Publisher: Soil Science Society of Iran

Journal of Soil Research

(Soil and Water Sci.)

https:// srjournal.areeo.ir/

The Effect of Seed Coating with Biostimulants on Yield and Yield Components of Canola (*Brassica napus* L.)

Parsa Sekooti[a], Salim Farzaneh [b*], Abdolghayoum Gholipouri[c], Shahram Khodadadi[d], Bahman Khoshru[e*], and Negin Taleschian Tabrizi[f]

[a] Department of Crop Physiology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

[b] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

[c] Department of Agronomy, Faculty of plant production, Gorgan University of Agricultural Science and Natural resources, Gorgan, Iran.

[d] Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

[e] Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

[f] Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran.

Article Info

Article Type
Research Article

Received
September 28, 2025
Revised
April 21, 2026
Accepted
May 02, 2026
Published online
June 17, 2026

Keywords
Germination,
Humic acid,
Hyola 50,
Seed priming,
Seaweed extract.

[*]Corresponding author's email
salimfarzaneh@yahoo.com
bahmankhoshru@yahoo.com

Extended Abstract

Background and Objectives: Canola (Brassica napus L.) is a vital global oilseed crop, critical for food security due to its high-quality edible oil and protein-rich meal. Enhancing productivity is a primary goal in modern sustainable agriculture, especially in semi-arid regions where suboptimal environmental conditions often hamper germination and seedling establishment. These early-stage stressors lead to poor crop stands, reduced seedling vigor, and ultimately lower final yields. To address these limitations, seed coating has emerged as a precise and resource-efficient method for improving seed performance. By creating a favorable micro-environment (spermosphere) and delivering beneficial substances directly to the embryo, this technique enhances establishment. Biostimulants, such as seaweed extracts (rich in phytohormones like auxins and cytokinins), humic acids (known for chelating nutrients and stimulating root development), and amino acids (essential for protein synthesis and stress tolerance), are effective additives. While their benefits in foliar applications are well-known, their efficacy and optimal concentrations via seed coating require further investigation. This study aimed to comprehensively evaluate the effects of seed priming and coating with various concentrations of humic acid, seaweed extract, and amino acids, individually and in combination, on the yield and yield components of spring canola.

Materials and Methods: A field experiment was conducted during the 2018-2019 growing season at the research farm of the University of Mohaghegh Ardabili in northwestern Iran, a region characterized by a semi-arid, cold climate. The soil was a calcareous loam (pH 7.8, EC 1.15 dS/m) with low organic matter. The experiment utilized a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications. The study involved 16 distinct seed pre-treatments applied to the spring canola cultivar 'Hyola 50'. Treatments included three levels of humic acid (3, 6, and 9 g/kg seed), three levels of seaweed extract (3, 6, and 9 g/kg seed), and three levels of amino acids (2, 4, and 6 g/kg seed), alongside specific combined formulations and hydropriming controls. An aqueous slurry containing carboxymethyl cellulose (CMC) as a filler and polyvinyl acetate (PVA) as a binder was used for uniform coating via a laboratory rotary coater. Standard agronomic practices were followed throughout the season. At physiological maturity, plants were harvested to determine grain yield, biological yield, harvest index, and key yield components. Data were analyzed using SAS software (ANOVA), and means were compared using Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at the 5% probability level.

Results: Analysis of variance revealed significant effects ($P < 0.01$) of seed treatments on grain yield, biological yield, the number of pods per plant, 1000-grain weight, and plant height. However, no statistically significant differences were observed for harvest index, pod length, and the number of seeds per pod, suggesting these traits may be less responsive to seed treatments. Grain yield was significantly impacted; the highest yield of 2185.3 kg/ha was achieved by coating seeds with 9 g/kg seaweed extract, representing a substantial 38.76% increase over the control (1574.8 kg/ha). Similarly, coating with 9 g/kg humic acid resulted in the highest biological yield (6941.3 kg/ha) and the maximum number of pods per plant (96.22), showing increases of 21.98% and 62.50% compared to the control, respectively. The 1000-grain weight was also significantly improved by 9 g/kg seaweed extract. Among the combined treatments, the specific combination of 2 g amino acid + 6 g seaweed extract + 3 g humic acid per kg seed demonstrated superior performance in improving plant height and overall yield stability compared to other combinations, highlighting synergistic effects at specific ratios.

Conclusion: This study confirms that seed coating with biostimulants is a potent strategy for enhancing spring canola productivity in semi-arid regions. The targeted application of these substances leads to significant improvements in seedling establishment, vegetative growth, and final grain yield. Application of 9 g/kg seaweed extract is specifically recommended for maximizing grain yield due to its hormonal influence, while high concentrations of humic acid (9 g/kg) are superior for boosting biomass and sink capacity, i.e., pods. The results also indicated that optimized combined treatments can further enhance plant performance. Therefore, seed coating serves as a valuable, precise tool for sustainable production. However, since this study was conducted over a single growing season, further multi-year and multi-location trials are recommended to confirm the stability and generalizability of these findings under varying climatic conditions.

Cite this article: Sekooti, P., Farzaneh, S., Gholipouri, A., Khodadadi, Sh., Khoshru, B., Taleschian Tabrizi, N., 2026. The Effect of Seed Coating with Biostimulants on Yield and Yield Components of Canola (*Brassica napus* L.). Research Article, *Journal of Soil Research, 40 (1)*, pp 45-60.

DOI: https://doi.org/10.22092/IJSR.2026.370813.790

Publisher: Soil Science Society of Iran

Publisher: Soil Science Society of Iran

نشریه پژوهش‌های خاک

(علوم خاک و آب)

https:// srjournal.areeo.ir/

تأثیر پوشش‌دار کردن بذر با محرک‌های زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.)

پارسا سکوتی[۱]، سلیم فرزانه[۲]*، عبدالقیوم قلی پوری[۳]، شهرام خدادادی[۴]، بهمن خوشرو[۵]* و نگین تلسچیان تبریزی[۶]

[۱] گروه فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

[۲] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

[۳] گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[۴] مؤسسه اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

[۵] مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

[۶] بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۷

واژه‌های کلیدی

اسید هیومیک،
پرایمینگ بذر،
جوانه‌زنی،
عصاره جلبک دریایی،
هایولا ۵۰

***ایمیل نویسنده مسئول**

salimfarzaneh@yahoo.com

bahmankhoshru@yahoo.com

چکیده

پوشش‌دار کردن بذر کلزا با محرک‌های زیستی، روشی مؤثر برای تقویت بنیه گیاه و افزایش پتانسیل تولید است. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر پوشش بذر کلزا (رقم هایولا ۵۰) با سطوح مختلف اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی (۳، ۶ و ۹ گرم بر کیلوگرم بذر)، اسید آمینه (۲، ۴ و ۶ گرم بر کیلوگرم بذر) به صورت جداگانه و ترکیبی و هیدروپرایمینگ انجام شد. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و ۳ تکرار اجرا گردید. نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تیمارها بر اکثر صفات بود. بیشترین عملکرد دانه (۲۱۸۵/۳ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۹ گرم عصاره جلبک دریایی به دست آمد که افزایشی معادل ۷۶/۳۸ درصد نسبت به شاهد (۱۵۷۴/۸ کیلوگرم در هکتار) داشت. همچنین، تیمار ۹ گرم اسید هیومیک منجر به ثبت بالاترین عملکرد زیستی (۶۹۴۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین تعداد غلاف در بوته (۹۶/۲۲ عدد) شد که به ترتیب ۲۱/۹۸ و ۶۲/۵۰ درصد بیشتر از شاهد بود. وزن هزار دانه نیز تحت تأثیر ۹ گرم عصاره جلبک دریایی بهبود یافت، اما تفاوت معنی‌داری در شاخص برداشت و تعداد دانه در غلاف مشاهده نشد. در بین تیمارهای ترکیبی، ترکیب ۲ گرم اسید آمینه + ۶ گرم عصاره جلبک + ۳ گرم اسید هیومیک عملکرد بهتری داشت؛ بنابراین، پوشش بذر با ۹ گرم عصاره جلبک دریایی جهت بهبود عملکرد کلزا توصیه می‌شود.

استناد: سکوتی، پ.، فرزانه، س.، قلی پوری، ع.، خدادادی، ش.، خوشرو، ب.، تلسچیان تبریزی، ن.، ۱۴۰۵. تأثیر پوشش‌دار کردن بذر با محرک‌های زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.). مقاله پژوهشی، *نشریه پژوهش‌های خاک، (۱) ۴۰*، ص ۴۵-۶۰.

DOI: https://doi.org/10.22092/IJSR.2026.370813.790

CC BY NC

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) به عنوان یکی از مهم ترین گیاهان روغنی در سطح جهان، به دلیل دارا بودن اسیدهای چرب غیراشباع، فقدان کلسترول و کیفیت تغذیه‌ای بالای روغن آن، از جایگاه ویژه‌ای در رژیم‌های غذایی سالم برخوردار است (Shen et al, 2023). این گیاه با اختصاص دادن حدود ۸/۱۴ درصد از کل تولید جهانی دانه‌های روغنی (FAO, 2017)، نه تنها به دلیل حجم تولید، بلکه به واسطه کیفیت بی‌نظیر محصولاتش مورد توجه است. روغن کلزا با دارا بودن ترکیبی مطلوب از اسیدهای چرب، شامل مقادیر پایین اسیدهای چرب اشباع و سطح بالای اسیدهای چرب تک‌غیراشباع (اولئیک) و چندغیراشباع (امگا-۳ و امگا-۶)، به عنوان یک انتخاب سالم برای مصرف‌کنندگان مطرح است. کنجاله آن نیز، به عنوان محصول جانبی فرآیند روغن‌کشی، یک منبع پروتئینی ارزشمند برای صنعت دامپروری محسوب می‌شود. از منظر کشاورزی، کلزا به دلیل ساختار ریشه‌ای عمیق و توانایی شکستن چرخه آفات و بیماری‌ها، نقشی کلیدی در بهبود پایداری و حاصلخیزی خاک در سیستم‌های تناوب زراعی، به ویژه با غلات، ایفا می‌کند. با این حال، در بسیاری از مناطق دنیا از جمله ایران، پتانسیل عملکرد این گیاه به دلیل مواجهه با چالش‌های متعدد مدیریتی و محیطی به طور کامل محقق نمی‌شود که این امر لزوم به‌کارگیری رویکردهای نوآورانه برای افزایش بهره‌وری را ضروری می‌سازد (Ahmadi et al., 2015; Ahmadi et al., 2019).

کشاورزی مدرن با چالش دوگانه افزایش تولید برای جمعیت رو به رشد و همزمان، کاهش اثرات زیست‌محیطی و سازگاری با تغییرات اقلیمی مواجه است. افزایش فراوانی تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، شوری و دمای غیر متعارف، به ویژه در مراحل اولیه رشد گیاه، به یکی از اصلی‌ترین موانع تولید پایدار محصولات زراعی تبدیل شده است. مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه، به عنوان حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین دوره زندگی گیاه، نقشی تعیین‌کننده در تراکم نهایی بوته، یکنواختی مزرعه و در نهایت، پتانسیل عملکرد دارد. هرگونه تأخیر یا اختلال در این مرحله می‌تواند منجر به کاهش توان رقابتی گیاهچه در برابر تنش های غیر زیستی و زیستی از جمله علف‌های هرز و افزایش حساسیت آن به آفات و بیماری‌ها شود؛ بنابراین، راهکارهایی که بتوانند بنیه بذر را تقویت کرده و استقرار سریع و موفقیت‌آمیز گیاهچه را تضمین کنند، از اهمیت بالایی در مدیریت نوین زراعی برخوردارند.

در این راستا، فناوری‌های تیمار بذر به عنوان یک ابزار دقیق و کارآمد برای بهبود عملکرد بذر در شرایط مزرعه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در میان این فناوری‌ها، پو شش‌دار کردن بذر[1] یک روش هدفمند برای اعمال مقادیر دقیقی از ترکیبات مفید به طور مستقیم بر سطح بذر است (Copland and McDonald, 2008). این تکنیک نه تنها مصرف نهاده‌ها را در مقایسه با روش‌های پخش سراسری[2] به شدت کاهش می‌دهد و اثرات زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند، بلکه با ایجاد یک ریزمحیط غنی در اطراف بذر، شرایطی ایده‌آل برای فرآیندهای بیوشیمیایی جوانه زنی فراهم می آورد (Windauer et al., 2007). این رویکرد امکان استفاده از ترکیبات زیست‌فعال را فراهم می‌کند که می‌توانند به طور مستقیم بر متابولیسم بذر تأثیر گذا شته و از آن در برابر شرایط نامساعد اولیه محافظت نمایند.

گذار به سمت کشاورزی پایدار، منجر به افزایش چ شمگیر علاقه به ا ستفاده از محرک‌های زی ستی[3] شده ا ست. این ترکیبات طبیعی، با فعال‌سازی مسیرهای فیزیولوژیک و متابولیک در گیاه، به بهبود کارایی جذب مواد مغذی، افزایش تحمل به تنش ها و ارتقاء کیفیت محصول کمک می‌کنند (Popko et al., 2018). هیومیک اسید از طریق کیلیت کردن عنا صر غذایی مختلف برای غلبه بر کمبود عنا صر، ر شد گیاه را افزایش می‌دهد و به دلیل دا شتن ترکیبات شبه هورمونی، اثرات مفیدی بر افزیش رشد، تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارد (Meena, Dhanoji, & Naik, 2023). عصاره جلبک دریایی که سرشار از طیف وسیعی از ترکیبات زیست‌فعال نظیر فیتوهورمون ها (اکسین، سیتوکینین)، بتائین ها و پلی‌ساکاریدها است، به طور مستقیم فرآیندهای رشدی را تنظیم کرده و با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سلول‌ها، مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های اکسیداتیو افزایش می‌دهد (Azarmehr et al., 2017). اسیدهای آمینه نیز به عنوان واحدهای بنیادین پروتئین ها و پیش ماده های مسیر های متابولیکی، در سنتز هورمون‌ها، تنظیم اسمزی و فرآیندهای سیگنالینگ سلولی نقش حیاتی دارند (Faten et al., 2010).

با وجود مزایای اثبات‌شده این محرک‌ها، مرور جامع متون علمی نشان می‌دهد که اکثر قریب به اتفاق پژوهش‌های پی شین بر روش‌های محلول‌پا شی برگی یا کاربرد خاکی متمرکز بوده‌اند. به عنوان مثال، تأثیر محلول پاشی اسید هیومیک (Barekati et al., 2019; Rahimi et al., 2016)، عصاره جلبک دریایی (Azarmehr et al., 2017; Rathore et al., 2009) و اسیدهای آمینه (Faten et al., 2010; Cerdán et

[1] Seed Coating
[2] Broadcasting
[3] Bio stimulants

al., 2009) بر صفات مورفولوژیک و عملکردی گیاهان به طور گسترده گزارش شده است. با این حال، کاربرد این مواد به صورت محلول‌پاشی معمولاً در مراحل رویشی پیشرفته انجام می‌شود و نمی‌تواند نیازهای حیاتی گیاه در مرحله حساس جوانه‌زنی و استقرار اولیه را تأمین کند. همچنین روش‌های کاربرد خاکی نیازمند حجم بالایی از نهاده هستند که از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی چالش‌برانگیز است. تاکنون مطالعه‌ای جامع در رابطه با مقایسه کارایی تأثیر روش "پوشش‌دار کردن بذر" با استفاده از سطوح مختلف و ترکیبی این سه محرک زیستی خاص (اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و اسید آمینه) بر عملکرد کمی و کیفی کلزا مشاهده نشده است. این شکاف تحقیقاتی، ضرورت بررسی کارایی این روش نوین مصرف نهاده را برجسته می‌سازد.

بر این اساس، نوآوری پژوهش حاضر در به‌کارگیری فناوری پوشش بذر به عنوان یک سیستم حامل برای انتقال هدفمند و کم‌حجم این محرک‌های زیستی در مرحله حیاتی جوانه‌زنی است. فرضیه اصلی این بود که قرارگیری مستقیم این ترکیبات در محیط اطراف بذر[4] می‌تواند با فعال‌سازی سریع‌تر فرآیندهای فیزیولوژیک و تقویت استقرار اولیه، پتانسیل عملکرد را نسبت به روش‌های مرسوم افزایش دهد. لذا، این تحقیق با هدف ارزیابی جامع تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و اسید آمینه، به صورت انفرادی و ترکیبی، بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا از طریق روش‌های پرایمینگ و پوشش‌دار کردن بذر به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل و شرایط اقلیمی آزمایش

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۷–۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، واقع در روستای کرکرق (عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا) به اجرا درآمد. منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد (بر اساس طبقه‌بندی کوپن) است. بر اساس داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اردبیل، میانگین دما و مجموع بارندگی در طول دوره رشد گیاه (از کاشت تا برداشت) به ترتیب ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۵۵ میلی‌متر بود. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از آماده‌سازی زمین، نمونه‌برداری مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. روش‌های استاندارد برای آنالیز خاک به کار رفت (Sparks et al., 2020). نتایج آزمون خاک نشان داد که خاک محل آزمایش، آهکی، دارای بافت لومی با pH قلیایی ملایم (۷/۸)، هدایت الکتریکی[5] ۱/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و ۱/۲ درصد ماده آلی بود. میزان نیتروژن کل (به روش کجلدال)، فسفر قابل دسترس (Olsen, 1954) و پتاسیم قابل دسترس خاک (به روش استات آمونیوم) به ترتیب ۰/۱۱ درصد، ۱۲/۵میلی‌گرم در کیلوگرم و ۲۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد.

طرح آزمایشی و تیمارها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تعداد تیمارهای آزمایشی ۱۶ عدد و شامل ترکیبی از نوع و سطوح مختلفی از ترکیبات پیش‌تیمار بذر بودند که در جدول ۱ به تفصیل شرح داده شده‌اند. بذور مورد استفاده در این تحقیق از رقم کلزای بهاره هایولا ۵۰[6] بودند که از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. محرک‌های زیستی شامل اسید هیومیک (با خلوص ۷۵ درصد، محصول شرکت زیست‌فناور پارس)، عصاره جلبک دریایی (از گونه *Ascophyllum nodosum*، محصول شرکت BioAgri) و اسید آمینه (مخلوطی از ۱۸ نوع اسید آمینه آزاد نوع L، محصول شرکت آگرواکسین) بودند.

روش آماده‌سازی تیمارها

هیدروپرایمینگ

جهت انجام هیدروپرایمینگ، بذور به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر استریل در دمای اتاق (حدود ۲۵ درجه سلسیوس) غوطه‌ور شدند. در طول این مدت، هوادهی ملایم با استفاده از پمپ آکواریوم برای تأمین اکسیژن انجام گرفت. این روش برای شکستن خواب بذر و فعال‌سازی فرآیندهای اولیه جوانه‌زنی بسیار مؤثر است (Heydecker and Coolbear, 1977). پس از اتمام دوره پرایمینگ، بذور از آب خارج شده و در سایه بر روی کاغذ صافی پهن شدند تا به رطوبت اولیه خود (حدود ۸–۹ درصد) بازگردند.

پوشش‌دار کردن بذر[7]

برای پوشش‌دار کردن بذر، ابتدا دوغاب[8] پایه با حل کردن ۳ گرم کربوکسی متیل سلولز[9] در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به عنوان ماده پرکننده و پلی‌وینیل استات[10] ۱۰ در صد به عنوان

[4] Spermosphere
[5] Electrical Conductivity: EC
[6] Hyola 50
[7] Seed Coating
[8] Slurry
[9] Carboxy methyl cellulose (CMC)
[10] Poly vinyl acetate (PVA)

چسباننده تهیه شد. سپس، مقادیر مشخص شده از هر محرک زیستی (طبق تیمارهای جدول ۱) به دوغاب اضافه و کاملاً مخلوط گردید. بذور در یک دستگاه پوشش‌دهنده بذر آزمایشگاهی[11] قرار گرفته و دوغاب به آرامی بر روی آن‌ها اسپری شد تا لایه‌ای یکنواخت تشکیل شود. این تکنیک یک روش دقیق برای اعمال مواد زیست‌فعال به بذر است (Rocha et al., 2019). میزان مواد پوشش به گونه‌ای تنظیم شد که افزایش وزن نهایی بذر حدود ۵ درصد باشد. بذور پوشش‌دار شده سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شدند. تیمار شاهد نیز بذوری بودند که هیچ‌گونه عملیات پیش‌تیماری روی آن‌ها صورت نگرفت.

جدول ۱- تیمارهای آزمایش

Table 1. List of experimental treatments

تیمار Treatment	توضیح Explanation
اسید آمینه سطح ۱	به مقدار ۲ گرم اسید آمینه در هر کیلوگرم بذر
اسید آمینه سطح ۲	به مقدار ۴ گرم اسید آمینه در هر کیلوگرم بذر
اسید آمینه سطح ۳	به مقدار ۶ گرم اسید آمینه در هر کیلوگرم بذر
عصاره جلبک دریایی سطح ۱	به مقدا ۳ گرم عصاره جلبک دریایی در هر کیلوگرم بذر
عصاره جلبک دریایی سطح ۲	به مقدار ۶ گرم عصاره جلبک دریایی در هر کیلوگرم بذر
عصاره جلبک دریایی سطح ۳	به مقدار ۹ گرم عصاره جلبک دریایی در هر کیلوگرم بذر
اسید هیومیک سطح ۱	به مقدار ۳ گرم اسید هیومیک در هر کیلوگرم بذر
اسید هیومیک سطح ۲	به مقدار ۶ گرم اسید هیومیک در هر کیلوگرم بذر
اسید هیومیک سطح ۳	به مقدار ۹ گرم اسید هیومیک در هر کیلوگرم بذر
ترکیب محرک های رشد سطح ۱	۲ گرم اسید آمینه + ۳ گرم عصاره جلبک دریایی +۳ گرم اسید هیومیک در هر کیلوگرم
ترکیب محرک های رشد سطح ۲	۲ گرم اسید آمینه +۶ گرم عصاره جلبک دریایی +۳ گرم اسید هیومیک در هر کیلوگرم
ترکیب محرک های رشد سطح ۳	۲ گرم اسید آمینه +۹ گرم عصاره جلبک دریایی +۶ گرم اسید هیومیک در هر کیلوگرم
ترکیب محرک های رشد سطح ۴	۲ گرم اسید آمینه + ۶ گرم عصاره جلبک دریایی +۹ گرم اسید هیومیک در هر کیلوگرم
پرایمینگ	سطح دوم هیومیک
پرایمینگ	سطح دوم جلبک
شاهد	بدون تیمار

عملیات زراعی و مدیریت مزرعه

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق پاییزه و دو نوبت دیسک در بهار بود. کوددهی بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه‌های کودی برای کلزا انجام شد (Ghanbari et al., 2013). تمامی کود فسفر (از منبع تریپل سوپرفسفات به میزان ۱۰۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۸۰ کیلوگرم K_2O در هکتار) قبل از کاشت به زمین اضافه و با دیسک با خاک مخلوط شد. کود نیتروژن (از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم N در هکتار) به صورت تقسیطی، یک‌سوم در زمان کاشت و دو سوم در مرحله ساقه‌دهی[12] به صورت سرک مصرف گردید.

هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط کاشت به طول ۴ متر و با فاصله ۳۰ سانتیمتر بین ردیف‌ها بود. فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. کاشت بذور در تاریخ ۵ اردیبهشت ۱۳۹۸ به صورت دستی و با تراکم هدف ۸۰ بوته در مترمربع انجام شد. عملیات داشت شامل ۴ نوبت آبیاری تکمیلی در مراحل کلیدی رشد (ساقه‌دهی، شروع گلدهی، تشکیل غلاف و دانه‌بندی)، وجین دستی علف‌های هرز در دو مرحله و تنک کردن بوته‌ها در مرحله ۴-۶ برگی برای رسیدن به تراکم مطلوب بود.

اندازه‌گیری صفات

در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیک (زمانی که رنگ دانه‌ها قهوه‌ای تیره شد)، برای جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای، دو خط میانی هر کرت با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای آن‌ها به عنوان سطح برداشت نهایی (نمونه‌گیری) در نظر گرفته شد. صفات زیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند:

عملکرد دانه

بوته‌های موجود در سطح برداشت هر کرت، برداشت و خرمن‌کوبی شدند. دانه‌ها پس از تمیز کردن، توزین شده و رطوبت آن‌ها با استفاده از رطوبت سنج دیجیتال اندازه‌گیری شد. عملکرد نهایی بر اساس رطوبت ۱۰ درصد محاسبه و به کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید.

[11] Laboratory Rotary Coater

[12] Rosette stage

عملکرد زیستی

وزن کل بوته‌های برداشت شده (کاه و کلش + دانه) پس از خشک شدن در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، به عنوان عملکرد زیستی ثبت و به کیلوگرم در هکتار تعمیم داده شد.

شاخص برداشت

از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی (ضربدر ۱۰۰) محاسبه شد (Gardner et al., 1985).

اجزای عملکرد

قبل از برداشت نهایی، ۱۰ بوته از هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف (از میانگین ۱۰ غلاف از بخش‌های مختلف بوته) و طول غلاف اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه نیز با شمارش و توزین سه نمونه ۱۰۰۰ دانه‌ای از محصول هر کرت و محاسبه میانگین آن‌ها به دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۳) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک، تجزیه واریانس (ANOVA) بر اساس مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[13] در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq0.05$) صورت گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2019 رسم شدند.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تیمارهای مختلف پیش‌تیمار بذر اثر معنی‌داری ($P<0.01$) بر اکثر صفات مورفولوژیک و عملکردی گیاه کلزا داشتند. به طور مشخص، صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها قرار گرفتند. در مقابل، تفاوت آماری معنی‌داری برای صفات شاخص برداشت، تعداد دانه در غلاف و طول غلاف مشاهده نگردید ($P<0.05$).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای پوشش بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 2. The results of analysis of variance (mean squares) of the effect of seed coating treatments on yield and yield components of rapeseed

منبع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (df)	ارتفاع بوته Plant Height	دانه در غلاف Seed number in silique	طول غلاف Silique Length	غلاف در بوته Silique number	وزن هزار دانه 1000-seed weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
بلوک Block	2	337.35	8.70	0.03	1373.88	0.11	501.71	3.49×10^{6}	3.25×10^{5}
پوشش بذر Seed coat	15	138.60^{**}	4.57^{ns}	0.30^{ns}	701.06^{**}	0.09^{**}	51.57^{ns}	$1.90\times10^{6**}$	$3.24\times10^{5**}$
خطا Eror	30	33.25	2.80	0.09	128.21	0.02	58.99	321097.63	233375.48
ضریب تغییرات (CV) (%)	-	6.76	7.20	3.77	17.95	5.53	25.72	14.80	15.91

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

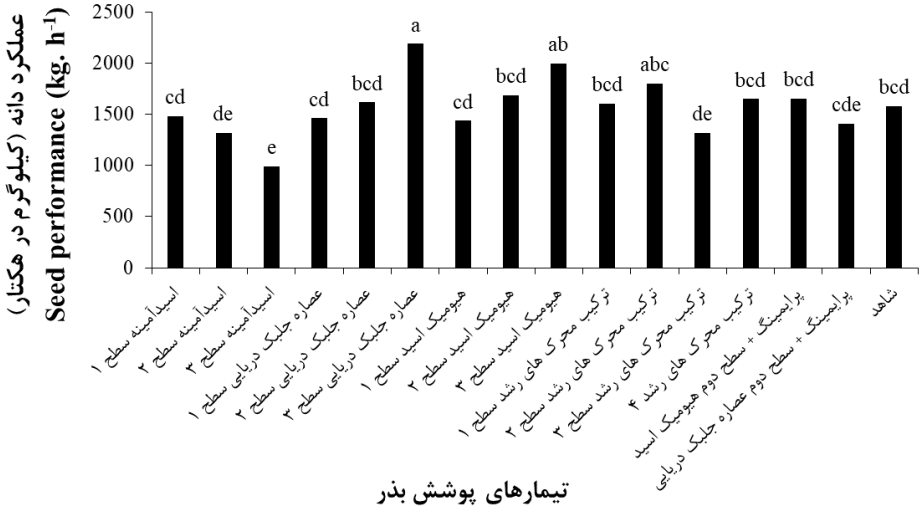
ns and ** indicate non-significant and significant at the 1% probability level, respectively.

عملکرد دانه

عملکرد دانه به عنوان شاخص نهایی، واکنش بسیار معنی‌داری به تیمارهای بذر نشان داد ($P<0.01$). نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) نشان داد تیمارهای سطح ۳ عصاره جلبک دریایی، سطح ۳ اسید هیومیک و سطح ۲ ترکیب محرک‌های رشد به ترتیب با ۲۱۸۵/۳، ۱۹۹۰/۸ و ۱۷۹۴/۱ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند و بین این تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و این تیمارها به طور معنی‌داری و به ترتیب موجب افزایش ۳۸/۷۶

[13] Least significant difference (LSD)

درصدی، ۲۶/۴۱ درصدی و ۱۳/۹۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد (۱۵۷۴/۸ کیلوگرم در هکتار) شدند. همچنین کم‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار پوشش بذر با سطح ۳ اسید آمینه با ۹۸۶/۵ کیلوگرم در هکتار بود که موجب کاهش ۳۷/۳۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. در بین تیمارهای پرایمینگ هم تیمار پرایمینگ + سطح دوم اسید هیومیک از عملکرد دانه بیشتری نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود در حالی که در ترکیب تیماری پرایمینگ + سطح دوم عصاره جلبک دریایی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت.

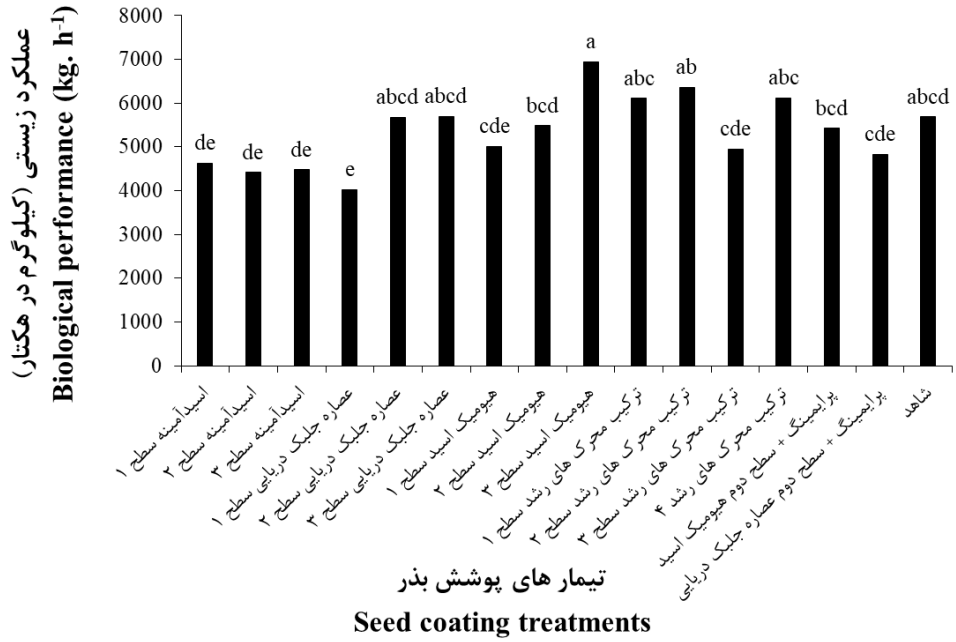


شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر عملکرد دانه در گیاه کلزا. ستون‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 1. Effect of different seed coating treatments on seed yield of canola plants. Columns with the same letter do not have statistically significant differences based on Least significant difference test at the 5% probability level.

عملکرد زیستی

عملکرد زیستی نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها بود ($P<0.01$). تیمار سطح ۳ اسید هیومیک و سطح ۲ ترکیب محرک های رشد به ترتیب با ۶۹۴۱/۶ و ۶۳۵۸/۵ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین شاخص برداشت را در بین تیمارهای مورد بررسی داشتند و بین این دو از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و به ترتیب موجب افزایش ۲۱/۹۸ و ۱۱/۷۳ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد (۵۶۹۰/۵ کیلوگرم در هکتار) شدند. کم‌ترین مقدار این صفت (۴۰۲۱/۴ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار عصاره جلبک دریایی سطح ۳ ثبت گردید و موجب کاهش ۲۳/۳۳ درصدی عملکرد زیستی نسبت به تیمار شاهد شدند. همچنین در تیمارهای پرایمینگ + سطح دوم اسید هیومیک و پرایمینگ + سطح دوم عصاره جلبک دریایی نیز عملکرد زیستی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۲).

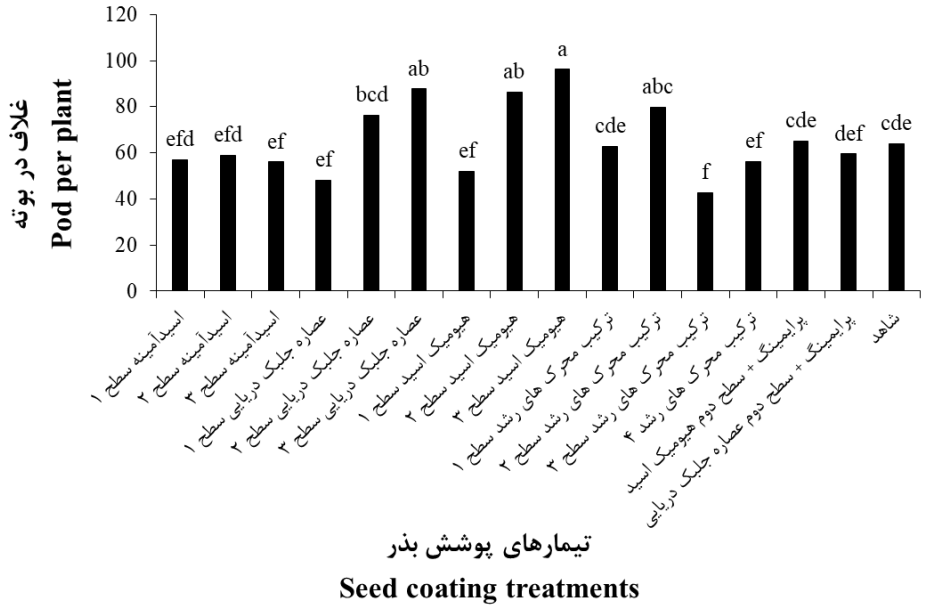


شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر عملکرد زیستی در گیاه کلزا. ستون‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 2. Effect of different seed coating treatments on biological yield of canola plants. Columns with the same letter do not have statistically significant differences based on Least significant difference test at the 5% probability level.

تعداد غلاف در بوته

تعداد غلاف در بوته به عنوان یکی از اجزای کلیدی عملکرد، به طور معنی‌داری ($P<0.01$) تحت تأثیر تیمار های روکش‌دهی بذر قرار گرفت. تیمارهای پوشش دار کردن بذر با سطح ۳ اسید هیومیک، سطح ۳ عصاره جلبک دریایی و سطح ۲ اسیدهیومیک به ترتیب با ۹۶/۲۲ غلاف در بوته، ۸۷/۷۷ غلاف در بوته و ۸۶/۳۸ غلاف در بوته اختلاف معنی داری با تیمار شاهد (۶۳/۸۸ غلاف در بوته) داشتند. این تیمارها به ترتیب موجب افزایش ۵۰/۶۲، ۳۷/۳۹ و ۳۵/۲۲ درصدی تعداد غلاف در بوته نسبت به تیمار شاهد شدند. کمترین تعداد غلاف در بوته با ۴۲/۸۴ عدد غلاف در بوته مربوط به تیمار سطح ۳ ترکیب محرک‌های رشد بود و کاهش ۱۵/۳۶ درصدی غلاف را نسبت به شاهد در بوته‌های کلزا داشت (شکل ۳). علاوه بر این در بین تیمارهای ترکیب محرک های رشد، تیمار سطح ۲ ترکیب محرک‌های رشد با ۷۹/۷۸ عدد غلاف در بوته عملکرد بهتری را نشان داد و افزایش ۲۴/۸۹ درصدی تعداد غلاف در بوته نسبت به تیمار شاهد را سبب شد. در بین تیمارهای پرایمینگ ترکیب تیماری پرایمینگ + سطح دوم اسید هیومیک با ۶۵/۲۲ عدد غلاف در بوته عملکرد بهتری نسبت به تیمار شاهد داشت حال آن که در ترکیب تیماری پرایمینگ + عصاره جلبک دریایی تعداد غلاف در بوته نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت.

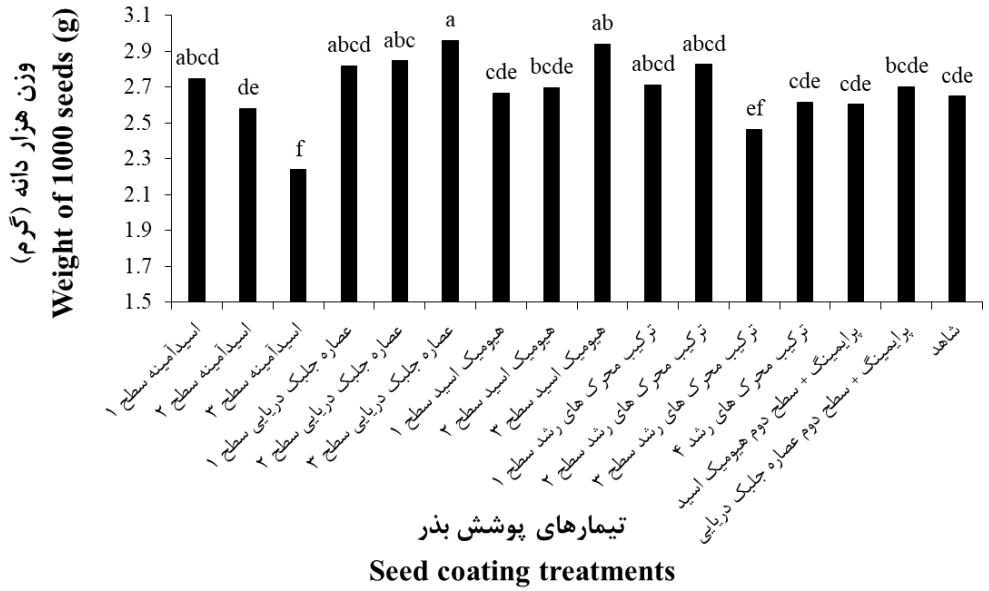


شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر تعداد غلاف در بوته در گیاه کلزا. ستون‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Fig. 3. Effect of different seed coating treatments on the number of pods per plant in canola. Columns with the same letter do not have statistically significant differences based on Least significant difference test at the 5% probability level.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه به طور معنی‌داری ($P<0.01$) تحت تأثیر تیمارهای روکش بذر قرار گرفت. تیمارهای پوشش دار کردن بذر با سطح ۳ اسید هیومیک و سطح ۳ عصاره جلبک دریایی به ترتیب با ۲/۹۶ گرم و ۲/۹۴ گرم اختلاف معنی داری با تیمار شاهد (۲/۶۵ گرم) داشتند و بین این دو از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. این تیمارها به ترتیب موجب افزایش ۱۱/۶۹ درصدی و ۱۰/۹۴ درصدی وزن هزاردانه نسبت به تیمار شاهد شدند. کم‌ترین مقدار (۲/۲۴ گرم) به تیمار سطح ۳ اسید آمینه اختصاص داشت که به کاهش ۱۶/۲۲ درصدی وزن هزاردانه نسبت به تیمار شاهد سبب شد (شکل ۴). در بین تیمارهای ترکیب محرک‌های رشد، تیمار سطح ۲ عملکرد بهتری را نشان داد و وزن هزار دانه را ۶/۴۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد، حال آن که در بین تیمارهای پرایمینگ، تیمار پرایمینگ + سطح دوم اسید هیومیک با ۲/۶۰ گرم وزن هزار دانه را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد که نشان دهنده تأثیر منفی ترکیب تیماری پرایمینگ همراه با پوشش بذر با سطح دوم اسید هیومیک بر وزن هزار دانه بود.

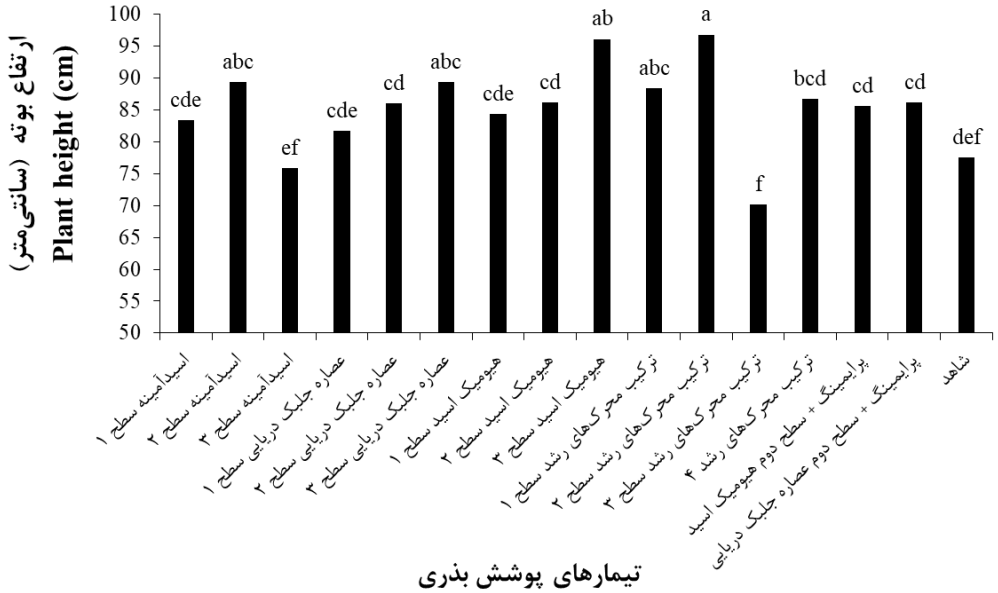


شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر وزن هزار دانه در گیاه کلزا. ستون‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 4. Effect of different seed coating treatments on 1000-seed weight of canola plants. Columns with the same letter do not have statistically significant differences based on Least significant difference test at the 5% probability level.

ارتفاع بوته

تیمارهای سطح ۲ ترکیب عوامل محرک رشد، سطح ۳ اسید هیومیک و سطح ۳ عصاره جلبک دریایی به ترتیب با ۹۶/۸۰، ۹۶/۱۰ و ۸۹/۴۰ سانتی‌متر، اختلاف معنی داری با تیمار شاهد (۷۷/۴۹ سانتی‌متر) داشتند و موجب افزایش ۲۴/۹۱ در صدی، ۲۴ در صدی و ۱۵/۳۶ در صدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شدند. در مقابل کمترین ارتفاع بوته در تیمار سطح ۳ ترکیب محرک‌های رشد (۷۰/۲۰ سانتی‌متر) ثبت شد که موجب کاهش ۹/۴۰ در صدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شد که نشان‌دهنده تأثیر منفی این ترکیب در غلظت بالا بر رشد رویشی گیاه است (شکل ۵). در تیمارهای پرایمینگ + اسید هیومیک و پرایمینگ + عصاره جلبک دریاییُ ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که نشان دهنده تأثیر مثبت این تیمارها بر صفت ارتفاع بوته است.



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر ارتفاع بوته در گیاه کلزا. ستون‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 5. Effect of different seed coating treatments on plant height of canola plants. Columns with the same letter do not have statistically significant differences based on Least significant difference test at the 5% probability level.

بحث

در عصر فناوری‌های مدرن و کشاورزی دقیق، این تقاضا وجود دارد که هر بذر باید سالم باشد و به راحتی جوانه بزند تا یک گیاهچه قوی تولید کند و باعث عملکرد بهتر محصول شود (Rakshit & Bahadur Singh, 2018). یکی از روش‌های بهبود عملکرد استفاده از روش های پیش‌تیمار بذر است (Mousavi Nik et al, 2015). پرایمینگ و پوشش‌دار کردن بذر از جمله روش‌های پیش‌تیمار بذر هستند که به عنوان یک ابزار بالقوه جهت بهبود جوانه‌زنی و عملکرد تحت شرایط و موقعیت‌های مختلف شناخته شده‌اند (Windauer et al, 2007; Rakshit & Bahadur Singh, 2018). اسید هیومیک و عصاره های جلبک دریایی از جمله محرک‌های رشد گیاهی با منشأ طبیعی هستند (Rouphael et al, 2020) که در جهت بهبود جوانه‌زنی و عملکرد همراه با روش های پیش تیمار بذر مورد استفاده قرار می‌گیرند و با افزایش متابولیسم گیاه و فتوسنتز رشد گیاه را تحریک نموده و بهره‌وری گیاه را افزایش می‌دهند (Yakhin et al, 2017). نتایج این پژوهش به وضوح نشان داد که کاربرد محرک‌های زیستی به طور معنی‌داری صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی، غلاف در بوته، ارتفاع بوته و وزن هزاردانه را بهبود بخشیدند اما در صفات شاخص برداشت، طول غلاف و تعداد دانه در غلاف بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به این که بیش‌ترین مقدار برای صفات مورد بررسی به طور عمده در تیمارهای سطح ۳ عصاره جلبک دریایی، سطح ۳ هیومیک اسید، سطح ۲ ترکیب محرک‌های رشد به دست آمد، در حالی که در تیمارهای سطح ۱ عصاره جلبک دریایی، سطح ۱ اسید هیومیک، پرایمینگ + سطح دوم عصاره جلبک دریایی و سطح ۳ ترکیب محرک‌های رشد کاهش عملکرد دانه، عملکرد زیستی و تعداد غلاف در بوته نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد، بیانگر این نکته است که محرک‌های رشد گیاهی اگرچه به طور گسترده به دلیل توانایی‌شان در بهبود رشد و افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما اثرات آن‌ها همواره مثبت و یکنواخت نیست (Du Jardin, 2015). در برخی از موارد ممکن است غلظت اشتباه ماده استفاده شده و یا شرایط زیست‌محیطی مثل موقعیت خاص مزرعه باعث عدم واکنش به این مواد باشد (Nardi et al, 2016). بنابراین یافته‌ها بیانگر این نکته هستند که نوع محرک و به خصوص غلظت آن، نقشی تعیین‌کننده در بهبود این صفات ایفا می‌کند. در نتیجه این یافته‌ها اهمیت روش پرایمینگ و پوشش‌دار کردن بذر را در بهینه‌سازی تولید کلزا برجسته می‌سازند.

تأثیر عصاره جلبک دریایی و وابستگی به غلظت

محققان بر این باورند که اثر تحریک کننده عصاره‌های جلبک دریایی بر رشد گیاه به دلیل مجموعه مواد فعالی است که با تأثیر بر تنظیم ژن در گیاه عمل می‌کنند (Arioli et al, 2015). از جمله این که در یک مطالعه سطوح

بیان ژن‌های نشانگر PinII و ETR-1 با استفاده از عصاره جلبک دریایی به طور قابل‌توجهی بالاتر از تیمارهای کنترل بود که در نتیجه با افزایش قابل‌توجه رونوشت‌های ژن‌های دخیل در بیوسنتز اکسین، جیبرلین و سیتوکینین همراه بود که شواهد احتمالی برای رشد القا شده در گیاهان تیمار شده با عصاره جلبک دریایی را ارائه می‌دهد (Ali et al, 2019). افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در تیمار سطح ۳ عصاره جلبک دریایی را می‌توان به اثرات هم‌افزایی این ترکیبات نسبت داد. سیتوکینین‌ها و اکسین‌های موجود در عصاره، تقسیم سلولی و رشد ریشه را در مراحل اولیه استقرار گیاهچه به شدت تحریک می‌کنند (Battacharyya et al., 2015). این امر منجر به توسعه یک سیستم ریشه‌ای قوی‌تر، افزایش جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت استقرار گیاهچه‌ای توانمند می شود که پتانسیل بالاتری برای تولید بیوماس و تخصیص آن به دانه‌ها دارد.

همچنین ازجمله نکات قابل توجه در نتایج این تحقیق، واکنش متناقض عملکرد دانه به غلظت عصاره جلبک دریایی بود. در حالی که تیمار سطح ۳ آن عملکرد قابل توجهی را به همراه داشت، اما تیمار سطح ۱ آن منجر به ثبت عملکرد دانه کمتری از تیمار شاهد در این تحقیق شد؛ بنابراین این پدیده بیانگر این نکته است که موفقیت در کاربرد محرک‌های رشد نیازمند شناخت دقیق غلظت آستانه و تطابق آن با نیازهای فیزیولوژیکی گونه گیاهی مورد نظر است. این یافته بر اهمیت حیاتی بهینه سازی دوز مصرفی محرک‌های زیستی برای دستیابی به نتایج مطلوب تأکید می‌کند.

نقش اسید هیومیک در بهبود رشد و اجزای عملکرد

تیمار پوشش بذر با اسید هیومیک در بالاترین سطح (سطح ۳)، موفق‌ترین تیمار در افزایش عملکرد زیستی، تعداد غلاف در بوته و طول غلاف بود، که با یافته های مطالعات پیشین در کلزا (Barekati et al, 2019)، ذرت (Oktem and Oktem, 2020) و کاهو (Mohammed et al., 2022) مبنی بر افزایش عملکرد با کاربرد هیومیک اسید مطابقت داشت. به نظر می‌رسد اسید هیومیک به عنوان یک محرک زیستی برای چندین فرآیند زیستی در گیاهان مانند هدایت روزنه، سرعت تنفس، فتوسنتز، فعالیت‌های هورمونی و متابولیسم نیتروژن عمل می‌کند و بر رشد، تولید مثل و توسعه گیاه تأثیر می‌گذارد و از این رو کیفیت و کمیت محصول را بهبود می‌بخشد (Ichwan et al. 2022; García et al. 2016). همچنین به دلیل دارا بودن فعالیت‌هایی شبه اکسینی و سیتوکینینی، کیفیت و پارامترهای رشد گیاه را تنظیم می‌کند (Rathor et al, 2024). بنابراین، مصرف هیومیک اسید با جلوگیری از ریزش یا عقیم شدن غلاف ها در کلزا، تعداد دانه در غلاف را افزایش می‌دهد (Haqshenas et al, 2025) و با رشد رویشی قوی‌تر و تولید بیوماس بالاتر در تیمار سطح ۳ هیومیک اسید، ظرفیت تولید[14] گیاه را افزایش داده و با فراهم کردن جایگاه‌های بیشتر برای ذخیره مواد فتوسنتزی، منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته شده است؛ صفتی که به عنوان یکی از اصلی‌ترین اجزای تعیین‌کننده عملکرد در کلزا شناخته می‌شود.

همبستگی صفات مورد بررسی

از جمله یافته‌های حائز اهمیت در این پژوهش، ثبت بالاترین وزن هزار دانه و ارتفاع بوته در تیمارهای سطح ۳ عصاره جلبک دریایی، سطح ۳ اسید هیومیک و سطح ۲ ترکیب محرک های رشد بود که بیش‌ترین عملکرد دانه را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند در حالی که تیمارهای سطح ۳ اسیدآمینه و سطح ۳ ترکیب محرک‌های رشد، کم‌ترین ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند. با توجه به این نکته که در کلزا بعد از گلدهی، ساقه و غلاف به عنوان اندام اصلی فتوسنتز کننده و تأمین مواد فتوسنتزی و دانه به عنوان منبع ذخیره عمل می‌کنند (Edwards et al, 2011)، بنابراین این پدیده نمونه‌ای کلاسیک از روابط همبستگی بین اجزای عملکرد[15] است (Sadras and Slafer, 2012). زمانی که تعداد جایگاه‌های ذخیره (تعداد کل دانه‌ها) به شدت کاهش می‌یابد، رقابت بین آن‌ها برای دریافت مواد فتوسنتزی کم شده و با افزایش ارتفاع بوته و تعداد غلاف در بوته گیاه منابع بیشتری را به پر کردن دانه‌های باقی‌مانده اختصاص می‌دهد که منجر به افزایش وزن هر دانه می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که این تیمارها می‌توانند با بهبود تأمین منابع در فرآیند پر شدن دانه‌های موجود، بر پتانسیل تولید تأثیر مثبتی داشته باشند. عدم وجود تفاوت معنی‌دار برای صفات شاخص برداشت و تعداد دانه در غلاف نیز حائز اهمیت است. این امر نشان می‌دهد که تیمارهای به کار رفته بیشتر بر رشد کلی و اندازه منبع[16] تأثیرگذار بوده‌اند تا بر کارایی انتقال مواد فتوسنتزی[17] یا تعداد تخمک‌های بارور شده در هر غلاف که این صفات ممکن است بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی باشند.

[14] Source capacity
[15] Yield Component Compensation
[16] Source size
[17] Partitioning efficiency

نتیجه‌گیری

یافته های این پژوهش اهمیت حیاتی نوع و غلظت بهینه محرک های زیستی به عنوان یک راهکار مؤثر در پوشش‌دار کردن بذر جهت بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا را برجسته کرد. پژوهش حاضر نشان داد که پوشش‌دار کردن بذر کلزا با محرک‌های زیستی، به ویژه پوشش بذر حاوی ۹ گرم عصاره جلبک دریایی در کیلوگرم بذر، به‌عنوان مؤثرترین تیمار، با ثبت بیشترین عملکرد دانه (۳/۲۱۸۵ کیلوگرم در هکتار) و افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه، نقشی کلیدی در به حداکثر رساندن عملکرد دانه ایفا کرد. از سوی دیگر، تیمار پوشش بذر با ۹ گرم هیومیک اسید در کیلوگرم بذر، با دستیابی به بالاترین عملکرد زیستی (۳/۶۹۴۱ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۲/۹۶ عدد)، نقشی کلیدی این تیمار در تقویت رشد رویشی را آشکار ساخت و تیمار پوشش بذر با ترکیب ۲ گرم اسید آمینه + ۶ گرم عصاره جلبک دریایی + ۳ گرم هیومیک اسید در کیلوگرم بذر به طور معنی‌داری ارتفاع بوته و عملکرد زیستی را بهبود بخشید. بنابراین کاربرد این محرک‌ها با تقویت استقرار بوته و بهبود رشد اولیه گیاهچه، موجب ارتقای توان فتوسنتزی و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی از خاک شده و با بهبود رابطه منبع و مخزن، به عنوان گامی مؤثر در جهت افزایش پایدار عملکرد کلزا توصیه می‌شود.

با وجود نتایج مثبت و معنی‌دار به دست آمده در این پژوهش، باید توجه داشت که این آزمایش در طی یک سال زراعی انجام شده است. از آنجا که پایداری عملکرد تیمارهای بیولوژیک می‌تواند تحت تأثیر نوسانات اقلیمی سالیانه قرار گیرد، پیشنهاد می‌شود جهت تأیید نهایی این نتایج و اطمینان از ثبات کارایی این محرک‌ها در شرایط محیطی متغیر، این آزمایش در سال‌های زراعی بیشتر و در اقلیم‌های متفاوت تکرار گردد. از این رو، نتایج فعلی می‌تواند به عنوان یک مطالعه پایه‌ای ارزشمند برای توسعه پروتکل‌های پوشش بذر در کلزا در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی و همچنین از کارشناسان و همکاران محترم در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی که در اجرای این پژوهش ما را یاری نمودند، صمیمانه قدردانی نمایند.

بیانیه‌های اخلاقی و شفافیت

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در خصوص پژوهش و انتشار این مقاله وجود ندارد.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده های تولید و تحلیل شده در این پژوهش، در صورت درخواست از نویسنده مسئول، در دسترس خواهد بود.

References

1. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abdshah, H., and Kazemian, A. 2019. Agricultural statistics for the 2017-2018 growing season. Vol 1. Ministry of Jihad Agriculture, Tehran, Iran. (in Persian)
2. Ahmadi, K., Hosseinpour, R., Ebadzadeh, H.R., Gholizadeh, H.A., Hatami, F., Mohammadnia-Afrouzi, S., Abdshah, H., and Abbas-Taghani, R. 2015. Review of 36-year statistics of cultivated area and production of agricultural products (1978-2013). Ministry of Jihad Agriculture, Tehran, Iran. (in Persian)
3. Ali, O., Ramsubhag, A., and Jayaraman, J. 2019. Biostimulatory activities of Ascophyllum nodosum extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. Plos One 14: e216710. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216710
4. Arioli, T., Mattner, S.W., and Winberg, P.C. 2015. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. Journal of Applied Phycology 27: 2007-2015. https://doi.org/10.1007/s10811-015-0574-9
5. Azarmehr, A.R., Baghi, M., and Ziyaei Nasab, M. 2017. Effect of seaweed extract and sulfur-sulfated fertilizer on yield and some yield components of autumn canola (*Brassica napus* L.) cv. Natalie. Journal of Crop Research in Semi-arid Regions 14(3): 155-165. (in Persian)
6. Barekati, F., Majidi Hervan, E., Shirani Rad, A.H., and Noor Mohamadi, G. 2019. Effect of sowing date and humic acid foliar application on yield and yield components of canola cultivars. Tarim Bilimleri Dergisi 25(1): 70-78. https://doi.org/10.15832/ankutbd.447738
7. Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P., and Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae 196: 39-48. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012
8. Cerdán, M., Sánchez-Sánchez, A., Oliver, M., Juárez, M., and Sánchez-Andreu, J.J. 2009. Effect of foliar and root application of amino acids on iron uptake by plants. Acta Horticulturae 830: 481-488. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.830.69
9. Copland, L.O., and McDonald, M.B. 2008. Principles of seed science and technology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
10. aDu Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Sci.Hortic., 196. https://doi.org/doi:10.1016/j.scienta.2015.09.021.
11. Edwards, J.T., Cowra, H., and Cowra, K. 2011. Canola growth and development. NSW Department of Primary Industries, Orange, Australia.
12. FAO. 2017. Food outlook: Biannual report on global food markets. FAO Trade and Markets Division, Rome, Italy.
13. Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmed, A.A., and Mahmoud, A.R. 2010. Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 6(5): 583-588.
14. García, A.C., De Souza, L.G., Pereira, M.G., Castro, R.N., María, J., Zonta, E., Lisboa, F.J., and Berbara, R.L. 2016. Structure-property-function relationship in humic substances to explain the biological activity in plants. Scientific Reports 6: 20798. https://doi.org/10.1038/srep20798
15. Gardner, F.P., Brent Pearce, R., and Mitchell, R.B. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
16. Ghanbari, A.A., Shakiba, M.R., Toorchi, M., and Choukan, R. 2013. Morphophysiological response of common bean leaf to water deficit stress. European Journal of Experimental Biology 3(1): 487-492.
17. Haqshenas, A., Azizi, K., Bakhtiari, N., and Heydari, S. 2025. Evaluation of photosynthetic pigments, yield and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L.) in response to humic acid application and irrigation interruption. Crop Science Research in Arid Regions 7(1): 217-233. (in Persian)
18. Heydecker, W., and Coolbaer, P. 1977. Seed treatments for improved performance - survey and attempted prognosis. Seed Science and Technology 5: 353-425.
19. Ichwan, B., Eliyanti, E., Irianto, I., and Zulkarnain, Z. 2022. Combining humic acid with NPK fertilizer improved growth and yield of chili pepper in dry season. Advances in Horticultural Science 36(4): 275-281. https://doi.org/10.36253/ahsc-12816
20. Meena, M.K., Dhanoji, M.M., and Naik, M.C. 2023. Influence of humic acid foliar spray on physiological growth indices in redgram (*Cajanus Cajan*). Agriculture

Association of Textile Chemical and Critical Reviews Journal 11(2): 378-384.
21. Mohammed, A.A., Söylemez, S., and Sarhan, T.Z. 2022. Effect of biofertilizers, seaweed extract and inorganic fertilizer on growth and yield of lettuce (Lactuca sativa var. longifolia L.). Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 26(1): 60-71. https://doi.org/10.29050/harranziraat.1016268
22. Mousavi Nik, S.M., Dahmarde, M., and Sirousmehr, A. 2015. Seed Physiology and Aspects of Application in Agriculture. JDMPress, Mashhad, Iran. 368 p. (in Persian)
23. Nardi, S., D. Pizzeghello, M. Schiavon, and A. Ertani. 2016. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. Scientia Agricola 73: 8-23.
24. Oktem, A.G., and Oktem, A. 2020. Effect of Humic Acid Application Methods on Yield and Some Yield Characteristics of Corn Plant (*Zea mays* L.). Journal of Applied Life Sciences International 23(11): 31-37. https://doi.org/10.9734/jalsi/2020/v23i1130195
25. Olsen, S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular No. 939, US Department of Agriculture, Washington D.C., USA.
26. Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K., and Górecki, H. 2018. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. Molecules 23(4): 872. https://doi.org/10.3390/molecules23040872
27. Rahimi, Z., Mozaffari, H., and Hassanpour Darvishi, H. 2016. Investigation the effect of humic acid in irrigation water on yield and yield components of rapeseed. Journal of Agronomy and Plant Breeding 12(1): 95-106. (in Persian)
28. Rakshit, A., & Bahadur Singh, H. (2018). Advances in Seed Priming. Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5.
29. Rathor, P., Upadhyay, P., Ullah, A., Gorim, L.Y., and Thilakarathna, M.S. 2024. Humic acid improves wheat growth by modulating auxin and cytokinin biosynthesis pathways. AoB Plants 16: plae018. https://doi.org/10.1093/aobpla/plae018
30. Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Bhatt, B.P., Zodape, S.T., and Patolia, J.S. 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (Glycine max) under rainfed conditions. South African Journal of Botany 75(2): 351-355. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.10.009
31. Rocha, I., Duarte, I., Ma, Y., Souza-Alonso, P., Látr, A., Vosátka, M., Freitas, H., and Oliveira, R.S. 2019. Seed Coating with Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Improved Field Production of Chickpea. Agronomy 9(8): 471. https://doi.org/10.3390/agronomy9080471
32. Rouphael, Y., and Colla, G. 2020. Biostimulants in agriculture. Frontiers in Plant Science 11: 40. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040
33. Sadras, V.O., and Slafer, G.A. 2012. Environmental modulation of yield components in cereals: heritabilities and causal relationships. Field Crops Research 128: 60-68. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.006
34. Shen, J., Liu, Y., Wang, X., Bai, J., Lin, L., Luo, F., and Zhong, H. 2023. A Comprehensive Review of Health-Benefiting Components in Rapeseed Oil. Nutrients 15(4): 999. https://doi.org/10.3390/nu15040999
35. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., and Loeppert, R.H. 2020. Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America (SSSA) and American Society of Agronomy (ASA), Madison, WI, USA. 1390 p.
36. Windauer, L.B., Altuna, A., and Benech-Arnold, R.L. 2007. Hydrotime analysis of Lesquerella fendleri seed germination responses to priming treatments. Industrial Crops and Products 25(1): 70-74. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.07.004
37. Yakhin, O.I., Lubyanov, A.A., Yakhin, I.A., and Brown, P.H. 2017. Biostimulants in plant science: A global perspective. Frontiers in Plant Science 7: 2049. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049