علوم و تحقیقات بذر ایران
سال دوازدهم/ شماره سوم/ ۱۴۰۴ (۲۸ - ۱۳)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2025.9411

تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بذر با قارچ‌های همزیست، هیومیک اسید و اکسید روی بر بهبود صفات گیاهچه‌ای برنج (*Oryza sativa* L.) در مراحل اولیه رشد

سید احمد مختاری ریکنده[۱]، همت ا... پیردشتی*[۲]، زهرا نوری آکندی[۳]، هدایت‌الله کریم‌زاده سورشجانی[۴]، محمد یعقوبی خانقاهی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۵

چکیده

ضعف بنیه بذر، آسیب‌دیدگی ریشه‌ها در زمان انتقال نشا و حساسیت بالا به تنش‌های محیطی از مهم‌ترین محدودیت‌های استقرار اولیه برنج محسوب می‌شوند؛ ازاین‌رو، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر بهبود صفات گیاهچه‌ای برنج رقم هاشمی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. پیش‌تیمارها شامل ۱۶ سطح شاهد، نانوذره اکسیدروی (ZnO)، قارچ‌های همزیست *Trichoderma longibrachiatum* و *Trichoderma atroviride*، هیومیک اسید (HA) و ترکیبات دوگانه، سه‌گانه و چهارگانه این پیش‌تیمارها بودند. قارچ‌ها در محیط کشت مایع (PDB) کشت و پس از گذشت دو هفته که رشد رویشی قارچ‌ها به حداکثر خود رسید، سوسپانسیونی با غلظت 10^8 واحد کلونی‌ساز در میلی‌لیتر (CFU/ml) تهیه گردید. برای هیومیک اسید و نانواکسیدروی از غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام استفاده شد. نمونه‌برداری از گیاهچه در ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ روز پس از بذرپاشی انجام و صفات مورفولوژیک از جمله طول ریشه و ساقه، نسبت طول ریشه به ساقه، وزن خشک ریشه و ساقه، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه و وزن خشک کل اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد در بین سطوح مختلف پیش‌تیمار، نانواکسید روی به‌ترتیب با ۲۳/۵۰ و ۲۸/۵۵ درصد افزایش نسبت به شاهد، بیشترین تأثیر را بر وزن خشک ریشه و وزن خشک کل داشت. ترکیب پیش‌تیمار (نانوذره اکسید روی+ هیومیک اسید+ قارچ تریکودرما لانگیبراچیاتوم + قارچ تریکودرما آترویریده) نیز با ۸۱ میلی‌گرم در بوته و حدود ۳۹ درصد افزایش نسبت به شاهد بیشترین وزن خشک ساقه را به ثبت رساند. پیش‌تیمارهای تلفیقی به‌ویژه ترکیبات حاوی ZnO به‌طور معنی‌داری طول ریشه (حدود ۲ تا ۷/۵ درصد افزایش) و وزن خشک ساقه (حدود ۷ تا ۳۹ درصد افزایش) را بهبود دادند. در مجموع نتایج بیانگر تأثیر مثبت کاربرد تلفیق پیش‌تیمارهای قارچ‌های همزیست، هیومیک اسید و نانواکسید روی بوده و می‌تواند به‌عنوان راهکاری کارآمد برای بهبود رشد و استقرار گیاه برنج در مراحل اولیه رشد به شمار آید.

واژه‌های کلیدی: تریکودرما، نانواکسید روی، وزن خشک، هیومیک اسید

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران. ahmadm3203@gmail.com
۲- استاد، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران. h.pirdashti@sanru.ac.ir
۳- استادیار، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران. Noori11zahra@gmail.com
۴- استادیار، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران. hkarimzadeh@sanru.ac.ir
۵- پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه باسیلیکاتا، پوتنزا، ایتالیا. Mohammad.Yaghoubi@unibas.it
*نویسنده مسئول: h.pirdashti@sanru.ac.ir

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در جهان به‌شمار می‌رود. این گیاه با سطح زیرکشت بیش از ۷۰۰ هزار هکتار در ایران دومین غذای اصلی پس از گندم می‌باشد (FAO, 2023). با توجه به تقاضای روزافزون و محبوبیت بالای این ماده غذایی، استفاده از راهکارهایی که بتواند با کاهش مصرف منابع، حداکثر تولید محصول را ایجاد کند از اهمیت بسیاری برخوردار است. برای حصول عملکرد قابل قبول در مزارع برنج، تولید گیاهچه‌های قوی در مرحله نشایی خزانه و استقرار هر چه بهتر نشاهای برنج حائز اهمیت است (Emam, 2011). پیش‌تیمار بذر[1] یکی از روش‌هایی است که باعث بهبود ویژگی‌های کیفی بذر، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی سبزشدن، استقرار بهتر گیاهچه و عملکرد گیاهان می‌شود (Pirdashti *et al*., 2023; Sabety *et al*., 2019). مهم‌ترین روش‌های پیش‌تیمار بذور هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ، پرایمینگ هورمونی، پرایمینگ شیمیایی و زیستی می‌باشند (Igbal and Ashraf, 2005). در سال‌های اخیر ترکیبات حاوی عنصر روی (Zn) و نیز اسیدهای آلی نظیر هیومیک اسید برای بهبود ویژگی‌های رشدی و افزایش عملکرد گیاهان زراعی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Mohamed *et al*., 2017).

روی (Zn) از مهمترین عناصر کم‌مصرف به‌شمار می‌آید که کمبود آن موجب اختلالات تغذیه‌ای در مزارع برنج سراسر جهان می‌شود (Wissuwa *et al*., 2006). این عنصر ریزمغذی و ضروری در گیاه، در فرایند فتوسنتز (Taiz *et al*., 2015) تقسیم سلولی و طویل شدن سلول، افزایش هورمون تحریک‌کننده رشد مانند اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها (Umair Hassan *et al*., 2020) و متابولیسم پروتئین‌ها (Toor *et al*., 2020) نقش دارد. در پژوهشی نشان‌داده شد پیش‌تیمار بذر با سولفات روی موجب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و تولید گیاهچه‌های قوی‌تر برنج (Mahmudsoltani *et al*., 2023, Ancy *et al*, 2022) و جذب بهتر عناصری مانند کلسیم (Ca) و بور (B) شد. یافته‌های (Deepa *et al*., 2021) نیز حاکی از افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشدی و در بذرهای پیش‌تیمار شده برنج با مواد نانواکسید روی بود.

پیش‌تیمار بذر توسط اسیدهای آلی نیز به‌دلیل اثرات قابل‌ملاحظه در بهبود ویژگی‌های بذر و همچنین افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در حال گسترش است (Samavat and Malakuty, 2006). در بین اسیدهای آلی، هیومیک اسید به‌دلیل کمک به ریشه‌زایی بهتر، نگهداری بیشتر آب در خاک و تأثیر مثبت بر ساختار خاک به‌همراه تنظیم pH خاک مورد استقبال پژوهشگران و کشاورزان قرار گرفته‌است (Asgharipour, M. and Rafiei, M. 2011) در این زمینه تحقیقات (Sadeghzadeh *et al*., 2023) در گیاه چغندرقند، (Ghorbani *et al*., 2013) در گیاه ذرت و (Haghparast *et al*., 2010) در گیاه گندم بیانگر اثر مثبت پیش‌تیمار هیومیک اسید بر افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی، افزایش طول ریشه و ساقه و بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان بود.

تیمار زیستی بذر نیز به‌دلیل اهمیت آن‌ها برای حفظ سلامتی انسان و محیط زیست و همسو بودن با کشاورزی پایدار مورد توجه و بررسی پژوهشگران قرار گرفته‌است. در این بین پیش‌تیمار بذر با قارچ‌های همزیست به‌دلیل تشکیل کلونی با ریشه گیاه منجربه افزایش رشد و کارکرد بهتر گیاه می‌شود و به‌مدت طولانی‌تری گیاه را در برابر عوامل بیماری‌زا ایمن می‌کند (Harman *et al*., 1989). پیردشتی و همکاران (Pirdashti *et al*., 2023) طی مطالعه‌ای دریافتند قارچ‌های همزیست با ریشه برنج نظیر تریکودرما (*Trichoderma*) تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های رشدی دو رقم برنج بومی (هاشمی) و اصلاح‌شده (روشن) داشتند. جنابیان و همکاران (Jenabian *et al*., 2021) نیز اظهار داشتند با اعمال پیش‌تیمار زیستی با دو قارچ تریکودرما (*Trichoderma*) و آسپرژیلوس (*Aspergillus*) توان کودپذیری و اثربخشی عنصر روی در گیاهچه‌های گندم افزایش یافت؛ همچنین نتایج نشان داد تیمارهای قارچی سبب افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی در ساقه‌چه شدند.

پیش‌تیمارهای مختلف بذر در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران و کشاورزان قرار گرفته است. اما در تحقیقات پیشین ترکیب این پیش‌تیمارها و مراحل مختلف رشدی گیاهچه در خزانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه

[1]Seed priming

به اهمیت حیاتی مرحله خزانه در موفقیت کشت برنج و نقش کلیدی تیمارهای زیستی، آلی و ریزمغذی‌ها در بهبود رشد و توسعه گیاهچه، پژوهش حاضر با هدف بررسی و انتخاب بهترین ترکیب پیش‌تیمار بذر جهت تولید گیاهچه‌های قوی‌تر در مرحله نشایی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۴ در گلخانه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. بذرهای برنج رقم هاشمی از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شد. سپس بذرها مورد آزمون قوه نامیه قرار گرفت و درصد جوانه‌زنی ۹۸ درصد به‌دست آمد. بذرها به‌مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر خیسانده و سپس با محلول هیپوکلریت سدیم دو درصد به مدت پانزده دقیقه ضدعفونی شده و پنج مرتبه با آب مقطر شستشو شدند (ISTA, 2020). پیش‌تیمارها در ۱۶ سطح شامل: سطح شاهد (Control)، نانوذره اکسید روی[1] (ZnO)، قارچ‌های تریکودرما لانگیبراچیاتوم[2] (FTL) و تریکودرما آتروویریده[3] (FTA)، هیومیک اسید[4] (HA)، ZnO+FTL، ZnO+FTA، ZnO+HA، FTA+HA، FTL+FTA، FTL+HA، ZnO+FTL+FTA، ZnO+FTL+HA، ZnO+FTA+HA، FTA+FTL+HA و ZnO+FTL+FTA+HA بودند. قارچ‌ها در محیط کشت مایع (PDB) کشت و سپس به‌مدت دو هفته در دمای ۲۸ درجه سلسیوس و سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار گرفتند. پس از گذشت مدت زمان مذکور که رشد رویشی قارچ‌ها به حداکثر خود رسید، سوسپانسیونی با غلظت 10^8 واحد کلونی‌ساز در میلی‌لیتر (CFU/ml) تهیه گردید (Nouri Akandi, 2019). برای تیمارهای هیومیک اسید و نانواکسید روی بهترین و مناسب‌ترین غلظت در مقالات بررسی شد که برای هر دو ماده مذکور غلظت بهینه ۱۰۰ پی‌پی‌ام انتخاب شد (Gamit *et al.*, 2025; Mohamed *et al.*, 2017). اسید هیومیک مورد استفاده در این پژوهش از منبع هیومکس (۸۰ درصد هیومیک اسید و ۲۰ درصد فولویک اسید) و منبع روی از نانوذره اکسیدروی (Merck) با خلوص ۹۹/۹ درصد تهیه شد. میزان بذر مصرفی برای هر جعبه سینی‌نشا ۱۸۰ گرم بود. از سینی‌های نشا به ابعاد ۳۰×۶۰×۲/۵ سانتی‌متر به عنوان بستر کشت استفاده و به اندازه دو سانتی‌متر خاک مخصوص (جدول ۱) روی سینی‌ها قرارگرفت. در گلخانه استاندارد (دما ۲±۲۵ درجه سلسیوس (℃)، رطوبت ۷۰ درصد و شدت نور ۲۵ هزار لوکس) سایر عملیات نگهداری سینی‌ها مطابق دستورالعمل فنی موسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران (آمل) انجام‌شد. اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک از جمله طول ریشه و ساقه، نسبت طول ریشه به ساقه، وزن خشک ریشه و ساقه، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه و وزن خشک کل، در چهار مرحله‌ی ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ روز پس از بذرپاشی بر اساس مقیاس BBCH و به‌ترتیب شامل کد ۱۱ (۵ روزگی)، کد ۱۳ (۱۵ روزگی)، کد ۲۱ (۲۵ روزگی) و کد ۲۵ (۳۵ روزگی) در خزانه انجام‌شد. جهت اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه از خط‌کش و همچنین وزن خشک ریشه و ساقه پس از قراردادن نمونه‌ها درآون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد از ترازوی ده‌هزارم گرم استفاده شد. برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون نرمال به روش کولموگروف-اسمیرنوف انجام و سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ (Soltani, 2012) تجزیه و تحلیل و میانگین‌ها براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. همچنین تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای صفت طول ریشه نشان داد که در تمام روزهای پس از بذرپاشی به‌جز مرحله آخر (۳۵ روزگی) بین پیش‌تیمارهای اعمال‌شده تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). در پنج روز پس از بذرپاشی پیش‌تیمارترکیبی سه‌گانه FTA+FTL+HA نسبت به سایر پیش‌تیمارها بیش‌ترین تأثیر را بر طول ریشه داشت به‌طوریکه میزان این صفت از ۴/۸ سانتی‌متر در سطح شاهد به هفت سانتی‌متر در تیمار تلفیقی FTA+FTL+HA افزایش یافت. هیومیک اسید در مرحله ۵ روز پس از بذرپاشی بر طول ریشه تأثیر کمی داشت ولی در مراحل

[1]Zinc oxide nanoparticles
[2]Fungi Trichoderma longibrachiatum
[3]Fungi Trichoderma atroviride
[4]Humic acid

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک استفاده شده برای سینی نشا

Table 1. Some characteristics of the soil used for the seedling tray

پارامتر Parameter	واحد Value	مقدار Unite
واکنش خاک 1:5 (pH)		7.22
هدایت الکتریکی EC	dS/m	1.04
نسبت کربن به نیتروژن C/N	درصد (%)	14.75
کربن آلی OC	درصد (%)	40.27
مواد آلی OM	درصد (%)	70.07
آهن محلول Fe	میلی‌گرم در لیتر (ppm)	0.003
پتاسیم محلول در آب K_2O	میلی‌گرم در لیتر (ppm)	0.402
فسفر قابل استفاده P_2O_5	میلی‌گرم در لیتر (ppm)	0.009
نیتروژن کل N	درصد (%)	2.73

بعدی روند رشدی طول ریشه بهبود یافت. در مرحله ۱۵ روز پس از بذرپاشی بالاترین طول ریشه در تیمارهای ZnO و ZnO+FTL+FTA+HA (۱۲ سانتی‌متر و حدود ۵۲ درصد افزایش نسبت به شاهد) و در مرحله ۲۵ روز در تیمار FTL+HA (۱۴/۸۴ سانتی‌متر و در حدود ۲۸ درصد افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد عنصر روی با اثربخشی بر فعالیت آنزیم‌ها به‌ویژه آلفاآمیلاز به سوخت و ساز و متابولیسم گیاه کمک کرده و انرژی لازم برای رشد بیشتر ریشه را فراهم می‌کند (Esper Neto *et al*., 2020). هیومیک اسید نیز به‌دلیل گسترش سیستم ریشه‌ای و جذب و نگهداری بهتر آب در خاک و گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی باعث رشد اندام‌های رویشی گیاه می‌شود (Asgharipour and Rafiei, 2011; Mahmoudi *et al*., 2014). یافته‌های پیش‌تیمار با عنصر روی با نتایج (Latifi and Omidi, 2019) در گیاه برنج رقم عنبربو مطابقت داشت. همچنین اثر هم‌افزایی مثبت پیش‌تیمار بذر با هیومیک اسید و عنصر روی نیز توسط (Rashidifard *et al.*, 2021) در ذرت گزارش شده بود. درخصوص اثربخشی قارچ‌های همزیست با ریشه برنج نیز یافته‌های این پژوهش با نتایج (Pirdashti *et al*., 2023) مطابقت داشت. نتایج تجزیه واریانس درخصوص طول ساقه در پنج روز پس از بذرپاشی نشان از معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت اما در مراحل دیگر اندازه‌گیری، تفاوت معنی‌داری بین پیش‌تیمارهای اعمال‌شده مشاهده نشد (جدول ۳). کاربرد همزمان پیش-تیمارهای FTA+FTL+HA طول ساقه را در پنج روز پس از بذرپاشی حدود ۵۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل A-۱). به‌نظر می‌رسد قارچ‌های همزیست به‌دلیل تشکیل کلونی‌های قوی و پایدار با سطوح ریشه و نفوذ به اپیدرم و سلول‌های زیرسطح آن باعث بهبود صفات رویشی می‌شوند (Dashti *et al*., 2021; Gilani *et al*., 2018). نتایج اثربخشی قارچ‌های همزیست با نتایج (Pirdashti *et al*., 2023) در برنج و (Jenabian *et al*., 2021) در گندم مطابقت داشت.

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر نسبت طول ریشه به ساقه فقط در دو مرحله ۱۵ و ۲۵ روز پس از بذرپاشی معنی‌داری بود. همچنین مشخص شد نسبت طول ریشه به ساقه در مراحل اولیه رشدی ۵ و ۱۵ روز پس از بذرپاشی بیشتر از مراحل ۲۵ و ۳۵ روزگی بود (جدول ۴). با توجه به یافته‌های این پژوهش به‌نظر می‌رسد کاهش ضریب آلومتریک در مرحله نشایی به‌دلیل تسهیم مواد غذایی در شرایط کنترل شده و توزیع یکنواخت آن در گیاه بود. در مراحل اولیه رشد بیشتر مواد غذایی به سیستم توسعه ریشه اختصاص پیدا کرد درحالی‌که در مراحل بعدی رشد و نمو در خزانه مواد غذایی بیشتری به اندام‌های هوایی اختصاص پیدا کرد. از آنجایی که شرایط در گلخانه کنترل شده و بدون تنش بود با افزایش سن گیاهچه مواد فتوسنتزی بیشتری به اندام هوایی اختصاص پیدا کرد و بدین ترتیب نسبت طول ریشه به ساقه کاهش پیدا کرد. در بین پیش‌تیمارهای اعمال شده در مرحله ۳۵ روز پس از بذرپاشی ترکیب ZnO+HA طول ریشه و ساقه را به نسبت برابری (ضریب آلومتریک ۱) افزایش دادند (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد پیش‌تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه در مراحل ۵، ۱۵ و ۳۵ روز پس از بذرپاشی در سطح احتمال یک‌درصد و در مرحله

جدول۲- اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر طول ریشه (سانتی‌متر) برنج رقم هاشمی در مراحل مختلف اندازه‌گیری

Table 2. The effect of different seed primings on root length (cm) of Hashemi rice cultivar at different *measurement* stages

پیش‌تیمار Priming	روز پس از بذرپاشی Day after sowing (DAS)			
	5	15	25	35
Control	4.80^{de}	7.85^{fg}	11.60^{f}	15.96
ZnO	6.66^{ab}	12.00^{a}	13.10^{c-e}	17.16
FTL	5.73^{a-e}	8.83^{d-f}	13.00^{c-e}	16.20
FTA	6.99^{a}	11.81^{a}	13.29^{c-e}	17.40
HA	4.67^{e}	6.75^{g}	14.34^{ab}	16.54
ZnO+FTL	6.45^{ab}	9.50^{c-e}	13.73^{b-d}	16.86
ZnO+FTA	6.26a^{-c}	9.88^{b-d}	14.50^{ab}	16.40
ZnO+HA	5.67^{a-e}	9.04^{d-f}	13.75^{b-d}	17.00
FTA+HA	6.67^{ab}	8.44^{ef}	12.80^{de}	16.36
FTL+FTA	5.58^{b-e}	8.35^{ef}	14.35^{ab}	16.20
FTL+HA	6.15^{a-d}	11.96^{a}	14.84^{a}	16.43
ZnO+FTL+FTA	6.22^{a-c}	11.29^{ab}	12.93^{c-e}	16.80
ZnO+FTL+HA	5.06^{c-e}	10.86^{a-c}	14.50^{ab}	16.30
ZnO+FTA+HA	6.56^{ab}	11.43^{a}	13.79^{b-d}	16.86
FTA+FTL+HA	7.04^{a}	9.40^{de}	12.46^{ef}	16.43
ZnO+FTL+FTA+HA	6.64^{ab}	12.03^{a}	13.87^{a-c}	16.54
منابع تغییرات S.O.V	میانگین مربعات (MS)			
پیش‌تیمار Priming(df=15)	1.67*	8.58**	2.29**	0.47^{ns}
خطا Error (df=30)	0.69	0.73	0.36	0.39
ضریب تغییرات (درصد) CV	13.71	8.60	4.44	3.78

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column, means followed by at least one some letter are not significantly different at the 5% probability level.

^{ns}، * و **به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns,*, and** indicate not significant and significant at 5 and 1 levels of probability, respectively.

جدول۳- اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر طول ساقه برنج (سانتی متر) رقم هاشمی در مراحل مختلف اندازه‌گیری

Table 3. The effect of different seed primings on stem length (cm) of Hashemi rice cultivar at different measurement stages

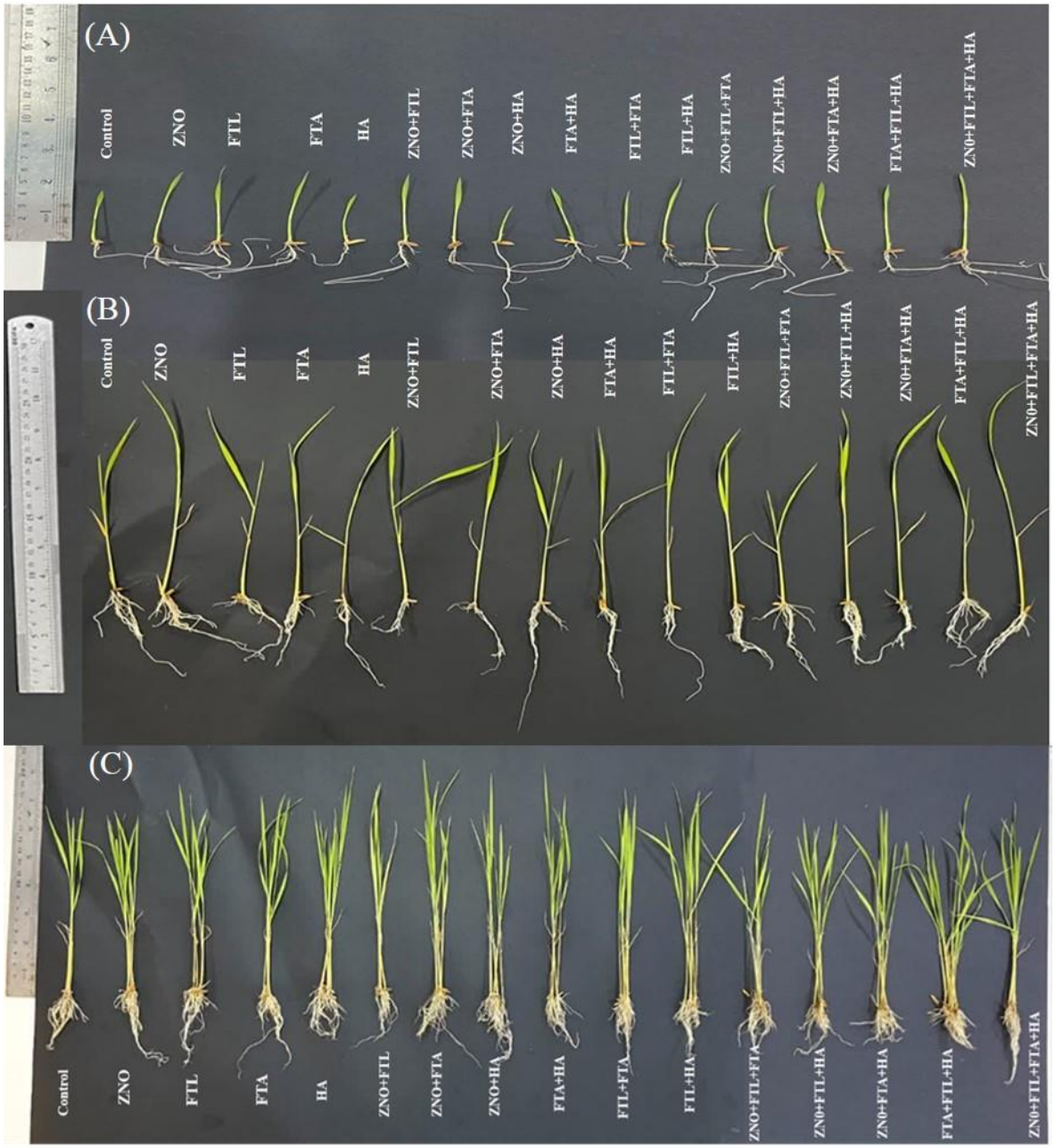
پیش‌تیمار Priming	روز پس از بذرپاشی Day after sowing (DAS)			
	5	15	25	35
Control	3.30^{de}	7.50	14.80	16.56
ZnO	4.16^{bc}	7.90	15.28	18.17
FTL	4.26^{bc}	9.03	15.40	16.76
FTA	4.88^{ab}	9.40	16.20	17.76
HA	3.18^{e}	6.61	14.38	17.30
ZnO+FTL	4.19^{bc}	8.23	15.50	18.20
ZnO+FTA	4.45^{a-c}	8.11	15.40	16.74
ZnO+HA	4.03^{cd}	7.80	14.76	16.85
FTA+HA	4.50^{a-c}	7.76	15.58	16.82
FTL+FTA	4.49^{a-c}	6.43	15.52	17.80
FTL+HA	3.89^{c-e}	7.34	16.77	17.68
ZnO+FTL+FTA	4.33^{bc}	8.36	14.68	17.05
ZnO+FTL+HA	3.96^{c-e}	7.54	15.21	16.84
ZnO+FTA+HA	4.30^{bc}	8.40	15.93	17.81
FTA+FTL+HA	5.17^{a}	9.00	15.49	17.31
ZnO+FTL+FTA+HA	4.45^{a-c}	8.20	15.70	17.65
منابع تغییرات S.O.V	میانگین مربعات (MS)			
پیش‌تیمار Priming (df=15)	0.76**	1.96^{ns}	1.06^{ns}	0.87^{ns}
خطا Error (df=30)	0.22	0.98	1.35	0.63
ضریب تغییرات (درصد) CV	11.21	12.46	7.55	4.88

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column, means followed by at least one some letter are not significantly different at the 5% probability level.

^{ns}، * و **به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns,*, and** indicate not significant and significant at 5 and 1 levels of probability, respectively.



شکل ۱- مقایسه سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر بر روند رشدی گیاهچه‌های برنج در ۵ (A)، ۲۵ (B) و ۳۵ (C) روز پس از بذرپاشی

Figure 1. Comparison of different seed priming levels on the rice seedlings growth at 5 (A), 25 (B), and 35 (C) days after sowing

جدول۴- اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر نسبت طول ریشه به ساقه برنج رقم هاشمی در مراحل مختلف اندازه‌گیری
Table 4. The effect of different seed primings on root-to-shoot length ratio of Hashemi rice cultivar at different measurement stages

پیش‌تیمار Priming	روز پس از بذرپاشی Day after sowing (DAS)			
	5	15	25	35
Control	1.44	1.04^{fg}	0.78^{d}	0.96
ZnO	1.59	1.51^{ab}	0.86^{b-d}	0.94
FTL	1.34	1.00^{g}	0.84b^{-d}	0.96
FTA	1.43	1.26^{c-e}	0.82^{cd}	0.97
HA	1.48	1.02^{fg}	0.99^{a}	0.95
ZnO+FTL	1.53	1.18^{d-g}	0.89^{a-d}	0.92
ZnO+FTA	1.39	1.22^{d-f}	0.94^{ab}	0.97
ZnO+HA	1.40	1.16^{d-g}	0.93^{a-c}	1.00
FTA+HA	1.46	1.09^{e-g}	0.82^{cd}	0.97
FTL+FTA	1.26	1.29^{c-e}	0.92^{a-c}	0.91
FTL+HA	1.58	1.63^{a}	0.89^{a-d}	0.92
ZnO+FTL+FTA	1.45	1.35^{b-d}	0.88^{a-d}	0.98
ZnO+FTL+HA	1.28	1.43^{a-c}	0.95^{ab}	0.96
ZnO+FTA+HA	1.52	1.36^{b-d}	0.86^{b-d}	0.94
FTA+FTL+HA	1.35	1.05^{fg}	0.80^{d}	0.94
ZnO+FTL+FTA+HA	1.49	1.46^{a-c}	0.88^{a-d}	0.93
منابع تغییرات S.O.V	میانگین مربعات (MS)			
پیش‌تیمار Priming (df=15)	0.028^{ns}	0.109**	0.01*	0.002^{ns}
خطا Error (df=30)	0.026	0.015	0.004	0.003
ضریب تغییرات (درصد) CV	11.20	9.76	7.91	5.50

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
In each column, means followed by at least one some letter are not significantly different at the 5% probability level.
^{ns}، * و **به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد می‌باشد.
ns,*, and** indicate not significant and significant at 5 and 1 levels of probability, respectively.

۲۵ روز در سطح احتمال پنج‌درصد داشتند. مقایسه میانگین بین سطوح پیش‌تیمار نشان داد بیشتر سطوح پیش‌تیمار وزن خشک ریشه را در سه مرحله اول نمونه‌برداری به‌طور نسبی بهبود بخشیدند اما در مراحل پایانی اندازه‌گیری (۳۵ روزپس‌ازبذرپاشی) این اختلاف کم‌ترشد؛ به‌طوری که اختلاف بین بهترین پیش‌تیمار یعنی ZnO با شاهد معنی‌دار نشد (جدول ۵). پیش‌تیمار بذر نقش بسیار مهمی در تحریک جوانه‌زنی، رشد اولیه ریشه‌چه و ساقه‌چه و افزایش بنیه گیاه و کیفیت مرحله نشایی دارد (Ganjeali *et al*., 2021). اما با گذشت زمان و رسیدن به مراحل بالاتر خزانه (۳۵ روزگی) عواملی نظیر کاهش اثر ذخایر بذر، پرایمینگ و یکنواختی شرایط محیطی در خزانه، رشد و توسعه گیاه که منجربه وابستگی به جذب عناصر از محیط می‌شود و رقابت برای نور و مواد غذایی در شرایط خزانه‌های متراکم افزایش می‌یابد. این رقابت ممکن است اثر مثبت تیمارهای اولیه را کاهش دهد. این یافته‌ها با نتایج (Nazari *et al*., 2021) که به بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر توسط محلول‌های غذایی در دو رقم برنج هاشمی و گوهر پرداختند مشابه بود. نتایج نشان داد پیش‌تیمارهای مختلف بر وزن خشک ساقه در تمامی مراحل برداشت به‌غیراز ۱۵ روز پس از بذرپاشی اثر معنی‌داری داشتند. وزن خشک ساقه در ۳۵ روز پس از بذرپاشی، در بذرهای پیش‌تیمار شده با ترکیب ZnO+FTL+FTA+HA نسبت به شاهد، حدود ۳۹ درصد افزایش نشان داد. در مجموع، استفاده همزمان از FTA+FTL+HA و ترکیب چهارگانه ZnO+FTL+FTA+HA نسبت به شاهد و ترکیبات دیگر بهتر و مؤثرتر بودند (جدول ۶). یکی از دلایل افزایش وزن خشک ساقه در اثر پیش‌تیمار، سرعت بالای جوانه‌زنی در این شرایط است (Soltani *et al*., 2008). پرایمینگ شرایط متابولیکی مناسبی را در بذر برنج به‌وجود می‌آورد که موجب تسریع در جوانه‌زنی، توسعه بهتر اندام‌های هوایی و زیرزمینی و استقرار هرچه بهتر گیاهچه‌ها می‌شود (Tavassoli, 2021). پیش‌تیمار بذر با روی باعث افزایش سنتز هورمون‌های ایندول استیک اسید و سیتوکینین شده که سنتز این هورمون‌های رشد، طول و وزن خشک ساقه را افزایش می‌دهند (Umair Hassan *et al*., 2020). همچنین هیومیک اسید از طریق تشکیل کمپلکس‌های پایدار با عناصر ریزمغذی نظیر روی به‌صورت کلات، قابلیت

جدول۵- اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر وزن خشک ریشه (میلی‌گرم در بوته) برنج رقم هاشمی در مراحل مختلف اندازه‌گیری

Table 5. The effect of different seed primings on root dry weight of Hashemi rice cultivar at different measurement stages

پیش‌تیمار Priming	روز پس از بذرپاشی Day after sowing (DAS)			
	5	15	25	35
Control	1.26^{e}	2.73^{b-e}	20.3^{d}	26.8^{a-d}
ZnO	1.80^{a-d}	2.93^{b-e}	25.3^{ab}	33.1^{a}
FTL	1.50^{b-e}	2.86^{b-e}	23.0^{a-d}	24.7^{b-d}
FTA	1.83^{a-c}	3.10^{bc}	20.0^{d}	20.7^{d}
HA	1.63^{b-e}	2.30^{de}	23.5^{a-d}	21.8^{d}
ZnO+FTL	1.73^{b-d}	2.20^{e}	23.2^{a-d}	24.9^{b-d}
ZnO+FTA	1.40^{c-e}	3.03^{b-d}	22.4^{b-d}	30.0^{ab}
ZnO+HA	1.63^{b-e}	2.33^{c-e}	23.6^{a-d}	30.0^{ab}
FTA+HA	1.73^{b-d}	3.20^{b}	20.0^{cd}	22.9^{cd}
FTL+FTA	1.66^{b-e}	2.90^{b-e}	22.5^{b-d}	29.5^{ab}
FTL+HA	1.50^{b-e}	2.33^{c-e}	26.5^{a}	22.7^{cd}
ZnO+FTL+FTA	1.36^{de}	2.20^{e}	20.9^{d}	22.5^{cd}
ZnO+FTL+HA	1.26^{e}	2.76^{b-e}	24.5^{a-c}	24.6^{b-d}
ZnO+FTA+HA	1.40^{c-e}	5.00^{a}	20.2^{d}	30.8^{ab}
FTA+FTL+HA	2.20^{a}	3.43^{b}	22.3^{b-d}	28.3^{a-c}
ZnO+FTL+FTA+HA	1.93^{ab}	3.00^{b-d}	25.7a^{b}	25.0^{b-d}
منابع تغییرات S.O.V	میانگین مربعات (MS)			
پیش‌تیمار Priming (df=15)	0.17**	1.35**	12.0*	40.0**
خطا Error (df=30)	0.20	0.20	50.0	10.0
ضریب تغییرات (درصد) CV	16.67	16.09	9.81	14.27

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column, means followed by at least one some letter are not significantly different at the 5% probability level.

^{ns}، * و **به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns,*, and** indicate not significant and significant at 5 and 1 levels of probability, respectively.

جدول۶- اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر وزن خشک ساقه (میلی‌گرم در بوته) برنج رقم هاشمی در مراحل مختلف اندازه‌گیری

Table 6. The effect of different seed primings on shoot dry weight of Hashemi rice cultivar at different measurement stages

پیش‌تیمار Priming	روز پس از بذرپاشی Day after sowing (DAS)			
	5	15	25	35
Control	1.7^{c}	4.6	37.8^{e}	58.3^{h}
ZnO	2.2^{bc}	4.8	49.1^{b-d}	76.3^{ab}
FTL	2.2^{bc}	4.8	59.4^{a}	70.6^{b-e}
FTA	3.0^{a}	5.4	52.7^{a-c}	63.3^{e-h}
HA	2.2^{bc}	4.1	44.7^{c-e}	61.3^{gh}
ZnO+FTL	2.8^{ab}	4.3	53.4^{a-c}	62.6^{f-h}
ZnO+FTA	2.7^{ab}	4.4	42.8^{de}	66.0^{d-g}
ZnO+HA	2.1^{bc}	3.6	43.2^{de}	68.6^{c-g}
FTA+HA	2.6^{ab}	5.2	56.4^{ab}	68.6^{c-g}
FTL+FTA	2.2^{bc}	5.0	50.9^{a-d}	72.3^{b-d}
FTL+HA	2.2^{bc}	4.3	50.4^{b-d}	71.3^{b-d}
ZnO+FTL+FTA	2.8^{ab}	3.8	51.1^{a-d}	63.3^{e-h}
ZnO+FTL+HA	2.2^{bc}	4.8	55.8^{ab}	63.0^{f-h}
ZnO+FTA+HA	2.8^{ab}	4.7	46.0^{c-e}	69.3^{b-f}
FTA+FTL+HA	3.3^{a}	4.9	46.6^{c-e}	74.6^{a-c}
ZnO+FTL+FTA+HA	3.0^{a}	4.7	51.1^{a-d}	81.0^{a}
منابع تغییرات S.O.V	میانگین مربعات (MS)			
پیش‌تیمار Priming (df=15)	0.59*	0.60^{ns}	90.0**	110.0**
خطا Error (df=30)	0.24	0.40	20.0	10.0
ضریب تغییرات (درصد) CV	18.96	14.66	10.73	6.55

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column, means followed by at least one some letter are not significantly different at the 5% probability level.

^{ns}، * و **به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns,*, and** indicate not significant and significant at 5 and 1 levels of probability, respectively.

جذب این عناصر را توسط گیاه افزایش می‌دهد (Perez-Novo *et al*., 2008). اثربخشی هیومیک اسید و عنصر روی پیش‌تر در گیاه ذرت (Rashidifard *et al.*, 2021) گزارش شده بود. نسبت وزن خشک ریشه به ساقه در مرحله ۵ روز پس از بذرپاشی تحت تأثیر تیمارهای مورد ارزیابی قرار نگرفت. در حالی‌که تیمارهای مورد مطالعه در مراحل ۱۵ و ۲۵ روز پس از بذرپاشی در سطح احتمال یک درصد و در مرحله ۳۵ روزگی در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری بر نسبت وزن خشک ریشه به ساقه داشتند(جدول ۷). این نسبت از روز پنجم تا مرحله ۳۵ روز پس از بذرپاشی (زمان انتقال نشاء به زمین اصلی) روند کاهشی داشت. در ۳۵ روز بعد از بذرپاشی، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه در شاهد و تیمار ZnO+FTA بیشتر از تمامی سطوح پیش‌تیمار بود. اگرچه نسبت ریشه به قسمت‌های هوایی گیاهچه تحت کنترل ژنتیکی است ولی غلظت و نوع پیش‌تیمار می‌تواند نقش بسزایی در ضریب آلومتریک و محتوای آب بافتی گیاهچه ایفاء نماید (Balouchi *et al*,. 2014). در مراحل اولیه رشد گیاهچه‌های برنج، ریشه‌ها نقش حیاتی در جذب آب و مواد غذایی دارند و رشد و توسعه آن‌ها سریع‌تر است. اما با افزایش سن گیاهچه، توسعه اندام هوایی برای جذب نور و رشد سریع‌تر اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. تغییرات هورمونی در شرایط پیش‌تیمار بذر، رشد ساقه‌ها را تحریک می‌کند (Umair Hassan *et al*., 2020). همچنین شرایط محیطی خزانه به‌نفع رشد ساقه‌هاست، که باعث کاهش نسبت وزن خشک ریشه به ساقه می‌شود.

جدول۷- اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر نسبت وزن خشک ریشه به ساقه برنج رقم هاشمی در مراحل مختلف اندازه‌گیری

Table 7. The effect of different seed primings on root-to-shoot dry weight ratio of Hashemi rice cultivar at different measurement stages

پیش‌تیمار Priming	روز پس از بذرپاشی Day after sowing (DAS)			
	5	15	25	35
Control	0.77	0.59^{bc}	0.53^{ab}	0.45^{a}
ZnO	0.83	0.6^{bc}	0.51^{ab}	0.43^{ab}
FTL	0.68	0.59^{bc}	0.38^{de}	0.35^{bc}
FTA	0.59	0.58^{bc}	0.38^{de}	0.32^{c}
HA	0.78	0.55^{bc}	0.52^{ab}	0.35^{bc}
ZnO+FTL	0.6	0.51^{c}	0.44^{b-e}	0.39^{a-c}
ZnO+FTA	0.52	0.69^{b}	0.53^{ab}	0.45^{a}
ZnO+HA	0.78	0.67^{bc}	0.55^{a}	0.43^{ab}
FTA+HA	0.65	0.62^{bc}	0.35^{e}	0.44^{ab}
FTL+FTA	0.8	0.58^{bc}	0.44^{b-e}	0.4^{a-c}
FTL+HA	0.68	0.53^{bc}	0.53^{ab}	0.31^{c}
ZnO+FTL+FTA	0.49	0.57^{bc}	0.41^{c-e}	0.35^{bc}
ZnO+FTL+HA	0.61	0.58^{bc}	0.43^{b-e}	0.39^{a-c}
ZnO+FTA+HA	0.49	1.05^{a}	0.44^{b-e}	0.44^{ab}
FTA+FTL+HA	0.66	0.68^{b}	0.47^{a-d}	0.38^{a-c}
ZnO+FTL+FTA+HA	0.64	0.63^{bc}	0.5^{a-c}	0.3^{c}
منابع تغییرات S.O.V	میانگین مربعات (MS)			
پیش‌تیمار Priming (df=15)	0.035^{ns}	0.045^{**}	0.012^{**}	0.007^{*}
خطا Error (df=30)	0.031	0.010	0.003	0.003
ضریب تغییرات (درصد) CV	26.65	16.11	13..11	15.41

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column, means followed by at least one some letter are not significantly different at the 5% probability level.

ns، * و **به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns,*, and** indicate not significant and significant at 5 and 1 levels of probability, respectively.

براساس یافته‌ها اثر پیش‌تیمارها بر وزن خشک کل بوته در هر چهار مرحله نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نیز به‌خوبی نمایانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار ترکیبات مختلف پیش‌تیمار نسبت به شاهد بود (جدول ۸). در اولین مرحله نمونه‌برداری (۵ روز پس از بذرپاشی) ترکیب FTA+FTL+HA، با ۸۳ درصد، در روز پانزدهم ترکیب ZnO+FTA+HA، با ۳۲/۸۷ درصد، در روز بیست و پنجم پیش‌تیمار FTL با ۴۲ درصد و سرانجام در مرحله آخر یعنی ۳۵ پس از بذرپاشی کاربرد ZnO با ۲۸/۵۵ درصد افزایش نسبت به شاهد بیش‌ترین مقدار وزن خشک کل را ثبت کردند

جدول۸- اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر وزن خشک کل (میلی‌گرم در بوته) برنج رقم هاشمی در مراحل مختلف اندازه‌گیری
Table 8. The effect of different seed primings on total dry weight ratio of Hashemi rice cultivar at different measurement stages

پیش‌تیمار Priming	روز پس از بذرپاشی Day after sowing (DAS)			
	5	15	25	35
Control	3.0^{e}	7.3^{b-e}	58.1^{e}	85.1^{ef}
ZnO	4.0^{b-e}	7.8^{bc}	74.4^{a-d}	109.4^{a}
FTL	3.7^{c-e}	7.7^{bc}	82.5^{a}	95.4^{cd}
FTA	4.9^{ab}	8.5^{ab}	73.0^{a-d}	84.0^{ef}
HA	3.8^{c-e}	6.4^{c-e}	68.3^{b-e}	83.1^{f}
ZnO+FTL	4.6^{a-c}	6.5^{c-e}	76.6^{a-c}	87.6^{d-f}
ZnO+FTA	4.1^{b-d}	7.4^{b-e}	65.3^{de}	96.0^{b-d}
ZnO+HA	3.7^{c-e}	5.9^{e}	66.8^{b-e}	98.6^{bc}
FTA+HA	4.3 $^{b-d}$	8.4^{ab}	76.5^{a-c}	98.6^{bc}
FTL+FTA	3.8^{c-e}	7.9^{bc}	73.5^{a-d}	101.8^{a-c}
FTL+HA	3.7^{c-e}	6.7^{c-e}	77.0^{ab}	94.1^{d-e}
ZnO+FTL+FTA	4.2^{b-d}	6.0^{de}	72.1^{a-d}	85.8^{d-f}
ZnO+FTL+HA	3.4^{de}	7.6^{b-d}	80.3^{a}	87.6^{d-f}
ZnO+FTA+HA	4.2^{b-d}	9.7^{a}	66.3^{c-e}	100.1^{a-c}
FTA+FTL+HA	5.5^{a}	8.4^{ab}	68.9^{b-d}	103.0^{a-c}
ZnO+FTL+FTA+HA	4.9^{ab}	7.7^{bc}	76.8^{ab}	106.0^{ab}
منابع تغییرات S.O.V	میانگین مربعات (MS)			
پیش‌تیمار Priming (df=15)	1.1**	3.0**	110.0**	200.0**
خطا Error (df=30)	3.0	9.0	30.0	30.0
ضریب تغییرات (درصد) CV	14.19	12.81	8.65	6.48

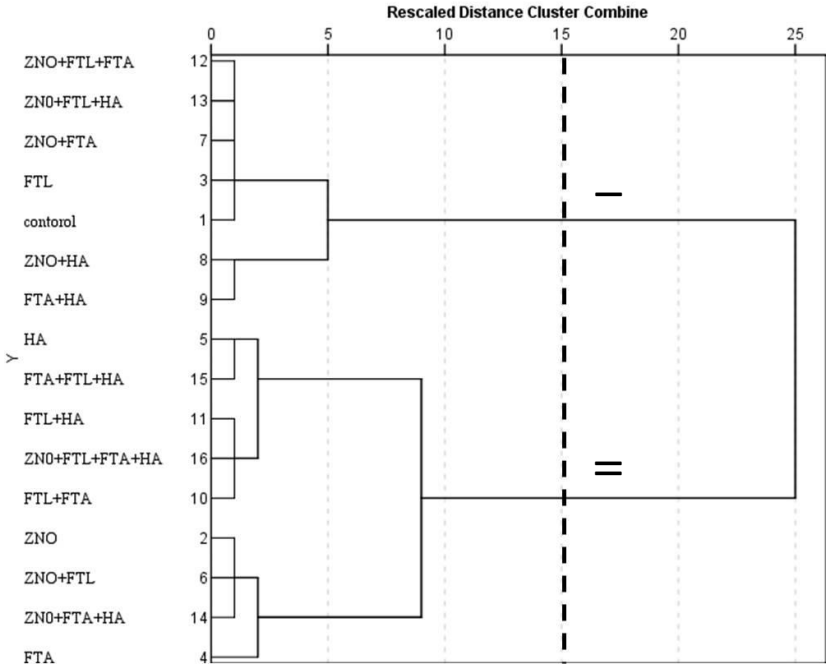
در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
In each column, means followed by at least one some letter are not significantly different at the 5% probability level.
^{ns}، * و **به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال خطای۵ و ۱ درصد می‌باشد.
ns,*, and** indicate not significant and significant at 5 and 1 levels of probability, respectively.

به‌نظر می‌رسد پیش‌تیمار بذر با قارچ‌های همزیست تریکودرما با افزایش تقویت رشد ریشه و بهبود توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی از طریق بهبود هیف‌های قارچ در منافذ خاک، سبب افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (Kapoor *et al*., 2004). اثر هم‌افزایی قارچ‌های همزیست و نانواکسید روی در خصوص افزایش ماده خشک به واسطه افزایش تحریک هورمون‌های رشد (Prasad *et al*., 2012; Gravel *et al*., 2007) و نقش کلیدی هیومیک اسید از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب عناصر ریزمغذی و رشد اندام‌های رویشی (Mahmoudi *et al*., 2014) کاملا مشهود بود.

طبق نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای ضریب کوفنیک به‌روش وارد ۰/۷۳ به‌دست‌آمد. براساس خط برش پیش‌تیمارها به دو گروه تقسیم شدند. تفاوت بین دو گروه براساس لامبدای ویلکس حاصل از تجزیه تابع تشخیص معنی‌دار (۰/۰۰۲) و صحت گروه‌بندی ۱۰۰ درصد بود (جدول ۹). گروه اول شامل هفت و گروه دوم شامل نه پیش‌تیمار بودند. پیش‌تیمارها در گروه اول شامل: شاهد، FTL، ZnO+FTA، ZnO+HA، FTA+HA، ZnO+FTL+FTA، ZnO+FTL+HA و در گروه دوم شامل ZnO، FTA، HA، ZnO+FTL، FTL+FTA، FTL+HA، ZnO+FTA+HA، FTA+FTL+HA و ZnO+FTL+FTA+HA بودند (شکل ۲).

مقایسه میانگین بین گروهی نشان داد در صفات مورد مطالعه گروه دو نسبت به گروه یک برتری داشت. دربین صفات مورد بررسی، صفت طول ریشه و وزن خشک ساقه بین دو گروه اختلاف معنی‌داری داشتند. به‌طوری‌که طول ریشه و وزن خشک ساقه در گروه دوم به‌ترتیب۳۱/۱۰ درصد و در صفت وزن خشک ساقه ۲۵/۱۷ درصد نسبت به گروه اول بیشتر بود (جدول ۱۰).

نتایج مقایسه میانگین درون گروهی برای گروه دوم نشان داد اثر تیمار مورد ارزیابی بر وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه و وزن خشک کل معنی‌دار شد. در بین سطوح مختلف پیش‌تیمار، نانواکسید روی به‌ترتیب با ۳۳/۱ و ۱۰۹/۴ میلی‌گرم در بوته، بیشترین تأثیر را بر وزن خشک ریشه و وزن خشک کل داشت. ترکیب پیش‌تیمار ZnO+FTL+FTA+HA نیز با ۸۱ میلی‌گرم در بوته بیشترین وزن خشک ساقه را به ثبت رساند. در واقع



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر به‌روش گروه‌بندی مینیمم وارد (ضریب کوفنیک: ۰/۷۳)

Figure 2. Dendrogram resulting from cluster analysis of different seed priming levels using the minimum variance ward's method (Cophenetic coefficient: 0.73)

جدول ۹- آزمون تابع تشخیص برای پیش‌تیمارهای مختلف بذر با استفاده از لامبدای ویلکس

Table 9. Discriminant function test for different seed primings by using wilks lambda

آزمون تابع Test of function	لامبدای ویلکس Wilks lambda	کای اسکوئر Chi-square	درجه آزادی df	معنی‌داری Significant
تابع اول	0.146	21.186	6	0.002

جدول ۱۰- مقایسه میانگین بین گروهی صفات مورفولوژیک گیاه برنج در سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر

Table 10. Comparison of intergroup means of rice plant morphological traits under different seed priming levels

گروه‌ها Grops	طول ریشه (سانتی‌متر) Root Length(cm)	طول ساقه (سانتی‌متر) Shoot Length(cm)	نسبت طول ریشه به ساقه Root-to-shoot length ratio	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم در بوته) Root dry weight (mg/Plant)	وزن خشک ساقه (میلی‌گرم در بوته) Shoot dry weight (mg/Plant)	نسبت وزن خشک ریشه به ساقه Root-to-shoot dry weight	وزن خشک کل (میلی‌گرم در بوته) Total dry weight (mg/Plant)
I	101.58[b]	6.13[a]	0.161[a]	421.50[a]	2391.5[b]	0.583[a]	1500[a]
II	147.44[a]	7.53[a]	0.203[a]	518.22[a]	3196.2[a]	0.721[a]	2000[a]
معنی‌داری Significant	**	ns	ns	ns	*	ns	ns

جدول ۱۱- مقایسه میانگین درون‌گروهی صفات مرتبط با گیاهچه برنج رقم هاشمی

Table 11. Intragroup comparison of mean related traits in rice seedling Hashemi cultivar

پیش‌تیمار Priming	طول ریشه (سانتی‌متر) Root Length(cm)	طول ساقه (سانتی‌متر) Shoot Length(cm)	نسبت طول ریشه به ساقه Root-to-shoot length ratio	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم در بوته) Root dry weight (mg/Plant)	وزن خشک ساقه (میلی‌گرم در بوته) Shoot dry weight (mg/Plant)	نسبت وزن خشک ریشه به ساقه Root-to-shoot dry weight	وزن خشک کل (میلی‌گرم در بوته) Total dry weight (mg/Plant)
ZnO	17.16	18.17	0.94	33.1^{a}	76.3^{b}	0.43	109.4^{a}
FTA	17.40	17.76	0.97	20.7^{f}	63.3^{e}	0.32	84.0^{g}
HA	16.54	17.30	0.95	21.8^{ef}	61.3^{e}	0.35	83.1^{g}
ZnO+FTL	16.86	18.20	0.92	24.9^{d}	62.6^{e}	0.39	87.6^{f}
FTL+FTA	16.20	17.80	0.91	29.5^{bc}	72.3^{c}	0.40	101.8^{cd}
FTL+HA	16.43	17.68	0.92	22.7^{e}	71.3^{cd}	0.31	94.1^{e}
ZnO+FTA+HA	16.86	17.81	0.94	30.8^{b}	69.3^{d}	0.44	100.1^{d}
FTA+FTL+HA	16.43	17.31	0.94	28.3^{c}	74.6^{b}	0.38	103.0^{c}
ZnO+FTL+FTA+HA	16.56	17.65	0.93	25.0^{d}	81.0^{a}	0.30	106.0^{b}
معنی‌داری Significant	ns	ns	ns	**	**	ns	**

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column, means followed by at least one some letter are not significantly different at the 5% probability level.

^{ns}، * و **به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال خطای۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns,*, and** indicate not significant and significant at 5 and 1 levels of probability, respectively.

نانواکسید روی سهم بیشتری از ماده خشک را به ریشه و پیش‌تیمار تلفیقی ZnO+FTL+FTA+HA ماده‌خشک بیشتری به اندام هوایی اختصاص داد.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، کاربرد پیش‌تیمارهای مختلف، به‌ویژه ترکیبات تلفیقی شامل قارچ‌های همزیست (FTL, FTA)، هیومیک اسید (HA) و نانواکسید روی (ZnO)، تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گیاه برنج در مراحل مختلف پس از بذرپاشی داشت. نتایج نشان داد که ترکیب‌های چندعاملی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش طول ریشه، وزن خشک ریشه و ساقه و در نهایت وزن خشک کل بوته شدند. در مراحل ابتدایی رشد، پیش‌تیمار تلفیقی FTA+FTL+HA بیشترین تأثیر را بر طول ریشه و ساقه داشت، در حالی‌که در مراحل میانی و پایانی رشد، پیش‌تیمارهای حاوی نانواکسید روی به‌ویژه ZnO و ترکیب چهارگانه ZnO+FTL+FTA+HA عملکرد بهتری نشان دادند. به‌نظر می‌رسد حضور نانواکسید روی از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های مؤثر در متابولیسم، از جمله آلفاآمیلاز، نقش مهمی در تحریک رشد ریشه ایفا کرده و موجب تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زیرزمینی شده است. همچنین قارچ‌های همزیست با افزایش کارایی جذب عناصر غذایی و بهبود تبادلات فیزیولوژیک ریشه، رشد گیاه را به شکل معنی‌داری ارتقاء دادند. هیومیک اسید نیز در مراحل بعدی رشد با بهبود خصوصیات فیزیکی و زیستی محیط ریشه، اثر هم‌افزایی مثبتی با سایر عوامل داشت. نتایج تحلیل خوشه‌ای و تابع تشخیص نیز نشان داد که پیش‌تیمارهای تلفیقی به‌ویژه ترکیبات حاوی ZnO به‌صورت معنی‌داری بر صفات طول ریشه و وزن خشک ساقه برتری داشتند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد تلفیقی قارچ‌های همزیست، اسید هیومیک و نانواکسید روی، راهکاری کارآمد برای بهبود رشد اولیه و افزایش پایداری گیاه برنج در مراحل ابتدایی رشد محسوب می‌شود.

تشکر و قدردانی

به‌این‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای حمایت‌های مالی در اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع

Ancy, L. U. and Stanly, N. 2022. Effect of nutripriming treatments on growth parameters of seedlings in tray nursery of rice, Journal of AgriSearch, 9(1): 59-62. https://doi.org/10.21921/jas.v9i01.9895 (**Journal**).

Asgharipour, M. and Rafiei, M. 2011. The effect of different concentrations of humic acid on seed germination behavior and vigor of barly. Iranian Journal of Research, Sciences, 1(2): 23-34. (In Persian) (**Journal**).

Balouchi, H. R., Bagheri, F., Kayednezami, R., Movahedi Dehnavi, M. and Yadavi, A. R. 2014. Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *Brassica napus* L. Plant Research, 26(4): 397-411. (In Persian) (**Journal**).

Dashti, Z., Biabani, A., Ahangari, L., Talie, F. and Hosseini Moghadam, H. 2021. The effect of *Trichoderma* fungus and chitosan on resistance of basil (*Ocimum basilicum*) to salt stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(2): 545-555. (In Persian) (**Journal**).

Deepa, S., Shadma, A. and Nand, K. S. 2021. Nanopriming with phytosynthesized zinc oxide nanoparticles for promoting germination and starch metabolism in rice seeds. Journal of Biotechnology, 336: 64-75. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.05.004 (**Journal**).

Emam, Y. 2011. Cereal Production. Shiraz University Press, 363. 3rd edition, Paper 190.

Esper Neto, M., Britt, D. W., Lara, L. M., Cartwright, A., Dos Santos, R. F., Inoune, T. T. and Batista, M. A. 2020. Initial development of corn seedlings after seed priming with nanoscale synthetic zinc oxide. Agronomy, 10(2): 307. https://doi.org/10.3390/agronomy10020307 (**Journal**).

Food and Agriculture Organization. 2023. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved June 10, 2023. from http://fao.org/crop/statistics.

Gamit, A. J., Lakhani, K. G., Suthar, K. P., Hamid, R., Patel, V. B., Karmakar, N., Patel, J. V. and Gudadhe, N. N. (2025). Zinc biofortification and yield enhancement in rice with nano-primed seeds and foliar sprays. Scientific Reports, 15: 20476. https://doi.org/10.1038/s41598-025-20476-x (**Journal**).

Ganjeali, A., Mousavi Kouhi, S. M., Beyk Khormizi, A. and Hossaini, S. V. 2021. Effect of seed priming on germination and morphophysiological traits of Rice transplants (*Oryza sativa* L.cv. Hashemi) under different moisture regimes. Iranian Journal of Seed Science and Research, 7(4): 433-445. (In Persian) (**Journal**).

Ghorbani, S., Khajeh Hosseini, M. and Rezaei, A. 2013. Effect of pretreatment of humic acid on germination and early seedling growth of maize (*Zea mays* L.). Agron. Plant Breed, 9: 37-43. (In Persian) (**Journal**).

Gilani, Z., Pirdashti, H. and Bakhshandeh, E. 2018. Effect of plant growth promoting microorganisms on some vegetative characteristics and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different levels of potassium fertilizer. Electronic Journal of Crop Production, 11(2): 197-214. (In Persian). (**Journal**).

Gravel, V., Antoun, H. and Tweddel. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with p. putida or *Trichoderma atroviride* possible role of indole acetic acid (IAA). Soil Biology and Biochemistry, 39: 1968-1977. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.015 (**Journal**).

Haghparast, R., Zangane, S. H. and Rajabi, R. 2011. The effect of seed treatment with humic and fulvic acid on wheat germination under drought stress. Proceedings of the 6th National Conference on New Ideas in Agriculture, Isfahan, Iran. **(Conference)**.

Harman, G. E., Taylor, A. G. and Stasz. 1989. Combining effective strains of *Trichoderma hareianum* and solid matrix priming to improve biological seed treatments. Plant Disease Reporter, 73: 631-637. **doi:** 10.1094/PD-73-0631(**Journal**).

Iqbal, M. and Ashraf, M. 2005. Changes in growth, photosynthetic capacity and ionic relations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) due to presowing seed treatment with polyamines. Plant Growth Regulation. 46:19-30. https://doi.org/10.1007/s10725-005-6399-5(**Journal**).

International Seed Testing Association (ISTA). 2020. International Rules for Seed Testing. Zurich, Switzerland. **(Edited book)**.

Jenabian, M., Taghavi Ghasemkheili, F., Pirdashti, H., Tajik Ghanbari, M. E., Emadi, S. M. and Yaghoubian, Y. 2021. The effect of biological pretreatment with *Trichoderma* and *Aspergillus* fungi

on enhancing zinc uptake tolerance threshold in wheat plants. Iranian Journal of Seed Science and Research, 9(3): 1-18. (In Persian) (**Journal**).

Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K. G. 2004. Improvement growth and essential oil yield and quality in foeniculum vulgar mill on mycorrizal inoculation supplemented with p-fertilizer. Bioresourse Technology, 93: 307-311. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.036 (**Journal**).

Latifi, S. A. and Omidi, H. 2019. Effect 0f priming on seed germination and rice seedling characteristics of Anbar Boo cultivar, under water deficit stress. Scientific Journal of Crop Physiology, 11(3): 5-21. (In Persian) (**Journal**).

Mahmud Soltani, S., Hossieni Chaleshtori, M., Nazari, S. and Shakouri Katigari, M. 2023. Effect of seed priming with zinc on seed germination characteristics, and morphological characters, and mineral content of rice tissues of Hashemi rice cultivar. Iranian Journal of Soil and Water Research, 54(5): 895-914. (In Persian) (**Journal**).

Mahmoudi, M., Samavat, S., Khalighi, A. and Cherati, A. 2014. The effect of humic acid and proline on morphological properties of *Actindia Deliciosa* cv. Hayward under salinity. Journal of Applied Science and Agriculture, 9: 261-267. (In Persian) (**Journal**).

Mohamed, S., Sheteiwy, D. Q., Jianyu, A., Song, W., Guan, Y., He, F., Huang, Y. and Hu, J. 2017. Regulation of ZnO nanoparticles-induced physiological and molecular changes by seed priming with humic acid in *Oryza sativa* seedlings. Plant Growth Regulation. 83: 27-41. https://doi.org/10.1007/s10725-017-0279-6 (In Persian) (**Journal**).

Nazari, S., Hosseini Chaleshtari, M. and Allahgholipour, M. 2021. Effect of seed priming and encrusting coating on yield and yield components of two rice cultivars. Iranian Journal of Field Crop Research, 19(3): 287-298. (In Persian) (**Journal**).

Nouri Akandi, Z. 2019. Identification and evaluation of performance of some endophytic fungi and foliar spraying of iron nanoparticles on phytoremediation of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under different levels of cadmium. Ph.D. Dissertation, Shahrood University of Technology, Iran. **(Thesis)**.

Pang, Z., Zhao, Y., Xu, P. and Yu, D. 2020. Microbial diversity of upland rice roots and their influence on rice growth and drought tolerance. Microorganisms, 8(9): 1-18. https://doi.org/10.3390/microorganisms8091294 (**Journal**).

Perez-Novo, C., Pateiro-Moure, M., Osorio, F., Novoa-Munoz, J. C., Lopez-Periago, E., Arias-Esteve, M., 2008. Influence of organic matter removal on competitive and noncompetitive adsorption of copper and zinc in acid soil. Jornal of Colloid and Interface Science. 322: 33-40. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.03.012 (**Journal**).

Pirdashti, H., Yaghoubian, Y., Nouri Akandi, Z., Emamian Tabarestani, M., Ashrafi, S. Y. and Vadipur, F. 2023. Effect of root symbiosis fungi on germination and growth components of two traditional and bred rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Iranian Journal of Seed Research, 10(1): 43-61. doi: 10.61186/yujs.10.1.43 (In Persian) (**Journal**).

Prasad, T. N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S. and Sajanlal, P. R. 2012. Effect of nanoscale zinc-oxide particles on the germination growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, 35: 905-927. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443 (**Journal**).

Rashidifard, A., Charm, M., Norouzi Masir, M. and Roshanfekr, H. 2021. Effect of seed priming with humic acid and zinc on some morphophysiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) seedlings under salinity stress condition. Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 14(4): 1115-1125. (In Persian) (**Journal**).

Sabety, M., Ghehsareh Ardestani, E., Tahmasebi, P. and Nikookhah, F. 2019. Effects of seesd biopriming on some characteristics of the germination and growth of *Astragalus ovinus* Boiss under drought strees. Desert Management, 7: 49-64. (In Persian) (**Journal**).

Sadeghzadeh Hemayati, S., Shahriari, R. and Saremirad, A. 2023. Role of humic acid pretreatment on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seed germination characteristics and early seedling growth. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 12(1): 79-89. (In Persian) (**Journal**).

Soltani, A. 2012. Use of SAS software in statistical analysis. Publication university of Mashhad.

Soltani, E., Akram-Ghaderi, F. and Maemar, H. 2008. The effect of priming on germination components and seedling growth of cotton seeds under drought. Jornal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(5): 9-16. (In Persian) (**Journal**).

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M. and Murphy, A. 2015. Plant physiology and development. 6th Edition, Sinauer
Associates, Sunderland, CT. p: 761.

Tavassoli, A. 2021. Effect of seed priming on yield and some qualitative indicators of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under drought stress. Journal of Desert Management, 9(1): 81-96. (In Persian) (**Journal**).

Toor, M. D., Adnan, M., Javed, M., Habibah, U., Arshad, A., Din, M. and Ahmad, R. 2020. Foliar application of Zn: Best way to mitigate drought stress in plant; A review. International Journal of Applied Research, 6(8): 16-20. (**Journal**).

Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A. and Liu, Y. 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. Agriculture, 10, 396 https://doi.org/10.3390/agriculture10090396 (**Journal**).

Wissuwa, M., Ismail, A. M. and Yanagihara, S. 2006. Effects of zinc deficiency on rice growth and genetic factors contributing to tolerance. Plant Physiology, 142(2): 731-741. https://doi.org/10.1104/pp.106.085225 (**Journal**)

Effect of different seed priming with symbiotic fungi, humic acid and zinc oxide on improving seedling traits of rice (*Oryza sativa* L.) at early growth stages

Seyed Ahmad Mokhtari Reykandeh[1], Hemmatollah Pirdashti[*2], Zahra Nouri Akandi[3], Hedayatollah Karimzadeh Soureshjani[4], Mohammad Yaghoubi Khanghahi[5]

Received: October 10, 2025 Accepted: November 26, 2025

Abstract

Weak seed vigor, root damage during transplanting, and high sensitivity to environmental stresses are among the most critical constraints in the initial establishment of rice. This study aimed to investigate the effects of different seed priming treatments on improving seedling traits of rice (*Oryza sativa* L. cv. 'Hashemi') at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, using a completely randomized design with three replications. The priming treatments consisted of 16 levels: a control, zinc oxide nanoparticles (ZnO), symbiotic fungi (*Trichoderma longibrachiatum* [FTL] and *T. atroviride* [FTA]), humic acid (HA), as well as dual, triple, and quadruple combinations of these agents. The fungi were cultured in a liquid potato dextrose broth (PDB) medium. After two weeks, when vegetative growth peaked, a suspension with a concentration of 10^8 colony-forming units per milliliter (CFU/mL) was prepared. Concentrations of 100 ppm were used for both HA and ZnO. Seedlings were sampled at 5, 15, 25, and 35 days after sowing (DAS). Measured morphological traits included root and shoot length (RL and SL), root-to-shoot length ratio (R:S), root and shoot dry weight (RDW and SDW), root-to-shoot dry weight ratio (RDW:SDW), and total dry weight (TDW). Results indicated that among the different priming treatments, ZnO application had the most significant effect on RDW and TDW, which increased by 23.50% and 28.55%, respectively, compared to the control. The combined treatment of ZnO+FTL+FTA+HA yielded the highest SDW (81 mg per plant), representing an increase of approximately 39% over the control. Integrated priming methods, particularly those containing ZnO, significantly enhanced RL (by approximately 2–7.5%) and SDW (by approximately 7–39%). In conclusion, the findings demonstrate the positive impact of combining symbiotic fungi, HA, and ZnO, suggesting this as an effective strategy for improving rice growth and establishment during the early growth stages.

Keywords: Dry weight; Humic acid; Trichoderma; Zinc oxide nanoparticles

How to cite this article

Mokhtari Reykandeh, S.A., Pirdashti, H., Nouri Akandi, Z., Karimzadeh Soureshjani, H. and Yaghoubi Khanghahi, M. 2025. Effect of different seed priming with symbiotic fungi, humic acid and zinc oxide on improving seedling traits of rice (*Oryza sativa* L.) at early growth stages. Iranian Journal of Seed Science and Research, 12(3): 13-28. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2025.9411

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Ph.D. Student in Crop Physiology, Faculty of Crop Sciences, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. ahmadm3203@gmail.com
2. Professor, Faculty of Crop Sciences, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. h.pirdashti@sanru.ac.ir
3. Assistant Professor, Faculty of Crop Sciences, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Noori11zahra@gmail.com
4. Assistant Professor, Faculty of Crop Sciences, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. hkarimzadeh@sanru.ac.ir
5. Postdoctoral Researcher, University of Basilicata, Potenza, Italy. Mohammad.Yaghoubi@unibas.it

*Corresponding author: h.pirdashti@sanru.ac.ir