Archive of SID

بررسی تنوع ژنتیکی پروفایل اسید چرب در لاین‌های هاپلوئید مضاعف گیاه دانه روغنی کاملینا (*Camelina sativa* L.)

فرشاد فلاح[1]، دانیال کهریزی[2,*]، عباس رضایی زاد[3]، علیرضا زبرجدی[4] و لیلا زارعی[5]

١- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
٢- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
٣- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه
٤- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
٥- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

تاریخ دریافت:١٣٩٨/٠٥/٢١ – تاریخ پذیرش: ١٣٩٨/١٠/٠٨)

چکیده

دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. بر اساس آمارهای موجود بیش از ٩٥ درصد روغن مورد نیاز کشور، وارداتی است. شناسایی مناسب‌ترین ترکیب اسیدهای چرب در گیاهان دانه روغنی از لحاظ تغذیه‌ای و به‌نژادی از اهمیت بالایی برخوردار است. گیاه کاملینا با نام علمی (*Camelina sativa* L.) گیاهی روغنی–دارویی و متعلق به خانواده شب‌بوئیان است که نیاز آبی و کودی بسیار محدود دارد. این آزمایش به‌منظور معرفی ترکیبات اسیدهای چرب و ارزیابی تنوع ١٣٧ لاین هاپلوئید مضاعف کاملینا از طریق تخمین ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی اجرا شد. ارزیابی مقادیر اسیدهای چرب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تعیین اسید چرب با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی نشان داد که ١٨ نوع اسید چرب در روغن دانه کاملینا موجود است. در این بررسی بالاترین تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی به‌ترتیب در اسیدهای چرب C14:0 و C16:1 و بالاترین میزان وراثت‌پذیری برای اسیدهای چرب C20:0 (٩٦/٤٩ درصد)، C20:2 (٩٨/٩٢ درصد) و C20:3 (٩٨/٥٩ درصد) برآورد شد. در این پژوهش دو لاین با مقادیر ٣٦/٦٧–٣٥/٨١ درصد لینولنیک اسید و چهار لاین با مقادیر بین ٢٣/٠٠–٢٢/٠٨ درصد لینولئیک اسید معرفی گردید. نسبت امگا ٦ به امگا ٣ در لاین‌های مورد بررسی این تحقیق $٠/٤٧٩ \leq X \leq ٠/٧٥٩$ حاصل گردید.

واژگان کلیدی: اسید لینولئیک، اسید لینولنیک، تنوع ژنتیکی، دانه‌های روغنی، کاملینا، وراثت‌پذیری

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: **dkahrizi@razi.ac.ir**

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند (USDA, 2015; FAO, 2015). روغن‌های استحصال شده از گیاهان با تولید کالری بیش از دو برابر در واحد وزن نقش مهمی را در تغذیه انسان ایفا می‌کنند (Gavzan, 2018). این روغن‌ها، اسیدهای چربی را به همراه دارند که سیستم متابولیسمی انسان قادر به بیوسنتز آن‌ها نبوده و از این نظر جزء اسیدهای چرب ضروری می‌باشند (Karimbeigi *et al*., 2016). از طرف دیگر با داشتن گروهی از ویتامین‌ها (A, B, E و K) جذب سایر عناصر حیاتی را امکان‌پذیر می‌نمایند (Balanuca *et al*., 2015). بر اساس آمارهای موجود بیش از ۹۵ درصد روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات تأمین می‌شود (Raziei *et al*., 2018). با توجه به نیاز فزاینده‌ی کشور به روغن‌های خوراکی، شناسایی گیاهان دارای ترکیبات اسید چرب مناسب که حائز توانایی رشد در شرایط آب و هوایی کشور باشد از اهمیت بالایی برخوردار است. گیاه کاملینا با نام علمی (*Camelina sativa* L.) گیاهی روغنی-دارویی و متعلق به خانواده شب‌بوئیان (Brassicaceae) است که علاوه بر مصارف خوراکی و درمانی، در صنعت به‌عنوان سوخت زیستی (سوخت موتور جت) (Moser, 2016; Yang *et al*., 2016; Hoseini *et al*., 2018) و در مواد آرایشی-بهداشتی (Gomez-Monedero *et al*., 2015) کاربرد دارد. دوره رشدی این گیاه کوتاه و بین ۸۵ تا ۱۰۰ روز است. بهترین آب و هوا برای رویش آن، آب و هوای نیمه‌خشک و سرد بوده و هم‌چنین قادر به رشد در خاک‌های گوناگون است (Francis and Warwick, 2009). این گیاه عمدتاً در کانادا، اروپا و شمال ایالات‌متحده کشت می‌شود (Imbrea *et al*., 2011). احتیاجات آبی بسیار کمتر و مقاومت به سرمای بهاره بیشتری نسبت به سایر گیاهان روغنی به‌خصوص کلزا دارد (McVay, 2008). هم‌چنین این گیاه مقاومت بسیار بالایی نسبت به آفات رایج در دانه‌های روغنی مانند سوسک‌های گرده‌خوار دارد (Balanuca *et al*., 2015).

عملکرد دانه حدود ۱-۳ تن در هکتار با محتوای ۳۸ تا ۴۳ درصد روغن و ۲۷ تا ۳۲ درصد پروتئین است (Gugel and Falk, 2006). ارزش ویژه‌ی کاملینا در محتوای روغن آن با در برداشتن ۶۰-۵۰ درصد از اسیدهای چرب غیراشباع است. از طرفی محتوای آنتی‌اکسیدان طبیعی توکوفرول، در روغن کاملینا قابل‌توجه است (Imbrea *et al*., 2011). خصوصیات کیفی هر نوع روغن بستگی به ترکیب اسیدهای چرب آن دارد و کیفیت روغن دانه بارزترین هدف بهنژادی در خانواده شب‌بوئیان می‌باشد (Enjalbert *et al*., 2013). ارقام این خانواده از نظر ترکیب اسید چرب روغن دانه دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (Imbrea *et al*., 2011). کیفیت روغن دانه کلزا، به‌عنوان شناخته‌ترین گیاه هم‌خانواده کاملینا تحت تأثیر میزان سه نوع اسید چرب اولئیک، لینولئیک و اروسیک است که تحت تأثیر ارقام مختلف می‌گیرد (Javidfar *et al*., 2007). ترکیبات اسید چرب در کاملینا تحت تأثیر ارقام و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Crowley and Fröhlich, 1998; Jiang *et al*., 2016; Raziei *et al*., 2018). در آزمایشی نه گونه از کاملینا مورد آزمایش قرار گرفتند و حداکثر تفاوت بین سطوح اولئیک، لینولئیک و لینولنیک به‌ترتیب ۳، ۲/٤ و ۲/۲ درصد بود (Crowley and Fröhlich, 1998). نتایج پژوهش زوبر (Zubr, 2003) نشان داد که ترکیبات اسید چرب گیاه کاملینا کشت شده در ۱۱ منطقه اروپا و اسکاندیناوی تفاوت معنی‌داری دارد و لاین‌های حاوی ترکیبات مناسب اسید چرب را معرفی کرد. تنوع ژنتیکی و شناخت آن مهم‌ترین عامل در اصلاح گیاهان و اساس انتخاب مناسب می‌باشد. انتخاب افراد والد بر پایه ارزش فنوتیپی زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بود که قابل پیش‌بینی باشد و در صورتی قابل پیش‌بینی است که درجه تطابق بین ارزش فنوتیپی و ارزش به‌نژادی مشخص شده باشد. اندازه‌گیری این درجه تطابق به‌وسیله وراثت‌پذیری انجام می‌پذیرد (Singh *et al*., 2014).

شناسایی لاین‌هایی با خصوصیات مناسب از لحاظ میزان و نوع اسید چرب و بررسی پارامترهای ژنتیکی و قابلیت توارث اسیدهای چرب در ثبت ارقامی به‌منظور مصارف

www.SID.ir

Archive of SID

خاص مانند مصرف صنعتی و خوراکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Nothdurft *et al.*, 1998).

بررسی حاضر به شناسایی و معرفی ترکیبات اسید چرب روغن دانه ١٣٧ لاین هاپلوئید مضاعف کاملینا از لحاظ نوع اسید چرب (اسید چرب اشباع، اسیدهای چرب تک غیراشباع و اسیدهای چرب چندغیراشباع)، میزان اسیدهای چرب لینولنیک اسید (C18:3)، لینولئیک اسید (C18:2)، اروسیک اسید (C22:1) و نسبت امگا ٦ به امگا ٣ می‌پردازد. ارزیابی تنوع لاین‌ها از طریق تخمین ضریب تغییرات فنوتیپی، ژنوتیپی، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی به‌منظور استفاده در برنامه‌های به‌نژادی انجام شد.

مواد روش

مواد گیاهی و کشت کاملینا: گیاهان کاملینا مورد استفاده در این تحقیق شامل ١٣٧ لاین هاپلوئید مضاعف (doubled haploid) بودند. لاین‌ها در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی با مختصات (٤٧°٩ شمالی و ٣٤°٢١ شرقی) با ارتفاع از دریا ١٣١٩ متر در سال زراعی ٩٥-٩٦ و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی کشت گردید. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی در جدول ١ نشان داده شده است. هر ژنوتیپ در ٣ ردیف به طول ١ متر و در ٤ تکرار کاشته شد. فاصله ردیف ٢٠ سانتی‌متر و تراکم بوته استقرار یافته ٤٠٠ دانه در مترمربع بود. از هر لاین در هر تکرار ٣٠ بوته به‌منظور بذرگیری برداشت شد و پس از توزین استخراج روغن انجام شد.

استخراج روغن: استخراج روغن از دانه به‌وسیله دستگاه روغن‌گیری پرس سرد انجام پذیرفت. نمونه‌برداری از روغن مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ٤٩٣ انجام شد. کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی و شرکت ایده‌سازان زیستی انجام پذیرفت. تعیین اسید چرب به روش دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent/HP مدل 6890) انجام شد. دستگاه کروماتوگرافی گازی مورد استفاده در این پژوهش مجهز به لوله موئین ١٢٠ متری و شناساگر FID، حجم نمونه‌های تزریقی به دستگاه یک میکرولیتر، دمای تزریق ٢٥٠ سانتی‌گراد، دمای آون ١٩٢ درجه سانتی‌گراد و گاز حامل نیتروژن با سرعت عبور یک میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. کلیه آزمون‌ها در چهار تکرار انجام شد. نتایج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم SAS نسخه ٩/١ تحلیل و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

برآورد پارامترهای ژنتیکی: برای برآورد ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی ابتدا با توجه به امید ریاضی واریانس ژنوتیپ‌ها و خطا در جدول تجزیه واریانس، مقادیر واریانس ژنوتیپی (V_G) و واریانس فنوتیپی (V_P) محاسبه شد. ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی (PCV و GCV)، وراثت‌پذیری عمومی (h^2_{bs}) و پارامترهای بهره ژنتیکی از مؤلفه‌های واریانس به شرح زیر تخمین زده شد. سپس با استفاده از این مقادیر پیشرفت ژنتیکی بر اثر انتخاب (GA) محاسبه شد. در این فرمول K ضریب انتخاب ٥ درصد (٢/٠٦) برآورد شد.

رابطه (١) $V_E = MS_E$

رابطه (٢) $V_G = (MS_G - MS_E)/r$

رابطه (٣) $V_P = V_G + V_E$

رابطه (٤) $PCV = 100\sqrt{\sigma_P^2} / \overline{X}$

رابطه (٥) $GCV = 100\sqrt{\sigma_G^2} / \overline{X}$

رابطه (٦) $ECV = 100\sqrt{\sigma_E^2} / \overline{X}$

رابطه (٧) $h^2_{bs} = \sigma_G^2 / \sigma_P^2$

رابطه (٨) $GG = (i.{\sigma_G^2}/{\sqrt{\sigma_P^2}})100 / \overline{X}$

رابطه (٩) $GA = V_P.h^2.K$

نتایج و بحث

در مجموع در روغن استخراج شده از دانه لاین‌های هاپلوئید مضاعف کاملینا ١٨ نوع اسید چرب شناسایی و اندازه‌گیری شد (جدول ٢).

تجزیه واریانس میزان اسید چرب در روغن دانه کاملینا نشان داد که در بین لاین‌های مورد بررسی در این پژوهش تفاوت معنی‌داری در محتوای اسیدهای چرب وجود دارد (جدول ٣).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و آب و هوای منطقه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

Table 1. The geographical parameters and climate properties of study location (field of the Agriculture and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran)

خصوصیات Characteristics	مقدار Value
طول جغرافیایی Longitude	47 درجه 10 دقیقه 47° and 10 minute
عرض جغرافیایی Latitude	34 درجه و 32 دقیقه 34° and 32 minutes
ارتفاع Altitude	1319 متر 1319 m
میانگین بارش Average rainfall	727 میلی‌متر 727 mm
بافت خاک Soil texture	سیلتی رسی Silty clay
آب و هوا و شرایط طبیعی Weather and natural conditions	سرد و معتدل شمالی رشته‌کوه زاگرس Cool temperate northern Zagros Mountains
متوسط درجه حرارت سالانه The mean annual temperature	22.6 و 5.9 درجه سانتی‌گراد 22.6 and 5.9 °C
میزان بارش در سال اجرای پژوهش Rainfall in running the tests	609.5 میلی‌متر 609.5 mm

جدول ۲- انواع اسیدهای چرب اندازه‌گیری شده در روغن دانه کاملینا

Table 2. Studied fatty acid profiles of oils extracted from camelina seeds in this study

نام اسید چرب	Fatty acid name	C:D*
لوریک اسید	Lauric acid	C12:0
میریستیک اسید	Myristic acid	C14:0
پالمیتیک اسید	Palmitic acid	C16:0
پالمیتولئیک اسید	Palmitoleic acid	C16:1
اسید استئاریک	Stearic acid	C18:0
اسید اولئیک	Oleic acid	C18:1
اسید لینولئیک	Linoleic acid	C18:2
اسید لینولنیک	Linolenic acid	C18:3
ایکوزانوئیک	Eicosanoic acid	C20:0
ایکوزنوئیک اسید	Eicosenoic acid	C20:1
ایکوزادی‌انوئیک اسید	Eicosadienoic acid	C20:2
ایکوزاتری‌انوئیک اسید	Eicosatrienoic acid	C20:3
بهنیک اسید	Behenic acid	C22:0
اسید اروسیک	Erucic acid	C22:1
دوکاسادی‌انوئیک اسید	Docosadienoic acid	C22:2
دوکاساتترانوئیک اسید	Docosatrienoic acid	C22:3
لیگنوسریک اسید	Lignoceric acid	C24:0
نرونیک اسید	Nervonic acid	C24:1

*: C: بیانگر کربن؛ D: بیانگر پیوند دوگانه؛ C:D: بیانگر محل قرارگیری پیوند دوگانه روی زنجیره کربن

*: C: Stands for carbon; D: Stands for doubled bond; C:D: Is the ratio of the total amount of carbon atoms of the fatty acid in relation to the number of doubled (*unsaturated*) bonds in it.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ بر میزان اسیدهای چرب مختلف در لاین‌های هاپلوئید مضاعف کاملینا

Table 3. Analysis of variance for studied traits in *Camelina sativa*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات Mean squares					
		C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1
تکرار Replication	3	0.59	0.52	14.61	0.47	3.42	119.05
ژنوتیپ Genotype	136	0.001**	0.001**	0.24**	0.0004*	0.51**	4.75**
خطا Error	408	6.08	0.001	0.0002	0.00002	0.0004	0.005
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	0.55	0.42	0.22	2.62	0.79	0.46

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

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول ۳

Table 3. Continued

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات Mean squares					
		C18:2	C18:3	C20:0	C20:1	C20:2	C20:3
تکرار Replication	3	111.59	316.44	0.136	67.97	0.03	0.012
ژنوتیپ Genotype	136	6.94**	5.81**	0.22**	1.15**	0.010**	0.05**
خطا Error	408	0.005	0.004	0.0001	0.0009	0.0001	0.0001
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	0.36	0.20	0.69	0.20	0.60	0.56

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

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول ۳

Table 3. Continued

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات Mean squares					
		C22:0	C22:1	C22:2	C22:3	C24:0	C24:1
تکرار Replication	3	0.50	0.69	0.53	0.26	0.46	0.13
ژنوتیپ Genotype	136	0.007**	0.23**	0.0018**	0.013**	0.005**	0.0016**
خطا Error	408	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	1.88	0.43	0.65	0.69	0.77	0.44

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

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

www.SID.ir

Archive of SID

تفاوت در میزان اسید چرب پتانسیل به‌نژادی به‌منظور تولید ارقامی با ویژگی‌ها و مصارف خاص را افزایش خواهد داد. ترکیبات اسید چرب موجود در روغن دانه، سبب توصیه ارقام برای مصارف خاص خواهد شد. در کلزا به‌عنوان شاخص‌ترین هم‌خانواده کاملینا تحقیقات متعددی به‌منظور تولید ارقامی با گلوکوزینولات و اسید اروسیک کمتر صورت گرفت که منجر به تولید اولین رقم کلزا با گلوکوزینولات کم در سال ۱۹٦۷ شد. در سال ۱۹۷٤ رقمی از کلزا تولید شد که هم مقدار گلوکوزینولات و هم اسید اروسیک آن کم بود (Ishida *et al*., 2014).

اسیدهای چرب روغن دانه کاملینا: میانگین اسیدهای چرب روغن استحصال شده از ۱۳۷ لاین هاپلوئید مضاعف کاملینا نشان داد که در روغن دانه کاملینا ۱۸ نوع اسید چرب وجود دارد. اسیدهای چرب به سه دسته شامل اسیدهای چرب اشباع (Saturated fatty acids)، اسیدهای چرب تک غیراشباع (Mono unsaturated fatty acids) و اسیدهای چرب چندغیراشباع (Poly unsaturated fatty acids) تقسیم می‌شوند.

اسید چرب اشباع (Saturated fatty acids) در روغن دانه کاملینا: در ترکیب روغنی دانه کاملینا ۷ نوع اسید چرب اشباع مشاهده گردید که شامل لوریک اسید (C12:0)، میریستیک اسید (C14:0)، پالمیتیک اسید (C16:0)، اسید استئاریک (C18:0)، ایکوزانوئیک اسید (C20:0)، بهنیک اسید (C22:0) و لیگنوسریک اسید (C24:0) بود (شکل ۱).

اسیدهای چرب تک غیراشباع (Mono unsaturated fatty acids) در روغن دانه کاملینا: پنج نوع اسید چرب تک غیراشباع در روغن دانه کاملینا تشخیص داده شد که شامل پالمیتولئیک اسید (C16:1)، اسید اولئیک (C18:1)، ایکوزنوئیک اسید (C20:1)، اروسیک اسید (C22:1) و نرونیک اسید (C24:1) است (شکل ۲). نسبت اسیدهای چرب غیراشباع و میزان استرول‌های سیال بودن غشاها را در گیاهان تعیین می‌کند. سیالیت غشا در گیاه ارتباط مستقیمی با پایداری در تنش‌های غیرزیستی دارد. افزایش نسبت اسیدهای چرب غیراشباع در گیاه تنباکو به‌وسیله روش‌های مختلف به‌نژادی منجر به تولید ارقام مقاوم به سرما در این گیاه گردید (Gavzan, 2018). در گیاه کاملینا نیز یافتن نسبت‌های خاص اسیدهای چرب غیراشباع علاوه بر مصارف خاص این گونه اسیدهای چرب، در اصلاح این گیاه در مقاومت به تنش‌های غیرزیستی حائز اهمیت است (Crowley and Fröhlich, 1998).

اسیدهای چرب چندغیراشباع (Poly unsaturated fatty acids) در روغن دانه کاملینا: دسته دیگری از اسیدهای چرب تشخیص داده شده در روغن دانه گیاه کاملینا اسید چرب چندغیراشباع بودند. PUFAs نسبت به دیگر دسته‌های اسید چرب دارای نقش حیاتی‌تر در عملکرد و ساختار جانداران می‌باشد. PUFAs اعمال مفید و مهمی در سلامت انسان و سایر پستانداران بر عهده دارند و در پیشگیری و درمان بسیاری از بیماری‌ها نقش دارند. از آنجایی‌که بدن انسان و پستانداران قادر به ساختن پیش سازهای PUFAs نیست، بنابراین وجود میزان کافی و متعادلی از این اسیدهای چرب در رژیم غذایی ضروری می‌باشد (Watts *et al*., 2016). در روغن دانه کاملینا ٦ نوع اسید چرب از PUFAs وجود دارد؛ لینولئیک اسید (C18: 2)، لینولنیک اسید (C18: 3)، ایکوزادی‌انوئیک اسید (C20: 2)، ایکوزاتری‌انوئیک اسید (C20: 3)، دوکاسادی‌انوئیک اسید (C22: 2) و دوکاساتترا‌انوئیک اسید (C22: 3) که مقدار میانگین هر یک از این ٦ نوع اسید چرب در ۱۳۷ لاین کاملینا اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

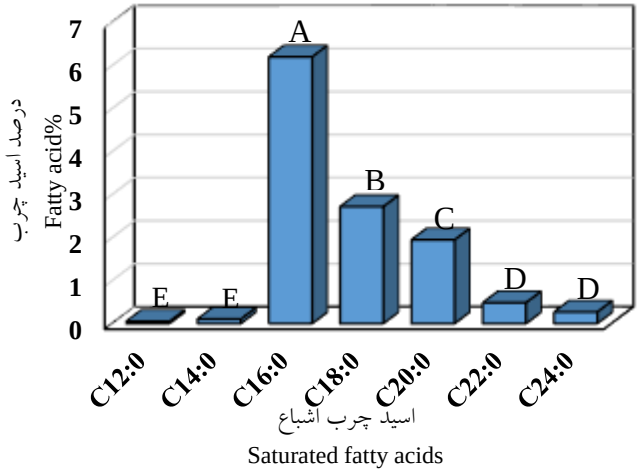
لینولنیک اسید (C18:3) و لینولئیک اسید (C18:2) از اسیدهای چرب‌های مهم دسته PUFA هستند. اهمیت این دو اسید چرب به این دلیل است که لینولئیک اسید (Linoleic acid, LA) پیش ساز اسیدهای چرب امگا-٦ و آلفا-لینولنیک اسید (Alpha-Linolenic acid, ALA) پیش ساز اسید چرب امگا-۳ می‌باشد. امگا-۳ و امگا-٦ اسیدهای چرب غیراشباع با زنجیره طویل هستند که در

www.SID.ir

Archive of SID

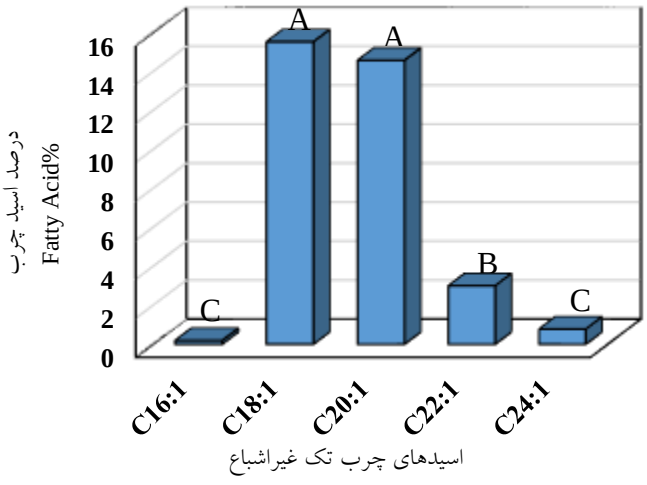
زنجیره اصلی خود دارای بیشتر از ١٢ کربن و حداقل یک پیوند دوگانه هستند. تفاوت بین آن‌ها در موقعیت قرارگیری اولین پیوند دوگانه از انتهای متیل آن‌ها می‌باشد (Watts et al., 2016). LA از طریق فرآیندهای طویل‌سازی و غیراشباعی در نهایت به اسید چرب امگا-٦ مهمی به نام اسید آراشیدونیک (Arachidonic acid, AA) و ALA در نهایت به دو امگا-٣ مهم به نام‌های ایکوزاپنتائنونیک اسید (Eicosapantaenoic acid, EPA) و دوکوزاهگزائنوئیک اسید (Docosahexaenoic acid, DHA) تبدیل می‌شوند (شکل ٤) (Simopoulos, 2002).

EPA و DHA برای رشد مناسب جنین و پیری سالم ضروری است. DHA عنصر کلیدی تمام غشای سلولی و وفور در مغز و شبکیه چشم یافت می‌شود. با توجه به این مهم که بدن انسان و پستانداران آنزیم ساخت امگا-٣ و امگا-٦ را ندارد و نیز ذخایر آن در بدن محدود است، یافتن مواد غذایی که تأمین‌کننده این مواد باشند حائز اهمیت هستند (Watts *et al*., 2016).



شکل ١- مقایسه میانگین اسیدهای چرب اشباع موجود در روغن دانه گیاه کاملینا

Figure 1. Mean comparison of saturated fatty acids in camelina seed oil

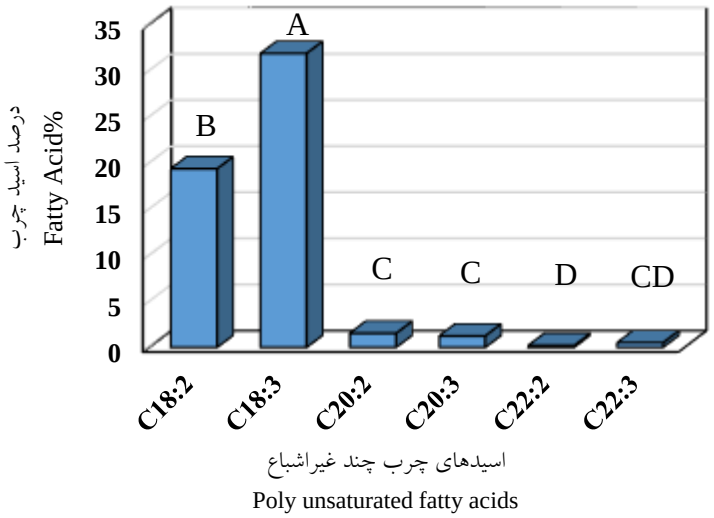


شکل ٢- اسیدهای چرب تک غیراشباع موجود در روغن دانه گیاه کاملینا

Figure 2. Mean comparison of mono unsaturated fatty acids in camelina seed oil

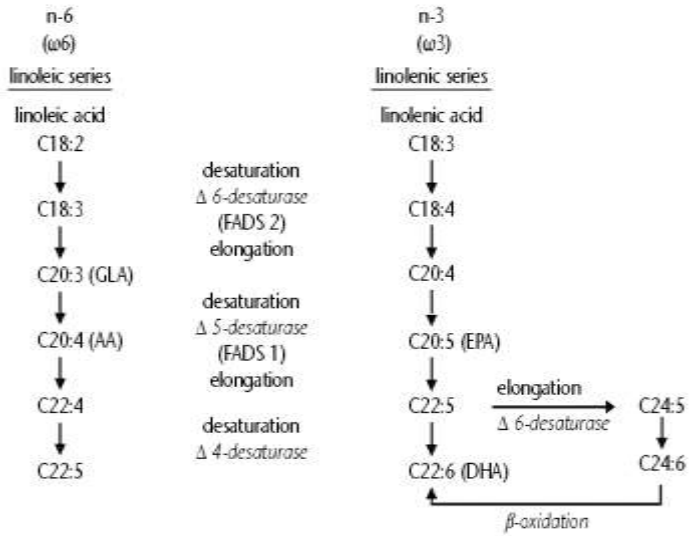
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- اسیدهای چرب چندغیراشباع موجود در روغن دانه گیاه کاملینا

Figure 3. Poly unsaturated fatty acids in camelina seed oil.



شکل ٤- طویل شدن اسیدهای چرب امگا-۳ و امگا-٦ و اسیدهای چرب حاصل از آن‌ها

Figure 4. Elongation and desaturation of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids

لاین‌های مورد مطالعه این بررسی درصدهای مختلفی از اسیدهای چرب LA و ALA را دارا می‌باشند. در شکل ۵، نمودار فراوانی و میزان اسید چرب LA را در ۱۳۷ لاین مورد مطالعه این بررسی مشاهده می‌شود. میزان اسید چرب LA در بازه ۲۳/۰۰ ≤ X ≤ ۱٦/٥٦ درصد قرار گرفت (شکل ۵). اسید چرب LA پیش‌ساز اولیه اسیدهای چرب امگا-٦ است که به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای در روغن دانه کاملینا موجود است. فرم کونژوگه LA دارای اثرات ضدسرطانی، ضدالتهابی و مؤثر در بیماری‌های قلبی-عروقی می‌باشد (Kim et al., 2011). علاوه بر اثرات مستقیم درمانی LA در ترکیب همزمان با ALA نیز خواص درمانی خاص دیگری دارد (Gavzan, 2018; Kim et al., 2011). در شکل ٦، نمودار فراوانی و میزان اسید چرب ALA را در ۱۳۷ لاین مورد بررسی این

www.SID.ir

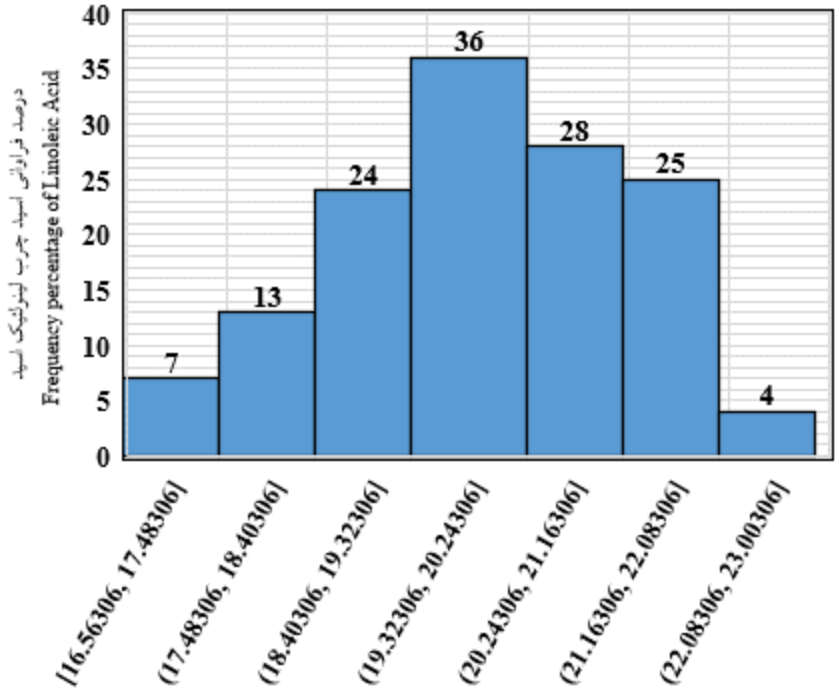
Archive of SID

مطالعه مشاهده می‌شود. میزان اسید چرب ALA در بازه ٢٩/٧٩ ≤ X ≤ ٣٦/٦٧ درصد قرار گرفت (شکل ٦).

ALA جزو اسیدهای چرب ضروری و مهم در بدن انسان و حیوانات است که بدن قادر به ساختن آن نمی‌باشد که باید از رژیم غذایی تأمین شود. اسید چرب ALA و متابولیت‌های ناشی از آن نظیر DHA و EPA در رشد طبیعی مغز، سیستم بینایی، حافظه و یادگیری نقش مهمی دارد (Simopoulos, 2002). در بسیاری از مطالعات اثر مفید ALA در بیماری‌های عروقی، سکته، اختلالات عصبی به اثبات رسیده است (Watts *et al*., 2016).

نسبت امگا-٦ به امگا-٣: اسید چرب امگا-٦ و امگا-٣ اسیدهای چرب‌های هستند که بدن قادر به ساخت آن‌ها نیست به همین علت جز اسیدهای چرب ضروری برای بدن محسوب می‌شوند. اسیدهای چرب امگا-٣ و امگا-٦ از نظر متابولیکی و عملکرد متفاوت بوده و افزایش یکی از آن‌ها در بدن سبب کاهش دیگری است (خاصیت آنتاگونیستی).

رعایت نسبت این دو اسید چرب از ارزش تغذیه‌ای و درمانی بیشتری برخوردار است زیرا بدن قادر به تنظیم نسبت این دو اسید چرب نمی‌باشد (Ambring, 2006; Simopoulos and Meester, 2009). در تغذیه انسان‌های اولیه نسبت امگا-٦ به امگا-٣ در حدود ١:١ تا ٢:١ بوده است. تغییر این نسبت یعنی به هم خوردن تنظیم و رشد بدن که متعاقب آن ابتلا به بیماری‌هایی مانند بیماری‌های اکتسابی قلبی (Secondary heart disease)، فشارخون بالا، دیابت، سرطان، آرتریت روماتوئید (Rheumatoid arthritis) و حساسیت‌ها است (Simopoulos and Meester, 2009).

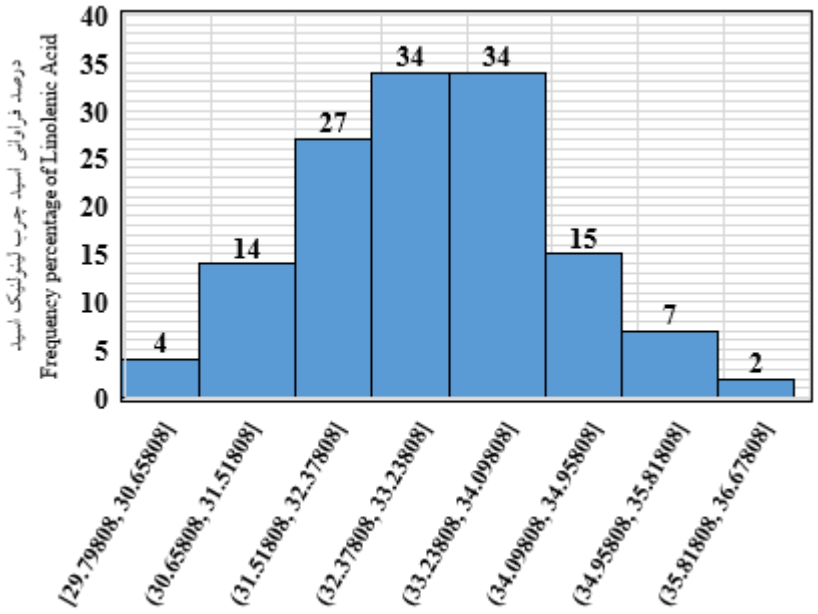


شکل ٥- نمودار فراوانی و میزان اسید چرب لینولئیک اسید (Linoleic acid) در ١٣٧ لاین هاپلوئید مضاعف کاملینا

Figure 5. Frequency and amount of Linolenic Acid in 137 doubled haploid lines of camelina

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦- نمودار فراوانی و میزان اسید چرب لینولنیک اسید (Linolenic acid) در ۱۳۷ لاین هاپلوئید مضاعف کاملینا

Figure 6. Frequency and amount of linolenic acid in 137 doubled haploid lines of camelina

در پژوهشی آمبرینگ و همکاران (Ambring *et al.*, 2006) به بررسی افراد سالم و معمولی که دارای رژیم غذایی سوئدی و مدیترانه‌ای (که حاوی مقادیر فراوان امگا-۳ و امگا-٦ است) پرداختند. نسبت امگا-٦ به امگا-۳ در رژیم غذایی مدیترانه‌ای ۰/۱۹ ± ۲/٦۰ و در رژیم غذایی سوئدی ۷۲/۱۹ ± ٤/۰ گزارش گردید و کاهش این نسب را عامل کاهش فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (Vascular endothelial growth factor) در رژیم غذایی مدیترانه‌ای بیان نمودند.

یکی از مهم‌ترین وظایف اسیدهای چرب امگا-۳ و امگا-٦ تولید هورمون‌های حیاتی ایکوزانوئیدها (Eicosanoids) می‌باشد. تنظیم نسبت این دو اسید چرب باعث عملکرد خوب ایکوزانوئیدها در بدن می‌شود. هورمون‌های ایکوزانوئیدها عملکردهای مختلفی را در بدن انجام و سازمان‌دهی می‌کنند (Murray *et al.*, 2006) (جدول ٤).

تصور عمومی بر این است که تنها دانه روغن گیاهی که میزان امگا-۳ آن از امگا-٦ بیشتر است، روغن دانه کتان می‌باشد. رنجزاد و همکاران (Ranjzad *et al.*, 2009) در تحقیقی با عنوان اندازه‌گیری و بررسی میزان اسیدهای چرب امگا-۳ و امگا-٦ در گونه‌های مهم جنس کتان (Linum) گزارش دادند که نسبت امگا-٦ به امگا-۳ در گیاه کتان زراعی (L. usitatissimum) برابر است با ۰/۳۱۳ و میانگین نسبت امگا-٦ به امگا-۳ در گونه‌های وحشی (*L. austriacum- L. bienne- L. strictum- L. mucronatum- L. nodiflorum*) جنس کتان برابر با ۳/۱۷۸ است. این در حالی است نسبت امگا-٦ به امگا-۳ در روغن دانه لاین‌های کاملینا در تحقیق حاضر به نسبت ۱:۱ نزدیک‌تر است. در شکل ۷ مشاهده می‌شود که بیشینه نسبت امگا-٦ به امگا-۳ در کاملینا (۰/۷۵-۰/۷۱) با فراوانی ۳ لاین و کمینه‌ای این نسبت (۰/۵۱-۰/٤۷) با فراوانی ۱۱ لاین می‌باشد (شکل ۷).

دانه‌های روغنی گیاهان از نظر محتوای امگا-۳ و امگا-٦ به ۳ گروه عمده تقسیم می‌شوند. گروه اول آن دسته از دانه‌های روغنی هستند که سرشار از امگا-٦ بوده و امگا-۳ ناچیزی دارند. از این گروه می‌توان روغن آفتابگردان، روغن ذرت، روغن کنجد، روغن پنبه‌دانه و روغن بادام‌زمینی را نام برد. دسته دوم گروهی از دانه‌های روغنی هستند که نسبت به گروه قبلی مقدار بسیار کمی امگا-۳ و مقدار فراوان امگا-٦ در خود ذخیره کرده‌اند. به‌عنوان مثال می‌توان روغن سویا، روغن کلزا، روغن گردو، روغن

www.SID.ir

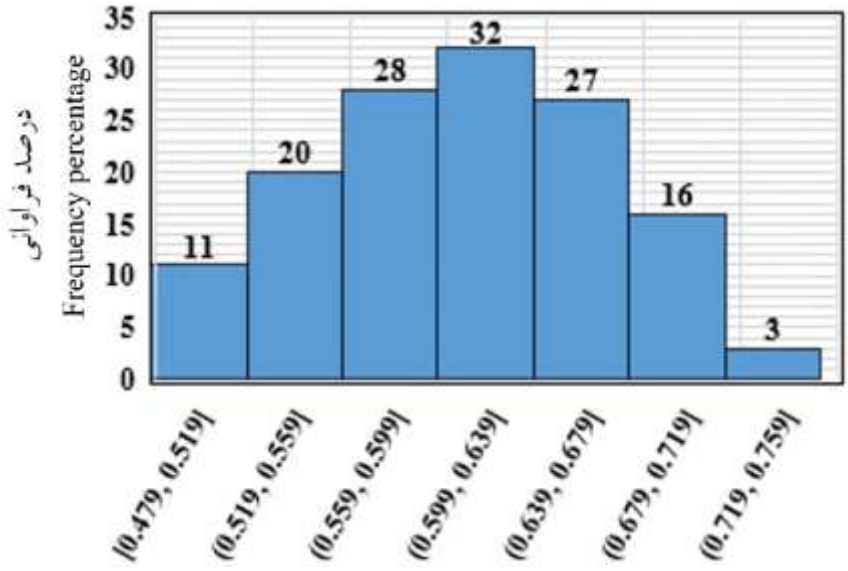
Archive of SID

نارگیل، روغن زیتون و روغن جوانه گندم اشاره کرد. گروه سوم آن دسته از دانه‌های روغنی گیاهی هستند که مقدار بسیار زیادی امگا-٣ دارند و میزان امگا-٦ آن‌ها بسیار ناچیز است (Bansal and Durrett, 2015). نتایج پژوهش بانسال و دورت (Bansal and Durrett, 2015) نشان داد که نسبت مناسبی از اسید چرب ALA و LA در روغن دانه گیاه کاملینا نسبت سایر منابع روغن گیاهی پرمصرف کلزا و سویا وجود دارد (شکل ٨).

جدول ٤- هورمون‌های ایکوزانوئیدها و عملکردهای هر یک از آن‌ها (Murray *et al*., 2006)

Table 4. Eicosanoid hormones and their functions (Murray *et al*., 2006)

هورمون‌های ایکوزانوئیدها Eicosanoid hormones	نام اختصاری Abbreviated name	عملکرد Function
پروستاگلاندین‌ها Prostaglandin	(PG)	دارای اثرات فیزیولوژیک مختلف مانند کاهش فشارخون، تنظیم عبور یون‌های مختلف از سیناپس‌های عصبی، خنثی‌سازی اثر برخی از هورمون‌ها، منبسط کننده عروق و بازدارنده طبیعی چسبندگی پلاکت‌ها It has various physiological effects such as lowering blood pressure, regulating the passage of different ions through the nerve synapses, neutralizing the effect of some hormones, vasodilators and normal platelet adhesion inhibitors.
پروستاسیکلین‌ها Prostacyclin	(PGI)	دارای اثر ضد انعقادی Antiaggregatory
ترومبوکسان‌ها Thromboxane	(TX)	سبب تشکیل لخته Causes clot formation.
لوکوتری‌ان‌ها Leukotriene	(LT)	سبب تعدیل سیستم ایمنی بدن Modulates the body immune system.
لیپوکسین‌ها Lipoxin	(LX)	بر عروق اثر می‌گذارند و سبب تعدیل سیستم ایمنی می‌شود. They affect the vessels and modulate the immune system of the body.

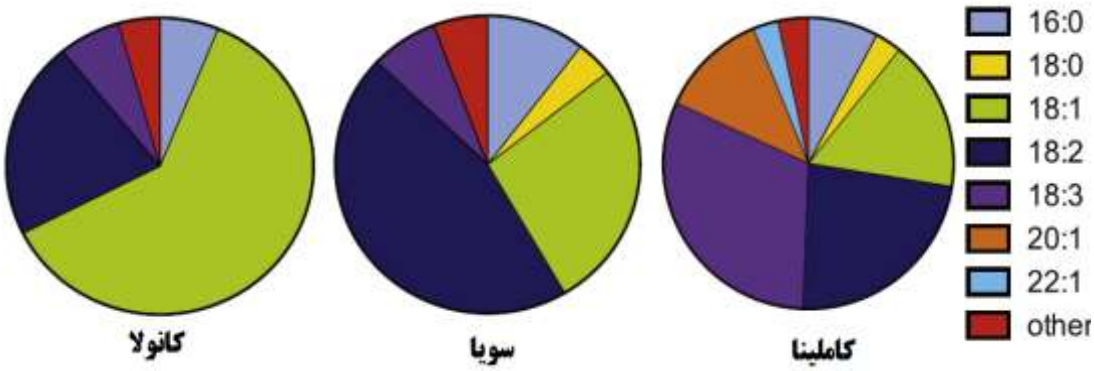


شکل ٧- نمودار فراوانی و مقدار نسبت امگا٦ به امگا٣ در ١٣٧ لاین هاپلوئید مضاعف کاملینا

Figure 8. Frequency and ratio of omega-6 to omega-3 in 137 doubled haploid camelina lines

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- ترکیب برخی از اسیدهای چرب روغن دانه کاملینا، سویا و کلزا (Bansal and Durrett, 2015)

Figure 8. Composition of some fatty acids in camelina, soybean and rapeseed oils (Bansal and Durrett, 2015)

اسید اروسیک: اسید اروسیک (C22:1) اسید چرب ۲۲ کربنه تک غیراشباع (MUFA) است که جز اسیدهای چرب با زنجیره بسیار بلند (VLCFAs[1]) دسته‌بندی می‌شود (Haslam and kunst, 2013). از نقطه‌نظر تغذیه‌ای، مقادیر کم اسید اروسیک مطلوب است (Ibrahim and El Habbasha, 2015). یکی از مهم‌ترین اهداف بهنژادی جنس براسیکاسه کاهش میزان اسید اروسیک (Erucic acid) است (Haslam and Kunst, 2013). آزمایش تغذیه‌ای بر روی حیوانات نشان داده است که روغن حاوی اسید اروسیک باعث افزایش کلسترول خون، عوارض قلبی و کاهش طول‌عمر می‌گردد (Ibrahim and El Habbasha, 2015). از طرفی مقادیر بالای این اسید چرب در روغن‌های صنعتی، روان کننده‌ها و نیز به‌عنوان مواد اولیه برای پلاستیک‌سازی و لوازم آرایشی و بهداشتی مورد استفاده دارد (Haslam and kunst, 2013). مقادیر اسید اروسیک در روغن دانه کاملینا در منابع مختلف متفاوت ذکر گردیده است (جدول ۵).

در تجزیه خوشه‌ای به جهت گروه‌بندی و تعیین فاصله بین ژنوتیپ‌ها از مربع فاصله اقلیدسی و روش وارد استفاده گردید. تجزیه کلاستر بر اساس میانگین میزان اسید اروسیک اندازه‌گیری شده ۱۳۷ لاین کاملینا انجام گردید که نتایج آن‌ها به‌صورت دندروگرام نشان داده شد (شکل ۹). با توجه به نقطه برش لاین‌های مورد مطالعه چهار خوشه با خصوصیات درون‌گروهی مشابه و بین گروهی غیرمشابه به‌دست آمد. خوشه اول (گروه اول + گروه دوم) ۴۳ لاین، خوشه دوم (گروه سوم) ۵۵ لاین، خوشه سوم (گروه چهار + گروه پنج) ۳۶ لاین، خوشه چهارم (گروه شش) ۳ لاین را شامل می‌شود.

بیشینه مقدار اسید اروسیک در روغن دانه کاملینا ۳/۹۴ و مقدار کمینه آن ۲/۴۹ درصد اندازه‌گیری شد. خوشه چهارم (گروه ۶) دارای سه لاین با مقادیر ۳/۹۴، ۳/۸۷ و ۳/۷۳ درصد اسید اروسیک می‌باشند و این در حالی است که تعداد ۱۳۴ لاین دارای مقادیر کمتر از ۳/۵۱ درصد می‌باشند. گیاهان جنس براسیکاسه برحسب میزان اسید اروسیک به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند. دسته اول که با علامت اختصاری (HEA[2]) مشخص می‌گردند که روغن آن‌ها بیش از ۵ درصد اسید اروسیک بوده و مصرف خوراکی ندارند. دسته دوم که با علامت اختصاری (LEA[3]) نام‌گذاری می‌شوند. روغن آن‌ها با کمتر از ۵ درصد اسید اروسیک مصرف خوراکی دارد (Gunstone, 2004). تمام لاین‌های هاپلوئید مضاعف کاملینا این بررسی کمتر از ۳/۹۴ درصد اسید اروسیک دارند.

1-Very long chain fatty acids

2 - High erucic acid
3 - Low erucic acid

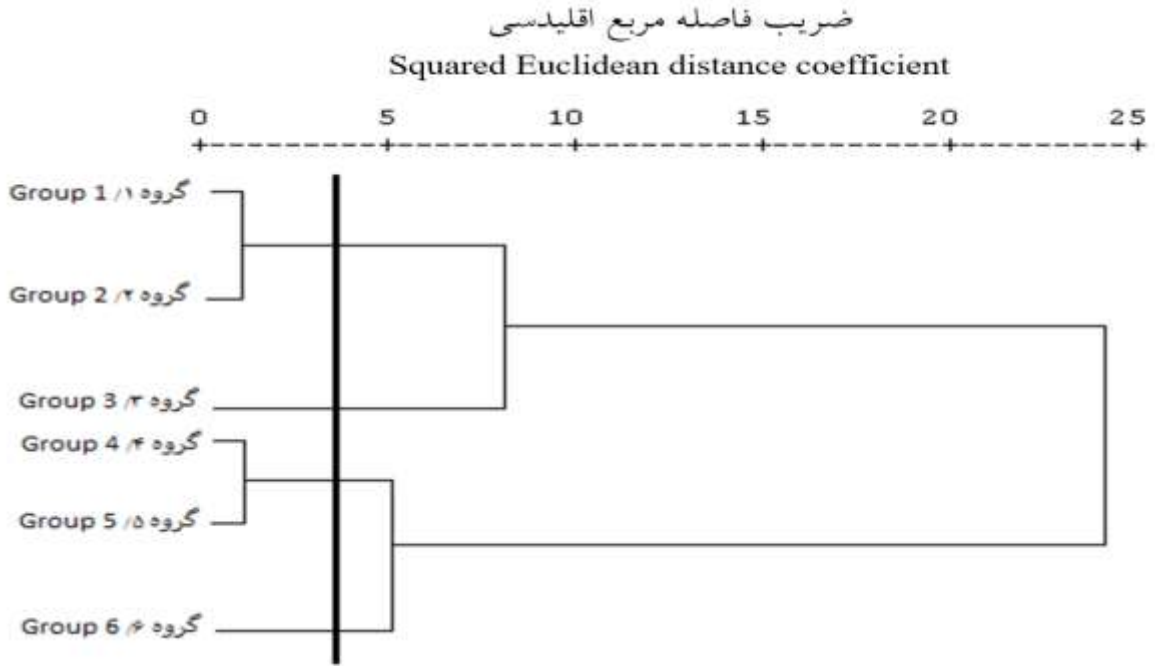
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٥- میزان اسید اروسیک موجود در روغن دانه کاملینا ذکر شده در منابع مختلف

Table 5. The amount of erucic acid in camelina seed oil listed in various sources

	محتوای روغن (٪) Oil content (%)	منبع Reference
اسید اروسیک Erucic acid	%4.2-1.6	Toncea *et al*., 2013
	%2.3	Moser *et al*., 2010
	%1.6	Jurcoane *et al*., 2011
	%3.9-2.9	Katar, 2013
	%3.5-3.3	Belayneh *et al*., 2015
	%2.5	Shukla *et al*., 2002
	%1.6	Abramovic and Abram, 2005



شکل ٩- تجزیه کلاستر ١٣٧ لاین هاپلوئید کاملینا برحسب میزان اسید اروسیک (C22:1) با استفاده از روش وارد

Figure 9. Cluster analysis of 137 doubled haploid camelina lines based on erucic acid (C22: 1) content by Ward method

برآورد پارامترهای ژنتیکی: واریانس ژنتیکی و فنوتیپی، ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی به‌عنوان درصدی از میانگین برای صفات مختلف ارزیابی می‌شود (Kahrizi *et al*., 2010). تغییرپذیری ژنوتیپی، فنوتیپی و وراثت‌پذیری برای اسیدهای چرب مختلف در جدول ٦ نمایش داده شده است. اسیدهای چرب (C14:0) و (C20:1) به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی را داشتند. بالا بودن ضریب تغییرات فنوتیپی برای صفات نشان می‌دهد که بیان این صفات تا حدود زیادی تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند (Singh *et al*., 2014). بالا بودن ضریب تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی نشان دهنده دامنه گسترده تغییرات برای صفات است. ضریب تغییرات محیطی در اسیدهای چرب C14:0 و C20:3 به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد را داشتند. به‌طور کلی نزدیک بودن مقدار ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی در برخی از صفات نشان دهنده ناچیز بودن اثرات محیطی بر بیان آن صفت است و برعکس زمانی که ضریب تغییرات فنوتیپی بسیار بیشتر از ضریب تغییرات ژنوتیپی باشد دلالت بر بالا بودن میزان اثرات محیطی است (Kahrizi *et al*., 2010). در این بررسی نیز این اصل مشاهده گردید. تفاوت کم بین ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی برای

www.SID.ir

Archive of SID

اسیدهای چرب (C18:3-C18:2-C24:1-C22:1-C20:0-C12:0-C20:2-C20:3<6%ECV) بیان کننده کاهش ضریب تغییرات محیطی و افزایش تأثیرات عوامل ژنتیکی در وراثت این صفات می‌باشد؛ بنابراین انتخاب والدین بر اساس این صفات برای دورگ‌گیری با هدف اصلاح مناسب می‌باشد. وراثت‌پذیری مهم‌ترین پارامتر در مطالعات ژنتیکی صفات کمی است (Crippa *et al*., 2009). این پارامتر در تصمیم‌گیری برای گزینش صفت نقش بارزی دارد (Aghmioni *et al*., 2015). در این بررسی بالاترین تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی به‌ترتیب برای اسیدهای چرب C14:0 و C16:1 و بالاترین میزان وراثت‌پذیری به‌ترتیب برای C20:2، C20:0 و C20:3 برآورد شد. وراثت‌پذیری به‌عنوان شاخصی از انتقال‌پذیری صفات از والدین به فرزندان مورد توجه قرار می‌گیرد. بالا بودن وراثت‌پذیری صفات نشان دهنده پایین بودن اثرات محیطی بر صفات بررسی شده می‌باشد (Aghmioni *et al*., 2015). تأثیر محیط بر صفاتی که دارای وراثت‌پذیری بالایی هستند، ناچیز بوده و انتخاب بر اساس فنوتیپ در این صفات مؤثر می‌باشد (Kahrizi *et al*., 2010). بالا بودن وراثت‌پذیری نشان دهنده این موضوع است که انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب با توجه به فنوتیپ قابل‌اطمینان است (Singh *et al*., 2014)؛ اما هیچ‌گونه شاخصی از مقدار پیشرفت ژنتیکی را برای گزینش بهترین افراد نشان نمی‌دهد. برای رفع این نقیصه از برآورد پیشرفت ژنتیکی استفاده می‌شود (Crippa *et al*., 2009). ترکیب وراثت‌پذیری با پیشرفت ژنتیکی نسبت به وراثت‌پذیری به‌تنهایی، برای تخمین اثرات انتخاب مفیدتر است (Kahrizi *et al*., 2010). باید به این موضوع توجه داشت که وراثت‌پذیری بالا با پیشرفت ژنتیکی بزرگ همواره توأم نیست و از طرفی پیوسته بودن وراثت‌پذیری بالا با پیشرفت ژنتیکی پایین برای برخی صفات نشان دهنده اثرات غالبیت و اپیستازی ژن‌های کنترل کننده این صفات است (Singh *et al*., 2014). نتایج به‌دست آمده نشان داد بالاترین میزان وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی برای صفت C12:0 و C24:1 وجود دارد. انتخاب برای صفاتی که همزمان وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالایی دارند، می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد (Crippa *et al*., 2009).

جدول ٦- پارامترهای ژنتیکی برای مقدار اسیدهای چرب در ۱۳۷ لاین دابل‌هاپلوئید کاملینا

Table 6. Genetic parameters for fatty acids traits in 137 doubled haploid camelina lines

اسید چرب Fatty acid	ضریب تغییرات ژنوتیپی GCV (%)	ضریب تغییرات فنوتیپی PCV (%)	ضریب تغییرات محیطی ECV (%)	وراثت‌پذیری عمومی H2 (%)	پیشرفت ژنتیکی GA (%)	بهره ژنتیکی GG (%)
C12:0	0.898	1.841	1.60	24.7	0.045	90.97
C14:0	41.19	84.08	73.29	24	0.042	0.412
C16:0	1.48	6.63	6.46	5.03	6.82	1.101
C16:1	21.5	44.08	44.33	23.52	0.03	20.88
C18:0	12.59	14.43	7.19	75.16	0.112	4.13
C18:1	5.57	9.24	7.37	36.52	1.06	0.068
C18:2	5.95	8.26	5.73	51.89	1.67	8.68
C18:3	1.70	6.09	5.85	7.83	3.118	9.79
C20:0	12.07	12.28	2.12	96.49	0.47	24.29
C20:1	1.35	6.077	6.07	4.97	9.06	62.21
C20:2	10.59	10.71	1.45	98.92	0.329	21.6
C20:3	9.69	9.7	0.01	98.59	0.24	19.71
C22:0	15.10	21.95	15.93	47.32	0.102	21.25
C22:1	7.81	8.30	2.94	87.57	0.449	14.96
C22:2	20.60	45.75	40.85	20.24	0.035	19.04
C22:3	9.75	14.50	10.72	45.28	0.067	13.44
C24:0	7.51	27.88	26.84	7.27	0.109	41.35
C24:1	13.26	14.17	4.99	87.6	0.197	25.4

www.SID.ir

Archive of SID

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که ١٨ نوع اسید چرب در کاملینا وجود دارد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف بسیار معنی‌داری ($P \leq ٠/٠١$) بین لاین‌ها از نظر مقادیر اسیدهای چرب وجود دارد. نسبت‌های متفاوت ترکیبات اسید چرب امکان استفاده از لاین‌ها را از نظر تغذیه، پزشکی و صنعتی فراهم می‌آورد. کارایی برنامه‌های به‌نژادی و تلاقی‌های هدفمند، وابسته به انتخاب والدین و آگاهی به‌نژادگر از نحوه انتقال و وراثت‌پذیری صفات به‌نژادی مورد نظر می‌باشد. یافته‌های حاصل از برآورد پارامتر ژنتیکی این بررسی که نشان دهنده اثرات ژنی و وراثت‌پذیری است، امکان انتخاب برنامه به‌نژادی هدفمند کاملینا را در آینده فراهم می‌آورد.

References

Abramovic, H. and Abram, V. (2005). Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of *Camelina sativa* oil. *Food Technology and Biotechnology*, **43(1):** 63-70.

Aghmioni, M., Aghaei, M.J., Vaezi, S.H. and Majidi Heravan, E. (2015). Evaluation of genetic diversity, heritability and genetic progress in Kabuli type Chickpea genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, **6:** 100-107 (In Persian).

Ambring, A., Johansson, M., Axelsen, M., Gan, L., Strandvik, B. and Friberg, P. (2006). Mediterranean-inspired diet lowers the ratio of serum phospholipid n–6 to n–3 fatty acids, the number of leukocytes and platelets, and vascular endothelial growth factor in healthy subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **83(3):** 575-581.

Balanuca, B., Stan, R., Hanganu, A., Lungu, A. and Iovu, H. (2015). Design of new camelina oil-based hydrophilic monomers for novel polymeric materials. *Journal of the American Oil Chemists Society*, **92(6):** 881-891.

Bansal, S. and Durrett, T.P. (2016). *Camelina sativa*: an ideal platform for the metabolic engineering and field production of industrial lipids. *Biochimie*, **120:** 9-16.

Belayneh, H.D., Wehling, R.L., Cahoon, E. and Ciftci, O.N. (2015). Extraction of omega-3-rich oil from *Camelina sativa* seed using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, **104:** 153-159.

Büchsenschütz-Nothdurft, A., Schuster, A. and Friedt, W. (1998). Breeding for modified fatty acid composition via experimental mutagenesis in *Camelina sativa* (L.) Crtz. *Industrial Crops and Products*, **7(3):** 291-295.

Crowley, J.G. and Fröhlich, A. (1998). *Factors Affecting the Composition and Use of Camelina*. Crops Research Centre, Oak Park, Carlow, IRL.

Crippa, I., Bermejo, C., Esposito, M.A., Martin, E.A., Cravero, V., Liberatti, D., Anido, F.S.L. and Cointry, E.L. (2009). Genetic variability, correlation and path analyses for agronomic traits in Lentil genotypes. *International Journal of Plant Breeding*, **3:** 76-80.

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

FAO. (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. FAO of the United Nations. http:// faostat3.fao.org.

Francis, A. and Warwick, S.I. (2009). The biology of canadian weeds. 142. *Camelina alyssum* (Mill.) Thell.; *C. microcarpa* Andrz. ex DC.; *C. sativa* (L.) Crantz. *Canadian Journal of Plant Science*, **89(4):** 791-810.

Gavzan, H., (2018). A review on health benefits of echium oil; as dietary vegetable source of essential fatty acids. *Iran Journal Physiology Pharmacology*, **2:** 226-239 (In Persian).

Gomez-Monedero, B., Bimbela, F., Arauzo, J., Faria, J. and Ruiz, M.P. (2015). Pyrolysis of red eucalyptus, camelina straw, and wheat straw in an ablative reactor. *Energy & Fuels*, **29(3):** 1766-1775.

Gugel, R.K. and Falk, K.C. (2006). Agronomic and seed quality evaluation of *Camelina sativa* in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, **86(4):** 1047-1058.

Gunstone, F.D. (2004). *Rapeseed and Canola Oil: Production, Processing, Properties and Uses*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

www.SID.ir

Archive of SID

Haslam, T.M. and Kunst, L. (2013). Extending the story of very-long-chain fatty acid elongation. *Plant Science*, **210:** 93-107.

Hoseini, S., Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T. and Ebadi, M. (2018). The effects of Camelina "Soheil" as a novel biodiesel fuel on the performance and emission characteristics of diesel engine. *Applied Sciences*, **8(6):** 1010.

Hosseini, Y., Homaei, M., Karimian, N. and Saadat, S. (2014). Effect of salinity and boron on seed germination and emergence of canola (*Brassica napus* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, **7(1):** 79-91.

Ibrahim, F.M. and El Habbasha, S.F. (2015). Chemical composition, medicinal impacts and cultivation of camelina (*Camelina sativa*). *International Journal of Pharm Tech Research*, **8:** 114-122.

Imbrea, F., Jurcoane, S., Halmajan, H.V., Duda, M. and Botos, L. (2011). *Camelina sativa*: A new source of vegetal oils. *Romanian Biotechnological Letters*, **16(3):** 6263-6270.

Ishida, M., Hara, M., Fukino, N., Kakizaki, T. and Morimitsu, Y. (2014). Glucosinolate metabolism, functionality and breeding for the improvement of Brassicaceae vegetables. *Breeding Science*, **64(1):** 48-59.

Javidfar, F., Reipley, F., Zeinaly, H., Abdmishani, S., Shah Nejat Boushehri, A.A., Tavakol Afshari, R., Alizadeh, B. and Jafarieh, E. (2007). Heritability of fatty acids composition in spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agriculture and Science*, **17(3):** 57-64 (In Persian).

Jiang, Y. and Caldwell, C.D. (2016). Effect of nitrogen fertilization on camelina seed yield, yield components, and downy mildew infection. *Canadian Journal of Plant Science*, **96(1):** 17-26.

Jurcoane, S., Dobre, P., Florea, C., Petre, S.M. and Ropota, M. (2017). *Camelina sativa* a useful plant source for renewable jet fuels, human nutrition and animal feed. *Proceeding Simpozion National*, Piatra Neamt, Romania.

Kahrizi, D., Maniee, M., Mohammadi, R. and Cheghamirza, K. (2010). Estimation of genetic parameters related to morpho-agronomic traits of Durum Wheat (*Triticum turgidum* var. durum). *Biharean Biologist*, **4(2):** 93-97.

Karimbeigi, H., Nazarian-Firouzabadi, F., Khademi, M. ad Mousavi, E. (2016). Assessment of genetic diversity among some oilseed Rape (*Brassica nupus* L.) plants, using single sequence repeats (SSR) molecular markers. *Plant Genetic Researches*, **3(1):** 45-56 (In Persian).

Katar, D. (2013). Determination of fatty acid composition on different false flax (*Camelina sativa* (L.) Crantz) Genotypes under Ankara ecological conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, **18(1):** 66-72.

Kim, J.H., Kim, Y., Kim, Y.J. and Park, Y. (2016). Conjugated linoleic acid: potential health benefits as a functional food ingredient. *Annual Review of Food Science and Technology*, **7:** 221-244.

McVay, K.A. (2008). Camelina production in Montana. MSU extension. *Medicine Present Perspective*, **3:** 33-42.

Moser, B.R. and Vaughn, S.F. (2010). Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra-low-sulfur diesel fuel. *Bioresource Technology*, **101(2):** 646-653.

Moser, B.R. (2016). Fuel property enhancement of biodiesel fuels from common and alternative feed stocks via complementary blending. *Renewable Energy*, **85:** 819-825.

Murray, R.K., Granner, D.K. and Rodwell, V.W. (2006*) Harper's Illustrated Biochemistry*. McGraw-Hill Companies Press, New York, USA.

Ranjzad, M., Kkhayami, M. and Asadi, A.E. (2009). Measuring and investigation of omega 3 and 6 fatty acids in species of linum ssp. *Journal of Medicinal Plants*, **8(2):** 25-32 (In Persian).

Raziei, Z., Kahrizi, D. and Rostami, A.H. (2018). Effects of climate on fatty acid profile in *Camelina sativa*. *Cellular and Molecular Biology*, **64(5):** 91-96.

Shukla, V.K.S., Dutta, P.C. and Artz, W.E. (2002). Camelina oil and its unusual cholesterol content. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **79(10):** 965-969.

Singh, T.P., Raiger, H.L., Kumari Singh, J. and Deshmukh, P.S. (2014). Evaluation of Chickpea genotypes for variability in seed protein content and yield components under restricted soil moisture condition. *Indian Journal of Plant Physiology*, **19:** 273-280.

www.SID.ir

Archive of SID

Simopoulos, A.P. and Meester, F. (2009). A balanced omega-6/omega-3 fatty acid ratio, cholesterol and coronary heart disease. Karger Medical and Scientific Publishers, Basel, SW.

Simopoulos, A.P. (2002). Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. *Journal of the American College of Nutrition*, **21(6):** 495-505.

Toncea, I., Necseriu, D., Prisecaru, T., Balint, L.N., Ghilvacs, M.I. and Popa, M. (2013). The seed's and oil composition of camelina first Romanian cultivar of camelina (*Camelina sativa*, L. Crantz). *Romanian Biotechnological Letters*, **18(5):** 8594-8602.

USDA. (2015). National Agricultural Statistics Service, USDA. http://www.nass.usda.gov/ (accessed Dec. 2015).

Watts, J.L. (2016). Using Caenorhabditis elegans to uncover conserved functions of omega-3 and omega-6 fatty acids. *Journal of Clinical Medicine*, **5(2):** 19.

Yang, J., Caldwell, C., Corscadden, K., He, Q.S. and Li, J. (2016). An evaluation of biodiesel production from *Camelina sativa* grown in Nova Scotia. *Industrial Crops and Products*, **81:** 162-168.

Zubr, J. (2003). Dietary fatty acids and amino acids of *Camelina sativa* seed. *Journal of Food Quality*, **26(6):** 451-462.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of Genetic Variation and Parameters of Fatty Acid Profile in Doubled Haploid Lines of *Camelina sativa* L.

Farshad Fallah[1], Danial Kahrizi[2,*], Ali Rezaeizad[3], Ali Reza Zebarjadi[4] and Leila Zarei[5]

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
3- Associate Professor, Department of Crops and Horticultural Science Research, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran
4- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
5- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: August 12, 2019 – Accepted: December 29, 2019)

Abstract

After cereals, oilseeds are the second-largest food reserves in the world. According to available statistics, more than 95 percent of Iran's oil needs are imported. Given the growing need for edible oils in Iran, it is important to identify fatty acids in the oilseed crops. *Camelina sativa* L. is an oil-medicinal plant and belongs to the *Brassicaceae* family that requires very little water and fertilizers. It is known as a low input plant. In this study, to analyze the fatty acid profile for breeding programs and specific industries, 137 doubled haploid camelina lines were evaluated in terms of fatty acid composition and variability of fatty acids trait, to estimate phenotypic coefficient of variation (PCV), genotypic coefficient of variation (GCV), heritability, and expected genetic advance. The determination of fatty acid by gas chromatography showed that 18 types of fatty acids were detectable in camelina seed oil. It is shown that the two fatty acids (C14:0 and C16:1) have the highest PCV and GCV. The highest heritability for C20:2, C20:3 and C20:0 fatty acids was estimated 98.92, 98.59 and 96.49 percent, respectively. In this study, two lines with linoleic acid of 35.81-36.67% and four lines with values ranged from 22.08-23.00% were introduced. The ratio of omega-6 to omega-3 (0.479-0.759) was obtained in the studied lines.

Keywords: Linoleic acid, Linolenic acid, Genetic variation, Oil seeds, *Camelina sativa*, Heritability

* **Corresponding Author, E-mail: dkahrizi@razi.ac.ir**

www.SID.ir