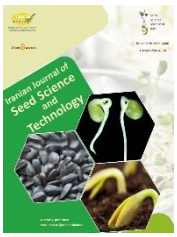
2025, 14 (1), 53-70 https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.363805.1503

Seed Science Society of Iran

Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of
Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

The response of germination and seedling vigour black cumin (*Nigella sativa* L.) different ecotypes to seed priming with humic acid and zinc

Faezeh Zaefarian[1*], Mohammad Mehdi Mirzaee[2], Shiva Taheri[3]

1. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2. PhD. Student of Crop Ecology, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3. M.Sc. Graduated Student of Agroecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Article Information

Received: 18 Oct. 2023
Revised: 12 Feb. 2024
Accepted: 27 Feb. 2024

Keywords:
Biozinc,
Medicinal plants,
Germination percentage,
Germination uniformity,
Radicle length,
Allometric coefficient

Corresponding Author:
fa_zaefarian@yahoo.com

Abstract

In order to investigate the effect of priming of seeds with on germination and seedling indices of three ecotype of black cumin seed, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized block design in four replications at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2021. The treatments of this experiment were ecotype in three levels Iranian, Indian and Syrian and seed priming in three levels humic acid, biozinc and control (without pretreatment). Characteristics of germination percentage and rate, germination uniformity, root, shoot and seedling length, dry weight of root, shoot and seedling, seedling tissue water content, seedling length vigour index and allometric coefficient were measured. The results showed that the studied treatments and their interaction had a significant effect on most of the measured traits. The maximum and minimum germination percentages (93.67% and 83.33%, respectively) were allocated to Iranian and Indian ecotypes; while the maximum germination uniformity (256.79 hours) was obtained in the Syrian ecotype pretreated with humic acid and the minimum germination uniformity (134.40 hours) was obtained in both Iranian ecotype without priming and the Iranian ecotype pretreated with biozinc. Also, the highest seedling length and seedling length vigour index were recorded in Iranian ecotypes pretreated with humic acid (4.20 cm and 400.21), respectively, and the lowest ones (1.42 cm and 113.01) in Syrian ecotype pretreated with biozinc. According to the results of the peresent research, black cumin priming with humic acid has a significant effect on some germination indices such as length index of seed stem and seedling, allometric coefficient, dry weight of radicle, shoot and seedling, length of radicle, shoot and seedling and germination uniformity.

How to cite this paper: Zaefarian, F., Mirzaee, M.M., & Taheri, S. (2025). The response of germination and seedling vigour black cumin (*Nigella sativa* L.) different ecotypes to seed priming with humic acid and zinc. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14* (1), 53-70. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.363805.1503

© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Black cumin (*Nigella sativa* L.) is an annual plant from the Ranunculaceae family that has a variety of uses in traditional medicine. Many medicinal plants face the problem of germination and seedling establishment in field conditions, and since the germination and seedling establishment stage is a very important stage in the life cycle of plants, therefore, applying strategies that improve germination and seedling establishment as well as yield will significantly contribute to the cultivation of medicinal plants. One of the common techniques that can increase the percentage, rate and uniformity of seed germination and sprouting under adverse environmental conditions, which can increase resistance to environmental stress in plants is seed priming. Therefore, the present experiment was conducted to investigate the effectiveness of suitable micronutrients for seed priming of different black cumin cultivars on some germination and establishment indices of this plant.

Material and Methods

In order to investigate the effect of priming of seeds with on germination and seedling indices of three ecotype of black cumin seed, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized block design in four replications at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2021. The treatments of this experiment were ecotype in three levels Iranian, Indian and Syrian and seed priming in three levels humic acid, biozinc and control (without priming). Characteristics of germination percentage and rate, germination uniformity, root, shoot and seedling length, dry weight of root, shoot and seedling, seedling tissue water content, seedling length vigour index and allometric coefficient were measured.

Results and Discussion

The results showed that the studied treatments and their interaction had a significant effect on most of the measured traits. The maximum and minimum germination percentages (93.67% and 83.33%, respectively) were allocated to Iranian and Indian ecotypes; while the maximum germination uniformity (256.79 hours) was obtained in the Syrian ecotype pretreated with humic acid and the minimum germination uniformity (134.40 hours) was obtained in both Iranian ecotype without priming and the Iranian ecotype pretreated with biozinc. Also, the highest seedling length and seedling length vigour index were recorded in Iranian ecotypes pretreated with humic acid (4.20 cm and 400.21), respectively, and the lowest ones (1.42 cm and 113.01) in Syrian ecotype pretreated with biozinc.

Conclusion

According to the results of the peresent research, black cumin priming with humic acid has a significant effect on some germination indices such as length index of seed stem and seedling, allometric coefficient, dry weight of radicle, shoot and seedling, length of radicle, shoot and seedling and germination uniformity.

دوره ۱۴، شماره ۱، صفحات ۷۰-۵۳
https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.363805.1503

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

پاسخ جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه توده‌های مختلف سیاه‌دانه به پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک و روی

فائزه زعفریان[1*]، محمدمهدی میرزایی[2]، شیوا طاهری[3]

۱. استاد، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲. دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

چکیده

به منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک و روی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه سه توده سیاه‌دانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۰ به اجرا درآمد. تیمارهای این آزمایش عامل توده در سه سطح ایرانی، هندی و سوری و عامل پیش‌تیمار بذر در سه سطح اسید هیومیک، بیوزینک و شاهد (بدون پیش‌تیمار) بودند. نتایج نشان داد تیمارهای مورد مطالعه و اثر متقابل آن‌ها بر اکثر صفات اندازه‌گیری شده تاثیر معنی‌داری داشتند. بیشینه و کمینه درصد جوانه‌زنی (به ترتیب ۹۳/۶۷ و ۸۳/۳۳ درصد) به ارقام ایرانی و هندی اختصاص یافت؛ درحالیکه بیشینه یکنواختی جوانه‌زنی (۲۵۶/۷۹) در توده سوری پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک و کمینه یکنواختی جوانه‌زنی (۱۳۴/۴۰) در توده ایرانی بدون پیش‌تیمار و ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک حاصل شد. همچنین بیشترین طول گیاهچه و شاخص طولی بنیه بذر به ترتیب برای ارقام ایرانی پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک (۴/۲۰ سانتی‌متر و ۴۰۰/۲۱) و کمترین آن در توده سوری پیش‌تیمار شده با بیوزینک (۱/۴۲ سانتی‌متر و ۱۱۳/۰۱) ثبت شد. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر پیش‌تیمار بذر سیاه‌دانه با اسید هیومیک تاثیر بسزایی در برخی شاخص‌های جوانه‌زنی نظیر شاخص طولی بنیه بذر و گیاهچه، ضریب آلومتریک، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و یکنواختی جوانه‌زنی داشت.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

واژه‌های کلیدی:
بیوزینک،
گیاهان دارویی،
درصد جوانه‌زنی،
یکنواختی جوانه‌زنی،
طول گیاهچه،
ضریب آلومتریک

نویسنده مسئول:
fa_zaefarian@yahoo.com

نحوه استناد به این مقاله:
Zaefarian, F., Mirzaee, M.M., & Taheri, S. (2025). The response of germination and seedling vigour black cumin (*Nigella sativa* L.) different ecotypes to seed priming with humic acid and zinc. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (1), 53-70. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.363805.1503

مقدمه

امروزه با توجه به اثرات جانبی داروهای شیمیایی، مصرف و اهمیت گیاهان دارویی از گسترش روزافزونی برخوردار شده است. سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی یک‌ساله از تیره آلاله (Ranunculaceae) است که در طب سنتی مصارف متنوعی دارد. سیاه‌دانه یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی در جهان است که هر ساله مقادیر فراوانی از آن در صنایع داروسازی، بهداشتی و صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه ارقام مختلفی دارد و کشت آن اغلب به‌منظور استفاده از روغن و اسانس آن انجام می‌گیرد؛ که یکی از راه‌های افزایش میزان روغن و اسانس، تغذیه بهینه آن می‌باشد (Caravaca et al., 2003).

مطالعه پیش‌تیمار بذرها از جنبه‌های اکولوژیکی، اقتصادی و کارایی بسیار مورد توجه می‌باشد (Pedrini et al., 2017). بسیاری از گیاهان دارویی با مشکل جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه در شرایط مزرعه مواجه هستند (Zare et al., 2011) و از آنجا که مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه مرحله بسیار مهم در چرخه زندگی گیاهان می‌باشد (Cheng & Bradford, 1999)؛ لذا، بکارگیری راهکارهایی که موجب بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه و همچنین عملکرد شود، به کشت گیاهان دارویی کمک شایان توجهی خواهد کرد. یکی از فنون ساده که می‌تواند سبب افزایش ویگور و قدرت بذر و استقرار بهتر گیاهچه و به تبع آن عملکرد بهتر گیاهان و پیشرفت فیزیولوژی باشد؛ پیش‌تیمار بذور است (McDonald, 2000). پیش‌تیمار بذر یک استراتژی متداول برای افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذور تحت شرایط نامساعد محیطی می‌باشد که می‌تواند مقاومت در برابر تنش‌های محیطی در گیاهان را افزایش دهد. پیش‌تیمار بذر عبارت است از کنترل جذب آب درون بذر که فعالیت متابولیکی لازم جهت جوانه‌زنی اتفاق افتد بدون اینکه ریشه‌چه از بذر خارج شود، در عین حال فعالیت‌های فیزیولوژیکی مختلفی در سطوح متفاوت رطوبتی در داخل بذر رخ می‌دهد. منظور از پیش‌تیمار بذر کاهش دادن زمان جوانه‌زنی، رخ دادن جوانه‌زنی در یک دوره کوتاه و بهبود زنده‌مانی و درصد جوانه‌زنی و یکنواختی در آن می‌باشد (Harris et al., 1999). با اعمال پیش‌تیمار بذر کارکرد بذر را می‌توان به وسیله تغییر شکل بذر یا قرار دادن ترکیبات شیمیایی روی پوسته بذر افزایش داد، که این امر باعث بهبود و تنظیم جوانه‌زنی می‌شود (Matthews, 2008).

پیش‌تیمار بذر روشی است که از غلظت کم مواد فعال برای ایجاد یک لایه نازک در اطراف بذر استفاده می‌کند. در این روش می‌توان از مواد فعال به ویژه محافظ‌های شیمیایی در گستره وسیعی استفاده کرد (Kimmelshue et al., 2019). استفاده از روش‌هایی مانند پیش‌تیمار با استفاده از کودهای زیستی، محرک‌های زیستی و نانوذرات، افزایش قابل توجهی در بهره‌وری کشاورزی ایجاد کرده است (Chandrika et al., 2019; Salcedo et al., 2020; Venkatachlam et al., 2017). پیش‌تیمار بذر امکان دسترسی تدریجی و نزدیک به منطقه ریشه مواد مغذی را برای سبزیجات فراهم می‌کند. این روش به دلیل اندازه کوچک دانه‌های گیاهان انجام می‌شود (Pedrini et al., 2017). روش‌های پیش‌تیمار بذر برای بهبود درصد جوانه‌زنی، قدرت گیاهچه و استقرار بوته مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mondal & Bose, 2019; Nciizah et al., 2020). پیش‌تیمار بذر علاوه بر اینکه استقرار و رشد گیاه را افزایش می‌دهد، حفاظت گیاه را تضمین می‌کند و تنش را نیز کاهش می‌دهد (Amirkhani et al., 2016; Kangsopa et al., 2018).

بررسی‌ها نشان داده است که کودهای آلی سبب بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و عملکرد محصول را افزایش می‌دهند. یکی از ترکیبات آلی مهمی که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است، اسیدهیومیک می‌باشد. این ترکیب از تجزیه بقایای گیاهی یا حیوانی به‌دست می‌آید (Trevisan et al., 2010). مواد هیومیک بخش اصلی مواد آلی تشکیل‌دهنده خاک هستند که شامل اسید هیومیک و اسید فولیک می‌باشند (Egamberdiyeva, 2005). اسید هیومیک به‌عنوان کود آلی دوست‌دار طبیعت نیز نام برده می‌شود (Samavat & Malakuti, 2005). از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی اشاره کرد که سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغازش ریشه‌های جانبی می‌شود (Abedi & Pakniyat, 2010). Trevisan et al., (2010) گزارش

کردند ترکیبات هیومیکی به واسطه فعالیت‌های هورمونی با افزایش وزن ریشه، راندمان فوتوشیمیایی و سطح آنتی‌اکسیدان‌ها باعث افزایش تحمل گیاه به تنش موجود می‌شوند. اسید هیومیک به انحلال و آزادسازی عناصر تثبیت شده کمک می‌کند و عناصر اضافی موجود در محیط را در خود ذخیره می‌نماید و در زمان مناسب در اختیار ریشه گیاه می‌گذارد (Dalvand et al., 2018). در مطالعه‌ای روی سیاه‌دانه گزارش شد که استفاده از اسید هیومیک صفات مورفولوژیک گیاه را تحت تاثیر قرار داد و موجب بهبود این صفات گردید (Terzi et al., 2010).

یکی از نقش‌های اساسی عنصر روی (Zn) در جوانه‌زنی بذر، افزایش رشد ریشه‌چه است در حضور عنصر روی ساخت هورمون‌ها از جمله اکسین افزایش می‌یابد (Cakmak, 2008). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش اکسین بذر همراه با حضور عنصر روی باعث افزایش رشد ساقه‌چه می‌شود (Yadegari, 2013). از دیگر نقش‌های این عنصرمهم می‌توان به حفظ یکپارچگی غشاءهای سلولی اشاره کرد (Marschner, 1995). روی یک ریزمغذی مورد نیاز برای فعالیت متابولیک بهتر است و نقش حیاتی در تعیین کیفیت و بهره‌وری محصولات غذایی دارد. در بسیاری از جنبه‌های فعالیت متابولیک و ساختاری گیاه از جمله فتوسنتز، تنفس، سنتز کلروفیل و عملکرد کلروپلاست نقش دارد (Zulfiqar et al., 2020). همچنین نقش مهمی در فعال‌سازی آنزیم، متابولیسم کربوهیدرات و سنتز پروتئین و نیز در لقاح و عملکرد گرده ایفاء می‌کند (Rehman et al., 2018a; Rehman et al., 2018b; Ullah et al., 2020). همچنین مطالعه تاثیر اثر پیش‌تیمار بر بنیه بذر و گیاهچه دو رقم برنج نشان داد که اثر تیمارهای کاربردی (شامل تیمار حاوی سولفات روی) روی صفات هدایت الکتریکی، سرعت رسیدن بذر به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه در واحد سطح در روز بیستم بعد از کاشت و مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵، ۲۵ و ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذر، در سطح یک درصد و صفات سرعت جوانه‌زنی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (Akhgari & Kaviani, 2019). Farzaneh et al. (2021) گزارش کردند که پیش‌تیمار بذر چغندرقند با عناصر ریزمغذی روی و منگنز باعث بهبود شاخص‌های سبزشدن و افزایش وزن خشک گیاهچه می‌شود. در مطالعه تاثیر پیش تیمار بذور شنبلیله در فرایند جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد نتایج نشان داد پیش‌تیمار با هیومیک اسید موجب افزایش طول ریشه، طول ساقه، طول گیاهچه، گیاهچه و شاخص بنیه طولی بذر نسبت به سایر تیمارها شد (Batmani et al., 2016).

از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی اشاره کرد که سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغازش ریشه‌های جانبی می‌شود (Abedi & Pakniyat, 2010).

گوگرد چهارمین عنصر ضروری بعد از نیتروژن، فسفر و پتاسیم است و کار اصلی آن در گیاهان، کمک به ساخت اسیدهای آمینه گوگردار (نظیر متیونین و سیستئین)، تشکیل کلروفیل، فعال کردن آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ پروتئین، شرکت در ساختار ویتامین‌های بیوتین و فعالیت ATP سولفوریلاز است (Jamal et al., 2010).

با توجه به اینکه یکی از مزیت‌های مهم پیش‌تیمار کردن بذر این است که مواد مستقیماً بر روی بذر و بلافاصله در اطراف گیاهچه‌های در حال جوانه‌زده قرار می‌گیرند و همچنین عناصر ریزمغذی شرایط عمومی گیاه را بهبود می‌بخشند، لذا، آزمایش حاضر به منظور بررسی تاثیرگذاری عناصر کم مصرف مناسب برای پیش‌تیمار بذر ارقام مختلف سیاه‌دانه روی برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و استقرار این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. تیمارهای این آزمایش عبارت بودند از بذر سه توده سیاه دانه هندی، سوری و ایرانی و پیش‌تیمار بذر در سه سطح اسید هیومیک، بیوزینک و شاهد (بدون پیش‌تیمار). ارقام مورد استفاده از جهاد دانشگاهی استان گلستان تهیه شد که منشاء اولیه بذر هندی و سوری به ترتیب کشورهای هندوستان و سوریه بود و توده ایرانی از توده اصفهان استفاده شد که تمامی این بذور بعد از کشت و سازگاری در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

گلستان در سال ۱۴۰۰، برای این پژوهش تهیه گردید. تیمارها شامل اسید هیومیک تولید شرکت زیست فن‌آور سبز حاوی اسید هیومیک ۱۲٪، اسید فولویک ۲٪، پتاسیم محلول ۴٪ وزنی و بیوزینک تولید شرکت کیمیاسبز یاخته حاوی روی محلول ۱۴٪، گوگرد محلول ۸٪ بودند.

در ابتدای آزمایش بذرها یک ساعت قبل از قرار گرفتن در ژرمیناتور، در محیط آزمایشگاهی و به دور از نور آفتاب با تیمار اسیدهیومیک و بیوزینک هر کدام بطور جداگانه با غلظت ۲ درصد وزنی بذر با محلول یا ترکیب (۰/۰۱ سی‌سی اسیدهیومیک یا بیوزینک + ۱ سی‌سی آب مقطر + ۲۰۰ عدد بذر (چهار تکرار ۵۰ تایی معادل وزنی ۰/۵ گرم بذر) بازای هر توده هندی، ایرانی و سوری آغشته شدند. پس از تلقیح در محیطی تمیز در زیر دستگاه لامینارفلو، جهت پوشش و نفوذ بهتر ترکیبات به بذور بطور جداگانه پهن گردید و بعد از گذشت نیم ساعت بذور در چهار تکرار ۵۰ تایی بذر در پتری‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر روی کاغذ صافی واتمن مرطوب شده با آب مقطر قرار داده شد و درب پتری‌ها با نوار پارافیلم جهت حفظ رطوبت بسته شد و طی ۱۴ روز درون ژرمیناتور (مدل X630- ساخت ایران) با دمای ۱۰/۲۰ درجه سلسیوس (روز/ شب) قرار داده شد که این دما بر اساس نتایج مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته محققین و پیشنهاد دمای بهینه جوانه‌زنی سیاه‌دانه در دستگاه ژرمیناتور تنظیم گردید (Mohammadpour & Nabipour, 2011). در طول دوره شمارش (اولین شمارش (روز دوم) و آخرین شمارش (روزچهاردهم)) هر روز تعداد بذور جوانه‌زده برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی بذر شمارش شد؛ که بدلیل تنظیم دمای بهینه در دستگاه ژرمیناتور به منظور جوانه‌زنی و وجود شرایط ایده‌ال رطوبتی در پتری‌ها، روند افزایشی در تعداد بذور جوانه‌زده در روزهای پایانی (دو روز مداوم عدم جوانه‌زنی بذور) مشاهده نشد؛ بنابراین روز چهاردهم معیار پایان زمان جوانه‌زنی درنظر گرفته شد. همچنین مبنای جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر از بذر بود.

صفات مورد اندازه‌گیری شامل درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی بنیه بذر، ضریب آلومتریک، محتوای آب بافت گیاهچه و یکنواختی جوانه‌زنی می‌باشند.

در پایان دوره جوانه‌زنی یعنی روز چهاردهم بعد از حذف گیاهچه‌های غیرنرمال از هر پتری تعداد ۲۵ گیاهچه بطور تصادفی انتخاب و طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه با استفاده از خط‌کش و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با ترازوی ۴ صفر پس از خشک شدن نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، اندازه‌گیری شدند (Ya-jing et al., 2009).

صفت یکنواختی جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از برنامه Germin محاسبه شد (Soltani et al., 2001). در این برنامه برای محاسبه سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، ابتدا منحنی جوانه‌زنی تجمعی هر تکرار در مقابل زمان (برحسب ساعت) رسم، و سپس با استفاده از روش درون‌یابی خطی مدت زمان از کاشت تا زمانی که ۱۰ درصد و ۹۰ درصد جوانه‌زنی اتفاق بیفتد؛ محاسبه می‌شود. این زمان‌ها به ترتیب به صورت D_{10} تا D_{90} نشان داده می‌شود. سرعت جوانه‌زنی D_{50} معادل عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی است، و یکنواختی جوانه‌زنی یعنی تفاضل زمان رسیدن از ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D_{90}-D_{10}) و هرچه مقدار این مدت زمان عدد کمتر باشد، یکنواختی(همزمانی) جوانه‌زنی بذور بیشتر است (Soltani et al., 2001). همچنین صفات شاخص طولی بنیه بذر (Abdual-baki & Anderson, 1973)، ضریب آلومتریک (Hussain, 1989) و محتوای آب بافتی گیاهچه (Tsonev, 1998) نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

شاخص طولی بنیه بذر =
درصد جوانه‌زنی × (میانگین طول ریشه‌چه + میانگین طول ساقه‌چه)

$$\text{ضریب آلومتریک} = \frac{\text{میانگین وزن خشک ریشه‌چه}}{\text{میانگین وزن خشک ساقه‌چه}}$$

$$\text{محتوای آب بافتی گیاهچه (TWC)} = \frac{\text{(وزن خشک گیاهچه − وزن تر گیاهچه)}}{\text{وزن تر گیاهچه}} \times ۱۰۰$$

پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های یاد شده، تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و نمودارها در محیط Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که نوع توده و پیش‌تیمار بذر بر درصد جوانه‌زنی و حداکثر جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت، اما اثر متقابل آن‌ها بر صفات مذکور معنی‌دار نگردید (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر ساده توده، بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۳/۶۷ درصد) با اختلاف معنی‌دار برای توده ایرانی محاسبه شد، در حالی که اختلاف معنی‌داری بین توده سوری و هندی وجود نداشت. در رابطه با حداکثر جوانه‌زنی، بیشینه و کمینه مقدار (به ترتیب ۹۳/۶۸ و ۸۴/۶۷) برای ارقام ایرانی و هندی ثبت شد، اما براساس مقایسه میانگین، پیش‌تیمار کردن بذور بر این صفت تأثیر معکوس داشته است (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش‌تیمار بذر بر شاخص جوانه‌زنی

Table 1- Analysis of variance of the effect of ecotype and priming on germination index

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	حداکثر جوانه‌زنی Germination max	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity
توده Ecotype (E)	2	339.11**	206.50**	0.00003**	1561.57**
پیش‌تیمار Priming (P)	2	356.78**	301.56**	0.00009**	2755.42**
توده × پیش‌تیمار E×P	4	5.11ns	5.70ns	0.00001**	11987.42**
خطای آزمایش Error	27	27.04	2.34	0.0000006	3.11
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.92	1.73	10.45	0.98

ns ، ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

n.s, ** non-significant, significance at 5% probability level.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، اثر نوع توده، پیش‌تیمار کردن بذر و اثر متقابل بین آن‌ها بر صفات سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی بذور سیاهدانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که در هر سه توده پیش‌تیمار موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی شد؛ به طوری‌که بجز در توده ایرانی که بدون پیش‌تیمار تفاوت معنی‌داری با پیش‌تیمار با اسید هیومیک نداشت؛ در دو توده سوری و هندی تفاوت معنی‌داری بین پیش‌تیمار بذر و بدون پیش‌تیمار وجود داشت و پیش‌تیمار بذر تأثیر منفی بر سرعت جوانه‌زنی بذور داشته است (شکل ۱- الف). گزارش Matthews (2002) حاکی از آن است که بیشترین درصد جوانه‌زنی همانند پژوهش حاضر مربوط به بذر فاقد پوشش بود و به نظر می‌رسد وجود مواد پوشش‌دهنده در اطراف بذر سبب تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش درصد جوانه‌زنی در تیمارهای پیش‌تیمار شده می‌شود، هر چند درصد جوانه‌زنی و حداکثر جوانه‌زنی بذور پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک اختلاف معنی‌داری با شاهد بدون پیش‌تیمار نداشتند (جدول ۲).

سرعت جوانه‌زنی یکی از قدیمی‌ترین مفاهیم در رابطه با بنیه بذر می‌باشد (Maguire, 1962). Scott (1998) در مطالعه‌ای گزارش کرد که اثر پیش‌تیمار بر بذور گیاهان مختلف بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهان تأثیر داشته و در برخی موارد سبب تأخیر در جوانه‌زنی بذور شده است. کاهش سرعت جوانه‌زنی در بذور پیش‌تیمار شده می‌تواند به این دلیل باشد که مواد پیش‌تیمار در اطراف بذر سبب تأخیر در خروج ریشه‌چه در تیمارهای پیش‌تیمار شده می‌شود. Gorim (2014) اظهار داشت که پیش‌تیمار بذور به طور کلی سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با بذور بدون پیش‌تیمار می‌شود و در این ارتباط ضخامت مواد پیش‌تیمار عامل تعیین کننده می‌باشد. به طوری که، اگر سهم مواد پیش‌تیمار بذر از کل دانه (بذر+ مواد پیش‌تیمار بذر) ۷۵ درصد باشد؛ آن‌گاه جوانه‌زنی کمتر تحت تأثیر پیش‌تیمار قرار

می‌گیرد، در حالی که پیش‌تیمار بذر با سهم کمتر از ۵۰ درصد از کل دانه شدیداً سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد.

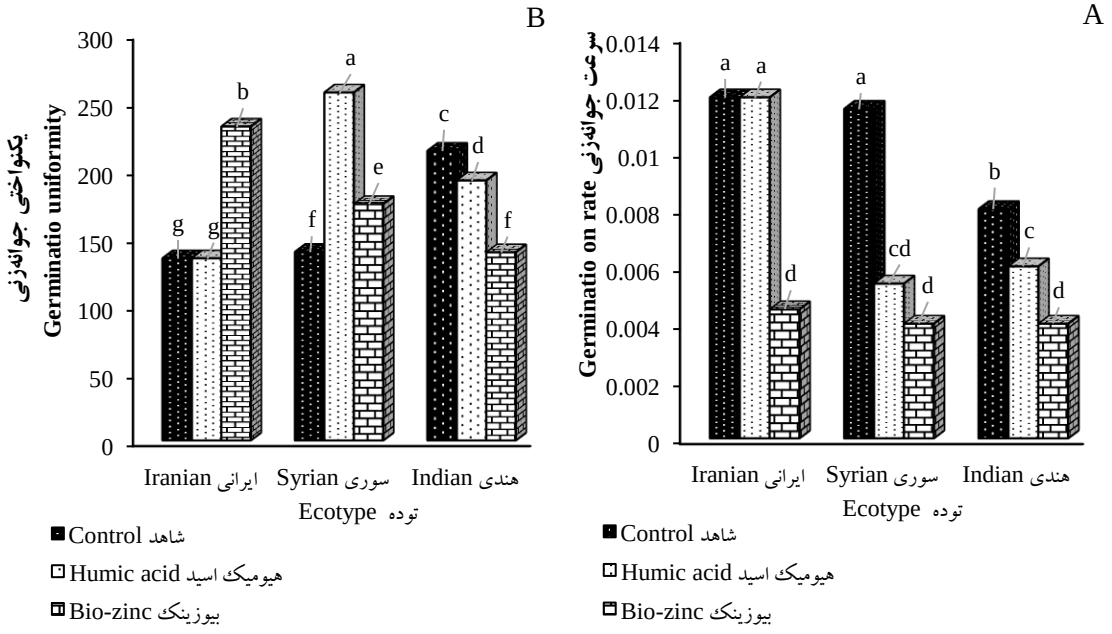
جدول ۲- مقایسات میانگین اثرات ساده توده و پیش‌تیمار بذر بر درصد جوانه‌زنی و حداکثر جوانه‌زنی

Table 2- Mean comparisons of simple effects of ecotype and priming on germination perecentage and maximum germination

تیمار Treatment	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	حداکثر درصد جوانه‌زنی Maximum germination percentage
توده Ecotype (E)		
ایرانی Iranian	93.67a	93.68a
سوری Syria	86.33b	86.36b
هندی Indian	83.33b	84.67c
پیش‌تیمار Priming (P)		
شاهد Control	91.33a	91.32a
اسید هیومیک Humic acid	90.50a	91.82a
بیوزینک Bio-zinc	81.50b	81.56b

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.



شکل ۱- تأثیر توده و پیش‌تیمار بذر بر سرعت جوانه‌زنی/ ساعت (A) و یکنواختی جوانه‌زنی/ ساعت (B)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Figure 1- The effect of ecotype and priming on germination rate (A) and germination uniformity (B)
Means in each column were compared at 5% level of probability according to LSD

نتایج مقایسه میانگین یکنواختی جوانه‌زنی حاکی از برتری توده ایرانی نسبت به بقیه بود؛ به‌طوری‌که یکنواختی جوانه‌زنی با اختلاف معنی‌دار نسبت به دیگر تیمارها برای توده ایرانی بدون پیش‌تیمار و پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک (با میانگین ۱۳۴/۴۰ ساعت) حاصل شد؛ درحالی‌که کمترین یکنواختی بدست آمده مربوط به توده سوری پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک (۲۵۶/۷۹ ساعت) بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۱- ب). در طی مرحله اول جوانه‌زنی، بذرها تا شروع مرحله دوم متابولیسم فعال، آب جذب می‌کنند (Afzal et al., 2013). جذب رطوبت تا رسیدن به حالت هیدراسیون تمام محتویات سلول ادامه می‌یابد (Weitbrecht et al., 2011).

گزارش‌های متناقضی در گندم به دست آمد که دانه‌های پیش‌تیمار شده زمان بیشتری برای ورود به فاز دوم جوانه‌زنی نشان دادند. دلیل جذب آهسته رطوبت این بود که عامل پوشش دهنده حرکت آب به سمت میکروپیل‌های دانه خشک یا آسیب موقت غشاء را محدود می‌کرد. قرار گرفتن دانه‌های پوشش داده شده با آسیب غشاء در معرض هیدراسیون، نشت املاح را در مقایسه با دانه‌های بدون پوشش نشان دادند (Afzal et al., 2020). عوامل پوشش دهنده بذور تأثیر قابل توجهی بر طول مدت مراحل جذب و متابولیسم فعال در جوانه‌زنی دارند. در نتیجه، مدت زمان بیشتری برای تکمیل مراحل اول و دوم در گندم و جو در مورد دانه‌های پوشش داده شده مشاهده شده است که در نهایت زمان ظهور ریشه‌چه را به دلیل تاخیر در انتقال ساکارز برای گلیکولیز افزایش می‌دهد (Weitbrecht et al., 2011).

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های متوسط زمان یا تعداد روز تا حداکثرجوانه‌زنی (مدت زمان رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی بر حسب ساعت/ روز) حاکی از آن است که اعمال تیمارهای مورد نظر و اثر متقابل بین آن‌ها بر صفات فوق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳). مطابق با نتایج مقایسات میانگین، بیشترین مدت زمان برای درصد جوانه‌زنی مورد مطالعه برای توده هندی سیاهدانه با پیش‌تیمار بیوزینک حاصل شد. از طرف دیگر، کمترین مدت زمان برای تمامی درصدها برای توده ایرانی بدون پوشش ثبت شد که اختلاف معنی‌داری با همین توده با پیش‌تیمار با اسید هیومیک نداشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد با توجه به اینکه سرعت جوانه‌زنی بذور پیش‌تیمار شده به سبب تأخیر ایجاد شده توسط مواد پیش‌تیمار در خروج ریشه‌چه کاهش داشت؛ پیش‌تیمار با اسید هیومیک و بیوزینک سبب افزایش مدت زمان رسیدن به درصدهای مختلف جوانه‌زنی شدند (جدول ۴).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۵، اعمال تیمارهای مورد مطالعه (نوع توده و پیش‌تیمار بذر) و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین طول گیاهچه در سطح احتمال یک درصد داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش‌تیمار بذر بر تعداد روز تا جوانه‌زنی

Table 3- Analysis of variance of ecotype and priming effect on day to germination

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	روز تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی D_{10} Day to 10 percent germination	روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی D_{50} Day to 50 percent germination	روز تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی D_{90} Day to 90 percent germination
توده Ecotype (E)	2	8350.98**	10684.91**	13674.02**
پیش‌تیمار Priming (P)	2	31036.17**	38596.64**	38455.90**
توده × پیش‌تیمار E×P	4	1336.35**	2801.58**	7760.75**
خطای آزمایش Error	18	2.54	2.08	4.71
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		2.34	0.87	0.88

جدول ۴- مقایسات میانگین اثر متقابل توده و پیش‌تیمار بذر بر تعداد روز تا جوانه‌زنی

Table 4- Mean comparisons of interaction effect of ecotype and priming on day to germination

توده Ecotype	پیش‌تیمار Priming	روز تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی D_{10} (ساعت) Day to 10 percent germination (h)	روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی D_{50} (ساعت) Day to 50 percent germination (h)	روز تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی D_{90} (ساعت) Day to 90 percent germination (h)
ایرانی Iranian	شاهد Control	16.82f	84.03h	151.23g
	اسید هیومیک Humic acid	16.80f	84.00h	151.23g
	بیوزینک Bio-zinc	81.54c	221.90c	313.18b
سوری Syrian	شاهد Control	17.39f	86.94g	156.50f
	اسید هیومیک Humic acid	40.11d	185.73e	305.88c
	بیوزینک Bio-zinc	142.38b	239.96b	316.79ab
هندی Indian	شاهد Control	35.77e	152.01f	249.50e
	اسید هیومیک Humic acid	82.17c	194.15d	274.06d
	بیوزینک Bio-zinc	179.82a	249.22a	318.65a

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش‌تیمار بذر بر برخی ویژگی‌های گیاهچه

Table 5- Analysis of variance of ecotype and priming effect on some seedling characteristics

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Shoot length	طول گیاهچه Seedling length
توده Ecotype (E)	2	0·15**	0·31**	0·09**
پیش‌تیمار Priming (P)	2	6·79**	0·32**	8·48**
توده × پیش‌تیمار E×P	4	0·66**	0·43**	1·87**
خطای آزمایش Error	27	0.0004	0.0003	0.0007
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		1.46	1.25	0.91

**، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

**, significance at 5% probability level.

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل توده و پیش‌تیمار بذر بر صفات مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داد که بیشترین طول ریشه‌چه (۲/۱۴ سانتی‌متر) برای توده هندی پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با دو توده دیگر که بذور آن‌ها با اسید هیومیک پیش‌تیمار شده بود، نداشت (جدول ۶)؛ همچنین، بیشترین طول ساقه‌چه و گیاهچه (به ترتیب ۲/۱۱ و

۴/۲۰ سانتی‌متر) برای توده ایرانی پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک حاصل شد که اختلاف معنی‌دار با بذرهای بدون پوشش همین توده نداشت. در حالی که کمترین مقدار این صفات در بذور توده سوری با پیش‌تیمار بیوزینک (به ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۴۲ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسات میانگین اثر متقابل توده و پیش‌تیمار بذر روی برخی ویژگی‌های گیاهچه

Table 6- Mean comparisons of interaction effect of ecotype and priming on some seedling characteristics

توده Ecotype	پیش‌تیمار Priming	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)
ایرانی Iranian	شاهد Control	2.13a	1.99ab	4.12a
	اسید هیومیک Humic acid	2.09a	2.11a	4.20a
	بیوزینک Bio-zinc	0.48c	1.50c	1.98d
سوری Syrian	شاهد Control	1.73b	1.80b	3.53bc
	اسید هیومیک Humic acid	2.04a	1.82b	3.86ab
	بیوزینک Bio-zinc	0.21d	1.21d	1.42e
هندی Indian	شاهد Control	2.08a	1.35cd	3.43c
	اسید هیومیک Humic acid	2.14a	1.44c	3.58bc
	بیوزینک Bio-zinc	0.67c	1.37cd	2.04d

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۷، اعمال تیمارهای مورد مطالعه (نوع توده و پیش‌تیمار بذر) و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاهچه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۷). گیاهچه‌های حاصل از توده هندی همراه با پیش‌تیمار اسید هیومیک توانست رشد بیشتری کنند و بیشینه وزن خشک ساقه‌چه (۰/۴۳ گرم) و همچنین وزن خشک گیاهچه (۰/۶۷ گرم) را به خود اختصاص دهند (جدو ل ۸)؛ تیمار کردن بذر با عناصر کم‌مصرف، پتانسیلی برای به‌کارگیری عناصر کم‌مصرف جهت برطرف کردن نیاز گیاهان زراعی دارد و باعث بهبود سبز شدن گیاهچه، استقرار گیاه، عملکرد و غنی‌سازی دانه با عناصر کم‌مصرف می‌شود (Farooq et al., 2012). حال آنکه پیش‌تیمار توده ایرانی با بیوزینک منجر به کاهش رشد گیاهچه گردید؛ به طوری‌که وزن خشک ساقه‌چه (۱۳/۸ درصد) و همچنین وزن خشک گیاهچه (۲۶/۳ درصد) نسبت به عدم پیش تیمار در این توده کاهش یافت (جدول ۸).

عناصر ریزمغذی نقش مفید و ارزنده‌ای در پیش‌تیمار کردن بذور ایفاء می‌کنند. گزارش شده است که پیش‌تیمار بذور با عناصر کم‌مصرف و پرمصرف سبب افزایش رشد اولیه گیاهچه می‌شوند، با این وجود در مقادیر یا غلظت‌های مصرفی عناصر غذایی به منظور روکش‌دار کردن بذر، محدودیت وجود دارد و بایستی از مقادیری استفاده شود که به جوانه‌زنی بذر آسیب نرسانند (Pedrini et al., 2017). براساس نتایج، پیش‌تیمار بذور سیاهدانه با اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌داری در وزن خشک

ریشه‌چه نیز شد؛ در حالی که پیش‌تیمار بذور با بیوزینک تأثیر کاهشی چشمگیری داشت (جدول ۸). Mohammad & Rafiei (2011) بیان داشتند که پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک به علت تغییرات متابولیکی و بیوشیمیایی، افزایش فعالیت پروتئین، کربوهیدرات و آنزیم‌ها منجر به جوانه‌زنی سریع و افزایش ظهور گیاهچه شده و با افزایش متابولیسم و نفوذپذیری سلول‌ها نسبت به آب و مواد غذایی، سبب تحریک ریشه‌زایی و افزایش طول ریشه‌چه می‌شود. این احتمال وجود دارد که غلظت انتخاب شده برای پیش‌تیمار بذور با استفاده از بیوزینک مناسب نبوده باشد، چرا که مشخص شده است پیش‌تیمار بذور با غلظت بالای عناصر کم‌مصرف سبب از بین رفتن بذر و جلوگیری از جوانه‌زنی می‌شود (Roberts, 1948). همچنین در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که غلظت‌های بیش از ۵۰ میلی‌مولار روی بر جوانه‌زنی بذرهای جو اثر منفی داشت (Ajouri et al., 2004). از طرف دیگر، پاسخ بذرها به پیش‌تیمار به نوع محلول و زمان پیش‌تیمار، بلوغ بذر، نوع توده و شرایط محیطی بستگی دارد (Nascimento, 2003). بنابراین مدت زمان پیش‌تیمار نیز عاملی مؤثر در نتیجه حاصل از آن بر شاخص‌های جوانه‌زنی خواهد بود (Ehteshami & Kianinezhad, 2017)، چرا که گزارش شده است مدت زمان نامناسب پیش‌تیمار سبب اثرات منفی بر درصد جوانه‌زنی در بذرهای گوجه‌فرنگی شد (Penaloza & Eira, 1993). اثرات منفی پیش‌تیمار بر شاخص‌های جوانه‌زنی چه در اثر غلظت نامناسب و چه مدت زمان نادرست شاید در اثر تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد روی غشاها در اثر پیش‌تیمار باشد. رادیکال‌های آزادی که در غشاء سلول‌ها در طی پیش‌تیمار به وجود می‌آیند ممکن است تأثیر نامطلوبی روی سلول‌ها و بذر پیش‌تیمار شده داشته باشند (Ward & Poweel, 1983)، چرا که تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال سبب خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود (Fu & Huang, 2001; Kabiri et al., 2013).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش‌تیمار بذر بر برخی ویژگی‌های گیاهچه

Table 7- Analysis of variance of the ecotype and priming effect on some seedling characteristics

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	وزن خشک ریشه‌چه Root dry weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight
توده Ecotype (E)	2	0·03**	0·06**	0·16**
پیش‌تیمار Priming (P)	2	0·02**	0·06**	0·14**
توده × پیش‌تیمار E×P	4	0·001**	0·01**	0·02**
خطای آزمایش Error	27	0.000003	0.00003	0.00003
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		0.55	4.21	1.26

تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده از تأثیر نوع توده و پیش‌تیمار بذر حاکی از معنی‌دار شدن اثر ساده هر یک از تیمارها و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر صفات شاخص طولی بنیه بذر، ضریب آلومتریک و محتوای آب بافتی گیاهچه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۹). شاخص طولی بنیه بیانگر قدرت بذر می‌باشد و کلیه خصوصیات بذر که تعیین‌کننده توانایی بذر برای سبز شدن سریع و یکنواخت و نمو طبیعی گیاهچه‌ها تحت شرایط مزرعه‌ای مختلف را شامل می‌شود (AOSA, 1983). بر اساس نتایج مشاهده شده شاخص طولی بنیه بذر در هر سه توده با پیش‌تیمار با اسید هیومیک افزایش یافت که تفاوت معنی‌داری با بدون پیش‌تیمار نداشت ولی تفاوت معنی‌داری با پیش تیمار با بیوزینک نشان داد (جدول ۱۰). بنیه بذر از دو مؤلفه درصد جوانی‌زنی و رشد طولی و وزنی گیاهچه تشکیل شده است که در مطالعه حاضر نیز بیشترین میانگین رشد طولی و وزنی گیاهچه برای بذور پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک بدست آمد، در نتیجه شاخص طولی بنیه بذر و گیاهچه در این تیمار افزایش می‌یابد که

با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. Nouriyani (2019) نیز اظهار داشت که بیشترین شاخص بنیه بذر در بذور کنجد تیمار شده با اسید هیومیک بدست آمد که در توافق با یافته‌های مطالعه حاضر می‌باشد. در بین ارقام نیز بالاترین شاخص طولی بنیه به ترتیب مربوط به توده ایرانی ۴۰۰/۲۱، سوری ۳۴۷/۳۶ و هندی ۳۰۶/۰۷ بود (جدول ۱۰).

جدول ۸- مقایسات میانگین اثر متقابل توده و پیش‌تیمار بذر بر برخی ویژگی‌های گیاهچه

Table 8- Mean comparisons interaction effect of ecotype and priming on some seedling characteristics

توده Ecotype	تیمار Treatment	وزن خشک ساقه‌چه (گرم) Shoot dry weight (g)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم) Root dry weight (g)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (g)
ایرانی Iranian	شاهد Control	0.29f	0.09d	0.38e
	اسید هیومیک Humic acid	0.30f	0.03g	0.33f
	بیوزینک Bio-zinc	0.25g	0.02h	0.28h
سوری Syrian	شاهد Control	0.33d	0.14c	0.46d
	اسید هیومیک Humic acid	0.35c	0.23b	0.58c
	بیوزینک Bio-zinc	0.26g	0.05f	0.30g
هندی Indian	شاهد Control	0.38b	0.25a	0.63b
	اسید هیومیک Humic acid	0.43a	0.23b	0.67a
	بیوزینک Bio-zinc	0.32e	0.06e	0.38e

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

جدول ۹- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش‌تیمار بذر بر شاخص جوانه‌زنی

Table 9- Analysis of variance of the ecotype and priming effect on germination index

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	شاخص طولی بنیه بذر Seedling length vigour index	ضریب آلومتریک Allometric coefficient	محتوای آب بافتی گیاهچه Seedling tissue water content
توده Ecotype (E)	2	6339.63**	0.33**	0.04**
پیش‌تیمار Priming (P)	2	93668.79**	0.38**	0.01**
توده × پیش‌تیمار E×P	4	18696.62**	0.09**	0.02**
خطای آزمایش Error	27	182.83	0.0002	0.0001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.40	4.01	7.34

**، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

**, significance at 5% probability level.

ضـریب آلومتریک بیانگر نسـبت بین میانگین وزن خشـک ریشه‌چه به میانگین وزن خشک ساقه‌چه است (Hussain, 1989). افزون بر این برخی منابع از این ضریب به‌عنوان شاخص تحمل به تنش‌ها یاد نموده‌اند. اگرچه نسبت بین قسمت‌های هوایی و ریشه تحت کنترل ژنتیکی است (Balouchi et al., 2014)؛ ولی غلظت و نوع پیش‌تیمار می‌تواند نقش بسـزایی را در میزان ضـریب آلومتریک و محتوای آب بافتی گیاهچه ایفاء نماید؛ به‌طوریکه در توده سـوری پیش‌تیمار با اسـید هیومیک بیشـترین ضـریب آلومتریک (۰/۶۸ گرم) را موجب شـد؛ حال آنکه در دو توده ایراتی و هندی بدون اعمال پیش‌تیمار منجر به افزایش ضـریب آلومتریک به ترتیب (۰/۳۰ و ۰/۶۶ گرم) شـد؛ اما پیش‌تیمار با بیوزینک موجب کاهش این ضـریب گردید (جدول ۱۰). Malekzade et al. (2017) اظهار داشتند غلظت ۰/۳ و ۰/۵ درصد سولفات روی باعث کاهش ضریب آلومتری نسبت به شاهد در بذور سیاهدانه گردید. اثرات منفی پیش‌تیمار بر شاخص‌های جوانه‌زنی چه در اثر غلظت نامناسب و چه مدت زمان نادرست شاید در اثر تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد روی غشاها در اثر پیش‌تیمار باشد.

با بررسی محتوای آب بافتی گیاهچه مشاهده شد که بیشترین محتوای آب بافتی گیاهچه در توده ایرانی بدون پوشش (۰/۲۹ درصد) و کمترین آن از توده سوری همراه با بیوزینک (۰/۰۶ درصد) مشاهده شد (جدول ۱۰). هیدروپرایمینگ که در آن تنها از آب برای پیش‌تیمار استفاده می‌گردد (Jafar et al., 2011) از طریق افزایش قابلیت دسترسی به ATP، افزایش میزان یکپارچگی غشای سلولی، تغییر برخی از اجزای غشاء مانند اسیدهای چرب و جلوگیری از نشت مواد به خارج از بذر در طول پرایمینگ بذر و در نتیجه افزایش توان رشدی گیاهچه موجب افزایش محتوای آب نسبی گیاهچه می‌گردد. رادیکال‌های آزادی که در غشاء سلول‌ها در طی پیش‌تیمار به وجود می‌آیند ممکن است تأثیر نامطلوبی روی سلول‌ها و بذر پیش‌تیمار شده داشته باشند (Ward & Poweel, 1983). هچنین تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال سبب خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود (Fu & Huang, 2001; Kabiri et al., 2013).

جدول ۱۰- مقایسات میانگین اثر متقابل توده و پیش‌تیمار بذر بر شاخص جوانه‌زنی

Table 10- Mean comparisons interaction effect of ecotype and priming on germination index

توده Ecotype	پیش‌تیمار Priming	شاخص طولی بنیه بذر Seedling length vigour index	ضریب آلومتریک Allometric coefficient	محتوای آب بافتی گیاهچه (درصد) Seedling tissue water content
ایرانی Iranian	شاهد Control	396.84a	0.30d	0.29a
	اسید هیومیک Humic acid	400.21a	0.11f	0.23b
	بیوزینک Bio-zinc	174.99d	0.08g	0.10d
سوری Syrian	شاهد Control	316.17bc	0.44c	0.14c
	اسید هیومیک Humic acid	347.36b	0.68a	0.15c
	بیوزینک Bio-zinc	113.01e	0.19e	0.06e
هندی Indian	شاهد Control	300.58c	0.66a	0.08e
	اسید هیومیک Humic acid	306.07bc	0.55b	0.08e
	بیوزینک Bio-zinc	156.62d	0.18e	0.14c

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر تأثیر پیش‌تیمار بذر با استفاده از اسید هیومیک در بسیاری از شاخص‌ها از قبیل شاخص طولی بنیه بذر و گیاهچه، ضریب آلومتریک، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، یکنواختی جوانه‌زنی مثبت بود؛ اما پیش‌تیمار بذرها با استفاده از بیوزینک تأثیر منفی بر اکثر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر سیاه‌دانه داشته است که ممکن است در اثر انتخاب غلظت یا مدت زمان نامناسب پیش‌تیمار صورت گرفته باشد. چرا که در غلظت نامناسب بر اثر تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال سبب خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود. همچنین ذکر این نکته لازم است که اثر پیش‌تیمار بذر علاوه بر شاخص‌های جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه، باید بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه در شرایط مزرعه نیز مورد مطالعه قرار گیرد؛ چرا که ممکن است اثرات مثبت پیش‌تیمار در شرایط مزرعه نمود یابد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از همکاری‌های معاونت پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در اجرای این پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۱۵-۰۱-۱۴۰۱ به‌واسطه حمایت‌های مالی اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافعی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Abdual-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. *Crop Science, 13*, 222-226. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300020023x

Abedi, T., & Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46*(1), 27-34. https://doi.org/10.17221/67/2009-CJGPB

Afzal, I., Basra, S. M. A., Cheema, M. A., Farooq, M., Jafar, M. Z., Shahid, M., & Yasmeen, A. (2013). Seed priming: A shotgun approach for alleviation of salt stress in wheat. *International Journal of Agriculture and Biology, 15*(6), 1199-1203. https://squ.elsevierpure.com/en/publications/seed-priming-a-shotgun-approach-for-alleviation-of-salt-stress-in

Afzal, I., Javed, T., Amirkhani, M., & Taylor, A. G. (2020). Modern seed technology: Seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance. *Agriculture, 10*(11), 526. https://doi.org/10.3390/agriculture10110526

Ajouri, A., Asgedom, H., & Becker, M. (2004). Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 167*, 630-636. https://doi.org/10.1002/jpln.200420425

Akhgari, H., & Kaviani, B. (2019). Effect of priming on seed and seedling vigor in two rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Seed Sciences and Technology, 8*(1), 1-17. https://doi.org/10.22034/ijsst.2019.109014.1043. [In Persian]

Amiri, M. B., Rezvani Moghadam, P., & Jahan, M. (2017). Effect of organic acids, mycorrhiza, and rhizobacteria on yield and some phytochemical characteristics of *Echium amoenum* in low input cropping systems. *Agricultural Science and Sustainable Production, 27*(1), 45-61. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_6075.html?lang=en. [In Persian]

Amirkhani, M., Netravali, A. N., Huang, W., & Taylor, A. G. (2016). Investigation of soy protein-based biostimulant seed coating for broccoli seedling and plant growth enhancement. *HortScience, 51*, 1121-1126. https://doi.org/10.21273/HORTSCI10913-16

AOCS. (1993). *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society*. AOCS Press.

Association of Official Seed Analysts. (1983). *Seed vigor testing handbook* (Handbook No. 32). AOSA.

Balouchi, H. R., Bagheri, F., Kayednezami, R., Movahedi Dehnavi, M., & 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. https://www.researchgate.net/publication/264553091. [In Persian]

Batmani, S., Tajbakhsh, M., & Ghiyasi, M. (2016). The effect of pre-sowing treatments on germination and its indicators in fenugreek. In *Proceedings of the 4th International Conference on Applied Research in Agricultural Sciences*. Tehran, Iran. https://www.researchgate.net/publication/317681065 [In Persian]

Bayat, M., Rahmani, A., Amirnia, R., & Alavi Siney, S. M. (2014). Determining the best method and time of priming of *Echinacea purpurea* seed in vitro and pot conditions. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, *1*(1), 1-15. [In Persian]

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, *302*(1), 1-17. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3

Caravaca, F., Figueroa, D., Alguacil, M. M., & Rolan, A. (2003). Application of composted urban residue enhanced the performance of afforested shrub species in a degraded semiarid land. *Bioresource Technology*, *90*(1), 65-70. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00087-7

Chandrika, K. S. V. P., Prasad, R. D., & Godbole, V. (2019). Development of chitosan-PEG blended films using *Trichoderma*: Enhancement of antimicrobial activity and seed quality. *International Journal of Biological Macromolecules*, *126*, 282-290. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.208

Cheng, Z., & Bradford, K. J. (1999). Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *Journal of Experimental Botany*, *50*(330), 89-99. https://doi.org/10.1093/jxb/50.330.89

Matthews, S. (2002). Copeland, L. O., & McDonald, M. B. *Principles of seed science and technology* (4th ed.). *Annals of Botany*, *89*(6), 798-798. https://doi.org/10.1093/aob/mcf127

Dalvand, M., Solgi, M., & Khaleghi, A. (2018). Effects of foliar application of humic acid and drought stress on growth and physiological characteristics of marigold (*Tagetes erecta*). *Journal of Soil and Plant Interactions*, *9*(2), 67-80. [In Persian]

Egamberdiyeva, D. (2005). Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: Biochemical characterization and effectiveness. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *168*, 94-99. https://doi.org/10.1002/jpln.200321283

Ehteshami, S. M. R., & Kianinezhad, H. (2017). Effect of nutripriming on seed germination percentage and seedling establishment of crops: A review. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, *3*(4), 117-131. https://civilica.com/doc/888248 [In Persian]

Farooq, M., Wahid, A., & Kadambot Siddique, H. M. (2012). Micronutrient application through seed treatments: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *12*(1), 125-142. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011

Farzaneh, S., Khodadadi, S. H., Khomari, S., & Barmaki, M. (2021). Effect of seed coating with compounds of micronutrient elements, growth stimulants, and regulators on the emergence and early stages of sugar beet growth. *Iranian Journal of Seed Sciences and Technology*, *10*(1), 103-122. https://doi.org/10.22092/ijsst.2021.123801 [In Persian]

Fu, J., & Huang, B. (2001). Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environment and Experimental Botany*, *45*(2), 105-114. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(00)00084-8

Gorim, L. Y. (2014). *Effects of seed coating on germination and early seedling growth in cereals* (Doctoral dissertation). University of Hohenheim.

Harris, D., Joshi, A., Khan, P. A., Gothkar, P., & Sodhi, P. S. (1999). On-farm seed priming in semi-arid agriculture: Development and evaluation in maize, rice, and chickpea in India using participatory methods. *Experimental Agriculture*, *35*(1), 15-29. https://doi.org/10.1017/S0014479799001027

Hussain, F. (1989). *Field and laboratory manual of plant ecology*. National Academy of Higher Education, University Grants Commission.

International Seed Testing Association. (2008). *Handbook of vigor test methods* (2nd ed.). International Seed Testing Association.

Jafar, M. Z., Farooq, M., Cheema, M. A., Afzal, I., Basra, S. M. A., Wahid, M. A., Aziz, T., & Shahid, M. (2011). Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. *Agronomy and Crop Science*, *20*, 1-8. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00485.x

Jamal, A., Moon, Y. S., & Zainul-Abdin, M. (2010). Sulfur: A general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science*, *4*(7), 523-529. https://www.researchgate.net/publication/228481225

Kabiri, R., Nasibi, F., & Farahbakhsh, H. (2013). Study of some oxidative parameters induced by drought stress in *Nigella sativa* under hydroponic culture. *Journal of Plant Process and Function*, *2*(3), 11-19. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-82-fa.html [In Persian]

Kangsopa, J., Hynes, R. K., & Siri, B. (2018). Lettuce seeds pelleting: A new bilayer matrix for lettuce (*Lactuca sativa*) seeds. *Seed Science and Technology*, *46*(3), 521-531. https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.3.09

Kimmelshue, C., Goggi, A. S., & Cademartiri, R. (2019). The use of biological seed coatings based on bacteriophages and polymers against *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis* in maize seeds. *Scientific Reports*, *9*(1), 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-019-54068-3

Maguire, J. D. (1962). Seed germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, *2*(2), 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Malekzade, S., Fallah, S., & Azari, A. (2017). The role of zinc sulfate and potassium nitrate on seed germination parameters improvement of black cumin (*Nigella sativa*) medicinal plant. *Plant Production Technology*, *8*(2), 139-151. https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1861 [In Persian]

Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (2nd ed.). Academic Press.

McDonald, M. B. (2000). Seed priming. In M. Black & J. D. Bewley (Eds.), *Seed technology and its biological basis* (pp. 287-325). Sheffield Academic Press.

Mohammad, A., & Rafiei, M. (2011). The effect of different concentrations of humic acid on seed germination behavior and vigor of barley. *Journal of Basic and Applied Science*, *5*(12), 610-613.

Mohammadpour, M., & Nabipour, A. (2011). Investigating the effect of light and temperature on the germination characteristics of black seed (*Nigella sativa* L). In *Proceedings of the National Conference of Medicinal Plants* (March 1). Sari, Iran. https://civilica.com/doc/342117 [In Persian]

Mondal, S., & Bose, B. (2019). Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status, and yield aspects of plants. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(19), 2577-2599. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655032

Nascimento, W. M., & Aragão, F. A. S. (2004). Muskmelon seed priming in relation to seed vigor. *Scientia Agricola*, *61*(1), 663-669. https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000100019

Nascimento, W. M. (2003). Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming. *Scientia Agricola*, *60*(1), 71-75. https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000100011

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. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04766

Nouriyani, H. (2019). Effect of seed priming on germination characteristics, biochemical changes, and early seedling growth of sesame (*Sesamum indicum*). *Seed Research*, *5*(2), 43-58. http://dx.doi.org/10.29252/yujs.5.2.43 [In Persian]

Pedrini, S., Merritt, D. J., Stevens, J., & Dixon, K. (2017). Seed coating: Science or marketing spin? *Trends in Plant Science*, *22*(2), 106-116. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.002

Peñaloza, A. P. S., & Eira, M. T. S. (1993). Hydration-dehydration treatments on tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Seed Science and Technology*, *21*, 309-316.

Rehman, A., & Farooq, M. (2016). Zinc seed coating improves the growth, grain yield, and grain biofortification of bread wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, *38*(10), 238. https://doi.org/10.1007/s11738-016-2250-3

Rehman, A., Farooq, M., Naveed, M., Öztürk, L., & Nawaz, A. (2018a). Pseudomonas-aided zinc application improves the productivity and biofortification of bread wheat. *Crop and Pasture Science*, *69*(7), 659-672. https://doi.org/10.1071/CP17441

Rehman, A., Farooq, M., Öztürk, L., Asif, M., & Siddique, K. H. M. (2018b). Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant and Soil*, *422*(1-2), 283-315. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3507-3

Roberts, W. O. (1948). Prevention of mineral deficiency by soaking seed in nutrient solution. *Journal of Agricultural Science*, *38*, 458-468. https://doi.org/10.1017/S0021859600006250

Salcedo, M. F., Colman, S. L., Mansilla, A. Y., Martínez, M. A., Fiol, D. F., Álvarez, V. A., & Casalongue, C. A. (2020). Amelioration of tomato plants cultivated in organic-matter impoverished soil by supplementation with *Undaria pinnatifida*. *Algal Research*, *46*, 101785. https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101785

Samavat, S., & Malakuti, M. (2005). *The necessity of using organic acid (humic and folic) to increase the quality and quantity of agricultural products*. Technical publication, Tehran the Senate, 463 p. [In Persian]

Scott, D. (1998). Effects of seed coating on establishment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *18*, 59-67.

Soltani, A., Galeshi, S., Zenali, E., & Latif, N. (2001). Germination seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Science and Technology*, *30*, 51-60.

Terzi, A., Çoban, S., Yıldız, F., Ateş, M., Bitiren, M., Taşkın, A., & Aksoy, N. (2010). Protective effects of black cumin (*Nigella sativa* L.) on intestinal ischemia-reperfusion injury in rats. *Journal of Investigative Surgery*, *23*(1), 21-27. https://doi.org/10.3109/08941930903469375

Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface. *Plant Signaling & Behavior*, *5*(6), 635-643. https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11211

Tsonev, T. D., Lazova, G. N., Stoinova, Z. G., & Popova, L. P. (1998). A possible role for jasmonic acid in adaptation of barley seedlings to salinity stress. *Plant Growth Regulation*, *17*, 153-159. https://doi.org/10.1007/PL00007029

Ullah, A., Farooq, M., Nadeem, F., Rehman, A., Nawaz, A., Naveed, M., Wakeel, A., & Hussain, M. (2020). Zinc seed treatments improve productivity, quality, and grain biofortification of desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum*). *Crop and Pasture Science, 71*(7), 668-678. https://doi.org/10.1071/CP19266

Venkatachalam, P., Priyanka, N., Manikandan, K., Ganeshbabu, I., Indira-Arulselvi, P., Geetha, N., Muralikrishna, K., Bhattacharya, R. C., Tiwari, M., Sharma, N., & Sahi, S. V. (2017). Enhanced plant growth-promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry, 110*, 118-127. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.004

Ward, F. H., & Powell, A. A. (1983). Evidence for repair processes in onion seeds during storage at high seed moisture contents. *Journal of Experimental Botany, 34*, 277-282. https://doi.org/10.1093/jxb/34.3.277

Weitbrecht, K., Müller, K., & Leubner-Metzger, G. (2011). The first off, the mark: Early seed germination. *Journal of Experimental Botany, 62*(10), 3289-3309. https://doi.org/10.1093/jxb/err030

Yadegari, M. (2013). Foliar application of Fe, Cu, Mn, and B on growth, yield, and essential oil yield of marigold (*Calendula officinalis*). *Journal of Applied Science and Agriculture, 8*(5), 559-567.

Ya-jing, G., Jin, H., Xian-ju, W., & Chen-xia, S. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Journal of Zhejiang University, 10*(6), 427-433. https://doi.org/10.1631/jzus.B0820373

Zare, A. R., Solouki, M., Omidi, M., Irvani, N., Oladzad Abasabadi, A., & Mahdi Nezad, N. (2011). Effect of various treatments on seed germination and dormancy breaking in *Ferula assa-foetida* L., a threatened medicinal herb. *Journal of Sciences, 9*, 57-61. https://www.researchgate.net/publication/261098818

Zulfiqar, U., Hussain, S., Ishfaq, M., Matloob, A., Ali, N., Ahmad, M., Alyemeni, M. A., & Ahmad, P. (2020). Zinc-induced effects on productivity, zinc use efficiency, and grain biofortification of bread wheat under different tillage permutations. *Agronomy, 10*(10), 1566. https://doi.org/10.3390/agronomy10101566