

تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا تحت تنش خشکی آخر فصل

مژده سادات خیاط مقدم^{۱*}، احمد غلامی^۲، امیرحسین شیرانی‌راد^۳، مهدی برادران فیروزآبادی^۲ و حمید عباس دخت^۲

^۱ ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان

^۲ ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت

^۳ ایران، کرج، آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر



تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵

چکیده

تنش خشکی یکی از مهمترین عواملی است که باعث تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه می‌شود که در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود. افزایش رشد، عملکرد، کیفیت محصول و کاهش عوارض جانبی ناشی از تنش خشکی از جمله نقش‌های مهمی است که سیلیکات‌پتاسیم در گیاه دارد. به‌منظور بررسی اثرات خشکی آخر فصل و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر روی عملکرد و اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های بهاره کلزا و انتخاب ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بیشتری در این شرایط دارند، آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷) در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا شد. در این آزمایش عامل آبیاری در دو سطح آبیاری معمول (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد و عامل محلول‌پاشی در دو سطح (محلول‌پاشی با چهار گرم در لیتر سیلیکات‌پتاسیم و عدم محلول‌پاشی) به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های بهاره کلزا شامل؛ DALGAN، RGS003، RGS×OKAPI، RGS×SLM و OG×AL در کرت‌های فرعی قرارگرفتند. نتایج نشان داد اثر متقابل آبیاری×سیلیکات پتاسیم×ژنوتیپ بر صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه، میزان پرولین برگ، گلوکوزینولات و دمای کانوبی معنی‌دار شد. در آبیاری معمول و کاربرد سیلیکات پتاسیم ژنوتیپ OG×AL و در شرایط خشکی آخر فصل و کاربرد سیلیکات پتاسیم ژنوتیپ‌های RGS×SLM و DALGAN قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: پرولین، سیلیکات پتاسیم، کانوبی، کلزا، گلوکوزینولات.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۰۵۸۷۵۹، پست الکترونیکی: moghadam.mojde@shahroodut.ac.ir

مقدمه

مهمترین فاکتورهایی است که می‌تواند توسعه و کشت موفقیت‌آمیز کلزا را محدود کند (۳۹). درصد بالای روغن دانه عامل مهمی در سودآوری تولید کلزا بوده (۳)، که میزان روغن دانه تحت تأثیر تنش خشکی (۴۶، ۱۰) و درجه حرارت (۱۰) در طول دوره پرشدن دانه قرار می‌گیرد. سیلیکون دومین عنصر فراوان در پوسته زمین و مفید برای تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (۱۵).

خشکی مهمترین عامل محدود کننده در رشد گیاهان و تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (۴۵). گیاهان برای مقابله با تنش خشکی استراتژی‌های مختلف مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را تکامل داده‌اند (۳۱). در بین دانه‌های روغنی، کلزا به دلیل کیفیت بالای روغن یکی از مهمترین گونه‌های دانه روغنی در جهان می‌باشد، اما تنش خشکی یکی از

محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در تنش خشکی آخر فصل، آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷) در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با موقعیت طول جغرافیایی 56° و 50° شرقی و عرض جغرافیایی 47° و 35° شمالی و ارتفاع ۱۱۶۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. براساس میانگین داده‌های سی ساله هواشناسی کرج، متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۲۴۳ میلی‌متر بوده و بارندگی‌ها عمدتاً در اواخر پاییز و اوایل بهار روی می‌دهد. آمار هواشناسی محل آزمایش در طی دو سال زراعی در شکل یک ارائه شده است. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی بود و مشخصات خاک محل آزمایش در جدول دو ارائه شده است.

در این آزمایش عامل آبیاری در دو سطح آبیاری معمول (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد و عامل محلول‌پاشی در دو سطح (محلول‌پاشی با چهار گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و عدم محلول‌پاشی) به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های بهاره کلزا شامل؛ DALGAN، RGS00، RGS×OKAPI، RGS×SLM و OG×AL در کرت‌های فرعی قرار گرفتند (رقم تجاری DALGAN به عنوان رقم شاهد در نظر گرفته شد) (جدول ۱).

کاشت در تاریخ ۱۵ مهر ماه صورت گرفت. دور آبیاری براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در نظر گرفته شد و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری ۸۰ درصد آب تبخیر شده بود. میزان آب ورودی به مزرعه با کنتور اندازه‌گیری شد. تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای شاهد و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد بترتیب هشت و شش مرتبه بود. همچنین میزان آب مصرفی در تیمارهای مذکور بترتیب برابر با ۵۱۲۰ و ۳۸۴۰ متر مکعب در هکتار بود. زمان محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بعد از خروج از مرحله رزت طی دو مرحله با فاصله ۱۰ روز

سیلیکون در بین مواد مغذی معدنی به عنوان عنصر غیر ضروری گیاهان زراعی است (۳۵). این عنصر قادر است اثرات منفی تنش‌های غیر زنده از جمله خشکی، شوری و فلزات سنگین را کاهش دهد (۷، ۲۱). اخیراً، تلاش برای درک چگونگی کمبود مواد مغذی معدنی مانند پتاسیم (۲۹، ۱۶)، گوگرد (۳۶)، نیتروژن (۲۷) و فسفر (۶، ۳۰، ۳۳) باعث شده محققان بر نقش سیلیکون در گیاهان زراعی نیز تمرکز نمایند. در مطالعات متعددی گزارش شده است که کاربرد سیلیکون برای محصولات زراعی، تحمل آنها را در برابر خشکی بهبود می‌بخشد (۸، ۱۷، ۲۵) با توجه به شرایط خشکی حاکم بر کشور، کشت پاییزه کلزا از راه‌های بهره‌وری بهتر از آب است. با کشت پاییزه این محصول علاوه بر تقویت خاک و افزایش پایداری کشت از بارندگی‌های پاییز و زمستان نیز استفاده بهتری می‌شود. جهت صرفه‌جویی در مصرف آب به ویژه آب‌های آخر (مراحل گلدهی، خورجین‌دهی و پرشدن دانه کلزا) که مصادف با آبیاری‌های اولیه است و کشاورزان عمدتاً در این مراحل، آب کافی جهت اختصاص به هر دو زراعت (بهاره و پاییزه) را ندارند، استفاده از عناصر یا راهکارهایی که در شرایط قطع آبیاری بتوانند تا حدود زیادی از افت بیشتر عملکرد جلوگیری نمایند یکی از راه‌های موثر در صرفه‌جویی در میزان آب صرفی خواهد بود.

این تحقیق بمنظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر صفات زراعی ارقام و لاین‌های امیدبخش بهاره کلزا در شرایط خشکی آخر فصل جهت توسعه کشت کلزا در مناطق معتدل و نیمه خشک اجرا شد، تا بتوان لاین یا رقمی را معرفی کرد که در شرایط تنش خشکی و از طریق محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم، عملکرد اقتصادی قابل قبولی تولید نماید و تحمل به تنش بالاتری داشته باشد که در نهایت به سطح زیر کشت کلزا اضافه شود.

مواد و روشها

در این تحقیق بمنظور ارزیابی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا به

خط چهار سانتی‌متر بود که دو خط کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد.

صورت گرفت. هرکرت آزمایشی شامل شش خط شش متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی

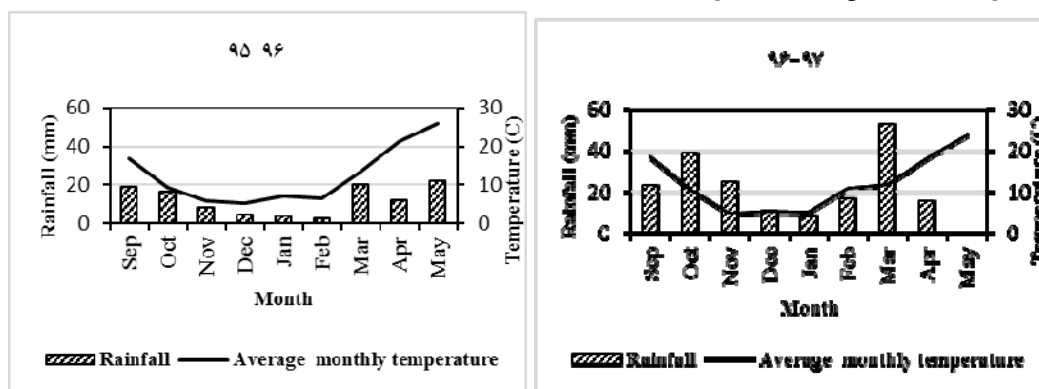
جدول ۱- مشخصات مهم ژنوتیپ‌های بهاره کلزا

DALGAN	RGS003	RGS×OKAPI	RGS×SLM	OG×AL	مبدأ
ایران	آلمان	ایران	ایران	ایران	ژنوتیپ
آزاد گرده افشان	آزاد گرده افشان	لاین امید بخش	لاین امید بخش	لاین امید بخش	کیفیت روغن
دو صفر	دو صفر	دو صفر	دو صفر	دو صفر	تیپ رشد
بهاره	بهاره	بهاره×زمستانه	بهاره×زمستانه	بهاره×زمستانه	مناطق کشت
گرم و معتدل	گرم و معتدل	معتدل سرد	معتدل سرد	معتدل سرد	

محاسبه شد. پس از کف‌بر نمودن بوته‌های هر کرت آزمایشی پس از جدا کردن دانه‌ها از خورجین، عملکرد دانه محاسبه شد. مقدار پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۱۳). میزان کل گلوکوزینولات دانه با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با استفاده از دستگاه High performance liquid chromatography (HPLC) اندازه‌گیری شد (۲۸). در پایان پس از اطمینان از مفروضات آزمایشی و بعد از انجام آزمون بارتلت و اثبات همگن بودن واریانس‌های آزمایشی در هر سال، کلیه صفات با استفاده از نرم افزار آماری SAS Ver.9.1 تجزیه واریانس مرکب شدند. برای مقایسه میانگین اثرات متقابل از رویه برش‌دهی و برای رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

بمنظور کنترل علف‌های هرز، از علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به طور یکنواخت در سطح مزرعه استفاده شد و به وسیله دیسک سبک، کود و علف‌کش با خاک مخلوط شد. پس از عملیات کاشت مطابق نقشه آزمایش و سبز شدن و استقرار گیاهچه، عملیات داشت، شامل کنترل احتمالی آفات به ویژه شته مومی با استفاده از سموم متاسیستوکس (یک و نیم لیتر در هکتار) و اکتاین (یک لیتر در هکتار) صورت گرفت.

بمنظور تعیین صفاتی مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد خورجین در بوته، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی با نزدیک شدن گیاه به زمان رسیدگی فیزیولوژیک به صورت تصادفی انتخاب شد و این صفات در آن‌ها اندازه‌گیری شد. ۳۰ عدد خورجین از ۱۰ بوته منتخب برای تعیین تعداد دانه در خورجین به‌طور تصادفی انتخاب و این صفت در آن‌ها



شکل ۱- تغییرات میانگین دما و بارندگی ایستگاه هواشناسی منطقه کرج (سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۵)

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر در طول فصل رشد (۹۵-۹۷)

عمق نمونه برداری (cm)	واکنش گل اشباع	هدایت الکتریکی خاک (dS.m ⁻¹)	کربن آلی (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	آهن قابل جذب (mg/kg)	نیترژن کل (%)
۰-۳۰	۷/۱	۲/۰۵	۰/۴۶	۱۲/۶	۱۹۸	۳/۸۲	۰/۰۹
۳۰-۶۰	۷/۵	۱/۱۳	۰/۴۶	۱۴/۷	۱۶۴	۴/۹۰	۰/۰۹
عمق نمونه برداری (cm)	منگنز قابل جذب (mg/kg)	روی قابل جذب (mg/kg)	مس قابل جذب (mg/kg)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک
۰-۳۰	۴/۰۲	۰/۵	۰/۶	۲۴	۳۶	۴۰	لومی
۳۰-۶۰	۳/۳۴	۱	۰/۷	۲۷	۳۴	۳۹	لومی

نتایج

به طوری که نسبت به تیمار شاهد پنج درصد بیشتر بود. در شرایط تنش تحت تأثیر سیلیکات پتاسیم ارتفاع بوته ۱۳۴/۴۷ سانتی‌متر شد که نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی ۱۴ درصد افزایش داشت (جدول ۵). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته در سطوح آبیاری وجود داشت، به طوری که در شرایط آبیاری معمول، رقم DALGAN و ژنوتیپ‌های OG×AL و RGS×SLM به ترتیب با میانگین ۱۵۹/۱۵، ۱۵۸/۷۵ و ۱۵۶/۹۵ سانتی‌متر و در شرایط قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد ژنوتیپ‌های OG×AL، RGS×SLM و رقم DALGAN به ترتیب با میانگین ۱۳۳/۱۶، ۱۲۸/۷۵ و ۱۲۶/۶۵ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده سال، آبیاری، ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل آبیاری در محلول‌پاشی در سطح یک درصد و اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). ارتفاع بوته در سال دوم نسبت به سال اول نه درصد افزایش داشت (جدول ۴). در اغلب گیاهان این صفت با تغییر شرایط محیطی تغییر می‌کند، به نظر می‌رسد بارندگی بالاتر در سال دوم آزمایش باعث افزایش ارتفاع بوته شد. مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه آبیاری و سیلیکات پتاسیم بر ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با میانگین ۱۵۵/۶۲ سانتی‌متر بود

جدول ۳- نتایج تجزیه مرکب برخی صفات مورد بررسی کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	ضخامت دانه	سوزان پروتئین برگ	کلروفرینولات دانه	دمای کانوبی
سال	1	5006.50 **	328.42 **	4907.01 **	312.50 **	18711791.58 **	877.502 **	2.091 **	24.192 *
سال × تکرار	4	73.40	3.77	743.34	9.37	327504.42	4.307	8.728	1.679
آبیاری	1	20816.50 **	182.83 **	20434.21 **	158.50 **	58074183.77 **	677.92 **	362.408 **	107.163
سال × آبیاری	1	6.58 **	1.08 **	315.12 **	5.48 **	205664.44 **	2.149 **	0.461 **	0.591 **
سیلیکات پتاسیم	1	5361.37 **	12.26 **	8146.39 **	51.89 **	3432943.24 **	46.875 **	24.825 **	11.644 **
سال × سیلیکات پتاسیم	1	49.54 **	0.03 **	10.31 **	5.23 **	33.66 **	0.058 **	0.106 **	0.003 **
آبیاری × سیلیکات پتاسیم	1	810.68 **	0.002 **	64.50 **	0.0001 **	5689.9 **	0.261 **	0.046 **	0.622 **
سال × آبیاری × سیلیکات پتاسیم	1	13.27 **	0.69 **	6.70 **	0.07 **	0.29 **	2.945 **	0.028 **	0.086 **
خطای (الف)	12	58.85	3.24	98.829	3.30	215811.48	1.905	1.430	1.220
ژنوتیپ	4	1432.70 **	14.18 **	7621.74 **	39.61 **	4175301.44 **	45.384 **	22.069 **	7.406 **
سال × ژنوتیپ	4	0.196 **	0.09 **	2.56 **	0.20 **	4756.46 **	0.351 **	0.020 **	0.005 **
آبیاری × ژنوتیپ	4	113.92 *	11.88 **	308.22 **	8.56 **	923607.64 **	7.420 **	7.480 **	22.029 **
سال × آبیاری × ژنوتیپ	4	3.48 **	1.39 **	6.03 **	0.05 **	3717.8 **	3.217 *	0.115 **	0.154 **
سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	17.35 **	0.005 **	5.09 **	0.354 **	7039.97 **	0.950 **	0.374 **	1.662 **
سال × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	5.47 **	0.003 **	6.13 **	0.007 **	4242.45 **	0.105 **	0.001 **	0.003 **
آبیاری × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	8.80 **	0.009 **	249.01 **	8.536 **	425045.58 *	8.470 **	4.989 **	25.528 **
سال × آبیاری × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	7.02 **	0.136 **	16.59 **	0.022 **	1925.1 **	0.102 **	0.003 **	0.035 **
خطای (ب)	64	45.12	2.48	87.66	2.15	148325.20	1.155	0.653	0.752
ضریب تغییرات (%)		4.85	10.61	7.61	7.65	11.68	5.84	5.18	2.64

*، ** و *** به ترتیب معنی داری در سطوح احتمال ۱، ۵ و ۰.۵ درصد و عدم معنی دار.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سال بر صفات مورد بررسی در کلزا

سال	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد دانه در خورجین (عدد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
سال اول	131.905 b	13.19 b	17.5855 b	3617 b
سال دوم	144.823 a	16.4987 a	20.8130 a	4406.7 a
سال	عملکرد روغن	دمای کانویی	میزان پرولین برگ	
سال اول	1593.50 b	33.3015 a	21.0900 a	
سال دوم	1976.92 a	32.4035 b	15.6817 b	

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه آبیاری، محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر ارتفاع بوته

آبیاری	محلول پاشی سیلیکات پتاسیم	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)
شاهد	0 g.liter -I	147.450 b
	4 g.liter -I	155.620 a
LSD (0.05)		4.609
قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد	0 g.liter -I	115.910 b
	4 g.liter -I	134.477 a
LSD (0.05)		4.6874

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه آبیاری، ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های کلزا

آبیاری	ژنوتیپ	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)
شاهد	OG × AL	158.758 a	17.5275 a
	RGS × SLM	156.950 a	15.7383 b
	DALGAN	159.150 a	15.9358 ab
	RGS 003	143.442 b	15.3533 b
	RGS × OKAPI	139.375 b	15.8383 ab
LSD (0.05)		7.2874	1.7411
قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد	OG × AL	133.167 a	13.6450 abc
	RGS × SLM	128.750 a	14.8500 a
	DALGAN	126.650 a	14.6800 ab
	RGS 003	118.783 b	12.9025 bc
	RGS × OKAPI	118.617 b	11.9725 c
LSD (0.05)		7.4115	1.9327

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

معنی‌داری از نظر قطر ساقه در سطوح آبیاری وجود داشت، به طوری که در شرایط آبیاری معمول، ژنوتیپ OG×AL با میانگین ۱۷/۲۵ میلی‌متر و در شرایط قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد ژنوتیپ RGS×SLM با میانگین ۱۴/۸۵ میلی‌متر بیشترین قطر ساقه را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

قطر ساقه: بررسی اثر تیمارهای مورد بررسی بر صفت قطر ساقه نشان داد که تیمارهای سال، آبیاری، ژنوتیپ، برهمکنش آبیاری در ژنوتیپ بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). قطر ساقه در سال دوم نسبت به سال اول ۲۰ درصد افزایش داشت که می‌توان این میزان افزایش را به بارندگی بالاتر در سال دوم نسبت داد (جدول ۴). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت

تعداد خورجین در بوته: میانگین تعداد خورجین در بوته در اثرات سه گانه برهمکنش آبیاری، محلول پاشی و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد خورجین در بوته در دو سطح آبیاری در سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم وجود داشت، به طوری‌که در آبیاری معمول در بین سطوح محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های $RGS \times SLM$ و $DALGAN, OG \times AL$ به ترتیب با میانگین ۱۴۶/۸، ۱۴۰/۹ و ۱۳۴/۹ عدد و در شرایط کاربرد محلول‌پاشی $OG \times AL$ با میانگین ۱۷۰/۷ عدد، بیشترین تعداد خورجین در بوته را به خود اختصاص دادند. در قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های $OG \times AL$ ، $RGS \times SLM$ و $DALGAN$ به ترتیب با میانگین ۱۱۷/۶، ۱۱۳/۴ و ۱۰۸/۸ عدد و در شرایط محلول‌پاشی $RGS \times SLM$ ، $OG \times AL$ و $DALGAN$ به ترتیب با میانگین ۱۳۴/۵، ۱۳۲/۱ و ۱۲۷/۵ عدد بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند (جدول ۸).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سال، آبیاری، سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ، اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ و اثر سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ نیز بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). عملکرد دانه در سال دوم ۱۷ درصد بیشتر از سال اول به دست آمد (جدول ۴). بالاترین میزان عملکرد دانه در آبیاری معمول، بدون محلول‌پاشی به ژنوتیپ $OG \times AL$ با عملکرد دانه ۵۰۸۷ کیلوگرم در هکتار و در تیمار محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم به ژنوتیپ $OG \times AL$ با عملکرد دانه ۵۶۲۰ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت که ۹/۴ درصد افزایش داشت (جدول ۸). در شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی در شرایط بدون محلول‌پاشی ژنوتیپ‌های $OG \times AL$ ، $RGS \times SLM$ و $DALGAN$ به ترتیب با عملکرد دانه ۳۵۰۶، ۳۴۶۴ و ۳۳۸۸ کیلوگرم در هکتار و در تیمار کاربرد سیلیکات‌پتاسیم ژنوتیپ‌های $RGS \times SLM$ و $DALGAN$ به ترتیب با ۴۱۲۴ و ۴۰۱۷ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را داشتند که بترتیب ۱۶ و ۱۵/۶۵ درصد افزایش عملکرد نسبت به شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی در شرایط بدون محلول‌پاشی را احراز کرد (جدول ۸).

تعداد دانه در خورجین: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال و اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ نیز بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تعداد دانه در خورجین در سال دوم نسبت به سال اول ۲۰ درصد افزایش داشت (جدول ۴). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد دانه در خورجین در دو سطح آبیاری در سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم مشاهده شد، به طوری‌که در آبیاری معمول در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ $OG \times AL$ با میانگین ۲۰/۹۸ عدد و در شرایط محلول‌پاشی $OG \times AL$ با میانگین ۲۳/۳۰ عدد، بیشترین تعداد دانه در خورجین را به خود اختصاص داد (جدول ۸). در قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ $OG \times AL$ با میانگین ۱۸/۵۸ عدد و در شرایط محلول‌پاشی

پرویلین برگ: جدول تجزیه واریانس نشان داد میزان پرویلین تحت تأثیر اثرات ساده سال، آبیاری، سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ و اثرات ترکیب تیماری آبیاری \times ژنوتیپ، سال \times آبیاری \times ژنوتیپ و آبیاری \times سیلیکات پتاسیم \times ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان پرویلین (۲۴/۴۷ میلی گرم بر وزن تر) در ژنوتیپ $RGS003$ در قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی در سال اول به دست آمد (جدول ۷). میزان پرویلین برگ در برهمکنش سه‌گانه آبیاری در محلول‌پاشی در ژنوتیپ نیز نشان داد بالاترین میزان پرویلین (۲۳/۳۳ میکرومول در گرم وزن‌تر)

که نشان‌گر تحمل بیشتر به خشکی می‌باشد در ژنوتیپ بدست آمد. کمترین مقدار نیز در شرایط آبیاری کامل و RGS×OKAPI در شرایط قطع آبیاری و بدون محلول‌پاشی

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه سال، آبیاری و ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های کلزا

سال	آبیاری	ژنوتیپ	میزان پرولین برگ (میکرومول در گرم وزن‌تر)	
سال = ۱۳۹۵-۱۳۹۶	شاهد	OG × AL	17.60 b	
		RGS × SLM	17.78 b	
		DALGAN	17.27 b	
		RGS 003	20.40 a	
		RGS × OKAPI	21.17	
	LSD (0.05)			1.32
	قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد	OG × AL	21.45 b	
		RGS × SLM	23.34 ab	
		DALGAN	23.65 ab	
		RGS 003	24.47 a	
RGS × OKAPI		23.65 ab		
LSD (0.05)			2.11	
سال = ۱۳۹۶-۱۳۹۷	شاهد	OG × AL	12.42 c	
		RGS × SLM	12.29 c	
		DALGAN	12.05 c	
		RGS 003	14.09 b	
		RGS × OKAPI	14.98 a	
	LSD (0.05)			0.51
	قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد	OG × AL	15.68 c	
		RGS × SLM	17.43 b	
		DALGAN	17.94 b	
		RGS 003	20.13 a	
RGS × OKAPI		19.76 a		
LSD (0.05)			1.15	

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

میانگین ۱۶/۸۹ و ۱۷/۲۸ میکرو مول بر گرم کنجاله، و در تیمار محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ژنوتیپ OG×AL با میانگین ۱۴/۷۷ میکرو مول بر گرم کنجاله، کمترین میزان گلوکوزینولات را به خود اختصاص دادند (جدول ۸).

دمای کانوپی: نتایج تجربه واریانس صفات مورد بررسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری در اثرات ساده و اثر متقابل سه‌گانه برهمکنش آبیاری، محلول‌پاشی و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۳). دمای کانوپی در سال دوم سه درصد کمتر از سال اول به دست آمد (جدول ۴). برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ‌های کلزا در آبیاری معمول بدون محلول‌پاشی نشان داد که ژنوتیپ RGS×OKAPI با میانگین ۳۲/۷۸ درجه سانتی‌گراد بیشترین و ژنوتیپ OG×AL با میانگین ۳۱/۵۰ درجه

گلوکوزینولات: نتایج تجربه واریانس صفات مورد بررسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری در اثرات ساده و اثر متقابل سه‌گانه برهمکنش آبیاری، محلول‌پاشی و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۳). به طوری که مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در آبیاری معمول بدون محلول‌پاشی نشان داد که ژنوتیپ‌های OG×AL، RGS×SLM و DALGAN بترتیب با میانگین ۱۳/۲۲، ۱۳/۸۱ و ۱۳/۵۱ میکرو مول بر گرم کنجاله، و در تیمار محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ژنوتیپ‌های OG×AL، RGS×SLM و DALGAN بترتیب با میانگین ۱۲/۸۹، ۱۲/۲۲ و ۱۲/۰۴ میکرو مول بر گرم کنجاله، کمترین میزان گلوکوزینولات را به خود اختصاص دادند (جدول ۸). در شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی بدون محلول‌پاشی نیز ژنوتیپ‌های OG×AL و RGS×SLM بترتیب با

RGS×SLM بترتیب با میانگین‌های ۳۳/۵۴ و ۳۳/۶۵ درجه سانتی‌گراد کمترین، و در تیمار محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم نیز ژنوتیپ DALGAN با میانگین ۳۵/۵۷ درجه سانتی‌گراد بیشترین و ژنوتیپ RGS×OKAPI با میانگین ۳۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد کمترین دمای کانوپی را داشتند (جدول ۸).

سانتی‌گراد کمترین و در تیمار محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم نیز ژنوتیپ RGS×OKAPI با میانگین ۳۲/۷۸ درجه سانتی‌گراد بیشترین و ژنوتیپ OG×AL با میانگین ۳۲/۳۶ درجه سانتی‌گراد کمترین دمای کانوپی را داشتند (جدول ۸). در شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی بدون محلول‌پاشی نیز ژنوتیپ RGS×OKAPI با میانگین ۳۵/۱۶ درجه سانتی‌گراد بیشترین و ژنوتیپ‌های OG×AL و

جدول ۸- مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم و ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های کلزا

تیمار آبیاری	محلول پاشی سیلیکات پتاسیم	ژنوتیپ	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین	عملکرد دانه	دمای کانوپی	میزان پروتئین برگ	کلوزونولات دانه	برگم‌کنجانه
			(عدد)	(عدد)	(کیلوگرم در هکتار)	(درجه سانتی‌گراد)	(میکرومول در برگ)	(میکرومول)	(میکرومول)
شاهد	0 g.liter -1	OG × AL	20.983	146.802	5086.7 a	31.5950 b	15.407 a	13.2250 b	
		RGS × SLM	20.117	134.938	4681.5	31.9183	16.088 a	13.8183 b	
		DALGAN	20.617	140.975	4725.3	31.7583	15.627 a	13.5133 b	
		RGS 003	18.550	108.112	4179.8 b	32.6767	17.720 a	15.3467 a	
		RGS ×	18.183	103.958	4053.0 b	32.7867 a	18.095 a	15.5950 a	
	LSD		2.6803	15.471	752.13	1.15	4.1923	1.2915	
	4 g.liter -1	OG × AL	23.300	170.713	5620.3 a	32.3650	14.622	12.8967 c	
		RGS × SLM	20.535	147.205	4731.8 b	29.9083	13.988 b	12.2217 c	
		DALGAN	20.933	152.892	4832.2 b	29.7617	13.702 b	12.0483 c	
		RGS 003	19.767	126.050	4527 b	32.1867	16.780	14.4283 b	
RGS ×		20.500	127.650	4637.5 b	34.1183	18.062 a	15.5500 a		
LSD (0.05)		3.3176	16.536	741.73	1.0832	3.8657	0.9707		
قطع آبیاری از مرحله خورجین همی	0 g.liter -1	OG × AL	18.583 a	117.643	3506.5 a	33.5433 c	19.947 a	16.8917 b	
		RGS × SLM	18.200	113.460	3464.3 a	33.6533 c	20.335 a	17.2867 b	
		DALGAN	17.883	108.825	3388.7 a	33.8117	20.760 a	17.5317 bc	
		RGS 003	16.250	87.977	2732.8 b	34.7317	22.797 a	18.6150 a	
		RGS ×	16.050	83.718	2608.5 b	35.1650 a	23.333 a	18.7467 a	
	LSD		2.1878	12.236	602.08	0.9666	3.6661	1.2164	
	4 g.liter -1	OG × AL	18.800	127.532	3532.0 ab	30.7450	17.278 b	14.7783 c	
		RGS × SLM	20.967 a	134.503	4124.2 a	35.3450	20.443 ab	17.3350	
		DALGAN	20.533	132.192	4017.8 a	35.5750 a	20.835 ab	17.6967	
		RGS 003	17.583	101.983	3078.5 bc	34.1917 b	21.813 a	17.9850 a	
RGS ×		15.650 c	90.475 c	2708.6 c	31.2133 c	20.085 ab	16.5333 b		
LSD (0.05)		3.0772	11.399	619.58	1.1993	3.9858	1.2623		

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

بحث و نتیجه گیری

خشکی را از طریق بهبود توانایی برگ در جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی (۲۴، ۴)، با افزایش میزان کلروفیل در برگ کاهش داده و سبب افزایش رشد و در نهایت ارتفاع گیاه می‌شود (۲۲). افزایش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی تحت تأثیر ترکیبات سیلیکاتی توسط بسیاری از

داده‌های حاصل از سنجش صفت ارتفاع بوته نشان می‌دهد که در شرایط قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم این صفت را تحت تأثیر قرار داد. به نظر می‌رسد سیلیکات‌پتاسیم اثرات تنش

محققین دیگر نیز گزارش شده است که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (۱، ۱۲، ۲۴، ۳۸).

در تحقیق حاضر مشاهده شد که قطع آبیاری باعث کاهش قطر ساقه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد. در شرایط آبیاری معمول، ژنوتیپ OG×AL و در شرایط قطع آبیاری ژنوتیپ RGS×SLM بیشترین قطر ساقه را داشتند. محققین گزارش نمودند تنش خشکی در کلزا باعث کاهش قطر ساقه شد (۴۲). بررسی اثر تنش خشکی بر قطر ساقه نشان داد که کاهش منابع ذخیره و تولید مواد فتوسنتزی در اثر اعمال تنش بوده و تنش خشکی از طریق کاهش سرعت رشد در گره‌ها، کاهش گسترش سطح برگ و ماندگاری آن باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود. با توجه به هم‌زمانی رشد طولی ساقه با رشد شاخه‌های جانبی و توسعه خورجین‌ها بروز تنش خشکی در مرحله آخر فصل نه‌تنها مواد ذخیره‌ای ساقه را کاهش داده، بلکه از توسعه اندام‌های ذخیره‌ای و شاخه‌های جانبی جلوگیری کرده و بطور غیرمستقیم از طریق کاهش مواد فتوسنتزی و کاهش جایگاه توسعه خورجین‌ها منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (۴۳). در قطع آبیاری در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های OG×AL، RGS×SLM و در شرایط محلول‌پاشی RGS×SLM و OG×AL بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند. محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم در شرایط تنش خشکی بر تعداد خورجین در بوته، که حساس‌ترین صفت در اجزای عملکرد در این شرایط است (۲۳)، موثر بود و منجر به کاهش آن شد که با نتایج تحقیقات برخی محققین مطابقت داشت (۲۰). تنش خشکی باعث کاهش توان مخزن در جذب مواد فتوسنتزی می‌شود (۵)، که در نهایت با کاهش تعداد خورجین در بوته باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (۴۴). سیلیکات‌پتاسیم به دلیل رسوب در برگ، به بهبود قدرت مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی کمک می‌کند. همچنین سیلیکات‌پتاسیم در شرایط خشکی باعث افزایش تعداد خورجین در بوته و

تعداد دانه در خورجین در کلزا شد، که با نتایج تحقیقات محققان دیگر در گیاهان زراعی در یک راستا بود (۱۴، ۴۱).

در شرایط قطع آبیاری در شرایط بدون محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم ژنوتیپ‌های OG×AL، RGS×SLM و در تیمار کاربرد سیلیکات‌پتاسیم ژنوتیپ RGS×SLM بالاترین عملکرد دانه را داشتند. تنش خشکی با تأثیر مستقیم بر مقدار تولیدات فتوسنتزی از طریق بسته شدن روزنه‌ها و تجزیه آنزیم‌ها و سلول‌ها منجر به کاهش عملکرد دانه شد (۱۹). سیلیکون با سرعت بخشیدن به رشد رویشی و افزایش تولید ماده خشک و کاهش تعرق باعث افزایش کیفیت دانه و در نهایت عملکرد می‌شود. نتایج مشابه در پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از تأثیر مثبت سیلیکات‌پتاسیم بر رشد و عملکرد دانه در گونه‌های زراعی است (۸، ۹، ۳۲، ۲۶، ۳۴).

داده‌های حاصل از سنجش مقدار کمی پرولین نشان داد در شرایط تنش خشکی و قطع آبیاری میزان پرولین افزایش یافت و محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم توانست در جهت بهبود تنش خشکی عمل کند و براساس نتایج میزان پرولین برگ در شرایط آبیاری معمول و محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم، نسبت به سایر تیمارها کم‌تر بود. تجمع پرولین در شرایط تحت تنش به واسطه سنتز پرولین و غیر فعال شدن تخریب آن انجام می‌شود. افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌شود (۲). محققین نیز نشان دادند که در رقم‌های مختلف کلزا، با افزایش تنش خشکی میزان پرولین افزایش یافت، هرچند در بین ارقام تفاوت در مقدار پرولین مشاهده شد. میزان پرولین برگ در شرایط قطع آبیاری به دلیل نقش خود در تنظیم اسمزی افزایش می‌یابد، این امر موجب حفظ تورژسانس سلول‌ها می‌شود که نقش حفظ‌کننده گیاه در شرایط تنش خشکی

بر اساس نتایج به دست آمده تنش خشکی آخر فصل و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم اکثر صفات مورد بررسی را تحت تأثیر قرار داد. سال زراعی به دلیل تفاوت در میزان بارندگی بر صفات مورد بررسی تأثیرگذار بود، که نشان از تأثیر شرایط محیطی بر رشد و واکنش کلزا دارد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت‌های آشکاری در واکنش به تیمارها داشتند، به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد ژنوتیپ OG×AL نسبت به دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی از عملکرد و توانایی بالاتری بمنظور استفاده از منابع برخوردار است. در شرایط آبیاری کامل و کاربرد محلول‌پاشی ژنوتیپ OG×AL بالاترین عملکرد را در صفات مورد بررسی دارا بود، با این وجود در شرایط تنش خشکی و کاربرد محلول‌پاشی ژنوتیپ‌های RGS×SLM و DALGAN از عملکرد قابل قبولی برخوردار بودند. به‌طورکلی می‌توان گفت تنش خشکی از دلایل کاهش عملکرد کلزا می‌باشد، هرچند محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم می‌تواند شرایط تنش را تعدیل کند، با این حال باید از بروز تنش آخر فصل اجتناب نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از زحمات اساتید و کارکنان محترم بخش دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج که اینجانب را در انجام این مهم یاری کردند، سپاسگزاری و قدردانی به عمل می‌آید.

را بر عهده دارد که میزان آن در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بیشتر می‌باشد (۳۷).

در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکات پتاسیم در دو سطح آبیاری، میزان گلوکوزینولات در سطح استاندارد و کمتر از حد ۳۰ میکرومول بر گرم کنگاله بود. افزایش گلوکوزینولات موجب کاهش کیفیت و ارزش غذایی کنگاله‌ی کلزا شده که تحت تأثیر عوامل وراثتی و محیطی است (۴۰).

دمای کانوپی در شرایط قطع آبیاری در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نسبت به شرایط آبیاری معمول بالاتر بود و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم توانست در برخی ژنوتیپ‌ها باعث افزایش دمای کانوپی تحت شرایط تنش گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در شرایط قطع آبیاری به دلیل کاهش تعداد شاخه و برگ گیاه، دمای کانوپی می‌تواند افزایش یابد، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل دمای کانوپی کاهش می‌یابد. بیشترین دمای کانوپی مربوط به قطع آبیاری بدون محلول‌پاشی بود که نشان از تنظیم هدایت روزنه‌ای است. گیاهان تحت تنش با تنظیم روزنه‌ای مانع از اتلاف شدید آب شده که منجر به افزایش دمای کانوپی می‌شود (۱۸). سیلیکات پتاسیم کاهش از طریق کاهش سرعت تعرق در شرایط تنش، منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق ممانعت از تخریب آوندها و خروج آب کمتر از گیاه می‌گردد (۱۱).

منابع

- ۱- اله بخش، ا.، سیروس مهر، ع.، ابراهیمی، ا.، شهرکی، ن.، (۱۳۹۷). آندوزش و تحمل آلودگی کادمیومی و تأثیر تیمار سیلیسیم بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea*). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) (علمی). ۳۱ (۲): ۲۴۷-۲۳۵.
- ۲- بروجردنیا، م.، بی همتا، م.، ر.، عالمی‌سعید، خ.، عبدوسی، و.، (۱۳۹۵). اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی لوبیا
- (*Phaseolus vulgaris* L.). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸ (۲۹): ۴۱-۲۳.
- ۳- جباری، ح.، خوش خلق سیما، ن.، ا.، شیرانی‌راد، ا. ح.، (۱۳۹۶). تغییرات ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه در ارقام پاییزه کلزا در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۰ (۳): ۶۶-۸۱.
- ۴- عسگری، ف.، مجد، ا.، جنوبی، پ.، نجفی، ف.، (۱۳۹۹). اثر کوتاه مدت ذرات نانوسیلیکون بر برخی ویژگی‌های بافت شناختی و

- ۵- فیاض، ف.، نادری درباغشاهی، م.ر.، شیرانی‌راد، ا. ح.، (۱۳۸۶).
تاثیر تنش کم آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام پیشرفته کلزا
در منطقه اصفهان. مجله علمی یافته‌های نوین کشاورزی. ۱ (۳):
۱۷۷-۱۸۹.
- 6- Agostinho, F., Tubana, B., Martins, M., Datnoff, L., 2017. Effect of Different Silicon Sources on Yield and Silicon Uptake of Rice Grown under Varying Phosphorus Rates. *Plants*. 6: 35.
- 7- Ali, N., Schwarzenberg, A., Yvin, J. C., Hosseini, S. A., 2018. Regulatory Role of Silicon in Mediating Differential Stress Tolerance Responses in Two Contrasting Tomato Genotypes Under Osmotic Stress. *Frontiers in Plant Science*. 9: 1-16.
- 8- Amin, M., Ahmad, R., Ali, A., Hussain, I., Mahmood, R., Aslam, M., et al., 2016. Influence of silicon fertilization on maize performance under limited water supply. *Silicon*. 10: 177-183. doi:10.1007/s12633-015-9372-x.
- 9- Artyszak, A.; Kucin'ska, K., 2016. Silicon nutrition and crop improvement: Recent advances and future perspective. In *Silicon in Plants*; Tripathi, D.K., Singh, V.P., Ahmad, P., Chauhan, D.K., Prasad, S.M., Eds.; CRC Press: London, UK; New York, NY, USA; pp. 297-319.
- 10- Aslam, M. N., Nelson, M. N., Kailis, S. G., Bayliss, K. L., Speijers, J., Cowling, W. A., 2009. Canola oil increases in polyunsaturated fatty acids and decreases in oleic acid in drought-stressed Mediterranean-type environments. *Plant Breed*. 128: 348-355.
- 11- Aziz T. and Gill M. A. 2002. Silicon nutrition and crop production . A review. *Journal of agricultural science*. 39, pp 181-187.
- 12- Bakhat, H.F., Hanstein, S., Schubert, S., 2009. Optimal level of silicon for maize (*Zea mays* L. c.v. Amadeo) growth in nutrient solution under controlled conditions. *The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI*, Davis, CA.
- 13- 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.
- 14- Bybordi. A., 2016. Effect of zeolite, selenium and silicon on yield, yield components and some physiological traits of canola under salt stress conditions. *Iranian Journal Of Field Crops Research*. 14(1): 169-170.
- 15- Chaiwong, N., Prom-U-thai, C., Bouain, N., Lacombe, B., Rouached, H., 2018. Individual versus combinatorial effects of silicon, phosphate, and iron deficiency on the growth of lowland and upland rice varieties. *International Journal of Molecular Sciences*. 19: 1-13.
- 16- Chen, D., Cao, B., Wang, S., Liu, P., Deng, X., Yin, L., Zhang, S., 2016. Silicon moderated the K deficiency by improving the plant-water status in sorghum. *Scientific Reports*. 2016: 6, 22882
- 17- Chen, W., Yao, X., Cai, K., Chen, J., 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*. 142, 67 - 76. doi:10.1007/s12011-0108742-x.
- 18- Cornic, G., 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture-not by affecting at synthesis. *Trends in Plant Science*. 5 (5): 187-188.
- 19- EL Sabagh A., Hossain A., Islam M.S., Barutçular C., Ratnasekera D., Kumar N., ... and da Silva J.A.T. 2019. Sustainable soybean production and abiotic stress management in saline environments: a critical review. *Australian journal of crop science*., 13, 2, pp 228.
- 20- Fani, E., Hassibi, P., Meskarbashee, M., Khanlou, K. M., Seyedahmadi, S. A., 2019. Effect of drought stress and silica spraying on some physiological and functional traits of canola cultivars. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(1), 62-66.
- 21- Frew, A., Weston, L. A., Reynolds, O. L., Gurr, G. M., 2018 The role of silicon in plant biology: A paradigm shift in research approach. *Annals of Botany*. 121: 1265-1273.
- 22- Gao, X., Zou, CH., Wang, L., Zhang, F., 2004 "Silicon improves water use efficiency in maize plants". *Journal of Plant Nutrition*. 27: 1457-1470.
- 23- Ghobadi, M., Bakhshandeh, M., Fathi, G., Gharineh, M.H., Alami-Said, K., Naderi, A., Ghobadi, M.E., 2006. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola (*Brassica napus* L.): Effect on Yield,

- Yield Components, Seed Oil and Protein Contents. *Journal of Agronomy*. 5, 336-341.
- 24- Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., Zhang, C., 2003 "Effects of silicon on growth of wheat under drought". *Journal of Plant Nutrition*. 26:1055-1063.
- 25- Gong, H. J., Chen, K. M., Zhao, Z. G., Chen, G. C., Zhou, W. J., 2008. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biologia Plantarum*. 52, 592-596. doi:10.1007/s10535-008-0118-0.
- 26- Gugała, M.; Sikorska, A.; Zarzecka, K.; Kapela, K.; Mystkowska, I., 2017. The effect of sowing method and biostimulators on autumn development and overwintering of winter rape. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*. 16, 111-120.
- 27- Haddad, C., Arkoun, M., Jamois, F., Schwarzenberg, A., Yvin, J. C., Etienne, P., Laîné, P., 2018. Silicon promotes growth of *Brassica napus* L. and delays leaf senescence induced by nitrogen starvation. *Frontiers in Plant Science*. 9: 516.
- 28- Harinder, P., S. Makkar, P. Siddhuraju, and K. Becker., 2007. *Plant secondary metabolites*. New York: Hummana Press. 58-60.
- 29- Hosseini, S. A., Yvin, J., 2017. Induction of Barley Silicon Transporter HvLsi1 and HvLsi2, increased silicon concentration in the shoot and regulated Starch and ABA Homeostasis under Osmotic Stress and Concomitant Potassium Deficiency. *Frontiers in Plant Science*. 8, 1359.
- 30- Hu, A. Y., Che, J., Shao, J. F., Yokosho, K., Zhao, X. Q., Shen, R. F., Ma, J. F., 2018. Silicon accumulated in the shoots results in down-regulation of phosphorus transporter gene expression and decrease of phosphorus uptake in rice. *Plant Soil*. 423: 317-325.
- 31- Ijaz, R., Ejaz, J., Gao, S., Liu, T., Imtiaz, M., Ye, Z., et al., 2017. Overexpression of annexin gene AnnSp2, enhances drought and salt tolerance through modulation of ABA synthesis and scavenging ROS in tomato. *Scientific Reports*. 7:12087. doi: 10. 1038/s 41598-017-11168-2.
- 32- Kalandyk, A.; Waligórski, P.; Dubert, F., 2014. Application of biostimulators in alleviation of effects of drought and other environmental stresses in common soybean (*Glycine max*. L. Merr.) *Czas. Nauk.-Kult*. 22: 267-274.
- 33- Kostic, L., Nikolic, N., Bosnic, D., Samardzic, J., Nikolic, M., 2017. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. *Plant and Soil*. 419: 447-455.
- 34- Ma, J. F., Yamaji, N., 2008. Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and molecular life sciences*. 65: 3049-3057.
- 35- Ma, J. F., Yamaji, N. A., 2015. cooperative system of silicon transport in plants. *Trends plant science*. 20: 435-442.
- 36- Maillard, A., Ali, N., Schwarzenberg, A., Jamois, F., Yvin, J. C., Hosseini, S. A., 2018. Silicon transcriptionally regulates sulfur and ABA metabolism and delays leaf senescence in barley under combined sulfur deficiency and osmotic stress. *Environmental and Experimental Botany*. 155: 394-410.
- 37- Mirzaee, M., Moieni, A., Ghanati, F., 2012. Effect of drought stress on proline and soluble sugar content in canola (*Brassica napus* L.) seedlings. *Iranian Journal of Biology*. 26(1), 90-98.
- 38- Pulz, A.L., Crusciol, C.A.C., Lemos, L.B., Soratto, R. P., 2008. Silicate and limestone effects on potato nutrition, yield and quality under drought stress. *Rev Bras Ciênc Solo*. 32:1651-1659.
- 39- Rashidi, S., Shirani Rad, A. H., Ayene Band. A., Javidfar, F., Lak, S., 2012. Study of relationship between droughts stresses tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*B. napus* L.). *Annals of Biological Research*. 3: 564-569.
- 40- Rathke, G. W., Christen, O., Diepenbrock, W., 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*. 94: 103-113.
- 41- Saleh, J., Najafi, N., 2011. Silicon role in the plant. *Zeitoon Journal*. 31(217), 8-16. Sarparast, R., 2002. Selection of advanced lines of Broad bean in Gorgan and Dezfool. Abstract of the 7th Iranian congress of Agronomy and Plant Breeding. 174. (In Persian).
- 42- Sangtarash, M. H., Qaderi, M. M., Chinnappa, C. C., Reid. D. M., 2009. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. *environmental and experimental*. 2 :212-219.
- 43- Seyed Ahmadi, A., Bakhshandeh, A., Garineh, M. H., 2015. Evaluation physiological

- characteristics and grain yield canola cultivars under end seasonal drought stress in weather condition of Ahvaz. Iranian Journal of Field Crops Research, 13 (1): 71-80. (In Persian).
- 44- Shirani Rad, A. H., Zandi, P., 2014. Agronomic Evaluation of Rapeseed Varieties (*Brassica napus* L.) in Response to Late-Season Water Deficit Stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus*[Internet]. [pristupljeno 26.06.2020.]. 9(3):157-169.
- 45- Sun, X. P., H. L. Yan, X. Y. Kang, and F. W. Ma. 2013. Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. *Photosynthetica* 51 (3):404–10. doi: 10.1007/s11099-013-0040-3.
- 46- Tohidi Moghaddam, H. R. T, Zahedi, H., Ghooshchi, F., 2011. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. *Pesq. Agropec. Trop.* 41: 579–586, doi: 10.5216/pat.v41i4.13366.

The impact of potassium silicate foliar application on some morphological, physiological and biochemical properties of rape genotypes under late seasonal drought stress

Khayat Moghadam M.S.¹, Gholami A.², Shirani Rad A.H.³, Baradaran Firoozabadi M.² and Abbasdokht H.²

¹ Candidate in Crop Physiology, Shahrood University of Technology, Young Researchers and Elite Club, Shahrood, I.R. of Iran.

² Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, I.R. of Iran.

³ Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, I.R. of Iran.

Abstract

Drought stress is one of the most impactful factors of severe modification in plant physiology, eventually leading to a reduction in crop productivity. Increasing growth, yield, crop quality, and reducing the side effects of drought stress are some of the important roles that potassium silicate plays in plants. In order to study the effects of late-season drought stress and foliar application of potassium silicate on yield and yield components of spring genotypes of canola, a factorial split-plot experiment was conducted in Karaj, Iran in a randomized complete block configuration with three replications for two years of cultivation (2016-2018). The irrigation was performed at two levels in this study, including routine irrigation (control) and interruption of irrigation from the pod formation stage. Potassium silicate foliar application at two levels comprised of 0 and 4 g liter⁻¹ in factorial status in main plots and five *Brassica napus* L. genotypes including OG×AL, RGS×SLM, DALGAN, RGS003 and RGS×Okapi in subplots. The authors found that the interaction impact of irrigation, the application of potassium silicate foliar, the genotype of the number of pods per plant, the number of seeds per pod, the yield of seeds, the level of leaf proline, the glucosinolate and the temperature of the canopy were significant. It is proposed that OG×AL genotype be used in regular irrigation and application of potassium silicate and in late-season dry conditions and in the application potassium silicate of RGS×SLM and DALGAN genotypes.

Key words: Canopy, Glucosinolate, Potassium silicate, Proline, Rapeseed.