تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۹
۷۳۵-۷۴۷
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2205.1552

مقاله پژوهشی

بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه در ارقام کلزا (*Brassica napus* L.)

حسن زالی[1*]، طاهره حسنلو[2]، امید سفالیان[3]، علی اصغری[3]

۱. بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران
۲. بخش فیزیولوژی مولکولی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳. عضو هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۸

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب کلزا انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. در این طرح، تیمار آبیاری در کرت اصلی در سه سطح شامل تیمار شاهد (آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)، قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی و ۶ رقم کلزا که در کرت فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی بر محتوای اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید لینولئیک و اسید مریستیک معنی‌دار بود و برای سایر اسیدهای چرب و درصد روغن اثر تنش خشکی معنی‌دار نبود. بین ارقام موردبررسی، ازنظر درصد روغن دانه، درصد اسید استئاریک، اسید اولئیک و اسید لینولئیک تفاوت معنی‌داری وجود داشت که این موضوع نشان داد در بین ارقام کلزا ازنظر درصد روغن دانه و درصد اسیدهای چرب تنوع وجود دارد. فراوان‌ترین ترکیب اسیدهای چرب در این تحقیق مربوط به اسید چرب تک غیراشباع اسید اولئیک (۶۷/۹۶ درصد) و اسیدهای چرب چند غیراشباع، شامل اسید لینولئیک (۷/۲۱ درصد) و اسید لینولنیک (۸/۷۵ درصد) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد شده ولی تأثیر چندانی بر درصد روغن دانه نداشته است. بر اساس نتایج درصد کل اسیدهای چرب اشباع در هر دو شرایط قطع آبیاری (مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی) کاهش معنی‌داری را نشان داده است، اما تغییرات درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع در هر دو شرایط تنش معنی‌دار نبود. ولی درمجموع نسبت درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع به درصد کل اسیدهای چرب اشباع (TU/TS) افزایش معنی‌داری را نشان داد. بیش‌ترین مقدار اسید اولئیک، درصد روغن دانه و عملکرد روغن دانه در شرایط بدون‌تنش و تنش خشکی مربوط به رقم Lilian بود؛ بنابراین Lilian با عملکردی بیشتر از متوسط کل، رقمی مناسب در برنامه اصلاحی می‌تواند باشد.

واژه‌های کلیدی: **اسید اولئیک، اسید لینولئیک، پروفیل اسیدهای چرب، تنش خشکی**

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) با نام "Canola" جزء طبقه‌بندی خاصی از "Rapeseed" قرار می‌گیرد که دارای مقدار اسید اروسیک کم‌تر از ۲ درصد و میزان پایین گلوکوزینولات در کنجاله (کم‌تر از ۳۰ میکرومول در هر گرم ماده خشک کنجاله) و کیفیت روغن بالا است (Przybylski et al., 2005; Flakelar et al., 2015).

دانه کلزا حاوی ۴۶-۴۰ درصد روغن است و کیفیت روغن کلزا توسط ترکیب اسیدهای چرب آن مشخص می‌شود (Alander et al., 2007). روغن کلزا منبع غنی از اسیدهای چرب تک غیراشباع و چند غیراشباع است که از کیفیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار است (Mortazavian and Azizi-nia, 2014). از مهم‌ترین اسیدهای چرب کلزا می‌توان به

* نگارنده پاسخگو: حسن زالی. پست الکترونیک: hzali90@yahoo.com

اسید پالمیتیک (۱۶:۰)، اسید استئاریک (۱۸:۱)، اسید اولئیک (۱۸:۱)، اسید لینولئیک (۱۸:۲) و اسید لینولنیک (۱۸:۳) اشاره کرد. اکثریت روغن کلزا را اسیدهای چرب ۱۸ کربنه تشکیل می‌دهند. روغن کلزا به‌طور متوسط حاوی ۶۵-۵۵ درصد اسید اولئیک، ۲۰-۱۴ درصد اسید لینولئیک و ۸-۱۲ درصد اسید لینولنیک است (Somers et al., 1998).

اسید اولئیک به‌دلیل دارا بودن یک پیوند دوگانه دارای پایداری بیش‌تری در مقابل حرارت است و موجب افزایش دوام و عمر روغن می‌شود. اسید لینولنیک دارای سه باند دوگانه است و به‌راحتی اکسیدشده و درنتیجه پایداری و عمر روغن به‌شدت کاهش می‌یابد (Hu et al., 1999). تولید ارقام با مقادیر اندک اسید لینولئیک و اسید لینولنیک به‌طور غیرمستقیم باعث افزایش سطوح اسید اولئیک می‌شود و بدین ترتیب روغن حاصل نسبت به دما از پایداری بیش‌تری برخوردار خواهد بود (Somers et al., 2001).

تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب و درصد روغن دانه کلزا تأثیر دارد. قسمت بزرگی از جهان به‌طور روزافزون تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که رشد، متابولیسم و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bhati et al., 2013; Zali et al., 2015). در بسیاری از مناطق ایران، کلزا تحت شرایط دیم و کم‌آبی کشت می‌شود. تنش خشکی یکی از جدی‌ترین تهدیدها برای تولید کلزا در این مناطق است. چون ازیک‌طرف بارندگی‌ها دارای توزیع نامناسب هستند و از طرف دیگر قبل از کامل شدن رشد گیاه متوقف می‌شود؛ بنابراین در مراحل رشد رویشی و زایشی، گیاه تحت تأثیر تنش میانی و انتهایی دوره رشد قرار می‌گیرد (Ganjeali et al., 2011). مراحل گل‌دهی و تشکیل خورجین‌ها، یکی از حساس‌ترین زمان‌ها برای آبیاری در کلزا است که به خشکی بسیار حساس است (Qifuma et al., 2006; Sinaki et al., 2007; Zali et al., 2016).

توحیدی مقدم و همکاران (Tohidi-Moghadam et al., 2011) در بررسی اثر تنش خشکی در شش رقم کلزا بیان نمودند که تنش خشکی باعث کاهش درصد اسیدهای چرب اشباع روغن دانه (اسید آراشیدیک و اسید استئاریک) شد که علت آن را کوتاه شدن دوره رشد گیاه در شرایط تنش نسبت دادند. در بررسی واکنش ترکیب اسیدهای چرب دانه گونه‌های مختلف جنس براسیکا به تنش خشکی گزارش شده است که میزان اسید لینولئیک کاهش معنی‌داری در شرایط تنش یافته بود (Enjalbert et al., 2013). در تحقیقی دیگر گزارش شده است که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی کلزا، میزان اسید لینولئیک، اسید لینولنیک و اسید گادولئیک را به‌ترتیب ۱۶، ۷ و ۴ درصد در مقایسه با شرایط بدون‌تنش کاهش داده است. هم‌چنین بیان نمودند در شرایط تنش خشکی، نسبت درصد اسیدهای چرب اشباع به اسیدهای چرب غیراشباع در روغن دانه کلزا افزایش می‌یابد که احتمالاً دلیل آن تبدیل اسیدهای چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع بوده است (Tohidi-Moghadam et al., 2011). جباری و همکاران (Jabbari et al., 2017) بیان نمودند که قطع آبیاری در طی مراحل نموی سبب افزایش معنی‌دار اسید اولئیک در مقایسه با تیمار شاهد شد، درحالی‌که مقدار اسید لینولئیک کاهش چشمگیری یافت.

هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب کلزا و هم‌چنین بررسی واکنش ۶ رقم کلزا ازنظر کیفیت روغن به تیمارهای تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی بوده است.

مواد و روش‌ها

کشت مزرعه‌ای این آزمایش در مرکز تحقیقات و منابع طبیعی یزد در سال ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. این مرکز با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۳۰ متر از سطح دریا قرار دارد. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم رسی شنی، میزان هدایت الکتریکی ۳/۸۸ میلی‌موس بر سانتی‌متر و میانگین اسیدیته خاک حدود ۷/۸ بود. سایر نتایج حاصل از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ درج شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این طرح، تیمار آبیاری در کرت اصلی در سه سطح شامل تیمار شاهد (آبیاری به‌صورت نرمال بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و تنش خشکی از دو مرحله (قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد خورجین‌دهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک) و شش رقم کلزا (جدول ۳) در کرت فرعی قرار گرفتند.

جدول ۱. نتایج آزمون شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Chemical characteristics of soil at the experimental site

عمق نمونه‌برداری Depth of sampling	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	ازت کل Total nitrogen	فسفر قابل‌جذب Available phosphorus	پتاسیم قابل‌جذب Available potassium
(cm)	(ds/m)		(%)	----------(ppm)----------	
0-40	3.88	7.8	0.014	5.02	107.9

جدول ۲. نتایج آزمون فیزیکی خاک محل آزمایش

Table 2. Physical characteristics of soil at the experimental site

شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil texture	جرم مخصوص ظاهری Apparent specific gravity	ظرفیت زراعی FC	نقطه پژمردگی دائم PWP (%)
----------(%)----------				($g.cm^{-3}$)	----------(%)----------	
64.2	10.8	25	Sand-clay-loam	1.39	1.71	7.9

در هر کرت، دو خط کشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته از هم روی خط کشت شش سانتی‌متر و عمق کشت یک سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جداول ۱ و ۲) و توصیه کودی، در زمان کشت از کود فسفره (بر پایه ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات در هکتار) و پتاس (بر پایه ۱۰۰ کیلوگرم نیترات پتاسیم در هکتار) به‌صورت پیش-کاشت استفاده شد. هم‌چنین، یک‌سوم کود ازته موردنیاز (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت پیش‌کاشت و یک‌سوم دیگر در مرحله شروع ساقه‌رفتن و مابقی در مرحله شروع گل‌دهی به خاک اضافه شد.

جدول ۳. نام ارقام موردبررسی و منشأ آن‌ها

Table 3. Cultivars names and its origin

نام ارقام cultivars names	Type of cultivars	نوع ارقام	Origin	منشأ
SLM046	Open pollinated	آزادگرده‌افشان	Germany	آلمان
Tassilo	Hybride	هیبرید	Germany	آلمان
Karun	Hybride	هیبرید	Germany	آلمان
Adriana	Hybride	هیبرید	Germany	آلمان
Cooper	Hybride	هیبرید	Germany	آلمان
Lilian	Hybride	هیبرید	France	فرانسه

سنجش اسیدهای چرب در آزمایشگاه فیزیولوژی پژوهشگاه بیوتکنولوژی کرج انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری درصد روغن، سه گرم دانه کلزا پودر شده را درون کاغذ صافی، بسته‌بندی و وزن گردید. سپس، آن را داخل فالکون ۵۰ میلی‌لیتری قرار داده و حدود ۲۰ میلی‌لیتر پترولیوم اتر روی آن ریخته و سپس نمونه داخل بن‌ماری شیکردار در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵-۴ ساعت قرار داده شد. در ادامه، محلول درون فالکن به فالکن دیگری منتقل شد تا پترولیوم اتر آن تبخیر شود. این کار دو بار دیگر تکرار گردید و با این روش کل روغن دانه استخراج شد. برای محاسبه میزان درصد روغن، بسته‌های حاوی نمونه‌های پودر شده دانه پس از استخراج روغن و خشک شدن، وزن نموده و از اختلاف نمونه روغن‌گیری شده از وزن نمونه اولیه، میزان درصد روغن دانه به دست آمد (Rui et al., 2007).

برای تفکیک و جداسازی اسیدهای چرب غالباً از استرهای متیلیک آن‌ها استفاده می‌کنند که نقطه‌جوش پایین‌تری دارند. جهت متیله کردن اسیدهای چرب موجود در روغن‌های به‌دست‌آمده از بذور کلزا، ۲۰۰ میکرولیتر از روغن استخراج‌شده را داخل ویال ۲ میلی‌لیتری ریخته و به آن ۴۰۰ میکرولیتر محلول الکلی KOH دو نرمال حل‌شده در متانول اضافه گردید. در مرحله بعد ۱۴۰۰ میکرولیتر هگزان اضافه و آن را داخل ترمومیکسر (بن‌ماری) با دمای ۴۰ درجه سانتی-گراد، به مدت ۱ ساعت قرار داده تا گلیسرول ته‌نشین شده و دوفازی شود. لایه رویی یعنی استرهای متیلی محلول در هگزان، جهت تعیین نوع اسیدهای چرب و میزان آن‌ها، توسط سرنگ مخصوص ۱ میکرولیتری به دستگاه GC-MS ساخت کمپانی Varian مدل ۴۰۰۰ با دتکتور FID تزریق شد (Rui et al., 2007).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین اثرات اصلی و متقابل داده‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و برای مقایسه میانگین اثرات متقابل از رویه برش‌دهی استفاده شد. هم‌چنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس درصد روغن، اسیدهای چرب اسید مریستیک (C14-0)، اسید پالمیتیک (C16-0)، اسید استئاریک (C18:0)، اسید اولئیک (C18:1)، اسید لینولئیک (C18:1) و اسید لینولنیک (C18:3) در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه، عملکرد روغن، محتوای اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید لینولئیک و اسید مریستیک معنی‌دار است و برای سایر اسیدهای چرب و درصد روغن اثر تنش خشکی معنی‌دار نبود؛ بنابراین، نتایج این تحقیق نشان داد هرچند تنش خشکی باعث کاهش عملکرد روغن از طریق کاهش عملکرد دانه می‌شود ولی بر روی درصد روغن دانه تأثیر معنی‌داری نداشته است. سلیمانی و همکاران (Soleymani et al., 2011) بیان نمودند که درصد روغن دانه در کلزا بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است و تأثیر عوامل محیطی بر درصد روغن دانه اندک است. هم‌چنین، بین ارقام، ازنظر درصد روغن دانه، عملکرد روغن، درصد اسید پالمیتیک، درصد اسید استئاریک، درصد اسید اولئیک، درصد اسید لینولنیک و درصد

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه، درصد روغن دانه، عملکرد روغن و درصد اسیدهای چرب اسید مریستیک، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسید لینولنیک، TSFA، TUFA و TU/TS در شش رقم کلزا

Table 4. Variance analysis (Mean of square) of seed yield, oil seed percentage, oil yield and percentage of Myristic acid, Palmitic acid, Stearic acid, Oleic acid, Linoleic acid, Linolenic acid, TUFA, TSFA and TU/TS for six canola genotypes

منابع تغییرات Source of Variation		درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن دانه Oil seed percentage	عملکرد روغن Oil yield	TSFA	TUFA	TU/TS
Replication	تکرار	2	3728^{ns}	5.52^{ns}	53.32^{ns}	0.092^{ns}	0.21^{ns}	0.720^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	2417276^{**}	3.23^{ns}	349767^{**}	1.579^{**}	1.706^{ns}	12.92^{**}
Error a	خطای a	4	5022	1.71	515.69	0.019	1.388	0.138
Cultivar (C)	رقم	5	778936^{**}	19.02^{**}	107644^{**}	0.158^{ns}	0.157^{ns}	1.231^{ns}
C × I	رقم × آبیاری	10	142738^{**}	3.42^{*}	27163.7^{**}	0.274^{ns}	0.276^{ns}	2.183^{ns}
Error b	خطای b	30	6473	0.98	1032.99	0.165	0.939	1.590
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		*6.37*	*2.60*	*6.69*	*6.74*	*1.03*	*8.05*

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

منابع تغییرات Source of Variation		درجه آزادی df	اسید مریستیک Myristic acid	اسید پالمیتیک Palmitic acid	اسید استئاریک Stearic acid	اسید اولئیک Oleic acid	اسید لینولئیک Linoleic acid	اسید لینولنیک Linolenic acid
Rep	تکرار	2	0.00006^{ns}	0.033^{ns}	0.024^{ns}	0.411^{ns}	0.027^{ns}	0.183^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.0004^{*}	2.20^{**}	0.065^{*}	4.97^{ns}	1.565^{*}	0.108^{ns}
Error a	خطای a	4	0.0002	0.01	0.007	2.10	0.236	0.154
Cultivar (C)	رقم	5	0.000096^{ns}	0.37^{*}	0.231^{**}	24.47^{**}	13.4^{**}	2.145^{**}
C × I	رقم × آبیاری	10	0.000335^{**}	0.160^{ns}	0.069^{**}	3.955^{ns}	0.735^{ns}	1.771^{**}
Error b	خطای b	30	0.000076	0.144	0.006	1.05	1.054	0.370
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		*19.77*	*9.80*	*3.67*	*1.51*	*3.96*	*6.95*

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. TSFA: درصد کل اسیدهای چرب اشباع، TUFA: درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع و TU/TS: نسبت درصد کل اسیدهای چرب اشباع به درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع

ns, * and **: non-significant, significant at probability level 5% and 1%, respectively. TSFA: Total Saturated Fatty Acid, TUFA: Total Unsaturated Fatty Acid, TU/TS: Ratio of Total Unsaturated to Total Saturated Fatty Acid

اسید لینولئیک تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴) که این موضوع نشان داد در بین ارقام کلزا ازنظر درصد روغن دانه و درصد اسیدهای چرب تنوع وجود دارد. هم‌چنین تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر درصد کل اسیدهای چرب اشباع (TSFA) و نسبت درصد کل اسیدهای چرب اشباع به درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع (TU/TS) داشته است ولی تأثیر معنی‌داری بر درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع (TUFA) نشان نداده است (جدول ۴).

بر اساس نتایج شکل ۱ درصد کل اسیدهای چرب اشباع در هر دو شرایط تنش (از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی) کاهش معنی‌داری را نشان داده است؛ اما تغییرات درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع در هر دو شرایط تنش معنی‌دار نبود. ولی درمجموع نسبت درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع به درصد کل اسیدهای چرب اشباع (TU/TS) افزایش معنی‌داری را نشان داد.

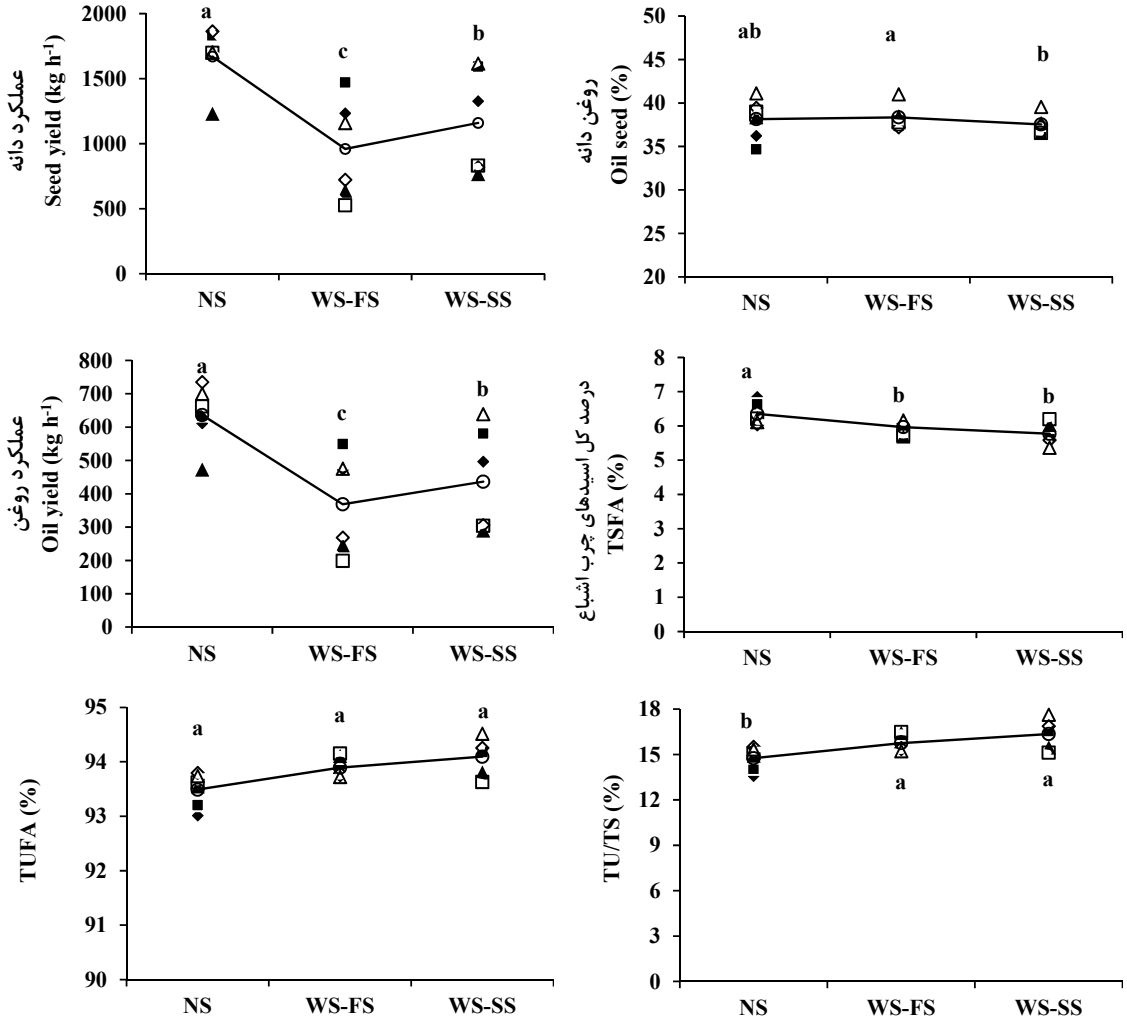
نتایج این بررسی نشان داد که عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن دانه تحت تأثیر تنش خشکی و رقم قرار گرفت و به‌واسطه قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه و عملکرد روغن (جدول ۵ و شکل ۱) اتفاق افتاد. با توجه به شکل ۱، قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد روغن نسبت به شرایط بدون‌تنش شده است؛ اما میزان کاهش عملکرد دانه و عملکرد روغن در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی نسبت به قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی بیشتر بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون‌تنش، تنش در مرحله گل‌دهی و تنش در مرحله خورجین‌دهی به‌ترتیب مربوط به ارقام Adriana (۱۸۶۳ کیلوگرم در هکتار)، Tassilo (۱۴۷۱ کیلوگرم در هکتار) و Lilian (۱۶۱۵ کیلوگرم در هکتار) بود. هم‌چنین بیشترین عملکرد روغن دانه در شرایط بدون‌تنش مربوط به رقم Adriana (۷۳۵ کیلوگرم در هکتار)، در شرایط تنش گل‌دهی مربوط به رقم Tassilo (۵۴۹ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط تنش در مرحله خورجین‌دهی مربوط به رقم Lilian (۶۳۹ کیلوگرم در هکتار) بود. بیشترین درصد روغن در شرایط بدون‌تنش مربوط به رقم Adriana (۴۵/۳۹ درصد) و در شرایط تنش در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی مربوط به رقم Lilian (به‌ترتیب ۴۱ و ۳۹/۵۵ درصد) بود (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش × رقم بر میانگین عملکرد دانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن در شش رقم کلزا تحت شرایط بدون‌تنش (NS)، تنش خشکی از مرحله گل‌دهی (WS-FS) و تنش خشکی از مرحله خورجین‌دهی (WS-SS) تا رسیدگی فیزیولوژیک با استفاده از روش برش‌دهی.

Table 5. Mean comparison for interaction effect of stress × cultivar of seed yield, oil seed percentage and oil yield for six canola cultivars under non stress (NS), drought stress from flowering stage (WS-FS) and drought stress from siliquing stage (WS-SS) until physiological maturity by using slicing method.

نام ارقام Cultivars names	عملکرد دانه Seed yield (Kg h^{-1})			درصد روغن دانه Oil seed percentage (%)			عملکرد روغن Oil yield (kg h^{-1})		
	NS	WS-FS	WS-SS	NS	WS-FS	WS-SS	NS	WS-FS	WS-SS
SLM046	1689^{b}	1234^{b}	1326^{b}	36.22^{d}	38.22^{b}	37.45^{b}	612^{c}	472^{b}	497^{c}
Tassilo	1832^{ab}	1471^{a}	1593^{a}	34.67^{d}	37.33^{b}	36.44^{b}	635^{c}	549^{a}	581^{b}
Karun	1235^{c}	643^{cd}	772^{c}	38.44^{b}	38.56^{b}	37.78^{b}	475^{d}	248^{cd}	292^{d}
Adriana	1863^{a}	722^{c}	818^{c}	39.45^{ab}	37.22^{b}	37.44^{b}	735^{a}	269^{c}	306^{d}
Cooper	1698^{b}	526^{d}	832^{c}	39.00^{b}	37.78^{b}	36.56^{b}	662^{bc}	199^{d}	304^{d}
Lilian	1703^{b}	1159^{b}	1615^{a}	41.11^{a}	41.00^{a}	39.55^{a}	700^{ab}	475^{b}	639^{a}
Mean	1670	959	1159	38.15	38.35	37.54	637	368	435

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Mean in each column, followed by similar letter(s) are not significantly at 5% probability levels, using LSMEANS Test



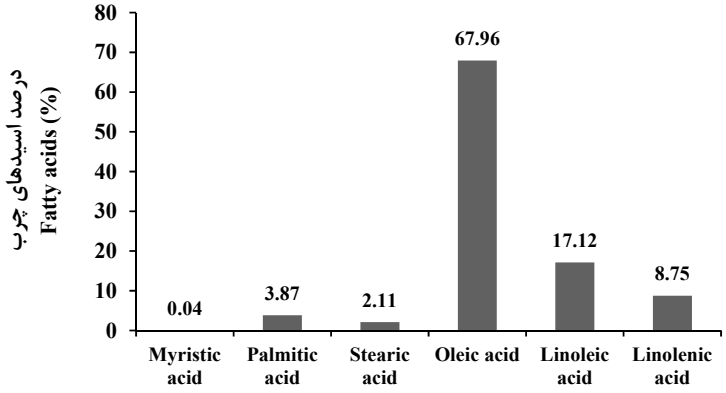
شکل ۱. تغییرات عملکرد دانه، درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه، TSFA (درصد کل اسیدهای چرب اشباع)، TUFA (درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع) و TU/TS (نسبت درصد کل اسیدهای چرب اشباع به درصد کل اسیدهای چرب غیراشباع) در شش رقم کلزا تحت شرایط بدون‌تنش (NS)، تنش خشکی از مرحله گل‌دهی (WS-FS) و تنش خشکی از مرحله خورجین‌دهی (WS-SS) تا رسیدگی فیزیولوژیک. میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفته است.

Fig. 1. Changes in seed yield, oil seed percentage, seed oil yield, TSFA (Total Saturated Fatty Acid), TUFA (Total Unsaturated Fatty Acid) and TU/TS (Ratio of Total Unsaturated to Total Saturated Fatty Acid) in six canola cultivars under non stress (NS), drought stress from flowering stage (WS-FS) and drought stress from siliquing stage (WS-SS) until physiological maturity. Different letters represent significant difference among means at P<0.05 level determined by Duncan's multiple range test.

نتایج نشان داد تنش خشکی تأثیر چندانی بر درصد روغن دانه نداشته است. به‌نظر می‌رسد که دلیل این امر ناشی از کنترل بیشتر درصد روغن توسط عوامل ژنتیکی و تأثیر بالای عملکرد روغن از تغییرات عملکرد دانه نسبت به درصد روغن بوده است. در این زمینه گزارش شده است که در تعیین عملکرد روغن کلزا، تأثیر عملکرد دانه در مقایسه با درصد روغن بیشتر است (Soleymani et al., 2011؛ Jabbari et al., 2017). رابرتسون و هولند (Robertson and Holland, 2004) بیان نمودند که فاکتورهای ژنتیکی مهم‌ترین فاکتورها در تعیین درصد روغن کلزا است و تأثیر

فاکتورهای محیطی بر درصد روغن ناچیز است. صفوی فرد و همکاران (Safavi Fard et al., 2018) نیز عدم تأثیر تنش خشکی بر درصد روغن دانه کلزا را گزارش نمودند. از طرفی سیناکی و همکاران (Sinaki et al., 2007) کاهش درصد روغن دانه کلزا را در شرایط تنش خشکی انتهای فصل گزارش دادند.

فراوان‌ترین ترکیب اسیدهای چرب در این تحقیق مربوط به اسید چرب تک غیراشباع اسید اولئیک (۶۷/۹۶ درصد) و اسیدهای چرب چند غیراشباع، شامل اسید لینولئیک (۷/۲۱ درصد) و اسید لینولنیک (۸/۷۵ درصد) بود. مقدار نسبی اسیدهای چرب اشباع اسید پالمیتیک، اسید استئاریک و اسید مریستیک به‌ترتیب برابر نسبت‌های ۳/۸۷: ۲/۱۱: ۰/۰۴۴ درصد بود (شکل ۲). این نتایج موافق با نتایج فلاکلر و همکاران (Flakelar et al., 2015) بود. هم‌چنین، نسبت اسیدهای چرب (تک غیراشباع، چند غیراشباع و اشباع) برابر با نسبت ۶۸/۰: ۲۶/۰: ۶/۰ درصد بود که تقریباً مشابه با میانگین گزارش شده (۵۶/۱: ۲۷/۸: ۷/۳ درصد) میانگین جهانی (Codex Committee on Fats and Oil, 2011) بود.



شکل ۲. درصد نسبی اسیدهای چرب اسید میرستیک، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک در شکل‌گیری محتوای کل روغن در شش رقم موردبررسی کلزا

Fig. 2. Relative percentage of fatty acids of Myristic acid, Palmitic acid, Stearic acid, Oleic acid, Linoleic acid and Linolenic acid in the formation of total oil content of six canola cultivars

در میان اسیدهای چرب بیش‌ترین سهم مربوط به اسید اولئیک (۶۷/۹۶ درصد) و بعدازآن مربوط به اسید لینولئیک (۱۷/۱۲ درصد) و درنهایت مربوط به اسید لینولنیک (۸/۷۵ درصد) بود. هم‌چنین کم‌ترین مقدار اسید چرب مربوط به اسید میریستیک (۰/۰۴ درصد) و اسید استئاریک (۲/۱۱ درصد) بود (شکل ۲). اسید اولئیک به‌دلیل دارا بودن یک باند دوگانه دارای پایداری بیش‌تری در مقابل حرارت است و موجب افزایش دوام و عمر روغن می‌شود. اسید لینولنیک دارای سه باند دوگانه است و به‌راحتی اکسیدشده و درنتیجه پایداری و عمر روغن به‌شدت کاهش می‌یابد (Hu et al., 1999). تولید ارقام با مقادیر اندک اسید لینولئیک و اسید لینولنیک به‌طور غیرمستقیم باعث افزایش سطوح اسید اولئیک می‌شود و بدین ترتیب روغن حاصل نسبت به دما از پایداری بیش‌تری برخوردار خواهد بود. درواقع ترکیب مطلوب برای روغن کلزا بایستی بیش از ۸۰ درصد اسید اولئیک، کم‌تر از ۱۰ درصد اسید لینولئیک و کم‌تر از ۲ درصد اسید لینولنیک باشد (Somers et al., 2001؛ Flakelar et al., 2015).

نتایج همبستگی بین درصد اسیدهای چرب و درصد روغن دانه در جدول ۶ آورده شده است. نتایج نشان داد همه اسیدهای چرب به‌جز اسید اولئیک با مقدار روغن کل همبستگی منفی دارند. در این میان بیش‌ترین همبستگی منفی معنی‌دار مربوط به اسید لینولئیک (**۰/۵۶۱)، اسید پالمیتیک (**۰/۴۰۷-) و اسید لینولنیک (**۰/۳۵۴-) بود. از

طرفی همبستگی روغن دانه با مقدار اسید اولئیک مثبت و معنی‌دار (۰/۶۲۸**) بود. هم‌چنین همبستگی اسید اولئیک، با سایر اسیدهای چرب منفی بوده که این مطلب نشان داد که با افزایش درصد اسید اولئیک از درصد همه اسیدهای چرب کاسته می‌شود و در این میان بیش‌ترین همبستگی منفی معنی‌دار را اسید اولئیک با اسید لینولنیک (۰/۶۸۷**-) و اسید پالمیتیک (۰/۵۸۷**-) داشت. این نتایج موافق با تحقیقات فلاکلر و همکاران (Flakelar et al., 2015) بود. هم‌چنین همبستگی بالایی بین عملکرد روغن و عملکرد دانه (۰/۹۸۷**) مشاهده شد اما بین عملکرد روغن و درصد روغن دانه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۶. همبستگی عملکرد دانه، عملکرد روغن دانه، درصد روغن دانه و درصد اسیدهای چرب اسید میرستیک، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک در شش رقم کلزا

Table 6. Correlation coefficients among seed yield, seed oil yield, seed oil percentage, Myristic acid, Palmitic acid, Stearic acid, Oleic acid, Linoleic acid and Linolenic acid for six canola cultivars

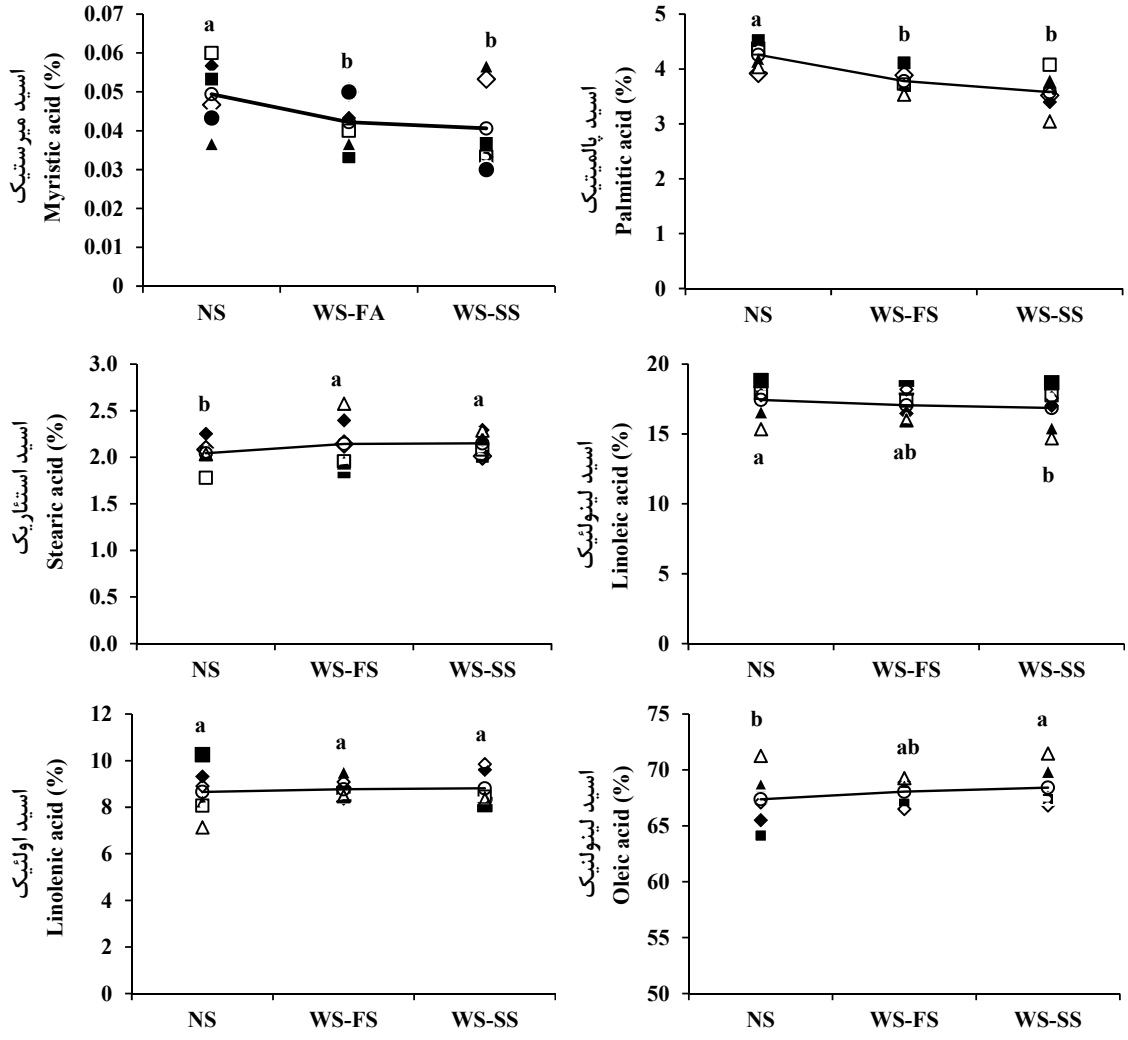
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	**Seed yield**	**عملکرد دانه**	1							
2	**Seed oil yield**	**عملکرد روغن دانه**	0.99**	1						
3	**Seed oil percentage**	**درصد روغن‌دانه**	0.04	0.19	1					
4	**Myristic acid**	**اسید میرستیک**	0.07	0.06	-0.10	1				
5	**Palmitic acid**	**اسید پالمیتیک**	0.27	0.21	-0.35*	0.37**	1			
6	**Stearic acid**	**اسید استئاریک**	-0.01	0.00	0.15	-0.02	-0.27*	1		
7	**Oleic acid**	**اسید اولئیک**	-0.11	0.00	0.62**	-0.21	-0.56**	0.17	1	
8	**Linoleic acid**	**اسید لینولئیک**	0.16	0.06	-0.59**	0.18	0.46**	-0.36**	-0.82**	1
9	**Linolenic acid**	**اسید لینولنیک**	-0.14	-0.22	-0.43**	0.14	0.07	0.01	-0.62**	0.32*

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **; Significant at probability level 5% and 1%, respectively

نتایج نشان داد (شکل ۳) که در شرایط تنش خشکی مقدار اسید اولئیک، اسید استئاریک و اسید لینولئیک، افزایش کمی داشته‌اند. درواقع در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی، مقدار افزایش اسید اولئیک ۰/۹۹ درصد و در شرایط تنش در مرحله خورجین‌دهی، ۱/۵۱ درصد بود. مقدار اسید استئاریک در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی به‌ترتیب ۴/۷۴ و ۴/۹۶ درصد افزایش یافته است ولی تفاوت معنی‌داری بین این دو مرحله از تنش مشاهده نشد. درصد افزایش در مقدار اسید لینولئیک در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی ۱/۲۵ و ۱/۶۹ درصد بود ولی این مقدار افزایش ازنظر آماری معنی‌دار نبود. هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد (شکل ۳) که در شرایط تنش خشکی، مقدار اسید لینولئیک، اسید پالمیتیک، اسید مریستیک کاهش معنی‌داری داشته‌اند. درصد کاهش اسید پالمیتیک در شرایط تنش در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی به‌ترتیب ۳/۷۸ و ۳/۵۸ درصد بود. هم‌چنین درصد کاهش اسید مریستیک در شرایط تنش در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی، ۱۷/۰۶ و ۲۱/۶۷ درصد بود و این مقدار کاهش برای اسید لینولئیک ۲/۲۴ و ۳/۴۴ درصد بود.

بر اساس نتایج این بررسی، در بین اسیدهای چرب، اسید مریستیک، اسید استئاریک و اسید لینولنیک تحت تأثیر تنش خشکی و رقم قرار گرفت و به‌واسطه قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی کاهش معنی‌داری در اسید مریستیک اتفاق افتاد (شکل ۳). هم‌چنین قطع آبیاری از مراحل نموی، سبب افزایش معنی‌دار درصد اسید استئاریک در روغن کلزا شد (جدول ۷ و شکل ۳).



شکل ۳. تغییرات محتوای اسید میرستیک، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید لینولئیک، اسید اولئیک و اسید لینولنیک در شش رقم کلزا تحت شرایط بدون‌تنش (NS)، تنش خشکی از مرحله گل‌دهی (WS-FS) و تنش خشکی از مرحله خورجین‌دهی (WS-SS) تا رسیدگی فیزیولوژیک. میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفته است.

Fig. 3. Changes in Myristic, Palmitic, Stearic, Linoleic, Oleic, Linolenic acids in six canola cultivars under non stress (NS), drought stress from flowering stage (WS-FS) and drought stress from siliquing stage (WS-SS) until physiological maturity. Different letters represent significant difference among means at P<0.05 level determined by Duncan's multiple range test.

اسلام و همکاران (Aslam et al., 2009) بیان نمودند که ترکیب اسیدهای چرب و درصد روغن دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. آن‌ها مشاهده کردند در شرایط تنش ملایم ترکیب اسیدهای چرب تغییری را نشان نمی‌دهد اما در شرایط تنش شدید، مقدار اسید اولئیک و اسیدهای چرب اشباع به‌ترتیب تا ۳/۸ و ۰/۴ درصد کاهش می‌یابند. به‌طورکلی شروع تنش خشکی از هر دو مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی، مقدار اسید لینولئیک، اسید مریستیک و اسید پالمیتیک را به‌صورت جزئی کاهش داد و مقدار اسید اولئیک، اسید استئاریک و اسید لینولئیک در روغن کلزا کمی افزایش نشان دادند. در این بررسی شدت تنش در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی ۰/۴۳ و در شرایط تنش در مرحله خورجین-دهی ۰/۳۱ برآورد شد (نتایج نشان داده نشده است)؛ بنابراین شاید این شدت تنش برای ایجاد تغییرات زیاد در پروفایل

اسیدهای چرب در شرایط تنش خشکی، کافی نبوده است هرچند که باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شده است. در یک بررسی نشان داده شد که در شرایط تنش در مرحله خورجین‌دهی مقدار اسید اولئیک تا ۷ درصد کاهش می‌یابد (Champolivier and Merrien, 1996). هم‌چنین، بوچرو و همکاران (Bouchereau et al., 1996) بیان کردند تنش خشکی در مرحله رویشی و خورجین‌دهی باعث کاهش مقدار اسید اولئیک می‌شود. بلالوی و همکاران (Bellaloui et al., 2009) بیان کردند در شرایط تنش خشکی درصد روغن دانه، اسید استئاریک، اسید اولئیک افزایش می‌یابد. درحالی‌که مقدار اسید پالمیتیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک کاهش می‌یابند. جباری و همکاران (Jabbari et al., 2017) بیان نمودند در شرایط تنش خشکی میزان اسید لینولئیک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در تحقیقی دیگر علت آن را کوتاه شدن دوره رشد بیان نمودند (Tohidi Moghaddam et al., 2011). هم‌چنین گزارش شده است که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی کلزا، باعث کاهش میزان اسیدهای چرب غیراشباع روغن دانه مانند اسید لینولنیک و اسید لینولئیک شد (Tohidi Moghaddam et al., 2011). شکاری و همکاران (Shekari et al., 2015) بیان نمودند که تحت تنش خشکی مقدار اسیدهای چرب اشباع به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، در گیاهان دانه روغنی کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری نهایی

در کل نتایج بیانگر این مطلب بودند که تنش خشکی باعث افزایش یا کاهش جزئی ترکیب اسیدهای چرب شده است. بیش‌ترین مقدار اسید اولئیک، عملکرد روغن و درصد روغن دانه در شرایط بدون‌تنش و تنش خشکی انتهای فصل مربوط به رقم Lilian بود. در این رقم درصد روغن دانه در شرایط تنش کاهش معنی‌داری را نشان نداد و هم‌چنین مقدار اسید اولئیک آن در شرایط تنش هم افزایش یافته بود؛ بنابراین Lilian رقمی مناسب در برنامه اصلاحی می‌تواند باشد.

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش × رقم بر درصد اسیدهای چرب اسید مریستیک، اسید استئاریک، اسید لینولنیک در شش رقم کلزا تحت شرایط بدون‌تنش (NS)، تنش خشکی از مرحله گل‌دهی (WS-FS) و تنش خشکی از مرحله خورجین‌دهی (WS-SS) تا رسیدگی فیزیولوژیک با استفاده از روش برش‌دهی.

Table 7. Mean comparison for interaction effect of stress × cultivar of percentage on Myristic acid, Stearic acid and Linolenic acid for six canola cultivars under non stress (NS), drought stress from flowering stage (WS-FS) and drought stress from siliquing stage (WS-SS) until physiological maturity using slicing method.

نام ارقام Cultivars names	اسید مریستیک Myristic acid (%)			اسید استئاریک Stearic acid (%)			اسید لینولنیک Linolenic acid (%)		
	NS	WS-FS	WS-SS	NS	WS-FS	WS-SS	NS	WS-FS	WS-SS
SLM046	0.057^{a}	0.043^{a}	0.033^{c}	2.25^{a}	2.40^{b}	2.29^{a}	9.32^{abc}	8.38^{a}	9.61^{ab}
Tassilo	0.053^{ab}	0.033^{a}	0.037^{bc}	2.06^{b}	1.84^{e}	2.01^{c}	10.26^{a}	8.57^{a}	8.12^{c}
Karun	0.037^{b}	0.037^{a}	0.057^{a}	2.05^{b}	1.95^{d}	2.21^{ab}	8.28^{c}	9.51^{a}	8.50^{bc}
Adriana	0.047^{ab}	0.050^{a}	0.053^{ab}	2.08^{b}	2.14^{c}	2.01^{c}	8.91^{bcd}	9.09^{a}	9.85^{a}
Cooper	0.060^{ab}	0.040^{a}	0.033^{c}	1.78^{c}	1.96^{de}	2.08^{bc}	8.07^{d}	8.62^{a}	8.45^{bc}
Lilian	0.043^{ab}	0.050^{a}	0.030^{c}	2.03^{b}	2.58^{a}	2.29^{a}	7.14^{d}	8.47^{a}	8.33^{c}
Mean	0.049	0.042	0.041	2.04	2.14	2.15	8.66	8.77	8.81

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Mean in each column, followed by similar letter(s) are not significantly at 5% probability levels, using LSMEANS Test

منابع

Alander, J., Andersson, A., Bagge, C., Bringsarve, K., Hjorth, M., Johansson, M., Granroth, B., Norberg, S., Pedersen, M., Persson, M., Wennermark, M., Wenner- mark, B., 2007. Raw materials. In: Lidefelt, J. (Ed.), Handbook of Vegetable Oils and Fats. 2nd ed. Alfaprint, Sweden. pp. 72-73.

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 Breeding. 128, 348-355.

Bellaloui, N., Smith, J.R., Ray, J.D., Gillen, A.M., 2009. Effect of maturity on seed composition in the early soybean production system as measured on near-isogenic soybean lines. Crop Science. 49, 608-620.

Bhati, J., Chaduvula, P.K., Kumer, S., Rai, A., 2013. Phylogenetic analysis and secondary structure prediction for drought tolerant cap binding proteins of plant species. Indian Journal of Agricultural Science. 83, 21–5

Bouchereau, A., Clossais-Besnard, N., Bensaoud, A., Leport, L., Renard, M., 1996. Water stress effects on rapeseed quality. European Journal of Agronomy. 5, 19-30.

Champolivier, L., Merrien, A., 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to Brassica napus L. var. Oleifera on yield, yield components and seed quality. European Journal of Agronomy. 5, 153-160.

Codex Committee on Fats and Oils. 2011. Codex Standard for Named Vegetable Oils. In: Canola Oil Codex Alimentarius, Malaysia.pp. 1–16.

Enjalbert, J.N., Zheng, S., Johnson, J.J., Mullen, J.L., Byrne, P.F., McKay, J.K., 2013. Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality traits under drought stress. Industrial Crops and Products. 47, 176-185.

Flakelar, C.L., Luckett, D.J., Howitt, J.A., Dorana, G., Prenzler, P.D., 2015. Canola (*Brassica napus*) oil from Australian cultivars shows promising levels of tocopherols and carotenoids, along with good oxidative stability. Journal of Food Composition and Analysis. 42. 179–186.

Ganjeali, A., Porsa, H., Bagheri, A., 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. Agricultural Water Management. 98, 1477- 1484.

Hu, J., Li, D., Struss, D., Quiros, C.F., 1999. SCAR and RRPD markers associated with 18-carbon fatty acids in rapeseed, Brassica napus. Plant Breeding. 118, 145-150.

Jabbari, H., Khosh Kholgh Sima, N.A., Shirani Rad, A.H., 2017. Changes in the oil fatty acids composition of Rapeseed cultivars under drought stress conditions. Applied Research in Field Crop. 30, 66-81. [In Persian with English Summary].

Mortazavian, S.M.M., Azizi-niz, SH., 2014. Nonparametric stability analysis in muli-environment trial of canola. Turkish Journal of Field Crops. 19, 108-117.

Przybylski, R., Mag, T., Eskin, N.A.M., McDonald, B.E., 2005. Canola oil. In: Shahidi F. (Ed.), Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 6th ed., vol. 2. Wiley-Blackwell, United Kingdom. pp. 63-749.

Qifuma, Sh., Niknam, R., Turner, D.W., 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of Brassica napus and B. juncea to soil water deficit at different growth stages. Australian Journal of Agricultural Research. 57, 221-226.

Robertson, M.J., Holland, J.F., 2004. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. Australian Journal of Agricultural Research. 55, 525-538.

Rui, Y.K., Wang, W., Zhang, F.S., Lu, Y., 2007. A new kind of fatty acid emerged in transgenic cotton seed. Rivista Italiana delle Sostanze Grasse. 84, 39-42.

Safavi Farda, N., Heidari Sharif Abada, H., Shirani Radb, A.H., Majidi Heravana, E., Daneshianb, J., 2018. Effect of drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. Industrial Crops & Products. 114, 87–92.

Shekari, F., Soltaniband, V., Javanmard, A., Abbasi, A., 2015. The impact of drought stress at different stages of development on water relations, stomatal density and quality changes of rapeseed (*Brassica napus* L.). Iran Agricultural Research. 34, 81-90. [In Persian with English Summary].

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 (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental. 2, 417-424.

Soleymani, A., Moradi, M., Naranjani, L., 2011. Effects of the irrigation cut-off time in different growth stages on grain and oil yield components of autumn's canola cultivars in Isfahan region. Journal of Water and Soil. 25, 426-435. [In Persian with English Summary].

Somers, D.J., Friesen, K.R.D., Rakow, G., 1998. Identification of molecular markers associated with Linoleic acid desaturation in Brassica napus. Theoretical and Applied genetics. 96, 897-903.

Somers, D.J., Rakow, G., Prabhu, V.K., Friesen, K.R.D., 2001. Identification a major gene and RAPD markers for yellow seed coat color in Brassica napus. Genome. 44, 1077-1082.

Tohidi-Moghaddam, H.R., Zahedi, H., Ghooshchi, F., 2011. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. Pesquisa Agropecuária Tropical. Agricultural Research in the Tropics. 41, 579-586.

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., Zeinalabedini, M., 2015. The influence of drought stress on nutrients uptake and physiological responses in rapeseed (*Brassica napus* L.) lines. Journal of Pure and Applied Microbiology. 9, 425-436.

Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A., Zeinalabedini, M., 2016. Drought stress effect on physiological parameter and amino acids accumulations in canola. Journal of Crop Breeding. 8, 191-203. [In Persian with English Summary].

.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 3, pp. 735-747
Fall 2020
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2205.1552

Original article

Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars

H. Zali[1*], T. Hasanloo[2], O. Sofalian[3], A. Asghari[3]

1. Seed and Plant Improvement Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran
2. Department of Molecular Physiology, Agricultural Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received 13 January 2019; Accepted 9 March 2019

Abstract

The present experiment studied the effect of drought stress on oil contents and fatty acid composition in canola genotypes at water stress under end-of-season drought. The experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design with three replications. Irrigation regimes were considered as main plots and cultivars as subplots. Six winter canola cultivars including SLM046, Tassilo, Karun, Adriana, Cooper and Lilian were evaluated under irrigated and no irrigated. The irrigation regimes included: well-watered (irrigation during full season), water deficit at flowering stage and water deficit at siliquing stage. The proportions (%) of fats (monounsaturated: polyunsaturated: saturated) in this study were approximately 68.0:26.0:6.0. The results of analysis of variance indicated that drought stress at flowering and siliquing stages significantly affected the amount of Myristic, Palmitic, Palmitolic, Stearic, Linoleic acids. Oleic acid had significantly and negatively correlated with Palmitic acid, Linoleic acid and Linolenic acid, but it had a significant and positive correlation with oil content. Under well-watered conditions, the values of Palmitic, Myristic, Linoleic acids were significantly higher than drought stress at flowering (excepted for linoleic acid) and siliquing stages. In conclusion, the changes in fatty acids composition in the present study were probably due to the combined effect of water deficits and high temperatures during the seed-filling period with the end-of-season drought treatment (flowering and siliquing stages). This study showed that drought decreases slightly seed oil percentage, alters fatty acid composition and affects fatty acid composition stability.

***Keywords*:** Drought stress, Fatty acids profile, Linoleic acid, Oleic acid.

[*]Correspondent author: Hassan Zali; E-Mail: hzali90@yahoo.com.