University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Effect of Foliar Application of Amino Acids under Water Deficit Conditions during Late-Season on Yield and Yield Components of Oil Rapeseed (*Brassica napus* L.)

Esmaeil Fayaz[1] | Ali Sorooshzadeh[2]✉ | Ali Heidarzadeh[3]

1. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: esmaeil.fayaz@modares.ac.ir. ORCID: 0009-0003-9336-5980
2. Corresponding Author, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: soroosh@modares.ac.ir. ORCID: 0000-0002-5840-2681
3. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir. ORCID: 0000-0001-6680-9257

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: November 18, 2023
Received in revised form: January 29, 2024
Accepted: January 31, 2024
Published online: March 20, 2024

Keywords:
Agronomic traits,
amino acid,
drought stress,
foliar spraying,
oilseeds,
withholding irrigation.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effect of foliar application of amino acids on yield and yield components of oil rapeseed under late-season drought stress conditions. The experiment was conducted as factorial based on a randomized complete blocks design in the research farm of the Faculty of Agriculture at Tarbiat Modares University during the 2021-22 growing season. The experimental treatments were irrigation regimes at three levels (normal irrigation, withholding irrigation from 50% flowering stage, and withholding irrigation from pod forming) and foliar spraying at five levels (no foliar, foliar spraying 0, 1, 2, and 3 g amino acids per liter of distilled water). The results showed that plant height, shoot dry weight, 1000-seed weight, harvest index, and biological and grain yield, number of seeds per pod, and the number of pods per plant were significantly affected by the interaction of irrigation regimes and foliar spraying. The highest plant height (166.5 cm), 1000-seed weight (3.58 g), number of pods per plant (131.4) and grain yield (4514 kg ha-1) were obtained by foliar spraying of two g amino acids per litre under normal irrigation conditions. According to the results, foliar spraying 2 g amino acids per liter had the most positive effect on the yield and yield components of oil rapeseed in all irrigation regimes (normal irrigation, withholding irrigation from 50% flowering stage, and withholding irrigation from pod forming). Therefore, upon approving in future research it could be recommended to use foliar spraying with 2 g amino acids per liter in oil rapeseed cultivation.

Cite this article: Fayaz, E., Sorooshzadeh, A., & Heidarzadeh, A. (2024). Effect of foliar application of amino acids under water deficit conditions during late-season on yield and yield components of oil rapeseed (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(1), 139-149. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.368145.655044.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.368145.655044

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط تنش کم‌آبی آخر فصل رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.)

اسماعیل فیاض[۱] | علی سروش‌زاده[۲]✉ | علی حیدرزاده[۳]

۱. گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: esmaeil.fayaz@modares.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: soroosh@modares.ac.ir

۳. گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
اسیدآمینه،
تنش خشکی،
دانه‌های روغنی،
ویژگی‌های زراعی،
قطع آبیاری،
محلول‌پاشی.

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه روی عملکرد و اجزای عملکرد کلزا تحت شرایط تنش کم‌آبی آخر فصل به‌صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی و قطع آبیاری از خورجین‌دهی) و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در پنج سطح (بدون محلول‌پاشی، آب مقطر، یک، دو و سه گرم اسیدهای آمینه در لیتر آب) بود. نتایج نشان داد برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی روی ارتفاع بوته، وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه و بیولوژیک، تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته تأثیر معناداری گذاشت. بیشترین ارتفاع بوته (۱۶۶/۵ سانتی‌متر)، وزن هزار دانه (۳/۵۸ گرم)، تعداد خورجین در بوته (۱۳۱/۴ عدد) و عملکرد دانه (۴۵۱۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی دو گرم اسیدهای آمینه در لیتر در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش بیشترین تأثیر مثبت کاربرد برگی اسیدهای آمینه روی عملکرد و اجزای عملکرد کلزا با دو گرم در یک لیتر آب در هر سه رژیم آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و خورجین‌دهی) مشاهده شد. لذا کاربرد دو گرم اسیدهای آمینه در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی در زراعت کلزا در صورت تأیید در پژوهش‌های بعدی ممکن است قابل توصیه باشد.

استناد: فیاض، ا.، سروش زاده، ع.، و حیدرزاده، ع. (۱۴۰۳). تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط تنش کم‌آبی آخر فصل رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۱)، ۱۳۹-۱۴۹.
DOI: 10.22059/ijfcs.2024.368145.655044

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

در چند سال گذشته، تولید و کیفیت برداشت محصولات مختلف، به‌شدت تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی قرار گرفته است (Parry, 2019). یکی از مهم‌ترین موانع رشد و توسعه گیاهان، کمبود آب می‌باشد (Chavoushi *et al*., 2019; Bahador & Tadayon, 2020). با توجه به این که ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده (Deihimfard *et al*., 2018)؛ کم‌آبی به‌عنوان یک عامل مهم در کاهش عملکرد گیاهان در ایران می‌باشد. تنش خشکی به‌دلیل اثرات نامطلوب فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی فراوان، باعث کاهش شدید رشد و نمو و عملکرد گیاهان می‌شود (Hadian *et al*., 2019).

کلزا (*Brassica napus* L.) گیاهی یکساله، دگرگشن (Tousi *et al*., 2015) و به‌عنوان یکی از منابع اصلی دانه‌های روغنی برای تولید روغن نباتی خوراکی کشت می‌شود (Neik *et al*., 2020). کلزا همانند بسیاری دیگر از محصولات زراعی، در معرض تنش‌های مختلف محیطی، به‌ویژه خشکی قرار می‌گیرد (Elferjani & Soolanayakanahally, 2018).گزارش شده است که کلزا نسبت به تنش خشکی حساس است (Urban *et al*., 2017) و از حساس‌ترین مراحل رشدی به تنش خشکی در کلزا، مرحله گلدهی و تشکیل خورجین‌ها می‌باشند، به‌طوری‌که وقوع تنش خشکی در این مرحله بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد دانه دارد (Rostami Hir *et al*., 2021). نتایج مطالعات بیانگر این است که قطع آبیاری در مراحل گلدهی و تشکیل خورجین موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا می‌شود (Payandeh *et al*., 2018) و میزان کاهش عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی کلزا بیشتر بود (Zali *et al*., 2020).

یکی از روش‌های کم‌هزینه و مؤثر در بهبود بازدهی مصرف آب گیاهان و کاهش اثرات تنش، محلول‌پاشی محرک‌های رشد گیاهی به‌ویژه اسیدهای آمینه می‌باشد (Alshaal & El-Ramady, 2017) که قادر به تحریک رشد و توسعه گیاهی تحت شرایط بهینه و تنش هستند (Ronga *et al*., 2019). این مواد از طریق تنظیم و افزایش فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه موجب بهبود رشد محصول، عملکرد، کیفیت، جذب عناصر غذایی و تحمل به تنش‌های غیر زنده عمل می‌شوند (Rouphael & Colla, 2018). نتایج یک تحقیق نشان داد که وزن هزار دانه، عملکرد دانه و تعداد خورجین در بوته گیاهان کلزا با محلول‌پاشی اسیدهای آمینه پرولین و گلوتامیک‌اسید تحت تأثیر قرار گرفت و موجب افزایش این صفات شد (Burbulis *et al*., 2021). در گزارش Passandideh *et al*. (2022) محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی موجب افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش کم‌آبی و نرمال می‌شود. با توجه به نتایج مطالعات Safdari-Monfared *et al*. (2020) کاربرد اسیدآمینه گلایسین بتائین در کلزا باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین نسبت به شاهد شد. در گزارش‌های متعددی به تأثیر مثبت محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر صفاتی مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد در گیاهان مختلفی نظیر عدس (Heidarzadeh *et al*., 2021)، نخود (Khalesi *et al*., 2023)، گندم (Rafie *et al*., 2021) و برنج (Ashouri *et al*., 2023) در شرایط تنش خشکی و غیر تنش اشاره شده است.

هر چند در مطالعات گذشته، تأثیر برخی از اسیدهای آمینه روی گیاهان مختلف بررسی شده؛ با این حال بررسی غلظت‌های مختلف اسیدآمینه تجاری (حاوی ۲۰ نوع اسیدآمینه) روی کلزا در شرایط تنش کم‌آبی در مراحل آخر رشد گیاه صورت نگرفته است. با توجه به موارد بالا و اهمیت کشت کلزا به‌عنوان منبع تأمین روغن در کشور و همچنن مشکلات کم‌آبی در اواخر فصل رشد، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در شرایط تنش کم‌آبی آخر فصل انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش درسال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران واقع در ۱۷ کیلومتری غرب تهران با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه، ۷۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه، ۱۶ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۲۷۵ متر از سطح دریا اجرا شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد که هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به طول سه متر بود. مساحت هر واحد آزمایشی ۳/۶ متر مربع (۱/۲×۳) بود. عوامل مورد بررسی شامل سطوح مختلف

آبیاری (قطره‌ای از طریق نوار تیپ) در سه سطح (آبیاری کامل در طول فصل زراعی، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی) و محلول‌پاشی در پنج سطح (بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی به‌ترتیب صفر (آب مقطر)، یک، دو و سه گرم اسیدهای آمینه در یک لیتر آب) بود. اسیدهای آمینه مورد استفاده در این پژوهش، اسیدآمینه پروآمین (محصول کشور اسپانیا) بود که شامل سرین (۱۱/۳۲٪)، پرولین (۹/۷۸٪)، گلایسین (۹/۴۸٪)، اسیدگلوتامیک (۹/۴۸٪)، آسپارتیک‌اسید (۶/۲۲٪)، لوسین (۵/۴۰ ٪)، آرژنین (۵/۲۹٪)، والین (۴/۷۶٪)، فنیل‌آلانین (۴/۲۸٪)، ترونین (۴/۲۰٪)، آلانین (۴/۱۵٪)، ایزولوسین (۳/۰۵٪)، لایسین (۱/۴۸٪)، هیستیدین (۱/۴۶٪)، سیستین (۱/۱۶٪)، تیروزین (۰/۷۰٪) و متیونین (۰/۶۰٪) بود. تیمارهای محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در سه مرحله رشد (رشد طولی ساقه با کد ۳۹ از شاخص scale-BBCH[1] (رشد نه میانگره به‌طور آشکار)، مرحله ظهور گل‌آذین با کد ۵۰ از شاخص scale-BBCH (محصورشدن جوانه‌های گل توسط برگ‌ها) و مرحله گلدهی با کد ۶۱ از شاخص scale-BBCH (باز شدن ده درصد از گل‌های روی شاخه اصلی و طویل‌شدن شاخه اصلی) در ساعات اولیه صبح (۹–۷ قبل از ظهر) و با سمپاش دستی سه لیتری روی کرت‌های مورد نظر انجام شد. بر این اساس آزمایش شامل ۱۵ تیمار و سه تکرار و ۴۵ کرت آزمایشی بود. عملیات کاشت با آماده‌سازی زمین با اجرای عملیات شخم، دیسک‌زنی برای خردکردن کلوخه‌ها و ازبین‌بردن علف‌های هرز و ماله به‌منظور تسطیح زمین و کاشت در تاریخ ۱۵ مهر به‌صورت دستی در عمق یک–دو سانتی‌متری با تراکم ۶۰ بوته در متر مربع (فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف پنج سانتی‌متر) صورت گرفت. بذر مورد استفاده در این تحقیق رقم نیما (تولید این رقم از سال ۱۳۸۰ از تلاقی بـین دو رقـم Okapi و Modena در کرج و انتخاب نتایج مطلوب از جمعیت F۲ حاصله در همدان آغاز در سال ۱۳۹۵ به‌عنوان رقم کلزای تیپ زمستانه جهت کشت در مناطق سرد و معتدل سرد کشور معرفی شد) بود. نیاز کودی گیاه در اجرای پژوهش با توجه به ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه (جدول ۱) تأمین شد. بر اساس توصیه کودی برای تولید کلزا در هر هکتار به ۳۵۰ کیلوگرم اوره، ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم نیاز می‌باشد که با توجه به نتایج آنالیز خاک به‌دلیل کافی‌بودن میزان فسفر خاک مورد نیاز برای کلزا از مصرف کود فسفره خودداری شد. در این آزمایش کود نیتروژن به‌صورت سرک و در سه مرحله قبل از کاشت، در مرحله شروع ساقه‌رفتن و ظهور اولین غنچه‌های گل مصرف شد و تمام کود سولفات پتاسیم در هنگام کاشت به مزرعه اضافه شد. مبارزه با علف‌های هرز در طول فصل رشد به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Depth (cm)	Texture	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	OC (%)	EC (dS/m)	pH	K (mg/Kg)	P (mg/Kg)	N (%)	OM
0-30	Sandy-Loam	15.5	71	13.5	0.858	1.398	7.91	173	15.5	0.065	1.476
30-60	Sandy-Loam	19	68.5	12.5	0.702	1.372	7.97	93	22.5	0.069	1.207

به‌منظور بررسی علمی تأثیر عوامل مورد بررسی، صفات ارتفاع، وزن خشک اندام‌های هوایی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اندازه‌گیری و یا محاسبه شدند. قبل از رسیدگی فیزیولوژیک صفات وزن خشک اندام هوایی و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، صفات ارتفاع، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین پس از رعایت اثرات حاشیه‌ای، از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری شدند. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در زمان رسیدگی کامل با کف‌بر کردن بوته‌ها (نیم متر از دو ردیف وسط کرت) اندازه‌گیری شده و از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به‌دست آمد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه بعد از برداشت محصول هشت نمونه ۱۰۰ تایی از بذرهای هر کرت آزمایشی به‌طور تصادفی انتخاب و با ضرب‌کردن میانگین وزن آن‌ها در عدد ۱۰ وزن هزار دانه محاسبه شد.

در نهایت، داده‌ها پس از اطمینان از نرمال‌بودن باقیمانده آن‌ها، از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) برای تجزیه واریانس از رویه GLM و مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد.

1. Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳-۱. ارتفاع بوته

جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی تأثیر معناداری روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها نشان‌دهنده تأثیر مثبت اسیدهای آمینه بر ارتفاع بوته بود، به‌صورتی‌که موجب کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی شد. اگرچه بیشترین ارتفاع بوته‌ها از محلول‌پاشی سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب و آبیاری کامل (۱۶۸/۵ سانتی‌متر) حاصل شد، اما تفاوت معنی‌داری با تیمارهای قطع آبیاری در خورجین‌دهی (۱۶۲ سانتی‌متر) و یا قطع آبیاری از گلدهی (۱۵۰ سانتی‌متر) همراه با محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه نداشت. کمترین ارتفاع از تیمارهای بدون محلول‌پاشی به‌ترتیب ۱۴۱/۵، ۱۴۵/۳ و ۱۳۷/۷ سانتی‌متر از قطع آبیاری از گلدهی، خورجین‌دهی و آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲. میانگین مربعات صفات کلزا تحت تأثیر تیمار قطع آبیاری و محلول‌پاشی.

S.O.V	d.f	Mean Square				
		Plant height	Leaf dry weight	Stem dry weight	Pod dry Weight	Total dry weight
R	2	34.5^{ns}	1635.3^{ns}	832236^{ns}	799941.5^{ns}	3830474.8^{ns}
S	2	441.9^{**}	909234.1^{**}	25250944.2^{**}	55002903.8^{**}	16499162.4^{**}
F	4	388.7^{**}	191961.8^{**}	10348612.4^{**}	10766536.2^{**}	71388378.9^{**}
SF	8	117.2^{*}	105415.5^{**}	4342103.5^{**}	2067658.1^{*}	5401135.6^{*}
Error	28	38.68	7192.8	1233977.9	806308	1990723.7
CV (%)		4.07	8.39	12.39	14.70	8.68

S: قطع آبیاری، F: محلول‌پاشی، ^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار، **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

جدول ۳. برهمکنش محلول‌پاشی و قطع آبیاری روی صفات کلزا.

Treatments		Plant height (cm)	Leaf dry weight (kg/ha)	Stem dry weight (kg/ha)	Pod dry weight (kg/ha)	Total dry weight (kg/ha)
Irrigation	Spraying					
S1	F1	137.7f	1196.7b-e	9466.7b	4400e-g	13660h
	F2	155.5b-d	1334ab	9089b	8088.7ab	16385d-g
	F3	155b-d	1250bc	10557ab	8844.3a	21360ab
	F4	168.5a	1411a	11733.3a	8222ab	22353a
	F5	168.3a	1207b-e	9933.3ab	7733.3ab	20733ab
S2	F1	145.3d-f	493.3fg	9022b	5333.3de	14600f-h
	F2	148.2ed	771.7f	9266.7b	6933.3bc	17172de
	F3	159a-c	1243.3b-d	9200b	8000ab	18360cd
	F4	162ab	1107de	1033.7ab	8266.7ab	19905bc
	F5	152.3b-d	1146c-e	87555.7b	6177.7cd	16613d-f
S3	F1	141.5ef	778.7f	5666.7c	3300g	8972i
	F2	149.3de	662f	4600c	3867e-g	9318i
	F3	147.3d-f	767f	9022.3b	3666.7fg	15013e-h
	F4	148cd	1087e	8800b	4933.3d-f	15128e-h
	F5	150c-e	693f	9600b	3800f-g	14232gh

میانگین‌های دارای حروف مشترک در یک ستون، اختلاف معنادار ندارند. S1: آبیاری کامل، S2: قطع آبیاری از ۵۰ درصد خورجین‌دهی، S3: قطع آبیاری از ۵۰ درصد گلدهی، F1: بدون محلول‌پاشی، F2: محلول‌پاشی با آب مقطر، F3: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F4: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F5: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب.

نتایج مطالعات Aboodeh *et al.* (2022) با نتایج این تحقیق همخوانی داشت و ارتفاع بوته کلزا در تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و قطع آبیاری از خورجین‌دهی تا برداشت در ارقام مختلف نسبت به شاهد کاهش یافت. علت کاهش ارتفاع گیاه کلزا در اثر اعمال تنش خشکی در مرحلهٔ گلدهی، کاهش شاخص سبزینگی بود (جدول ۶) که موجب اختلال در فرآیند فتوسنتز به‌واسطهٔ کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای انتقال به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه می‌شود. احتمالا این امر باعث توقف طویل‌شدن سلول‌ها و کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Gharechaei *et al.,* 2019; Ardashiri & Jahan Bin, 2018). نتایج مطالعه Passandideh *et al.* (2022) نشان داد که کاربرد اسیدهای آمینه به‌صورت محلول‌پاشی در شرایط تنش کم‌آبی در کلزا موجب کاهش اثرات منفی تنش بر ارتفاع بوته و افزایش ۵/۸

درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد می‌شود. هرچند گیاهان می‌توانند اسیدهای آمینه تولید کنند، اما این سنتز فرآیندی انرژی‌بر است؛ لذا استفاده از اسیدهای آمینه سنتزشده برای گیاه، این امکان را فراهم می‌سازد که گیاه در شرایط تنش انرژی خود را به‌جای ساخت اسیدآمینه در رشد و توسعه خود به‌کار برده و رشد و نمو گیاه بهبود یابد (Li *et al*., 2021). نتایج همبستگی (جدول ۶) نشان داد که ارتفاع بوته بیشترین همبستگی مثبت را با وزن خشک کل (r=۰/۸۳**) داشته و به‌دلیل نقش مستقیم افزایش ارتفاع در افزایش وزن بوته این همبستگی مورد انتظار بود.

۳-۲. وزن اندام هوایی

داده‌های جدول تجزیه واریانس بیانگر تأثیرپذیری وزن خشک برگ و ساقه در سطح احتمال یک درصد و وزن خشک خورجین و کل از برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۴). پس از قطع آبیاری وزن خشک برگ روند کاهشی از خود نشان داد. بیشترین وزن خشک برگ (۱۴۱۱ کیلوگرم در هکتار) با محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر با آبیاری کامل و کمترین میزان (۴۹۳/۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار قطع آبیاری از خورجین‌دهی و محلول‌پاشی با آب مقطر حاصل شد. در سایر اجزای وزن خشک اندام هوایی بیشترین میزان وزن خشک ساقه (۱۱۷۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد دو گرم اسیدآمینه، وزن خشک غلاف (۸۸۴۴/۳ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد یک گرم اسیدآمینه و وزن خشک کل (۲۲۳۵۳ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد دو گرم اسیدآمینه در شرایط آبیاری کامل حاصل شد. کمترین میزان وزن خشک ساقه (۴۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) با محلول‌پاشی آب مقطر، وزن خشک غلاف (۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و وزن کل (۸۹۷۲ کیلوگرم در هکتار) از تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۵). طبق گزارش Dawood & Sadak (2014) سطوح مختلف تنش خشکی باعث کاهش قابل توجه پارامترهای رشد گیاه کلزا، از جمله وزن خشک اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد شد. به‌نظر می‌رسد علت کاهش خصوصیات رشدی در گیاه به این دلیل است که تنش کم‌آبی باعث کاهش صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه ازجمله ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ شده و در نهایت بر رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Hafez *et al*., 2020; Omara *et al*., 2019; Zhang *et al*., 2018). مطالعات Dawood & Sadak (2014) نشان داد که محلول‌پاشی اسیدآمینه گلایسین بتائین روی کلزا در شرایط تنش خشکی موجب بهبود وزن خشک اندام هوایی گیاه کلزا می‌شود. افزایش صفات رشد گیاه در نتیجه استفاده از محرک‌های زیستی نظیر اسیدهای آمینه را می‌توان به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و جذب مواد مغذی معدنی نسبت داد (EL-Aal, 2018). همبستگی بین وزن اندام‌های هوایی و سایر صفات مثبت و معنادار بود (جدول ۶). وزن خشک برگ بیشترین همبستگی را با وزن هزار دانه (r=۰/۸۳**)، وزن خشک ساقه و وزن خشک خورجین با وزن خشک کل (r=۰/۸۷**) و وزن خشک کل نیز همبستگی مثبتی با وزن خشک ساقه و خورجین (r=۰/۸۷**) داشت. افزایش وزن اندام‌های هوایی به‌عنوان ذخیره مواد فتوسنتزی عمل کرده و در فرآیند انتقال مجدد موجب افزایش وزن دانه‌ها می‌شود و همچنین وزن خشک ساقه و خورجین نقش مستقیمی در تجمع ماده خشک در بوته به‌عنوان وزن خشک کل دارند.

جدول ٤. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد کلزا تحت تأثیر تیمار قطع آبیاری و محلول‌پاشی.

S.O.V.	df	Mean Square				
		1000-seed weight	N. of seed per pod	N. of pods per plant	Harvest index	Grain yield
R	2	0.05^{ns}	1.1^{ns}	99.1^{ns}	11.8^{ns}	78696^{ns}
S	2	4^{**}	19^{**}	1541.3^{**}	650.96^{**}	32560610.5^{**}
F	4	0.3^{**}	11.5^{**}	4057.3^{**}	56.4^{**}	1140041.5^{**}
SF	8	0.09^{*}	7^{**}	356.3^{**}	13.5^{**}	81381.2^{*}
Error	28	0.04	0.7	116.5	4.03	26640
CV (%)		6.71	3.24	10.66	15.63	7.35

S: قطع آبیاری، F: محلول‌پاشی، ^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

۳-۳. وزن هزار دانه

نتایج بیانگر تأثیرگذاری برهمکنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه کلزا در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۴). طبق نتایج، در همه سطوح آبیاری محلول‌پاشی اسیدآمینه موجب بهبود وزن هزار دانه شد؛ به‌ترتیب پنج، ۲۵ و۲۴ درصد افزایش

وزن هزار دانه در آبیاری کامل، قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی با کاربرد اسیدهای آمینه مشاهد شد که با نتایج Passandideh *et al.* (2022) مطابقت دارد (جدول ۵). پایین‌بودن وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری در طول دورهٔ گلدهی، به‌دلیل کاهش فرآیند فتوسنتز و محدودیت در انتقال مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و همچنین، کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه بود (Heidarzadeh *et al*., 2016; Khalili & Hamze, 2019). El-Said & Mahdy (2016) تأثیر مثبت محرک‌های رشد به‌ویژه اسیدآمینه را در افزایش وزن هزار دانه، ناشی از اثر آن‌ها بر ساخت مواد نیتروژن غیر پروتئینی نسبت داده‌اند. ارزیابی همبستگی بین داده‌ها نشان از وجود همبستگی مثبت بین وزن هزاردانه با تمامی صفات مورد بررسی داشته و بیشترین همبستگی بین وزن هزار دانه با صفات عملکرد دانه (r=۰/۹۴**) و شاخص برداشت (r=۰/۹۱**) ثبت شد (جدول ۶).

جدول ۵. برهمکنش محلول‌پاشی و قطع آبیاری روی عملکرد و اجزای عملکرد کلزا.

Treatments		Grain yield (kg ha^{-1})	1000-seed weight (g)	N. of seed per pod	N. of pods per plant	Harvest index (%)
Irrigation	Spraying					
	F1	3688c	3.4ab	26.4bc	84.8f	14.16ef
	F2	3490c	3.36a-c	25.5cd	94d-f	17.85cd
S1	F3	3490.3c	3.34a-c	25.5cd	113.9a-c	2.26bc
	F4	4514a	3.44ab	27.4ab	131.4a	25.33a
	F5	4130.7b	3.58a	28.1a	125.4a	22.87ab
	F1	1453.7f	2.54ef	23.7ef	84.7f	8.54gh
	F2	1610ef	2.44f	22g	97.8c-f	8.84gh
S2	F3	1750.7e	2.84df	25.9cd	104c-e	11.09fg
	F4	2346.7d	3.2bc	27.3ab	123.5ab	15.15de
	F5	1853.7e	3.04cd	26.6bc	170.3b-d	12.63ef
	F1	587.3h	2.1fg	23.3fg	41.2g	6.58h
	F2	760h	2.3fg	24.7d-e	88.3ef	6.32h
S3	F3	1089.7g	2.62ef	25.4cd	99.3e-g	9.01gh
	F4	1440f	2.54ef	26.2bc	128a	7.80gh
	F5	1107g	2.44f	22.3g	93.8d-f	6.36h

میانگین‌های دارای حروف مشترک در یک ستون، اختلاف معناداری ندارند. S1: آبیاری کامل، S2: قطع آبیاری از ۵۰ در خورجین‌دهی، S3: قطع آبیاری از ۵۰ درصد گلدهی، F1: بدون محلول‌پاشی، F2: محلول‌پاشی با آب مقطر، F3: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F4: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب، F5: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب.

۳–۴. تعداد دانه در خورجین

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد صفت تعداد دانه در خورجین از برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۴). به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود با محلول‌پاشی دوگرم در لیتر اسیدآمینه بیشترین تعداد دانه در خورجین به‌ترتیب ۲۷/۳ و ۲۶/۲ در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و گلدهی به‌دست آمد و در شرایط آبیاری کامل کاربرد برگی سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب بیشترین تعداد دانه در خورجین (۲۸/۱) حاصل شد (جدول ۵). در تحقیقات مختلف کاهش تعداد دانه در خورجین در اثر کمبود آب گزارش شده است (Khayat Moghadam *et al*., 2021; Aboodeh *et al*., 2022). احتمالا این امر به‌دلیل اختلال در فتوسنتز و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها و عقیم‌شدن دانه‌های گرده است (Raeisi *et al*., 2020). با توجه به نتایج مطالعات Safdari-Monfared *et al*. (2020) کاربرد اسیدآمینه گلیسین بتائین در کلزا باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین نسبت به شاهد شد. اثر مثبت اسیدهای آمینه بر این صفت ممکن است به‌دلیل نقش این ترکیبات در ساخت DNA، RNA و پروتئین مورد نیاز برای تشکیل آنزیم‌ها باشد. اسیدهای آمینه برای فعالیت حیاتی مانند تقسیم سلولی به‌شدت مورد نیاز هستند. محلول‌پاشی این ترکیبات منجر به افزایش این فعالیت‌ها در زمان گلدهی می‌شود (Baqir *et al*., 2019). همچنین این ترکیبات موجب تحریک جوانه‌زدن دانهٔ گرده و رشد لوله گرده می‌شوند (Cao *et al*., 2010). بیشترین همبستگی مثبت (r=۰/۷۷**) ابتدا بین این صفت و وزن هزار دانه و سپس وزن خشک برگ (r=۰/۷۴**) بود که نشانگر تاثیرگذاری مستقیم این صفت بر تعداد دانه در خورجین است (جدول ۶).

۳–۵. تعداد خورجین در بوته

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تعداد خورجین در بوته به‌طور معناداری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهمکنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بود (جدول ۴). تفاوت معناداری از نظر تعداد خورجین در بوته در سطوح

مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه وجود داشت؛ به‌طوری‌که بیشترین میانگین تعداد خورجین در بوته با محلول‌پاشی با دوگرم اسیدآمینه در لیتر آب همراه با آبیاری معمول (۱۳۱/۴)، قطع آبیاری از خورجین‌دهی (۱۲۳/۵) و یا قطع آبیاری از گلدهی (۱۲۸) حاصل شد (جدول ۵). گزارش شده که محلول‌پاشی اسیدآمینه تریپتوفان موجب افزایش ۹/۸ درصدی تعداد خورجین در بوته کلزا می‌شود (Dawood & Sadak, 2007). طبق نتایج تحقیقات مهمترین دلیل ریزش خورجین‌ها پس از تشکیل‌شدن، عدم تأمین کافی مواد فتوسنتزی جهت ارسال به خورجین‌های تولیدشده است (Raeisi *et al*., 2020). تنش رطوبتی طی اوایل مرحلهٔ تشکیل خورجین، تعداد خورجین و دانه را بیشتر از هر مرحله‌ی دیگری کاهش می‌دهد (Keerthi *et al*., 2017; Koscielny *et al*., 2018). افزایش تعداد خورجین در بوته را می‌توان به تأثیر اسیدآمینه بر خصوصیات گلدهی و عملکرد یعنی تعداد گل در بوته و در نهایت تعداد خورجین در بوته نسبت داد (El-Aal, 2018). با بررسی نتایج جدول همبستگی مشخص شد این صفت با تمامی صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و معناداری داشته و بیشترین همبستگی مثبت (r=۰/۸۰**) بین این صفت و وزن خشک کل بود که نشانگر تاثیرگذاری مستقیم این صفت بر میزان وزن خشک کل بوته بود (جدول ۶).

۳-۶. شاخص برداشت

اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت معنادار شد (جدول ۴). بررسی میانگین داده‌های برهمکنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت نشان داد که کاربرد دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب موجب افزایش این صفت به میزان ۷۸ و ۷۷/۴ به‌ترتیب در آبیاری کامل و قطع آبیاری از خورجین‌دهی شد. کاربرد یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب در شرایط قطع آبیاری از گلدهی، ۳۶/۹ درصد شاخص برداشت را بهبود بخشید (جدول ۵). در تحقیقات مختلف گزارش شده است که صفات مربوط به عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت کلزا در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد (Waraich *et al*., 2020; Shahsavari, 2019). تنش خشکی در مرحله گلدهی با تأثیر بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف گیاهی موجب افزایش درصد وزن خشک برگ، ساقه و ریشه و کاهش وزن خشک خورجین‌ها می‌شود. به‌عبارتی غلبه درصد تسهیم مواد به اندام‌های رویشی نسبت به اندام‌های زایشی باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود (Ahmadi & Bahrani, 2009; Monajem *et al*., 2011). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج مطالعات قبلی مبنی بر افزایش شاخص برداشت با کاربرد اسیدهای آمینه در گیاه گندم و عدس مطابقت دارد (Haider *et al*., 2021; Heidarzadeh *et al*., 2021). ازآنجایی‌که شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک حاصل می‌شود؛ بنابراین این صفت بیشترین همبستگی مثبت را با عملکرد دانه (r=۰/۹۵**) و وزن هزار دانه (r=۰/۹۱**) داشت (جدول ۶).

۳-۷. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه(۴۵۱۴ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری کامل و محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب و کمترین میزان عملکرد دانه (۵۸۷/۳ کیلوگرم در هکتار) از قطع آبیاری از مرحله گلدهی و تیمار بدون محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۵). با توجه به اینکه حساس‌ترین مراحل رشد و نمو کلزا به کمبود آب، مراحل گلدهی و خورجین‌دهی می‌باشند (Pillai *et al*., 2011; Rostami Hir *et al*., 2021) این نتایج دور از انتظار نبود. اعمال قطع آبیاری در مرحله گلدهی و رشد خورجین‌ها و در نتیجه مواجه‌شدن گیاه کلزا با کمبود آب تأثیر منفی بر انتقال مواد غذایی به دانه‌ها و در نتیجه کاهش تشکیل خورجین و اندازه و عملکرد دانه داشت (Khalili & Hamze, 2019; Godarzi *et al*., 2017). در راستای نتایج این تحقیق، گزارش‌های مختلفی مبنی بر افزایش عملکرد دانه کلزا با کاربرد اسیدهای آمینه ثبت شده است (Burbulis *et al*., 2021; Passandideh *et al.,* 2022). محققان افزایش عملکرد دانه حاصل از محلول‌پاشی اسیدهای آمینه را به‌دلیل نقش مستقیم این ترکیبات در انتقال فتوآسیمیلات‌ها و فتوسنتز که موجب بهبود اجزای عملکرد می‌شد، نسبت داده‌اند (Taiz and Zeiger, 2006; Davari *et al*., 2021; Heidarzadeh *et al*., 2021)؛ نتایج نشان داد این صفت با تمام صفات مورد بررسی همبستگی معنادار و مثبت داشت. عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت را با وزن هزار دانه (r=۰/۹۴**) و شاخص برداشت (r=۰/۹۵**) داشت (جدول ۶).

جدول ٦. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی کلزا.

Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Plant height	1									
2. Leaf dry weight	0.56*	1								
3. Stem dry weight	0.61*	0.54*	1							
4. Pod dry weight	0.79**	0.70**	0.63*	1						
5. Total dry weight	0.83**	0.66**	0.87**	0.87**	1					
6. Grain yield	0.58*	0.79**	0.68**	0.68**	0.74**	1				
7. 1000-seed weight	0.61*	0.83**	0.69**	0.71**	0.75**	0.94**	1			
8. N. of seed per pod	0.57*	0.74**	0.39	0.47	0.54*	0.65**	0.77**	1		
9. N. of pods per plant	0.72*	0.55*	0.68**	0.62*	0.80**	0.52*	0.58*	0.64**	1	
10. Harvest index	0.75**	0.79**	0.66**	0.76**	0.80**	0.95**	0.91**	0.58*	0.58*	1

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی تأثیر منفی بر صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، وزن خشک اندام‌های هوایی) و عملکرد و اجزای عملکرد (عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و شاخص برداشت) دارد. با این حال محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط آبیاری کامل، قطع آبیاری از خورجین‌دهی و گلدهی بر تمامی ویژگی‌های فوق اثر مثبت داشته و موجب کاهش تأثیر منفی کم‌آبی شد؛ به‌نحوی‌که بیشترین عملکرد دانه (۴۵۱۴ کیلوگرم در هکتار)، ارتفاع (۱۶۶/۵ سانتی‌متر)، وزن هزار دانه (۳/۵۸ گرم)، و بیشترین وزن خشک (۲۲۳۵۳ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد برگی دو گرم اسید آمینه در لیتر حاصل شد. این تیمار از اسیدهای آمینه سبب افزایش ۲۲/۴ و ۶۱/۴ درصدی عملکرد در شرایط آبیاری کامل و تنش قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی شد. بنابراین با تکیه بر نتایج این پژوهش، می‌توان کاربرد این ترکیبات را در زراعت کلزا از نظر اقتصادی توجیه کرد. علاوه‌براین، با توجه به تأثیرگذاری سریع آن و تاثیر در کاهش مصرف کودهای شیمیایی، کاربرد برگی دو گرم در لیتر اسیدهای آمینه تجاری به‌عنوان ترکیب ضد تنش در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی برای افزایش عملکرد کلزا توصیه می‌شود.

۵. منابع

Aboodeh, H., Bakhshandeh, A., Moradi Telavat, M.R., Siadat, S.A., & Moosavi, S.A. (2022). Effect of end of season drought stress on morphology, yield components and grain yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *20*(4), 467-480. (In Persian).

Ahmadi, M., & Bahrani, M.J. (2009). Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *5*(6), 755-761.

Alshaal, T., & El-Ramady, H. (2017). Foliar application: From plant nutrition to biofortification. *The Environment, Biodiversity & Soil Security*, *1*, 71-83.

Ardashiri, T., & Jahanbin, S. (2018). Effect of foliar application of nano-iron and zinc chelated on yield, yield components and harvest index of canola under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, *20*(1), 31-43.

Ashouri, R., Fallah, H., Niknezhad, Y., & Barari Tari, D. (2023). Effect of application of plant growth promoting bacteria and amino acids foliar application on growth characteristics, yield, and nutritional value of rice (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *21*(3), 333-346.

Bahador, M., & Tadayon, M.R. (2020). Investigating of zeolite role in modifying the effect of drought stress in hemp: Antioxidant enzymes and oil content. *Industrial Crops and Products*, *144*, 112042.

Baqir, H.A., & Al-Naqeeb, M.A.S. (2019). Effect of some amino acids on tillering and yield of three bread wheat cultivars. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, *50*, 20-30.

Burbulis, N., Blinstrubiene, A., Peleckis, R., & Taraseviciene, Z. (2021). Effect of L-proline and L-glutamic acid on productivity of winter rapeseed. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *81*(4), 527-535.

Cao, J.X., Peng, Z.P., Huang, J.C., Yu, J.H., Li, W.N., Yang, L.X., & Lin, Z.J. (2010). Effect of foliar application of amino acid on yield and quality of flowering Chinese cabbage. *Chinese Agriculture Science Bulletin*, *26*, 162-165.

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S.A. (2019). Improvement in drought stress tolerance of safflower during vegetative growth by exogenous application of salicylic acid and sodium nitroprusside. *Industrial Crops and Products*, *134*, 168-176.

Davari, K., Rokhzadi, A., Mohammadi, K., & Pasari, B. (2021). Paclobutrazol and amino acid-based biostimulant as beneficial compounds in alleviating the drought stress effects on safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(1), 674-690.

Dawood, M.G., & Sadak, M.S. (2007). Physiological response of canola plants (*Brassica napus* L.) to tryptophan or benzyladenine. *Lucrari Stiintifice*, *50*(9), 198-207.

Dawood, M.G., & Sadak, M.S. (2014). Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of drought stress on canola plants (*Brassica napus* L.). *Middle East Journal of Agriculture Research*, *3*(4), 943-954.

Deihimfard, R., Eyni-Nargeseh, H., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2018). Effect of future climate change on wheat yield and water use efficiency under semi-arid conditions as predicted by APSIM-wheat model. *International Journal of Plant Production*, *12*(2), 115-125.

Ebrahimi, H., Ilkaei, M.N., Tehrani, M., Paknejad, F., & Basirt, M. (2022). Effect of some of growth stimulants and different levels of chemical fertilizer on yield and yield components of maize. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(1), 189-200.

El-Aal, A. (2018). Effect of foliar spray with lithovit and amino acids on growth, bioconstituents, anatomical and yield features of soybean plant. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, *56*(4th ICBAA), 187-202.

Elferjani, R., & Soolanayakanahally, R. (2018). Canola responses to drought, heat, and combined stress: Shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1224.

El-Said, M.A.A., & Mahdy, A.Y. (2016). Response of two wheat cultivars to foliar application with amino acids under low levels of nitrogen fertilization. *Middle East Journal of Agriculture Research*, *5*(4), 462-472.

Gharechaei, N., Paknejad, F., Rad, H.S., Tohidloo, G., & Jabbari, H. (2019). Study of late season drought stress and planting date on some agronomic traits of advanced winter canola genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(1), 181-195.

Godarzi, A., Bazrafshan, F., Zare, M., Faraji, H., & Langeroodi, A.R.S. (2017). Studying the effect of drought stress on yield and physiological characteristics in genotypes of canola (*Brassica napus* L.). *Helix*, *7*(2), 1250-1258.

Hadian, F., Jafari, R., Bashari, H., Tarkesh, M., & Clarke, K.D. (2019). Effects of drought on plant parameters of different rangeland types in Khansar region, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *12*, 1-15.

Hafez, Y.M., Mourad, R.Y., Nasr, E.B., Attia, K.O.T.B., Abdelaal, K.A., Ghazy, A.I., ... & Mohammed, A.A. (2020). Biochemical and molecular characterization of non-host resistance keys in food crops. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *27*(4), 1091-1099.

Haider, I., Raza, M.A.S., Iqbal, R., Ahmad, S., Aslam, M.U., Israr, M., Riaz, U., Sarfraz, M., Abbas, N., Abbasi, S.H., & Abbas, Z. (2021). Alleviating the drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) by foliar application of amino acid and yeast. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, *34*(1), 239-246.

Heidarzadeh, A., Esmaeili, M., Bahmanyar, M., & Abbasi, R. (2016). Response of soybean (*Glycine max*) to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, *4*(1), 37-46.

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Ebrahimi Esborezi, H. (2021). Effect of priming and foliar application of different amino acids on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in late sowing. *Iranian Journal Pulses Research*, *12*(1), 88-99. (In Persian).

Keerthi, P., Pannu, R.K., & Dhaka, A.K. (2017). Effect of sowing dates and nitrogen levels on total dry matter and its partitioning at different growth stages and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Agricultural Science Digest*, *37*(1), 27-31.

Khalesi, A., Mousavi Mirkalaeia, S.A., Modares Sanavi, S.A.M., Eftekhari, A., & Nashaeai Moghadam, M. (2023). Effect of foliar application of some amino acids on growth and yield of chickpea (*Cicer arientinum* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(1), 27-40.

Khalili, M., & Hamze, H. (2019). Effect of super-adsorbent and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Journal of Crop Ecophysiology*, *3*(51), 395-412.

Khayat Moghadam, M.S., Gholami, A., Shirani Rad, A.H., Baradaran Firoozabadi, M., & Abbasdokht, H. (2021). Evaluation crop indices of canola spring genotypes in terminal drought stress conditions and foliar application of potassium silicate. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(3), 649-663. (In Persian).

Koscielny, C.B., Gardner, S.W., & Duncan, R.W. (2018). Impact of high temperature on heterosis and general combining ability in spring canola (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*, *221*, 61-70.

Li, J., Ma, J., Li, Q., Fan, S., Fan, L., Ma, H., ... & Zheng, L. (2021). Determination of 35 free amino acids in tea using ultra-performance liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Frontiers in Nutrition*, *8*, 767801.

Monajem, S., Ahmadi, A., & Mohammadi, V. (2011). Effect of drought stress on photosynthesis, partitioning of photo-assimilates and grain yield in rapeseed cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *13*(3), 533-547. (In Persian).

Neik, T.X., Amas, J., Barbetti, M., Edwards, D., & Batley, J. (2020). Understanding host–pathogen interactions in *Brassica napus* in the omics era. *Plants*, *9*(10), 1336.

Omara, R.I., El-Kot, G.A., Fadel, F.M., Abdelaal, K.A., & Saleh, E.M. (2019). Efficacy of certain bioagents on patho-physiological characters of wheat plants under wheat leaf rust stress. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *106*, 102-108.

Parry, M.L. (2019). *Climate change and world agriculture*. Routledge.

Passandideh, M., Rajaie, M., & Zeinalzadeh-Tabrizi, H. (2022). Effect of some plant growth biostimulants on increasing canola (*Brassica napus* L.) tolerance to drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(4), 1023-1035. (In Persian).

Payandeh, K., Mojdam, M., & Derogar, N. (2018). Application of micronutrient elements on quantitative and qualitative yield of rapeseed under drought tension conditions. *Crop Physiology*, *10*(38), 23-37. (In Persian).

Pillai, B.V., Kagale, S., & Chellamma, S. (2011). Enhancing productivity and performance of oil seed crops under environmental stresses. In *Crop stress and its management: Perspectives and strategies* (pp. 139-161). Dordrecht: Springer Netherlands.

Raeisi, M., Shahbazi, E., & Shafeinia, A. (2020). Assessment of yield and yield components of doubled-haploid lines of rapeseed under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(4), 1077-1092. (In Persian).

Rafie, M.R., Sohi, M., & Javadzadeh, M. (2021). Evaluation the effect of amini acid, fulvic acid and seaweed extract application in normal and drought stress conditions on quantitative and qualitative characteristics of wheat in Behbahan region. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(1), 131-141.

Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, *9*, 1-22.

Rostami Hir, M., Sheikhzadeh, P., Khomari, S., & Zare, N. (2021). The effects of molybdenum oxide nanoparticles on some physiological and agronomic characteristics of oilseed rape under drought stress. *Journal of Crop Production*, *14*(3), 43-64.(In Persian).

Rouphael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1655.

Safdari-Monfared, N., Ghorban, N.M., Shirani-Rad, A.H., & Majidi-Heravan, E. (2020). Effects of sowing date and glycine betaine application on yield components and oil yield in canola (*Brassica napus* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, *25*(1), 32-40.

Shahsavari, N. (2019). Effects of zeolite and zinc on quality of canola (*Brassica napus* L.) under late season drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *50*(9), 1117-1122.

Taheri, A., Kafi, M., Nabati, J., & Nezami, A. (2022). Enhancement of plant growth and yields in chickpea (*Cicer arietinum* L.) desi type in response to seed priming and bio-fertilizer applications. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(3), 183-197.

Taize, L., & Zeiger, E. (2006). Plant Physiology, 4th ed.; Sinauer Associates, Inc.:Sunderland, MA, USA.

Tousi, P., Atabaki, A., & Pirzad, A.R. (2015). Effect of different nitrogen levels on current rate of photosynthesis and dry matter remobilization in two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *5*(17), 97-109. (In Persian).

Urban, M.O., Vašek, J., Klíma, M., Krtková, J., Kosová, K., Prášil, I., & Vítámvás, P. (2017). Proteomic and physiological approach reveals drought-induced changes in rapeseeds: Water-saver and water-spender strategy. *Journal of Proteomics, 152*, 188-205.

Waraich, E.A., Rashid, F., Ahmad, Z., Ahmad, R., & Ahmad, M. (2020). Foliar applied potassium stimulate drought tolerance in canola under water deficit conditions. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(13), 1923-1934.

Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., & Asghari, A. (2020). Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(3), 735-747. (In Persian).

Zhang, Y., Hansen, N., Trout, T., Nielsen, D., & Paustian, K. (2018). Modeling deficit irrigation of maize with the DayCent model. *Agronomy Journal*, *110*(5), 1754-1764.