University of Birjand

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

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 18, No. 2, pp. 229-249 (Summer 2025)

https://doi.org/10.22077/escs.2024.7036.2256

Original article

Response of physiological and biochemical characteristics of oilseed rape Nima cultivar (*Brassica napus* L.) to foliar application of amino acids under drought stress conditions

E. Fayaz[1], A. Sorooshzadeh[2*], A. Heidarzadeh[3]

1. Masters student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.
3. Ph.D, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran

Received 14 December 2023; Accepted 15 February 2024

Extended abstract

Introduction

Drought stress is the most challenging issue in agriculture and has a negative effect on plant growth, development, and productivity. Oilseed rape, like many crops, is affected by drought. Oilseed rape is one of the most important oilseeds cultivated in most regions of the world. Given its suitable agronomic characteristics, high quality and quantity of oil, its use in various fields, and ultimately its higher oil yield per unit area compared to other cultivated oilseeds, it is considered a promising point for supplying the country's edible oil needs. Amino acids are one of the most important primary metabolites in plant cells that perform structural, metabolic and transport functions in plants, and many physicochemical characteristics of plant cells, tissues and organs are affected by the presence of amino acids. Considering the importance of oilseed rape cultivation in Iran in oil production and the problems of water scarcity at the end of the growing season of this plant, this research was conduct to study the response of physiological and biochemical characteristics of Nima oilseed rape cultivar to foliar application of amino acids under drought stress conditions.

Materials and methods

This experiment was carried out as a factorial design based on randomized complete blocks in the research farm of the Faculty of Agriculture of Tarbiat Modares University, during the 1401-02 growing season. The experimental treatments include irrigation regimes at three levels (full irrigation, withholding irrigation from 50% flowering stage, withholding irrigation from pod forming) and foliar spraying at five levels (no foliar spraying, zero foliar spraying (distilled water), one, two and three grams of Proamin amino acids per liter) in stem elongation, inflorescence emergence and flowering stages. leaf area index (by DELTA-T DEVICES made in England) and greenness index (by SPAD) were measured one week after the last foliar spraying. Total chlorophyll, anthocyanin, flavonoid, proline, and phenol were measured based on fresh plant samples in laboratory according to the protocol. At maturity, biological and grain yield, oil content and oil yield were measured. Statistical calculations of analysis of variance and mean comparisons were performed using SAS 9.4 software.

* Corresponding author: Ali Sorooshzadeh; E-Mail: soroosh@modares.ac.ir

© 2025, 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).

Results and discussion

The results showed that the interaction of drought stress and foliar spraying significantly affected the percentage and yield of oil, total chlorophyll, anthocyanin, flavonoid, proline, total phenol, leaf area index, SPAD and biological performance. Drought stress caused a significant decrease in traits such as leaf area index, yield and oil percentage, biological yield and total chlorophyll content. However, foliar spraying of amino acids at different levels reduced the negative effect of drought stress on the investigated traits. The results showed that the interaction of drought stress and foliar spraying significantly affected leaf area index, SPAD, biological yield, oil percentage and yield, total chlorophyll, anthocyanin, flavonoid, proline and total phenol. The highest leaf area index (3.52), biological yield (25955 kg ha^{-1}), grain yield (4514 kg ha^{-1}) and oil content (43.3%) were achieved by full irrigation conditions and foliar spraying of two grams of amino acids per liter. Also, the highest amount of anthocyanin (0.093 $\mu mol.g^{-1}FW$), flavonoid (1.64 $\mu mol.g^{-1}FW$) and proline (238.2 $\mu mol.g^{-1}FW$) were obtained by foliar spraying two grams of amino acids per liter under withholding irrigation from the flowering stage. Also, applying two grams of amino acid per liter produced the highest yield of oil (1924.6 kg ha^{-1}) and grain (4514 kg ha^{-1}).

Conclusion

According to the results of this research, the positive effect of foliar spraying of amino acids on biochemical traits and oil yield was obtained by foliar spraying of two grams of amino acids per liter in all three irrigation regimes (full irrigation, withholding irrigation from 50% flowering stage, withholding irrigation from pod forming). Therefore, foliar spraying of two grams of amino acid per liter is recommended to increase oil and grain yield in oilseed rap cultivation.

Keywords: Anthocyanin, Flavonoid, Proline, Total Phenol, Withholding irrigation

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هجدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴

https://doi.org/10.22077/escs.2024.7036.2256

مقاله پژوهشی

پاسخ خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کلزا (*Brassica napus* L.) رقم نیما به محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی

اسماعیل فیاض[۱]، علی سروش زاده[۲]*، علی حیدرزاده[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت مدرس، تهران
۲. دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت مدرس، تهران
۳. دانش‌آموخته دکتری، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت مدرس، تهران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آنتوسیانین
پرولین
فلاونوئید
فنل کل
قطع آبیاری

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۹/۲۳
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۱۱/۲۶
تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۴
۱۸(۲): ۲۲۹-۲۴۹

چکیده

کلزا همانند بسیاری از گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. هدف تحقیق مطالعه پاسخ خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کلزا رقم نیما به محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی) و محلول‌پاشی در پنج سطح (بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی صفر (آب مقطر)، یک، دو و سه گرم اسیدهای آمینه تجاری پروآمین در لیتر) در سه مرحله طویل شدن ساقه، مرحله ظهور گل‌آذین و مرحله گلدهی بود. نتایج نشان داد برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی روی درصد و عملکرد روغن، کلروفیل کل، آنتوسیانین، فلاونوئید، پرولین، فنل کل، شاخص سطح برگ، SPAD و عملکرد بیولوژیک تأثیر معنی‌داری گذاشت. بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۵۲)، عملکرد بیولوژیک (۲۵۹۵۵ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۴۵۱۴ کیلوگرم در هکتار) و درصد روغن (۴۳/۳٪) در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر به دست آمد. همچنین، بیشترین مقدار آنتوسیانین (۰/۰۹۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ)، فلاونوئید (۱/۶۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و پرولین (۲۳۸/۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و محلول‌پاشی دو گرم اسیدهای آمینه در لیتر به دست آمد. همچنین، کاربرد دو گرم اسیدآمینه در لیتر بیشترین عملکرد روغن (۱۹۲۵ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق تأثیر مثبت کاربرد برگی اسیدهای آمینه، روی صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه و روغن با محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر در هر سه رژیم آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی) مشاهده شد. لذا محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر برای افزایش عملکرد روغن و دانه در زراعت کلزا توصیه می‌شود.

مقدمه

تنش خشکی چالش‌برانگیزترین مسئله در زمینه کشاورزی است و تأثیر منفی آشکاری بر رشد، توسعه و بهره‌وری گیاهان دارد (Ma et al., 2019). تنش خشکی با تأثیر مستقیم بر فتوسنتز، توسعه سلولی، جذب، انتقال، دسترسی و تجمع مواد مغذی، تنظیم اسمزی، توان بالقوه آب برگ، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای (Makhlouf et al., 2022) باعث تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مختلفی در گیاهان شده که درنهایت باعث کاهش رشد و نمو و به دنبال آن کاهش قابل‌توجه عملکرد محصول می‌شود (Pepe et al., 2022). تحقیقات نشان داد تنش خشکی تأثیر منفی بر جنبه‌های رشد گیاه نظیر تغییرات مورفولوژیک مانند شاخص سطح برگ و فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی از قبیل

* نگارنده پاسخگو: علی سروش‌زاده. پست الکترونیک: soroosh@modares.ac.ir

محتوای کلروفیل، شاخص سبزینگی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دارد (Manvelian et al., 2021). مطالعات بیانگر تجمع ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت‌هایی مانند پرولین، فلاونوئید و گلایسین بتائین در شرایط تنش خشکی است که نقش بسزایی در تحمل تنش‌های غیر زیستی دارند (Ali et al., 2022).

کلزا با نام علمی (*Brassica napus* L.) یکی از گیاهان بسیار مهم در بین دانه‌های روغنی است که در اغلب نقاط جهان کشت می‌شود (Jian et al., 2019) و امروزه مقام سوم را پس از سویا و نخل روغنی در فرآورده‌های روغن نباتی دارد (FAO, 2022). کلزا به دلیل داشتن صفات زراعی مناسب و کیفیت و کمیت بالای روغن و کاربرد زمینه‌های مختلف و درنهایت عملکرد بیشتر روغن در واحد سطح نسبت به سایر دانه‌های روغنی مورد کشت، به‌عنوان نقطه امیدی برای تأمین روغن خوراکی موردنیاز کشور به شمار می‌آید (Warner and Jones, 2017).

کلزا همانند بسیاری از گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Sabagh et al., 2019). تأثیر تنش خشکی بر رشد و بهره‌وری محصول به‌شدت به زمان، مدت و شدت تنش خشکی بستگی دارد (Wu et al., 2018) و گیاه کلزا نیز بیشترین حساسیت را در رشد زایشی نسبت به خشکی دارد (Nazeri et al., 2019). کاهش درصد و عملکرد روغن در اثر اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه کلزا در تحقیقات مختلف گزارش شده است (Mamnabia et al., 2020).

با افزایش مقاومت گیاه می‌توان به اثرات منفی تنش خشکی غلبه کرد (Passandideh et al., 2022) و با کاربرد برون‌زای محافظ‌های اسمزی ازجمله گلایسین بتائین، پرولین و سایر اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی و پلی‌ال‌ها اثرات نامطلوب کمبود آب را کاهش داد (Bardgett and Gibson, 2017). اسیدهای آمینه از مهم‌ترین متابولیت‌های اولیه در سلول‌های گیاهی هستند که عملکردهای ساختاری، متابولیکی و انتقال را در گیاهان انجام می‌دهند (Popko et al., 2018) و بسیاری از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌های گیاهی تحت تأثیر حضور اسیدهای آمینه هستند (El-Said and Mahdy, 2016). بررسی‌ها نشان داد غلظت اسیدهای آمینه مختلف در شرایط تنش افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده نقش مستقیم یا غیرمستقیم در تحقیقات مختلف تأثیر کاربرد اسیدهای آمینه به‌صورت محلول‌پاشی در گیاهان مختلف نظیر عدس (*Lens culinaris* Medik) و سیر (Allium *Sativum* L.) بر صفات بیوشیمیایی گزارش شده است (Heidarzadeh and Modarres-Sanavy 2023; Heidarzadeh and Modarres-Sanavy, 2021). اسیدهای آمینه بر فعالیت‌های فیزیولوژیک، رشد و نمو گیاه در این شرایط است (Wang et al., 2019). در تحقیقی استفاده از اسیدآمینه گلایسین بتائین باعث افزایش قابل‌توجه رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در بافت‌های برگ تازه گیاهان کلزا در شرایط بدون تنش و همچنین در معرض تنش خشکی شد (Dawood and Sadak, 2014). افزایش عملکرد و درصد روغن کلزا با محلول‌پاشی اسیدهای آمینه نظیر گلایسین بتائین و تریپتوفان در تحقیقات مختلف مطرح شده است (Safdari-Monfared et al., 2020). استفاده برگی از اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی موجب بهبود صفات رشدی و درنتیجه آن افزایش عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش و غیر تنش می‌شود (Passandideh et al., 2022). محلول‌پاشی محرک‌های زیستی حاوی اسیدهای آمینه در شرایط تنش موجب بهبود محتوای اسمولیت‌هایی نظیر پرولین در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) شد (Davari et al., 2021). به‌طورکلی اسیدهای آمینه به‌عنوان محرک زیستی شناخته شده‌اند که اثرات مثبتی بر رشد، کیفیت و کمیت عملکرد گیاهان دارد و به‌طور قابل‌توجهی صدمات ناشی از تنش‌های غیرزیستی را کاهش می‌دهد (Ghaffari Nejad et al., 2020).

این پژوهش، با توجه به اهمیت کشت کلزا در ایران در زمینه تولید روغن و همچنین مشکلات کم‌آبی آخر فصل رشد این گیاه، به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه روی کلزا در شرایط قطع آبیاری از مرحله رشد زایشی و با هدف تعیین غلظت مناسب محلول‌پاشی اسیدآمینه و زمان اعمال کم‌آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۰۲-۱۴۰۱ 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. اقلیم محل اجرای آزمایش بر اساس

طبقه‌بندی فائو، خشک با زمستان خنک و تابستان گرم است و اطلاعات بارندگی در طول فصل رشد در جدول ۱ ارائه شده است. عوامل موردبررسی در این آزمایش شامل تیمارهای مختلف آبیاری (نوار تیپ) در سه سطح (آبیاری کامل در طول فصل زراعی، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به ترتیب با کدهای ۶۵ و ۷۵ از شاخص BBCH-scale) و محلول‌پاشی با سمپاش دستی ۳ لیتری و در ساعات صبحگاهی بر روی کرت‌های موردنظر با اسیدهای آمینه تجاری پرو آمین محصول کشور اسپانیا (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٪)) در پنج سطح (بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی به ترتیب صفر (آب مقطر)، یک گرم، دو گرم و سه گرم در لیتر) در سه مرحله؛ (طویل شدن ساقه، مرحله ظهور گل‌آذین و مرحله گلدهی) به ترتیب با کدهای ۳۹، ۵۰ و ۶۱ از شاخص BBCH-scale است. عملیات کشت با رقم نیما (حاصل تلاقی بین دو رقم Okapi و Modena و با تیپ زمستانه جهت کشت در مناطق سرد و معتدل سرد) به‌صورت دستی در تاریخ ۱۵ مهر و با تراکم ۶۰ بوته در مترمربع (فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر) به‌صورت کشت مستقیم بذر در عمق ۲-۱ سانتی‌متری انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به طول سه متر و فاصله بین کرت‌ها دو متر در نظر گرفته شد. نیاز کودی گیاه در طی اجرای تحقیق با توجه به خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه (جدول ۱) تأمین شد.

بر اساس جدول آنالیز خاک به دلیل مقدار مناسب فسفر خاک، از دادن کود فسفر خودداری شد و به‌منظور استفاده بهینه از نیتروژن از منبع اوره (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) بخشی از این کود در هنگام کشت و بقیه آن به‌صورت سرک در مرحله شروع ساقه رفتن و کود پتاسیم موردنیاز از منبع سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در هنگام کاشت استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۱. میانگین بارندگی در طول فصل رشد

Table 1. Average rainfall during the growing season

ماه **Month**	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June
میانگین بارندگی (میلی‌متر) **Avrage rain (mm)**	0	0.4	0.66	0.33	1.4	1.2	0.8	0.12	0.16

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the soil experimental location

	خصوصیات فیزیکی physical characterisitcs					خصوصیات شیمیایی Chemical properties						
عمق **Depth**	بافت **Texture**	رس **Clay**	شن **Sand**	سیلت **Silt**	کربن آلی **OC**	شوری **EC**	آهک **T.N.V**	اسیدیته **PH**	پتاسیم **K**	فسفر **P**	نیتروژن **N**	مواد آلی **OM**
cm		----------%----------				dS m^{-1}			------ppm------		---------%------	
0-30	شنی_لوم Sandy-loam	15.5	71	13.5	0.858	1.398	4.5	7.91	173	15.5	0.065	1.476
30-60	شنی_لوم Sandy-loam	19	68.5	12.5	0.702	1.372	6.5	7.97	93	22.5	0.069	1.207

به‌منظور بررسی علمی تیمارهای موردبررسی یک هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی سطح برگ در مرحله پر شدن خورجین‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل DELTA-T DEVICES ساخت کشور انگلستان)، شاخص سبزینگی (با دستگاه SPAD)، میزان کلروفیل کل به روش ریچارد و همکاران (Richardson et al., 2002)، آنتوسیانین

و فلاونوئید به روش کریژک و همکاران (Krizek et al., 1998)، پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973)، فنل کل به روش فولین_سینگلتون (Singleton and Rossi., 1965) و در تاریخ ۱۰ خرداد عملیات برداشت بعد از رسیدگی فیزیولوژیک انجام و عملکرد بیولوژیک و دانه همچنین درصد و عملکرد روغن محاسبه شد. درصد روغن با دستگاه سوکسوله و با استفاده از حلال پترولیوم بنزل اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن دانه از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه، به دست آمد و برحسب کیلوگرم در هکتار بیان شد.

برای تجزیه آماری داده‌های اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار SAS نسخه‌ی ۹/۴ استفاده شد. قبل از آنالیز، از نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها اطمینان حاصل شد. تجزیه واریانس از رویه GLM و برای مقایسه میانگین صفات از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ تحت تأثیر برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). با بررسی داده‌های جدول برهمکنش تیمارها نتایج بیانگر اثر مثبت اسیدآمینه در جبران اثرات منفی تنش خشکی بر شاخص سطح برگ بود؛ به‌نحوی‌که تیمار محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر در رژیم آبیاری کامل (۳/۵۲)، قطع آبیاری از خورجین‌دهی (۲/۰۷) و قطع آبیاری از گل‌دهی (۱/۶۷) بیشترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد. در رژیم آبیاری کامل و قطع آبیاری از گل‌دهی تیمار دو و سه گرم اسیدآمینه با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی در تنش شدید (قطع آبیاری از گلدهی) غلظت یک و دو گرم اسیدآمینه نسبت به سه گرم اسیدآمینه سطح برگ بیشتری داشتند (جدول ۴). کمترین شاخص سطح برگ در رژیم‌های آبیاری با عدم محلول‌پاشی و آب مقطر ثبت شد (جدول ۴).

کاهش سطح و تعداد برگ‌ها در زمان تنش خشکی توسط محققان گزارش شده است (Kumar et al., 2022). گیاهان، تحت شرایط تنش خشکی، شاخص سطح برگ خود را از طریق لوله کردن برگ‌ها و یا پیری و ریزش زودهنگام آن‌ها کاهش می‌دهند (Zhang et al., 2018). گاولین و همکاران (Gaveliene et al., 2016) گزارش نمودند که کاربرد ترکیبات حاوی اسیدهای آمینه موجب افزایش تشکیل برگ در بوته کلزا می‌شود و درنتیجه شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد. افزایش میزان کلروفیل با استفاده از اسیدهای آمینه و درنتیجه تولید فتوآسمیلات‌ها تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های رشد رویشی دارد و موجب افزایش تشکیل برگ و درنتیجه افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (EL-Bauome et al., 2022).

جدول ۳. تجزیه واریانس برخی صفات کلزا تحت تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه

Table 3. Analysis of variance some oil rapeseed traits affected by withholding irrigation and foliar spraying

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	MS میانگین مربعات: شاخص سبزینگی (SPAD)	شاخص سطح برگ Leaf area index	کلروفیل کل Total chlorophyll
Block	**بلوک**	2	42.8*	1.12ns	0.03*
Irrigation (I)	**آبیاری**	2	445**	225.7**	1.5**
Foliar Spraying (F)	**محلول‌پاشی برگی**	4	28.3**	29.7**	0.4**
I × F	**برهمکنش**	8	32.6**	3.2*	0.09**
Error	**خطا**	28	8.7	0.06	0.008
CV (٪)	**ضریب تغییرات**	-	*5.5*	*13.37*	*4.17*

ns : عدم اختلاف معنی‌دار **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪.

ns: no significant, *: significant at 1% probability, **: significant at 5%.

بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفت با عملکرد روغن (r=۰/۹۴**) و دانه (r=۰/۹۴**) بود. همچنین با صفات کلروفیل کل، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که نشان از تأثیر مثبت این صفت بر افزایش فتوسنتز و درنهایت افزایش رشد و نمو و عملکرد روغن است. بااین‌حال شاخص سطح برگ با پرولین

(r=-۰/۷۶**) همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. با توجه به افزایش رادیکال‌های آزاد در اثر تنش اکسیداتیو ناشی کمبود آب (Anli et al., 2020) که موجب کاهش سطح برگ در شرایط تنش (Zhang et al., 2018) و افزایش غلظت پرولین در پاسخ به آن (Boroujerdnia et al., 2016)، در این حالت رابطه منفی بین شاخص سطح برگ و پرولین منطقی به نظر می‌رسد (جدول ۹).

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های برهمکنش برخی صفات کلزا تحت تأثیر تیمار محلول‌پاشی برگی و رژیم‌های آبیاری

Table 4. Mean comparison of some oil rapeseed traits affected by withholding irrigation regimes and foliar spraying

Treatments تیمارها				
آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی برگی Foliar Spraying	شاخص سبزینگی (SPAD)	شاخص سطح برگ Leaf area index	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1}FW)
I1	F1	46.43^{ab}	2.57^{bc}	2.25^{b}
	F2	45.86^{b}	2.48^{c}	1.91^{c}
	F3	47.60^{ab}	2.85^{bc}	2.32^{b}
	F4	50.3^{ab}	3.52^{a}	2.75^{a}
	F5	51^{a}	3.1^{ab}	2.67^{a}
LSD		*4.85*	*0.59*	*0.15*
I2	F1	49.4^{b}	0.74^{b}	2.03^{d}
	F2	52.1^{ab}	0.88^{b}	2.09^{cd}
	F3	54.9^{ab}	2.02^{a}	2.21^{cb}
	F4	57.2^{a}	2.07^{a}	2.53^{a}
	F5	55.2^{ab}	1.71^{a}	2.29^{b}
LSD		*7.14*	*0.44*	*0.15*
I3	F1	61.3^{a}	1.02^{b}	1.69^{bc}
	F2	58.4^{a}	0.63^{c}	1.61^{c}
	F3	62.8^{a}	1.21^{b}	1.97^{a}
	F4	60.75^{a}	1.67^{a}	1.87^{ab}
	F5	52.4^{b}	0.97b	1.67^{bc}
LSD		*5.44*	*0.34*	*0.19*

I1: آبیاری کامل، I2: قطع آبیاری از ۵۰ در خورجین‌دهی، I3: 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، حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است. برش‌دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است.

I1: full irrigation, I2: withholding irrigation from 50% flowering stage, I3: withholding irrigation from pod forming, F1: no foliar spraying, F2: zero foliar spraying (distilled water), F3: one grams of amino acids per liter, F4: two grams of amino acids per liter, F5: three grams of amino acids per liter. Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes.

شاخص سبزینگی (SPAD)

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که شاخص سبزینگی از برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۳). در شرایط قطع آبیاری از گل‌دهی بیشترین میزان سبزینگی (۶۲/۸) با اعمال تیمارهای محلول‌پاشی یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب و کمترین شاخص سبزینگی (۵۲/۴) با محلول‌پاشی سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب حاصل شد. در شرایط قطع آبیاری از خورجین‌دهی بالاترین شاخص سبزینگی (۵۷/۲) از محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب به دست آمد که با سایر سطوح محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری نداشت. در سطح آبیاری کامل تیمار برتر ازلحاظ افزایش شاخص سبزینگی (۵۱) محلول‌پاشی سه گرم اسیدآمینه در لیتر بود. طبق روند حاصل از داده‌ها اعمال قطع آبیاری موجب افزایش شاخص سبزینگی نسبت به شرایط شاهد شد و استفاده از اسیدآمینه در همه سطوح آبیاری موجب افزایش این شاخص شد (جدول ۴).

نتایج مطالعات نشان داد مقادیر عددی دستگاه کلروفیل‌متر دستی براساس تعداد روز پس از اعمال قطع آبیاری در مراحل نموی کلزا روند افزایشی داشت (Hamed

et al., 2015). در شرایط کمبود رطوبت خاک، محتوای کلروفیل گیاه می‌تواند به‌منظور حفاظت در برابر خسارت نوری افزایش یابد (Khan et al., 2010). در یک بررسی پرمون و همکاران (Parmoon et al., 2019) روی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی منجر به افزایش شاخص سبزینگی می‌شود که علت این روند را کاهش سطح برگ و افزایش سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ دانسته‌اند. نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد اسیدهای آمینه موجب بهبود شاخص سبزینگی در گیاه سویا (*Glycine max*) تحت تنش خشکی شد (Repke et al., 2022). افزایش فعالیت متابولیکی و به دنبال آن سنتز مولکول‌هایی نظیر کلروفیل در اثر استفاده اسیدآمینه موجب افزایش شاخص سبزینگی می‌شود (Van Oosten et al., 2017). طبق جدول همبستگی، این صفت با صفات عملکرد روغن و بیولوژیک همبستگی منفی و معنی‌داری داشت و بیشترین همبستگی منفی با عملکرد روغن (r=-۰/۶۸**) و همچنین با صفات بیوشیمیایی همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد که بیشترین همبستگی با پرولین (r=۰/۸۸**) حاصل شد. به دلیل کاهش سطح برگ در طول دوره تنش خشکی و افزایش کلروفیل در واحد سطح برگ (Parmoon et al., 2019)، رابطه منفی با صفات عملکرد روغن، دانه و بیولوژیک که روند کاهش در اثر تنش خشکی داشتند و همچنین همبستگی مثبت با صفات بیوشیمیایی که در اثر تنش خشکی غلظت آن‌ها در گیاه افزایش می‌یابد (Khan et al., 2020)، منطقی به نظر می‌رسد.

کلروفیل کل

جدول تجزیه واریانس نشان داد کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری روی برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی داشت (جدول ۳). محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط قطع آبیاری و شاهد موجب افزایش میزان غلظت کلروفیل کل شد (جدول ۴). بیشترین میزان کلروفیل کل (۲/۷۵ $mg.g^{-1}FW$) در سطح آبیاری کامل با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب به دست آمد و کمترین مقدار آن (۱/۹۱ $mg.g^{-1}FW$) در تیمار محلول‌پاشی آب مقطر مشاهده شد (جدول ۴). در دو سطح قطع آبیاری از گل‌دهی و خورجین‌دهی به ترتیب یک و دو گرم در لیتر آب بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش میزان کلروفیل کل را داشت (جدول ۴). در تحقیقی اثر تنش خشکی را بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه کلزا بررسی کردند که نتایج نشان داد تنش خشکی، محتوای کلروفیل را کاهش می‌دهد (Zhu et al., 2021). بازدارندگی بیوسنتز رنگ‌دانه‌ها، تخریب قابل‌توجه رنگ‌دانه‌ها و به‌هم‌ریختگی غشاهای تایلاکوئید در شرایط تنش خشکی عاملی برای کاهش میزان کلروفیل عنوان شده است (Singer et al., 2016). گزارش شده است که اسیدهای آمینه پیش ماده اصلی برای تشکیل بافت و سنتز کلروفیل هستند (Fischer et al., 1998). طبق نتایج تحقیقی کاربرد محلول‌پاشی اسیدآمینه موجب بهبود محتوای کلروفیل کل می‌شود (Heidarzadeh and Modarres-Sanavy, 2021). اسیدهای آمینه به دلیل نقشی که انتقال و ذخیره نیتروژن دارد سبب افزایش کلروفیل شده است (Jahani et al., 2018). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این صفت با عملکرد روغن (r=۰/۷۹**)، درصد روغن (r=۰/۷۵**)، شاخص سطح برگ (r=۰/۷۹**) و عملکرد بیولوژیک (r=۰/۸۲**) مشاهده شد (جدول ۹). به علت نقش مستقیم میزان کلروفیل در افزایش ماده خشک و همچنین افزایش میزان آسیمیلات‌ها برای ذخیره در دانه این همبستگی دور از انتظار نبود.

عملکرد روغن

برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری روی عملکرد روغن در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۵). طبق نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی تأثیر منفی بر عملکرد روغن کلزا داشت، بااین‌حال کاربرد برگی اسیدهای آمینه در سطوح مختلف موجب بهبود درصد روغن نسبت به شاهد شد. بیشترین عملکرد روغن در شرایط آبیاری کامل (۱۹۲۴/۶ کیلوگرم در هکتار)، قطع آبیاری از خورجین‌دهی (۸۹۳/۹ کیلوگرم در هکتار) و قطع آبیاری از گل‌دهی (۵۲۴/۱ کیلوگرم در هکتار) با محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب حاصل شد. در شرایط آبیاری کامل کمترین عملکرد روغن (۱۳۵۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آب مقطر و در سطوح قطع آبیاری از خورجین‌دهی (۵۰۹/۳ کیلوگرم در هکتار) و قطع آبیاری از گل‌دهی (۱۷۳/۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۶).

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات عملکرد کلزا تحت تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه

Table 5. Analysis of variance yeild traits of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	MS عملکرد روغن Oil yield	MS درصد روغن Oil contect	میانگین مربعات عملکرد بیولوژیک Biological Yield	میانگین مربعات عملکرد دانه Grain yield
Block	بلوک	2	25256.5*	6.45ns	10620579.8*	78696ns
Irrigation (I)	آبیاری	2	62777229.7**	185.8**	312562702.4**	32560610.5**
Foliar Spraying (F)	محلول‌پاشی برگی	4	265404.8**	36.7**	45852729.1**	1140041.5**
I × F	برهمکنش	8	26693.9**	12.08**	875903.9**	81381.2*
Error	خطا	28	5365.9	3.6	254559	26640
CV (٪)	ضریب تغییرات	-	*8.49*	*5.16*	*10.27*	*7.35*

ns: عدم اختلاف معنی‌دار **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۵٪.

ns: no significant, *: significant at 1% probability, **: significant at 5%.

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های برهمکنش صفات عملکرد کلزا تحت تأثیر تیمار محلول‌پاشی برگی و رژیم‌های آبیاری

Table 6. Mean comparison of yeild traits of oil rapeseed affected by withholding irrigation regimes and foliar spraying

Treatments تیمارها				
آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی برگی Foliar Spraying	عملکرد روغن Oil yield	درصد روغن Oil contect	عملکرد بیولوژیک Biological Yield
		kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}
I1	F1	1436^{b}	38.9^{b}	17900^{c}
	F2	1358^{b}	39.40^{b}	18411^{bc}
	F3	1439.9^{b}	41.3^{ab}	17800^{c}
	F4	1924.6^{a}	42.63^{a}	25955^{a}
	F5	1791^{a}	43.3^{a}	22056^{b}
LSD		171.9	3.13	3659.4
I2	F1	509.3^{c}	34.9^{ab}	15022^{a}
	F2	533.5^{c}	32.2^{b}	12017^{b}
	F3	610.6^{cb}	34.73^{ab}	15422^{a}
	F4	893.9^{a}	38^{a}	16445^{a}
	F5	675.6^{b}	36.5^{ab}	14934^{a}
LSD		112.18	3.82	1912.4
I3	F1	173.6^{d}	29.7^{c}	8167^{d}
	F2	254.9^{c}	33.45^{bc}	10750^{c}
	F3	430.7^{b}	39.46^{a}	10700^{c}
	F4	524.1^{a}	36.4^{ab}	14500^{a}
	F5	377.9^{b}	34.2^{bc}	12833^{b}
LSD		75.57	4.5	1337.5

I1: آبیاری کامل، I2: قطع آبیاری از ۵۰ در خورجین‌دهی، I3: 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، حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است. برش‌دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است.

I1: full irrigation, I2: withholding irrigation from 50% flowering stage, I3: withholding irrigation from pod forming, F1: no foliar spraying, F2: zero foliar spraying (distilled water), F3: one grams of amino acids per liter, F4: two grams of amino acids per liter, F5: three grams of amino acids per liter. Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes.

طبق گزارش دوامی و همکاران (davami et al., 2021) قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی موجب کاهش عملکرد روغن کلزا می‌شود و علت این می‌تواند اثر تنش خشکی بر کاهش در باروری گل‌ها و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها باشد. در پژوهشی نتایج مشخص نمود کاهش عملکرد روغن در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی شدت بیشتری نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی دارد (Zali et al., 2020). در تحقیقی کاربرد اسیدآمینه گلایسین بتائین میزان عملکرد دانه را از ۴۰۸۹ به ۴۴۱۹ (کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن را از ۱۸۱۸ تا ۱۹۷۶ (کیلوگرم در هکتار) افزایش داد (Safdari-Monfared et al., 2020). اسیدهای آمینه به علت نقش مؤثر در جذب و انتقال عناصر، افزایش رشد زایشی و درنهایت افزایش تولیدات فتوسنتزی موجب افزایش میزان و عملکرد روغن می‌شوند (Rahimi et al., 2019; Gawronska, 2008). بیشترین همبستگی مثبت با صفات عملکرد دانه (r=۰/۹۴**) و عملکرد بیولوژیک (r=۰/۹۳**) به دست آمد و همچنین بیشترین همبستگی منفی با پرولین (r=-۰/۸۶**) مشاهده شد (جدول ۹).

درصد روغن

نتایج مقایسه میانگین نشان داد، درصد روغن از برهمکنش رژیم‌های قطع آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۵). بررسی مقایسه میانگین نشان داد بیشترین درصد روغن در آبیاری کامل با کاربرد سه گرم اسیدآمینه در لیتر (۴۳/۳ درصد) حاصل‌شده که با دو سطح دیگر محلول‌پاشی اسیدآمینه تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). در قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی با کاربرد دو گرم اسیدآمینه در لیتر (۳۸ درصد) و در قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی با محلول‌پاشی یک گرم اسیدآمینه در لیتر (۳۹/۴۶ درصد) بالاترین درصد روغن حاصل شد که به ترتیب ۸/۸ و ۳۲/۸ درصد با شاهد اختلاف داشتند. همچنین در تمامی سطوح آبیاری تیمارهای شاهد و صفر گرم اسیدآمینه (آب مقطر) کمترین درصد روغن را دارا بودند (جدول ۶). در پژوهشی قطع آبیاری در مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی منجر به کاهش معنی‌دار میزان روغن دانه شده است (lotfifar et al., 2017). محققان کاهش درصد روغن در شرایط تنش خشکی را ناشی از افزایش تجمع نیتروژن در اثر انتقال مجدد و کاهش تجمع کربوهیدرات و درنهایت افزایش نسبت پروتئین به روغن دانه می‌دانند (Burbulis et al., 2021). کم بودن میزان روغن دانه به دلیل تنش می‌تواند ناشی از کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و کاهش وزن دانه باشد (Rouphael and Colla, 2018). در پژوهش ناظری و همکاران (Nazeri et al., 2019) نتایج نشان داد که کاهش در دسترس بودن کربوهیدرات‌ها برای سنتز روغن در اثر تنش خشکی سبب کاهش درصد روغن می‌شود. در مطالعات میرزاپور و میر قلی‌پور (Mirzapour, and Nour gholipour, 2022)، محلول‌پاشی با اسیدهای آمینه سبب افزایش ۱۱ درصد میزان روغن کلزا شد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. اسیدهای آمینه از طریق تأثیرگذاری بر انتقال آسیمیلات‌ها و همچنین نقش داشتن در فرآیندهای متابولیک موجب افزایش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه و درنهایت تبدیل این مواد به روغن، سبب افزایش میزان روغن در دانه می‌شوند (Aminifard et al., 2020). این صفت به علت تأثیرگذاری مستقیم بر عملکرد روغن، بیشترین همبستگی (r=۰/۸۷**) مثبت را با این صفت داشت. همبستگی منفی و معنی‌دار بین این صفت با پرولین (r=-۰/۶۴**) وجود داشت (جدول ۹).

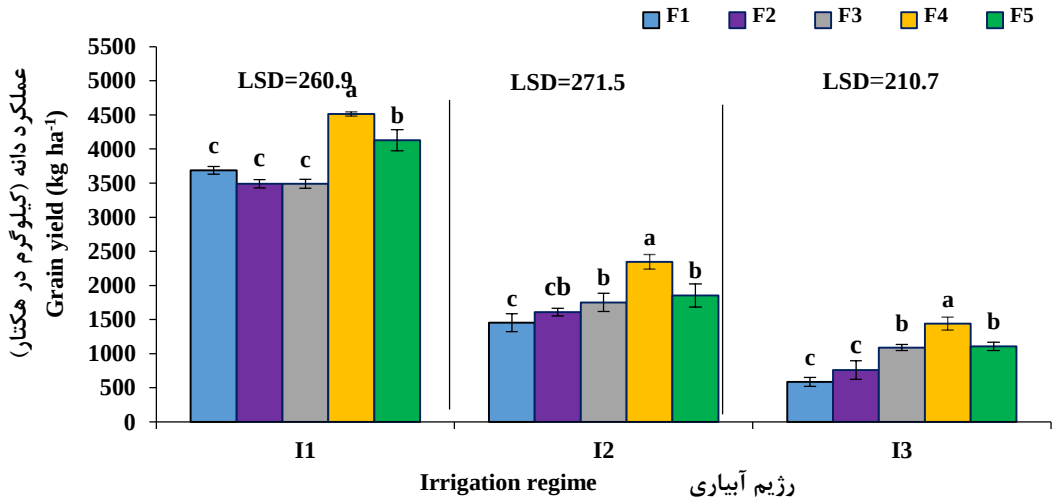
عملکرد بیولوژیک

نتایج نشان از تأثیرگذاری برهم‌کنش رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد بود (جدول ۵). در سطوح قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک نسبت به آبیاری کامل مشاهده شد ولی محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در کاهش اثرات منفی تنش خشکی مؤثر بود و بیشترین عملکرد بیولوژیک در آبیاری کامل (۲۵۹۵۵ کیلوگرم در هکتار)، قطع آبیاری از خورجین‌دهی (۱۶۴۴۵ کیلوگرم در هکتار) و قطع آبیاری از گل‌دهی (۱۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) از محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر به دست آمد (جدول ۶). تنش خشکی سبب کوتاه و نازک‌تر شدن ساقه، کاهش رشد برگ‌ها و کاهش ماده خشک کلزا شده و مشخص‌ترین اثر تنش خشکی، کاهش سطح برگ کانوپی است که این موارد درنهایت موجب کاهش عملکرد بیولوژیک می‌شوند (Aboodeh et al., 2020). بااین‌حال محلول‌پاشی اسیدهای آمینه روی کلزا در شرایط تنش خشکی موجب بهبود وزن خشک اندام هوایی گیاه کلزا و درنهایت افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (Radkowski and Radkowska, 2018). افزایش صفات رشد گیاه درنتیجه استفاده از اسیدهای آمینه را می‌توان به افزایش رنگ‌دانه‌های

فتوسنتزی و جذب مواد مغذی معدنی نسبت داد (EL-Aal, 2018). با توجه به نقش مستقیم سطح برگ و به دنبال آن میزان کلروفیل در افزایش رشد و تولید عملکرد، این صفات همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد بیولوژیک داشتند و همچنین بیشترین همبستگی با عملکرد روغن (r=۰/۹۳**) حاصل شد (جدول ۹).

عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). طبق مقایسه میانگین در سطح آبیاری کامل بیش‌ترین عملکرد دانه (۴۵۱۴ کیلوگرم در هکتار) با محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب حاصل شد و کم‌ترین میزان عملکرد دانه (۳۴۴۹ کیلوگرم در هکتار) با محلول‌پاشی آب مقطر به دست آمد که با تیمار شاهد و یک گرم اسیدآمینه اختلاف معنی‌داری نداشت. در هر دو سطح قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی بالاترین میزان تولید دانه از تیمار دو گرم اسیدآمینه در لیتر به دست آمد. بااین‌حال در این دو سطوح تنش تیمارهای یک و سه گرم اسیدآمینه در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱). با توجه به حساس بودن کلزا به تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی، این نتایج با گزارش‌های تحقیقات مختلف مطابقت داشت (Rostami Hir et al., 2021).



شکل ۱. مقایسه میانگین برهمکنش عملکرد دانه کلزا تحت تأثیر تیمار محلول‌پاشی برگی و رژیم‌های آبیاری. I1: آبیاری کامل، I2: قطع آبیاری از ۵۰ در خورجین‌دهی، I3: 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، حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است. برش‌دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است.

Fig. 1. Mean comparison of grain yeild of oil rapeseed affected by withholding irrigation regimes and foliar spraying. I1: full irrigation, I2: withholding irrigation from 50% flowering stage, I3: withholding irrigation from pod forming, F1: no foliar spraying, F2: zero foliar spraying (distilled water), F3: one grams of amino acids per liter, F4: two grams of amino acids per liter, F5: three grams of amino acids per liter. Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes.

قطع آبیاری از مراحل رشد زایشی (مرحله گل‌دهی و رشد خورجین‌ها) موجب مواجه‌شدن گیاه کلزا با کمبود آب و تأثیر منفی بر انتقال فتوآسیمیلات‌ها به دانه‌ها و درنتیجه کاهش تشکیل خورجین و اندازه دانه و درنهایت عملکرد دانه می‌شود. (Khalili and Hamze, 2019). در گزارش‌های مختلفی افزایش عملکرد دانه کلزا با کاربرد اسیدهای آمینه ثبت شده است که با نتایج این تحقیق همسو است (Burbulis et al., 2021). اسیدهای آمینه به دلیل نقش مستقیم در انتقال فتوآسیمیلات‌ها و فتوسنتز موجب بهبود عملکرد می‌شود (Heidarzadeh and Modarres-Sanavy, 2021) نتایج

همبستگی (جدول ۹) نشان داد این به‌جز صفات بیوشیمیایی با اغلب صفت‌های موردبررسی همبستگی معنی‌دار و مثبت داشت و بیشترین همبستگی مثبت را شاخص برداشت (r=۰/۹۵**)، شاخص سطح برگ (r=۰/۹۴**) و عملکرد روغن (r=۰/۹۹**) دارد. نقش مستقیم سطح برگ در تولیدات فتوسنتزی و افزایش میزان رشد و عملکرد در تصدیق این همبستگی دخیل است.

جدول ۷. تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی کلزا تحت تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی

Table 7. Analysis of variance biochemical traits of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات MS			
			آنتوسیانین Anthocyanin	فلاونوئید Flavonoid	پرولین Proline	فنل کل Total phenol
Block	بلوک	2	0.0^{ns}	0.002^{ns}	101.7^{ns}	0.001^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.0007**	0.22**	104296.6**	0.4**
Foliar Spraying (F)	محلول‌پاشی برگی	4	0.002**	0.05**	2301.1**	0.2**
I × F	برهمکنش	8	0.0001**	0.009*	414.8**	0.03**
Error	خطا	28	0.00	0.004	108	0.006
CV (٪)	ضریب تغییرات	-	*6.83*	*4.44*	*7.11*	*5.31*

ns: عدم اختلاف معنی‌دار **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪.

ns: no significant, *: significant at 1% probability, **: significant at 5%.

آنتوسیانین

نتایج نشان داد این رنگ‌دانه در سطح احتمال یک درصد از برهمکنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی تأثیر گرفت (جدول ۷). محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در همه سطوح آبیاری موجب افزایش میزان آنتوسیانین شد. بااین‌حال بیشترین غلظت این ترکیب در برگ در شرایط قطع آبیاری از گل‌دهی (۰/۰۹۳ $\mu mol.g^{-1}FW$) با اعمال دو گرم اسیدآمینه در لیتر و کمترین میزان (۰/۰۵۳ $\mu mol.g^{-1}FW$) و از تیمار آب مقطر حاصل شد که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۸). با محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر در شرایط قطع آبیاری از خورجین‌دهی بالاترین میزان این ترکیب (۰/۰۸۰ $\mu mol.g^{-1}FW$) در برگ ثبت شد که با دو سطح دیگر اسیدآمینه اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۸)؛ اما در شرایط آبیاری نرمال بالاترین میزان آنتوسیانین (۰/۰۷۹ $\mu mol.g^{-1}FW$) از کاربرد سه گرم اسیدآمینه در لیتر حاصل شد. در همه سطوح آبیاری کمترین میزان این صفت از تیمارهای شاهد و آب مقطر ثبت گردید (جدول ۸). این مورد با نتایج تحقیقات نتایج نیک‌روش و همکاران (Nikravesh et al., 2016) که اظهار داشتند مقادیر آنتوسیانین در گیاهان تحت تنش خشکی افزایش معنی‌داری نشان دادند؛ مطابقت دارد. افزایش آنتوسیانین در شرایط تنش به علت نقش حفاظت نوری آن‌ها در حذف مستقیم رادیکال‌های آزاد در هنگام تنش اکسیداتیو حاصل از کمبود آب است (Zhang et al., 2010). در راستای این گزارش‌هایی مبنی بر افزایش میزان آنتوسیانین در اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در گیاهان فلفل تند (*Apsicum Annuum*) و کلم‌برگ (*Brassica Oleracea*) وجود دارد (Haghighi et al., 2022; Aly and Abd El Megid, 2019). اسیدهای آمینه به دلیل نقشی که در تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی و جلوگیری از تخریب این ترکیبات توسط آنزیم پراکسیداز دارند (Abaspour et al., 2019) و همچنین سبب افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیا لیاز می‌شود که آنزیم کلیدی در مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها است (Guidi et al., 2008) که موجب بهبود میزان آنتوسیانین در شرایط تنش خشکی در اثر محلول‌پاشی می‌شود. این صفت با فلاونوئید (r=۰/۸۰**) و پرولین (r=۰/۸۱**) بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را داشت (جدول ۹). در این راستا، افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و اسمزی در شرایط تنش خشکی این همبستگی را تصدیق می‌کند.

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های برهمکنش صفات بیوشیمیایی کلزا تحت تأثیر تیمار محلول‌پاشی برگی و رژیم‌های آبیاری

Table 8. Mean comparison of biochemical traits of oil rapeseed affected by withholding regimes irrigation and foliar spraying

Treatments تیمارها					
آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی برگی Foliar Spraying	آنتوسیانین Anthocyanin	فلاونوئید Flavonoid	پرولین Proline	فنل کل Total phenol
		----------µmol.g^{-1}FW----------			
I1	F1	0.034e	1.16c	44.66bc	1.2c
	F2	0.044d	1.19bc	39.6c	1.24bc
	F3	0.062c	1.34a	55.9a-c	1.30bc
	F4	0.071b	1.26b	61ab	1.41a
	F5	0.079a	1.38a	70.6a	1.34ab
LSD		0.005	0.07	19.39	0.10
I2	F1	0.043d	1.32fbc	135.1c	1.33d
	F2	0.054cd	1.26c	145.7c	1.43cd
	F3	0.063bc	1.37a-c	169.3b	1.49bc
	F4	0.080a	1.47a	197a	1.64a
	F5	0.073ab	1.42ab	188.4a	1.54ab
LSD		0.01	0.12	14.49	0.11
I3	F1	0.059d	1.40c	206.2b	1.41c
	F2	0.053d	1.43bc	207.9b	1.36c
	F3	0.081b	1.55ab	222.5ab	1.82a
	F4	0.093a	1.64a	238.2a	1.87a
	F5	0.072c	1.50bc	210.8b	1.61b
LSD		0.006	0.11	22.1	0.17

I1: آبیاری کامل، I2: قطع آبیاری از ۵۰ در خورجین‌دهی، I3: 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، حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است. برش‌دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است.

I1: full irrigation, I2: withholding irrigation from 50% flowering stage, I3: withholding irrigation from pod forming, F1: no foliar spraying, F2: zero foliar spraying (distilled water), F3: one grams of amino acids per liter, F4: two grams of amino acids per liter, F5: three grams of amino acids per liter. Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes.

پرولین

تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی پرولین گذاشت (جدول ۷). بیشترین غلظت پرولین در برگ‌ها در قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی (µmol.g^{-1}FW ۲۳۸/۲) با محلول‌پاشی دو گرم اسیدآمینه در لیتر و کمترین غلظت (µmol.g^{-1}FW ۲۰۶/۲) از عدم محلول‌پاشی به دست آمد.

در سطح دیگر تنش، یعنی قطع از خورجین‌دهی نیز همانند قطع آبیاری از گل‌دهی تیمار دو گرم اسیدآمینه و عدم محلول‌پاشی بیشترین و کمترین غلظت پرولین را به خود اختصاص دادند؛ اما در شرایط بدون قطع آبیاری بالاترین میزان پرولین (µmol.g^{-1}FW ۷۰/۶) از کاربرد سه گرم اسیدآمینه در لیتر و کمترین غلظت (µmol.g^{-1}FW ۳۶/۶) حاصل شد (جدول ۸). مشخص شده است که پرولین در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد (Khan et al., 2020) و به‌عنوان پیش‌ساز و املاح سازگار نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفا می‌کند (Blum, 2017). در تحقیقات مختلف بر روی گیاه کلزا افزایش میزان پرولین در شرایط تنش را گزارش نمودند (Aslam et al., 2021; Khayat Moghadam et al., 2021). افزایش انباشت پرولین با کاربرد اسیدهای آمینه در گیاهان کلزا (Dawood and Sadak, 2014)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (Davari et al., 2021) و گندم (*Triticum aestivum*) (Haider et al., 2021) گزارش شده است. در شرایط تنش خشکی است پیش‌ساز گلوتامات، بیشتر در مسیر بیوسنتز پرولین مصرف می‌شود و ممکن است افزایش غلظت این ترکیب به همین علت باشد (Ramak et al., 2014). پرولین یک نوع ترکیب تنظیم‌کننده اسمزی به شمار می‌رود و تجمع آن در بافت گیاهی در شرایط تنش به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی

مطرح می‌شود و به دلیل نقش حفاظتی که در سلول گیاهی ایفا می‌کند، در شرایط تنش‌های محیطی در سلول‌ها تجمع می‌یابد (Jahanbakhsh et al., 2020). تجمع پرولین در شرایط تنش به‌واسطه فعال‌سازی ژن‌های بیوسنتز پرولین و غیرفعال‌شدن آنزیم‌های تخریب‌کننده آن انجام می‌شود (Marco et al., 2015) و این افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌شود (Boroujerdnia et al., 2016). افزایش میزان پرولین در اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه می‌توان به نقش مستقیم آن‌ها در افزایش ترکیبات نیتروژنی (Ali et al., 2019) که نقش مستقیمی در تولید انواع اسیدهای آمینه و پروتئینی دارند نسبت داد (Moe, 2013). پرولین با صفات عملکرد روغن (r=-۰/۸۴**)، عملکرد دانه (r=-۰/۸۸**)، بیولوژیک (r=-۰/۷۴**)، درصد روغن (r=-۰/۶۴**) و شاخص سطح برگ (r=-۰/۷۴**) همبستگی منفی و بالایی داشت و بیشترین همبستگی مثبت را با شاخص سبزینگی (r=۰/۸۸**) و فنل کل (r=۰/۸۷**) در این تحقیق داشت (جدول ۹). به علت افزایش میزان ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی در شرایط تنش و کاهش صفات رشدی و عملکردی در این شرایط می‌توان نتایج همبستگی حاصل را توجیه نمود.

فلاونوئید

اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان فلاونوئید داشت (جدول ۷). قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی موجب افزایش میزان این صفت شد. محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در همه سطوح آبیاری موجب افزایش غلظت فلاونوئید نسبت به شاهد شد. بالاترین میزان این ترکیب در قطع آبیاری از گل‌دهی (۱/۶۴ $\mu mol.g^{-1}FW$) و قطع آبیاری از خورجین‌دهی (۱/۴۷ $\mu mol.g^{-1}FW$) با کاربرد برگی دو گرم اسیدآمینه در لیتر به دست آمد اما در شرایط آبیاری کامل اعمال سه گرم اسیدآمینه بالاترین میزان فلاونوئید ($\mu mol.g^{-1}FW$ ۱/۳۸) را حاصل نمود که با تیمار یک گرم اسیدآمینه اختلاف معنی‌داری نداشتند. در شرایط آبیاری کامل کمترین میزان فلاونوئید (۱/۱۶ میکرو مول برگرم وزن تر برگ) از تیمار بدون محلول‌پاشی حاصل شد (جدول ۸). همچنین در دو سطح تنش خشکی کمترین غلظت این ترکیب از تیمارهای شاهد و صفر گرم اسیدآمینه ثبت شد (جدول ۸). در تحقیقی روی کلزا نتایج نشان داد که تنش خشکی میزان فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد (Salami et al., 2023). با ایجاد تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدان (Tan et al., 2008) و مسیر فنیل پروپانوئید به‌ویژه بیوسنتز فلاونوئیدها افزایش می‌یابد (Soheila et al., 2001). در تحقیقی استفاده از محرک زیستی حاوی اسیدهای آمینه سبب افزایش محتوای فلاونوئیدها (۷۴٪) در گیاه سویا شد (Kocira, 2019). اسیدهای آمینه به دلیل نقش مستقیم در افزایش فعالیت آنزیم کلیدی (فنیل‌آلانین‌آمونیا لیاز) در مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها، موجب بهبود میزان این ترکیبات در شرایط تنش خشکی در اثر محلول‌پاشی می‌شود (Sharma et al., 2019). به علت تأثیر مستقیم تنش خشکی در افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، این صفت با صفات بیوشیمیایی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و بیشترین همبستگی نیز با صفت فنل کل (r=۰/۸۷**) حاصل شد. بااین‌حال عملکرد روغن (r=-۰/۵۵*) با این صفت همبستگی منفی و معنی‌داری داشت که نشان از اثر منفی تنش خشکی بر میزان عملکرد روغن است (جدول ۹).

فنل کل

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که برهمکنش رژیم‌های قطع آبیاری و محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر صفت فنل کل تأثیرگذار بود (جدول ۷). کاربرد برگی اسیدهای آمینه تأثیر مثبتی بر روند افزایش این ترکیب داشتند و بیشترین میزان فنل کل در قطع آبیاری از گل‌دهی (۱/۸۷ میلی مولار اسید گالیک)، قطع آبیاری از خورجین‌دهی (۱/۶۴ میلی مولار اسید گالیک) و آبیاری کامل (۱/۴۱ میلی مولار اسید گالیک) از کاربرد دو گرم اسیدآمینه در لیتر حاصل شد (جدول ۸). در همه سطوح آبیاری کمترین غلظت ترکیبات فنل از تیمارهای بدون اسیدآمینه (شاهد و آب مقطر) ثبت شد (جدول ۸). بر اساس یافته‌های قبلی، در شرایط تنش خشکی افزایش محتوای فنلی وجود داشت (Hasanuzzaman et al., 2021). بررسی‌های پیشین در گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی نشان داده است که ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد (Salami et al., 2023; Rezayian et al., 2018). محققان افزایش سطوح ترکیبات فنلی را به‌عنوان سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی

غیرآنزیمی در گیاهان تحت تنش خشکی ذکر کردند (Perez- Labrada et al., 2019). در تحقیقی استفاده از محرک زیستی حاوی اسیدهای آمینه سبب افزایش محتوای فنلی گیاه سویا (۳۴ درصد) و عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi*) (۸۶ درصد) شد (Kocira, 2019; Saremi et al., 2021). طبق گزارش محققان اسیدهای آمینه با فعال‌سازی آنزیم‌های دخیل (فنیل آلانین آمونیالیاز و تیروزین آمونیالیاز) در مسیر سنتز ترکیبات فنلی و غیر فعال‌سازی رادیکال‌های آزاد غلظت این ترکیبات را افزایش می‌دهند (Jalili and Javadirad, 2023). به علت تأثیر مثبت تنش خشکی در افزایش ترکیبات بیوشیمیایی نظیر آنتوسیانین، فلاونوئید و پرولین این صفت با صفات بیوشیمیایی موردبررسی در این تحقیق همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. بیشترین همبستگی (r=۰/۸۷**) با پرولین بود (جدول ۹).

جدول ۹. ضرایب همبستگی بین صفات موردبررسی کلزا

Table 9. Correlation coefficients between the investigated traits of oil rapeseed

Traits صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Leaf area index شاخص سطح برگ	1										
2 Chlorophyll index شاخص سبزینگی	-0.51	1									
3 Total chlorophyll کلروفیل کل	0.79**	-0.37	1								
4 Oil yield عملکرد روغن	0.94**	-0.68**	0.79**	1							
5 Oil contect درصد روغن	0.84**	-0.44	0.75**	0.87**	1						
6 Biological yield عملکرد بیولوژیک	0.89**	-0.63*	0.82**	0.93**	0.83**	1					
7 Grain yield عملکرد دانه	0.94**	-0.71**	0.78**	0.99**	0.85**	0.93**	1				
8 Anthocyanin آنتوسیانین	0.11	0.60*	0.33	-0.06	0.21	0.04	-0.10	1			
9 Flavonoid فلاونوئید	-0.39	0.81**	-0.29	-0.55*	-0.21	-0.44	-0.59*	0.80**	1		
10 Proline پرولین	-0.76**	0.88**	-0.53*	-0.86**	-0.64**	-0.74**	-0.88**	0.51	0.84**	1	
11 Total phenol فنل کل	-0.30	0.76**	-0.17	-0.47	-0.13	-0.34	-0.49	0.81**	0.87**	0.87**	1

ns: عدم اختلاف معنی‌دار **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ *: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪.

ns: no significant, *: significant at 1% probability, **: significant at 5%.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان به این نتیجه رسید که تنش خشکی بر صفات مهمی نظیر شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، عملکرد دانه، عملکرد روغن، درصد روغن، عملکرد بیولوژیک و صفات بیوشیمیایی (آنتوسیانین، پرولین و ترکیبات فنلی) تأثیر معنی‌داری دارد. تنش خشکی در این پژوهش موجب کاهش معنی‌دار صفات بارزی همچون شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، عملکرد و درصد روغن، عملکرد بیولوژیک و میزان کلروفیل کل شد. بااین‌حال محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در سطوح مختلف موجب کاهش تأثیر منفی تنش خشکی بر صفات موردبررسی شد و در رژیم‌های قطع آبیاری، بیشترین میزان شاخص سطح برگ (۳/۵۲)، عملکرد دانه (۴۵۱۴ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد روغن (۱۹۲۴/۶ کیلوگرم در هکتار)، درصد روغن (۴۳/۳ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۲۵۹۵۵ کیلوگرم در هکتار) و ترکیبات بیوشیمیایی شامل پرولین (۲۳۸/۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ)، فنل کل (۱/۸۲ میلی مولار اسید گالیک)، فلاونوئید (۱/۶۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و آنتوسیانین (۰/۰۹۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) با کاربرد اسیدهای آمینه به میزان دو گرم در لیتر حاصل شد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌توان محلول‌پاشی اسیدهای آمینه با غلظت دو گرم در لیتر آب به‌منظور کاهش تأثیر منفی تنش کم‌آبی در انتهای فصل رشد کلزا بر صفات عملکردی و بیوشیمیایی مؤثر در رشد و نمو و عملکرد دانه و روغن این گیاه توصیه نمود.

منابع

Anli, M., Baslam, M., Tahiri, A., Raklami, A., Symanczik, S., Boutasknit, A., Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., Toubali, S., Ait Rahou, Y. and Ait Chitt, M., 2020. Biofertilizers as strategies to improve photosynthetic apparatus, growth, and drought stress tolerance in the date palm. Frontiers in Plant Science. 11, 516818. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.516818

Aslam, M.M., Farhat, F., Siddiqui, M.A., Yasmeen, S., Khan, M.T., Sial, M.A., Khan I.A., 2021. Exploration of physiological and biochemical processes of canola with exogenously applied fertilizers and plant growth regulators under drought stress. PloS One. 16(12), e0260960. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260960

Bardgett, R.D., Gibson, D.J., 2017. Plant ecological solutions to global food security. Journal of Ecology. 105(4), 859-864. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12812

Bates, L.S., Waldren, R.A.,Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39(1), 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Blum, A., 2017. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. Plant, Cell and Environment. 40(1), 4-10. https://doi.org/10.1111/pce.12800

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. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392021000400527

Boroujerdnia, M., Bihamta, M., AlamiSaid, K., Abdossi, V., 2016. Effect of drought tension on proline content, soluble carbohydrates, electrolytes leakage and relative water content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Crop Physiology Journal. [In Persian]. 29(8), 29-41. http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-633-en.html

Davami, P., alavifazel, M., lak, S., habibi, D., mozaffari, A., 2021. Evaluation of

Abaspour Esfaden, M., Kallaterjari, S., Fatehi, F., 2019. The effect of salicylic acid and L-arginine on morphophysiological properties and leaf nutrients of *Catharanthus roseus* under drought Stress. Journal of Horticultural Science. 33(3), 417-432. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i3.73631

Aboodeh, H., Moradi Telavat, M. R., Moshattati, A., Mousavi, S. H., 2020. The response of morphology, yield and yield components of spring safflower genotypes to different sowing dates. Journal of Crop Production and Processing. 9(4), 215-227. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.47176/jcpp.9.4.22255

Ali, B., Wang, X., Saleem, M.H., Hafeez, A., Afridi, M.S., Khan, S., Ullah, I., Amaral Júnior, A.T.D., Alatawi, A., Ali, S., 2022. PGPR-mediated salt tolerance in maize by modulating plant physiology, antioxidant defense, compatible solutes accumulation and bio-surfactant producing genes. Plants. 11(3), 345. https://doi.org/10.3390/plants11030345

Ali, Q., Haider, M. Z., Shahid, S., Aslam, N., Shehzad, F., Naseem, J., Ashraf, R., Ali, A., Hussain, S. M., 2019. Role of amino acids in improving abiotic stress tolerance to plants. In: Mirza, H., Masayuki, F., Hirosuke, O., Tofazzal Islam, M. (eds.), Plant tolerance to environmental stress. Boca Raton. CRC Press. 468, 175-204.https://doi.org/10.1201/9780203705315

Aly, A., Eliwa, N., Abd El Megid, M.H., 2019. Improvement of growth, productivity and some chemical properties of hot pepper by foliar application of amino acids and yeast extract. Potravinarstvo. 13(1), 831–839. https://doi.org/10.5219/1160

Aminifard, M. H., Gholami, M., Bayat, H., Moradinezhad, F., 2020. Effect of fulvic acid and amino acid application on physiological characteristics, growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology. 12(3), 373-388. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jag.v12i374672

physiological and qualitative characteristics of rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) in irrigation-off and change of planting date conditions. Plant Process and Function. 10(41), 295-314. [In Persian]. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.19.9

Davari, K., Rokhzadi, A., Mohammadi, K., Pasari, B., 2022. 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, 674-690. http://dx.doi.org/10.1007/s42729-021-00677-9

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.

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(1), 187-202. https://doi.org/10.21608/assjm.2018.65137

EL-Bauome, H.A., Abdeldaym, E.A., Abd El-Hady, M.A., Darwish, D.B.E., Alsubeie, M.S., El-Mogy, M.M., Basahi, M.A., Al-Qahtani, S.M., Al-Harbi, N.A., Alzuaibr, F.M. Alasmari, A., 2022. Exogenous proline, methionine, and melatonin stimulate growth, quality, and drought tolerance in cauliflower plants. Agriculture. 12(9), 1301. https://doi.org/10.3390/agriculture12091301

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(5), 462-472.

FAO. Crops and Livestock Products (Production). Available online, https://www.fao.org/faostat/en/#search/Rapeseed (accessed on 24 August 2021).

Fischer, W.N., André, B., Rentsch, D., Krolkiewicz, S., Tegeder, M., Breitkreuz, K., Frommer, W.B., 1998. Amino acid transport in plants. Trends in Plant Science. 3(5), 188-195. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(98)01231-X

Gaveliene, V., Pakalniskyte, L., Novickiene, L., 2016. Impact of regulators with amino acids for winter plants freezing tolerance. Acta Physiologiae Plantarum. 38(17), 81.

Gawronska, H., 2008. Biostimulators in modern agriculture (general aspects). Plant Press Ryko. University of Life Sciences (WULS). 14,23-89.

Ghaffari Nejad, S. A., nourgholipour, F., Gheybi, M. N., 2020. Biostimulants and their roles in plant physiology, nutrient absorption, and tolerance to abiotic stresses. Land Management Journal. 8(1), 47-67. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/lmj.2020.122310

Guidi, L., Degl'Innocenti, E., Remorini, D., Massai, R., Tattini, M., 2008. Interactions of water stress and solar irradiance on the physiology and biochemistry of *Ligustrum vulgare*. Tree Physiology. 28(6), 873-883. https://doi.org/10.1093/treephys/28.6.873

Haghighi, M., Barzegar Sadeghabad, A., Abolghasemi, R., 2022. Effect of exogenous amino acids application on the biochemical, antioxidant, and nutritional value of some leafy cabbage cultivars. Scientific Reports. 12(1), 1-13. https://doi.org/10.1038/s41598-022-21273-6

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. http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.1.239.246

Hamed, A., Akbari, G., Khosh Kholgh Sima, N. A., Shirani Rad, A. H., Jabbari, H., Tabatabaee, S. A., 2015. Evaluation of the agronomic characteristics and some physiological traits of canola varieties under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 7(2), 155-171. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2015.171

Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Bardhan, K., Nahar, K., Anee, T.I., Masud, A.A.C., Fotopoulos, V., 2021. Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. Cells. 10(10), 2537. https://doi.org/10.3390/cells10102537

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., 2023. Effect of amino acids combination on the quantitative and qualitative characteristics of garlic (*Allium Sativum* L.). Plant Productions. 46(2), 237-249. [In Persian with English

Summary]. https://doi.org/10.22055/ppd.2023.42775.2071

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., 2021. Effects of application and type of amino acids on the activity of antioxidant enzymes, proline content and seed yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). Plant Productions. 44(3), 381-394. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22055/ppd.2020.31327.1834

Jahanbakhsh, S., Moradi, R., Khajoei-Nejad, G., Naghizadeh, M., 2020. Effect of planting date, drought stress and salicylic acid on yield and biochemical characteristics of quinoa. Iranian Journal of Field Crop Science. 51(4), 55-71. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.284610.654622

Jahani, R., Hassani, A., Samadi, A., 2018. Effect of foliar application of urea, aspartic acid and glutamic acid on growth, physiological and biochemical characteristics of Anise hyssop (*Agastache foeniculum*). Applied Soil Research. 5(2), 95-107. [In Persian].

Jalili, S., Javadirad, S., 2023. Effect of melatonin on growth parameters and phenolic compounds of in vitro salt stress of *Medicago sativa* L. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 36(1), 62-74. [In Peresian]. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1402.36.1.5.6

Jian, H., Zhang, A., Ma, J., Wang, T., Yang, B., Shuang, L.S., Liu, L., 2019. Joint QTL mapping and transcriptome sequencing analysis reveal candidate flowering time genes in *Brassica napus* L. BMC Genomics. 20(21), 21. https://doi.org/10.1186/s12864-018-5356-8

Khalili, M., & H. Hamze. 2019. Effect of super-adsorbent and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris*). Journal of Crop Ecophysiology. 3(4), 395-412. [In Peresian]. https://doi.org/10.30495/jcep.2019.669706

Khan, M. A., Ashraf, M. Y., Mujtaba, S. M., Shirazi, M. U., Khan, M. A., Shereen, A., ... Kaleri, G. M., 2010. Evaluation of high yielding canola type Brassica genotypes/mutants for drought tolerance using physiological indices as screening tool, Pakistan Journal of Botany. 42(6), 3807-3816.

Khan, M.N., Khan, Z., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Zhang, J., Xu, Z., Wu, H., Hu, L., 2020. Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed, consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. Industrial Crops and Products. 156(15), 112850. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112850

Khayat Moghadam, M.S., Gholami, A., Shirani Rad, A.H., BaradaranFiroozabadi, M., Abbasdokht, H., 2021. The effect of potassium silicate and late-season drought stress on the physiological characters of canola. Journal of Crops Improvement. 23(4), 776-761. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2021.306872.2424

Kocira, S. 2019. Effect of amino acid biostimulant on the yield and nutraceutical potential of soybean. Chilean Journal of Agricultural Research. 79(1), 17-25. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000100017

Krizek, D.T., Britz, S.J., Mirecki, R.M., 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV- A and UV- B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. Physiologia Plantarum. 103(1), 1-7. http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1030101.x

Kumar, S., Sindhu, S. S., Kumar, R., 2022. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. Current Research in Microbial Sciences. 3, 100094. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094

lotfifar, O., Mottaghi, L., Shiranirad, A., Mottaghi, S., 2017. The effect of drought stress and zeolite application on physiological traits, and anti-oxidant enzymes activity, and qualitative and quantitative performance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. Journal of Plant Environmental Physiology. 12(45), 51-67. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1396.12.45.5.3

Ma, Y., Vosátka, M., Freitas, H., 2019. Beneficial microbes alleviate climatic stresses in plants. Frontiers in Plant Science. 10, 595. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00595

Makhlouf, B. S. I., Khalil, S. R. A. E., Saudy, H. S., 2022. Efficacy of humic acids and chitosan for enhancing yield and sugar quality of sugar beet under moderate and severe drought. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 22(132), 1676–1691. http://dx.doi.org/10.1007/s42729-022-00762-7

Mamnabia, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, G., Raei, Y., 2020. Morpho-

physiological traits, grain and oil yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) affected by drought stress and chemical and bio-fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 30(3), 359-378. [In Persian]. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.3.21.6

Manvelian, J., Weisany, W., Tahir, N.A.R., Jabbari, H., Diyanat, M., 2021. Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress. Industrial Crops and Products. 172, 114069. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114069

Marco, F., Bitrián, M., Carrasco, P., Rajam, M.V., Alcázar, R., Tiburcio, A.F., 2015. Genetic engineering strategies for abiotic stress tolerance in plants. Plant biology and biotechnology: Volume II: plant genomics and biotechnology. Springer Science. 579-609.

Mirzapour, M. H., Nour gholipour, F., 2022. Effects of some plant growth biostimulants on yield and yield components of rapeseed (*Brasica napus* L.) in a saline calcareous Soil. Iranian Journal of Soil Research. 36(2), 163-176. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijsr.2022.357414.650

Moe, L.A., 2013. Amino acids in the rhizosphere, from plants to microbes. American Journal of Botany. 100(9), 1692-1705. https://doi.org/10.3732/ajb.1300033

Nazeri, P., Shirani Rad, A. H., ValadAbadi, S. A., Mirakhori, M., Hadidi Masoule, E., 2019. The effect of planting date and late season drought stress on Eco-physiological characteristics of the new varieties of Canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agroecology. 11(1), 261-276. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.67311

Nikravesh, M., Kholdebarin, B., Nejadsattari, T., Najafi, F., 2016. Effect of sodium nitroprusside (SNP) on some physiological parameters in oilseed rape (*Brassica napus* L.) seedlings under drought stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 29(3), 644-658. [In Persian]. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1395.29.3.17.3

Parmoon, G., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Hashemi, M., 2019. Physiological response of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to drought stress and plant growth regulators. Russian Journal of Plant Physiology. 66(5), 795-805. http://dx.doi.org/10.1134/S1021443719050170

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 with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2021.4209.1988

Pepe, M., Crescente, M.F., Varone, L., 2022. Effect of water stress on physiological and morphological leaf traits, a comparison among the three widely-spread invasive alien species *Ailanthus altissima*, *Phytolacca americana*, and *Robinia pseudoacacia*. Plants. 11(77), 899. https://doi.org/10.3390/plants11070899

Perez- Labrada, F., Lopez-Vargas, E.R., OrtegaOrtiz, H., Codwnas –Pliego, G., Benavides – Mendoza, A., 2019. Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. Plants. 8(6), 151. https://doi.org/10.3390/plants8060151

Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K., Górecki, H., 2018. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. Molecules. 23(2), 470. https://doi.org/10.3390/molecules23020470

Radkowski, A., Radkowska., 2018. Influence of foliar fertilization with amino acid preparations on morphological traits and seed yield of timothy. Plant, Soil and Environment. 64(5), 209-213. https://doi.org/10.17221/112/2018-PSE

Rahimi, N., Jalalian, J., Pirzad, A., Gholinezhad, E., 2019. Evaluation of grain and oil yield changes of linseed (*Linum usitatissimum* L.) as affected by bio-fertilizers and supplementary irrigation. Scientific Journal of Plant Ecophysiology. 12, 41-52. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1399.12.41.4.1

Ramak, P., Khavari-Nejad, R., Hidari Sharifabad, H., Rafiee, M., Khademi, K., 2014. The effect of water stress on dry weight and photosynthetic pigments in two sainfoin species. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 14(2), 91-80. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2006.115084

Repke, R. A., Silva, D. M. R., dos Santos, J. C. C., de Almeida Silva, M., 2022. Alleviation of drought stress in soybean by applying a biostimulant based on amino acids and Macro- and micronutrients. Agronomy. 12(10), 2244. https://doi.org/10.3390/agronomy12102244

Rezayian, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H., 2018. Differential responses of phenolic compounds of *Brassica napus* under drought stress. Journal of Plant Physiology. 8(3), 2417-2425. https://doi.org/10.30495/ijpp.2018.540887

Richardson, A.D., Duigan, S.P., Berlyn, G.P., 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. New Phytologist. 153(1), 185-194. https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00289.x

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]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18786.2398

Rouphael, Y., Colla, G., 2018. Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science. 9(1), 1655. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655

Sabagh, A.E., Hossain, A., Barutçular, C., Islam, M.S., Ratnasekera, D., Kumar, N., Meena, R.S., Gharib, H.S., Saneoka, H., da Silva, J.A.T., 2019. Drought and salinity stress management for higher and sustainable canola ('*Brassica napus* L.) production: A critical review. Australian Journal of Crop Science. 13(1), 88-96. http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.19.13.01.p1284

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. http://dx.doi.org/10.17557/tjfc.737486

Salami, M., Heidari, B., Tan, H., 2023. Comparative profiling of polyphenols and antioxidants and analysis of antiglycation activities in rapeseed (*Brassica napus* L.) under different moisture regimes. Food Chemistry. 399, 133946. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133946

Saremi, S., Gholipoor, M., Abbasdokht, H., Naghdi Badi, H.A., Mehrafarin, A., Asghari, H., 2021. Evaluation of effect of foliar application of various amino acids on the biochemical responses of *Physalis alkekengi* L. Eco-Phytochemical Journal of Medicinal Plants. 9(2), 39-52. https://doi.org/10.30495/ejmp.2021.694469

Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., Zheng, B., 2019. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. Molecules. 24(13), 2452. https://doi.org/10.3390/molecules24132452

Singer, S.D., Zou, J. and Weselake, R.J., 2016. Abiotic factors influence plant storage lipid accumulation and composition. Plant Science. 243, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.11.003

Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American journal of Enology and Viticulture. 16(3), 144-158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

Soheila, A.H., John, C.F., Jordan, B., Thomas, B., 2001. Early signaling components in ultraviolet-B responses: distinct roles for different reactive oxygen species and nitric oxide. FEBS letters. 489(2-3), 237-242. https://doi.org/10.1016/S0014-5793(01)02103-2

Tan, J., Zhao, H., Hong, J., Han, Y., Li, H., Zhao, W., 2008. Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedlings subjected to osmotic stress. World Journal of Agricultural Sciences. 4(3), 307-313.

Van Oosten, M.J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., Maggio, A., 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 4(1),1-12. https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/s40538-017-0089-5

Wang, D., Deng, X., Wang, B., Zhang, N., Zhu, C., Jiao, Z., Li, R., Shen, Q., 2019. Effects of foliar application of amino acid liquid

fertilizers, with or without Bacillus amyloliquefaciens SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota. PLoS One. 14(9), e0222048. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222048

Warner, K.J., Jones, G.A., 2017. A population-induced renewable energy timeline in nine world regions. Energy Policy. 101, 65-76. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.11.031

Wu, W., Duncan, R. W., Ma, B. L., 2017. Quantification of canola root morphological traits under heat and drought stresses with electrical measurements. Plant and Soil, 415, 229-244. https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-016-3155-z

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]. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2205.1552

Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., Xia, X. J., 2010. Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. Plant science. 179(3), 202-208. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.05.006

Zhang, S. H., Xu, X. F., Sun, Y. M., Zhang, J. L., Li, C. Z., 2018. Influence of drought hardening on the resistance physiology of potato seedlings under drought stress. Journal of Integrative Agriculture. 17(2), 336-347. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61758-1

Zhu, J., Cai, D., Wang, J., Cao, J., Wen, Y., He, J., Zhao, L., Wang, D., Zhang, S., 2021. Physiological and anatomical changes in two rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress conditions. Oil Crop Science. 6(2), 97-104. https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2021.04.003