"مجله علوم زراعی ایران"
جلد هفدهم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٤

اثر سطوح کود فسفر و پیش‌پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک بر محتوای اسید فیتیک و عناصر معدنی دانه سه رقم برنج (*Oryza sativa* L.)

Effect of phosphorus fertilizer levels and parboiling of paddy on phytic acid and mineral content of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars

محدثه وهاب زاده[1]، مسعود اصفهانی[2]، علی اعلمی[3]، عباس شهدی کومله[4]، سیده ارحامه فلاح شمسی[5] و سعید همتی[6]

چکیده

وهاب زاده،م.، م. اصفهانی، ع. اعلمی، ع. شهدی کومله، س.ا. فلاح شمسی و س. همتی. ١٣٩٤. اثر سطوح کود فسفر و پیش پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک بر محتوای اسید فیتیک و عناصر معدنی دانه سه رقم برنج (*Oryza sativa* L.). **مجله علوم زراعی ایران. ١٧(٤): ٢٧٢-٢٥٨.**

به منظور بررسی اثر سطوح کود فسفر (صفر، ٤٠، ٨٠ و ١٢٠ کیلوگرم فسفر در هکتار) و پیش‌پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک بر محتوای اسید فیتیک و ارزش تغذیه‌ای دانه سه رقم برنج (هاشمی، خزر و گوهر) آزمایشی مزرعه‌ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در بهار سال ١٣٩١ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) انجام شد. پس از برداشت محصول تیمارهای آزمایشی، عملیات پیش پز کردن روی شلتوک‌های برداشت شده اجرا شد. نتایج نشان داد که کمبود فسفر باعث کاهش عملکرد دانه گردید و بیشترین عملکرد دانه در سطوح ٨٠ و ١٢٠ و کمترین عملکرد دانه در سطوح صفر و ٤٠ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده شد. با افزایش محتوای فسفر خاک، محتوای اسیدفیتیک شلتوک افزایش یافته و باعث کاهش محتوای عناصر آهن و روی و میزان فراهمی آنها شد. بیشترین محتوای اسیدفیتیک شلتوک در رقم خزر و در تیمار کودی ١٢٠ کیلوگرم فسفر با میزان ١٦/٨٢ میلی گرم بر گرم ثبت شد. پس از اجرای عملیات پیش‌پز کردن، محتوای اسیدفیتیک شلتوک ٨٠ درصد کاهش یافته و از ١٣/٨ میلی گرم در گرم به ٣/١ میلی گرم در گرم رسید و کمترین میزان اسیدفیتیک در رقم گوهر و در تیمار کودی صفر کیلوگرم فسفر ثبت شد (١/٦٧ میلی‌گرم در گرم). نتایج نشان داد که پیش‌پز کردن شلتوک باعث افزایش محتوای عناصر فسفر، آهن و روی در برنج سفید حاصله شد. در طی عملیات پیش‌پز کردن شلتوک، فعالیت آنزیم فیتاز افزایش یافت در کلیه ارقام بیشترین میزان فعالیت آنزیم فیتاز در تیمار کودی ٨٠ کیلوگرم فسفر ثبت شد. نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش سطوح کود فسفر باعث افزایش تجمع فسفر دانه بصورت اسیدفیتیک و کاهش فعالیت آنزیم فیتاز و محتوی عناصر معدنی می‌گردد. بعلاوه پیش‌پز کردن باعث کاهش محتوی اسید فیتیک دانه می‌شود که این کاهش می‌تواند ناشی از هیدرولیز آنزیمی درطی مراحل خیساندن و بخاردهی وهمچنین به دلیل شکسته شدن ساختار حلقوی اسیدفیتیک در اثر فرآیندهای دمایی در طی عملیات پیش‌پز کردن باشد.

واژه‌های کلیدی: برنج، فعالیت آنزیمی فیتاز، محتوی آهن، محتوی روی، محتوی فسفر و نسبت مولی اسید فیتیک به روی.

تاریخ دریافت: ١٣٩٤/٠٤/٠٦ تاریخ پذیرش: ١٣٩٤/١١/٢٦ این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول می‌باشد

١- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان
٢- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: mesfahan@yahoo.com)
٣- استادیاردانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان
٤- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات برنج کشور
٥- دانشجوی دکتری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
٦-دانشجوی سابق دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان

مقدمه

اگرچه تولید غذا در جهان امروز به حد کافی است و قاعدتاً نباید گرسنه‌ای درجهان باشد، اما بخش زیادی از جمعیت دنیا با وجود تامین انرژی، از گرسنگی پنهان رنج می‌برند. این اصطلاح در کمبود ریزمغذی‌هایی مانند روی، آهن، اسید فولیک، کلسیم، ویتامین آ و ب که علائم آن تا مدت‌ها احساس نمی‌شود، بکار می‌رود. برنج (*Oryza sativa*) نقش مهمی در تغذیه نیمی از مردم جهان، بخصوص مردم ساکن در کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کند. این محصول یک سوم سطح زیر کشت غلات دنیا را اشغال کرده (FAO, 2012) و پس از گندم، مهم‌ترین گیاه زراعی به‌شمار می‌آید. با توجه به نقش مهم برنج در تغذیه افراد، این غله نقش انکارناپذیری را در سلامت جامعه ایفا می‌نماید.

فسفر یکی از مهم‌ترین نهاده‌های مورد استفاده در زراعت برنج محسوب می‌شود (Alam *et al*., 2009). فراهم بودن فسفر برای رشد گیاه ضروری بوده و مهم‌ترین نقش آن شرکت در سازوکارهای انتقال انرژی است. کمبود فسفر سرعت رشد گیاه را کند کرده و باعث کاهش عملکرد آن می‌شود. برنج از جمله گیاهان حساس به کمبود فسفر محسوب می‌شود (Zai-Hua *et al*., 2006). به‌دلیل رفتار خاص فسفر در خاک‌های اسیدی و به‌علت وجود یون‌های Fe^{+3} و Al^{+3} و همچنین به‌دلیل شیمی پیچیده این عنصر در خاک، در حدود ۲۰ درصد فسفر مصرف شده در کشت اول مورد استفاده گیاه قرار گرفته و ۸۰ درصد آن در خاک تثبیت شده و به‌شکل غیر قابل دسترس در خاک تجمع می‌یابد (Sepehr *et al*., 2009)، بنابراین لزوم استفاده از کودهای فسفر با توجه به نقش مهم این عنصر در چرخه رشد گیاه و عملکرد آن، غیرقابل اجتناب می‌باشد.

اسیدفیتیک (اینوزیتول هگزا فسفریک‌اسید) فرم ذخیره‌ای فسفر در دانه غلات بوده که در طی مراحل رسیدگی دانه در سلول‌های لایه آلورون تجمع می‌یابد. میزان این ترکیب توأم با افزایش مصرف کود فسفر، در بذر افزایش می‌یابد (Coulibaly *et al*., 2011). به‌دلیل ساختار بیوشیمیایی اسیدفیتیک، این ماده میل ترکیبی فراوانی به ایجاد کمپلکس‌باکاتیون‌های چند ظرفیتی مانند Zn^{2+}, $Fe^{2+/3+}$, Ca^{2+}, Mg^{2+} Mn^{2+} و Cu^{2+} دارد (Greiner and Konietzny, 2006). اسیدفیتیک در حین جوانه‌زنی بذر بوسیله آنزیم فیتاز شکسته شده و فسفر و سایر عناصر معدنی و میواینوزیتول آن آزاد شده و در اختیار جنین در حال رشد قرار می‌گیرند (Lang *et al*., 2007). وجود اسیدفیتیک در غذای انسان، پتانسیل جذب عناصر تغذیه‌ای را به دلیل تشکیل این کمپلکس‌ها و عدم قابلیت تجزیه آنها در بدن، به‌شدت کاهش می‌دهد. از این‌رو اسیدفیتیک در اکثر منابع به‌عنوان یک ماده ضد تغذیه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. تاناکا و همکاران (Tanaka *et al*., 1973)با استفاده از روش پرتونگاری، محل تجمع اسید فیتیک در دانه برنج را در بخش آلورون دانه گزارش نمودند. جوانه‌دار کردن، تخمیر و خیساندن، از راهکارهای اساسی کاهش میزان اسیدفیتیک و نمک‌های آن (فیتات‌ها) در دانه غلات هستند (Coulibaly *et al*., 2011). یکی از روش‌های مرسوم حفظ ارزش تغذیه‌ای دانه برنج، استفاده از روش پیش‌پز کردن (پاربویلینگ؛ Parboiling) شلتوک است. پیش‌پز کردن شلتوک فرآیندی هیدروترمال شامل مراحل خیساندن، بخاردهی و خشکاندن قبل از تبدیل شلتوک به برنج سفید می‌باشد. پیش‌پز کردن شلتوک باعث هیدرولیز اسیدفیتیک به میواینوزیتول و فسفر آزاد می‌شود (Hafeez Khan *et al*., 2009). هیدرولیز آنزیمی در اثر خیساندن و شکسته شدن ساختار حلقوی اسیدفیتیک در اثر دما، دلایل اصلی کاهش میزان اسیدفیتیک در طی پیش‌پز کردن شلتوک هستند. هیدرولیز اسیدفیتیک در اثر پیش‌پز کردن را می‌توان به فعال شدن آنزیم فیتاز درونی بذر به‌دلیل قرارگرفتن بذر در دمای مطلوب و آغاز فعالیت فیتاز در طی عملیات

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

خیساندن نیز نسبت داد. هاپوراچی و همکاران (Hapuarachchi *et al*., 2003) کاهش ۸۰ درصدی میزان اسید فیتیک در اثر پیش‌پز کردن شلتوک را گزارش نموده‌اند. حفیظ خان و همکاران (Hafeez Khan *et al*., 2009) نیز بیشترین میزان کاهش اسید فیتیک در فرآیندهای تثبیت گرمایی طی فرآیند پیش‌پز کردن شلتوک را گزارش نموده‌اند. البراسین و همکاران (Albarracín *et al*., 2013) نیز گزارش نمودند که خیساندن برنج در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش ۸۷ تا ۹۱ درصدی محتوی اسید فیتیک دانه برنج می شود. از سوی دیگر در طی عملیات پیش‌پز کردن از طریق فرایندهای هیدروترمال عناصر معدنی از سبوس و لایه‌های خارجی به آندوسپرم و قسمت‌های مرکزی منتقل شده و بدین ترتیب میزان عناصر غذایی برنج پیش‌پزشده افزایش می‌یابد (Heinemann *et al*., 2005). میزان افزایش عناصر غذایی در برنج پیش‌پز به مکان تجمع عناصر در دانه، حلالیت پذیری عناصر، قدرت جابجایی عناصر به قسمت مرکزی دانه و مقاومت آنها در زمان ژلاتینه شدن بستگی دارد. هدف از اجرای آزمایش حاضر بررسی اثر پیش پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک بر محتوای اسید فیتیک و فعالیت آنزیمی فیتاز و محتوای عناصر معدنی دانه سه رقم برنج در تیمارهای کود فسفر بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش اثر سطوح کود فسفر صفر (شاهد)، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و پیش‌پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک حاصله بر محتوای اسیدفیتیک و ارزش تغذیه‌ای دانه سه رقم برنج (هاشمی، خزر و گوهر) که به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در بهار سال ۱۳۹۱ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) اجرا شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. هر بلوک شامل ۱۲ کرت و فاصله بین بلوک‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت ها ۳۰ سانتی متر بود. مساحت هر کرت آزمایشی ۱۲ مترمربع (۶×۲ متر) بود. خاک محل اجرای آزمایش از نظر محتوای فسفر فقیر (۴/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و پایین‌تر از حد بحرانی فسفر برای برنج (۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) (Mirnia and Mohammadian, 2005) بود.

عملیات آماده سازی زمین شامل شخم اولیه، شخم دوم به منظور خرد کردن کلوخه‌ها، تسطیح خاک (ماله‌زنی)، احداث نهرهای آبیاری و زه‌کش مستقل و کشیدن پوشش پلاستیک سر مرزها برای جلوگیری از اختلاط اثر تیمارهای کودی بود. گیاهچه‌های ارقام برنج نیز از موسسه تحقیقات برنج کشور تهیه و در تاریخ ۱۸ خرداد به صورت تک گیاهچه در هر کپه و با فاصله ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر نشاکاری شدند. وجین علف‌های هرز مزرعه در دو مرحله (به ترتیب ۱۴ و ۲۸ روز بعد از نشاکاری) به‌صورت دستی انجام شد. به منظور مبارزه با آفات کرم ساقه‌خوار برنج (*Chilo suppressalis*) از آفت‌کش دیازینون محلول پنج درصد در زمان‌های وجین و گلدهی استفاده شد. میزان مصرف کود نیتروژن به صورت خالص ۹۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) بود که یک سوم آن ۱۰ روز بعد از نشاءکاری، یک سوم در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و یک سوم در مرحله ظهور خوشه در زمین پخش شد. مقادیر صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص (از منبع سوپر فسفات تریپل) و ۷۵ کیلوگرم در هکتار پتاس خالص (از منبع سولفات پتاس) بصورت پایه به خاک افزوده شدند. افزایش میزان فسفر باعث تسریع مراحل فنولوژیک کلیه ارقام برنج گردید و محصول آنها زودتر رسیده و برداشت شدند. برداشت محصول در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از مساحت هشت مترمربع از هر کرت انجام شد.

عملیات پیش‌پز کردن روی ۵۰۰گرم شلتوک برداشت شده مربوط به هر تیمار کودی و هر رقم برنج

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

که بصورت تصادفی انتخاب شدند، انجام گرفت. خیساندن شلتوک‌ها با هدف جذب آب تا حدود ۴۰ درصد وزن دانه‌ها اجرا شد. جهت خیساندن شلتوک‌ها از آب با دمای ۴۵ درجه سلسیوس (دمای پایین‌تر از دمای ژلاتینه شدن گرانول‌های نشاسته) استفاده شد. نمونه‌های شلتوک مربوط به هر رقم در درون کیسه‌ای از جنس پارچه تنظیف قرار داده شده و به مدت ۶ ساعت در حمام بن ماری خیسانده شدند. نمونه‌های شلتوک پس از خیساندن، در اتوکلاو مرطوب به مدت ۱۰ دقیقه در فشار یک اتمسفر بخاردهی شدند. شلتوک‌های بخار داده شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۵ درجه سلسیوس در آون خشکانده شدند. اندازه‌گیری اسید فیتیک دانه به‌روش هوانگ و لانچ (Haug and Lantzsch, 1983) در شلتوک و برنج سفید انجام شد، بدین ترتیب که نمونه‌ها در محلول اسیدی سولفات آهن III آمونیومی جوشانده شده و میزان احیای آهن محلول (میزان آهنی که در اثر جوشاندن محلول آزاد گردید) با استفاده از معرف رنگی ۲ و ۲ بی‌پیریدین در طول موج ۵۱۹ نانومتر در اسپکتروفتومتر (GENWAY, UK) قرائت شد.

اندازه‌گیری آنزیم فیتاز به‌روش انگلن (Engelen, 2001) در شلتوک انجام شد. برای استخراج فیتاز، از نمونه‌ها ۱۰۰ گرم نمونه به اندازه‌ای که از الک یک میلی متری عبور داده شوند، آسیاب شدند. پنج گرم نمونه آسیاب شده توزین شده و به آن ۵۰ میلی‌لیتر بافر (شامل ۳۰ گرم استات سدیم، ۰/۱۴۷ گرم کلرید کلسیم و ۰/۱ گرم توین) افزوده شد. بعد از یک ساعت استراحت، محلول رویی آن با استفاده از کاغذ صافی عصاره‌گیری شد. فیتاز استخراج شده از نمونه ها در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و اسیدیته ۵/۵ با فیتات سدیمی انکوبه شد و میزان افزایش ارتوفسفات محلول با افزودن معرف رنگی وانادات- مولیبدات در طول موج ۴۱۵ نانومتر در اسپکتروفتومتر (GENWAY, UK) قرائت گردید.

برای اندازه‌گیری میزان عناصر معدنی برنج سفید، دو گرم نمونه آسیاب شده از هر رقم درکوره الکتریکی به مدت دو ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس سوزانده شد. سپس به خاکستر سرد شده نمونه‌ها پنج میلی لیتر اسید کلریدریک دو نرمال اضافه شد و نمونه‌ها در درون حمام بن ماری به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند. درمرحله بعد نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شده و سپس محلول تصفیه شده با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. برای قرائت عنصر آهن و روی از دستگاه جذب اتمی و برای قرائت عنصر فسفر از دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۰۰ نانومتر استفاده شد (Puwastien *et al.,* 2011). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، سطوح کود فسفر و اثر متقابل رقم و سطوح کود فسفر بر محتوای اسیدفیتیک شلتوک معنی‌دار بود. با افزایش سطوح کود فسفر، میزان تجمع فسفر بصورت اسیدفیتیک در دانه افزایش یافت. بیشترین تجمع اسید فیتیک در رقم خزر در سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم فسفر و کمترین میزان در رقم گوهر در تیمار شاهد ثبت گردید (جدول ۱). رابوی و دیکینسون (Raboy and Dickinson, 1984) در بررسی اثر سطوح فسفر و روی بر محتوی اسیدفیتیک دانه سویا، تاثیر مصرف فسفر بر افزایش محتوای اسیدفیتیک دانه را گزارش نمودند. در آزمایش ایشان محتوای فیتین دانه از ۴/۲ میلی گرم در گرم در تیمار دو میلی گرم فسفر در لیتر به ۱۹/۲ میلی گرم در گرم در تیمار ۵۰ میلی گرم فسفر در لیتر، افزایش یافت . سیرواستاوا و همکاران (Srivastava *et al*., 1995) نیز در بررسی اثر کودهای شیمیایی و دامی بر محتوی فیتین در گندم،

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

تاثیر فسفر بر افزایش محتوی اسیدفیتیک دانه را گزارش نمودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، سطوح کود فسفر و اثر متقابل رقم و سطوح کود فسفر بر محتوای اسیدفیتیک دانه در طی عملیات پیش‌پز کردن معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پیش‌پز کردن نقش بسزایی در کاهش میزان اسیدفیتیک دارد. در مرحله خیساندن محتوای اسیدفیتیک دانه بطور متوسط یک تا هشت درصد کاهش یافت. بیشترین کاهش در رقم خزر و در سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم فسفر ثبت شد، اما بخاردهی نقش موثرتری را در کاهش محتوای اسیدفیتیک داشت و باعث کاهش ۲۹ الی ۴۶ درصدی محتوای اسیدفیتیک شلتوک‌های پیش‌پز شده گردید. هاپوراچی و همکاران (Hapuarachchi *et al*., 2003) در ارزیابی اثر پیش‌پز کردن بر محتوای اسیدفیتیک دانه برنج، دلیل کاهش اسید فیتیک را هیدرولیز آنزیمی درطی مراحل خیساندن و بخاردهی و همچنین شکسته شدن ساختار حلقوی اسیدفیتیک در اثر فرآیندهای دمایی در طی عملیات پیش‌پز کردن گزارش نمودند. حفیظ خان و همکاران نیز (Hafeez Khan *et al*., 2009) در ارزیابی مواد ضدتغذیه‌ای و میزان پروتئین سبوس دانه برنج، بیشترین میزان کاهش اسید فیتیک در فرآیندهای تثبیت گرمایی را فرآیند پیش‌پز کردن گزارش نمودند. در آزمایش آنها پیش‌پز کردن شلتوک باعث کاهش ۸۵ درصدی محتوای اسیدفیتیک سبوس گردید.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، سطوح کود فسفر و اثر متقابل رقم و سطوح کود فسفر بر محتوای اسیدفیتیک دانه برنج سفید معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که فرآیند سفید کردن بطور متوسط باعث کاهش محتوای اسید فیتیک به میزان ۴۹ الی ۶۸ درصد گردید (جدول ۱). محل اصلی تجمع اسیدفیتیک در دانه برنج در بخش آلورون دانه بوده (Tanaka *et al*., 1973) و این بخش در طی عملیات سفید کردن بصورت سبوس از دانه جدا و باعث کاهش محتوای اسید فیتیک می‌شود. کمترین میزان اسید فیتیک برنج سفید در رقم گوهر و در تیمار شاهد و بیشترین میزان در رقم خزر و در تیمار کودی ۱۲۰ کیلوگرم فسفر ثبت شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها و با در نظر گرفتن ضریب تغییرات محتوای اسید فیتیک برنج سفید، کمترین میزان اسید فیتیک در برنج پیش‌پز سفید شده (۱/۶۷ تا ۶ میلی‌گرم در گرم) ثبت شد که نسبت به شلتوک ۶۴ تا ۸۵ درصد کاهش داشت. لیانگ و همکاران (Liang *et al*., 2008) در ارزیابی اثر عملیات تبدیل بر پراکنش اسیدفیتیک و روی در دانه برنج، رابطه معنی‌داری بین مدت زمان صیقل‌دهی و محتوای اسیدفیتیک گزارش نمودند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که پراکنش اسیدفیتیک و روی از لایه‌های بیرونی دانه به سمت داخل کاهش می‌یابد، بنابراین هرچه مدت زمان صیقل‌دهی افزایش یابد، محتوای اسیدفیتیک دانه نیز کاهش خواهد یافت. هاپوراچی و همکاران (Hapuarachchi *et al*., 2003) نیز در ارزیابی اثر پیش‌پز کردن بر کاهش محتوای اسیدفیتیک دانه برنج، کاهش ۸۰ درصدی محتوای اسیدفیتیک در برنج سفید پیش‌پز در مقایسه با برنج سفید بدون پیش‌پز را گزارش نمودند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، سطوح کود فسفر و اثر متقابل رقم و سطوح کود فسفر بر فعالیت آنزیم فیتاز شلتوک معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح کود فسفر و رقم بر فعالیت آنزیم فیتاز نشان داد که در هر سه رقم برنج، فعالیت آنزیم فیتاز با الگوی نسبتاً یکسانی تحت تاثیر سطوح فسفر قرار داشت. در کلیه ارقام برنج بیشترین فعالیت آنزیم فیتاز نسبت به تیمار شاهد در تیمار کود فسفر ۸۰ کیلوگرم دیده شد. با افزایش سطح کود فسفر به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، فعالیت آنزیم فیتاز نسبت به تیمار شاهد ۴۰ الی ۶۰ درصد کاهش یافت (جدول ۲). اگرچه نقش بیولوژیکی آنزیم فیتاز آزادسازی فسفر معدنی جهت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌باشد، اما به‌نظر می‌رسد

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

که افزایش میزان فسفر به بیش از حد مورد نیاز، باعث ممانعت از فعالیت آنزیم می‌گردد. نتایج آزمایش مربوط به سیستم کنترل کننده فیتین- فیتاز نشان داد که افزایش بیش از اندازه میزان فسفر به صورت پس‌خور (فیدبک) عمل کرده و باعث کاهش هیدرولیز اسیدفیتیک توسط آنزیم فیتاز می‌شود (Chalova *et al*., 2003). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، سطوح کود فسفر و اثر متقابل رقم و سطوح کود فسفر بر فعالیت آنزیم فیتاز در طی عملیات پیش‌پز کردن معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سطوح کود فسفر بر فعالیت آنزیم فیتاز نشان داد که خیساندن و بخاردهی در افزایش فعالیت این آنزیم نقش چشمگیری دارد. پایداری دمایی بالای فیتاز گیاهی به دلیل خلوص پایین‌تر این آنزیم در مقایسه با فیتاز میکروبی گزارش شده‌است. این پایداری دمایی بالا ممکن است به‌دلیل موقعیت استقرار آنزیم فیتاز در درون دانه و یا ناشی از کمپلکس بودن این آنزیم با سایر متابولیت‌های گیاهی در درون بذر باشد. کمپلکس بودن آنزیم فیتاز با سایر ترکیبات گیاهی باعث می‌شود که در دمای بالا این ترکیبات مانع ایجاد صدمه به آنزیم شوند (Ma and Shan, 2002) . کولیبالی و همکاران نیز (Coulibaly *et al*., 2011) در ارزیابی ساختار و روش‌های کاهش محتوای اسید فیتیک دانه غلات، خیساندن در آب گرم را از راهکارهای افزایش فعالیت آنزیم فیتاز دانه معرفی کرده‌اند. سندبرگ و اسوانبرگ (Sandberg and Svanberg, 1991) در ارزیابی هیدرولیز فیتات به‌وسیله آنزیم فیتاز در غلات، شرایط بهینه فعالیت آنزیم فیتاز را خیساندن در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و اسیدیته ۵/۵ معرفی کردند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، سطوح کود فسفر و اثر متقابل رقم و سطوح کود فسفر بر محتوای فسفر برنج سفید معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش سطوح فسفر باعث افزایش تجمع فسفر در دانه گردید. بیشترین محتوای فسفر در رقم خزر و در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم فسفر ثبت گردید (جدول ۲). اسلام و همکاران (Islam *et al*., 2008) در ارزیابی اثر فسفر بر محتوای عناصر غذایی در برنج گزارش نمودند که افزایش سطوح کود فسفر باعث افزایش محتوای فسفر گیاه می‌شود و در زمان رسیدگی نیز محتوای فسفر تجمع یافته در دانه به دلیل انتقال مجدد فسفر از شاخساره به دانه، نسبت به شاخساره افزایش می‌یابد. نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد که پیش‌پز کردن، محتوای فسفر دانه برنج سفید شده را افزایش داد. ضریب تغییرات محتوای فسفر برنج پیش‌پز نشان داد که پیش‌پز کردن بطور متوسط باعث افزایش ۲۵ درصدی محتوای فسفر دانه گردید. میزان عناصر معدنی در برنج پیش‌پز شده به محل تجمع عناصر در دانه، حلالیت عناصر، قدرت جابجایی عناصر به قسمت مرکزی دانه و مقاومت آنها در زمان ژلاتینه شدن گرانول‌های نشاسته بستگی دارد (Chinnaswamy and Bhattacharya, 1983). هینمن و همکاران (Heinemann *et al*., 2005) در بررسی ترکیب عناصر تغذیه‌ای برنج قهوه‌ای، پیش‌پز و سفید، افزایش ۱۸ درصدی میزان فسفر را در برنج پیش‌پز گزارش کردند. داگلاس و همکاران (Douglas *et al*., 2013) نیز در بررسی ترکیبات تغذیه‌ای برنج، افزایش محتوای فسفر در برنج پیش‌پز را گزارش نمودند. اُدنیگبو و همکاران (Odenigbo *et al*., 2013) نیز در ارزیابی قابلیت هضم نشاسته و ترکیبات تغذیه‌ای برنج، افزایش محتوای فسفر در اثر پیش‌پز کردن را گزارش نمودند. برطبق نتایج آنها افزایش محتوای عناصر تغذیه‌ای برنج پیش‌پز به قابلیت حلالیت و انتقال عناصر به قسمت مرکزی دانه در طی عملیات ژلاتینه شدن بستگی دارد. میزان تغییرات محتوای اسید فیتیک دانه (شلتوک) پس از خیساندن و پس از بخاردهی و همچنین دانه برنج سفید (حاصل از شلتوک پیش‌پز شده و پیش‌پز نشده) در جدول ۴ ارائه شده است.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

جدول ۱- مقایسه میانگین محتوای اسید فیتیک دانه سه رقم برنج در تیمارهای کود فسفر و پیش‌پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک

Table 1. Mean comparison of phytic acid content of grain of three rice cultivars in phosphorous fertilizer and parboiling treatments

ارقام برنج Rice cultivars	کود فسفر P fertilizer levels ($kg.ha^{-1}$)	محتوی اسید فیتیک شلتوک Phytic acid content of paddy ($mg.g^{-1}$)	محتوی اسید فیتیک شلتوک پس از خیساندن Phytic acid content of paddy after soaking ($mg.g^{-1}$)	محتوی اسید فیتیک شلتوک پس از بخاردهی phytic acid content of paddy after steaming ($mg.g^{-1}$)	محتوی اسید فیتیک برنج سفید (پیش‌پز نشده) Phytic acid content of non parboiled white rice ($mg.g^{-1}$)	محتوی اسید فیتیک برنج سفید (پیش‌پز) Phytic acid content of parboiled white rice ($mg.g^{-1}$)
Gohar گوهر	0	10.92k	10.91j	6.12j	3.31j	1.67k
	40	11.52i	11.24h	6.31i	3.49i	1.83j
	80	12.52h	11.63g	6.91h	4.05h	2.27i
	120	13.39g	12.10f	8.04f	5.08de	3.13de
Hashemi حسنی	0	14.43f	13.49e	7.73g	4.67f	2.76g
	40	14.63d	13.62d	8.00f	5.03e	3.08e
	80	14.69d	13.84b	8.28d	5.26c	3.25c
	120	16.05b	15.50a	10.71b	7.64b	5.08b
Khazar خزر	0	11.19j	11.10i	6.08j	4.26g	2.46h
	40	14.52e	13.47e	8.43c	4.76f	2.88f
	80	14.92c	13.74c	8.14e	5.17cd	3.18cd
	120	16.82a	15.51a	11.83a	8.62a	5.91a

جدول ۲- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم فیتاز و محتوای فسفر دانه سه رقم برنج در تیمارهای کود فسفر و پیش‌پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک

Table 2. Mean comparison of phtase activity and phosphorous content of grain of three rice cultivars in phosphorous fertilizer and parboiling treatments

ارقام برنج Rice cultivars	کود فسفر P fertilizer levels ($kg.ha^{-1}$)	فعالیت آنزیم فیتاز شلتوک Phytase activity in paddy ($unit.kg^{-1}$)	فعالیت آنزیم فیتاز شلتوک پس از خیساندن Phytase activity in paddy after soaking ($unit.kg^{-1}$)	فعالیت آنزیم فیتاز شلتوک پس از بخاردهی Phytase activity in paddy after steaming ($unit.kg^{-1}$)	محتوی فسفر برنج سفید (پیش‌پز نشده) P content of non parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	محتوی فسفر برنج سفید (پیش‌پز) P content of parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)
Gohar گوهر	0	92.04h	121.9i	346.16g	47.5k	59.5k
	40	111.96e	124.68h	416.22e	51.6j	64.6j
	80	138.96b	22.96a	639.47a	64.1i	80.3i
	120	57.11k	103.69k	259.88l	87.6e	109.3e
Hashemi حسنی	0	81.05j	113.41j	282.31j	78.8g	98.7g
	40	88.29i	130.15g	343.59h	86.2e	108.5e
	80	103.29f	136.77f	355.55f	91.6c	115.6c
	120	55.74l	95.59l	303.09i	143.6b	180.3b
Khazar خزر	0	129.15d	152.16d	492.03d	69.8h	86.7h
	40	137.55c	190.50c	533.67c	81.3f	101.5f
	80	175.16a	200.12b	547.44b	89.7d	112.6d
	120	101.83g	138.94e	272.82k	166.8a	208.9a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level, using LSD test

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

جدول ۳- میزان تغییرات محتوای اسید فیتیک دانه سه رقم برنج در تیمارهای کود فسفر و پیش‌پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک

Table 3. Variation of phytic acid content of grain of three rice cultivars in phosphorous fertilizer and parboiling treatments

ارقام برنج Rice cultivars	کود فسفر P fertilizer levels ($kg.ha^{-1}$)	تغییر محتوی اسید فیتیک شلتوک پس از خیساندن Variation of phytic acid content after soaking (%)	تغییر محتوی اسید فیتیک شلتوک پس از بخاردهی Variation of phytic acid content after steaming (%)	تغییر محتوی اسید فیتیک برنج سفید (پیش‌پز نشده) Variation of phytic acid content in non parboiled white rice (%)	تغییرمحتوی اسید فیتیک برنج سفید (پیش‌پز) Variation of phytic acid content in parboiled white rice (%)
Gohar گوهر	0	-0.09	-43.96	-69.69	-84.71
	40	-2.43	-45.23	-69.70	-84.11
	80	-7.11	-44.81	-67.65	-81.87
	120	-9.63	-39.96	-62.06	-76.62
Hashemi حسنی	0	-6.51	-46.43	-67.64	-80.87
	40	-6.90	-45.32	-65.62	-78.95
	80	-5.79	-43.64	-64.19	-77.88
	120	-3.43	-33.27	-52.40	-68.35
Khazar خزر	0	-0.80	-45.67	-61.93	-78.07
	40	-7.23	-41.94	-67.22	-80.17
	80	-7.91	-45.44	-65.35	-78.60
	120	-7.79	-29.67	-48.75	-64.86

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سطوح کود فسفر بر محتوای آهن برنج سفید معنی‌دار بود. میانگین محتوای آهن در سه رقم گوهر، هاشمی و خزر به ترتیب ۵/۹۸ ، ۵/۶۰ و ۵/۳۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ثبت شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش میزان فسفر، محتوای آهن در برنج سفید کاهش یافت (جدول ۵). آجاکای و همکاران (Adjakaiye *et al*., 1979) در ارزیابی اثر سطوح فسفر بر رشد و محتوای آهن ارزن و سورگوم، گزارش کردند که فسفر باعث کاهش محتوای آهن دانه گردید. در آزمایش آنان که با استفاده از آهن نشاندار انجام شد، افزایش سطوح کود فسفر انتقال آهن از ریشه به شاخساره را به دلیل اثر متقابل آهن و فسفر، محدود نمود. هالدر ومندل (Haldar and Mandal, 1981) در ارزیابی اثر سطوح فسفر و روی بر رشد و محتوای عناصر فسفر، روی، مس، آهن و منگنز در برنج، اثر فسفر بر کاهش ۳۵ درصدی محتوای آهن در ریشه و شاخساره را گزارش نمودند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سطوح کود فسفر بر محتوای فسفر دانه برنج پیش‌پز معنی‌دار بود. پیش‌پز کردن، محتوای آهن دانه ارقام گوهر، هاشمی و خزر را به میزان ۱۴ الی ۱۸ درصد افزایش داد. میزان تغییرات محتوای آهن برنج پیش‌پز نسبت به برنج عادی در سطوح کود فسفر نیز نشان داد که پیش‌پز کردن باعث افزایش محتوای آهن دانه به میزان ۱۲ الی ۲۰درصد گردید. بیشترین افزایش محتوای آهن در تیمار شاهد و کمترین میزان افزایش در تیمار کودی ۱۲۰ کیلوگرم فسفر مشاهده شد (جدول ۳). دوستهال و همکاران (Doesthale *et al*., 1979) در ارزیابی اثر سفیدکردن دانه بر محتوای عناصرتغذیه‌ای در برنج پیش‌پز و عادی، افزایش محتوای آهن برنج پیش‌پز را گزارش نمودند. آنها دلیل افزایش عناصر تغذیه‌ای در برنج پیش‌پز را مهاجرت و نفوذ عمیق عناصر به درون دانه در عملیات پیش‌پز کردن عنوان نمودند. داگلاس و همکاران (Douglas *et al*., 2013) نیز در ارزیابی ترکیبات معدنی برنج، افزایش محتوای آهن برنج پیش‌پز را به دلیل نفوذ این عنصر از لایه‌های خارجی به درون آندوسپرم دانه گزارش نمودند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سطوح کود فسفر بر محتوای روی برنج سفید معنی‌دار بود. میانگین محتوای روی در سه رقم گوهر، هاشمی و خزر به‌ترتیب ۱/۶۳ ، ۲/۰۶ و ۲/۱۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک ثبت گردید (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح کود فسفر بر محتوای روی دانه نشان داد که فسفر نقش ممانعت کننده بر تجمع روی در دانه داشته و با افزایش سطح کودی، محتوای روی دانه کاهش یافت (جدول ۴). حسین و همکاران (Hussain *et al*., 2011) در بررسی اثر کودهای فسفر و روی بر محتوای دانه گندم، اثر ممانعت کننده فسفر بر افزایش محتوای روی دانه را گزارش نمودند. مینهاس (Minhas, 1994) نیز در بررسی پاسخ برنج به سیستم کشت و محلول‌پاشی روی، اثر آنتاگونیستی فسفر و روی را گزارش نموده و بیان کرد که با افزایش بیشتر یکی از این دو عنصر، جذب عنصر دیگر محدود خواهد شد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سطوح کود فسفر بر محتوای روی در دانه برنج پیش پز معنی‌دار بود. پیش پز کردن محتوی روی ارقام را به میزان ۱۰ الی ۲۰ درصد افزایش داد. درصد تغییرات اثر سطوح کود فسفر بر محتوای روی برنج پیش‌پز نسبت به برنج بدون پیش‌پز نیز نشان داد که پیش‌پز کردن باعث افزایش ۳ تا ۲۶ درصدی محتوای روی دانه گردید. بیشترین و کمترین افزایش محتوای روی به‌ترتیب در تیمار صفر و ۱۲۰ کیلوگرم فسفر ثبت گردید (جدول ۳). اتوکورالا (Atukorala, 1987) در ارزیابی محتوای روی و مس بعضی از مواد غذایی متداول، تاثیر پیش‌پز کردن را در افزایش محتوای روی دانه برنج مثبت گزارش نمود. در آزمایش نامبرده محتوای روی

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و محتوای آهن و روی دانه سه رقم برنج در تیمارهای کود فسفر و پیش‌پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک

Table 4. Mean comparison of grain yield, Fe and Zn content of three rice cultivars in phosphorous fertilizer and parboiling treatments

ارقام برنج Rice cultivars	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	محتوی آهن برنج سفید (پیش‌پز نشده) Fe content of non parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	محتوی آهن برنج سفید (پیش‌پز) Fe content of parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	محتوی روی برنج سفید (پیش‌پز نشده) Zn content of non parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	محتوی روی برنج سفید (پیش‌پز) Zn content of parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی برنج سفید (پیش‌پز نشده) Phytic acid:Zn mole fraction in non parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی برنج سفید (پیش‌پز) Phytic acid:Zn mole fraction in parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)
Gohar گوهر	4187.1a	5.98 a	6.87 a	1.63 b	1.88 b	26.59 a	12.87 b
Hashemi هاشمی	3926.8b	5.60 b	6.53 b	2.06 a	2.48 a	28.25 a	16.29 a
Khazar خزر	3934.7b	5.35 b	6.32 b	2.17 a	2.39 a	27.37 a	16.40 a

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه و محتوای آهن و روی دانه سه رقم برنج در تیمارهای کود فسفر و پیش‌پز کردن (پاربویلینگ) شلتوک

Table 5. Mean comparison of grain yield, Fe and Zn content of three rice cultivars in phosphorous fertilizer and parboiling treatments

کود فسفر P fertilizer levels ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	محتوی آهن برنج سفید (پیش‌پز نشده) Fe content of non parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	محتوی آهن برنج سفید (پیش‌پز) Fe content of parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	محتوی روی برنج سفید (پیش‌پز نشده) Zn content of non parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	محتوی روی برنج سفید (پیش‌پز) Zinc content of parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی برنج سفید (پیش‌پز نشده) Phytic acid:Zn mole fraction in non parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی برنج سفید (پیش‌پز) Phytic acid:Zn mole fraction in parboiled white rice ($mg.100g^{-1}$)
0	3558.7c	5.94 a	7.15 a	2.34 a	2.97 a	17.40 c	7.66 c
40	3859.4b	5.71 ab	6.75 b	1.96 b	2.26 b	22.43 bc	11.43 b
80	4256.3a	5.50 b	6.27 c	1.90bc	2.09 b	25.79 b	14.03b
120	4390.3a	5.43 c	6.12 c	1.63 c	1.68 c	44.00 a	27.64 a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level, using LSD test

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

دانه برنج پیش پز ۱/۴۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم و محتوای روی برنج پیش‌پز نشده ۰/۹۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ثبت شد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح کود فسفر بر نسبت مولی اسیدفیتیک به روی معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح کود فسفر، نسبت مولی اسیدفیتیک به روی در برنج سفید افزایش یافت. این موضوع به دلیل افزایش تجمع فسفر و افزایش محتوای اسیدفیتیک دانه و اثر فسفر بر کاهش محتوای روی دانه قابل توجیه است. یانگ و همکاران (Yang *et al*., 2011) در بررسی اثر سطوح فسفر و روی بر محتوای فسفر، روی و اسیدفیتیک دانه برنج، اثر سطوح فسفر بر افزایش نسبت مولی اسیدفیتیک به روی را گزارش کردند. بر اساس نتایج آنها، افزایش سطوح کود فسفر مانع جذب روی شده و محتوای روی در ریشه و دانه را کاهش می‌دهد. افزایش فسفر باعث افزایش محتوای اسیدفیتیک دانه شده و در نتیجه نسبت مولی اسیدفیتیک به روی نیز افزایش می‌یابد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سطوح کود فسفر بر نسبت مولی اسیدفیتیک به روی دانه برنج پیش‌پز معنی‌دار بود. میانگین نسبت مولی اسیدفیتیک به روی در ارقام گوهر، هاشمی و خزر به‌ترتیب ۱۲/۸۷ ، ۱۶/۲۹ و ۱۶/۴۰ ثبت شد (جدول ۵). میزان تغییرات اثر رقم بر نسبت مولی اسیدفیتیک به روی نشان داد که پیش‌پز کردن باعث کاهش ۴۰ تا ۵۱ درصدی این نسبت گردید. میزان تغییرات اثرسطوح کود فسفر بر نسبت مولی اسیدفیتیک به روی نیز نشان داد که پیش‌پز کردن این نسبت را به‌میزان ۳۷ تا ۵۵ درصد کاهش داده و در نتیجه قابلیت دسترسی به روی افزایش می‌یابد (جدول ۳). اتوکورالا (Atukorala, 1987) در ارزیابی محتوای روی و مس بعضی از مواد غذایی متداول، تاثیر پیش‌پز کردن بر کاهش نسبت مولی اسیدفیتیک به روی را گزارش نمود. در آزمایش نامبرده نسبت مولی اسیدفیتیک به روی از ۱۵/۶۰ در برنج پیش‌پز نشده به ۹/۳۲ در برنج پیش‌پز کاهش یافت.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سطوح کود فسفر بر عملکرد دانه ارقام برنج به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح کود فسفر بر عملکرد دانه نشان داد که کمبود فسفر سبب کاهش عملکرد می‌گردد. بیشترین عملکرد دانه در سطوح ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم فسفرخالص در هکتار و کمترین عملکرد در سطوح صفر و ۴۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار مشاهده شد (جدول ۴). میانگین عملکرد دانه برای سه رقم برنج گوهر، هاشمی و خزر به‌ترتیب ۴۱۸۷، ۳۹۲۶ و۳۹۳۴ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (جدول ۵). افزایش ۸۴ درصدی تعداد دانه پوک و همچنین کاهش ۳۶ الی ۶۱ درصدی تعداد دانه پر، باعث کاهش ۲۱ درصدی عملکرد دانه در شرایط کمبود فسفر گردید. اعلم و همکاران (Alam *et al*., 2009) در بررسی اثر سطوح کود فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه سه رقم برنج، افزایش ۴۵ درصدی عملکرد دانه در سطح ۷۲ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار را نسبت به حالت شاهد (صفر کیلوگرم فسفر در هکتار) به‌دلیل افزایش تعداد دانه پر گزارش نمودند. بر اساس گزارش گبرکیدان و سیوم (Gebrekidan and Seyoum, 2006) افزایش سطوح فسفر بطور مستقیم (از طریق افزایش دو مولفه تعداد خوشه در مترمربع و تعداد سنبلچه در خوشه) و بطور غیر مستقیم با تاثیر بر مولفه‌های وزن هزار دانه، طول خوشه و ارتفاع بوته، عملکرد دانه برنج را افزایش می‌دهد.

نتیجه گیری کلی

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که با افزایش سطوح کود فسفر محتوای اسیدفیتیک دانه ارقام برنج که فرم ذخیره‌ای فسفر بوده نیز افزایش یافت. همزمان با افزایش محتوای فسفر گیاه به دلیل تاثیر آنتاگونیستی

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

فسفر بر آهن و روی، محتوای آهن و روی دانه کاهش یافتند. کاهش محتوای آهن و روی دانه از یک سو و افزایش اسیدفیتیک از سوی دیگر، فراهمی آهن و روی دانه را کاهش داده و باعث کاهش ارزش تغذیه ای برنج می‌گردد. در مقابل تیمار پیش‌پز کردن با تاثیر بر خواص فیزیکوشیمیایی دانه برنج سبب بهبود کیفیت و ارزش غذایی دانه برنج می‌شود. در فرآیند پیش‌پز کردن محتوای اسیدفیتیک دانه به دلیل فعال شدن آنزیم فیتاز درون بذر و هیدرولیز دمایی ساختار حلقوی اسیدفیتیک در طی فرآیندهای هیدروترمال بطور چشمگیری کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که عناصر غذایی که اکثرا در لایه خارجی دانه یعنی سلول‌های لایه آلورون تجمع دارند، در مرحله ژلاتینه شدن بصورت محلول درآمده و در مرحله بخاردهی با فشار بخار به بخش های داخلی دانه و بافت آندوسپرم نفوذ نموده و باعث بهبود ارزش غذایی دانه برنج پیش‌پز می‌شوند. بنابراین به‌نظر می‌رسد که فرآیند پیش‌پز کردن باعث افزایش محتوای عناصر غذایی، هم از طریق مهاجرت آنها از سلول‌های آلورون به آندوسپرم و هم افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی از طریق کاهش محتوای اسیدفیتیک می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Adjakaiye, C. 1979. Effect of phosphorus on growth and iron nutrition of millet and sorghum. Plant Soil. 51: 551- 561.

Alam, M., M. Ali, A. Ruhulamin and M. Hasanuzzaman. 2009. Yield attributes, yeild and harvest index of three irrigated rice varieties under different levels of rice phosphorus. Adv. Biol. Res. 3(3-4): 132–139.

Albarracín, M., R. J. González, S. R. Drago. 2013. Effect of soaking process on nutrient bio-accessibility and phytic acid content of brown rice cultivar. Food Sci.Technol. 53 (1): 76-80.

FAO, 2012. http//www.fao.org/statistics.

Atukorala, T. M. S. 1987. Zinc and copper content of some common foods. J. Nat. Sci. Council of Sri. 15 (1): 61-69.

Chalova, V., I. Manolov, M. Nikolova and L. Koleva. 2012. Effect of fertilization on phytase and acid phosphatase activities in wheat and barley cultivated in Bulgaria. Agric. Food Analytic. Bacteriol. 2: 103-110.

Chinnaswamy, R., K. R. Bhattacharya. 1983. Studies on expanded rice. Physicochemical basis of varietal differences. J. Food Sci. 48: 1600–1603.

Coulibaly, A., B. Kouakou and J. Chen. 2011. Phytic acid in cereal grains. Am. J. Plant Nutr. Fertil. Technol. 1(1): 1-22.

Emgelen, A. J., F. C. V. Heeft, P. H. G. Randsdrop and V. A. C. Somers. 2001. Determination of phytase activity in feed by colorimetric enzymatic method: Collaborative interlaboratory study. J. AOAC International. 84: 629-633.

Doesthale, Y. G., S. Devara, S. Rao and B. Belavady. 1979. Effect of milling on mineral and trace element composition of raw and parboiled rice. J. Sci. Food Agric. 30: 40-46.

Douglas, G. D., L. S. Scarminio, D. S. Anunciacao, A. S. Souza, E. G. P. da Silva and S. L. C. Ferreira.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

2013. Determination of the mineral composition of Brazilian rice and evaluation using chemometric techniques. Anal. Methods. 5: 998-1003.

Gebrekidan, H. and M. Seyoum. 2006. Effects of mineral N and P fertilizers on yield and yield components of flooded lowland rice on Vertisols of Fogera plain, Ethiopia. J. Agric. Rural Dev. Tropics Subtropics. 107(2): 161–176.

Greiner, R. and U. Konietzny. 2006. Phytase for food application. Food Technol. Biotechnol. 44 (2): 125–140.

Hafeez Khan, S., M. Sadiq Butt, F. M. Anjum and A. Jamil. 2009. Antinutritional appraisal and protein extraction from differently stabilized rice bran. Pak. J. Nutr. 8 (8): 1281-1286.

Haldar, M. and L. N. Mandal. 1981. Effect of phosphorus and zinc on the growth and phosphorus, zinc, copper, iron and manganese nutrition of rice. Plant Soil. 59: 415-425.

Hapuarachchi, S., J. Gooneratne and S. C. Kumarapperuma. 2003. Effect of parboiling on the reduction of phytate in different varieties of rice. Sri Lanka Association for the Advancement of Science. Proceedings of the 59th Annual Session-Part I-604E2. (Abs.)

Haug, W. and H. J. Lantzsch. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. J. Sci. Food Agric. 34: 1423-1426.

Heinemann, R. J. B., P. L. Fagundes, E. A. Pinto, M. V. C. Penteado and U. M. Lanfer-Marquez. 2005. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. J. Food Composition Analysis. 18: 287–296.

Hussain, N., M. Bismillah khan, R. ahmad, M. arifali, N. ahmed and S. Saeed. 2011. Physiochemical traits, productivity and net return of wheat as affected by phosphorus and zinc requirements under arid climates. Pak. J. Bot. 43(2): 991-1002.

Islam, M. A., M. R. Islam and A. B. S. Sarker. 2008. Effect of phosphorus on nutrient uptake of Japonica and Indica rice. J. Agric. Rural Dev. 6(1&2): 7-12.

Lang, N., T. A. Nguyet, N. phang and B.Ch. Buu. 2007. Breeding for low phytic acid mutants in rice (*Oryza sativa* L.). Omonrice. 15: 29-35.

Liang, J., Z. Li, K. Tsuji, K. Nakano, M. J. Nout and R. Hamer. 2008. Milling characteristics and distribution of phytic acid and zinc in long- medium- and short-grain rice. J. Cereal Sci. 48: 83–91.

Ma, X. and A. Shan. 2002. Effect of germination and heating on phytase activity in cereal seeds. Asian- Austr. J. Animal Sci. 15: 1036-9.

Minhas, T. R. 1994. Response of rice based cropping system to soil and foliar application of zinc under integrated fertilization. M.Sc (Hons). Department of Soil Science. University of Agriculture. Faisalabad. Pakistan.

Mirnia, Mk. and M. Mohammadian. 2005. Rice, Nutrient Disorders and Nutrient Management. Mazandaran University Press, pp. 436. (In Persian).

Odenigbo, A. M., S. A. Ndindeng, C. A. Nwankpa, N. Woin and M. Ngadi. 2013. In vitro starch digestibility

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

and nutritional composition of improved rice varieties from Cameroun. Europ. J. Nutr. Food Safety. 3(4): 134-145.

Puwastien, P., T. E. Siong, J. Kantasubrata, G. Craven, R. R. Feliciano and K. Judprasong. 2011. ASEAN Manual of Food Analysis. Regional Center of ASEAN Network of Food Data System, Institute of Nutrition, Mahodol University, Thailand.

Roboy, V. and D. B. Dickinson. 1984. Effect of the phosphorus and zinc nutrition on soybean seed phytic acid and zinc. Plant Physiol. 75(4): 1094-1098.

Sandberg, A. S. and U. Svanberg. 1991. Phytate hydrolysis by phytase in cereals; effects on in vitro estimation of iron availability. J. Food Sci. 56(5): 1330-1333.

Sepehr, A., M. Malakouti, B. Kholdebarin, N. Karimian, A. Samadi, H. Rasouli, F. Nourgholipour, H. Rezaei and Z. Khademi. 2009. Evaluation P uptake of different varieties of cereals. Iran. J. Soil Water Sci. 23(2): 125-133. (In Persian with English abstract).

Srivastava, R. N., T. D. Biswas and M. B. Das. 1995. Influence of fertilizers and manures on the content of phytin and other forms of phosphorus in wheat and their relation to soil phosphorus. J. Indian Soc. Soil Sci. 3: 33-36.

Tanaka, K., T. Yoshida and Z. Kasai. 1973. Radioautographic demonstration of the accumulation site of phytic acid in rice and wheat grains. Plant Cell Physiol. 15 (1): 147-151.

Yang, Z., X. Ke, W. Hai-yan, L. De-jian, L. Bing-wei, S. An-qin, Z. You-yan, L. Xue-chao and Z. Zhen. 2011. Effects of phosphorus levels on grain yield and quality of super rice Nanjing 44. Chinese J. Rice Sci. 25(4): 447-451.

Zai-Hua, G., D. Ping, H. Yuan and X. Cai-Guo. 2006. Genetic analysis of agricultural trails in rice related to phosphorus efficiency. Acta Genetica Sinica. 33(7): 634–641.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]

Effect of phosphorus fertilizer levels and parboiling of paddy on phytic acid and mineral content of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars

Vahabzadeh, M.[1], M. Esfahani[2], A. Aalami[3], A. Shhadi-Koumleh[4], S.A. Fallah-Shamsi[5] and S. Hemmati[6]

Abstract

Vahabzadeh, M., M. Esfahani, A. Aalami, A. Shhadi-Koumlh, S.A. Fallah-Shamsi and S. Hemmati. 2016. Effect of phosphorus fertilizer levels and parboiling of paddy on phytic acid and mineral content of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars**. Iranian Journal of Crop Sciences. 17(4):258 -272. (In Persian).**

To study the effect of phosphorus levels (0, 40, 80 and 120 kg.ha^{-1}) and parboiling of paddy on phytic acid and mineral content of three rice varieties, a field experiment was carried out as factorial arrangements in randomized complete block design with three replications at Rice Research Institute, Rasht, Iran, in 2012. Results showed that soil phosphorus deficiency decreased grain yield. The highest grain yield was observed at phosphorus levels of 80 and 120 kg.ha^{-1} and the least yield was obtained in phosphorus levels of 0 and 40 kg.ha^{-1}. Results also showed that by increasing the soils phosphorus levels, phytic acid content increased but decreased Fe and Zn contents and availability. The highest phytic acid content was observed in Khazar cultivar and phosphorus level 120 kg.ha^{-1} (16.82 mg.g^{-1}). A reduction in the phytic acid content was observed after parboiling, showing over 80% reduction in 3 rice cultivars. Least phytic acid content was observed in Gohar cultivar and 0 kg.ha^{-1} phosphorous (1.67 mg.g^{-1}). Parboiling also increased mineral contents such as phosphorus, Fe and Zn in parboiled milled rice. During parboiling process phytase enzyme activity increased and the highest phytase activity was observed in 80 kg.ha^{-1} phosphorus in all rice cultivars. Results revealed that increased phosphorus content enhanced phytic acid content and decreases phytase activity and mineral nutrition content. However, parboiling reduced phytic acid content. Reduction of phytic acid during parboiling can be attributed to the enzymatic hydrolysis taking place during soaking and steaming and the breakdown of the ring structure of phytic acid during heat treatment of parboiling.

Keywords: Phytase enzyme activity, Fe content, Phosphorus content, Mole fraction of PA:Zn, Rice and Zn content.

Received: June, 2015 **Accepted: Feberuary, 2016**

1- Former MSc Student, University of Guilan, Rashat, Iran
2- Professor, Unversity of Guilan, Rashat, Iran (Corresponding author) (Email: mesfahan@yahoo.com)
3- Assistant Prof., University of Guilan, Rasht, Iran
4- Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran
5- PhD Student, Sari Agriculture and Natural Resources University, Sari, Iran
6- Former student, University of Guilan, Rasht, Iran

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.4.1.9]