بهصورت معنی دار در همه ارقام افزایش داد (شکل ۳).

بحث

مقایسه نتایج آزمایش مزرعه‌ای با محیط آبکشت

نتایج آزمایش مزرعه‌ای در مورد برخی ژنوتیپ‌ها با نتایج آزمایش در محیط آبکشت تفاوت داشت. از جمله در مورد شفق که در محیط آبکشت نسبت به کاهش عرضه روی حساسیت کمی داشت و از این نظر تفاوت چشمگیری با رقم فجر نشان داد در حالی که در کشت مزرعه‌ای در همه اجزای عملکرد حساسیت به کمبود روی نشان داد و از این نظر حتی اندکی حساس‌تر از رقم فجر ارزیابی شد. گروه بندی ژنوتیپ‌ها منحصرآ بر اساس آزمایش‌های محیط هیدرپونیک و یا مزرعه‌ای معتبر نیست. به عنوان مثال، در محیط آبکشت برخی فرآیندهای ریزوسفری مانند پارامترهای جذبی چون C_{min} و نیز اثر قدرت اکسید کنندگی ریشه که بر روی جذب عناصر تأثیر زیادی دارند (۴)، قابل بررسی نیست. گزارش شده است که

تغییرات غلظت و مقدار عنصر روی

در آزمایش مزرعه‌ای، کاربرد کود روی سبب افزایش غلظت روی در اندام هوایی شد. با این حال در مورد برخی از ارقام شامل فجر، دشت، نعمت و شفق غلظت روی اندام هوایی در پاسخ به کود روی به صورت معنی دار افزایش نیافت. غلظت روی در برخی موارد کاهش مجددی در سطح کود روی ۲ (مثلاً در طارم دیلمانی) یا سطح ۳ (مثلاً در کادوس) نشان داد (جدول ۹). با توجه به این که این کاهش غلظت همراه با افزایش معنی دار در وزن نبوده است، نمی‌توان آن را به اثر رقت نسبت داد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های غلظت روی نشان داد که اثر ژنوتیپ و کود روی بر غلظت روی اندام هوایی و دانه معنی دار بوده است. از سوی دیگر اثر متقابل بین ژنوتیپ و کود روی معنی دار شد که نشان می‌دهد پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به کود روی از نظر تغییر در غلظت روی اندام هوایی و دانه بین سطوح مختلف کود روی تفاوت داشته است (جدول ۱۰).

در آزمایش کلاتور- بافر، با افزایش فعالیت روی آزاد در محیط کشت، افزایش در غلظت و مقدار این عنصر در اندام هوایی و ریشه مشاهده گردید (جدول ۱۱). سه ژنوتیپ شامل اوندا، دشت و شفق، بیشترین غلظت روی را در اندام هوایی و ریشه در تیمارهای کمبود نشان دادند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های غلظت روی نشان داد که اثر ژنوتیپ و تیمار روی بر غلظت و مقدار روی اندام هوایی و ریشه معنی دار بوده است. از سوی دیگر اثر متقابل معنی دار بین ژنوتیپ و تیمار روی مشاهده شد که نشان می‌دهد در ژنوتیپ‌های مختلف تغییر غلظت و مقدار روی در پاسخ به تیمار این عنصر در سطوح مختلف فعالیت روی آزاد در محیط یکسان نبوده است (جدول ۱۲).

در نمونه‌های گیاهی مربوط به آزمایش کلاتور- بافر و در همه ارقام بررسی شده، غلظت آهن در اندام هوایی با افزایش عرضه روی کاهش یافت مگر در مورد آمل که حتی افزایش نیز در غلظت آهن نشان داد (شکل ۲). با توجه به وزن خشک اندام

جدول ۹. غلظت عنصر روی در اندام هوایی و دانه‌های ژنوتیپ‌های مختلف گیاه برج که در شرایط شاهد (بدون کود دهن) و سطوح مختلف کود روی (کیلو گرم در هکتار) در شرایط مزهعای کاشته شدند.

غلظت روی در دانه (میکرو گرم/گرم)		غلظت روی در اندام هوایی (میکرو گرم/گرم و وزن خشک)		غلظت روی در اندام هوایی (میکرو گرم/گرم)	
۱۰۰	۵۰	۲۵	شاهد	۱۰۰	۵۰
۳۹/۴±۲/۹ ab	۳۰/۳±۲/۱ ab	۲۴/۴±۲/۴ b	۴۲/۴±۷/۱ a	۲۷/۵±۰/۲ a	۸۸/۴±۱۳/۹ a
۲۶/۱±۱/۱ a	۲۲/۳±۱/۸ a	۲۵/۹±۳/۳ a	۲۶/۸±۲/۵ a	۷۲/۸±۱/۲ a	۵۷/۸±۱۲/۳ a
۲۱/۹±۰/N a	۲۱/۸±۱/۹ ab	۲۰/۹±۰/۶ ab	۱۵/۰±۴/۸ b	۹۲/۷±۱/۰ a	۳۰/۱±۷/۱ b
۳۱/۸±۲/۹ a	۳۰/۷±۲/۳ a	۲۹/۴±۴/۰ a	۲۷/۷±۳/۵ a	۴۱/۱±۱/۰ a	۶۲/۹±۳/۶ a
۲۳/۸±۲/۳ a	۲۳/۳±۴/۰ a	۲۱/۳±۲/۷ a	۲۴/۵±۲/۴ a	۱۹۹/۵±۱/۵ a	۱۹/۵±۳/۲ b
۳۲/۵±۱/۳ a	۳۱/۲±۱/۷ ab	۳۳/۷±۴/۴ a	۲۵/۹±۱/۱ b	۸۶/۳±۱/۹ ab	۷۸/۱±۰/۲ b
۳۲/۹±۲/۱ ab	۳۴/۴±۲/۷ ab	۲۲/۹±۱/۵ b	۳۵/۶±۱/۲ a	۷۵/۴±۲/۸ a	۱۳۳/۳±۱/۴ a
۱۶/۹±۱/N a	۲۰/۳±۲/۳ a	۱۷/۸±۳/۱ a	۱۹/۹±۱/۰ a	۱۶۵/۳±۴/۴ ab	۱۳۳/۲±۱/۵ ab
۲۵/۷±۲/۹ a	۳۱/۹±۲/۳ a	۳۲/۷±۲/۲ a	۲۶/۱±۱/۵ a	۲۶/۱±۲/۰ a	۷۹/۳±۱/۵ ab
۲۹/۹±۱/۳ a	۲۹/۵±۱/۴ a	۲۵/۰±۱/۳ b	۲۲/۷±۱/۳ a	۱۲۴/۷±۸/۴ a	۸۱/۱±۴/۱ bc
۱۸/۵±۲/۳ a	۱۷/۷±۱/۲ a	۱۷/۱±۱/۳ a	۱۶/۷/۰±۰/۹ a	۱۶/۱±۰/۹ b	۲۷/۱/۱±۱/۹ a

تفاوت مابین اعداد یک ریف مریوط به هر کدام از شاخص‌ها که با حروف یکسانی مشخص شده‌اند، معنی دار نبوده است ($P < 0.05$).

جدول ۱۰. تجزیه واریانس برای غلطات روی اندازه‌گیری شده در آزمایش مزرعه‌ای.

متابع	درجه آزادی	غلظات روی اندام هوانی	غلظات روی در دانه	میانگین مرتعات
زنوتیپ	۱۰	۲۸۴۴۹۳/۳۷**	۲۵۵۵۶	۲۸۴۴۹۳/۳۷**
کود روی	۳	۲۶۵۵//۵**	۸۲/۹*	۲۶۵۵//۵**
زنوتیپ × کود روی	۳۰	۲۲۵۷/۱*	۷۴/۵*	۲۲۵۷/۱*
بنوی مانده	۱۷۶	۱۰۱/۰	۱۰۱/۰	۱۰۱/۰
کل	۲۱۹	۴۹/۷	۴۹/۷	۴۹/۷

*: اختلاف معنی دار در سطح ۱٪

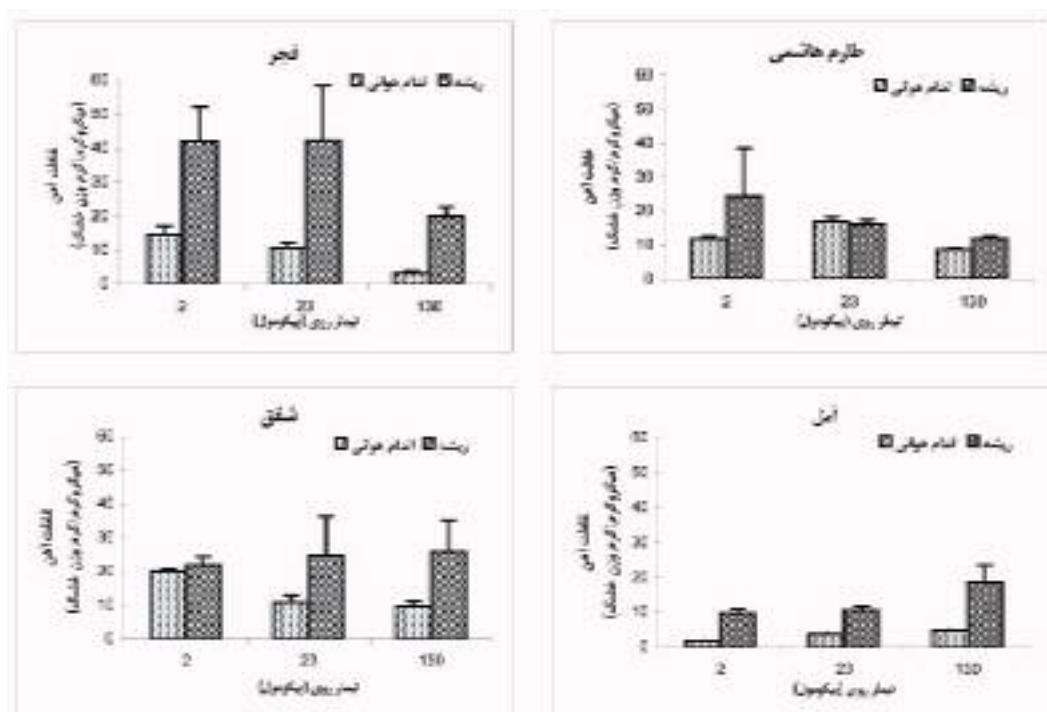
جدول ۱۱. غلاظت و مقدار عنصر روی در اندام هوایی و ریشه زننیپهای مختلف بروز که در مقادیر متفاوت فعالیت روی در محیط کشت کلاتور- باگر رسید داده شدند

تفاوت می بینیم اعداد یک ردیف مرتبه هر کدام از شاخص های که با حروف پیکاسنی مشخص شده اند، معنی دار نبوده است ($P > 0.05$).

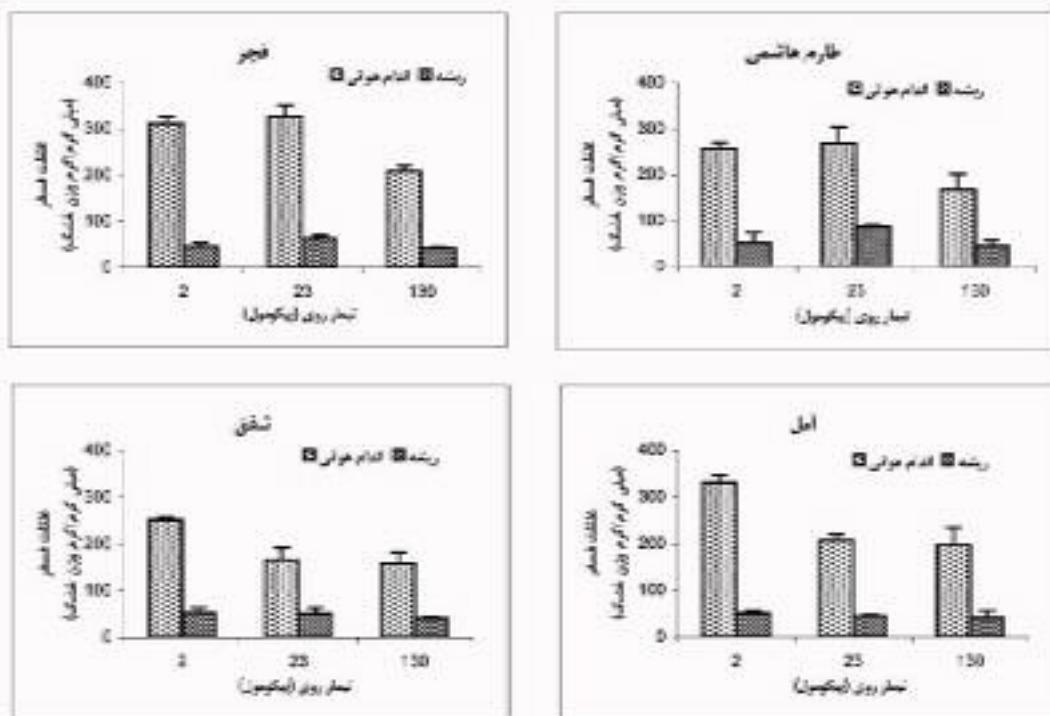
جدول ۱۲. تجزیه واریانس برای غلظت و مقدار روی اندام گیری شده در آزمایش کلاتور- بافر

منابع	میانگین مربوط	مقدار روی اندام ریشه	مقدار روی اندام هوایی	غلظت روی اندام ریشه	غلظت روی اندام هوایی	درجه آزادی
زنوتیپ	۸۶۹۹۲۳/۷**	۴۷۵۰۹۶۴/۰**	۲۷۹۹/۳**	۲۱۴۸/۸**	۱۰۸۴۲۰۱/۴**	۱۳
تیمار روی	۱۰۸۴۲۰۱/۴**	۱۵۷۳۴۷۳/۱**	۴۷۲۳۷/۱**	۶۷۶۷/۱**	۱۲۸۱۳۳۷/۴**	۲
زنوتیپ × تیمار روی	۳۶۷۰۱۱/۴**	۱۲۸۱۳۳۷/۴**	۷۴۱/۹**	۲۴۷/۹**	۱۰۸۴۲۰۱/۴**	۲۶
باقي مانده	۵۱۸۸/۴	۳۱۴۴۱/۳	۲۲/۱	۱۲/۲	۶۲۲۸۳۵/۵	۱۲۶
کل	۱۴۳۷۴۷/۲	۹۲۶/۹	۴۷۲۳۷/۱**	۳۰۰/۶	۸۶۹۹۲۳/۷**	۱۶۷

**: اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱



شکل ۲. اثر سه سطح تیمار مختلف از فعالیت روی آزاد (پیکومول) بر غلظت آهن اندام هوایی و ریشه چهار رقم برج مبنج با حساسیت متفاوت به کمبود روی در محیط کشت کلاتور - بافر



شکل ۳. اثر سه سطح تیماری مختلف از فعالیت روی آزاد (پیکومول) بر غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه چهار رقم برنج با حساسیت متفاوت به کمبود روی در محیط روی - بافر - بافر

البته تفاوت در مقدار روی دانه‌ها که برای دو آزمایش به کار رفته است، می‌تواند یکی از دلایل متحمل تفاوت در نتایج این دو آزمایش قلمداد گردد. با این‌که بذور هر دو آزمایش، از مراکز تحقیقات برنج تهیه شده بود، ولی تفاوت‌هایی بین این دو گروه بذر از نظر مقدار روی وجود داشت. مقایسه بین غلظت روی بذور به کار رفته برای آزمایش آبکشت کلاتور - بافر و بذور حاصل از کشت مزرعه‌ای (در تیمار شاهد) مشخص می‌کند که هر چند در مورد برخی ارقام، محلوده غلظت روی در این دو گروه مشابه است، ولی در مورد فجر، ندا و نعمت کمتر از مقدار مربوط به آزمایش مزرعه‌ای و در مورد ساحل، دشت و طارم محلی بیشتر از آزمایش مزرعه‌ای بوده است. احتمالاً یکی از دلایل تفاوت نتایج این دو آزمایش در مورد رقم فجر، غلظت روی در دانه است. بدیهی است که کافی بودن منبع روی برای رشد نشاها، باعث پاسخ رشدی کمتر در نشاها پس از انتقال به مزرعه می‌شود.

ریشه ژنوتیپ‌های مختلف برنج قدرت اکسید کنندگی متفاوتی دارند (۲۵) و ژنوتیپ‌های کارا نسبت به عنصر روی دارای منطقه وسیع تری از اکسیداسیون در ریشه نسبت به ژنوتیپ‌های ناکارا می‌باشند (۲۷). از سوی دیگر، گیاه برنج دارای توانائی زیادی برای آزاد سازی پروتون به محیط ریشه است که می‌تواند در انحلال عناصری با فراهمی کم در خاک مانند روی نقش زیادی داشته باشد (۱۰). بنابراین از دلایل تفاوت عملکرد گیاهان در کمبود روی بین شرایط مزرعه‌ای و محیط آبکشت می‌توان تفاوت‌های احتمالی در قدرت اکسید کنندگی ریشه‌ها، قدرت جذب از خاک و نیز توانایی انحلال انواع غیر محلول روی را بر شمرد. در آزمایش با ارقام IR نیز چنین تضادی مشاهده شده است، به طوری که رقم IR54 در شرایط مزرعه‌ای یک رقم کارا و در شرایط کشت هیدرپونیک رقمی بشدت ناکاراست (۱۰). این ارقام نمونه‌های مناسبی برای بررسی فرآیندهای ریزوسفری می‌باشند که مستلزم استفاده از شرایط کشت در خاک بجای آبکشت است.

برداشت شده است، می‌توان نتیجه گرفت که قطعاً بخش مهم آن نتیجه بازانتقالی از برگ‌های بالغ است. عکس این حالت در رقم اوندا (که در عین حال یک رقم ناکاراست)، مشاهده شد. کاربرد کود روی باعث افزایش غلظت روی در اندام هوایی این رقم شد در حالی که باعث کاهش غلظت روی دانه گردید، که به دلیل اختصاص یافتن روی جذب شده به بخش‌های رویشی و ناچیز بودن بازانتقالی به دانه‌های در حال نمو بوده است. تا کنون بررسی‌های زیادی بر روی تفاوت‌های ژنتیکی در بازانتقالی عناصر از بخش‌های رویشی به دانه‌های در حال نمو انجام گرفته و نشان داده شده است که بازانتقالی فوق، نقش زیادی در تامین نیاز عنصری دانه‌ها دارد (۱۹). باید توجه داشت که مقدار بالای روی در دانه‌ها، می‌تواند نیاز به روی را در مرحله آغاز نشاکاری و انتقال به مزرعه کاسته و زمانی که ریشه‌ها رشد کافی نکرده‌اند، نیاز گیاه را تامین نماید.

با توجه به این که غلظت عناصر، تحت تأثیر وزن خشک گیاهان قرار می‌گیرد، عرضه عنصری که در وضعیت کمبود می‌باشد می‌تواند باعث جهشی در رشد شود که غلظت همان عنصر را به شدت کاهش می‌دهد. لذا بررسی پاسخ به افزودن یک عنصر از نظر افزایش ماده زنده که در گیاهان کارآ کمتر از گیاهان ناکارا می‌باشد، در تضاد با تغییرات غلظت عنصر مورد نظر خواهد بود. لذا توصیه شده است که به هنگام گروه بندی ژنتیک‌های مختلف از نظر پاسخ به افزودن یک عنصر به محیط، بهترست بجای توجه به غلظت (Concentration) یک عنصر، به مقدار (Content) آن توجه کرد (۵). بررسی‌ها در مورد ژنتیک‌های مختلف گندم (۶ و ۹) و برنج (۱۰) از نظر کارآئی نسبت به عنصر روی نیز نشان داده است که بین مقدار عنصر روی و نه غلظت آن و صفت کارآئی نسبت به عنصر روی همبستگی مثبتی وجود دارد و ژنتیک‌هایی با مقدار بالاتر عنصر روی، ارقامی کارا و بر عکس ژنتیک‌هایی با مقدار کم تر روی ارقامی ناکارا می‌باشند. در بررسی حاضر نیز در آزمایش کلاتور - بافر نشان داده شد که این نتیجه گیری در مورد برخی ژنتیک‌ها صحیح می‌باشد. به طوری که

مقایسه پاسخ عملکرد رویشی و زایشی به کود روی در آزمایش مزرعه‌ای، افزایش عملکرد رویشی (وزن خشک و ارتفاع) در گیاهان کود دهنده شده قابل توجه نبود و علامت‌های کمبود در گیاهان شاهد (بدون کود دهنده) مشاهده نشد. این موضوع را می‌توان به شدید نبودن کمبود روی در این خاک نسبت داد. البته کاهش تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه و افزایش وزن هزار دانه از مهم‌ترین اجزای عملکرد بودند که تحت تأثیر کود روی افزایش یافتند. در پژوهش ولی نژاد و همکاران (۳) اثر افروزنده کود روی منحصراً بر افزایش عملکرد دانه گزارش شده است و اثر آن روی عملکرد کاه بررسی نشده است. در بررسی مازندران افزایش معنی داری در عملکرد دانه با کاربرد کود روی دیده شد (۳). می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به سطح بحرانی کمبود (۳) در اراضی شالیزاری شمال کشور و مقدار عملی روی قابل استخراج در این خاک‌ها، کمبود شدیدی در این خاک‌ها حاکم نمی‌باشد، لذا کود دهنده منحصراً عامل افزایش عملکرد دانه می‌شود. کمبود شدید روی در خاک عامل پاسخ معنی دار هر دو عملکرد رویشی و زایشی به کود روی است (۵).

تغییرات غلظت و مقدار عناصر

تأثیر کوددهی بر غلظت روی در اندام هوایی و دانه‌ها یکنواخت نبود. در رقم نعمت (که در عین حال یک رقم کارآ است)، کوددهی هر چند باعث افزایش غلظت روی در کاه نشد، ولی موجب افزایش روی در دانه گردید که اگر افزایش تعداد دانه‌های پر و نیز وزن هزار دانه که در این رقم در پاسخ به کودهی مشاهده می‌شود را نیز در نظر بگیریم، می‌توان نتیجه گرفت که رقم نعمت در مقایسه با سایر ارقام، مناسب‌ترین پاسخ به کاربرد کود روی از نظر عملکرد دانه و مقدار روی دانه از خود نشان می‌دهد. به بیان دیگر بخش مهم کود روی مصرف شده در خاک برای این رقم، به دانه‌ها انتقال می‌یابد. با توجه به این‌که، کاربرد کود روی قبل از انتقال نشاها بوده و در طی گل‌دهی و پر شدن دانه، کود روی محتملاً به طور کامل از خاک

شاهد مزرعه‌ای) نشان می‌دهد که ارقام فجر و ندا بیشترین و ارقام ساحل، شفق و کادوس کمترین غلظت روی دانه را داشته‌اند. مقدار روی در دانه‌های برنج، با توجه به این که دانه گندم و برنج منبع مهمی برای تأمین نیاز به این عنصر در رژیم غذایی ایرانیان است، اهمیت زیادی دارد. کمبود روی در زنان باردار در کشور چند سال است که مستند شده و استفاده از مکمل‌های دارویی برای مرتفع کردن آن پیشنهاد شده است (۱). امروزه مرتفع کردن کمبودهای تغذیه‌ای از طریق غنی سازی فرآورده‌های غذایی پر مصرف مانند گندم و برنج نسبت به مکمل‌های دارویی اولویت بیشتری دارد. بنابراین با توجه به نتایج این بررسی و با این که دانه‌های برنج در طی پوست‌گیری بخشی از عناصر خود را ازدست می‌دهند، می‌توان در مورد ترویج کشت ارقامی مانند فجر با مقدار بالای روی دردانه و یا ارقامی چون نعمت و طارم دیلمانی که به کود روی با افزایش قابل توجه این عنصر در دانه‌ها پاسخ می‌دهند، اقدام نمود.

سپاسگزاری

این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تبریز انجام شده است. از مسئولین مؤسسه تحقیقات برنج در آمل به خاطر همکاری‌های آنها خصوصاً در بخش آزمایش مزرعه‌ای و تأمین بذر قدردانی می‌شود.

ژنوتیپ‌های میانه و آمل در اندام هوایی و ریشه نسبت به دو ژنوتیپ فجر و طارم هاشمی در عرضه کم روی دارای مقدار بمراتب بیشتر روی می‌باشند. با اینحال، مقدار (و نیز غلظت) روی در سه رقم اوندا (ناکارآ)، دشت (حد وسط) و شفق (کارآ) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود. با استناد به این داده‌ها، مشخص می‌گردد که ارتباط بین مقدار و صفت کارآئی همیشه صادق نیست. از سوی دیگر، دو رقم اوندا و شفق به عنوان ارقامی با کارآئی بهره وری متفاوت که علیرغم داشتن غلظت مشابه روی در اندام هوایی و ریشه، پاسخ رشدی بسیار متفاوتی نشان می‌دهند، معرفی شده و می‌توانند موضوع مطالعات بعدی قرار گیرند.

در رقم آمل برخلاف سایر ژنوتیپ‌ها کاهش غلظت آهن در شرایط کمبود روی مشاهده شد. کاهش جذب آهن در شرایط کمبود خفیف روی گزارش شده است (۱۵). برعکس، تأثیر کمبود روی بر افزایش غلظت آهن در رقم فجر را می‌توان به عنوان یکی از عوارض جانبی کمبود شدید روی قلمداد کرد. در برخی شرایط، کمبود روی در برنج غرقابی با سمیت آهن توأم است (۱۵). کمبود روی در برخی گیاهان با ایجاد سمیت فسفر همراه است (۱۳). نشان داده شده است که در کمبود روی انتقال فسفر به اندام هوایی افزایش می‌یابد و باعث ظهور علائم مسمومیت می‌شود (۱۵ و ۱۶). در این بررسی نیز افزایش فسفر اندام هوایی می‌تواند یکی از دلایل کاهش رشد در کمبود روی باشد.

مقایسه غلظت روی دانه در ارقام مختلف (در تیمار

منابع مورد استفاده

۱. بی‌نام. ۱۳۸۰ چکیده مقالات سمینار یک روزه اثر روی در سلامت انسان. دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، تهران.
۲. میرلوحی، آ. ف.، م. ح. اهتمام و م. ر. سبز علیان. ۱۳۸۳. بررسی عوامل نمود بهتر برنج در شرایط غرقابی با استفاده از رسمهای زراعی ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۲): ۱۲۱-۱۳۴.
۳. ولی‌زاد، م.، م. ج. ملکوتی، م. ح. داوودی، ن. سعادتی، م. ر. رمضانپور، م. محمودی و م. محمدیان. ۱۳۸۰. تعیین حد بحرانی روی و بررسی پاسخ به سولفات روی در اراضی شالیزاری مازندران. ویژه نامه مصرف بهینه کود، مؤسسه تحقیقات برنج (آمل)، ۱۲(۱۴۰).

4. Ando, T., S. Yoshida and I. Nishiyama. 1983. Nature of oxidizing power of rice roots. *Plant Soil* 72: 57-71.
5. Cakmak, I., N. Sari, H. Marschner, M. Kalayci, A. Yilmaz, S. Eker and K. Y. Gültüt. 1996. Dry matter production and distribution of zinc in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Plant Soil* 180: 173-181.
6. Cakmak, I., L. Öztürk, S. Eker, B. Torun, H. I. Kalfa and A. Yilmaz. 1997. Concentration of zinc and activity of copper/zinc superoxide dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency. *J. Plant Physiol.* 151: 91-95.
7. Castro, R. U. 1977. Zinc deficiency in rice: a review of research at the International Rice Research Institute. IRRI. Res. Pap. 9:18-20.
8. Chaudhry, F. M., S. M. Alam, A. Rashid and A. Latif. 1977. Mechanism of differential susceptibility of two rice varieties to zinc deficiency. *Plant Soil* 46: 637-642.
9. Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. PP. 57-102. In: P. B. Tinker and A. Läuchli (Eds.), *Advances in Plant Nutrition Vol. 1*, Praeger, New York.
10. Hajiboland, R. 2000 Zn Efficiency in Rice (*Oryza sativa* L.) Plants. PhD Thesis, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
11. International Rice Research Institute (IRRI). 1970. Annual Report for (1969, PP 134-137, 155-157. IRRI), Los Baños, Philippines.
12. Johnson, A. D. and J. G. Simons. 1979. Diagnostic indices of zinc deficiency in tropical legumes. *J. Plant Nutr.* 1:123-149.
13. Loneragan, J. F., D. L. Grunes, R. M. Welch, E. A. Aduayi, A. Tengah, V. A. Lazar and E. E. Cary. 1982. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46: 345-352.
14. Marschner, H. 1993. Zn uptake from soils Zinc in Soils and Plants. PP. 59-77. In: A. D. Robson (Ed.), Kluwer Academic Pub., The Netherlands.
15. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed., Academic Press Inc., London, UK.
16. Parker, D. R., J. J. Aguilera and D. N. Thomson. 1992. Zinc-phosphorus interactions in two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in chelator-buffered nutrient solutions. *Plant Soil* 143: 163-177.
17. Parker, D. R., R. L. Chaney and W. A. Norvell 1995a. Chemical equilibrium models: Applications to plant nutrition research. PP 163-200. In: R. H. Leopert et al. (Eds.), *Soil Chemical Equilibrium and Reaction Models*. SSSA Spec. Publ. 42. Soil Sci. Soc. Am. and ASA, Madison, WI.
18. Parker, D. R., W. A. Norvell and R. L. Chaney. 1995b. GEOCHEM-PC: A chemical speciation program for IBM and compatible computers. *Soil Chemical Equilibrium and Reaction Models*. In: R. H .Leopert et al. (Eds.), SSSA Spec. Pub. No. XX. Soil Science Society of America, Madison, WI.
19. Pearson, J. N. and Z. Rengel. 1994. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *J. Exp. Bot.* 45: 1829-1835.
20. Rahmatullah, F. M. Chaudhry and A. Rashid. 1976. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils. *Plant Soil* 45: 411-420.
21. Raven, K.P. and R.H. Leopert. 1997. Trace element composition of fertilizers and soil amendments *J. Environ. Qual.* 26: 551-557.
22. Roberts, J. K. M., J. Callis, O. Jardetzky, V. Walbot and M. Freeling. 1984. Cytoplasmic acidosis as a determinant of flooding intolerance in plants. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 81: 6029-6033.
23. Scandalios, J. G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.* 101: 7-12.
24. Tenant, D. 1975 A test of modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63: 995-1001.
25. Yang, X. and X. Sun. 1992. Varietal difference of rice plants in response to N and its mechanisms. *Acta Pedologica Sinica* 29: 73-79.
26. Yang, X., V. Römheld, H. Marschner and R.L. Chaney. 1994a. Application of chelator-buffered nutrient solution technique in studies on zinc nutrition in rice (*Oryza sativa* L.) plant. *Plant Soil* 163: 85-94.
27. Yang, X., V. Römheld and H. Marschner. 1994b. Uptake of iron, zinc, manganese and copper by seedlings of hybrid and traditional rice cultivars from different soil types. *J. Plant Nutr.* 17: 319-331.
28. Yoshida, S., D. A. Forno and A. Bhadrachalam. 1971. Zinc deficiency of the rice plant on calcareous and neutral soils in the Philippines. *Soil Sci. Plant Nutr.* 17: 83-87.
29. Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock and K. Gomez. 1972. Routine methods of solution culture for rice. PP. 53-57. In: *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice*. 2nd ed., The International Rice Research Institute, Philippines.