



Response of grain yield, and grain Zn and P content of wheat to seed-priming with Zn under different P fertilizer rate application

Elham Rashnavadi¹, Mohammad Javad Zarea^{2*} , Alireza Toolabi³

1. M.Sc. Graduated of Agrotechnology, Department of Agronomy and Crop Breeding, Ilam University, Ilam, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
3. Organization of agriculture-Jahad-Ilam, Iran

Citation: Rashnavadi, E., Zarea, M.J., & Toolabi, A.R., (2023) Response of grain yield, and grain Zn and P content of wheat to seed-priming with Zn under different P fertilizer rate application *Plant Productions*, 46(3), 397-410.

Abstract

Introduction

Priming seed with nutrients may improve crop growth and yield. Nutrient seed priming is an easy, efficient, potential technique adopted widely by farmers and researchers to improve seedling growth, standing establishment and grain yield as well as quality of crop plants. The present study aimed to investigate the efficacy of Zn-seed priming and P application on Zn and P content in grains of a winter wheat under rain-fed condition.

Materials and Methods

The present study consisted of two main treatments: seed priming (Hydro priming and seed priming with Zn) and P fertilizer level (0, 20, 40 and 60 kg P ha⁻¹). The experiment was a 2×4 factorial combination of priming and P fertilizer. Experiment carried out in a randomized complete block design with three replications. Yield and yield components and nutrient (Zn and P) concentration in seeds were evaluated in response to Zn-priming and P fertilizer. Field experiment conducted under dryland farming during wheat growing season (2021-2022) in Ilam province. Seeds were primed with water (hydro-priming) or 0.3% (W/V) ZnSO₄·7H₂O solution (Zn-seed priming) for 10 h. P fertilizer was applied to the soil before seed sowing. Control treatment received no P application.

* Corresponding Author: Mohammad Javad Zarea
E-mail: mj.zarea@ilam.ac.ir



Results and Discussion

Seed priming with $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ solution for 10 hours resulted in a significant increase in total zinc content of primed seeds compared to non primed group. Priming seeds for 10 h significantly increased (16-fold) primed Zn content in seeds as compared to hydro-primed seeds. Seeds priming and P fertilizer had a significant effect on grain yield of the wheat cultivar (Rijaw) tested in the present study. The number of spike plant⁻¹ was not significantly affected by Zn-priming treatment. Priming seeds with Zn significantly enhanced thousand-grain weight. Seed number per spike was also significantly affected by Zn priming treatment. Plant grown from Zn-primed seeds exhibited higher number of seed per spike. Harvest index was significantly affected by Zn priming. Zn-primed plants showed higher harvest index than control plants. Yield components were also affected by dose of P fertilizer application. Grain weights, seed number per spike and harvest index were increased due to applied P fertilizer. P application of 60 kg per ha was the best in terms of enhanced seed weight, seed number per spike and harvest index. However, spike number was not significantly affected by P application rate. Result of the present study showed a significant interaction between Z priming and P application for seed number per spike, grain yield as well as Zn and P content in seeds. Application of 60 kg P ha⁻¹ resulted in increase in seed P content and grain yield. Application of P fertilizer, especially at the highest rate (60 kg ha⁻¹), significantly reduced Zn concentration in grains. The maximum grain yield was achieved by application of 60 kg P ha⁻¹ and Zn-seed priming. Plants grown from Zn-primed seeds had lower P content in grain. Results showed that applied Zn via seed priming increased Zn content in grain.

Conclusion

Results of the present study showed that the benefit effects of priming with Zn depend on the P application rate. P application at higher rate significantly reduced Zn content in grain and increase P concentration in seeds. Zn priming has a promoted effect on elevation Zn content in wheat cultivars. However, applied P, especially at the highest rate, decreased Zn concentration in seeds.

Keywords: Dryland farming, Hydro-priming, Nutrient priming, Zn uptake, P uptake



پاسخ عملکرد و محتوای روی و فسفر دانه گندم به پرایم بذر با روی تحت کاربرد سطوح مختلف کود فسفر

الهام رشنواد^۱، محمدجواد زارع^{۲*}، علیرضا طولابی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳- کارشناس سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام، ایلام، ایران

چکیده

پرایم بذر (پیش تیمار بذر) با عناصر غذایی می تواند در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی موثر باشد. پرایم بذر با عناصر غذایی از روش های ساده، موثر و کارآمد محسوب می گردد که مورد پذیرش محققین و کشاورزان در جهت افزایش رشد گیاه در مرحله گیاهچه ای، استقرار بهتر و عملکرد دانه و نیز کیفیت دانه قرار گرفته است. مطالعه حاضر به جهت بررسی تاثیر پرایم بذر با عنصر روی و تحت کاربرد مقادیر مختلف کود فسفر بر عملکرد و محتوای روی و فسفر دانه در یک رقم گندم زمستانه تحت شرایط دیمکاری در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ طراحی گردید. آزمایش از دو تیمار اصلی تشکیل شده بود: پرایم بذر (هیدروپرایم و پرایم با روی) و سطوح مختلف کود فسفر (چهار سطح، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار). آزمایش به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی (۲×۴) و بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا گردید. دو فاکتور آزمایش شامل پرایم بذر و کود فسفر بودند. عملکرد دانه، اجزاء عملکرد و محتوای عنصر روی و نیز فسفر دانه در پاسخ به پرایم با روی و کاربرد مقادیر مختلف کود فسفر مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش به صورت مزرعه ای و تحت شرایط دیمکاری در طول فصل رشد گندم انجام گرفت. رقم گندم مورد استفاده ریژاو بود. بذور با محلول ۰/۳ درصد (وزن/حجم) سولفات روی ۷ آبه و به روش غوطه وری پرایم گردیدند. تیمار کود فسفر قبل از کشت بذور انجام گرفت. تیمار صفر کودی (عدم کاربرد کود) به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. پرایم بذر با محلول سولفات روی میزان محتوای روی دانه را در مقایسه با پرایم با آب در حدود ۱۶ برابر افزایش داد. پرایم بذر با روی و نیز کود فسفر و اثر متقابل این دو عامل تاثیر معنی داری بر تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و محتوای عنصر روی و فسفر دانه داشت. کاربرد فسفر به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش بیشترین عملکرد دانه و نیز محتوای فسفر دانه گردید. فسفر استفاده شده و به خصوص در میزان بالای آن موجب کاهش معنی دار روی دانه گردید. بیشترین عملکرد دانه از پرایم بذر با روی و کاربرد ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار حاصل گردید. نتایج دیگر این آزمایش نشان داد که پرایم بذر با روی موجب افزایش محتوای روی دانه و کاهش فسفر دانه گردید. یافته های این آزمایش نشان دهنده تاثیر مثبت پیش تیمار بذر با روی بود هر چند این سودمندی تحت تاثیر میزان کود فسفر استفاده شده قرار گرفت.

کلید واژه ها: پرایم با عناصر غذایی، جذب روی، جذب فسفر، دیمکاری، هیدرو پرایمینگ

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهانی و جایگاه ویژه گندم (*Triticum aestivum*) در جیره غذایی مردم جهان بخصوص در جوامع روستایی و در کشورهای در حال توسعه موجب گردیده است که یک رویکرد جهانی در جهت ثبات عملکرد این محصول و نیز افزایش ارزش تغذیه‌ای آن شکل گیرد. گندم از مهمترین غلات و محصولات کشاورزی در سطح جهانی محسوب می‌گردد که جزو رژیم غذایی اصلی روزانه اکثر مردم کشور ایران نیز محسوب می‌گردد. از نظر سطح زیر کشت گندم رتبه دوم را در سطح جهانی به خود اختصاص داده است و جزو سبب غذایی بیش از ۴۰ درصد مردم جهان می‌باشد به طوری که تامین کننده ۲۰ درصد کالری و پروتئین بیش از ۴ میلیارد از جمعیت جهانی است (Shewry et al., 2009; EL Sabagh et al., 2021; Luo et al., 2022)

عنصر روی هر چند جزو عناصر کم مصرف گیاه محسوب می‌گردد اما نقش بسیار مهمی در سلامتی انسان بر عهده دارد. نقش این عنصر در رشد گیاهی و علی‌رغم نیاز کم گیاه به آن مورد تاکید بوده است (Broadley et al., 2007; Farooq et al., 2018). بنابراین در جوامعی که گندم جزو سبب غذایی اصلی آنها محسوب می‌گردد وجود مناسب این عنصر روی در دانه گندم حائز اهمیت است (Farooq et al., 2018; Zarea and Karimi, 2023).

سودمندی و اهمیت این عنصر در سلامت انسان از سال ۱۹۶۰ توجهات جهانی را به خود جلب نموده است (Wang et al., 2020). کمبود عنصر روی در گیاه هم منجر به عدم توازن عناصر غذایی می‌گردد و کاهش کیفیت و کمیت محصول تولیدی را به همراه خواهد داشت (Candan et al., 2018). میزان متوسط روی در دانه گندم را ۳۱/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش داده‌اند هرچند این میزان در بین کشورهای مختلف متغیر می‌باشد. برای اروپا این میزان را ۲۵/۱۰، برای افریقا ۲۹/۰۰، برای آسیا ۳۳/۹۱ و برای آمریکای شمالی ۳۳/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش

داده‌اند (Wang et al., 2020). محتوای روی دانه گندم باید به میزان ۴۵/۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یابد تا نیاز بدن انسان را تامین نماید (Wang et al., 2020).

در پژوهشی انجام گرفته بر بر ارقام گندم تحت شرایط دیم، گزارش گردید که پرایم بذر با محلول روی با غلظت ۰/۳ درصد موجب بهبود رشد گندم دیم تعیین گردید (Safari et al., 2021). علاوه بر نقش عنصر روی در عملکرد گندم، این عنصر می‌تواند در افزایش تحمل گیاه گندم به تنش نیز خشکی موثر باشد (Zarea et al., 2023). گزارش شده است که کاربرد کود روی در بهبود عملکرد گندم تحت شرایط دیم موثر بوده است (Valipour et al., 2023).

امروزه روش‌های مختلفی جهت افزایش میزان روی در گیاهان بخصوص غلات معرفی شده است. کاربرد روی در قالب کود و در مخلوط با خاک (مصرف خاکی)، پرایم بذر و نیز محلول پاشی با عنصر روی از روش‌های افزایش محتوای دانه در گیاهان زراعی معرفی و محسوب می‌گردد. پرایمینگ بذر یکی از روش‌های تغذیه‌ای گیاهی محسوب می‌گردد. این تکنیک به دلیل سادگی و کم هزینه بودن مورد توجه محققین و کشاورزان در جهت افزایش عملکرد و نیز افزایش محتوای عنصر روی محصول واقع شده است. گزارش شده است که پرایم با عنصر روی موجب افزایش عملکرد و نیز محتوای روی در دو رقم برنج شمشیری و عنبربو گردیده است (Sadeghizadeh and Zarea, 2022). البته پاسخ گیاه به پرایم با روی می‌تواند متأثر از غلظت عنصر روی در محلول پرایم واقع گردد. در تحقیقی که تاثیر پرایم بذر با روی و آهن بر گیاه گندم انجام گرفت مشاهده گردید که پرایم بذر با محلول ۰/۴ درصد روی منجر به بهبود در جوانه‌زنی و عملکرد گندم گردید اما غلظت بالاتر از ۴ گرم در لیتر عنصر روی تاثیر منفی داشت (Raice et al., 2017). تأثیر سودمندی پرایم گندم با روی توسط سایر محققین نیز گزارش گردیده است (Rehman et al., 2023).

مختلف کود فسفر (چهار سطح) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام گرفت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از انجام آزمایش با نمونه‌گیری از خاک انجام گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. تیمارهای آزمایش شامل پرایم بذر با سولفات روی و آب مقطر (شاهد- هیدروپرایمینگ)، و اعمال چهار سطح مختلف کود فسفر بود. در این مطالعه از گندم رقم ریژاو استفاده گردید که بذر آن از مرکز تحقیقات کشاورزی ایلام تهیه گردید. رقم ریژاو در سال ۱۳۹۱ توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم جهت کشت در مناطق دیم معتدل معرفی گردید. بذر گندم مورد استفاده دارای خلوص بذر ۹۸ درصد و قدرت نامیه ۹۷ درصد بود. میزان عنصر روی بذر مورد استفاده ۲۵/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان فسفر دانه نیز ۱/۳۴ گرم در کیلوگرم بود. جهت پرایم بذر از محلول ۰/۳ درصد سولفات روی هفت آبه ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) شرکت مرک (آلمان) استفاده گردید. مدت زمان پرایم ۱۰ ساعت بود. این مدت زمان و نیز غلظت روی مورد استفاده بر اساس آزمایشات مقدماتی انتخاب گردیده بود. مدت زمان پرایم و غلظت مورد استفاده بدون اینکه تاثیر محدودکنندگی (سمیت عنصر) بر بذر داشته باشد و یا اینکه منجر به ظهور ریشه چه گردد انتخاب گردیده بود. جهت پرایم بذور ابتدا بذرها با الکل ۷۰ درصد و به مدت ۳ دقیقه و سپس در محلول ۳ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی سطحی شدند و سپس چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند (Davoudpour *et al.*, 2020). بذور یا در محلول سولفات روی و یا در آب مقطر به مدت زمان ۱۰ ساعت غوطه‌ور گردیدند و سپس تحت شرایط هوا خشک و سایه اقدام به خشک نمودن بذور گردید. جهت اعمال تیمار کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل استفاده گردید. قبل از کشت نسبت به اعمال کود فسفر و به صورت دست پاش اقدام گردید. با استفاده از شن کش و تا حد ممکن اقدام به مخلوط

2018; Reis *et al.*, 2018; Rashid *et al.*, 2019; EL (Sabagh *et al.*, 2021).

فسفر جزو عناصر پرمصرف گیاه محسوب می‌گردد که هم رشد و نیز عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ارتباط بین عنصر روی و فسفر از نظر اثرگذاری بر جذب یکدیگر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. عنوان شده است که کمبود فسفر منجر به تجمع میزان بسیار زیاد عنصر روی در ساقه و برعکس تحت شرایط کمبود عنصر روی تجمع بیش از اندازه فسفر در بخش هوایی گیاه مشاهده گردیده است (Xie *et al.*, 2019). در تحقیقی که تاثیر متقابل دو عنصر روی و فسفر در گیاه گندم را مورد بررسی قرار گرفت گزارش گردیده است که کاربرد میزان زیاد فسفر منجر به کاهش غلظت روی در گندم گردیده است (Ova *et al.*, 2015). البته در آزمایشات اخیر انجام گرفته نشان داده است که انتقال روی از ریشه به بخش هوایی گیاه و یا از برگ به دانه تحت کاربرد کود فسفر حتی تحت مقادیر بالای آن قرار نگرفته است (Ova *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2020) گرفته عنوان گردیده است که پرایم بذر با عنصر روی از روش‌های موثر در جهت افزایش روی دانه است (Reis *et al.*, 2018; Rashid *et al.*, 2019; Veena *et al.*, 2022). بنابراین و با توجه به جایگاه و اهمیت گندم در تغذیه کشور ایران و نیز در جهت افزایش محتوای عنصر روی در دانه تولیدی گندم، مطالعه حاضر طراحی گردیده است. در مطالعه حاضر پاسخ عملکرد و نیز تغییر محتوای روی و فسفر دانه در گندم نان رقم ریژاو تحت پرایم بذر با عنصر روی و تحت کاربرد میزان‌های مختلف کود فسفر انجام گرفت. فرض این آزمایش این بود که پرایم بذر با روی می‌تواند در افزایش میزان روی دانه تولیدی موثر و تحت تاثیر کاربرد کود فسفر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر پرایمینگ بذر با عنصر روی تحت اعمال کود فسفر آزمایش مزرعه‌ای تحت شرایط دیم بر رقم گندم (ریژاو) مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی پاسخ عملکرد و میزان جذب روی و فسفر به دانه تحت میزان‌های

اندازه گیری محتوای روی مقدار یکسانی از بذرها در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد خاکستر شدند، سپس مقادیر هضم با استفاده از اسید نیتریک رقیق انجام و پس از صاف کردن حجم آن به ۵۰ میلی لیتر رسانده و در مرحله بعد بوسیله دستگاه جذب اتمی در طول موج ۵۴۶ نانومتر جذب قرائت گردید. اندازه گیری فسفر بعد از هضم خشک (قرار دادن یک گرم از نمونه های دانه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و آسیاب کردن و قرار دادن نمونه های آسیاب شده به مدت ۶ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد) و عصاره گیری توسط اسید؛ رنگ زرد تشکیل شده در اثر اضافه نمودن معرف مولیبدات وانادات با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۵۰ نانومتر قرائت گردید.

جهت تعیین محتوای عنصر روی قبل و بعد از اعمال پرایم از آزمون t-test استفاده شد. تجزیه و تحلیل های آماری دو آزمایش انجام شده با استفاده از نرم افزار SAS9.1 و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد احتمال آماری انجام گرفت.

کردن یکنواخت کود فسفر با خاک گردید. کود فسفر در چهار سطح شامل ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از کود نیتروژن در سه مرحله (قبل از کاشت، در مرحله پنجه زنی و در مرحله گلدهی) در همه پلات ها و به یک میزان مورد استفاده قرار گرفت. روند پراکنش و میزان بارش در طی آزمایش به همراه رطوبت نسبی در جدول ۲ نشان داده شده است.

ابعاد هر کرت آزمایشی ۳/۶ متر مربع بود (۱/۲ در ۳ متر) بود. فاصله بین هر کرت ۰/۵ متر و فاصله هر بلوک از یکدیگر ۱ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف کشت ۱۵ و روی ردیف ۵ سانتی متر بود. کشت به صورت ردیفی و دستی انجام گرفت. تراکم کشت ۱۳۳ بوته در متر مربع بود. تاریخ کاشت بذور هفته چهارم آبان ماه ۱۴۰۰ بود. کنترل علف هرز به صورت وجین دستی و در طول مراحل انجام آزمایش انجام گرفت. در پایان آزمایش اجزاء عملکرد و عملکرد دانه و نیز محتوای عناصر فسفر و روی دانه اندازه گیری گردید. اندازه گیری محتوای روی و فسفر در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه رازی انجام گرفت. جهت

Table 1. Chemical and physical properties of the experimental filed soil

Soil texture	Zn	K	P	Silt	Sand	Clay	Organic matter	N	Soil conductivity	pH
	mg kg ⁻¹					(%)			dS/m	
Clay loam	0.8	420	16.5	46	25	29	1.5	0.15	0.75	7.98

Table 2. Distribution of average monthly rainfall and minimum and maximum air relative humidity during the wheat crop growing seasons

Month	Rainfall (mm)	Average minimum relative humidity	Average maximum relative humidity
Dec	41.1	26	74
Jan	46.6	40	87
Feb	34	27	84
Mar	25.6	27	72
Apr	4.4	15	50
May	51.7	20	59
Jun	-	13	30

نتایج و بحث

محتوای روی دانه

میزان روی جذب شده از محلول سولفات روی در بذور پرایم و شاهد (پرایم با آب) در پایان مدت ۱۰ ساعت پرایم مورد سنجش قرار گرفت. نتایج محتوای روی دانه در بذور کنترل و پیش تیمار شده با روی در شکل ۱ نشان داده شده است. پرایم بذور با محلول سولفات روی میزان روی دانه را به صورت معنی دار و به بیش از ۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم افزایش داد درحالی که بذور شاهد از محتوای روی دانه به میزان متوسط ۲۷ میلی گرم در کیلوگرم برخوردار بودند (شکل ۱).

افزایش محتوای روی دانه در گیاهان مختلف زراعی در نتیجه قرار دادن بذور در محلول حاوی عنصر روی در سایر تحقیقات انجام گرفته اثبات گردیده است. به عنوان مثال در ذرت گزارش گردیده است که پرایم بذور با عنصر روی به مدت ۸ ساعت در محلول سولفات روی منجر به افزایش محتوای روی دانه بین ۰/۰۹ گرم تا ۰/۱۱ گرم در کیلوگرم بسته به غلظت محلول پرایم در دانه افزایش پیدا کرده است (Choukri *et al.*, 2022). در برنج نیز غوطه ورنمودن بذور در محلول سولفات روی موجب افزایش روی دانه تا بیش از ۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم گردید (Sadeghizadeh and Zarea., 2022; Harris *et al.*, 2008) نیز گزارش دادند

که محتوای روی بذور گندم در اثر غوطه ور نمودن آنها در محلول سولفات روی به مدت ۸ ساعت با غلظت های مختلف ۰، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۴ درصد به ترتیب ۲۷، ۳۳۰، ۴۷۰ و ۳۰۶ میلی گرم در کیلوگرم بود. پرایم بذور با عنصر روی در میزان های بالا موجب تشکیل گیاهچه های غیر نرمال می گردد که حد آستانه سمیت عنصر روی بستگی به نوع بذور (نوع گیاه) دارد. میزان غلظت بیش از اندازه روی در محلول پرایم منجر به تجمع میزان زیاد روی در بذور شده و ایجاد سمیت می نماید. در اکثر مطالعات انجام شده غلظت مناسب روی در داخل محلول تا ۰/۵ درصد گزارش شده است (Farooq *et al.*, 2012) افزایش عملکرد گندم در اثر پیش تیمار بذور با عنصر روی در چندین پژوهش انجام گرفته مورد تایید قرار گرفته است (Rehman *et al.*, 2018; Reis *et al.*, 2018; Rashid *et al.*, 2019; EL Sabagh *et al.*, 2021; Karimi *et al.*, 2021).

عملکرد و اجزاء عملکرد

نتایج تجزیه واریانس تاثیر پرایم بذور با روی تحت سطوح مختلف کاربرد کود فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گندم زمستانه رقم ریژا و تحت شرایط کشت دیم و نیز نتایج آزمون مقایسه میانگین تیمارها تحت تاثیر پیش تیمار بذور و سطوح مختلف کود فسفر به ترتیب در جدول ۳ و ۴ نشان داده شده است.

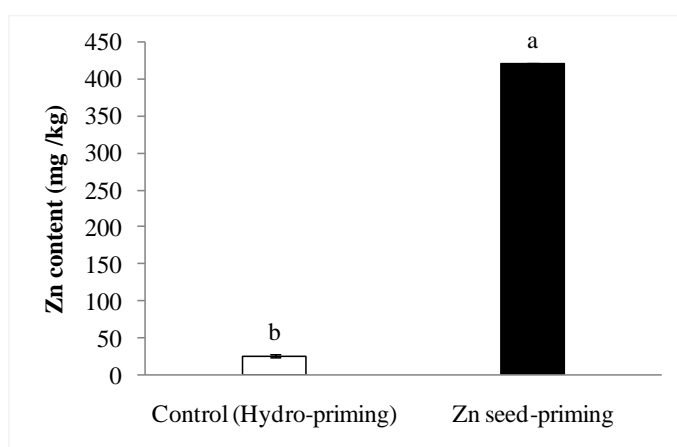


Figure 1. Effect of seed priming with Zn on the concentration of Zn in primed and control (hydro-primed) wheat seeds

Table 3. Summary of analysis of variance of the effect of seed priming with Zn (0.3%) on yield component, grain yield, harvest index (HI), and Zn and P concentration in grain of winter wheat under different dose of applied P

Sources of variation	df	Mean Squares						
		Spike no	Seed no spike ⁻¹	1000-grain weight	Grain yield	HI	Zn content	P content
P application rate (P)	3	0.55 ^{ns}	19.96*	1.22 ^{ns}	0.34*	70.39*	126.1 ^{ns}	276044**
Zn-seed priming (Priming)	1	0.6 ^{ns}	15.36*	34.80*	1.26*	112.75*	66.6 ^{ns}	52080 ^{ns}
P × Priming	3	0.55 ^{ns}	21.59*	3.95 ^{ns}	0.49*	1.91 ^{ns}	250.8*	73867*
Error	14	0.26	2.97	5.93	0.10	14.49	62.01	21223
C.V. (%)		14.78	9.55	6.20	13.36	6.25	16.17	10.36

ns=Non significant; *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$

در هکتار تأثیری منفی بر تعداد دانه در سنبله داشت. به عبارتی در گیاهان پرایم شده بیشترین تعداد دانه در سنبله در سطوح کمتر کاربرد فسفر حاصل گردید. بیشترین تعداد دانه در سنبله تحت کاربرد سطح سوم کودی فسفر (۴۰ کیلوگرم) و از تیمار بذری با روی حاصل گردید و افزایش میزان مصرف کود فسفر به ۶۰ کیلوگرم در هکتار موجب کاهش تعداد دانه در سنبله گردید (جدول ۴). تأثیر مثبت کود فسفر بر افزایش تشکیل تعداد دانه در سنبله با نتایج قبلی منتشر شده توسط سایر محققین مشابه می‌باشد (Lázaro *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2019). Zhang *et al.*, 2019) تعداد دانه در سنبله از صفاتی محسوب می‌گردد که می‌تواند تحت تأثیر محتوای فسفر خاک قرار گیرد. گزارش شده است که میزان کاهش دانه در اثر کمبود فسفر در گندم بین ۱۹ تا ۵۶ درصد بوده است (Lázaro *et al.*, 2010). در سطوح بالای فسفر و در تیمار پرایم مقداری کاهش در تعداد دانه حاصل گردید که می‌تواند ناشی از روابط متقابل منفی بین دو عنصر روی و فسفر باشد. میزان فسفر بالا شاید از طریق تشکیل فسفات روی در گیاه منجر به تأثیر کاهشی در شکل‌گیری تعداد دانه در سنبله شده باشد. گزارش گردیده است که یک همبستگی منفی بسیار بالایی بین فسفر و روی در ریشه وجود دارد (Zhang *et al.*, 2019). در سیب‌زمینی گزارش گردیده است که کمبود روی منجر به جذب بیشتر فسفر به گیاه گردیده است که نشان‌دهنده روابط منفی بین دو عنصر است.

تأثیر عامل اصلی کود فسفر و پرایم و نیز اثر متقابل آنها اثر معنی‌دار بر تعداد سنبله در بوته نداشت. تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر هر دو عامل (پرایم و کود فسفر) و اثر متقابل آنها معنی‌دار بود. تعداد سنبله بوته تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند محتوای آب خاک و محتوای نیتروژن خاک است (Hussain *et al.*, 2006; Khan *et al.*, 2020). آزمایش حاضر تحت شرایط دیم و کاربرد بهینه کود نیتروژن انجام گرفت و پرایم بذری و کاربرد فسفر منجر به تغییر معنی‌داری در تعداد سنبله در بوته نگردید. هرچند در سایر تحقیقات انجام شده پاسخ مثبت افزایش تعداد سنبله به کاربرد کود فسفر در گندم گزارش شده است (Chen *et al.*, 2019; Mumtaz *et al.*, 2020) که علت آن را نتیجه افزایش ظهور پنجه‌های ثانویه و همچنین بقاء بیشتر پنجه‌های تولید شده عنوان نموده‌اند (Chen *et al.*, 2019; Fiorez *et al.*, 2012). نتایج تجزیه واریانس تیمارها بر تعداد دانه در سنبله در جدول ۳ نشان داده شده است. تحت عدم پرایم بذری با روی، میزان تعداد دانه در سنبله با افزایش سطح کودی فسفر افزایش یافت به طوری‌که بیشترین تعداد دانه در سنبله از سطح کودی ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار حاصل گردید (جدول ۴). چنین روند افزایش در تعداد دانه در سنبله در نتیجه پرایم بذری با روی نیز مشاهده شد به طوری‌که گیاهان پرایم شده از تعداد دانه بیشتری در سنبله برخوردار بودند. هر چند در گیاهان پرایم شده با روی افزایش سطح کودی فسفر به ۶۰ کیلوگرم

می‌باشد. در این مطالعه بالاتر بودن تعداد دانه در سنبله و نیز افزایش وزن هزار دانه دو عاملی بودند که موجب گردید عملکرد دانه بیشتری از تیمار پرایم بذر با عنصر روی و کاربرد سطح سوم کود فسفر (۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار) حاصل گردد. در آزمایش انجام گرفته بیشترین تعداد دانه در سنبله از کاربرد ۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و در تیمار پرایم با روی حاصل گردید همچنین وزن هزار دانه نیز در اثر پیش تیمار بذر با روی افزایش یافت. بنابراین این دو عامل منجر به افزایش عملکرد نهایی دانه گردید. تاثیر مثبت کاربرد فسفر در افزایش عملکرد گندم (Nesme *et al.*, 2017) و پرایم بذر با روی (Harris *et al.*, 2008; Chokri *et al.*, 2022) در مطالعات قبلی گزارش گردیده است.

تاثیر عامل اصلی کود فسفر و پیش تیمار بذر با روی تاثیر معنی‌دار بر شاخص برداشت داشت اما اثر متقابل دو عامل اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزایش میزان مصرف کود فسفر از ۲۰ کیلوگرم در هکتار به ۶۰ کیلوگرم در هکتار، شاخص برداشت به میزان ۱۰/۴ درصد افزایش یافت. کمترین میزان شاخص برداشت در تیمار شاهد (صفر کودی) و به میزان ۵۷٪ حاصل گردید (جدول ۴). شاخص برداشت حاصل نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی (کل بوته) می‌باشد و بنابراین تغییر در هر یک از این دو شاخص منجر به تغییر در میزان شاخص برداشت خواهد شد. در آزمایش انجام شده میزان عملکرد دانه در اثر کاربرد فسفر و نیز پرایم با عنصر روی افزایش یافت که این تغییر در میزان شاخص برداشت منعکس گردید. تاثیر مثبت پرایم گندم با روی بر افزایش شاخص برداشت در مطالعه‌ای قبلاً نیز گزارش شده است (Zulfiqar *et al.*, 2020). همچنین تاثیر مثبت عنصر فسفر بر افزایش شاخص برداشت در پژوهش انجام گرفته تحت شرایط مزرعه گزارش شده است (Batten, 1992).

میزان فسفر و روی دانه

نتایج تجزیه واریانس اثرات کود فسفر و پرایم و نیز اثر متقابل این دو فاکتور بر میزان روی و فسفر دانه در جدول ۳ نشان داده شده است. پرایم بذر با روی در نهایت تاثیری

فسفر می‌تواند منجر به تشکیل رسوب سولفات منیزیم در ریشه گردد که نتیجه آن کاهش میزان روی در گیاه خواهد بود (Nichols *et al.*, 2012).

دیگر صفت اندازه‌گیری شده در این آزمایش وزن هزار دانه بود که فقط تحت تاثیر معنی‌دار پرایم قرار گرفت و کاربرد کود فسفر و نیز اثر متقابل فاکتورهای آزمایش (کود فسفر×پرایم) تاثیری معنی‌دار بر این صفت نداشتند (جدول ۳). پیش تیمار بذر با عنصر روی میزان وزن هزار دانه را به میزان ۶/۳ درصد افزایش داد. میزان وزن هزار دانه در پیش تیمار بذر با آب و روی به ترتیب ۴۰/۶ و ۳۸/۱ گرم بود (جدول ۴). تاثیر گذاری پرایم بذر با عنصر روی بر وزن هزار دانه می‌تواند ناشی از دو علت باشد: استقرار بهتر و رشد اولیه گیاهچه بخصوص تحت شرایط تنش‌های محیطی (خشکی و یا شوری) (Devika *et al.*, 2021). و یا تحت شرایطی که خاک با کمبود روی مواجه است (Nciizah *et al.*, 2020). هرچند وزن هزار دانه جزو صفاتی محسوب می‌گردد که وابسته به ژنوتیپ گیاه است (Zanke *et al.*, 2015) و تحت کنترل ژن‌های مربوط با این صفت است (Tillet *et al.*, 2022). همچنین افزایش وزن هزار دانه می‌تواند نتیجه افزایش در میزان فتوسنتز و به دنبال آن افزایش کربوهیدرات‌های تولیدی باشد که نقش مهمی در پرشدن دانه دارند. کمبود عنصر روی در گیاه منجر به کاهش میزان فتوسنتز، کاهش کلروفیل، کاهش میزان فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز و سنتز پروتئین می‌گردد (Ohki, 1976; Ma *et al.*, 2017). و به این طریق می‌تواند منجر به کاهش وزن هزار دانه گردد.

نتایج حاصل از تجزیه آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تاثیر فاکتورهای آزمایش (پرایم و کود فسفر) و نیز اثر متقابل آنها بر عملکرد دانه در سطح احتمال آماری ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج آزمون مقایسه میانگین (جدول ۴) بیشترین میزان عملکرد دانه از پیش تیمار بذر با روی و از سطح سوم کودی (۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار) حاصل گردید. عملکرد دانه در غلات حاصل اجزاء عملکرد (تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار)

سطوح مختلف فسفر و پرایم با عنصر روی نیز در جدول ۵ نشان داده شده است. روند افزایش در میزان فسفر دانه در تیمار شاهد (عدم پرایم) و در پرایم بذر با روی در اثر کاربرد کود فسفر روندی افزایشی داشت و بیشترین محتوای فسفر دانه از تیمار پرایم با روی و کاربرد بالاترین سطح فسفر مورد استفاده (۶۰ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید. بیشترین محتوای فسفر دانه (۱/۷۲) تحت اعمال پرایم و سطح کودی ۶۰ کیلوگرم فسفر حاصل گردید و پس از آن در کاربرد همین سطح کودی و عدم پرایم (۱/۶۳) حاصل گردید (جدول ۵).

معنی دار بر تغییر محتوای فسفر و روی دانه گندم تحت شرایط دیم نداشت اما تیمار فسفر دارای تاثیر معنی دار بر این دو صفت اندازه گیری شده داشت (جدول ۳). اثر متقابل کود فسفر و پیش تیمار بذر بر محتوای روی و فسفر دانه معنی دار گردید (جدول ۳). نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل کود فسفر و پرایم بذر با روی در جدول ۵ نشان داده شده است. در تیمار عدم پرایم تفاوت معنی داری از نظر محتوای روی دانه بین کاربرد سطوح مختلف فسفر مشاهده نگردید اما در تیمار پرایم با افزایش مصرف کود فسفر میزان محتوای روی دانه کاهش یافت. تغییر محتوای فسفر دانه در پاسخ به

Table 4. The response of wheat grain yield and yield components under different phosphorus fertilizer levels in pre-treated and non-pre-treated seeds with zinc

Seeds pretreatment	P application dose per ha	Seednoperspike	1000-seed weight	Grainyield (ton/ha)	HI (%)
Hydro-primed	Control	15.8c	38.1b	2.1c	57.4c
	20kg	15.9c		2.1c	58.4bc
	40kg	16.5c		2.1bc	62.8ab
	60kg	18.1bc		2.3bc	64.5a
Zn-priming	Control	.1c61	40.6a	2.1bc	
	20kg	16.2c		2.6b	
	40kg	23.1a		3.3a	
	60kg	20.5ab		2.4bc	
LSD (0.5%)		3.01	0.43	0.56	4.7

Means, in column, with similar letters are not significantly different at $p \leq 0.05$

Table 5. Phosphorus and zinc content of wheat grain and yield of zinc and phosphorus under different phosphorus fertilizer levels in pre-treated seeds and no pre-treatment with zinc

Seeds pretreatment	P application dose per ha	Zn content in grains (mg per kg)	P content in grain (g per kg)	Zn yield (g/ha)	P yield (kg/ha)
Hydro-primed	Control	45.0bc	1.1e	105.9abc	1.07e
	20kg	49.8ab	1.14de	99.5bc	1.14ed
	40kg	55.96ab	1.57abc	114.5abc	1.57abc
	60kg	50.5ab	1.63ab	119.6ab	1.66ab
Zn-priming	Control	60.6ab	1.38bcd	128.8a	1.33cd
	20kg	46.4bc	1.33cd	120.8ab	1.36cd
	40kg	36.1c	1.36cd	120.4ab	1.38bcd
	60kg	35.6c	1.72a	87.6c	1.72a
LSD (0.5%)		11.4	0.25	27.8	0.25

Means, in column, with similar letters are not significantly different at $p \leq 0.05$

سطح کود فسفر کاسته گردید اما در نهایت عملکرد روی تفاوت معنی داری با تیمار عدم پرایم با روی نداشت.

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان دهنده سودمندی پرایم روی با بذر تحت شرایط دیم بود به طوریکه گیاهان رشد کرده از بذور پرایم شده با روی از عملکرد دانه بالاتر و نیز محتوای روی بیشتری برخوردار بودند. هرچند تاثیر پرایم با عنصر روی موجب بهبود در عملکرد دانه گردید اما این تاثیر افزایش دگی تحت تاثیر کاربرد سطوح مختلف فسفر قرار گرفت به طوریکه سطوح مصرف بالای فسفر و علی رغم نقش مثبت آن در افزایش عملکرد دانه در نهایت منجر به کاهش میزان محتوای روی دانه گردید. بنابراین اتخاذ یک برنامه کودی مناسب تحت اعمال پرایم بذر با روی می تواند در دست یابی به عملکرد دانه و محتوای روی بیشتر در دانه تولیدی مهم باشد.

سپاس گذاری

بدین وسیله از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه رازی و دانشگاه ایلام به جهت اندازه گیری عناصر تشکر می گردد.

در تحقیقی که تاثیر کاربرد روی و فسفر بر گیاه ذرت سیلویی را مورد مطالعه قرار داد مشخص گردید که کاربرد فسفر منجر به کاهش محتوای روی بخش هوایی و برعکس کاربرد روی منجر به کاهش میزان فسفر بخش هوایی گیاه ذرت گردیده است (Drissi *et al.*, 2015). افزایش محتوای روی دانه در نتیجه پرایم بذر با روی در سایر مطالعات انجام شده در ارتباط با گیاه گندم گزارش شده است (Rehman *et al.*, 2018; Veena and Pusor, 2022).

نتایج مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر عملکرد روی و فسفر (میزان روی و فسفر بر اساس عملکرد دانه برداشت شده) در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این آزمایش میزان عملکرد یا برداشت روی (گرم در هکتار) و فسفر (کیلوگرم در هکتار) از یک هکتار (بر اساس عملکرد دانه تولید شده و محتوای روی و فسفر آنها از تیمارهای مختلف)، کمترین عملکرد روی و بیشترین فسفر برداشت شده در تیمار پرایم بذر و از سطح چهارم کودی فسفر حاصل گردید (۶۰ کیلوگرم در هکتار) که نشان دهنده تاثیر میزان عملکرد دانه بر عملکرد فسفر و روی برداشت شده در هکتار بود (جدول ۵). بنابراین هر چند در تیمارهای اعمال پرایم روی از میزان محتوای روی دانه و بخصوص با افزایش

References

- Batten, G. D. (1992). A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and Soil*, 146(1-2), 163-168.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I. & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4), 677-702.
- Candan, N., Cakmak, I. & Ozturk, E. K. L. (2019). Zinc-biofortified seeds improved seeding growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition and soil Science*, 181(3), 388-395.
- Chen, X. X., Zhang, W., Liang, X. Y., Liu, Y. M., Xu, S. J. & Zhao, Q. Y. (2019). Physiological and developmental traits associated with the grain yield of winter wheat as affected by phosphorus fertilizer management. *Scientific Reports*, 9, 16580.
- Choukri, M., Abouabdillah, A., Bouabid, R., Abd-Elkader, O. H., Pacioglu, O., Boufahja, F. & Bouriou, M. (2022). Zn application through seed priming improves productivity and grain nutritional quality of silage corn. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(12), 103456.
- Davoudpour, Y., Schmidt, M., Calabrese, F., Richnow, H. H. & Musat, N. (2020). High resolution microscopy to evaluate the efficiency of surface sterilization of *Zea Mays* seeds. *PLoS ONE*, 15(11): e0242247.

- Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J. & Rakshit, A. (2021). Seed Priming: A Potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5:654001
- Drissi, S., Houssa, A. A., Bamouh, A., Coquant, J. M. & Benbella, M. (2015). Effect of Zinc-Phosphorus Interaction on Corn Silage Grown on Sandy Soil. *Agriculture*, 5(4), 1047-1059.
- EL Sabagh, A., Islam, M. S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar, Hossain M, Hossain A, Mahboob W, Iqbal, M. A., Ratnasekera, D., Singhal, R.K., Ahmed, S., Kumari, A., Wasaya, A., Sytar, O., Brestic, M., ÇIG, F., Erman, M., Habib Ur Rahman, M., Ullah, N. & Arshad, A. (2021). Salinity Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Changing Climate: Adaptation and Management Strategies. *Frontier in Agronomy*, 3, 661932.
- Farooq, M., Ullah, A., Rehman, A., Nawaz, A., Nadeem, A., Wakeel, A., Nadeem, F. & Siddique, K.H.M. (2018). Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddled transplanted production systems. *Field Crops Research*, 216(1), 53-62.
- Farooq, M., Wahid, A. & Siddique, K. H. M. (2012). Micronutrient application through seed treatments a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(1), 125-142.
- Fioreze, S. L., Castoldi, G., Pivetta, L. A., Pivetta, L. G. & Fernandes, D. M. (2012). Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. *Acta Scientiarum Agronomy*, 34(3), 331-338.
- Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M. & Yunas, M. (2008). On-farm' seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. *Plant and Soil*, 306(1), 3-10.
- Hussain, I., Khan, M. A. & Khan, E. A. (2006). Bread wheat varieties as influenced by different nitrogen levels. *Journal of Zhejiang University Science*, 7(1), 70-78.
- Hussain, I., Khan, M.A. & Khan, E. A. (2006). Bread wheat varieties as influenced by different nitrogen levels. *Journal of Zhejiang University Science*. Jan;7(1):70-8. doi: 10.1631/jzus..B0070.
- Karimi, N., Goltapeh, E. M., Amini, J., Mehnaz, S. & Zarea, M. J. (2021). Effect of *Azospirillum zeae* and seed priming with zinc, manganese and auxin on growth and yield parameters of wheat under dryland farming. *Agricultural Research*, 10(1), 44-55.
- Karimi, N., Zarea, M. J. & Mehnaz, S. (2018). Endophytic *Azospirillum* for enhancement of growth and yield of wheat. *Environmental Sustainability*, 1(5), 149-158
- Khan, S., Anwar, S., Shaobo, Y., Gao, Z., Sun, M., Ashraf, M. Y., Ren, A. & Yang, Z. (2022). Soil water consumption, water use efficiency and winter wheat production in response to nitrogen fertilizer and tillage. *Peer Journal*, 8(3), e8892.
- Lázaro, L., Abbate, P., Cogliatt, D., & Andrade, F. (2010). Relationship between yield, growth and spike weight in wheat under phosphorus deficiency and shading. *The Journal of Agricultural Science*, 148(1), 83-93.
- Liu, L., Miao, Q., Wang, H., Xue, Y., Qi, S., Zhang, J., Li, J., Meng, Q. & Cui, Z. (2022). Optimizing phosphorus application for winter wheat production in the coastal saline area. *Agronomy*, 12(12), 2966.
- Luo, Y., Zhang, Z., Cao, J., Zhang, L., Zhang, J., Han, J., Zhuang, H., Cheng, F. & Tao, F. (2022). Accurately mapping global wheat production system using deep learning algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 110, 102823.
- Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y. & Guo, T. (2017). Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontier in Plant Science*, 8, 8.
- Mumtaz, M. Z., Aslam, M., Jamil, M. & Ahmad, M. (2014). Effect of different phosphorus levels on growth and yield of wheat under water stress conditions. *Journal of Environment and Earth Science*, 4(19), 23-30.
- Nciizah, A. D., Rapetsoa, M. C., Wakindiki, I. I. & Zerizghy, M. G. (2020). Micronutrient seed priming improves maize (*Zea mays*) early seedling growth in a micronutrient deficient soil. *Heliyon*, 6(8), e04766.

- Nesme, T., Colomb, B., Hinsinger, P., Watson, C. (2014). Soil Phosphorus management in organic cropping systems: From current practices to avenues for a more efficient use of P resources. In: Bellon, S. and S., Penvern (Ed.), *Organic farming, prototype for sustainable agricultures*. (pp. 23-45), Springer, Dordrecht.
- Nichols, B. A., Hopkins, B. G., Jolley, V. D., Webb, B. L., Greenwood, B. G. & Buck, J. R. (2012). Phosphorus and zinc interactions and their relationships with other nutrients in maize grown in chelator-buffered nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 35(1); 123-141.
- Ohki K. (38). Effect of zinc nutrition on photosynthesis and carbonic anhydrase activity in cotton. *Physiologia Plantarum*, 38(4), 300-304
- Ova, E. O., Kutman, U. B., Ozturk, L. & Cakmak, I. (2015). High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but no in autoclaved soil or nutrient solution. *Plant and Soil*, 393(1), 147-162.
- Rashid, A., Ram, H., Zou, C. Q., Rerkasem, B., Duarte, A. P., Simunji, S., Yazici, A., Guo, S., Rizwan, M., Bal, R. S., Wang, Z., Malik, S. S., Phattarakul, N., de Freitas, R. S., Lungu, O., Barros, V. L. N. P. & Cakmak, I. (1999). Effect of zinc-biofortified seeds on grain yield of wheat, rice, and common bean grown in six countries. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(5), 791-804.
- Rehman, A., Farooq, M., Naveed, M., Nawaz, A. & Shahzad, B. (2018). Seed priming of Zn with endophytic bacteria improves the productivity and grain biofortification of bread wheat. *European Journal of Agronomy*, 94(1), 98-107.
- Reis, S., Pavia, I., Carvalho, A., Moutinho, Pereira, J., Correia, C., & Lima-Brito, J. (2018). Seed priming with iron and zinc in bread wheat: effects in germination, mitosis and grain yield. *Protoplasma*, 255(4), 1179-1194.
- Sadeghizadeh, M. & Zarea, M. J. (2022). Effects of seed priming with zinc on germination, nursery seedling growth and paddy fields yield of two rice (*Oryzasativa* L.) cultivars. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 25(3), 313-324.
- Safari, K., Sohrabi, Y., Siosemardeh, A. & Sasani, S. (2021). Effect of seed priming on grain yield and some shoot and root orphophysiological characteristics of bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Potted Planting Conditions in Farm. *Plant Productions*, 44(1), 89-02. [in Persian].
- Shewry, P.R., Hawkesford, M.J., Piironen, V., Lampi, A.M., Kurt, G., Danuta, B., & et al. (2013). Natural variation in grain composition of wheat and related cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(35):8295-8303.
- Tillett, B. J., Hale, C. O., Martin, J. M. & Giroux, M. J. (2022). Genes impacting grain weight and number in wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*). *Plants* (Basel), 11(13), 1772.
- Valipour, N., Alipour, H. & Darvishzadeh, R. (2023). Evaluation of phenotypic diversity of cumulative growing degree-days (GDD) and grain yield in spring wheat cultivars under optimal and zinc deficiency conditions. *Plant Productions*, 46(1), 65-78. [in Persian].
- Veena, M. and Puthur, J. T. (2022). Seed nutripriming with zinc is an apt tool to alleviate malnutrition. *Environ Geochem Health*, 44(8), 2355-2373.
- Wang, M., Kong, F., Liu, R., Fan, Q., & Zhang, X. (2020). Zinc in Wheat Grain, Processing, and Food. *Frontiers in Nutrition*, 7, 124.
- Xie, X., Hu, W., Fan, X., Chen, H. & Tang, M. (2019). Interactions between phosphorus, zinc, and iron homeostasis in nonmycorrhizal and mycorrhizal Plants. *Frontier in Plant Science*, 10, 1172.
- Zanke, C. D., Ling, J., Plieske, J., Kollers, S., Ebmeyer, E., Korzun, V., Argillier, O., Stiewe, G., Hinze, M., Neumann, F., Eichhorn, A., Polley, A., Jaenecke, C., Ganal, M. W. & Röder, M. S. (2015). Analysis of main effect QTL for thousand grain weight in European winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by genome-wide association mapping. *Frontier in Plant Science*, 6, 64.
- Zarea, M. J. & Karimi, N. (2023). Grain yield and quality of wheat are improved through post-flowering foliar application of zinc and 6-benzylaminopurine under water deficit condition. *Frontier in Plant Science*, 13, 1068649.

- Zhang, W., Zhang, W., Wang, X. Liu, D., Zou, C. & Chen, X. (2021). Quantitative evaluation of the grain zinc in cereal crops caused by phosphorus fertilization. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1), 6.
- Zhang, Y.Q., Deng, Y., Chen, R.Y., Cui, Z.L., Chen, X.P., Yost, R., Zhang, F. S. & Zou C. Q. (2012). The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application. *Plant and Soil*, 361(1-2), 143-152.
- Zulfiqar, U., Hussain, S., Ishfaq, M., Matloob, A., Ali, N., Ahmad, M., Alyemeni, M. N. & Ahmad, P. (2020). Zinc-induced effects on productivity, zinc use efficiency, and grain biofortification of bread wheat under different tillage permutations. *Agronomy*, 10, 1566.