



بررسی صفات زراعی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در شرایط تنش خشکی آخر فصل و محلول پاشی سیلیکات پتاسیم

مژده سادات خیاط مقدم^{۱*}، احمد غلامی^۲، امیرحسین شیرانی‌راد^۳، مهدی برادران فیروزآبادی^۴، حمید عباس دخت^۲

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه صنعتی شاهرود

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

۳. استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۰۳

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که رشد و تولید محصولات زراعی را محدود می‌کند. استفاده از مواد مغذی مانند سیلیکات پتاسیم می‌تواند در افزایش تولید و کیفیت آن به‌منظور دستیابی به عملکرد دانه، روغن و همچنین کاهش اثر نامطلوب تنش خشکی بر کلزا نقش مهمی داشته باشد. به‌منظور بررسی اثرات خشکی آخر فصل و محلول پاشی 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 آن آزمایش عامل آبیاری در دو سطح آبیاری معمول (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد و عامل محلول پاشی در دو سطح (محلول پاشی با چهار گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و عدم محلول پاشی) به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های بهاره کلزا شامل: RGS×SLM, RGS×OKAPI, RGS003, DALGAN, OG×AL در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ نیز بر صفات تعداد خورجین در بوته، طول خورجین و درصد روغن در سطح پنج درصد و بر صفات تعداد شاخه در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن در سطح یک درصد معنی‌دار بود. طبق نتایج به دست آمده، کاربرد سیلیکات پتاسیم (چهار گرم در لیتر) و آبیاری معمولی، بیشترین میزان عملکرد دانه (۵۶۲۰ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیکی (۱۹۷۸۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۲۵۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار) به ژنوتیپ OG×AL تعلق داشت. همچنین در صورت کاربرد سیلیکات پتاسیم (چهار گرم در لیتر) و تنش خشکی آخر فصل، ژنوتیپ‌های RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با ۴۱۲۴ و ۴۰۱۷ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را داشتند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، سیلیکون، عملکرد دانه، عملکرد روغن، گیاهان روغنی

مقدمه

کاهش عملکرد محصولات زراعی تحت تأثیر تنش غیرزنده بین ۵۱ تا ۸۲٪ تخمین زده می‌شود (Cooke and Leishman, 2016). گیاهان غالباً در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند و کمبود آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده در محدود کردن و تولید محصول در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است

کاهش عملکرد محصولات زراعی تحت تأثیر تنش غیرزنده بین ۵۱ تا ۸۲٪ تخمین زده می‌شود (Cooke and Leishman, 2016). گیاهان غالباً در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند و کمبود آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده در محدود کردن و تولید محصول در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر صفات زراعی ارقام و لاین‌های امیدبخش بهاره کلزا در شرایط خشکی آخر فصل جهت توسعه کشت کلزا در مناطق معتدل و نیمه‌خشک کشور اجرا شد تا بتوان لاین یا رقمی را معرفی کرد که در شرایط تنش خشکی و از طریق محلول پاشی سیلیکات پتاسیم، عملکرد اقتصادی قابل قبولی تولید نماید و تحمل به تنش بالاتری داشته باشد که در نهایت به افزایش عملکرد در واحد سطح منجر شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا به محلول پاشی 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 ۵۶° و ۵۰° شرقی و عرض جغرافیایی ۴۷° و ۳۵° 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 ۱ ارائه شده است. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی بود و مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

در این آزمایش عامل آبیاری در دو سطح آبیاری معمول (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد و عامل محلول پاشی در دو سطح (محلول پاشی با چهار گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و عدم محلول پاشی) به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های بهاره کلزا شامل؛ DALGAN، RGS003، RGS×OKAPI، RGS×SLM و OG×AL در کرت‌های فرعی قرار گرفتند (رقم DALGAN به عنوان رقم شاهد در نظر گرفته شد). کاشت در تاریخ ۱۵ مهرماه 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 آزمایش با کنتور اندازه‌گیری شد. تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای شاهد و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد به ترتیب ۸ و ۶ مرتبه بود. همچنین میزان آب مصرفی در تیمارهای مذکور به ترتیب برابر با ۵۱۲۰ و ۳۸۴۰ متر

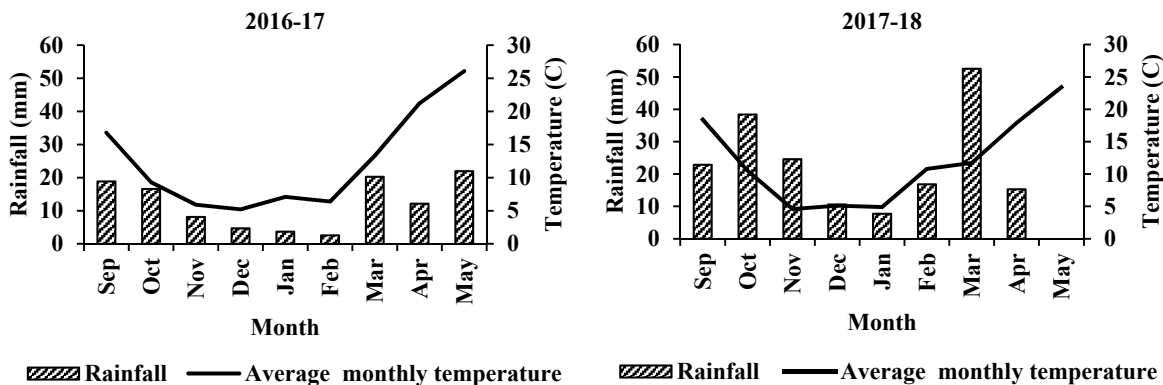
مطالعات متعددی گزارش شده است که کاربرد سیلیکون برای محصولات زراعی، تحمل آن‌ها را در برابر خشکی بهبود می‌بخشد (Gong et al., 2008; Chen et al., 2011; Amin et al., 2016). سیلیکون (Si) دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در خاک است. همه گیاهان ریشه‌ای در خاک حاوی مقداری سیلیکون در سلول‌ها و بافت‌های خود هستند (Ollé, 2014). این عنصر یکی از فراوان‌ترین عناصر معدنی در بافت گیاهی است (Zhu et al., 2004; Kim et al., 2012) و رسوب زیاد آن در بافت‌ها باعث افزایش استحکام در آن‌ها می‌گردد (Neethirajan et al., 2009). هر چند درباره نقش سیلیکون در بیولوژی گیاه هنوز اطلاعات زیادی به دست نیامده است (Jamil et al., 2007) و به عنوان عنصر ضروری برای اکثر گیاهان شناخته نشده است و نقش آن در بیولوژی گیاه به صورت اندک درک شده است ولی سیلیکون نقش‌های مهمی را در گیاهان زراعی بازی می‌کند (Epstein and Bloom, 2005)؛ بنابراین سیلیکون به عنوان یک عنصر شبه ضروری که اثرات مثبت بر روی رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی به منظور کاهش تأثیر تنش خشکی دارد تعیین شده است (Ma et al., 2004; Pei et al., 2010; Kat and Owa, 1990; Nolla et al., 2012; Bybordi, 2014; Etesamia and Jeong, 2018; Eneji et al., 2008). مزایای سیلیکون برای گیاهانی که مورد تنش واقع شده‌اند در جهت منافع کشاورزی استفاده می‌شود (Datnoff et al., 2001). سیلیکون به انواع محصولات زراعی مانند برنج و نیشکر اضافه می‌شود (Korndorfer and Lepsch, 2001) که منجر به افزایش ماده خشک و عملکرد می‌گردد (Datnoff et al., 2001; Epstein and Bloom, 2005). اثرات سودمند سیلیکون هنگامی که گیاهان تحت تنش‌های مختلف محیطی و غیر محیطی قرار می‌گیرند، بیشتر مطرح می‌باشد (Tahir et al., 2006). سیلیکون مقاومت غلات به ورس، خشکی و تجمع ماده خشک را افزایش می‌دهد (Elawad et al., 1982).

کلزا سومین محصول دانه روغنی مهم پس از نخل روغنی و سویا در جهان است (FAO, 2019). در ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های کلزا به شدت‌های مختلف تنش رطوبتی، عکس‌العمل‌های متفاوتی از نظر صفاتی مانند ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، عملکرد بیولوژیکی، تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و عملکرد مشاهده شد (Ul-Haq et al., 2014).

استفاده شد و به وسیله دیسک سبک، کود و علف‌کش با خاک مخلوط گردید. پس از عملیات کاشت مطابق نقشه آزمایش و سبز شدن و استقرار گیاهچه، عملیات داشت شامل کنترل احتمالی آفات به‌ویژه شته مومی با استفاده از سموم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) و اکتاین (۱ لیتر در هکتار) صورت گرفت.

مکعب در هکتار بود. زمان محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بعد از خروج از مرحله رزت طی دو مرحله با فاصله ۱۰ روز صورت گرفت. هر کرت آزمایشی شامل شش خط شش متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی خط چهار سانتی‌متر بود که دو خط کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد.

به‌منظور کنترل علف‌های هرز، از علف‌کش ترفلان به میزان (۲/۵ لیتر در هکتار به طور یکنواخت در سطح مزرعه



شکل ۱. تغییرات میانگین دما و بارندگی ایستگاه هواشناسی منطقه کرج (سال‌های زراعی ۹۷-۹۵)

Fig. 1. Variation of average temperature and rainfall in Karaj weather station during 2016-2018 growing seasons

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در طول فصل رشد (۹۷-۹۵)

Table 1. Physical and Chemical properties of soil in 0-30 and 30-60 cm depth at experimental site during the growing season 2016-2018

عمق خاک	Soil depth(cm)	0 - 30	30 - 60	عمق خاک	Soil depth(cm)	0 - 30	30 - 60
اسیدیته کل اشباع	pH of paste	7.8	8	منگنز قابل جذب	Mn (ppm)	4.02	4.34
هدایت الکتریکی خاک	EC (dS.m ⁻¹)	4.05	1.13	روی قابل جذب	Zn (ppm)	0.5	1
کربن آلی	O.C (%)	0.46	0.46	مس قابل جذب	Cu (ppm)	0.6	0.7
فسفر قابل جذب	P (ppm)	12.6	14.7	درصد رس	Clay (%)	24	24
پتاسیم قابل جذب	K (ppm)	198	164	درصد سیلت	Silt (%)	36	38
آهن قابل جذب	Fe (ppm)	1.82	1.90	درصد شن	Sand (%)	40	38
درصد نیتروژن کل	Total nitrogen (%)	0.09	0.09	بافت خاک	Soil Texture	L	L

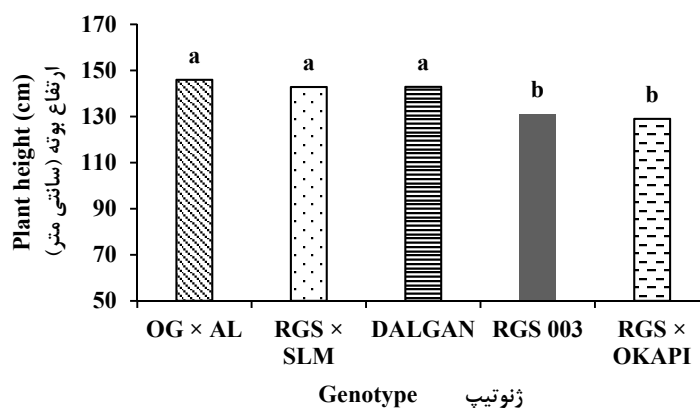
تعیین تعداد دانه در خورجین به‌طور تصادفی انتخاب و این صفت در آن‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، پنج تکرار صدتایی از هر تیمار جدا و پس از توزین با ترازوی دقیق میانگین آن‌ها به عنوان وزن هزار دانه هر کرت بر حسب گرم تعیین شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی، پس از

به‌منظور تعیین صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته 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

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر ساده ژنوتیپ در سطح پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ بر ارتفاع بوته نشان داد که ژنوتیپ‌های $OG \times AL$ ، $RGS \times SLM$ و رقم DALGAN به ترتیب با میانگین ۱۴۵/۹۶، ۱۴۲/۸۵ و ۱۴۲/۹ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را به خود اختصاص دادند که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. ژنوتیپ‌های RGS003 و $RGS \times OKAPI$ به ترتیب با میانگین ۱۳۱/۱۱ و ۱۲۸/۹۹ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را داشتند (شکل ۲). محققان برای صفت ارتفاع بوته تفاوت بین ارقام و گونه‌های کلزا را گزارش داده‌اند (Iqbal et al., 2008). داشتن بیشترین گل و خورجین در گل‌آذین ساقه مشخص‌کننده محور گل‌آذین بلندتر است. در مرحله پر شدن خورجین‌ها با ریزش برگ‌ها می‌توان گفت فتوسنتز فقط از طریق خورجین و ساقه صورت می‌گیرد و هرچه ارتفاع بوته بلندتر باشد سطح فتوسنتزی و تولید مواد متابولیکی بیشتر خواهد بود (Norton et al., 1991). شاید بتوان برتری عملکرد این سه ژنوتیپ را با این صفت در ارتباط دانست.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ بر ارتفاع بوته. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 2. Mean comparison of simple effect of genotype on Plant height. (Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% level, according to LSD tes

دو سطح آبیاری در سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم وجود داشت (جدول ۲)، به‌طوری‌که در آبیاری معمول در بین سطوح محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های $OG \times AL$

تعداد شاخه در بوته

در این آزمایش اگرچه اثرات آبیاری، محلول‌پاشی و ژنوتیپ بر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار نبود اما در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی، تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد شاخه در بوته در

محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های OG×AL، RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با میانگین ۱۱۷/۶، ۱۱۳/۴ و ۱۰۸/۸ عدد و در شرایط محلول‌پاشی RGS×SLM، DALGAN و OG×AL به ترتیب با میانگین ۱۳۴/۵، ۱۳۲/۱ و ۱۲۷/۵ عدد بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند (جدول ۵). نتایج آزمایش نشان می‌دهد که محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش خشکی بر صفت تعداد خورجین در بوته موثر می‌باشد. تعداد خورجین در بوته، حساس‌ترین صفت در اجزای عملکرد است (Ghobadi et al., 2006). مطالعات محققان نشان می‌دهد که محلول‌پاشی سیلیکون در شرایط تنش خشکی بر صفت تعداد خورجین در بوته به طور قابل توجهی موثر بوده که با نتایج تحقیق ما مطابقت دارد (Fani et al., 2019). تنش خشکی با کاهش تعداد خورجین در بوته باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Shirani Rad et al., 2014; Ma et al., 2006).

تعداد دانه در خورجین

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال بر صفت تعداد دانه در خورجین در سطح پنج درصد و اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ نیز بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد دانه در خورجین در سال دوم نسبت به سال اول ۱۵/۶۱ درصد افزایش داشت (جدول ۳). در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد دانه در خورجین در دو سطح آبیاری در سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم مشاهده شد، به طوری که در آبیاری معمول در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ OG×AL با میانگین ۲۰/۹۸ عدد بیشترین و ژنوتیپ RGS×OKAPI با میانگین ۱۸/۱۸ عدد کمترین تعداد دانه در خورجین را داشتند. در شرایط محلول‌پاشی OG×AL با میانگین ۲۳/۳۰ عدد بیشترین و RGS003 با میانگین ۱۹/۷۶ عدد کمترین تعداد دانه در خورجین را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ OG×AL با میانگین ۱۸/۵۸ عدد و در شرایط محلول‌پاشی RGS×SLM با میانگین ۲۰/۹۶ عدد بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند (جدول ۵). تنش خشکی موجب کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی و کاهش تعداد دانه در خورجین می‌شود (Fayaz et al., 2007)، از طرفی کاربرد سیلیکات پتاسیم به دلیل رسوب در

DALGAN و RGS×SLM به ترتیب با میانگین ۷/۰۶، ۶/۸۵ و ۶/۶۱ عدد و در شرایط محلول‌پاشی OG×AL با میانگین ۷/۹۴ عدد بیشترین تعداد شاخه در بوته را به خود اختصاص دادند. در قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های OG×AL، RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با میانگین ۴/۹۳، ۴/۷۸ و ۴/۶۳ عدد و در شرایط محلول‌پاشی RGS×SLM، DALGAN به ترتیب با میانگین ۵/۴۹ و ۵/۳۷ عدد بیشترین تعداد شاخه در بوته را داشتند (جدول ۵). بررسی‌ها نشان می‌دهد که سیلیکون منجر به افزایش تعداد شاخه و برگ در گیاه می‌شود (Datnoff et al., 1991; Amin et al., 2016; Zamani et al., 2017) و تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه همبستگی مثبتی با عملکرد دانه دارد (Sadagut et al., 2003). اثرات مثبت سیلیکون در شرایط تنش خشکی در برخی محصولات زراعی مانند گوجه‌فرنگی (Romero-Aranda et al., 2006; Marodin et al., 2014)، خیار (Hattori et al., 2008)، لفل (Lobato et al., 2009) و سیب‌زمینی (Pilon et al., 2013; 2014) با بهبود پارامترهای رشد، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل، تجمع مواد مغذی و اجزای عملکرد مشاهده شده است. می‌توان گفت تنش خشکی در مرحله توسعه خورجین‌ها بر تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های زایشی و رویشی به علت رقابت بین اندام‌ها در جذب مواد فتوسنتزی اثر می‌گذارد (Sinaki et al., 2007) و شاید سیلیکات پتاسیم باعث بهبود این روند می‌گردد.

تعداد خورجین در بوته

اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ نیز بر صفات تعداد خورجین در بوته سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد خورجین در بوته در دو سطح آبیاری در سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم وجود داشت، به طوری که در آبیاری معمول در بین سطوح محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های OG×AL، DALGAN و RGS×SLM به ترتیب با میانگین ۱۴۶/۸، ۱۴۰/۹ و ۱۳۴/۹ عدد و در شرایط کاربرد محلول‌پاشی OG×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

برگ، به بهبود قدرت مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی کمک می‌کند. محلول پاشی سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش 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 (Bybordi, 2016).

جدول ۲. نتایج تجزیه مرکب برخی صفات مورد بررسی کلزا

Table 2. Combined analysis of some of the studied traits in canola genotypes

S. O. V	منابع تغییرات	df	تعداد شاخه	تعداد خورجین	طول	تعداد دانه	
			در بوته	در بوته	خورجین	در خورجین	
			Branch	Silique	Silique	Seed	
			Number/plant	number/plant	length	number/silique	
Year (Y)	سال	1	5006.50 ^{ns}	6.72 ^{ns}	4907.01 ^{ns}	53.02*	312.50*
Rep/Year	سال × تکرار	4	73.40	1.31	743.34	0.74	9.37
Irrigation (I)	آبیاری	1	20816.5 ^{ns}	123.50 ^{ns}	20434.21 ^{ns}	72.3 ^{ns}	158.50 ^{ns}
Y*I	سال × آبیاری	1	6.58 ^{ns}	0.21 ^{ns}	315.12 ^{ns}	0.45 ^{ns}	5.48*
Potassium silicate (SK)	سیلیکات پتاسیم	1	5361.37 ^{ns}	7.66 ^{ns}	8146.39 ^{ns}	6.13 ^{ns}	51.89 ^{ns}
Y*SK	سال × سیلیکات پتاسیم	1	49.54 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	10.31 ^{ns}	0.37 ^{ns}	5.23 ^{ns}
I*SK	آبیاری × سیلیکات پتاسیم	1	810.68 ^{ns}	0.126 ^{ns}	64.50 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Y*I*SK	سال × آبیاری × سیلیکات پتاسیم	1	13.27 ^{ns}	0.0660 ^{ns}	6.70 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.07 ^{ns}
Error (a)	خطای (الف)	12	58.85	0.440	98.829	0.60	3.30
Genotype (G)	ژنوتیپ	4	1432.70*	10.10 ^{ns}	7621.74 ^{ns}	5.42 ^{ns}	39.61 ^{ns}
Y*G	سال × ژنوتیپ	4	0.196 ^{ns}	0.022 ^{ns}	2.56 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.20 ^{ns}
I*G	آبیاری × ژنوتیپ	4	113.92 ^{ns}	0.820 ^{ns}	308.22 ^{ns}	0.95 ^{ns}	8.56 ^{ns}
Y*I*G	سال × آبیاری × ژنوتیپ	4	3.48 ^{ns}	0.180*	6.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.05 ^{ns}
SK*G	سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	17.35 ^{ns}	0.013 ^{ns}	5.09 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.354 ^{ns}
Y*SK*G	سال × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	5.47 ^{ns}	0.026 ^{ns}	6.13 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.007 ^{ns}
I*SK*G	آبیاری × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	8.80 ^{ns}	0.590**	249.01*	0.87*	8.536**
	سال × آبیاری × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	7.02 ^{ns}	0.026 ^{ns}	16.59 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.022 ^{ns}
Error b	خطای (ب)	64	45.12	0.31	87.66	0.31	2.15
CV (%)	ضریب تغییرات (%)		4.85	10.10	7.61	9.33	7.65

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S. O. V	منابع تغییرات	df	وزن هزار دانه	عملکرد	شاخص	درصد	عملکرد
			1000 seed weight	بیولوژیکی Biological Yield	عملکرد دانه Seed Yield	برداشت Harvest index	روغن Oil content
Year (Y)	سال	1	31.21 ^{ns}	191327031 ^{ns}	18711791.6*	17.63 ^{ns}	4414085 ^{ns}
Rep/Year	سال × تکرار	4	0.30	1339020	327504.42	14.12	69865
Irrigation (I)	آبیاری	1	7.10 ^{ns}	643699128 ^{ns}	58074183.8*	30.22 ^{ns}	1292779 ^{ns}
Y*I	سال × آبیاری	1	3.61**	310553 ^{ns}	205664.4 ^{ns}	1.273 ^{ns}	102258 ^{ns}
Potassium silicate (SK)	سیلیکات پتاسیم	1	2.028 ^{ns}	37154300 ^{ns}	3432943.2 ^{ns}	1.336 ^{ns}	701505 ^{ns}
Y*SK	سال × سیلیکات پتاسیم	1	0.227 ^{ns}	44603 ^{ns}	33.66 ^{ns}	0.492 ^{ns}	8653 ^{ns}
I*SK	آبیاری × سیلیکات پتاسیم	1	0.01 ^{ns}	6881.10 ^{ns}	5689.9 ^{ns}	0.905 ^{ns}	10849 ^{ns}
Y*I*SK	سال × آبیاری × سیلیکات پتاسیم	1	0.006 ^{ns}	844.7 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.069 ^{ns}	5214 ^{ns}
Error (a)	خطای (الف)	12	0.12	1299226	215811.48	18.007	56345
Genotype (G)	ژنوتیپ	4	2.31 ^{ns}	45206376 ^{ns}	4175301 ^{ns}	4.709 ^{ns}	892068 ^{ns}
Y*G	سال × ژنوتیپ	4	0.16 ^{ns}	317988.9 ^{ns}	4756.46 ^{ns}	1.192 ^{ns}	9841 ^{ns}
I*G	آبیاری × ژنوتیپ	4	0.47 ^{ns}	3511164.3 ^{ns}	923607.6 ^{ns}	12.521*	403542 ^{ns}
Y*I*G	سال × آبیاری × ژنوتیپ	4	0.06**	230056.40 ^{ns}	3717.8 ^{ns}	1.855 ^{ns}	6440 ^{ns}
SK*G	سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	0.009 ^{ns}	47793.90 ^{ns}	7039.97 ^{ns}	0.487 ^{ns}	14674 ^{ns}
Y*SK*G	سال × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	0.004 ^{ns}	114665.40 ^{ns}	4242.45 ^{ns}	1.068 ^{ns}	5577 ^{ns}
I*SK*G	آبیاری × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	0.284**	3589873**	425045.6**	1.018 ^{ns}	259961**
Y*I*SK*G	سال × آبیاری × سیلیکات پتاسیم × ژنوتیپ	4	0.002 ^{ns}	39726.50 ^{ns}	1925.1 ^{ns}	0.375 ^{ns}	8524.48 ^{ns}
Error b	خطای (ب)	64	0.09	1010563	148325	7.57	34864
CV (%)	ضریب تغییرات (%)		8.83	6.76	11.68	10.22	4.55

*, **, ns به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌دار

*, **, ns Represents a significance at a probability level of 5% and 1%, respectively, and ns; Non-significant

طول خورجین

خورجین در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طول خورجین در سال دوم نسبت به سال اول ۲۰ درصد افزایش داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر طول خورجین در دو

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال بر صفت طول خورجین در سطح پنج درصد و اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ نیز بر طول

محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم مشاهده شد، به طوری که در آبیاری معمول در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های RGS003، RGS×SLM، DALGAN، OG×AL و RGS×OKAPI به ترتیب با میانگین‌های ۳/۸۲، ۳/۹۲، ۳/۷۶ و ۳/۴۴ گرم و در شرایط کاربرد محلول‌پاشی RGS003، RGS×SLM، DALGAN، OG×AL و RGS×OKAPI به ترتیب با میانگین‌های ۴/۳۶، ۳/۸۱، ۳/۷۸ و ۳/۶۵ گرم بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های OG×AL و RGS×SLM با میانگین‌های ۳/۴۸ و ۳/۴۰ گرم و در شرایط محلول‌پاشی RGS×SLM و DALGAN با میانگین‌های ۳/۹۶ و ۳/۷۷ گرم بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث افزایش وزن هزار دانه گردیده که این افزایش بیشتر به جایگزینی این عنصر در پوشینه می‌باشد (Balastira et al., 1989). طی بررسی‌های صورت گرفته گزارش شد که تحت تنش خشکی، کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث کاهش کمتر وزن سنبله گندم گردید (Gong et al., 2003). سیلیکات پتاسیم با افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه جذب نور، فتوسنتز را بهبود داده و در دوران رسیدگی منجر به تسریع و تقویت انتقال مواد حاصل از فتوسنتز به اندام‌های زایشی شده است (Liang et al., 2007)، در واقع محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم با جبران کاهش آسیمیلات ناشی از تنش سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. کاربرد سیلیکون به دلیل بهبود اجزای عملکرد منجر به باعث افزایش عملکرد شد که در مطالعات زیادی نیز به آن اشاره شده است (White et al., 2017; Hanafy Ahmed et al., 2008; Amin et al., 2016; Kalandyk et al., 2014; Artyszak and Kucin'ska., 2016; Gugala et al., 2017).

سطح آبیاری در سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم مشاهده شد، به طوری که در آبیاری معمول در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ‌های OG×AL، DALGAN، RGS×SLM و RGS×OKAPI به ترتیب با میانگین‌های ۷/۰۲، ۶/۷۵، ۶/۱۱ و ۵/۹۹ سانتی‌متر و در شرایط کاربرد محلول‌پاشی OG×AL، DALGAN، RGS×SLM و RGS×OKAPI به ترتیب با میانگین‌های ۷/۷۹، ۶/۹۷، ۶/۸۳ و ۶/۶۵ سانتی‌متر بیشترین طول خورجین را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد در شرایط عدم محلول‌پاشی، ژنوتیپ OG×AL با میانگین ۵/۳۹ سانتی‌متر و در شرایط محلول‌پاشی RGS×SLM و DALGAN با میانگین‌های ۶/۲۳ و ۶/۱۰ سانتی‌متر بیشترین طول را به خود اختصاص دادند. کاهش طول خورجین به دلیل کاهش منابع ذخیره‌ای و تولید مواد فتوسنتزی در گیاه تحت تنش رخ می‌دهد که از طریق کاهش رشد گره‌ها، منجر به کاهش طول خورجین می‌گردد. خورجین یک سطح فتوسنتزی فعال بوده که در تثبیت مجدد کربن حاصل از تنفس خود و انتقال آن به دانه در حال رشد نقش دارد (Ma et al., 2001). اعمال تنش خشکی منجر به کاهش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به خورجین‌ها شده که طول آن‌ها را تحت تأثیر قرار داده و نهایتاً عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Seyed Ahmadi et al., 2015).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ نیز بر صفت وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه در دو سطح آبیاری در سطوح مختلف

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر سال بر صفات مورد بررسی در کلزا

Table 3. Mean comparison of year effect on characteristics in canola

Year	سال	طول خورجین Silique length	تعداد دانه در خورجین Seed number/silique	عملکرد دانه Seed Yield (kg/ha)
First Year	سال اول	5.3227 ^b	17.5855 ^b	3617 ^b
Second Year	سال دوم	6.6522 ^a	20.8130 ^a	4406.7 ^a

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند

At each column, mean with similar alphabet show no significant difference

عملکرد بیولوژیکی

در این آزمایش تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ نیز بر عملکرد بیولوژیکی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). ژنوتیپ‌های موردبررسی تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد بیولوژیکی در تیمارهای محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم در دو سطح آبیاری داشتند. در آبیاری معمول بدون محلول‌پاشی ژنوتیپ‌های OG×AL و DALGAN به ترتیب با عملکرد بیولوژیکی ۱۸۰۱۶ و ۱۷۶۲۰ کیلوگرم در هکتار و در تیمار محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم ژنوتیپ OG×AL با عملکرد بیولوژیکی ۱۹۷۸۷ کیلوگرم در هکتار برترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۵). به علاوه در شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی در شرایط بدون محلول‌پاشی ژنوتیپ OG×AL با عملکرد بیولوژیکی ۱۳۳۰۱ کیلوگرم در هکتار و در تیمار کاربرد محلول سیلیکات‌پتاسیم ژنوتیپ‌های RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با ۱۴۹۴۷ و ۱۹۴۳۷ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد بیولوژیکی را داشتند (جدول ۵). از مراحل حساس در کلزا، مراحل گلدهی و نمو خورجین‌ها می‌باشد که تنش در این مراحل به دلیل تأثیر بر میزان جذب آسمیلات‌ها موجب کاهش عملکرد می‌شود. کاربرد سیلیکون منعکس‌کننده افزایش سطح برگ و وزن خشک بود (Abd El-Gawad et al., 2017; Kaya et al., 2006). سیلیکون بر رشد رویشی را می‌توان به علت فعال کردن سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی یا از طریق محافظت از رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی موجود در گیاه تحت تأثیر تنش نسبت داد (Ashraf et al., 2010).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال بر عملکرد دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر تیمار آبیاری بر صفت عملکرد دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثرات سه‌گانه برهمکنش آبیاری، محلول‌پاشی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). عملکرد دانه در سال دوم ۱۸ درصد بیشتر از سال اول بود (جدول ۳). بالاترین میزان عملکرد دانه در آبیاری معمول، بدون محلول‌پاشی به ژنوتیپ OG×AL با عملکرد دانه ۵۰۸۷ کیلوگرم در هکتار و در تیمار محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم به ژنوتیپ OG×AL با عملکرد دانه ۵۶۲۰ کیلوگرم در هکتار

تعلق داشت که ۹/۴ درصد افزایش داشت (جدول ۵). در شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی در شرایط بدون محلول‌پاشی ژنوتیپ‌های OG×AL، RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با عملکرد دانه ۳۵۰۶، ۳۴۶۴ و ۳۳۸۸ کیلوگرم در هکتار و در تیمار کاربرد محلول سیلیکات‌پتاسیم ژنوتیپ‌های RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با ۴۱۲۴ و ۴۰۱۷ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را داشتند که به ترتیب ۱۶ و ۱۵/۶۵ درصد افزایش عملکرد نسبت به شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی در شرایط بدون محلول‌پاشی را احراز کرد (جدول ۵). نتایج مشابه در پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از تأثیر مثبت سیلیکات‌پتاسیم بر رشد و عملکرد دانه در گونه‌های مختلف می‌باشد (Ma and Yamaji, 2008; Amin et al., 2016; Kalandyk et al., 2014; Artyszak and Kucin'ska., 2016; Gugala et al., 2017).

شاخص برداشت

شاخص برداشت مشخصه‌ای برای تخصیص مواد فتوسنتزی تولیدشده در گیاه به دانه است. اثرات متقابل دوگانه آبیاری، ژنوتیپ بر صفت شاخص برداشت در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

میزان شاخص برداشت در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی در شرایط آبیاری معمول با اینکه در یک گروه آماری قرار داشتند اما بیشترین شاخص به ژنوتیپ OG×AL با میانگین ۲۸/۳۹ درصد اختصاص یافت و در شرایط قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد ژنوتیپ RGS×SLM و رقم DALGAN به ترتیب با میانگین ۲۶/۱۶ و ۲۷/۴۹ درصد بیشترین سطح شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). محققین ادعان داشتند ارقامی که شاخص برداشت بالاتری داشتند در شرایط تنش سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به دانه اختصاص داده و در نتیجه عملکرد بالاتری را خواهند داشت (Valdiani et al., 2003).

درصد روغن

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات سه‌گانه برهمکنش آبیاری، محلول‌پاشی و ژنوتیپ بر درصد روغن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در آبیاری معمول، در بین سطوح مختلف محلول‌پاشی بیشترین درصد روغن در تیمار کاربرد سیلیکات‌پتاسیم در ارقام

۵). تنش خشکی همچنین می‌تواند بر ترکیب روغن بذر تأثیر بگذارد و باعث کاهش درصد روغن شود که برای کیفیت و عملکرد روغن مضر است که به دلیل کاهش فتوسنتز و انتقال مجدد مواد می‌باشد (Shirani Rad and Zandi, 2012; Zahedi et al., 2009).

RGS×OKAPI و RGS×SLM مشاهده شد (جدول ۵). در شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی در شرایط محلول‌پاشی بیشترین میانگین درصد روغن به ژنوتیپ‌های RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با ۴۷/۱۳ و ۴۶/۹۶ درصد تعلق گرفت که در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه آبیاری، ژنوتیپ بر صفات موردبررسی در ژنوتیپ‌های کلزا

آبیاری Irrigation	ژنوتیپ Genotype	شاخص برداشت Harvest index
شاهد Control	OG × AL	28.39 ^a
	RGS × SLM	26.95 ^a
	DALGAN	26.88 ^a
	RGS 003	27.39 ^a
	RGS × OKAPI	27.42 ^a
LSD (0.05)		1.9255
قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد Withholding irrigation from silique formation	OG × AL	26.16 ^a
	RGS × SLM	27.49 ^a
	DALGAN	27.48 ^a
	RGS 003	25.61 ^a
	RGS × OKAPI	25.27 ^a
LSD (0.05)		2.3957

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند

In each column, mean with similar alphabet show no significant differences

۱۸۸۵/۷ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد روغن را داشتند (جدول ۵). در این آزمایش سیلیکات پتاسیم اثر مثبت و معنی‌داری را در شرایط تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش اعمال کرد که با نتایج تحقیقات دیگران مطابقت داشت (Fani et al., 2019). نتایج آن‌ها نشان داد که محلول‌پاشی سیلیکون باعث افزایش توانایی ارقام کلزا در پاسخ به تنش خشکی با افزایش ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکردی شد. تنش خشکی که در دوره‌های حساس تشکیل و پر شدن دانه رخ می‌دهد باعث کاهش کمیت و کیفیت روغن دانه می‌گردد (Maleki et al., 2013) و همچنین محققین دیگر دریافته‌اند که خشکی یکی از عوامل محدودکننده است که به طور قابل توجهی بر پارامترهای کیفیت کلزا تأثیر دارد. شرایط کمبود آب به‌طور معنی‌داری بر میزان روغن و عملکرد روغن و همچنین عملکرد پروتئین بذر کلزا تأثیر می‌گذارد (EL Sabagh et al. 2015; EL Sabagh et al. 2016).

عملکرد روغن

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات سه‌گانه برهمکنش آبیاری، محلول‌پاشی و ژنوتیپ بر عملکرد روغن در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). ژنوتیپ‌های موردبررسی تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد روغن در تیمارهای محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم در دو سطح آبیاری داشتند. در آبیاری معمول بدون محلول‌پاشی ژنوتیپ‌های OG×AL با عملکرد روغن ۲۳۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار و در تیمار محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ژنوتیپ OG×AL با عملکرد روغن ۲۵۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار برترین ژنوتیپ بود (جدول ۵). به علاوه در شرایط قطع آبیاری بعد از خورجین‌دهی در شرایط بدون محلول‌پاشی ژنوتیپ OG×AL، RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با عملکرد روغن ۱۵۴۷/۲، ۱۵۲۴/۲ و ۱۴۸۵/۷ کیلوگرم در هکتار و در تیمار کاربرد محلول سیلیکات‌پتاسیم ژنوتیپ‌های RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با ۱۹۴۴/۷ و

نتیجه‌گیری نهایی

کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۲۵۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار) به ژنوتیپ OG×AL تعلق داشت. همچنین در صورت کاربرد سیلیکات پتاسیم و تنش خشکی آخر فصل، ژنوتیپ‌های RGS×SLM و DALGAN به ترتیب با ۴۱۲۴ و ۴۰۱۷ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را داشتند. 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.

بر اساس نتایج به دست آمده تنش خشکی آخر فصل و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم اکثر صفات موردبررسی را تحت تأثیر قرار داد. اعمال تنش بر روی عملکرد و اجزای آن تأثیرگذار بود که نشان‌دهنده واکنش یکسان ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده، کاربرد سیلیکات پتاسیم و آبیاری معمولی، بیشترین میزان عملکرد دانه (۵۶۲۰ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیکی (۱۹۷۸۷

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ژنوتیپ بر صفات موردبررسی در ژنوتیپ‌های کلزا
Table 5. Mean Comparison of irrigation, foliar application of Potassium silicate and genotype triple interaction on characteristics of canola genotypes

آبیاری Irrigation	محللول پاشی سیلیکات پتاسیم foliar application of Potassium silicate	ژنوتیپ Genotype	تعداد خورجین		تعداد دانه در	
			تعداد شاخه در بوته Branche Number/plant	تعداد خورجین در بوته Silique number/plant	طول خورجین Seed Number/silique	طول خورجین Silique length
شاهد Control	0 g.liter ⁻¹	OG×AL	7.066 ^a	146.802 ^a	20.983 ^a	7.0283 ^a
		RGS × SLM	6.616 ^a	134.938 ^a	20.117 ^{ab}	6.7533 ^a
		DALGAN	6.851 ^a	140.975 ^a	20.617 ^{ab}	6.9167 ^a
		RGS 003	5.593 ^b	108.112 ^b	18.550 ^{ab}	5.9950 ^a
		RGS × OKAPI	5.466 ^b	103.958 ^b	18.183 ^b	6.1117 ^a
	LSD (0.05)		0.6643	15.471	2.6803	1.1433
	4 g.liter ⁻¹	OG × AL	7.9483 ^a	170.713 ^a	23.300 ^a	7.7983 ^a
		RGS × SLM	6.7817 ^{bc}	147.205 ^b	20.535 ^{ab}	6.8367 ^a
		DALGAN	7.17 ^b	152.892 ^b	20.933 ^{ab}	6.9733 ^a
		RGS 003	6.19 ^c	126.050 ^c	19.767 ^b	6.5683 ^a
RGS × OKAPI		6.3567 ^c	127.650 ^c	20.500 ^{ab}	6.6533 ^a	
LSD (0.05)		0.7499	16.536	3.3176	1.235	
قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد	0 g.liter ⁻¹	OG × AL	4.93 ^a	117.643 ^a	18.583 ^a	5.3967 ^a
		RGS × SLM	4.78 ^a	113.460 ^a	18.200 ^{ab}	5.2650 ^{ab}
		DALGAN	4.638 ^a	108.825 ^a	17.883 ^{ab}	5.1367 ^{ab}
		RGS 003	3.795 ^b	87.977 ^b	16.250 ^b	4.56 ^{ab}
		RGS × OKAPI	3.631 ^b	83.718 ^b	16.050 ^b	4.45 ^b
LSD (0.05)		0.7237	12.236	2.1878	0.906	
Withholding irrigation from silique formation	4 g.liter ⁻¹	OG × AL	4.9983 ^{ab}	127.532 ^a	18.800 ^{ab}	5.5117 ^{ab}
		RGS × SLM	5.4933 ^a	134.503 ^a	20.967 ^a	6.2350 ^a
		DALGAN	5.3750 ^a	132.192 ^a	20.533 ^{ab}	6.1083 ^a
		RGS 003	4.3150 ^{bc}	101.983 ^b	17.583 ^{bc}	5.0183 ^{bc}
		RGS × OKAPI	3.7950 ^c	90.475 ^c	15.650 ^c	4.4321 ^c
LSD (0.05)		0.7669	11.399	3.0772	1.0733	

Table 5. Continued

جدول ۵. ادامه

آبیاری Irrigation	محلول پاشی سیلیکات پتاسیم foliar application of Potassium silicate	ژنوتیپ Genotype	وزن هزار دانه 1000 seed weight g	عملکرد			
				بیولوژیکی Biological Yield kg/ha	عملکرد دانه Seed Yield kg/ha	درصد روغن Oil content (%)	عملکرد روغن Oil yield kg/ha
شاهد Control	0 g.liter ⁻¹	OG × AL	3.9200 ^a	18016.1 ^a	5086.7 ^a	45.4250 ^a	2311.5 ^a
		RGS × SLM	3.7650 ^a	17262.4 ^{ab}	4681.5 ^{ab}	45.1433 ^a	2110.7 ^{ab}
		DALGAN	3.8217 ^a	17620.8 ^a	4725.3 ^{ab}	45.3267 ^a	2143.2 ^{ab}
		RGS 003	3.4417 ^a	15260.2 ^{bc}	4179.8 ^b	44.6100 ^a	1863.5 ^b
		RGS × OKAPI	3.3467 ^a	14940.7 ^c	4053.0 ^b	44.5033 ^a	1803.2 ^b
	LSD (0.05)		0.9796	2050.4	752.13	1.5784	344.1
	4 g.liter ⁻¹	OG × AL	4.3650 ^a	19787 ^a	5620.3 ^a	44.785 ^{ab}	2520.7 ^a
		RGS × SLM	3.8167 ^a	17666 ^{ab}	4731.8 ^b	43.317 ^b	2052.5 ^b
		DALGAN	3.8783 ^a	17932 ^{ab}	4832.2 ^b	43.485 ^{ab}	2097 ^b
		RGS 003	3.6583 ^a	16484 ^b	4527 ^b	44.970 ^{ab}	2039.2 ^b
RGS × OKAPI		3.7833 ^a	16720 ^b	4637.5 ^b	47.213 ^a	2192.7 ^{ab}	
LSD (0.05)		1.0322	2157.2	741.73	3.8301	420.24	
قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد	0 g.liter ⁻¹	OG × AL	3.4883 ^a	13301.3 ^a	3506.5 ^a	44.0583 ^a	1547.2 ^a
		RGS × SLM	3.4050 ^a	12823.1 ^{ab}	3464.3 ^a	43.9217 ^a	1524.2 ^a
		DALGAN	3.2900 ^{ab}	12521.8 ^{ab}	3388.7 ^a	43.7083 ^a	1485.7 ^a
		RGS 003	2.8350 ^{bc}	10919.1 ^{bc}	2732.8 ^b	43.0800 ^a	1178.0 ^b
		RGS × OKAPI	2.7517 ^c	10298.4 ^c	2608.5 ^b	42.9017 ^a	1120.3 ^b
LSD (0.05)		0.5355	1963	602.08	1.5001	289.24	
Withholding irrigation from silique formation	4 g.liter ⁻¹	OG × AL	3.6033 ^{ab}	13700.7 ^{ab}	3532.0 ^{ab}	41.5933 ^c	1467.7 ^b
		RGS × SLM	3.9683 ^a	14947.1 ^a	4124.2 ^a	47.1300 ^a	1944.7 ^a
		DALGAN	3.7700 ^a	14437.5 ^a	4017.8 ^a	46.9667 ^a	1885.7 ^a
		RGS 003	3.0967 ^{bc}	11761.6 ^{bc}	3078.5 ^{bc}	43.4950 ^b	1341.2 ^{bc}
		RGS × OKAPI	2.7250 ^c	10657.0 ^c	2708.6 ^c	39.5800 ^d	1075.7 ^c
LSD (0.05)		0.642	2023.3	619.58	1.4955	283.29	

منابع

Abd El-Gawad, H.G., Nashwa, A.I.A., Hikal, M.S., 2017. Effect of potassium silicate on tuber yield and biochemical constituents of potato plants grown under drought stress conditions. Middle East Journal of Agriculture Research. 6, 718-731.

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.

Artyszak, A., Kucińska, K., 2016. Silicon nutrition and crop improvement: Recent advances and future perspective. In: Tripathi, D.K., Singh, V.P., Ahmad, P., Chauhan, D.K., Prasad, S.M. (eds.), Silicon in Plants; CRC Press: London, UK; New York, NY, USA. pp. 297-319.

Ashraf, M., Afzal, R.M., Ahmed, R., Mujeed, F., Sarwar, A., Ali, L., 2010. Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Plant and Soil. 326(1), 381-391.

Balasta, M.L.F., Perez, C.M., Juliano, B.O., Villareal, C.P., Lott, J.N., Roxas, D.B., 1989. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. Canadian Journal of Botany. 67(8), 2356-2363.

Bybordi. A., 2014. Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt

- tolerance of wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 13(9), 1889-1899.
- 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.
- Cooke, J., Leishman, M.R., 2016. Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition: a meta-analysis. *Functional Ecology*. 30, 1340-1357.
- Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndorfer, G.H., 2001. *Silicon in Agriculture*. Elsevier, New York.
- Datnoff, L.E., Raid, R.N., Snyder, G.H., Jones, D.B., 1991. Effect of Calcium silicate on blast and brown spot intensities and yield of rice. *Plant Disease Journal*. 75, 729-732.
- Elawad, S.H., Gascho, G.J., Street, J.J., 1982. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. *Agronomy Journal*. 74(3), 481-484.
- EL Sabagh, A., Hossain, A., Islam, M.S., Barutçular, C., Ratnasekera, D., Kumar, N., Meena, R.S., Gharib, H.S., Saneoka, H., 2019. Teixeira da Silva, Salinity stress management for sustainable soybean production using foliar application of compatible antioxidants and soil application of organic fertilizers: a critical review. *Australian Journal of Crop Science*. 13, 228-236.
- El Sabagh, A., Sorour, S., Omar, A.E., Islam, M.S., Ueda, A., Saneoka, H., Barutçular, C., 2015. Soybean (*Glycine Max* L.) growth enhancement under water stress conditions. *International Conference on Chemical, Agricultural and Biological Sciences (CABS-2015)*. Sept. 4-5. Istanbul, Turkey. pp.144-148.
- EL Sabagh, A., Sorour, S., Morsi, A., Islam, M. S., Ueda, A., Barutçular, C., Arioglu, H., Saneoka, H., 2016. Role of OSP and compost application in improving water stress tolerance in soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Current Research*. 8, 25949-25954.
- Eneji, A.E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., 2008. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*. 31, 355-365.
- Epstein, E., Bloom, A., 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 52, 643-654.
- Etesamia, H., Jeong, B.R., 2018. Silicon (Si): review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 147, 881-896.
- Fani, E., Hassibi, P., Meskarbasheh, 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, 62-66.
- FAO., 2019. FAOSTAT. Rome, Italy: FAO, Statistics Division.
- Fayaz, F., Naderi Darbaghshahi, M.R., Shirani Rad, A.H., 2007. Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of advanced Rapeseed varieties at Esfahan region. *New Finding in Agriculture*. 1, 177-189 [In Persian with English summary].
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Hanafy Ahmed, A.H., Harb, E.M., Higazy, M.A., Morgan, S.H., 2008. Effect of silicon and boron foliar applications on wheat plants grown under saline soil conditions. *International Journal of Agricultural Research*. 3, 1-26.
- Hattori, T., Sonobe, K., Inanaga, S., An, P., Morita, S., 2008. Effects of silicon on photosynthesis of young cucumber seedlings

- under osmotic stress. *Journal of Plant Nutrition*. 31, 1046-1058. doi: 10.1080/01904160801928380.
- Ijaz, R., Ejaz, J., Gao, S., Liu, T., Imtiaz, M., Ye, Z., Wang, T., 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/s41598-017-11168-2.
- Iqbal, M., Akhtar, N., Zafar, S., Ali, I., 2008. Genotypic responses for yield and seed oil quality of two Brassica species under semi-arid environmental conditions. *South African Journal of Botany*. 74, 567-571.
- Jamil, M., Rehman, S., Rha, E.S., 2007. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 39, 753-760.
- Kalandyik, A., Waligorski, P., Dubert, F. 2014. Application of biostimulators in alleviation of effects of drought and other environmental stresses in common soybean (*Glycine max.* L. Merr.). *Episteme*. 22, 267-274.
- Kat. N., Owa, N., 1990. Dissolution mechanism of silicate slag fertilizers in paddy soils. *International congress of soil science*. 14. Kyoto. 4, 609-610.
- Kaya, C., Tuna, L., Higgs, D., 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water stress condition. *Journal of Plant Nutrition*. 29, 1469-1480.
- Kim, Y.H., Khan, A. L., Shinwari, Z.K., Kim, D.H., Waqas, M., Lee, I. J., 2012. Silicon treatment to rice (*Oryza sativa* L. cv 'gopumbyeo') plants during different growth periods and its effects on growth and grain yield. *Pakistan Journal of Botany*. 44, 891-897.
- Korndörfer, G.H., Lepsch, I. 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndörfer, G.H. (eds.), *Studies in Plant Science*. 8, 133-147. Elsevier.
- Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.G., Christie, P., 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants. a review. *Environmental Pollution*. 147, 422-428.
- Lobato, A.K.S., Coimbra, G.K., Neto, M.A.M., Costa, R.C.L., Filho, B.G.S., Neto, C.F.O., Luz, L.M., Barreto, A.G.T., Pereira, B.W.F., Alves, G.A.R., Monteiro, B.S., Marochio, C.A., 2009. Protective action of silicon on water relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit. *Research Journal of Biological Sciences*. 4, 617-623.
- Ma, J.F., Yamaji, N. 2008. Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 65(19), 3049-3057.
- Ma, Q., Bhaboudian, M.H., Turner, N.C., Palta, J.A., 2001. Gas exchange by pods and subtending leaves and internal recycling of CO₂ by pods of chickpea (*Cicer arietinum*. L) subjected to water deficits. *Journal of Experimental Botany*. 52, 123-131.
- Ma, C. C., Li, Q. F., Gao, Y. B., Xin, T. R., 2004. Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Science and Plant Nutrition*. 50,623-632. doi:10.1080/00380768.2004.10408520.
- Ma, J. F., Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*. 11(8), 392-397.
- Maleki, A., Naderi, A., Naseri, R., Fathi, A., Bahamin, S., Maleki, R., 2013. Physiological Performance of Soybean Cultivars under Drought Stress. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 2, 38-44.
- Marodin, J.C., Resende, J.T.V., Morales, R.G.F., Silva, M.L.S., Galvão, A.G., Zanin, D.S., 2014. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Horticultura Brasileira*. 32, 220-224.
- Neethirajan, S., Gordon, R., Wang, L., 2009. Potential of silica bodies (phytoliths) for nanotechnology. *Trends Biotechnology*. 27, 461-467.
- Nolla, A., de Faria, R.J., Korndörfer, G.H., da Silva, T.R.B., 2012. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 10, 269-272.
- Norton, G.P., Bilborrow, E., Shipway, P.A., 1991. Comparative physiology of divergent types of winter rapeseed. *Proceeding of GCIRC Congress*. pp. 578-582.
- Olle, M., 2014. The effect of Silicon on the organically grown cucumber transplants growth and quality. *Proceedings of 16th World Fertilizer Congress of CIEC*. Rio de Janeiro: CIEC. 90-92.

- Pei, Z.F., Ming, D.F., Liu, D., Wan, G.L., Geng, X.X., Gong, H.J., Zhou, W.J., 2010. Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) Seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*. 29, 106-115.
- Pilon, C., Soratto, R.P., Moreno, L.A., 2013. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. *Crop Science*. 53, 1605-1614.
- Pilon, C., Soratto, R.P., Broetto, F., Fernandes, A.M., 2014. Foliar or soil applications of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. *Crop Ecology and Physiology*. 106, 2325-2334.
- Romero-Aranda, M.R., Jurado, O., Cuartero, J., 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*. 163, 847-855.
- Sadagut, H.A., Nadeem Tahir, M.H., Hussain, M.T., 2003. Physiological aspect of drought tolerance in canola (*Brassica napus*). *International Journal of Agriculture and Biology*. 5, 611-614.
- Sarparast, R., 2002. Selection of advanced lines of Broad bean in Gorgan and Dezful. Abstract of the 7th Iranian congress of Agronomy and Plant Breeding. 174. [In Persian].
- 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 with English summary].
- Shirani Rad, A.H., Zandi, P., 2012. The effect of drought stress on qualitative and quantitative traits of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*. 99, 47-54.
- Sinaki, J.M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noormohamadi, G., Zarei, G., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2, 417-422.
- Tahir, M., Rahmatullah, A., Aziz, T., Ashraf, M., Kanwal, S., Maqsood M. A., 2006. Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*. 38, 1715-1722.
- Ul-Haq, T., Anser, A., Sajid, M.N., Maqbol, M.M., Ibrahim, M., 2014. Performance of canola cultivars under drought stress induced by restricted irrigation at different growth stages. *Soil and Environment*. 33, 43-50.
- Valdiani, A.R., Tajbakhsh, M., Zardashtee, M.R., 2003. Study of agronomic and productivity characters of oilseed rape cultivars at orumieh. *Agricultural Science*. 14, 31-43. [In Persian with English summary].
- Waraich, E.A., Ahmad, R., Ashraf, M.Y. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*. 5(6), 764.
- White, B., Tubana, B.S., Babu, T., Mascagni, H., Agostinho, F., Datnoff, L.E., Harrison, S., 2017. Effect of silicate slag application on wheat grown under two nitrogen rates. *Plants*. 6, 47.
- Yarnia, M., Arabifard, N., Rahimzadeh Khoei, F., Zandi, P., 2011. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivars. *African Journal of Biotechnology*. 10, 10914-10922.
- Zahedi, H., Noor Mohamadi, G.H., Shirani Rad, A.H., Habibi, D., Akbar, M., Boojar, M., 2009. The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. *World Applied Science Journal*. 7, 255-262.
- Zamani, G.R., Shaabani, J., Izanloo, A., 2017. Silicon effects on the growth and yield of chickpea under salinity stress. *International Journal of Agriculture and Biology*. 19, 1475-1482.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., Yu, J., 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*. 167, 527-33.