

بررسی پاسخ فیزیولوژیک و عملکرد دانه و روغن کاملینا (*Camelina sativa* L. Crantz) به کاربرد سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم تحت تنش خشکی انتهایی فصل

ندا امیری دربان^۱، قربان نورمحمدی^۲، امیرحسین شیرانی راد^{۲*}، سید محمدجواد میرهادی^۱ و اسلام مجیدی هروان^۱
۱ و ۲ - به ترتیب دکتری، استاد، دانشیار و استاد، گروه امور باغبانی و زراعی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران،
۳ - استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۹)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کودهای سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه و روغن کاملینا تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل پایانی دوره رشد، آزمایشی دو ساله (۱۳۹۶-۱۳۹۸) به صورت کرت خرد شده-فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در کرج انجام شد. رژیم‌های آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل گلدهی و خورجین‌دهی) در کرت‌های اصلی و ترکیب کودهای سولفات آمونیوم (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. محتوای نسبی آب برگ، دمای کنوپی، مقاومت روزنه‌ای، پرولین، کربوهیدرات، کلروفیل و عملکرد دانه و روغن تحت تأثیر برهمکنش آبیاری × سولفات آمونیوم × سولفات پتاسیم قرار گرفتند. عملکرد دانه و روغن کاملینا در تیمار آبیاری کامل، ۲۴۷۰ و ۸۳۳ کیلوگرم در هکتار، در قطع آبیاری از مرحله گلدهی ۶۱۳ و ۱۱۸ کیلوگرم در هکتار و در قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی ۱۳۲۰ و ۴۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. کاربرد سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم باعث افزایش عملکرد دانه و روغن کاملینا در تمام تیمارهای آبیاری شد. بیشترین عملکرد دانه و روغن در تیمار کودی ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم + ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با میانگین‌های ۱۹۵۰ و ۶۴۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌کند که با کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم + ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهایی فصل، می‌توان عملکرد دانه و روغن کاملینا را بهبود بخشید.
واژه‌های کلیدی: دمای کنوپی، فتوسنتز، قطع آبیاری، کوددهی، محتوای نسبی آب برگ.

Evaluation of the response of physiological and seed and oil yields of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) to the application of ammonium and potassium sulfates under late-season drought stress

Neda Amiri-Darban¹, Ghorban Nourmohammadi¹, Amir Hosein Shirani Rad^{2*}, Seyed Mohammad Javad Mirhadi¹, Islam Majidi Heravan¹

1. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. 2. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received: August 17, 2020 - Accepted: October 20, 2020)

ABSTRACT

A two-year experiment (2017-2019) was conducted at Karaj, Iran, to investigate the effect of ammonium and potassium sulfates on the physiological traits and seed and oil yields of camelina under late-season deficit irrigation conditions. The experiment was carried out as a split plot-factorial in a randomized complete block design with three replicates and irrigation regimes (full irrigation, restricted irrigation from flowering and siliqueformation stages) as the main plots and a combination of ammonium sulfate (0, 25, 50, and 75 kg ha⁻¹) and potassium sulfate (0, 25, 50, and 75 kg ha⁻¹) fertilizers as the subplots. Leaf relative water content, canopy temperature, stomata resistance, proline, carbohydrate, chlorophyll and seed and oil yields were affected by the three-way interaction between irrigation regime, ammonium and potassium sulfates. Camelina seed and oil yields were 2470 and 833 kg ha⁻¹ in full irrigation, 613 and 118 kg ha⁻¹ in restricted irrigation from the flowering stage, and 1320 and 407 kg ha⁻¹ in restricted irrigation from the silique formation stages, respectively. Application of ammonium and potassium sulfates increased seed and oil yields in all irrigation treatments. The maximum seed and oil yields were obtained from 75 kg ha⁻¹ ammonium + 75 kg ha⁻¹ potassium sulfates with the averages of 1950 and 643 kg ha⁻¹, respectively. The results of this study suggest that the application of 75 kg ha⁻¹ ammonium + 75 kg ha⁻¹ potassium sulfates can improve the camelina seed and oil yields under full irrigation and late-season drought stress treatments.

Keywords: Canopy temperature, fertilization, photosynthesis, relative water content, restricted irrigation.

* Corresponding author E-mail: a.shiranirad@areeo.ac.ir

مقدمه

مقاومت گیاهان تحت تنش‌های محیطی مثل خشکی، با کاربرد عناصر معدنی بهبود می‌یابد و پتاسیم، نقش قابل توجهی در حفظ فشار تورگر تحت شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند (Yuncaı & Schmidhalter, 2005; Jáklı *et al.*, 2018). گیاهان هنگامی که با تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی مواجه می‌شوند، به پتاسیم بیشتری نیاز پیدا می‌کنند و این موضوع می‌تواند با ضرورت پتاسیم برای حفظ تثبیت CO₂ در فرآیند فتوسنتز در ارتباط باشد (Cakmak, 2012; Engels *et al.*, 2005). گوگرد نیز می‌تواند در تغذیه و در نتیجه افزایش عملکرد کمی و کیفی روغن کاملینا مفید باشد (Joshi *et al.*, 2017). اهمیت و نقش گوگرد و ترکیبات حاوی آن نیز در جلوگیری از تنش‌های زنده شناخته شده است (Abuelsoud *et al.*, 2016). کاربرد این عنصر می‌تواند درصد روغن را در گیاهان دانه روغنی افزایش دهد، زیرا گوگرد یکی از اجزای مهم در ترکیب اسیدهای چرب است و برای سنتز متابولیت‌هایی مانند کوآنزیم A، ویتامین B، بیوتین، لیپولیک اسید و سولفولپیدها از اهمیت فراوانی برخوردار است (Malik *et al.*, 2004). در تحقیقی (Sohrabi *et al.*, 2019) گزارش کردند که کاربرد گوگرد در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی، باعث افزایش مقادیر محتوای نسبی آب برگ، فتوسنتز و عملکرد دانه ذرت در مقایسه با عدم کاربرد آن شد. Jankowski *et al.* (2019) با بررسی تأثیر کاربرد کودهای نیتروژن و گوگرد بر عملکرد کمی و کیفی کاملینا دریافتند که کاربرد ۳۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، عملکرد دانه را چهار تا پنج درصد افزایش داد. تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه و روغن کاملینا به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی جدید در شرایط تنش خشکی انتهایی فصل انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایشی دو ساله (۱۳۹۶-۹۷ و ۹۸-۱۳۹۷) به‌صورت

کاملینا (*Camelina sativa* L. Crantz) یکی از گیاهان دانه روغنی رایج در آسیا و اروپا و متعلق به خانواده Brassicaceae است که شناخت کمی در مورد آن وجود دارد. این گیاه، منبعی پایدار برای تولید انرژی به شمار می‌رود (Chaturvedi *et al.*, 2015) و توانایی رشد در اقلیم‌ها و خاک‌های مختلف را دارد و نسبت به سایر محصولات دانه روغنی به آب، کود و آفت‌کش کمتری نیاز دارد (Moser, 2010). این محصول دارویی-روغنی، منبعی غنی از روغن (۲۸ تا ۴۰ درصد) و اسیدهای چرب امگا-۳ به شمار می‌رود که قابلیت مصرف در رژیم‌های غذایی بشر دارد. از سوی دیگر، حدود ۹۰ درصد از اسیدهای چرب روغن کاملینا، اشباع نشده هستند که باعث منحصر به فرد بودن روغن آن شده است (Lu & Kang, 2008).

تنش خشکی، عملکردهای کمی و کیفی گیاهان زراعی را از طریق تغییر رشد و فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Islam *et al.*, 2011) که در این بین، زمان وقوع تنش، اهمیت بیشتری نسبت به شدت تنش دارد. گیاهان نیز بسته به ژنوتیپ، شدت و مدت تنش خشکی تحت شرایط تنش کم‌آبی، از طریق تغییرات نموی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، عکس‌العمل‌های مختلفی به تنش کم‌آبی نشان می‌دهند (Shahrabi Farahani *et al.*, 2014). در همین زمینه Eyni-Nargeseh *et al.* (2019) در تحقیقی دریافتند که ژنوتیپ‌های L72 و HL3721 در کلزا به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۹۱۵ و ۳۸۹۲ کیلوگرم در هکتار در شرایط قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی، به دلیل ظرفیت مخزن، مقدار کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ بیشتر، برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. در تحقیق (Yousefi *et al.*, 2015) گزارش شد که تحت شرایط تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ کلزا کاهش یافت، درحالی‌که غلظت کلروفیل و نفوذپذیری نسبی غشاء افزایش نشان داد. این محققین، افزایش غلظت کلروفیل و نفوذپذیری غشاء و همچنین کاهش عملکرد دانه کلزا را با تنش خشکی و کاهش رطوبت خاک مرتبط دانستند.

در هکتار) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کود سولفات آمونیوم حاوی ۲۱ درصد نیتروژن به شکل یون آمونیوم و ۲۴ درصد گوگرد محلول در آب به شکل سولفات بود و کود سولفات پتاسیم حاوی ۵۰ درصد پتاسیم به شکل اکسید پتاسیم و ۱۷/۵ درصد گوگرد محلول در آب به شکل سولفات بود. داده‌های آب و هوایی ماهانه محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد کاملینا در جدول ۱ نشان شده است.

کرت خرد شده-فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۱ متر، طول جغرافیایی ۷۵° ۵۰' طول شرقی، عرض جغرافیایی ۵۹° ۳۵' عرض شمالی شد و رژیم‌های آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مراحل گلدهی و خورجین‌دهی) در کرت‌های اصلی و ترکیب کودهای سولفات پتاسیم در مرحله چهار برگی (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) و سولفات آمونیوم در مرحله غنچه‌دهی (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم

جدول ۱- بارش و میانگین دمای در طول دوره رشد کاملینا در کرج، ایران.

Table 1. Rainfall and mean temperature during growing period of camelina in Karaj, Iran.

Month	2017-2018		2018-2019	
	Mean temperature (°C)	Rainfall (mm)	Mean temperature (°C)	Rainfall (mm)
October	17	0	18.8	6.7
November	14.9	4.8	10.9	22.6
December	5.2	0.6	8.4	57.5
January	6.8	4.7	4.7	47.1
February	3.9	37	5.7	28
March	10.7	21	7.7	19.9
April	14.6	32	14	104
May	17.1	33	18.3	10.1
Jun	23.6	10	25.1	2.1

به‌برای منظور خرد شدن کلوخ‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین دیسک و ماله زده شد. قبل از کاشت، نمونه‌های خاک از دو عمق صفر تا ۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر به صورت تصادفی از سطح مزرعه گرفته شد (جدول ۲) و بر همین اساس، خاک مزرعه آزمایشی لومی رسی تشخیص داده شد.

کرت‌های آزمایشی شامل شش شش متری با فواصل ۳۰ سانتی‌متری بین خطوط و فاصله بوته پنج سانتی‌متر روی هر خط آزمایشی بودند که دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. قبل از اجرای آزمایش در مهرماه هر دو سال، مزرعه آزمایشی به‌وسیله گاواهن برگردان‌دار شخم زده شد و سپس

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Physicochemical properties of experimental site soil

Year	Depth (cm)	EC (ds m ⁻¹)	pH	OC (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	S (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
2017-18	0-30	3.97	7.3	0.54	0.07	11.7	255	14.7	24	45	31
	30-60	1.22	7.6	0.58	0.08	8.9	189	15.5	25	47	28
2018-19	0-30	3.81	7.1	0.61	0.08	12.5	236	12.8	23	47	30
	30-60	1.75	7.4	0.72	0.09	10.1	212	13.6	24	48	28

در خاک مخلوط شدند. آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد و میزان آب ورودی به مزرعه نیز توسط کنتور اندازه‌گیری شد. تعداد دفعات آبیاری در رژیم‌های آبیاری کامل، قطع آبیاری از مراحل خورجین‌دهی و گلدهی، به ترتیب برابر هشت، شش و پنج مرتبه بود و بر همین اساس، ۵۱۲۰، ۳۸۴۰ و ۳۲۰۰ متر مکعب آب در هکتار برای

بر اساس نتایج آنالیز خاک و توصیه کودی مرکز تحقیقات، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در دو مرحله (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله دو برگی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله ساقه‌دهی) استفاده شد. کودهای پیش کاشت و علف‌کش ترفلان (۲/۵ لیتر در هکتار) با استفاده از دیسک سبک به‌طور کامل

حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه نشان داد که دمای کنوپی، مقاومت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، کربوهیدرات و کلروفیل و عملکرد دانه و روغن تحت تأثیر برهمکنش آبیاری \times سولفات پتاسیم \times سولفات آمونیوم قرار گرفتند (جدول ۳).

صفات فیزیولوژیک کاملینا

بیشترین محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل کل در تیمار آبیاری کامل (میانگین تیمارهای سولفات آمونیوم و پتاسیم) با میانگین‌های ۹۵/۲ درصد و ۱/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد، در حالی که دمای کنوپی، مقاومت روزنه‌ای و محتوای پرولین و کربوهیدرات با میانگین‌های به ترتیب ۲۳/۲ درجه سلسیوس، ۱۰/۰ ثانیه بر سانتی‌متر، ۱۲/۸ میکرومول بر گرم وزن تر برگ و ۲۱/۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، کمترین مقدار را در تیمار آبیاری کامل داشتند (جدول ۴، ۳). قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، موجب کاهش ۲۸/۸ و ۱۱/۸ درصدی محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل کل و افزایش ۷۲/۶، ۱۵۳/۰، ۷۹/۰ و ۸۳/۵ درصدی دمای کنوپی، مقاومت روزنه‌ای و محتوای پرولین و کربوهیدرات برگ شد. قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی، موجب کاهش ۱۳/۵ و ۷/۵ درصدی محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل کل و افزایش ۲۹/۲، ۶۷/۸، ۳۴/۲ و ۳۸/۰ درصدی دمای کنوپی، مقاومت روزنه‌ای و محتوای پرولین و کربوهیدرات برگ شد (جدول ۵، ۴).

کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به کاهش درصد رطوبت خاک در شرایط قطع آبیاری و به دنبال آن کاهش پتانسیل آب برگ در اثر افزایش شدت خشکی نسبت داده شود (Heidari et al., 2013). کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان نیز جنبه سازگاری دارد، زیرا با این عمل، مقدار الکترون‌های برانگیخته شده در طی فرآیند فتوسنتز کاهش و در نتیجه خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن کاهش می‌یابد (Kranner et al., 2002).

رژیم‌های آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی و گلدهی استفاده شد. کشت در تاریخ ۱۵ مهر به صورت مستقیم انجام شد. کنترل آفات به‌ویژه شته مومی با استفاده از سموم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) انجام شد.

نمونه‌برداری‌ها برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک در مرحله خورجین‌دهی کامل انجام شد. برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ، نمونه‌گیری از برگ کاملاً جوان و توسعه یافته بوته‌های کاملینا (سومین برگ از رأس بوته) انجام شد و بعد از توزین برای تعیین وزن آماس، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و درون آب مقطر قرار گرفتند و پس از خشک کردن آب روی برگ‌ها، توسط ترازوی دقیق وزن آن‌ها تعیین شد. سپس برگ‌ها در آون (۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس) خشک شدند و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Ferrat & Loyal, 1999):

$$\text{RWC (\%)} = [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه، FW: وزن تر، DW: وزن خشک و TW: وزن آماس می‌باشد.

دمای کنوپی با استفاده از دماسنج مادون قرمز با ضریب گسیلندگی ۰/۹۹ و مقاومت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر (Automatic Porometer AP4) تعیین شد. مقدار کلروفیل بر اساس روش Arnon (1949)، پرولین بر اساس روش Bates et al. (1973) و کربوهیدرات‌های محلول برگ با استفاده از روش Sheligl (1986) در مرحله خورجین‌دهی تعیین شدند. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی از چهار خط میانی انتخاب و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. سپس ۵۰ گرم از دانه‌های برداشت شده از هر کرت آزمایشی به آزمایشگاه منتقل شد و استخراج روغن توسط دستگاه NMR مدل mq20 صورت گرفت. عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن به‌دست آمد. در پایان و پس از اطمینان از مفروضات آزمایشی، داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۲) تجزیه واریانس مرکب شدند و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر رژیم‌های آبیاری، سولفات پتاسیم و سولفات آمونیوم بر صفات مختلف کاملینا در دوره رشد ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷.

Table 3. Variance analysis of the effect of irrigation regimes and potassium and ammonium sulfates on different traits of camelina in 2017-18 and 2018-19 growing periods.

SOV	DF	Relative water content	Canopy temperature	Stomata resistance	Proline content	Carbohydrate content	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Seed yield	Oil yield
Y	1	37.4	38.1	3.94	18.9**	34.18**	0.022	0.002	0.041	375194	64470
R×Y		23.2	9.51	3.66	0.059	0.726	0.028	0.0009	0.032	147195	16413
IR	2	18092**	6898**	561**	2457**	7336**	4.25**	1.13**	1.00**	81884495**	10617007**
Y×IR	2	0.341	0.947	0.235	0.521	0.990*	0.0002	0.0004	0.0001	48790	10645
Ea		4.21	0.934	0.268	0.336	0.134	0.016	0.002	0.012	91446	10373
PS	3	1100**	731**	679**	57.3**	193**	0.012	0.035**	0.006	430836	77593**
AS	3	12.7**	10.7**	3.58**	2.85**	14.16**	0.199**	0.002	0.157**	5973762**	708184**
Y×PS	3	0.021	0.105	0.029	0.012	0.025	0.0000007	0.00001	0.00002	249	74
Y×AS	3	0.0006	0.002	0.002	0.0004	0.001	0.00001	0.000002	0.00005	3570	713
IR×PS	6	41.8**	37.5**	15.1**	2.28**	5.81**	0.0008	0.0004	0.002	59771	101000
IR×AS	6	0.485	0.446	0.010	0.145	0.740**	0.014	0.00004	0.013	697371**	100750**
PS×AS	9	0.468	0.216	0.048	0.051	0.055	0.0004	0.00003	0.0005	16339	2735
Y×IR×PS	6	0.0009	0.007	0.002	0.0005	0.0007	0.0000005	0.0000002	0.00002	34	12
Y×IR×AS	6	0.0001	0.0008	0.002	0.00002	0.0001	0.00001	0.0000005	0.00003	416	102
Y×PS×AS	9	0.00004	0.0006	0.001	0.00003	0.00002	0.0000001	0.000001	0.00002	10	3
IR×PS×AS	18	0.287**	0.060**	0.010**	0.051**	0.920**	0.0002**	0.00002**	0.0003**	8647**	1092**
Y×IR×PS×AS	18	0.0003	0.001	0.001	0.00003	0.00002	0.0000002	0.0000006	0.00002	5	1
Eb		0.699	1.06	0.594	0.200	0.238	0.033	0.001	0.036	164321	17267
CV (%)		1.02	3.31	4.44	2.54	1.65	7.25	16.03	11.97	27.43	27.76

ns * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. DF: درجه آزادی، Y: سال، R: تکرار، IR: رژیم‌های آبیاری، PS: سولفات پتاسیم، AS: سولفات آمونیوم.

ns, * and **: not significant and Significant at the 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively. DF: Degree of freedom, Y: Year, R: Replication, IR: Irrigation regimes, PS: Potassium sulfate, AS: Ammonium sulfate.

(2011) ابراز داشتند که یکی از مکانیسم‌های اصلی مقاومت گیاهان به خشکی، کاهش میزان تعرق از طریق بستن روزنه‌ها می‌باشد که نتیجه این امر، افزایش دمای کنوپی است.

در بین تیمارهای کودی (میانگین تیمارهای آبیاری)، کمترین مقدار دمای کنوپی، مقاومت روزنه‌ای و محتوی پرولین و کربوهیدرات با میانگین‌های ۲۷/۵ درجه سلسیوس، ۱۳/۸ ثانیه بر سانتی‌متر، ۱۶/۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ و ۲۷/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و بیشترین مقدار محتوای نسبی آب و کلروفیل کل با میانگین‌های ۸۶ درصد و ۱/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم + ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم مشاهده شد. در تیمار عدم مصرف سولفات آمونیوم و پتاسیم، دمای کنوپی، مقاومت روزنه‌ای و محتوای پرولین و کربوهیدرات به ترتیب ۲۲، ۳۵، ۱۳ و ۱۵ درصد بیشتر از تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم + ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود، درحالی‌که مقدار محتوای نسبی آب و کلروفیل کل در تیمار عدم مصرف

همچنین افزایش پرولین در زمان بروز تنش می‌تواند نشان‌دهنده نقش آن در تنظیم فشار اسمزی باشد (Ashraf & Foolad, 2007). از جمله عملکردهای دیگر پرولین می‌توان به حفظ ثبات پروتئین‌ها، حذف رادیکال‌های هیدروکسیل، تنظیم اسیدیته سلولی و نسبت NADP/NADPH اشاره کرد (Razavizadeh et al., 2009). تجمع قندهای محلول درون سلول‌ها در تنظیم اسمزی نقش مهمی دارد و موجب کاهش پتانسیل آب سلول می‌شود و در نتیجه آب بیشتری برای حفظ فشار تورژسانس تحت تنش کم‌آبی در درون سلول باقی می‌ماند (Satto et al., 2004). در تحقیقی، Eyni-Nargeseh et al. (2019) کاهش مقدار کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ و افزایش محتوای پرولین برگ کلزا را در شرایط قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی نسبت به آبیاری کامل گزارش کردند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، مقاومت روزنه‌ای و دمای کنوپی کاملینا افزایش یافت؛ دمای کنوپی نیز رابطه مستقیمی با تعرق گیاه دارد و افزایش تعرق باعث خنک شدن برگ‌ها می‌شود. Karimzadeh & Mohammadi

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش سولفات پتاسیم و آمونیوم و آبیاری بر برخی صفات فیزیولوژیک کاملینا در دوره‌های رشد ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در کرج، ایران.

Table 4. Mean comparison of the interaction effects of potassium and ammonium sulfates and irrigation on some physiological traits of camelina in 2017-18 and 2018-19 growing periods in Karaj, Iran.

Irrigation regime	Potassium sulfate (kg ha ⁻¹)	Ammonium sulfate (kg ha ⁻¹)	Relative water content (%)	Canopy temperature (°C)	Stomata resistance (s cm ⁻¹)	Proline content (µM/g FW)
IR1	0	0	91.8a	26.2a	13.0a	13.55a
		25	92.0a	26.0a	12.7a	13.52a
		50	92.3a	25.9a	12.7a	13.38a
		75	92.5a	25.8a	12.6a	13.35a
	25	0	93.7a	23.8a	11.2a	13.14a
		25	94.3a	23.5ab	10.9b	13.03a
		50	94.5a	23.0ab	10.8b	12.92a
		75	94.7a	22.7b	10.6b	12.85a
	50	0	96.2a	22.5a	8.9a	12.78a
		25	96.6a	22.3a	8.7a	12.73ab
		50	96.7a	22.1a	8.5a	12.54ab
		75	97.0a	21.8a	8.4a	12.35b
75	0	97.5a	21.6a	7.9a	12.20a	
	25	97.6a	21.5a	7.7a	12.14ab	
	50	97.6a	21.5a	7.6a	11.99ab	
	75	97.9a	21.3a	7.5a	11.88b	
IR2	0	0	75.7a	34.7a	20.6a	18.77a
		25	75.8a	34.5a	20.4a	18.75a
		50	76.1a	34.1a	20.3a	18.57a
		75	76.5a	33.9a	20.2a	18.55a
	25	0	80.1b	31.5a	18.4a	17.70a
		25	81.0ab	30.9ab	18.2a	17.51a
		50	81.6a	30.5b	18.0a	17.29ab
		75	81.7a	30.4b	17.9a	17.03b
	50	0	84.2c	28.7a	15.4a	16.90a
		25	84.8bc	28.4a	15.2ab	16.78ab
		50	85.2ab	28.1a	15.0ab	16.53ab
		75	85.6a	27.8a	14.8b	16.42b
75	0	86.7b	26.8a	13.7a	16.05a	
	25	87.1b	26.6a	13.5a	15.88a	
	50	88.3a	26.5a	13.3a	15.80a	
	75	87.0b	26.4a	13.1a	15.78a	

جدول ۴- ادامه.

Table 4- Continued.

Irrigation regime	Potassium sulfate (kg ha ⁻¹)	Ammonium sulfate (kg ha ⁻¹)	Relative water content (%)	Canopy temperature (°C)	Stomata resistance (s cm ⁻¹)	Proline content (µM/g FW)
IR3	0	0	61.9b	45.7a	30.0a	24.50a
		25	62.3ab	45.3ab	29.8a	23.89a
		50	62.5a	44.7b	29.7a	23.73a
		75	62.6a	44.6b	29.6a	23.60a
	25	0	65.8b	42.6a	27.3a	23.54a
		25	66.4ab	42.2ab	27.0ab	23.40ab
		50	66.8b	41.7bc	26.8ab	23.14ab
		75	67.1a	41.3c	26.6b	22.81b
	50	0	69.0b	38.5a	23.6a	22.72a
		25	69.5ab	38.1ab	23.3a	22.56a
		50	69.8ab	37.6b	23.0a	22.36a
		75	70.1a	37.3b	22.9a	22.19a
75	0	71.8b	36.0a	21.3a	22.13a	
	25	72.5ab	35.6ab	21.2a	21.82a	
	50	72.8ab	35.1b	21.1a	21.70a	
	75	73.0a	34.9b	20.9a	21.69a	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. IR2: قطع آبیاری از گلدهی، IR3: قطع آبیاری از خورجین‌دهی.

Means with the same letters in the same columns are not significantly different at 5% of probability level. IR1: Full irrigation, IR2: Restricted irrigation from flowering IR3: Restricted irrigation from silique formation.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و سولفات پتاسیم و سولفات آمونیوم بر برخی صفات فیزیولوژیک کاملینا در دوره‌های رشد ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در کرج، ایران.

Table 5. Mean comparison of the interaction effects of irrigation and potassium and ammonium sulfate on some physiological traits in 2017-18 and 2018-19 growing periods in Karaj, Iran.

Irrigation regime	Potassium sulfate (kg ha ⁻¹)	Ammonium sulfate (kg ha ⁻¹)	Carbohydrate content (mg/g FW)	Chlorophyll a (mg/g FW)	Chlorophyll b (mg/g FW)	Total Chlorophyll (mg/g FW)	
IR1	0	0	23.4a	1.280b	0.373a	1.655b	
		25	23.0ab	1.324ab	0.372a	1.697ab	
		50	22.7bc	1.364ab	0.359a	1.724ab	
		75	22.3c	1.460a	0.354a	1.815a	
	25	0	22.0a	20.7a	1.285a	0.349a	1.634a
		25	21.7a	21.7a	1.344a	0.349a	1.693a
		50	21.2b	21.2b	1.372a	0.343a	1.716a
		75	21.0b	21.0b	1.464a	0.340a	1.805a
	50	0	20.7a	20.7a	1.311a	0.338a	1.651a
		25	20.3b	20.3b	1.347a	0.330a	1.678a
		50	19.9c	19.9c	1.380a	0.328a	1.708a
		75	19.8c	19.8c	1.471a	0.319a	1.791a
75	0	19.7a	19.7a	1.316a	0.315a	1.630a	
	25	19.5ab	19.5ab	1.352a	0.310ab	1.662a	
	50	19.3ab	19.3ab	1.386a	0.307ab	1.693a	
	75	19.2b	19.2b	1.477a	0.229b	1.776a	
IR2	0	0	31.1a	1.013b	0.485a	1.499b	
		25	30.7ab	1.093ab	0.483a	1.577ab	
		50	30.4bc	1.113ab	0.478a	1.591ab	
		75	30.2c	1.166a	0.472a	1.639a	
	25	0	29.8a	29.8a	1.046d	0.469a	1.517c
		25	29.4ab	29.4ab	1.097c	0.468a	1.565bc
		50	29.1b	29.1b	1.127b	0.464a	1.591ab
		75	28.8b	28.8b	1.176a	0.461a	1.639a
	50	0	28.6a	28.6a	1.066b	0.460a	1.526b
		25	28.4a	28.4a	1.102b	0.458a	1.561b
		50	28.3a	28.3a	1.146ab	0.452a	1.584ab
		75	28.2a	28.2a	1.211a	0.449a	1.661a
75	0	28.0a	28.0a	1.081b	0.445a	1.527a	
	25	27.7a	27.7a	1.108ab	0.441a	1.549a	
	50	27.4a	27.4a	1.156ab	0.435a	1.592a	
	75	27.3a	27.3a	1.215a	0.432a	1.647a	

جدول ۵- ادامه.

Table 5- Continued.

Irrigation regime	Potassium sulfate (kg ha ⁻¹)	Ammonium sulfate (kg ha ⁻¹)	Carbohydrate content (mg/g FW)	Chlorophyll a (mg/g FW)	Chlorophyll b (mg/g FW)	Total Chlorophyll (mg/g FW)	
IR3	0	0	41.4a	0.896b	0.589a	1.485b	
		25	41.2a	0.933ab	0.583a	1.516ab	
		50	40.8ab	0.957a	0.578a	1.535a	
		75	40.2b	0.975a	0.573a	1.550a	
	25	0	40.04a	40.04a	0.920b	0.572a	1.494a
		25	39.68ab	39.68ab	0.944ab	0.569a	1.513a
		50	39.13bc	39.13bc	0.963ab	0.562a	1.526a
		75	38.62c	38.62c	0.979a	0.560a	1.539a
	50	0	38.47a	38.47a	0.926a	0.552a	1.477a
		25	38.16a	38.16a	0.950a	0.547a	1.498a
		50	37.69ab	37.69ab	0.966a	0.538a	1.505a
		75	37.04b	37.04b	0.986a	0.537a	1.524a
75	0	36.64a	36.64a	0.929c	0.531a	1.461b	
	25	36.20a	36.20a	0.953bc	0.524a	1.478ab	
	50	35.77ab	35.77ab	0.969ab	0.523a	1.492ab	
	75	34.92b	34.92b	0.989a	0.522a	1.511a	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. IR2: قطع آبیاری از گلدهی، IR3: قطع آبیاری از خورجین‌دهی.

Means with the same letters in the same columns are not significantly different at 5% of probability level. IR1: Full irrigation, IR2: Restricted irrigation from flowering IR3: Restricted irrigation from silique formation.

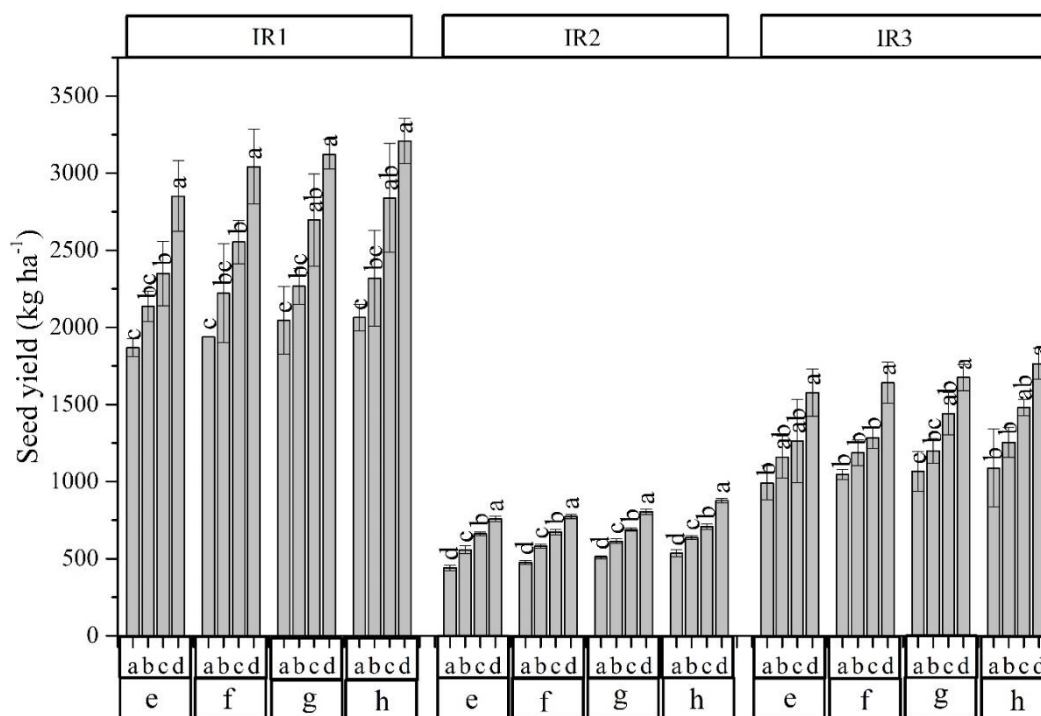
مشاهده شد و در تیمارهای قطع آبیاری از مرحله گلدهی به ترتیب ۷۴ و ۷۸/۷ درصد و از مرحله خورجین‌دهی به ترتیب ۴۶/۰۶ و ۵۱/۲ درصد کاهش نشان دادند (شکل ۲، ۱۰).

در شرایط قطع آبیاری، کاهش محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل از یک سو و افزایش مقاومت روزنه‌ای و دمای کنوپی از سوی دیگر، اثر منفی بر شرایط رشد بوته‌های کاملینا داشت و عملکرد نهایی آن کاهش یافت. در واقع با کاهش محتوای نسبی آب برگ، روزنه‌های سطح برگ‌ها بسته می‌شود و تعرق کاهش می‌یابد (Shahrabi Farahani et al., 2014). میزان کلروفیل نیز به دلیل جلوگیری از خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش کاهش یافت. کاهش تعرق و میزان کلروفیل نیز به‌طور مستقیم از میزان فتوسنتز می‌کاهد و بر عملکرد نهایی تأثیر منفی می‌گذارد (Abdoli et al., 2013). نتایج تجزیه همبستگی نیز نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با محتوای نسبی آب برگ ($+0/83$) و کلروفیل کل ($+0/47$) و رابطه منفی و معنی‌داری بین عملکرد دانه با دمای کنوپی ($-0/79$) و مقاومت روزنه‌ای ($-0/79$) وجود داشت (داده‌ها ارائه نشده است). عملکرد روغن نیز مستقیماً با عملکرد دانه و محتوای روغن بذر همبستگی داشت. نتایج همبستگی نشان داد که عملکرد روغن با عملکرد دانه و محتوای روغن همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (به ترتیب $0/99$ و $0/87$ درصد، داده‌ها ارائه نشده است)؛ به همین دلیل در شرایط قطع آبیاری، با کاهش عملکرد دانه و محتوای روغن، عملکرد روغن کاهش یافت. محتوای روغن نیز در شرایط تنش خشکی عمدتاً به دلیل اکسید شدن برخی اسیدهای چرب اشباع نشده کاهش می‌یابد (Singh & Sinha, 2005). Pavlista et al. (2016) با بررسی رشد و عملکرد کاملینا تحت شرایط تیمارهای مختلف کم آبیاری در غرب نبراسکا گزارش کردند که با کاهش دسترسی گیاه به آب آبیاری، محتوای روغن به‌طوری معنی‌داری کاهش یافت.

سولفات آمونیوم و پتاسیم، ۱۲ و شش درصد کمتر از تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم + ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود (جدول ۴، ۵). کاربرد سولفات آمونیوم و پتاسیم، پتانسیل آب در کاملینا را افزایش داد و بیشتر شدن محتوای نسبی آب برگ را در پی داشت. با افزایش محتوای نسبی آب برگ، مقاومت روزنه‌ای کاهش یافت و موجب تعرق بیشتر بوته‌ها شد که تعرق بیشتر نیز موجب خنک شدن برگ‌ها و در نتیجه کنوپی گیاهی می‌شود. همچنین با افزایش پتانسیل آب در گیاه، محتوای پروتئین و کربوهیدرات‌ها که در شرایط تنش تجمع می‌یابند، کاهش یافت. پتاسیم به دلیل داشتن نقش مکمل با سایر عناصر غذایی پرمصرف و همچنین اثر مثبت بر تنظیم اسمزی ریشه و اندام‌های هوایی گیاه، موجب جذب بیشتر آب و عناصر غذایی در شرایط نامساعد می‌شود و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (Faridi Myvan et al., 2018). در صورتی که مقادیر کافی یون پتاسیم در اختیار سلول‌های نگهبان روزنه قرار گیرد، در عملکرد این سلول‌ها موثر است و باز و بسته شدن این سلول‌ها به‌طور مناسب صورت می‌پذیرد و باعث افزایش محتوای نسبی آب می‌شود (Karimi, 2017). در تحقیقی Salehi et al. (2019) گزارش کردند که مصرف سولفات پتاسیم، باعث افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌های گل شب بو و در نهایت بهبود فتوسنتز آن شد. در تحقیقی Sohrabi et al. (2019) دریافتند که مصرف گوگرد تحت تنش خشکی، باعث افزایش جذب عناصر غذایی و آب گیاه شد و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ و میزان فتوسنتز را در بوته‌های ذرت کاهش داد و از آسیب‌های وارده به غشاهای سلولی تحت شرایط تنش جلوگیری کرد و در مقایسه با تیمار عدم مصرف گوگرد، باعث دستیابی به عملکرد دانه بیشتر شد.

عملکرد دانه و روغن کاملینا

بیشترین عملکرد دانه و روغن کاملینا (میانگین تیمارهای سولفات آمونیوم و پتاسیم) در تیمار آبیاری کامل با میانگین‌های ۲۴۷۰ و ۸۳۳ کیلوگرم در هکتار

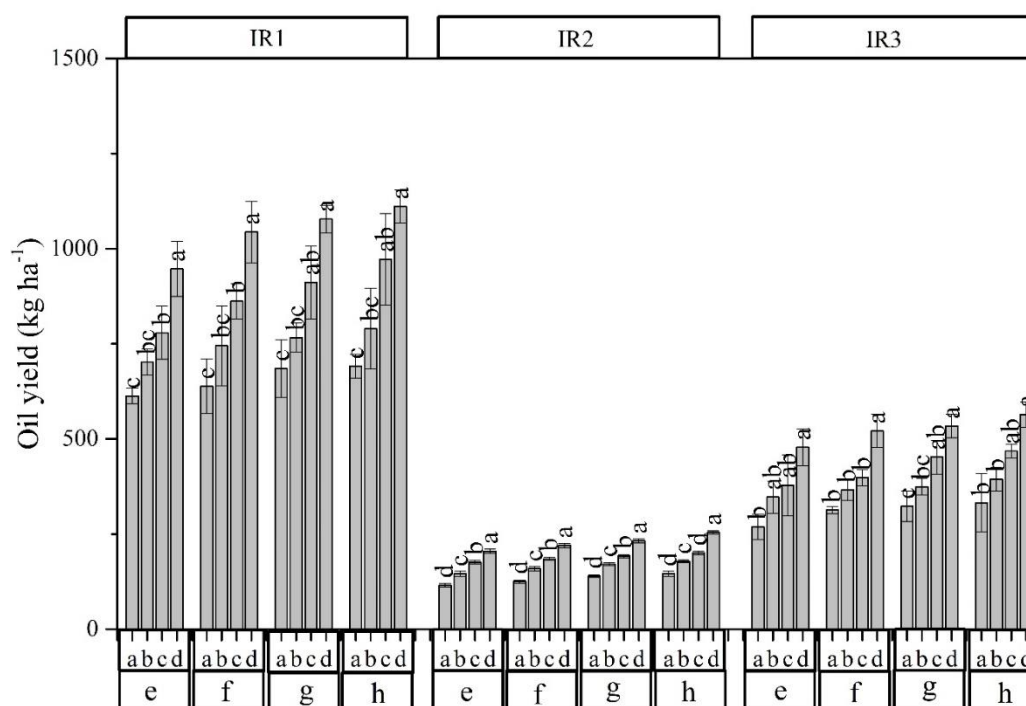


شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش سولفات آمونیوم (a: ۰ کیلوگرم در هکتار، b: ۲۵ کیلوگرم در هکتار، c: ۵۰ کیلوگرم در هکتار، d: ۷۵ کیلوگرم در هکتار)، سولفات پتاسیم (e: ۰ کیلوگرم در هکتار، f: ۲۵ کیلوگرم در هکتار، g: ۵۰ کیلوگرم در هکتار، h: ۷۵ کیلوگرم در هکتار)، و آبیاری (IR1: آبیاری معمولی، IR2: قطع آبیاری از گلدهی، IR3: قطع آبیاری از خورجین‌دهی) بر عملکرد دانه کاملینا در دوره‌های رشد ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در کرج، ایران. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار، از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 1. Mean comparison of the interaction effects of ammonium sulfate (a: 0 kg ha⁻¹, b: 25 kg ha⁻¹, c: 50 kg ha⁻¹, d: 75 kg ha⁻¹), potassium sulfate (e: 0 kg ha⁻¹, f: 25 kg ha⁻¹, g: 50 kg ha⁻¹, h: 75 kg ha⁻¹), and irrigation (IR1: Full irrigation, IR2: Restricted irrigation from flowering, IR3: Restricted irrigation from silique formation) on seed yield of camelina in 2017-18 and 2018-19 growing periods in Karaj, Iran. Means followed with the same letters in the same treatment are not significantly different at 5% of probability level.

گوگرد تأثیر منفی بر کارایی مصرف نیتروژن گیاه دارد (Schnug *et al.*, 1993) و منجر به افزایش تلفات نیتروژن می‌شود. اگر گوگرد به اندازه کافی در دسترس گیاه نباشد، افزایش میزان نیتروژن باعث افزایش این کمبود می‌شود (Janzen & Bettany, 1984) و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. در تحقیقی Farahani *et al.* (2019) با بررسی اثر سولفات پتاسیم بر کلزا تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند که تحت شرایط کاربرد سولفات پتاسیم، عملکرد دانه کلزا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در تحقیقی دیگر، Imran Khan (2017) نتیجه گرفت که عملکرد دانه کلزا به کاربرد گوگرد پاسخ مثبت نشان داد.

کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم + ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در رژیم‌های آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل گلدهی و خورجین‌دهی، بیشترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۳۲۰۹، ۸۷۷ و ۱۷۵۶ کیلوگرم در هکتار) و روغن (به‌ترتیب ۱۱۱، ۵۶۴ و ۲۵۴ کیلوگرم در هکتار) را داشت (شکل ۱، ۲). هنگامی که مقدار آب برای رشد گیاه کاهش می‌یابد، حفظ و تعادل مواد مغذی بسیار حیاتی است، زیرا وجود این عناصر در کنترل تلفات آب از گیاه مهم است (Sardanz & Uelas, 2008). کاربرد پتاسیم، مقاومت گیاه را در شرایط محیطی نامساعد افزایش می‌دهد (Cakmak, 2005)؛ از سوی دیگر، کمبود



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش سولفات آمونیوم (a: ۰ کیلوگرم در هکتار، b: ۲۵ کیلوگرم در هکتار، c: ۵۰ کیلوگرم در هکتار، d: ۷۵ کیلوگرم در هکتار)، سولفات پتاسیم (e: ۰ کیلوگرم در هکتار، f: ۲۵ کیلوگرم در هکتار، g: ۵۰ کیلوگرم در هکتار، h: ۷۵ کیلوگرم در هکتار)، و آبیاری (IR1: آبیاری معمولی، IR2: قطع آبیاری از گلدهی، IR3: قطع آبیاری از خورجین‌دهی) بر عملکرد روغن کاملینا در دوره‌های رشد ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در کرج، ایران. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار، از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 2. Mean comparison of the interaction effects of ammonium sulfate (a: 0 kg ha⁻¹, b: 25 kg ha⁻¹, c: 50 kg ha⁻¹, d: 75 kg ha⁻¹) potassium sulfate (e: 0 kg ha⁻¹, f: 25 kg ha⁻¹, g: 25 kg ha⁻¹, h: 75 kg ha⁻¹), and irrigation (IR1: Full irrigation, IR2: Restricted irrigation from flowering, IR3: Restricted irrigation from silique formation) on oil yield of camelina in 2017-18 and 2018-19 growing periods in Karaj, Iran. Means with the same letters in the same treatment are not significantly different at 5% of probability level.

(2019) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل کل برگ کاملینا در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی، به ترتیب ۲۹ و ۱۲ درصد و مرحله خورجین‌دهی، به ترتیب ۱۳ و هفت درصد در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت، درحالی‌که دمای کنوپی، مقاومت روزنه‌ای و محتوای پروتئین و کربوهیدرات برگ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به ترتیب ۷۲/۶، ۱۵۳، ۷۹ و ۸۳/۵ درصد و مرحله خورجین‌دهی به ترتیب ۲۹، ۶۸، ۳۴ و ۳۸ درصد افزایش یافت. عملکرد دانه و روغن در شرایط قطع آبیاری از مرحله

پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر معدنی پرمصرف، نقش مهمی در فرآیندهای آنزیمی و کنترل متابولیسم مواد فتوسنتزی و تبدیل آن‌ها به روغن دارد (Amtman, 2005). از طرفی، کمبود گوگرد یکی از دلایل مهم کاهش غلظت و عملکرد روغن محسوب می‌شود (Jackson, 2000). کاربرد گوگرد، محتوای روغن گیاهان دانه روغنی را افزایش می‌دهد، زیرا این عنصر یکی از اجزای مهم اسیدهای چرب به شمار می‌رود و برای سنتز متابولیت‌های مختلف مانند کوآنزیم A، ویتامین B، بیوتین، لیپوئیک اسید و سولفولیپیدها اهمیت زیادی دارد (Malik et al., 2004). افزایش در محتوا و عملکرد روغن در شرایط کاربرد پتاسیم و گوگرد توسط Grant et al. (2003) و Farahani et al.

گلدھی و خورجین‌دهی، بیشترین عملکرد دانه با میانگین‌های ۳۲۰۹، ۱۷۶۵ و ۸۷۷ کیلوگرم در هکتار و عملکرد روغن با میانگین‌های ۱۱۱، ۵۶۴ و ۲۵۴ کیلوگرم در هکتار را به خود اختصاص داد.

گلدھی ۷۴ و ۷۸/۷ درصد و از مرحله خورجین‌دهی ۴۷ و ۵۱ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. در نهایت، تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم + ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل

REFERENCES

1. Abdoli, M., Saeedi, M., Jalali Honarmand, S., Mansourifar, S. & Ghobadi, M. E. (2013). Evaluation of some physiological and biochemical traits and their relationship with yield and its components in bread wheat cultivars under post-pollination conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1), 47-63. (In Persian)
2. Abuelvoud, W., Hirschmann, F. & Papenbrock, J. (2016). Sulfur metabolism and drought stress tolerance in plants. In: Hossain M., Wani S., Bhattacharjee S., Burritt D., Tran LS. (eds), *Drought Stress Tolerance in Plants*. (pp. 227-249). Vol 1. Springer, Cham.
3. Amtman, A., Hammond, J. P., Armengaud, P. & White, P.J. (2005). Nutrient sensing and signaling in plants: potassium and phosphorus. *Advances in Botanical Research*, 43, 209-257.
4. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
5. Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2007). Improving plant abiotic stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216.
6. Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, L. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
7. Cakmak, I. (2005). K alleviates detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences*, 168 (4), 521-30.
8. Chaturvedi, S., Bhattacharya, A., Khare, S. K. & Kaushik, G. (2018). *Camelina sativa*: An Emerging Biofuel Crop. In: Hussain C. (eds), *Handbook of Environmental Materials Management*. (pp. 1-38) Springer, Cham.
9. Engels, C., Kirkby, E. & White, P. (2012). Chapter 5 - mineral nutrition, yield and Source-Sink relationships. In: Marschner, P. (Ed), *Marschner'S Mineral Nutrition of Higher Plants*. (3rd ed). (pp. 85-133). Academic Press, San Diego.
10. Eyni-Nargeseh, H., Aghaalikhani, M., Shirani Rad, A. H., Mokhtassi-Bidgoli, A. & Modares Sanavy, S. A. M. (2019). Physiological and agronomic response of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to late-season drought stress under Karaj climatic condition. *Sustainable Agriculture and Production Science*, 29(2), 79-95. (In Persian)
11. Eyni-Nargeseh, H., Aghaalikhani, M., Shirani Rad, A. H., Mokhtassi-Bidgoli, A. & Modares Sanavy, S. A. M. (2020). Late season deficit irrigation for water-saving: Selection of rapeseed (*Brassica napus*) genotypes based on quantitative and qualitative features. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(1), 126-137.
12. Farahani, S., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A. H. & Noormohammadi, G. (2019). Effect of potassium sulfate on quantitative and qualitative characteristics of canola cultivars upon late-season drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 42(13), 1543-1555.
13. Faridi Myvan, F., Jami Al-Ahmadi, M., Eslami, S. V. & Shojaei Noferest, K. (2018). Studying the effect of planting pattern and potassium fertilizer levels on some physiological characteristics and yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) under different irrigation levels. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(3), 547-560.
14. Ferrat, I. L. & Loval, C. J. (1999). Relation between relative water content, nitrogen pools, and growth of *p. vulgaris* and *P. acutifolius* during water deficit. *Crop Science*, 39, 467-474.
15. Grant, C., Clayton, G. & Johnston, A. (2003). Sulphur fertilizer and tillage effects on canola seed quality in the Black soil zone of western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 83, 745-758.
16. Heidari, M. & Karami, V. (2013). Effects of water stress and different mycorrhiza species on grain yield, yield components, chlorophyll content and biochemical components of sunflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1), 17-26. (In Persian)
17. Imran Khan, A. A. (2017). Canola yield and quality enhanced with sulphur fertilization. *Russian Agricultural Sciences*, 43 (2), 113-119.

18. Islam, M. S., Akhter, M. M., Sabagh, A., Liu, L. Y., Nguyen, N. T., Ueda, A. & Saneoka, H. (2011). Comparative studies on growth and physiological responses to saline and alkaline stresses of Foxtail millet (*Setaria italic* L.) and Proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5(10), 1269-1277.
19. Jackson, G. D. (2000). Effects of nitrogen and sulfur on canola yield and nutrient uptake. *Agronomy Journal*, 92, 644-649.
20. Jáklí, B., Hauer-Jáklí, M., Böttcher, F., Meyer zur Müdehorst, J., Senbayram, M. & Dittert, K. (2018). Leaf, canopy and agronomic water-use efficiency of field-grown sugar beet in response to potassium fertilization. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204, 99-110.
- Jankowski, K. J., Sokólskia, M. & Kordan, B. (2019). Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. *Industrial Crops and Products*, 141, 111776.
21. Janzen, H. H. & Bettany, J. R. (1984). Sulfur nutrition of rapeseed: I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. *Soil Science Society of America Journal*, 48, 100-107.
22. Joshi, S. K., Ahamada, S., Charan Mehr, L., Agarwal, A. & Nasim, M. (2017). Growth and yield response of *camelina sativa* to inorganic fertilizers and farmyard manure in hot semi-arid climate of India. *Advances in Plants and Agriculture Research*, 7(3), 305-309.
23. Karimi, R. (2017). Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticultura*, 215, 184-194.
24. Karimizadeh, R. & Mohammadi, M. 2011. Association of canopy temperature depression with yield of durum wheat genotypes under supplementary irrigated and rainfed conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 5(2), 138-146.
25. Kranner, I., Beckett, R. P., Wornik, S., Zorn, M. & Pfeifhofer, H. W. (2002). Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status. *The Plant Journal*, 31, 13-24.
26. Lu, C. & Kang, J. (2008). Generation of transgenic plants of a potential oil seed crop *Camelina sativa* by Agrobacterium-mediated transformation. *Plant Cell Reports*, 27, 273-278.
27. Malik, M. A., Khan, H. Z. & Wahid, M. A. (2004). Growth, seed yield and oil content response of canola (*Brassica napus* L.) to varying levels of sulphur. *International Journal of Agricultural and Biology*, 6(6), 1153-1155.
28. Moser, B. R. (2010). Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity or false hope? *Lipid Technology*, 22: 270-273.
29. Pavlista, A. D., Hergert, G. W., Margheim, J. M. & Isbell, T. A. (2016). Growth of spring camelina (*Camelina sativa*) under deficit irrigation in western Nebraska. *Industrial Crops and Products*, 83, 118-123.
30. Razavizadeh, R., Ehsanpour, A. A., Ahsan, N. & Komatsu, S. (2009). Proteome analysis of tobacco leaves under salt stress. *Peptides*, 30, 1651-1659.
31. Salehi, L., Chehrazhi, M., Sedighi Dehkordi, F., & Moezzi, A. A. (2019). The effect of humi potas and potassium sulfate on some biochemical characteristics and durability of wallflower (*Matthiola incana* var. annual). *Plant Production Technology*, 19(1), 131-142. (In Persian)
32. Sardanz, J. & Uelas, J. P. (2008). Drought changes nutrient sources, content and stoichiometry in the bryophyte *Hypnum cupressiforme* Hedw. Growing in a Mediterranean forest. *Journal of Biology*, 30, 59-65.
33. Satto, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Uragami, A. & Tokuda, S. (2004). Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low temperature storage in darkness. *Horticultural Science*, 101, 349-357.
34. Schnug, E., Haneklaus, S. & Murphy, D. (1993). Impact of sulphur fertilization on fertilizer nitrogen efficiency. *Sulphur in Agriculture*, 17, 8-12.
35. Shahrabi Farahani, B., Farahmandfar, E., Hassanlo, T., Shirani Rad, A. H. & Tabatabaee, S. A. (2014). Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region. *Electronic Journal of Crop Production*, 6(4), 77-97. (In Persian)
36. Sheligl, H. Q. (1986). The utilization of organic acids by chlorella light. *Planta Journal*, 47-51.
37. Singh, S. & Sinha, S. (2005). Accumulation of metals and its effects in *Brassica juncea* (L.) Czern. (cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62, 118-127.
38. Sohrabi, U., Ahmadi, A., Heidari, G. & Siosemarde, A. (2019). Effect of sulfur and zinc fertilizers on physiological characteristics and grain yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12 (3), 763-779. (In Persian)

39. Yousefi, F., Hasibi, P., Roshanfekr, H. & Meskarbashi, M. (2015). Study of drought and salinity stress effect on some physiological characters of two canola (*Brassica napus* L.) varieties in Ahvaz. *Journal of Plant Production*, 38(4), 25-34. (In Persian)
40. Yuncai, H. & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of the effects of drought and salinity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 541-549.