University of Birjand

Environmental Stresses in Crop Sciences

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

https://doi.org/10.22077/escs.2025.9059.2355

Original article

Effect of foliar-applied brassinosteroid on morphological traits, seed yield, and growth indices of camelina (*Camelina sativa*) under salinity stress

Sadegh Shahrasbi[1], Ali Moradi[1*], Hadi Pirasteh Anousheh[2]

1. *PhD graduate and Associate Professor respectively, Department of Agronomy and Plant Sciences, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran*
2. *Associate Professor, Natural Resources Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shiraz, Iran*

Received 6 March 2025; Revised 30 August 2025; Accepted 1 September 2025

نسخه پیش از انتشار

Extended abstract

Introduction

Salinity stress significantly impairs plant growth and yield and represents a major challenge to sustainable agriculture. Camelina (*Camelina sativa*), an oilseed crop, is well known for its resilience to adverse environmental conditions, including salinity. Brassinosteroids, as plant growth regulators, have shown potential to mitigate salinity-induced stress. This study evaluated the effects of foliar brassinosteroid application on morphological traits, seed yield, and growth indices of camelina under salinity stress, with the aim of identifying effective strategies to improve crop performance in saline environments.

Materials and methods

A field experiment was conducted over two cropping seasons (2021–2022 and 2022–2023) in Yazd, Iran, using a split-plot arrangement in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Salinity levels (0, 4, 8, and 12 dS m^{-1}) were assigned to main plots, and foliar application of 24-epibrassinolide (0, 1, 2, and 3 µM) was assigned to subplots. Morphological traits (plant height, number of lateral branches, number of siliques per plant, and seeds per silique), yield components (thousand-seed weight and seed yield), and growth indices (biological yield and harvest index) were measured. Data were analyzed in SAS 9.1 using a mixed model, with year considered a random effect. Normality was assessed using the Kolmogorov–Smirnov test, and homogeneity of variance was evaluated using Bartlett's test (χ^2 = 3.45, P = 0.32). A combined two-year analysis was conducted, and treatment means were compared using the LSD test at the 5% significance level.

Results and discussion

The salinity × brassinosteroid interaction significantly affected all measured traits (P < 0.01). Salinity at 12 dS m^{-1} reduced seed yield by 44% compared with untreated plants (0 µM) at 0 dS m^{-1}, whereas 3 µM brassinosteroid increased seed yield by 59%, 59%, 55%, and 76% at salinity levels of 0, 4, 8, and 12 dS m^{-1}, respectively, relative to untreated plants (0 µM) at the same salinity level (LSD = 85.3 kg ha^{-1}). Plant height increased by 95%, 33%, 51%, and 50% at the respective salinity levels with 3 µM brassinosteroid, compared with untreated plants (LSD = 2.03 cm). The number of lateral branches increased by 161%, 23%, 97%, and 193% at salinity levels of 0, 4, 8, and 12 dS/m, respectively, with 3 µM brassinosteroid (LSD=1.16); however, the difference between 2 and 3 µM at 12 dS m^{-1} was not significant

* Corresponding author: Ali Moradi; E-Mail: amoradi@yu.ac.ir

© 2026, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

(difference = 1.05 < LSD = 1.16). Leaf area index was not significantly affected by brassinosteroid treatments at any salinity level. (LSD = 0.12). The number of siliques per plant increased significantly, reaching up to 39% at 8 dS m^{-1}. Biological yield and harvest index at 12 dS m^{-1} increased by 50% and 18%, respectively, relative to untreated plants (0 µM) (LSD = 150.2 kg ha^{-1} and 1.45%). These findings are consistent with previous studies, suggesting that brassinosteroids can mitigate salinity stress by enhancing growth and reproductive traits (Sharma et al., 2022b; Khalid et al., 2020; Kaya et al., 2025).

Conclusion

Overall, salinity stress adversely affected camelina growth and yield; however, foliar application of 3 µM brassinosteroid effectively mitigated these effects and significantly improved morphological traits, seed yield, and growth indices. This treatment offers a promising strategy to improve camelina performance in saline environments and support sustainable agriculture in salt-affected regions.

Keywords: Harvest index, LAI, oilseed plant, tolerance.

نسخه پیش از انتشار

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2025.9059.2355

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر صفات مورفولوژیک، عملکرد دانه و شاخص‌های رشد کاملینا (*Camelina sativa*) تحت تنش شوری

صادق شهراسبی[1]، علی مرادی[1]*، هادی پیراسته انوشه[2]

۱. به ترتیب دانش آموخته دکتری تخصصی و دانشیار، گروه زراعت و علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۲. دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تحمل
شاخص برداشت
شاخص سطح برگ
گیاه روغنی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰
تاریخ انتشار:

چکیده

کاملینا (*Camelina sativa*) گیاه روغنی مقاوم به شوری، برای کشاورزی پایدار اهمیت دارد. این پژوهش تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر صفات مورفولوژیک، عملکرد دانه و شاخص‌های رشد کاملینا را بررسی کرد. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱) در یزد اجرا شد. فاکتور اصلی شوری در چهار سطح (۰/۵، ۴، ۸، ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور فرعی محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید در چهار غلظت (صفر، ۱، ۲، ۳ میکرومولار) اعمال شد. اثر متقابل شوری و براسینواستروئید بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. شوری ۱۲دسی-زیمنس بر متر، عملکرد دانه را ۴۴ درصد نسبت به شرایط عدم تنش کاهش داد، درحالی‌که محلول‌پاشی ۳ میکرومولار براسینواستروئید عملکرد دانه را در شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۵۹، ۵۹، ۵۵ و ۷۶ درصد و تعداد شاخه‌های جانبی را ۱۶۱، ۲۳، ۹۷ و ۱۹۳ درصد نسبت شرایط عدم محلول‌پاشی براسینواستروئید افزایش داد. محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید، به‌ویژه در غلظت ۳ میکرومولار، راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات شوری و بهبود عملکرد کاملینا است.

مقدمه

تنش شوری یکی از مهم‌ترین موانع کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با کاهش پتانسیل اسمزی آب خاک، تجمع یون‌های سمی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و اختلال در فرآیندهای فتوسنتزی و متابولیکی، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را به‌شدت کاهش می‌دهد (Munns and Tester, 2008; Isayenkov and Maathuis, 2019). این تنش به‌ویژه در گیاهان روغنی، با تأثیر منفی بر صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، شاخص سطح برگ)، اجزای عملکرد (تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه) و شاخص‌های رشد (عملکرد زیستی و شاخص برداشت)، بهره‌وری را محدود می‌کند (Pirasteh-Anosheh et al., 2016; Göre, 2024). در ایران، با بیش از ۲۵ میلیون هکتار اراضی شور، یافتن راهکارهای مؤثر برای بهبود تحمل گیاهان به شوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (FAO, 2020).

کاملینا (*Camelina sativa* L.)، گیاهی روغنی از خانواده Brassicaceae، به‌دلیل ویژگی‌هایی نظیر دوره رشد کوتاه (۱۰۰-۹۰روز)، نیاز آبی کم و توانایی رشد در خاک‌های حاشیه‌ای و شور، گزینه‌ای ایده‌آل برای کشاورزی پایدار در مناطق نامساعد است (Berti et al., 2016; Vollmann and Eynck, 2015). روغن کاملینا، با اسیدهای چرب امگا-۳ بالا، برای تولید بیودیزل و مصارف خوراکی ارزشمند است (Borzoo et al., 2021).

* نگارنده پاسخگو: علی مرادی. پست الکترونیک: amoradi@yu.ac.ir

نسخه پیش از انتشار

تنش شوری با کاهش فتوسنتز، اختلال در تقسیم سلولی و کاهش انتقال آسیمیلات‌ها به دانه‌ها، عملکرد کاملینا را تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). این اثرات، ضرورت استفاده از راهکارهای نوین برای بهبود تحمل شوری این گیاه را برجسته می‌کند .براسینواستروئیدها، هورمون‌های استروئیدی گیاهی، با تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با تحمل تنش، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (مانند کاتالاز و سوپراکسید دسموتاز)، تثبیت غشاهای سلولی و بهبود جذب آب و مواد مغذی، اثرات منفی تنش‌های محیطی مانند شوری را کاهش می‌دهند (Bajguz and Hayat, 2009; Alam et al., 2019). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که کاربرد اپی‌براسینولید در کاملینا تحت تنش شوری، با بهبود رشد و عملکرد، تحمل گیاه را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد (Kaya et al., 2025).

در گیاهان روغنی مانند کلزا و کتان، محلول‌پاشی براسینواستروئیدها با بهبود صفات مورفولوژیک (مانند ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ)، افزایش تعداد دانه و خورجین، و ارتقای شاخص برداشت، تحمل به شوری را بهبود داده است (Ilyas et al., 2024; Nazir et al., 2024). به عنوان مثال خالد و همکاران (Khalid et al., 2020) گزارش کردند که براسینواستروئیدها در کاملینا تحت شوری، ارتفاع بوته را تا ۴۰ درصد و عملکرد دانه را تا ۵۰ درصد افزایش داد. با این حال، اطلاعات درباره اثر محلول‌پاشی۲۴-اپی‌براسینولید بر صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد، و شاخص‌های رشد کاملینا در شرایط شوری محدود است .این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کاملینا تحت سطوح شوری انجام شد. نتایج این مطالعه می‌تواند راهکارهای عملی برای افزایش بهره‌وری کاملینا در اراضی شور و توسعه کشاورزی پایدار ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی دو سال زراعی متوالی (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲) در مزرعه‌ای تحقیقاتی واقع در منطقه عسکریه شهر یزد (عرض جغرافیایی ۳۱/۸۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴/۴۲ درجه شرقی) اجرا شد. میانگین دمای سالانه در سال‌های اول و دوم به ترتیب ۱۸/۳ و ۱۹/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه به ترتیب ۸۶/۸ و ۱۰۴/۶ میلی‌متر بود. بر اساس تجزیه خاک (جدول ۱)، کمبود پتاسیم و فسفر مشاهده شد. نتایج تجزیه خاک برای هر دو سال زراعی مشابه بود.

جدول ۱. نتایج تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table1. Chemical and physical properties of soil at the depth of 0-30 cm

بافت خاک Soil texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	ماده آلی OM	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن Total Nitrogen	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH
	----------%----------				--------ppm-----		%	dS m^{-1}	
Sandy clay loam	26	16.82	57.18	0.34	9.15	198	0.03	4.59	7.6

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی شد. فاکتور اصلی تنش شوری در چهار سطح (۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) از طریق آب آبیاری و فاکتور فرعی محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید (تهیه‌شده از شرکت سیگما-آلدریچ) در چهار غلظت (صفر، ۱، ۲ و ۳ میکرومولار) اعمال شد (Sharma et al., 2022a). شوری آب آبیاری با مخلوط کردن آب چاه (EC=16 dS m^{-1}، جدول ۲) با آب شیرین (EC=0.5 dS m^{-1}) به سطوح ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر تنظیم شد. برای سطح شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر، تنها از آب شیرین با هدایت الکتریکی ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد (FAO, 1992).

تیمارهای شوری از دو هفته پس از کاشت (پس از استقرار بوته‌ها) تا پایان فصل رشد از طریق آبیاری تحت فشار با نوارتیپ، براساس ظرفیت مزرعه (FC) به علاوه ۰/۲۵ درصد سهم آبشویی اعمال شدند (Munns and Tester, 2008).

بذر کاملینا رقم سهیل (تهیه‌شده از شرکت دانش‌بنیان بیستون شفا) در اواسط آبان‌ماه در هر دو سال کشت شد. تراکم اولیه کاشت ۲۰ بذر در مترمربع بود که پس از استقرار به ۱۳ بذر در مترمربع کاهش یافت. فواصل کاشت ۴۰

نسخه پیش از انتشار

سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف در نظر گرفته شد. ابعاد هر کرت ۴×۳ متر، فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و بین بلوک‌ها ۱/۵ متر بود. برای رفع کمبود عناصر غذایی، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶٪ نیتروژن) در سه مرحله (یک‌سوم در زمان کاشت، یک‌سوم در مرحله خروج از روزت، و یک‌سوم در شروع گلدهی)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل (P_2O_5 ٪۴۶) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (K_2O ٪۵۰) در زمان کاشت استفاده شد (Fageria, 2016).

جدول ۲. پارامترهای کیفی آب چاه مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Qualitative Parameters of Well Water Used in the Experiment

Parameter	پارامتر	Symbol/Unit نماد/واحد	Value مقدار
Potential of Hydrogen	پتانسیل هیدروژن	pH	7.8
Electrical Conductivity	هدایت الکتریکی	EC (dS m^{-1})	12.5
Sodium	سدیم	Na^+ (mmol L^{-1})	120
Chloride	کلرید	Cl^- (mmol L^{-1})	110
Calcium	کلسیم	Ca^{2+} (mmol L^{-1})	15
Magnesium	منیزیم	Mg^{2+} (mmol L^{-1})	10

محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید با حجم ۲۵۰ لیتر در هکتار در سه مرحله فنولوژیک (مرحله روزت، شروع گلدهی و پر شدن دانه) با فاصله ۱۰ روزه، یک هفته پس از اعمال شوری (زمانی که علائم تنش مانند کاهش رشد برگ مشاهده شد) انجام شد (Hayat et al., 2010). صفات مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه (میانگین ۱۰ بوته تصادفی در مرحله گلدهی کامل)، تعداد شاخه‌های جانبی (میانگین ۱۰بوته تصادفی)، شاخص سطح برگ (اندازه‌گیری با دستگاه Leaf Area Meter مدل Delta T)، تعداد خورجین در بوته (میانگین ۱۰ بوته تصادفی)، تعداد دانه در خورجین (میانگین ۱۰ خورجین تصادفی)، وزن هزار دانه (میانگین ۶ نمونه ۵۰۰ بذری با ترازوی دیجیتال)، عملکرد دانه (برداشت از ۲ مترمربع وسط هر کرت)، عملکرد زیستی (وزن خشک بوته‌ها پس از ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی) بود (Borzoo et al., 2021; Pirasteh-Anosheh et al., 2016).

[۱] *شاخص برداشت = (عملکرد دانه/ عملکرد زیستی) × ۱۰۰*

داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۱ مدل مخلوط (Mixed Model) با سال به‌عنوان فاکتور تصادفی تجزیه‌وتحلیل شدند. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف و یکنواختی واریانس‌ها با آزمون بارتلت (χ^2=3.45، P=0.32) تأیید شد. باتوجه‌به یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه مرکب داده‌های دو سال انجام شد. مقایسه میانگین‌ها برای اثرات اصلی معنی‌دار با آزمون LSD در سطح ۵٪ انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۲۱ رسم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

برهم‌کنش شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شوری، ارتفاع بوته کاهش یافت، اما محلول‌پاشی با ۳ میکرومولار براسینواستروئید در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۹۴/۷۷، ۳۳/۳۶، ۵۰/۸۰ و ۴۹/۷۵ درصد ارتفاع بوته را نسبت به تیمار بدون براسینواستروئید افزایش داد (جدول ۴). به‌طور خاص، ارتفاع بوته در شوری ۰/۵ دسی زیمنس برمتر از ۳۱/۵۳ سانتی‌متر (صفر میکرومولار) به ۶۱/۳۹ سانتی‌متر (۳ میکرومولار)، در شوری ۴ دسی زیمنس برمتر از ۴۴/۸۴ به ۵۹/۸۰ سانتی‌متر، در شوری ۸ دسی زیمنس برمتر از ۳۷/۴۸ به ۵۶/۵۴ سانتی‌متر، و در شوری ۱۲ دسی زیمنس برمتر از ۳۴/۲۳ به ۵۱/۲۵ سانتی‌متر افزایش یافت (LSD=2.03). نتایج این پژوهش با یافته‌های خالد و همکاران (Khalid et al., 2020) هم‌خوانی دارد که گزارش کردند کاربرد براسینواستروئیدها در کاملینا تحت تنش شوری، ارتفاع بوته را تا ۴۰ درصد افزایش داد. همچنین، نذیر و همکاران (Nazir et al.,2024) نشان دادند که براسینواستروئیدها با تحریک تقسیم سلولی در کتان، اثرات منفی شوری را کاهش می‌دهند، که مشابه نتایج این مطالعه است. تنش شوری با کاهش جذب آب و اختلال در تقسیم سلولی، ارتفاع بوته را کاهش می‌دهد (Farhangi-Abriz and Torabian, 2017). براسینواستروئیدها با تحریک تقسیم سلولی و تقویت جذب مواد مغذی، اثرات منفی شوری را تعدیل کرده و رشد طولی را بهبود می‌بخشند (Khalid et al., 2020).

نسخه پیش از انتشار

تعداد شاخه جانبی

برهم‌کنش شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید و اثر سال بر تعداد شاخه‌های جانبی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). محلول‌پاشی با ۳ میکرومولار براسینواستروئید در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۶۰/۶، ۲۲/۶۷، ۹۷/۳۱ و ۱۹۳/۱۳ درصد تعداد شاخه‌های جانبی را نسبت به تیمار بدون براسینواستروئید افزایش داد (جدول ۴). به‌طور خاص، تعداد شاخه‌ها در شوری ۰ از ۱۲/۲۶ (صفر میکرومولار) به ۳۱/۹۵ (۳ میکرومولار)، در شوری ۴ از ۲۴/۳۰ به ۲۹/۸۱، در شوری ۸ از ۱۱/۵۲ به ۲۲/۷۳، و در شوری ۱۲ از ۴/۶۶ به ۱۳/۶۶ افزایش یافت (LSD=1.16). با این حال، در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، تفاوت بین غلظت‌های ۲ و ۳ میکرومولار معنی‌دار نبود (تفاوت=۱.۰۵<LSD=1.16). این نتایج با یافته‌های الیاس و همکاران (Ilyas et al., 2024) در کلزا هم‌خوانی دارد که نشان دادند براسینواستروئیدها با بهبود شاخه‌زایی، تحمل به شوری را افزایش می‌دهند. شوری با کاهش اکسین و اختلال در مریستم‌ها، شاخه‌زایی را کاهش داد (Zhu et al., 2023). براسینواستروئیدها با تنظیم هورمون‌ها، این اثر را تعدیل کردند (Khalid et al., 2020). ضریب تغییرات بالا برای تعداد شاخه‌های جانبی (۲۴/۱۹ درصد) نشان‌دهنده پراکندگی قابل‌توجه در این صفت است، که احتمالاً به دلیل حساسیت بالای شاخه‌زایی به تنش شوری یا تنوع در پاسخ گیاهان به محلول‌پاشی براسینواستروئید است (Pirasteh-Anosheh et al., 2016).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر براسینواستروئید بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه کاملینا تحت سطوح مختلف شوری در دو سال آزمایش (۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱).

Table 3. Analysis of variance (Mean Squares) for the effect of brassinosteroids on morphological traits of Camelina under different salinity levels in two experimental years (2021-2022 and 2022-2023)

S.O.V	منابع تغییرات	درجات آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی No. of lateral branches	شاخص سطح برگ LAI
Y	**سال**	1	215.19**	37.50**	2.79^{ns}
R× S	**تکرار در سال**	4	5.01	1.72	10.48
S	**شوری**	3	68.17**	2053.88**	39.17**
Y × S	**سال × شوری**	3	5.24^{ns}	1.51^{ns}	0.52^{ns}
ME	**خطای اصلی**	12	2.03	1.17	0.12
Brs	**محلول‌پاشی**	3	154.16**	313.63**	53.97**
S × Brs	**شوری × محلول‌پاشی**	9	132.03**	11.44*	34.45**
Y × Brs	**سال × محلول‌پاشی**	3	3.12^{ns}	3.01^{ns}	1.67**
S × Brs × Y	**شوری × محلول‌پاشی × سال**	9	2.00^{ns}	2.54^{ns}	0.39^{ns}
SE	**خطای فرعی**	48	1.51	1.16	0.098
CV%	**ضریب تغییرات**		*17.62*	*24.19*	*20.65*

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ است.

ns, * and ** represent non-significant, significant at 5% level, and significant at 1% level, respectively.
Y: Year, R: Replication, S: Salinity, E: Error, Brs: Brassinosteroids, SE: Sub-Error, ME: Main-Error, CV: Coefficient of Variation, LAI: Leaf Area Index

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ تحت تأثیر برهم‌کنش معنی‌دار (یک درصد) شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۳). کاربرد ۳ میکرومولار براسینواستروئید در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، شاخص سطح برگ را به ترتیب ۷/۶۶، ۸/۲۲، ۹/۸۱ و ۹/۳۹ نسبت به تیمار بدون براسینواستروئید افزایش داد (جدول ۴). به‌طور خاص، LAI در شوری ۰/۵ از ۲/۳۵ (صفر میکرومولار) به ۲/۵۳ (۳ میکرومولار)، در شوری ۴ از ۲/۱۹ به ۲/۳۷، در شوری ۸ از ۲/۱۴ به ۲/۳۵، و در شوری ۱۲ از ۲/۱۳ به ۲/۳۳ افزایش یافت اما تفاوت‌ها در هیچ سطح شوری معنی‌دار نبود (LSD=0.12). این نتایج با مطالعه شارما و همکاران (Sharma et al., 2022b) هم‌راستاست که نشان دادند براسینواستروئیدها رشد برگ را در شرایط شوری بهبود می‌دهند. تنش شوری با کاهش جذب نیتروژن و ایجاد تنش اکسیداتیو، رشد سطح برگ را محدود می‌کند (Ghobadi

نسخه پیش از انتشار

and Ghobadi, 2015; Göre, 2024). براسینواستروئیدها با تقویت فرآیندهای متابولیکی و تثبیت غشاهای سلولی، رشد برگ‌ها را در شرایط شوری بهبود می‌دهند (Sharma et al., 2022b).

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های برهمکنش سطوح محلول‌پاشی براسینواستروئید و تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه کاملینا

Table 4. Mean Comparison of the Interaction Effects of Levels of Brassinosteroid Foliar Application and Salinity Stress Levels on Morphological Characteristics of Camelina

سطح شوری Salinity level	غلظت براسینواستروئید Brassinosteroid concentration	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی No. of lateral branches	شاخص سطح برگ Leaf area index
dS m^{-1}	µM	cm		
0.5	**0**	31.53^{e}	12.26^{g}	2.35^{b}
	1	41.48^{d}	30.52^{ab}	2.41^{ab}
	2	51.44^{c}	27.79^{c}	2.47^{ab}
	3	61.39^{a}	31.95^{a}	2.53^{a}
4	**0**	44.84^{d}	24.30^{de}	2.19^{c}
	1	49.83^{c}	29.65^{bc}	2.25^{bc}
	2	54.81^{b}	26.43^{cd}	2.31^{b}
	3	59.80^{a}	29.81^{ab}	2.37^{ab}
8	**0**	37.48^{d}	11.52^{g}	2.14^{c}
	1	43.83^{c}	18.43^{f}	2.21^{bc}
	2	50.19^{b}	13.11^{g}	2.28^{b}
	3	56.54^{a}	22.73^{e}	2.35^{ab}
12	**0**	34.23^{e}	4.66^{i}	2.13^{c}
	1	39.90^{d}	7.83^{h}	2.20^{bc}
	2	45.58^{c}	12.61^{g}	2.26^{b}
	3	51.25^{b}	13.66^{g}	2.33^{ab}
(LSD 5%)	**-**	*2.03*	*1.16*	*0.12*

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر سطح شوری تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند (LSD)

Means with at least one common letter at each salinity level do not show a statistically significant difference at the 5% level (LSD).

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر اجزای عملکرد گیاه کاملینا تحت سطوح مختلف شوری در دو سال آزمایش (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲)

Table 5. Analysis of Variance (Mean Squares) for the Effect of Brassinosteroid Foliar Application on Yield Components of Camelina under Different Salinity Levels in Two Experimental Years (2021-2022 and 2022-2023)

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	وزن هزار دانه Thousand-seed weight	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	تعداد خورجین در بوته No. of siliques per plant
Y	**سال**	1	1253**	15.22**	5.083**
R× S	**تکرار در سال**	4	12.35	0.11	0.377
S	**شوری**	3	1026**	47.80**	11.372**
Y × S	**سال × شوری**	3	15.35^{ns}	0.33^{ns}	14.7^{ns}
ME	**خطای اصلی**	12	9.12	0.28	0.088
Brs	**محلول‌پاشی**	3	985.3**	36.39**	3.153**
S × Brs	**شوری × محلول‌پاشی**	9	563.4**	13.53**	2.20**
Y × Brs	**سال × محلول‌پاشی**	3	9.325^{ns}	0.27^{ns}	0.125^{ns}
S × Brs × Y	**شوری × محلول‌پاشی × سال**	9	16.462^{ns}	0.10^{ns}	0.094^{ns}
SE	**خطای فرعی**	48	7.14	0.178	0.0714
CV%	**ضریب تغییرات**		*29.21*	*15.77*	*24.29*

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ است.

ns, * and ** represent non-significant, significant at 5% level, and significant at 1% level, respectively.

نسخه پیش از انتشار

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطوح مختلف شوری برای اجزای عملکرد گیاه کاملینا

Table 6. Mean Comparison of Brassinosteroid Foliar Application at Different Salinity Levels for Yield Components of Camelina

سطح شوری Salinity level	غلظت براسینواستروئید Brassinosteroid concentration	وزن هزار دانه Thousand-seed weight	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	تعداد خورجین در بوته No. of siliques per plant
dS m^{-1}	µM	g		
0.5	**0**	1.33^{de}	7.82^{c}	272.90^{c}
	1	1.39^{d}	8.30^{b}	304.50^{b}
	2	1.54^{b}	9.98^{a}	355.60^{ab}
	3	1.63^{a}	11.00^{a}	380.00^{a}
4	**0**	1.25^{g}	7.10^{c}	221.30^{d}
	1	1.31^{e}	7.77^{b}	233.30^{cd}
	2	1.32^{de}	9.72^{ab}	301.60^{b}
	3	1.33^{de}	10.80^{a}	306.60^{b}
8	**0**	1.24^{gh}	6.16^{d}	129.70^{f}
	1	1.27^{fg}	6.99^{cd}	160.80^{e}
	2	1.49^{c}	7.19^{bc}	170.30^{e}
	3	1.33^{de}	8.22^{ab}	180.70^{e}
12	**0**	1.00^{j}	5.05^{d}	55.19^{e}
	1	1.12^{i}	6.07^{c}	66.95^{de}
	2	1.18^{h}	6.94^{bc}	72.51^{cde}
	3	1.21^{h}	7.16^{ab}	83.71^{bcd}
LSD 5%	-	*0.05*	*0.085*	*10.50*

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر سطح شوری تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند (LSD)

Means with at least one common letter at each salinity level do not show a statistically significant difference at the 5% level (LSD).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه تحت تأثیر برهم‌کنش معنی‌دار (یک درصد) شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۵). محلول‌پاشی با ۳ میکرومولار براسینواستروئید در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، وزن هزار دانه را به ترتیب ۲۲/۵۶، ۶/۴ و ۷/۲۶ و ۲۱ درصد افزایش داد (جدول ۶). این نتایج با یافته‌های ژو و همکاران (Zhu et al., 2023) هم‌خوانی دارد که گزارش کردند براسینواستروئیدها با بهبود متابولیسم نیتروژن و کربوهیدرات‌ها، وزن دانه را در شرایط شوری افزایش می‌دهند. شوری با کاهش انتقال آسیمیلات‌ها، وزن دانه را کاهش می‌دهد (Shahzad et al., 2022). ضریب تغییرات (۲۹/۲۱ درصد) وزن هزار دانه نشان‌دهنده پراکندگی قابل‌توجه در این صفت است که می‌تواند به دلیل حساسیت وزن هزار دانه به تنش شوری یا پاسخ متغیر گیاهان به براسینواستروئید باشد (Pirasteh-Anosheh et al., 2016).

تعداد دانه در خورجین

تعداد دانه در خورجین تحت تأثیر برهم‌کنش معنی‌دار (یک درصد) شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۵). کاربرد ۳ میکرومولار براسینواستروئید در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، تعداد دانه را به ترتیب ۴۰/۶۶، ۵۲/۱۱، ۳۳/۴۴ و ۴۱/۷۸ درصد افزایش داد (جدول ۶). این نتایج با مطالعه احمد و همکاران (Ahammed et al., 2020) هم‌راستاست که نشان دادند براسینواستروئیدها با بهبود انتقال مواد فتوسنتزی، تعداد دانه را در شرایط تنش افزایش می‌دهند. شوری با کاهش گرده‌افشانی و سقط گلچه‌ها، تعداد دانه را کاهش می‌دهد (Ghobadi and Ghobadi, 2015).

تعداد خورجین در بوته

برهم‌کنش شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر تعداد خورجین در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

محلول‌پاشی با غلظت ۳ میکرومولار در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، تعداد خورجین را به ترتیب ۳۹/۲۵، ۳۸/۵۵، ۳۹/۳۲ و ۵۱/۶۷ درصد افزایش داد (جدول ۶). این یافته‌ها با نتایج خالد و همکاران (Khalid et al., 2020) مطابقت دارد که گزارش کردند

نسخه پیش از انتشار

براسینواستروئیدها با تقویت ساختارهای زایشی، تعداد خورجین را در کاملینا افزایش می‌دهند. شوری با کاهش تقسیم سلولی و افزایش ریزش گل‌ها، تعداد خورجین را کاهش می‌دهد (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). ضریب تغییرات ۲۴/۲۹ درصد برای تعداد خورجین نشان‌دهنده پراکندگی قابل‌توجه است.

جدول ۷. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر صفات عملکردی گیاه کاملینا تحت سطوح مختلف شوری در دو سال آزمایش (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲)

Table 7. Analysis of Variance (Mean Squares) for the Effect of Brassinosteroid Foliar Application on Yield Traits of Camelina under Different Salinity Levels in Two Experimental Years (2021-2022 and 2022-2023)

S.O.V	منابع تغییرات	درجات آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
Y	سال	1	817704.1**	1617204.1**	111.75*
R× S	تکرار در سال	4	16257.8	27398.1	3.79
S	شوری	3	2899692**	20742764.3**	234.04**
Y × S	سال × شوری	3	4926.3 ^{ns}	4926.3^{ns}	0.77^{ns}
ME	خطای اصلی	12	5373.3	4677.8	2.46
Brs	محلول‌پاشی	3	2187491**	6289031.4**	119.15**
S × Brs	شوری × محلول‌پاشی	9	29256**	73812.06**	7.20*
Y × Brs	سال × محلول‌پاشی	3	468^{ns}	468.06^{ns}	2.95^{ns}
S × Brs × Y	شوری × محلول‌پاشی × سال	9	653.02^{ns}	453.2^{ns}	0.41^{ns}
SE	خطای فرعی	48	7361.18	23005.05	3.10
CV%	ضریب تغییرات	-	*5.73*	*4.47*	*3.97*

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ است.

ns, * and ** represent non-significant, significant at 5% level, and significant at 1% level, respectively.

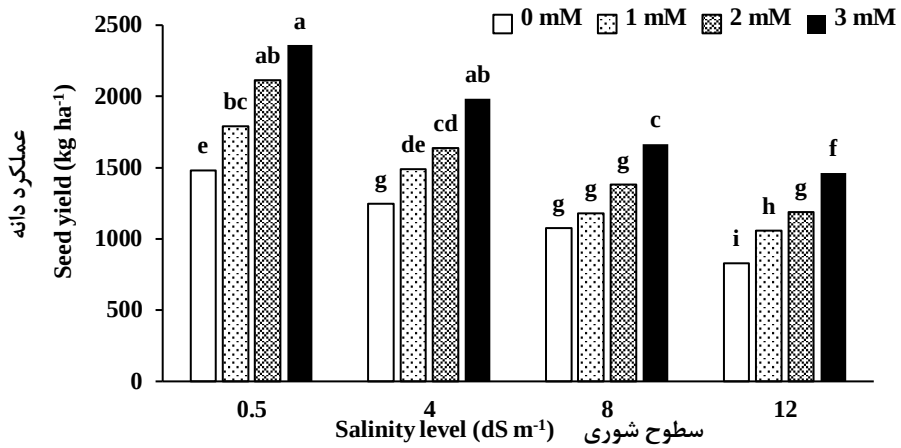
عملکرد دانه

برهم‌کنش شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (شکل ۱). کاربرد ۳ میکرومولار براسینواستروئید در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد دانه را به ترتیب ۵۹/۳۷، ۵۹/۰۷، ۵۴/۸۸ و ۷۶/۳۶ درصد نسبت به تیمار بدون براسینواستروئید افزایش داد (شکل ۱). افزایش قابل‌توجه عملکرد دانه در غلظت ۳ میکرومولار، به‌ویژه در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، با نتایج الیاس و همکاران (Ilyas et al., 2024) در کلزا مطابقت دارد که گزارش کردند براسینواستروئیدها عملکرد دانه را در شرایط شوری تا ۶۰ درصد بهبود می‌بخشند. همچنین، و کایا و همکاران (Kaya et al., 2025) نشان دادند که کاربرد اپی‌براسینولید در کاملینا تحت تنش شوری، با بهبود فرآیندهای متابولیکی و کاهش اثرات منفی یون‌های سمی، عملکرد دانه را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. این بهبود احتمالاً به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و کاهش ریزش خورجین‌هاست (Sharma et al., 2022a). شوری با کاهش فتوسنتز و ریزش خورجین‌ها، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Shahzad et al., 2022). براسینواستروئیدها با بهبود جذب عناصر غذایی و حفظ ساختارهای زایشی، عملکرد دانه را در شرایط شوری افزایش می‌دهند (Khalid et al., 2020).

عملکرد زیستی

عملکرد زیستی تحت تأثیر برهم‌کنش معنی‌دار (۱٪) شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۷). محلول‌پاشی با ۳ میکرومولار براسینواستروئید در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد زیستی را به ترتیب ۳۸/۳۱، ۳۸/۸۳، ۴۸/۶۵ و ۵۰/۳۶ درصد افزایش داد (جدول ۸). این نتایج با یافته‌های الیاس و همکاران (Ilyas et al., 2024) هم‌خوانی دارد که نشان دادند براسینواستروئیدها با افزایش سطح برگ و کلروفیل، زیست‌توده را در کلزا بهبود می‌بخشند. شوری با کاهش فتوسنتز و کوتاه شدن دوره رشد، زیست‌توده را کاهش می‌دهد (Ghobadi and Ghobadi, 2015).

نسخه پیش از انتشار



شکل ۱. تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر عملکرد دانه تحت سطوح مختلف شوری (LSD 5%)

Fig 1. Effect of Brassinosteroid Foliar Application on Seed Yield of Camelina under different salinity levels (LSD 5%)

شاخص برداشت

شاخص برداشت تحت تأثیر برهم‌کنش معنی‌دار (۱٪) شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۷). کاربرد ۳ میکرومولار براسینواستروئید در سطوح شوری ۰/۵، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، ش.اخص برداشت را به ترتیب ۱۵/۲۳، ۱۴/۷۴، ۴/۳۸ و ۱۷/۶۶ درصد نسبت به تیمار بدون براسینواستروئید افزایش داد، به‌طوری که در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰/۲۳ رسید (جدول ۸). این افزایش با یافته‌های شهزاد و همکاران (Shahzad et al., 2022) هم‌راستاست که نشان دادند براسینواستروئیدها با بهبود انتقال آسیمیلات‌ها به دانه، شاخص برداشت را در کلزا تحت تنش شوری افزایش می‌دهند. شوری با کاهش انتقال آسیمیلات‌ها به دانه، شاخص برداشت را کاهش می‌دهد (Sharma et al., 2022a).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج پژوهش نشان داد که تنش شوری به‌طور معنی‌داری صفات مورفولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، اجزای عملکرد، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت گیاه کاملینا را کاهش داد. با این حال، محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید با غلظت ۳ میکرومولار، با بهبود فتوسنتز، افزایش جذب مواد مغذی و کاهش اثرات تنش اکسیداتیو، تحمل کاملینا به شوری را بهبود بخشید و باعث افزایش قابل توجه ویژگی‌های رشدی، عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت گیاه کاملینا در سطوح مختلف تنش شوری گردید. بنابراین،کاربرد براسینواستروئید به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش عملکرد کاملینا در شرایط شوری پیشنهاد می‌شود.

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش محلول‌پاشی براسینواستروئید و سطوح تنش شوری بر صفات عملکردی گیاه کاملینا

Table 8. Mean Comparison of the Interaction Effects of Brassinosteroid Foliar Application and Salinity Stress Levels on Yield Traits of Camelina

شوری Salinity level dS m⁻¹	براسینواستروئید Brassinosteroid concentration µM	عملکرد زیستی Biological yield kg ha⁻¹	شاخص برداشت Harvest index %
0.5	**0**	3656.05^{de}	40.46^{g}
	1	4196.3^{bc}	42.61^{f}
	2	4719.51^{ab}	44.71^{e}
	3	5057.28^{a}	46.62^{c}
4	**0**	3306.41^{f}	37.66^{g}
	1	3702.51^{cd}	40.13^{f}
	2	4116.71^{c}	39.78^{f}
	3	4590.35^{ab}	43.21^{e}
8	**0**	2318.81^{g}	46.33^{c}
	1	2571.15^{fg}	45.83^{c}
	2	2867.65^{f}	48.08^{b}
	3	3446.73^{e}	48.36^{b}
12	**0**	1934.16^{i}	42.69^{e}
	1	2311.88^{h}	45.73^{d}
	2	2566.76^{g}	46.33^{d}
	3	2909.16^{f}	50.23^{a}
(LSD 5%)	-	*150.20*	*1.45*

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر سطح شوری تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند (LSD)

Means with at least one common letter at each salinity level do not show a statistically significant difference at the 5% level (LSD).

نسخه پیش از انتشار

منابع

Ahammed, G. J., Li, X., Liu, A., Chen, S., 2020. Brassinosteroids in plant tolerance to abiotic stress. Journal of Plant Growth Regulation. 39, 1451–1464. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10098-0

Alam, P., Albalawi, T.H., Altalayan, F.H., Bakht, M.A., Ahanger, M.A., Raja, V., Ashraf, M., Ahmad, P., 2019. 24-Epibrassinolide (EBR) confers tolerance against NaCl stress in soybean plants by up-regulating antioxidant system, ascorbate-glutathione cycle, and glyoxalase system. Biomolecules. 9, 640. https://doi.org/10.3390/biom9110640

Bajguz, A., Hayat, S., 2009. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. Plant Physiology and Biochemistry. 47, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.10.002

Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J., Cermak, S., 2016. Camelina: A potential oilseed crop for biofuels and bioproducts. Industrial Crops and Products. 83, 707–716. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.050

Borzoo, H., Mohsenzadeh, M., Aghaee, M., 2021. Impact of salinity stress on growth, physiological traits, and yield of *Camelina sativa* L. Journal of Plant Growth Regulation, 40, 683–694. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10309-2

Farhangi-Abriz, S., Torabian, S., 2017. Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. Ecotoxicology and Environmental Safety. 137, 64–70. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.004

Fageria, N. K., 2016. The use of nutrients in crop plants. CRC Press.

FAO., 1992. The use of saline waters for crop production. FAO Irrigation and Drainage Paper 48. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO., 2020. The state of food and agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://doi.org/10.4060/cb1447en

Ghobadi, M., Ghobadi, A., 2015. Effects of salinity stress on some physiological traits of Camelina sativa. Iranian Journal of Plant Physiology. 6, 1473–1480. [In Persian with English summary]

Göre, F., 2024. Effects of salinity stress on physiological and biochemical responses of *Camelina sativa*. Plant Physiology and Biochemistry. 192, 198–206. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.10.010

Hayat, S., Hasan, S. A., Ahmad, A., 2010. Brassinosteroids: A class of plant hormone. In: Hayat, S., Ahmad, A. (eds.), Brassinosteroids: A class of Plant Hormone. pp. 1–28. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0189-2_1

Ilyas, N., Ullah, N., Ali, A., Shahbaz, M., 2024. Brassinosteroids enhance salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.) by improving physiological and biochemical attributes. Frontiers in Plant Science. 15, 1021334. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1021334

Isayenkov, S.V., Maathuis, F.J.M., 2019. Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. Frontiers in Plant Science. 10, 80. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080

Kaya, S., Kaya, S., 2025. Mitigation of salt stress in *Camelina sativa* by epibrassinolide and salicylic acid treatments. Scientific Reports. 15, 7965. https://doi.org/10.1038/s41598-025-92555-y

Khalid, S., Khalid, M.F., Ahmad, M., 2020. Brassinosteroids enhance growth and yield of *Camelina sativa* under salt stress conditions. Journal of Plant Growth Regulation. 39, 813–823. https://doi.org/10.1007/s00344-019-10088-2

Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59, 651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Nazir, A., Hussain, M., Ali, M., Mahmood, K., 2024. Brassinosteroids mitigate the effects of salinity stress on growth and biochemical parameters of flax (*Linum usitatissimum* L.). Plant Growth Regulation. 101, 23–34. https://doi.org/10.1007/s10725-023-00953-1

Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., 2016. Salinity effects on growth and yield of *Camelina sativa*. Journal of Crop Science and Biotechnology. 19, 297–303. https://doi.org/10.1007/s12892-016-0087-5

Shahzad, K., Nawaz, M. F., Hussain, I., Raza, H., 2022. Salinity stress and brassinosteroids: Physiological and biochemical responses in

Brassica napus L. Agronomy. 12, 858. https://doi.org/10.3390/agronomy12040858

Sharma, A., Kumar, V., Thukral, A. K., 2022a. Brassinosteroids mitigate salinity stress in plants. Journal of Plant Growth Regulation. 41, 456–472. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10321-7

Sharma, D., Gupta, A., Sood, M., 2022b. Brassinosteroids alleviate the effects of salinity stress in plants: A review. Plants. 11, 733. https://doi.org/10.3390/plants11060733

Vollmann, J., Eynck, C., 2015. Camelina as a sustainable oilseed crop: Contributions of plant breeding and genetic engineering. Biotechnology Journal. 10, 525–535. https://doi.org/10.1002/biot.201400200

Zhu, Z., Zhang, Y., Wei, J., Liu, Y., 2023. Brassinosteroids alleviate the adverse effects of salt stress on plant growth and development. Plants. 12, 1147. https://doi.org/10.3390/plants12051147

نسخه پیش از انتشار