Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 47, Autumn 2023 p: 152-164

OPEN ACCESS

"Research Paper"

Evaluation of the Genetic Variation of Oil-Rich Camelina Advanced Lines under Rainfed Conditions

Reza Amiri[1], Hossein Rostami-Ahmadvandi[2] and Manouchehr Sayyahfar[1]

1- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran (Corresponding author: r.amiri@areeo.ac.ir)
2- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension (AREEO), Kermanshah, Iran
Received: 19 June, 2022 Accepted: 26 March, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: The development of oilseeds cultivation is one of the important and major goals of the country in achieving self-sufficiency in this field, which will play an important role in food security. Camelina is a promising oilseed that could potentially be used as a low-input crop for production in the drylands. However, little is known about camelina's breeding lines. Therefore, this study was performed to investigate and screen advanced camelina lines in terms of agronomic characteristics, yield, and percentage of seed oil using various statistical methods.

Materials and Methods: In this study, 19 advanced high oil lines along with cultivar Soheil were screened for agronomic characteristics, yield, and percentage of seed oil. The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replicates under rain-fed conditions at Sarab-Changai Research Station, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Khorramabad, Iran during the 2020-2021 cropping year in rainfed condition.

Results: According to the results, the oil yield and grain yield traits with more than 40% had the highest coefficient of variation. Day-to-flowering and day-to-maturity traits had the least variability according to this statistic. Analysis of variance indicated significant genotypic diversity between the studied genotypes in terms of most traits. The highest grain yield (901 kg/ha), oil content (35.83%), and oil yield (324 kg/ha) were recorded for DH60 line. According to the results of means comparison, plant height of genotypes was between 70.17 and 80.33 cm, day to flowering between 124 and 136, and day to maturity between 156 and 167. The correlation between grain yield and seed oil content (0.744**) and oil yield (0.995**) was positive and highly significant. Genotypes were clustered into three groups and the groups were statistically significantly different in most of the traits.

Conclusions: lines DH60, DH61, and DH105 were known as desirable and candidates for further breeding and agronomic research programs based on the results of various statistical methods including mean comparisons, cluster analysis, "genotype × trait" biplot, and SIIG index. lines DH41, DH69, DH128, and DH82 were also identified as the weakest genotypes in terms of the studied traits and are not recommended for economic cultivation. The results of this study showed that camelina is a crop plant adapted to dry conditions and a short growth period that has the potential to provide diversity in dryland crop rotation.

Keywords: GGE-biplot, Heat map, Oil yield, Oilseed, SIIG index

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

OPEN ACCESS
CC BY NC

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی تنوع ژنتیکی لاین‌های پیشرفته پر روغن کاملینا تحت شرایط دیم

رضا امیری[۱]، حسین رستمی احمدوندی[۲] و منوچهر سیاح‌فر[۱]

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران، (نویسنده مسوول: r.amiri@areeo.ac.ir)

۲- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۶

صفحه: ۱۵۲ تا ۱۶۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: توسعه کشت دانه‌های روغنی یکی از اهداف مهم و کلان کشور در رسیدن به خودکفایی در این زمینه است که نقش به‌سزایی در امنیت غذایی کشور خواهد داشت. کاملینا یک دانه روغنی امیدبخش است که به‌طور بالقوه می‌تواند به‌عنوان یک محصول کم نهاده برای تولید به ویژه در دیمزارها استفاده شود. با این حال، اطلاعات کمی در مورد لاین‌های اصلاحی کاملینا وجود دارد. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی و غربال لاین‌های پیشرفته کاملینا از نظر ویژگی‌های زراعی، عملکرد و درصد روغن دانه با استفاده از روش‌های آماری مختلف انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تعداد ۱۹ لاین پیشرفته پر روغن به‌همراه رقم سهیل با هدف غربال از نظر ویژگی‌های زراعی، عملکرد و درصد روغن دانه مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات سراب چنگایی خرم‌آباد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تحت شرایط دیم اجرا شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، صفات عملکرد روغن و عملکرد دانه با بیش از ۴۰ درصد، دارای بیشترین ضریب تغییرات بودند. کمترین تنوع بر اساس این آماره مربوط به صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدن بود. تجزیه واریانس نشان داد که تنوع ژنتیکی معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر اغلب صفات وجود دارد. بیشترین عملکرد دانه (۹۰۱ کیلوگرم در هکتار)، محتوای روغن (۳۵/۸۳ درصد) و عملکرد روغن (۳۲۴ کیلوگرم در هکتار) برای لاین DH60 ثبت گردید. طبق نتایج مقایسه میانگین، ارتفاع بوته ژنوتیپ‌ها بین ۷۰/۱۷ و ۸۰/۳۳ سانتی‌متر، روز تا گلدهی بین ۱۲۴ و ۱۳۶ و روز تا رسیدگی بین ۱۵۶ و ۱۶۷ بود. همبستگی بین عملکرد دانه و محتوای روغن دانه (۰/۷۴۴**) و عملکرد روغن (۰/۹۹۵**) مثبت و بسیار معنی‌دار بود. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها در سه گروه قرار گرفتند و گروه‌ها نیز به لحاظ آماری از نظر اغلب صفات دارای اختلاف معنی‌دار بودند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج همه روش‌های آماری مختلف شامل مقایسه میانگین، تجزیه خوشه‌ای، بای‌پلات ژنوتیپ × صفت و شاخص SIIG، لاین‌های DH60، DH61 و DH105 به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب و کاندید جهت برنامه‌های تحقیقات به‌نژادی و به‌زراعی بعدی شناسایی شدند. لاین‌های DH41، DH69، DH128 و DH82 نیز به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه تعیین شدند و قابل توصیه جهت کشت اقتصادی نیستند. نتایج این مطالعه نشان داد که کاملینا یک گیاه زراعی سازگار با شرایط دیم و برخوردار از دوره رشد کوتاه است که پتانسیل تنوع‌بخشی به تناوب در دیمزارها را دارد.

واژه‌های کلیدی: دانه روغنی، شاخص SIIG، عملکرد روغن، نمودار دمایی، GGE-biplot

مقدمه

دانه‌های روغنی از نظر تأمین کالری و انرژی مورد نیاز انسان و نیز نقش مؤثر در تغذیه دام، در بین محصولات زراعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و از با ارزش‌ترین محصولات بخش کشاورزی به شمار می‌روند. رشد جمعیت، افزایش مصرف سرانه، بهبود سطح تغذیه و جایگزینی مصرف روغن‌های گیاهی با کیفیت، سبب افزایش اهمیت این محصولات و تلاش برای دستیابی به منابع جدید روغن و دانه‌های روغنی گردیده است. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از روغن خوراکی مورد نیاز کشور، با واردات روغن خام و یا دانه‌های روغنی از خارج تأمین می‌گردد، توسعه کشت دانه‌های روغنی به‌منظور تأمین روغن‌های خوراکی یکی از اهداف مهم و کلان کشور در رسیدن به خودکفایی در این زمینه است که نقش به‌سزایی در صرفه‌جویی ارزی، تسریع روند توسعه اقتصادی، اشتغال‌زایی و امنیت غذایی کشور نیز ایفا می‌کند.

در این راستا، در چند سال اخیر کشت گیاه روغنی کاملینا (*Camelina sativa* [L.] Crantz) به دلیل چرخه زندگی کوتاه، مقاومت بالا نسبت به آفات رایج در دانه‌های روغنی، نیازهای آبی و محیطی بسیار کم، مقاومت به سرمای بهاره و تطابق با شرایط اقلیمی و دیمزارهای کشور، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Kahrizi *et al*., 2015; Kahrizi *et al*., 2016; Veljkovic *et al*., 2022) و این پتانسیل را دارد که با انجام فعالیت‌های اصلاحی و پالایش روغن آن، به‌عنوان روغن خوراکی مورد مصرف قرار گیرد. کاملینا گیاهی خودگشن و یکساله از خانواده شب‌بوئیان است که با قدمت ۶۰۰۰ ساله، بومی اروپا بوده و به‌عنوان کتان کاذب (False flax = Gold of pleasure) شناخته می‌شود (Anderson *et al*., 2019). روغن کاملینا به دلیل دارا بودن مقادیر پایینی از اروسیک اسید (کمتر از ۴ درصد) و مقادیر بالایی از امگا-۳، توکوفرول‌ها و سایر آنتی‌اکسیدان‌ها که نقش مهمی در سلامت انسان دارند، از نظر تغذیه‌ای به‌عنوان یک منبع ارتقاءدهنده سلامتی، بسیار مورد توجه است (Chaturvedi *et al*., 2019; Walia *et al*., 2021; Zanetti *et al*., 2021). تحت شرایط نرمال، محتوای روغن دانه کاملینا بین ۳۰ تا ۴۸ درصد (بر پایه وزن خشک) گزارش شده است (Pavlista *et al*., 2011) که تقریباً دو برابر روغن دانه سویا (۱۸ تا ۲۲ درصد) می‌باشد (Moser, 2012). در واقع ارزش ویژه کاملینا، مرتبط با محتوای روغن آن است که متشکل از درصد بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع (Fallah *et al*., 2020) از جمله ۳۰ تا ۴۰ درصد اسید لینولنیک، ۱۵ تا ۲۵ درصد اسید لینولئیک و حدود ۱۵ درصد اسید اولئیک می‌باشد (Vollmann *et al*., 2007).

کشور ما به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و علیرغم

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

برخورداری از دیمزارهای بسیار فراوان، فاقد تنوع لازم در گیاهان زراعی برای ورود به تناوب زراعی در کنار گندم، جو و نخود و حتی فاقد یک گیاه روغنی مطلوب برای شرایط دیم می‌باشد. این درحالی است که کاهش نزولات آسمانی و سطح منابع آب‌های زیرزمینی سبب مواجه با شرایط خشکسالی شده است. از این‌رو، نیاز به داشتن گیاهی روغنی همانند کاملینا برای شرایط دیم کشور و با حداقل مصرف نهاده‌ها و آب مصرفی، بسیار ضروری می‌باشد. گزارش مطالعات مختلف حاکی از سازگاری بالای کاملینا نسبت به کمبود عناصر غذایی و شرایط نامساعد محیطی از جمله تنش‌های خشکی (Waraich *et al*., 2020) و شوری (Morales *et al*., 2017) می‌باشد. این مهم سبب به حداقل رساندن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌گردد (Zanetti *et al*., 2017). آزمایش‌ها نشان داده‌اند که بارندگی متوسط یا آبیاری محدود سبب بهبود عملکرد دانه کاملینا شده و دانه‌ها محتوای روغن بیشتری خواهند داشت. اما در عین حال، باران یا آبیاری بیش از حد، تأثیر مخربی بر محصول دارد (Chen *et al*., 2015).

عموماً کاملینا در مزارع حاشیه‌ای و کم‌بازده رشد یافته و برای رشد و نمو خود در مقایسه با سایر گیاهان روغنی، به آب و مواد غذایی بسیار کمتری نیاز دارد و در عین حال نسبت به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی (Vollmann and Eynck, 2015) به‌ویژه خشکی و سرما بسیار متحمل‌تر است (Campbell, 2018). وجود موسیلاژ اطراف پوسته بذر که قابلیت جذب آب بالایی دارد، مزیت بزرگ کاملینا نسبت به سایر دانه‌های روغنی مقاوم به خشکی است (Canak *et al*., 2020). تمام مراحل رشد کاملینا تا مرحله پرشدن دانه، زمانی تکمیل می‌گردد که بیشترین بارندگی بهاره وجود دارد و چنانچه سال زراعی از نظر مقدار و توزیع بارندگی نرمال باشد، برخلاف سایر گیاهان روغنی، معمولاً نیازی به آبیاری بهاره ندارد. البته طبیعی است که تنش خشکی و دماهای بالا در مراحل گلدهی و تشکیل دانه منجر به کاهش عملکرد خواهد گردید. این محصول زراعی، احتیاجات چندانی از نظر کنترل علف‌های هرز و خاکورزی نیز ندارد (Chaturvedi *et al*., 2019)؛ به‌طوری‌که با انواع سیستم‌های خاکورزی سنتی و کشت مستقیم بدون خاکورزی سازگاری دارد (Obour *et al*., 2015) و به دلیل وجود مکانیسم خودکنترلی علف‌های هرز ناشی از خواص آللوپاتیک کاملینا (Walsh *et al*., 2014)، هزینه‌های کنترل شیمیایی و مکانیکی کاهش می‌یابد که به نوبه خود یک مزیت زیست‌محیطی ارزشمند است (Załuski *et al*., 2020). بنابراین، همه این عوامل سبب می‌گردد که زراعت کاملینا، مقرون‌به‌صرفه باشد. معرفی کاملینا به کشاورزی دیم، نه تنها سبب غنی شدن تناوب زراعی، بلکه باعث حفظ مواد مغذی خاک و سوق دادن کشاورزی دیم به سمت پایداری می‌گردد (Borzoo *et al*., 2021). از این‌رو، شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

اصولاً شناسایی پاسخ گیاهان زراعی به متغیرهای محیطی در طول فصل رشد، یکی از پایه‌های اساسی برنامه‌ریزی کشاورزی به‌منظور دستیابی به پتانسیل عملکرد و کیفیت مطلوب است. اگرچه عوامل محیطی و فصلی مانند بارندگی، دما، تاریخ کاشت و تغذیه گیاهی اثرات بیشتری بر عملکرد دانه، اندازه و وزن دانه، محتوای روغن و پروفایل اسیدچرب کاملینا نسبت به ژنوتیپ دارند (Campbell, 2018)، اما باید مدنظر داشت که در مسیر دستیابی به پتانسیل عملکرد کمی و کیفی، شناسایی، به‌نژادی و توسعه رقم‌های سازگار و پرمحصول‌تر نیز بسیار ضروری است. بنابراین، آگاهی از تنوع ژنتیکی و غربال منابع ژنتیکی جهت گزینش مطلوب، یکی از نخستین گام‌های فرآیند به‌نژادی هر گیاه است که می‌تواند برای به کارگیری منابع ژنتیکی به‌منظور بهبود محصول ارزشمند باشد.

نظر به مزایای کاملینا، توسعه کشت آن می‌تواند سبب افزایش سطح زیرکشت دانه‌های روغنی و استفاده کارآمدتر از دیمزارهای کشور، حفظ آب و کاهش وابستگی به واردات دانه‌های روغنی گردد و گامی رو به جلو در راستای نیل به اهداف توسعه پایدار و امنیت غذایی کشور باشد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی و غربال لاین‌های پیشرفته کاملینا از نظر ویژگی‌های زراعی، عملکرد و درصد روغن دانه با استفاده از روش‌های آماری مختلف انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی استفاده شده در این آزمایش شامل ۲۰ ژنوتیپ کاملینا متشکل از ۱۹ لاین پیشرفته پر روغن که از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد در معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود کرمانشاه) گزینش شده بودند، به همراه رقم شاهد سهیل (جدول ۱) می‌باشد. این لاین‌ها (هاپلوئید مضاعف) حاصل ۱۵ تلاقی مختلف است که در دانشگاه رازی به روش کشت بساک تولید شده‌اند (Kahrizi and Rostami-Ahmadvandi, 2015). آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات سراب چنگایی خرم‌آباد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تحت شرایط دیم اجرا گردید.

عملیات کاشت در تاریخ ۳۰ آبان ۱۳۹۹ به‌صورت دستی در واحدهای آزمایشی با ۴ خط کاشت به طول ۴ متر و فاصله ردیف کاشت ۲۵ سانتی‌متر، بدون فاصله بذر روی ردیف و تراکم ۳۰۰ بوته در مترمربع صورت گرفت. مقدار کود مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و به میزان ۲۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم، ۲۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره قبل از کاشت مصرف گردید. کنترل علف‌های هرز نیز در دو مرحله به‌صورت دستی انجام گرفت.

طبق اطلاعات آمار هواشناسی، مجموع میزان بارندگی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مکان اجرای آزمایش حدود ۳۰۵ میلی‌متر بود که بیش از ۹۸ درصد آن (۲۹۵ میلی‌متر) در پاییز و زمستان و تنها دو درصد (۱۰ میلی‌متر) از این بارش‌ها در بهار رخ داد. این مقدار بارش نسبت به سال قبل (۵۲۴ میلی‌متر) به میزان ۴۲ درصد کاهش نشان داد. از طرفی متوسط دما در فروردین (۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد) و اردیبهشت (۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد) این سال در مقایسه با سال قبل به‌ترتیب ۱۸ و ۱۵ درصد افزایش یافت. داده‌های درجه حرارت نشان می‌دهند که

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

متوسط دمای سال زراعی اخیر ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد بوده که در مقایسه با میانگین بلند مدت ۲/۴ درجه سانتی‌گراد و نسبت به سال زراعی گذشته ۲/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. مجموع روزهای زیر صفر ۷۶ روز بوده نسبت به میانگین بلند مدت پنج روز کاهش و نسبت به سال زراعی گذشته ۲۰ روز افزایش داشته است.

جدول ۱- نام، شماره و سایر اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌ها

Table 1. Name, code and other information related to the genotypes

شماره	ژنوتیپ	والد مادری		والد پدری	
		رقم	منشأ	رقم	منشأ
۱	DH60	Omskij Mestnyj	روسیه	Irkutskij Mestnyj	منطقه ایرکوتسک
۲	DH38	Voronezskij 349	روسیه	Kirgizskij 1	قرقیزستان
۳	DH36	Voronezskij 349	روسیه	Kirgizskij 1	قرقیزستان
۴	DH114	Voronezh 349	شوروی سابق	Czestochowska	لهستان
۵	DH10	Voronezh 349	شوروی سابق	Czestochowska	لهستان
۶	DH16	Voronezh 349	شوروی سابق	Czestochowska	لهستان
۷	DH107	Lindo	آلمان	Ukrajinskaja	شوروی سابق
۸	DH200	Came	دانمارک	Omskij	شوروی سابق
۹	DH100	Came	دانمارک	Omskij	شوروی سابق
۱۰	DH69	Came	آلمان	Volynskaja	شوروی سابق
۱۱	DH20	Calena	آلمان	Blaine Greek	یونان
۱۲	DH15	Calena	آلمان	Blaine Greek	یونان
۱۳	DH82	Came	دانمارک	Omskij	شوروی سابق
۱۴	DH41	Chulymskij	روسیه	Omskij Mestnyj	روسیه
۱۵	DH128	Svalöf	سوئد	Ukrajinskij	شوروی سابق
۱۶	DH61	Voronezh 349	شوروی سابق	Czestochowska	لهستان
۱۷	DH105	Svalöf	سوئد	Ukrajinskij	شوروی سابق
۱۸	DH18	Svalöf	سوئد	Ukrajinskij	شوروی سابق
۱۹	DH40	Saratouskij	روسیه	Bronowska	لهستان
۲۰	Soheil	Calena	آلمان	Blaine Greek	یونان

برای اندازه‌گیری صفات، به‌طورتصادفی تعداد ده بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و صفات مختلف آن‌ها شامل اجزای عملکرد و صفات مورفولوژی مورد بررسی قرار گرفت. فاصله زمانی بین ۵۰ درصد گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک به‌عنوان طول دوره پرشدن دانه در نظر گرفته شد. از حاصل تقسیم وزن تک دانه بر طول دوره پرشدن دانه نیز، میانگین سرعت پرشدن دانه به میلی‌گرم در دانه در روز به دست آمد. پس از حصول رسیدگی کامل بوته‌ها در اول خرداد ماه سال ۱۴۰۰، هر چهار ردیف کاشت از هر پلات توسط کمباین آزمایشی وینتراشتایگر برداشت و پس از توزین دانه‌ها، عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. میزان روغن دانه با استفاده از دستگاه تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR) و در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم – سرارود کرمانشاه اندازه‌گیری شد.

از نرم افزار SAS ver.9.1 برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات (با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد) اندازه‌گیری شده و از نرم‌افزار SPSS ver.16 برای محاسبه آمار توصیفی صفات مورد مطالعه استفاده گردید. تجزیه خوشه‌ای برای صفات معنی‌دار بر اساس روش وارد[2] و با استفاده از مربع فاصله اقلیدسی و نیز تجزیه تابع تشخیص جهت تعیین محل برش دندروگرام، توسط نرم‌افزار SPSS ver.16 انجام شد. نقشه دمایی[3] مربوط به همبستگی صفات با استفاده از نرم‌افزار R نسخه 4.2.1 و دیاگرام بای‌پلات به‌وسیله نرم‌افزار GGE-biplot ver.6.3 ترسیم گردید. برای محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG[4]) (Zali *et al*., 2015) از محیط نرم‌افزاری Excel 2016 بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

طبق اطلاعات هواشناسی ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها، رشد زایشی کاملینا در این آزمایش کاملاً مصادف با تنش شدید خشکی و افزایش دما بوده است و در چنین شرایطی به‌طور میانگین، ۵۱۱ کیلوگرم دانه تولید شده است (جدول ۲). مطالعات نشان داده است که کاملینا دارای نیاز آبی پایین و تحمل بالا به خشکی است (Berti *et al*., 2016). یکی از علل وجود مقاومت کاملینا به خشکی، ممکن است توانایی آن در جذب آب از عمق خاک باشد (Hunsaker *et al*., 2011). همچنین، دوره رشد کوتاه کاملینا یکی دیگر از عواملی است که نقش مهمی در نیاز آبی پایین و اجتناب از تنش خشکی است (Berti *et al*., 2016). البته، گزارشات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد تنش دمایی به‌ویژه در مرحله رشد زایشی، حتی اگر محدودیت آب وجود نداشته باشد، اثر منفی معنی‌داری بر عملکرد دانه و روغن کاملینا دارد (Schillinger *et al*., 2012). در مطالعه انجام شده در ایالت آریزونای آمریکا، میانگین عملکرد دانه کاملینا ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد روغن ۴۵ درصد ثبت گردید و گزارش شد که حداکثر مصرف آب کاملینا ۴۹۰-۴۷۰ میلی‌متر است که در مقایسه با سایر محصولات، پایین‌تر است (Hunsaker *et al*., 2013). بنا بر

1-Nuclear Magnetic Resonance 2-Ward 3-Heatmap 4-Selection index of ideal genotype

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

گزارش‌ها، علاوه بر زمینه ژنتیکی، تنش خشکی نیز در مرحله زایشی بر ترکیبات ذخیره‌ای دانه کاملینا تأثیرگذار است و علاوه‌برآن، باعث تأثیر معنی‌دار بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه می‌گردد که این کاهش را می‌توان به دسترسی کم دانه‌های درحال رشد به آسیمیلات‌ها و کربوهیدرات‌ها نسبت داد (Borzoo *et al*., 2021). صفات عملکرد روغن، عملکرد دانه و سرعت پرشدن دانه به‌ترتیب با ۴۷/۷۷، ۴۲/۸۹ و ۲۰/۲۲ درصد، دارای بیشترین ضریب تغییرات فنوتیپی بودند. کمترین تنوع بر اساس این آماره مربوط به صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدن بود. نظر به این موضوع که ضریب تغییرات فنوتیپی یکی از شاخص‌هایی است که برای مقایسه نسبی میزان تنوع ژنتیکی بین صفات مختلف کاربرد دارد، بنابراین بر اساس پارامترهای ساده آماری، می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارای تنوع کافی بوده و می‌توانند به‌عنوان مواد ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها

ژنوتیپ‌ها از نظر همه صفات مورد مطالعه به غیر از ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و تعداد خورجین در شاخه اصلی، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و یا ۱ درصد داشتند (جدول ۳) که نشان می‌دهد تنوع ژنتیکی بالایی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه وجود داشت. مطالعات زیادی بر اهمیت فراوان فرآیند گزینش در دستیابی به پتانسیل تولید کاملینا صحه گذاشته‌اند. در واقع، آگاهی از تنوع ژنتیکی منجر به استفاده مؤثرتر از منابع ژنومی خواهد گردید. در مطالعه‌ای نشان داده شده است که صفات مهم کاملینا شامل عملکرد دانه و روغن، علاوه بر مکان و سال، بسیار متأثر از ژنوتیپ می‌باشد (Zhang *et al*., 2021). در مطالعات دیگر نیز تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مختلف کاملینا گزارش شده است (Gesch *et al*., 2018; Krzyzaniak *et al*., 2019; Walia *et al*., 2021; Zhang *et al*., 2021).

جدول ۲- آمار توصیفی مربوط به صفات مورد مطالعه در ۲۰ ژنوتیپ کاملینا

Table 2. Descriptive statistics parameters for studied traits in 20 camelina genotypes

Trait صفت	Mean میانگین	Min کمینه	Max بیشینه	Range دامنه	Standard deviation انحراف معیار	CV (%) ضریب تغییرات (٪)	Skewness چولگی	Kurtosis کشیدگی
Day to flowering تعداد روز تا گلدهی	129.37	123.00	13.80	15.00	4.33	3.34	0.39	-1.14
Day to maturity تعداد روز تا رسیدن	160.58	155.00	170.00	15.00	3.12	1.94	0.33	-0.04
Seed filling period (day) دوره پرشدن دانه (روز)	31.22	22.00	38.00	16.00	4.22	13.53	-0.40	-0.94
Seed filling ratio (mg/seed/day) سرعت پرشدن دانه (میلی‌گرم در دانه در روز)	0.03	0.02	0.05	0.03	0.006	20.22	0.70	-0.09
Plant height (cm) ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	75.31	59.50	88.50	29.00	5.88	7.80	-0.35	0.83
Sub branch number per plant تعداد شاخه فرعی در بوته	12.16	7.50	16.00	8.50	1.89	15.51	-0.07	-0.39
Silique number in sub branch تعداد خورجین در شاخه فرعی	30.28	20.50	41.50	21.00	4.73	15.63	0.07	-0.12
Silique number in main branch تعداد خورجین در شاخه اصلی	50.15	31.00	65.00	34.00	6.92	13.80	0.02	-0.03
Seed number in silique تعداد دانه در خورجین	14.67	10.00	21.50	11.50	2.59	17.67	0.40	-0.35
Thousand seed weight (g) وزن هزار دانه (گرم)	0.92	0.68	1.21	0.53	0.12	13.60	0.28	-0.63
Seed yield (Kg/ha) عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	511.0	171.00	1019.40	848.40	219.20	42.89	0.49	-0.56
Oil content (%) محتوای روغن (درصد)	32.91	16.89	38.49	21.60	3.07	9.32	-2.37	11.58
Oil yield (Kg/ha) عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	171.80	28.90	369.20	340.40	82.10	47.77	0.58	-0.36

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ۲۰ ژنوتیپ کاملینا

Table 3. Analysis of variance for studied traits in 20 camelina genotypes

S.O.V منابع تغییرات	d.f درجه آزادی	Mean Squares میانگین مربعات					
		Day to flowering تعداد روز تا گلدهی	Day to maturity تعداد روز تا رسیدن	Seed filling period دوره پرشدن دانه	Seed filling ratio سرعت پرشدن دانه	Plant height ارتفاع بوته	Sub branch number per plant تعداد شاخه فرعی در بوته
Replication تکرار	2	4.6167^{ns}	14.6167^{ns}	3.4667^{ns}	0.000022^{ns}	70.4063^{ns}	4.3540^{ns}
Genotype ژنوتیپ	19	54.0315^{**}	16.978^{**}	51.7289^{**}	0.000114^{**}	20.3545^{ns}	3.1761^{ns}
Error خطا	38	1.7921	5.8096	1.6421	0.000013	39.7483	3.7109
C.V % ضریب تغییرات (٪)	-	1.03	1.50	4.11	11.90	8.37	15.84

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and **: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

ادامه جدول ۳-

Table 3. Continued

S.O.V منابع تغییرات	d.f درجه آزادی	Silique number in sub branch تعداد خورجین در شاخه فرعی	Silique number in main branch تعداد خورجین در شاخه اصلی	Seed number in silique تعداد دانه در خورجین	Thousand seed weight (g) وزن هزار دانه (گرم)	Seed yield (Kg/ha) عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	Oil content (%) محتوای روغن (درصد)	Oil yield (Kg/ha) عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)
		Mean Squares میانگین مربعات						
Replication تکرار	2	23.1542^{ns}	67.7344^{ns}	3.1292^{ns}	0.014200^{ns}	115981.415**	28.7038*	19719.8708**
Genotype ژنوتیپ	19	33.3605*	67.1065^{ns}	10.2807*	0.032828**	95206.627**	14.6228**	13774.4461**
Error خطا	38	16.8954	37.2288	5.1248	0.007006	20872.478	5.7862	2534.7258
C.V % ضریب تغییرات (٪)	-	13.57	12.17	15.43	9.12	28.27	7.31	29.30

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

طبق نتایج مقایسه میانگین صفات (جدول ۴)، رقم شاهد سهیل (شماره ۲۰) با ۱۲۴ و ژنوتیپ ۸ با ۱۳۶ روز، به‌ترتیب زودگلده‌ترین و دیرگلده‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. میانگین تعداد روز تا رسیدن ۱۶۰ روز بود که ژنوتیپ‌های شماره ۱۶ و ۱۹ به‌ترتیب زودرس‌ترین (۱۵۶ روز) و دیررس‌ترین (۱۶۷ روز) ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ شماره ۲ با ۳۶/۶۷ روز دارای بیشترین و ژنوتیپ‌های ۷ و ۸ با ۲۴ روز دارای کمترین دوره پرشدن دانه بودند. ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۱ با ۰/۰۴۰ و ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۲۰ (شاهد) با ۰/۰۲۰ به‌ترتیب بیشترین و کمترین سرعت پرشدن دانه را به خود اختصاص دادند. در یک مطالعه انجام شده روی کاملینای بهاره در روسیه گزارش شده که مراحل فنولوژی کاملینا به‌طور معنی‌داری متأثر از شرایط آب و هوایی سال اجرای آزمایش است و بسته به نوع ژنوتیپ، دوره رشد رویشی آن بین ۶۶ تا ۷۲ روز و دوره گلدهی بین ۱۲ تا ۱۸ روز می‌باشد (Vinogradov *et al*., 2019). دوره رشد کوتاه و زودرسی کاملینا، در زمانی که محصولات زراعی اصلی هنوز در مرحله شیری هستند، یک مزیت بزرگ زراعی است. نتایج بررسی داده‌های آزمایشی مزرعه‌ای چند محیطی روی ۲۱۱ اکسشن کاملینای بهاره نشان داد که ژنوتیپ و محیط دارای اثرات معنی‌داری بر زمان گلدهی هستند و تنوع فنوتیپی بالایی برای صفت زمان گلدهی وجود دارد؛ به‌طوری که میانگین زمان گلدهی آن‌ها ۹۹ روز پس از کاشت و دامنه آن بین ۸۵ تا ۱۲۵ روز بود (Lily *et al*., 2021). به‌طور کلی دوره رشد کاملینا بین ۹۰ تا ۲۵۰ روز گزارش شده است (Czarnik *et al*., 2018; Krzyzaniak *et al*., 2019; Zanetti *et al*., 2017). در مطالعات دیگر نیز وجود تنوع فنوتیپی برای دوره رشد کاملینا از جمله روز تا گلدهی گزارش شده است (Berti *et al*., 2016). در بررسی ۱۹ اکسشن کاملینا در کانادا، دامنه روز تا ۲۰ درصد گلدهی از ۳۸ تا ۵۲ روز و دامنه روز تا رسیدگی از ۷۲ تا ۱۰۶ روز بود (Gugel and Falk, 2006). از آنجایی که تغییرات جهانی اقلیم در حال تبدیل شدن به یک روند آشکار است، زودگلدهی برای محصولاتی که در محیط های خشک و با دمای بالا رشد می‌کنند، یک مزیت است زیرا این ویژگی می‌تواند زمان قرار گرفتن محصول در معرض تنش خشکی را در مرحله حساس گلدهی به حداقل برساند (Shavrukov *et al*., 2017). بنابراین، استفاده از راهبردهای اصلاحی که پتانسیل عملکرد را در واریته‌های زودگل سازگار با خشکی به حداکثر می‌رساند، بسیار مهم است (Lily *et al*., 2021). وراثت پذیری بالا (۰/۸۹۳) برای صفت زمان گلدهی نشان‌دهنده اثربخشی اصلاح گونه‌های زودگل کاملینا است (Lily *et al*., 2021).

بیشترین ارتفاع بوته (۸۰ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۱۶ و بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته مربوط به ژنوتیپ ۱۶ بود. کمترین ارتفاع بوته (۷۰/۱۷ سانتی‌متر) برای ژنوتیپ ۳ و کمترین تعداد شاخه فرعی در بوته (۱۰/۶۷) برای ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۲۰ (شاهد) ثبت شد. میانگین ارتفاع بوته کاملینا بین ۷۰/۸ تا ۷۹/۹ (Veljkovic *et al*., 2022) و از ۶۵ تا ۱۰۵ (Czarnik *et al*., 2018; Jankowski *et al*., 2019) سانتی‌متر گزارش شده است. ژنوتیپ ۲۰ (شاهد) از نظر صفات تعداد خورجین در شاخه فرعی (۳۶/۰۰) و تعداد خورجین در شاخه اصلی (۵۹/۸۳)، برترین بود. کمترین مقدار این صفات نیز به‌ترتیب از ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۹ مشاهده شد. دامنه تعداد خورجین در بوته بین ۶۰ و ۱۱۵ گزارش شده است (Czarnik *et al*., 2018). بالاترین تعداد دانه در خورجین (۱۸/۱۷) و وزن هزار دانه (۱/۱۰۳ گرم) به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۳ و کمترین مقدار آن‌ها به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۲ (۱۱/۰۰ عدد) و ۷ (۰/۷۶۷ گرم) بود. میانگین وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها در این مطالعه ۰/۹۱۸ گرم بود. در منابع مختلف، تعداد دانه در خورجین کاملینا بین ۱۰ تا ۲۰ عدد (Jankowski *et al*., 2019) و وزن هزار دانه بین ۰/۷ تا ۱/۸ گرم (Jankowski *et al*., 2019; Zanetti *et al*., 2017) و در سایر مطالعات، وزن هزار دانه کاملینا بین ۰/۹ و ۱/۷ گرم (Campbell, 2018) و بین ۰/۷۷ و ۱/۰۷ گرم (Walia *et al*., 2021) بسته به ژنوتیپ و شرایط رشد، گزارش شده است. وزن هزار دانه در کاملینا نیز همانند سایر گیاهان زراعی، بسیار وابسته به تراکم بذر و شرایط آب و هوایی در زمان تشکیل دانه می‌باشد. بیشترین عملکرد دانه (۹۰۱ کیلوگرم در هکتار)، محتوای روغن (۳۵/۸۳ درصد) و عملکرد روغن (۳۲۴/۴۲ کیلوگرم در هکتار) برای ژنوتیپ شماره یک ثبت گردید. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ و ۱۴ نیز از نظر این صفات، جزو

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. دامنه عملکرد دانه کاملینا در نقاط مختلف دنیا بسته به نوع ژنوتیپ و نوع کشت، بسیار متنوع گزارش گردیده است. برای مثال عملکرد دانه لاین‌های تحت بررسی در شمال ایتالیا ۳۳۰۰–۱۲۰۰ (Masella *et al*., 2014)، در ترکیه ۹۹۷–۵۷۲ (Katar *et al*., 2012)، در اتریش ۲۲۴۸–۱۵۷۴ (Waraich *et al*., 2020)، در آلمان ۲۲۶۵۰–۱۱۰۰ (Gehringer et al., 2016) و در رومانی ۲۸۹۲–۱۷۶۱ (Toncea, 2014) کیلوگرم در هکتار به دست آمده است. متوسط میزان عملکرد برای ارقام کاملینا که در شمال چین کشت می‌شود، از ۱۶۰۰ تا ۱۹۵۰ کیلوگرم در هکتار است (Zhang *et al*., 2021). در یک بررسی، عملکرد دانه کاملینا در اروپا (میانگین ۱۵۱۸ کیلوگرم در هکتار) به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از آمریکا (میانگین ۷۴۳ کیلوگرم در هکتار) بوده است (Zanetti *et al*., 2020). نتایج مشابهی (۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) نیز برای کاملینای بهاره در اروپا و کانادا گزارش گردیده است (Zanetti *et al*., 2017). به‌طور کلی، تلفات بذر که معمولاً به دلیل برداشت بی‌موقع، روش‌های برداشت نامناسب، شرایط زراعی و همچنین حمل و نقل و ذخیره‌سازی نامناسب رخ می‌دهد، عملکرد خالص دانه کاملینا را تعیین می‌کند (Stefanoni *et al*., 2021). میانگین عملکرد دانه کاملینای پاییزه در محیط‌های مختلف آمریکا و اروپا بین ۷۰۴ تا ۲۰۹۵ کیلوگرم در هکتار (Walia *et al*., 2021)، در ایتالیا ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (Obour *et al*., 2017) و کاملینای بهاره در ایالت کنزاس بین ۳۲۱ تا ۱۱۵۱ کیلوگرم در هکتار (Bacenetti *et al*., 2017) گزارش شده است.

تفاوت در دامنه محتوای روغن کاملینا در این مطالعه (۳۵/۸۳–۲۷/۹۳ درصد) با منابع مختلف؛ ۳۲–۲۷ درصد (Zhang *et al*., 2021)، ۴۶–۳۹ درصد (Berti *et al*., 2011)، ۴۲–۳۹ درصد (Krzyzaniak *et al*., 2019)، ۲۵–۵۰ درصد (Hergert *et al*., 2016) و ۴۲–۳۵ درصد (Walia *et al*., 2021) می‌تواند ناشی از روش استحصال مختلف، تفاوت در عوامل محیطی، شرایط مدیریت زراعی و ... باشد؛ به‌طور مثال در یک مطالعه در داکوتای شمالی، میانگین ۳۰ درصد روغن به دست آمد که به علت وقوع تنش گرمایی شدید در دوره پر شدن دانه بوده است (Wittenberg *et al*., 2020). بالاتر بودن محتوای روغن کاملینا در فصل رشد خنک‌تر همراه با بارندگی کمتر، گزارش شده است (Krzyzaniak *et al*., 2019). به عبارتی دیگر، کمترین درصد روغن در هوای گرمتر و مرطوب‌تر به دست می‌آید. سایر اطلاعات مربوط به صفات در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ۲۰ ژنوتیپ کاملینا

Table 4. Mean comparison of the studied traits in 20 camelina genotypes

Sub branch number per plant تعداد شاخه فرعی در بوته	Plant height (cm) ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	Seed filling ratio (mg/seed/day) سرعت پرشدن دانه (میلی‌گرم در دانه در روز)	Seed filling period (day) دوره پرشدن دانه (روز)	Day to maturity تعداد روز تا رسیدن	Day to flowering تعداد روز تا گلدهی	Genotype ژنوتیپ
11.00^{b}	74.17^{a}	0.030^{bc}	35.33^{ab}	161.00^{b-e}	125.67^{fg}	1
12.17^{ab}	73.00^{a}	0.030^{bc}	36.67^{a}	162.33^{bc}	125.67^{fg}	2
12.67^{ab}	70.17^{a}	0.027^{cd}	35.00^{ab}	160.33^{b-e}	125.33^{g}	3
11.50^{ab}	77.67^{a}	0.027^{cd}	33.67^{bcd}	157.67^{ef}	124.00^{g}	4
12.17^{ab}	73.83^{a}	0.030^{bc}	29.00^{fg}	162.00^{bcd}	133.00^{bcd}	5
11.61^{ab}	78.83^{a}	0.040^{a}	25.67^{hi}	160.00^{b-e}	134.33^{abc}	6
12.00^{ab}	73.50^{a}	0.033^{b}	24.00^{i}	159.33^{c-f}	135.33^{a}	7
12.33^{ab}	73.83^{a}	0.043^{a}	24.00^{i}	160.00^{b-e}	136.00^{a}	8
13.67^{ab}	74.83^{a}	0.030^{bc}	32.67^{cde}	158.33^{def}	125.67^{fg}	9
10.83^{b}	74.00^{a}	0.030^{bc}	27.33^{gh}	162.00^{bcd}	134.67^{ab}	10
12.33^{ab}	80.33^{a}	0.040^{a}	27.33^{gh}	159.00^{c-f}	131.67^{d}	11
12.67^{ab}	77.33^{a}	0.033^{b}	29.00^{fg}	161.33^{b-e}	132.33^{cd}	12
13.00^{ab}	73.83^{a}	0.030^{bc}	34.00^{bcd}	159.33^{c-f}	125.33^{g}	13
11.33^{ab}	74.61^{a}	0.023^{de}	35.33^{ab}	161.00^{b-e}	125.67^{fg}	14
12.00^{ab}	72.33^{a}	0.023^{de}	34.67^{abc}	162.33^{bc}	127.67^{ef}	15
14.50^{a}	80.00^{a}	0.033^{b}	27.33^{gh}	156.00^{f}	128.67^{e}	16
13.50^{ab}	74.67^{a}	0.030^{bc}	31.00^{ef}	159.33^{c-f}	128.33^{e}	17
12.67^{ab}	77.00^{a}	0.020^{e}	35.00^{ab}	163.33^{b}	128.33^{e}	18
10.67^{b}	76.50^{a}	0.030^{bc}	32.00^{de}	167.33^{a}	135.33^{a}	19
10.67^{b}	76.17^{a}	0.020^{e}	35.33^{ab}	159.67^{b-f}	124.33^{g}	20 (Check)
12.16	75.33	0.030	31.22	160.58	129.37	Average میانگین
3.18	10.42	0.006	2.12	3.98	2.21	LSD 5%

ادامه جدول ۴-

Table 4. Continued

Oil yield (Kg/ha) عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	Oil content (%) محتوای روغن (درصد)	Seed yield (Kg/ha) عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	Thousand seed weight (g) وزن هزار دانه (گرم)	Seed number in silique تعداد دانه در خورجین	Silique number in main branch تعداد خورجین در شاخه اصلی	Silique number in sub branch تعداد خورجین در شاخه فرعی	Genotype ژنوتیپ
324.42^{a}	35.83^{a}	901.0^{a}	0.953^{b-e}	15.33^{a-d}	57.17^{abc}	32.50^{a-d}	1
139.18^{d-h}	29.63^{de}	467.0^{c-g}	1.057^{ab}	11.00^{e}	47.00^{de}	35.67^{ab}	2
168.26^{c-g}	34.78^{abc}	477.1^{c-g}	0.987^{a-d}	13.50^{b-e}	53.50^{a-d}	30.83^{a-d}	3
189.73^{c-f}	34.78^{abc}	544.5^{c-f}	0.847^{efg}	14.00^{b-e}	48.50^{b-e}	32.00^{a-d}	4
180.20^{c-g}	33.49^{a-d}	537.8^{c-f}	0.910^{c-f}	14.00^{b-e}	48.33^{b-e}	28.00^{cde}	5
198.11^{cde}	35.04^{abc}	563.5^{cde}	1.023^{abc}	15.83^{a-d}	48.22^{b-e}	23.17^{e}	6
136.42^{d-h}	31.40^{cde}	426.5^{d-g}	0.767^{g}	15.83^{a-d}	53.67^{a-d}	32.17^{a-d}	7
106.59^{fgh}	31.45^{cde}	337.6^{efg}	1.007^{a-d}	16.67^{ab}	50.00^{a-d}	26.67^{de}	8
198.93^{cde}	34.56^{abc}	574.2^{cde}	0.903^{c-g}	16.67^{ab}	48.67^{b-e}	29.00^{b-e}	9
81.04^{h}	27.93^{e}	270.5^{g}	0.807^{fg}	13.00^{b-e}	52.33^{a-d}	33.83^{abc}	10
212.35^{b-e}	34.14^{abc}	621.3^{bcd}	1.070^{ab}	14.17^{b-e}	46.50^{de}	27.67^{cde}	11
105.99^{gh}	32.89^{a-d}	321.8^{fg}	0.957^{b-e}	13.17^{b-e}	52.33^{a-d}	33.00^{a-d}	12
100.77^{gh}	31.65^{b-e}	319.8^{fg}	1.103^{a}	12.33^{cde}	47.17^{cde}	27.83^{cde}	13
80.47^{h}	31.38^{cde}	255.5^{g}	0.823^{efg}	12.17^{de}	44.67^{de}	28.00^{cde}	14
114.21^{fgh}	31.45^{cde}	361.7^{efg}	0.787^{fg}	16.50^{ab}	47.67^{b-e}	31.00^{a-d}	15
291.63^{ab}	35.14^{abc}	828.9^{ab}	0.870^{d-g}	15.00^{a-d}	48.33^{b-e}	29.33^{a-e}	16
226.18^{bc}	35.50^{ab}	642.1^{bcd}	0.837^{efg}	18.17^{a}	57.67^{ab}	33.83^{abc}	17
132.30^{e-h}	30.05^{de}	436.4^{c-g}	0.820^{efg}	16.33^{ab}	51.67^{a-d}	28.17^{cde}	18
232.93^{bc}	34.32^{abc}	673.7^{abc}	1.010^{abc}	13.67^{b-e}	39.83^{e}	27.00^{de}	19
216.67^{bcd}	32.78^{a-d}	658.7^{bcd}	0.813^{fg}	16.00^{abc}	59.83^{a}	36.00^{a}	(Check) 20
171.82	32.91	510.98	0.918	14.67	50.15	30.28	Average میانگین
83.22	3.98	238.80	0.140	3.74	10.09	6.79	LSD 5%

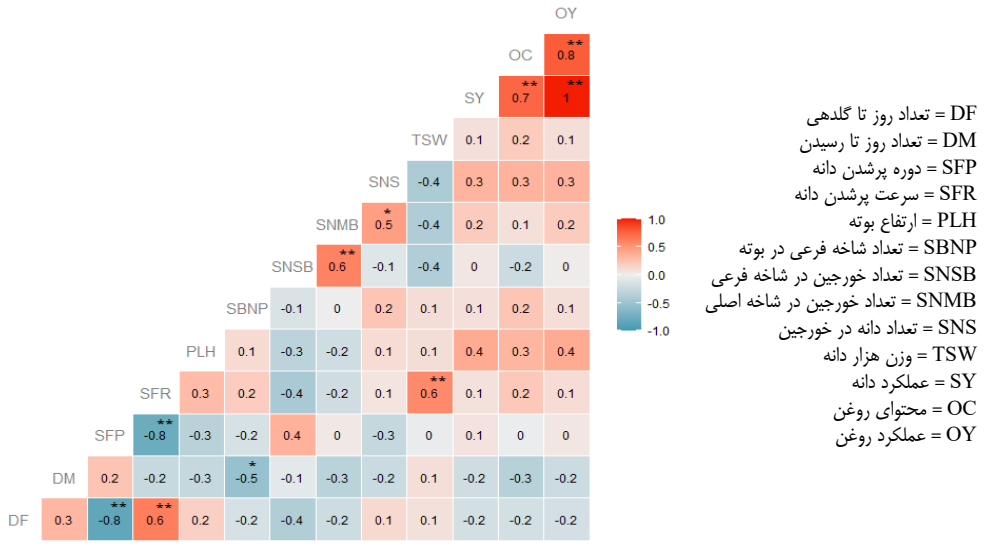
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

ضرایب همبستگی صفات

بر اساس ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه (شکل ۱)، همبستگی بین عملکرد دانه و درصد روغن دانه (۰/۷۴۴**) و عملکرد روغن (۰/۹۹۵**) مثبت و بسیار معنی‌دار بود که در تطابق با سایر مطالعات است (۴۳،۵۲). تعداد خورجین در شاخه اصلی با تعداد دانه در خورجین (۰/۴۵۵*) و تعداد خورجین در شاخه فرعی (۰/۶۰۱**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همبستگی سرعت پرشدن دانه با وزن هزار دانه (۰/۵۶۵**) و روز تا گلدهی (۰/۶۲۹**) مثبت و بسیار معنی‌دار و با دوره پرشدن دانه برابر ۰/۷۸۴**- بود. همبستگی منفی و معنی‌دار بین روز تا رسیدن و تعداد شاخه فرعی در بوته (۰/۵۳۳*-) و همینطور بین روز تا گلدهی و دوره پرشدن دانه (۰/۸۴۰**-) مشاهده شد. همانطور که در شکل ۱ مشخص است، همبستگی وزن هزار دانه با صفات مرتبط با تعداد خورجین و دانه منفی بود. همبستگی وزن هزار دانه با عملکرد دانه و عملکرد روغن مثبت و البته بسیار پایین (حدود ۰/۱) بود. در بررسی‌ها نشان داده شد که با افزایش وزن دانه، عملکرد دانه و روغن افزایش می‌یابد (Zanetti *et al*., 2017).

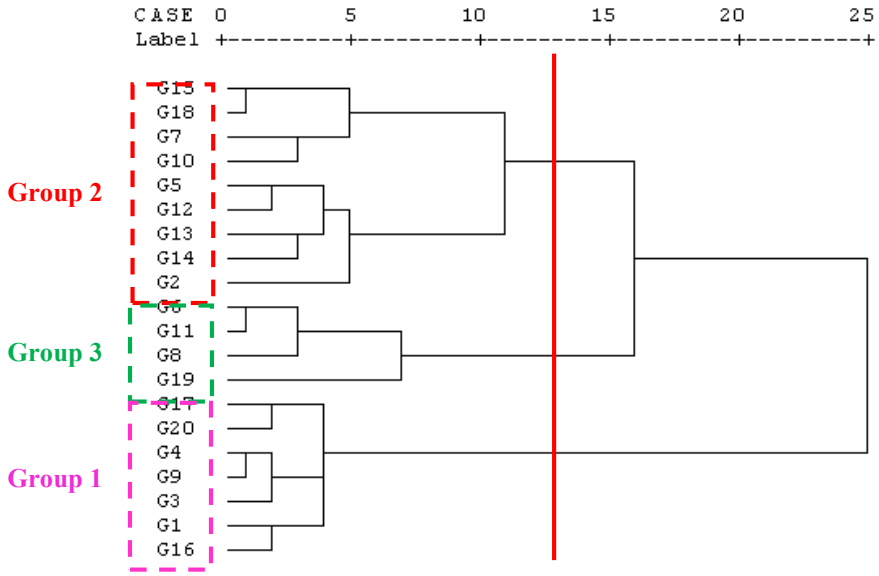
تجزیه خوشه‌ای

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، تجزیه خوشه‌ای برای صفات معنی‌دار انجام شد (شکل ۲) و علاوه‌برآن، به‌منظور بررسی بهتر گروه‌ها، برای صفات مورد بررسی به‌صورت جداگانه تجزیه واریانس صورت گرفت که بر اساس آن، بین گروه‌ها در تمامی صفات مورد بررسی به جز روز تا رسیدن و تعداد دانه در خورجین اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها در سه گروه قرار گرفتند (شکل ۲) که حاکی از وجود تنوع کافی و مفید بودن کاربرد آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی پیش‌رو می‌باشد. ژنوتیپ ۲۰ (رقم شاهد) به همراه ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱، ۳، ۹، ۴ و ۱۷ در گروه اول قرار گرفتند که میانگین صفات عملکرد دانه، محتوای روغن، تعداد خورجین در شاخه فرعی و تعداد دانه در خورجین در آن‌ها بالاتر از سایر گروه‌ها بود (جدول ۵). همچنین، ژنوتیپ‌های این گروه جزو زودگلده‌ترین و زودرس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۵، ۱۰، ۷، ۱۸ و ۱۵ در گروه دوم جای گرفتند که به‌طور معنی‌داری کمترین مقدار عملکرد دانه، محتوای روغن را داشتند. گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۱۹، ۸، ۱۱ و ۶ بود که کمترین مقدار صفات تعداد خورجین در شاخه فرعی و بیشترین مقدار وزن هزار دانه و تعداد روز تا گلدهی را داشتند. با توجه به اینکه اعضای درون هر یک از گروه‌ها دارای قرابت ژنتیکی بیشتری نسبت به گروه‌های دیگر هستند، می‌توان در برنامه‌های اصلاحی با توجه به ارزش میانگین صفات، از ژنوتیپ‌های گروه اول (گروه برتر) در تلاقی با گروه‌های دیگر به‌منظور به دست آوردن حداکثر تنوع و بهره‌وری از هتروزیس استفاده کرد.



شکل ۱- نقشه دمایی به دست آمده بر اساس ضرایب همبستگی پیرسون
Figure 1. Heat map plot rendered based on Pearson's correlation coefficients

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]



شکل ۲- نمودار خوشه‌ای ژنوتیپ‌های کاملینا بر اساس صفات معنی‌دار
Figure 2. Dendrogram of the camelina genotypes based on significant traits

جدول ۵- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین خوشه‌ها برای هر یک از صفات مورد مطالعه در ۲۰ ژنوتیپ کاملینا
Table 5. Analysis of variance and mean comparison of clusters for each studied trait in 20 camelina genotypes

Oil content (%) محتوای روغن (درصد)	Seed yield (Kg/ha) عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	Thousand seed weight (g) وزن هزار دانه (گرم)	Seed number in silique تعداد دانه در خورجین	Silique number in sub branch تعداد خورجین در شاخه فرعی	Day to maturity تعداد روز تا رسیدن	Day to flowering تعداد روز تا گلدهی	Cluster خوشه
34.77 a	660.93 a	0.887 b	15.52 a	31.93 a	158.90 a	126.00 b	1
31.10 b	377.44 b	0.892 b	13.81 a	30.85 a	161.44 a	129.78 b	2
33.74 a	549.03 a	1.028 a	15.06 a	26.13 b	161.58 a	134.33 a	3
**	**	*	ns	**	ns	**	F test
4.42	25.08	10.14	12.39	8.78	1.33	2.39	CV %

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن هستند.

ns, * and **: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. In each column, means with common letters are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range test.

بای‌پلات ژنوتیپ × صفت

یکی از ابزارهای گرافیکی که در شناسایی ژنوتیپ‌های دارای بیشترین ارزش‌ها برای یک یا چند صفت کمک می‌کند، چندضلعی بای‌پلات "کدام- برتر-کجا" است که با پیوستن ژنوتیپ‌هایی که دورترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند، ترسیم می‌گردد. طول بردارهای ژنوتیپ‌هایی که در رأس چندضلعی قرار می‌گیرند، معیاری از میزان پاسخ به صفات (در بای‌پلات ژنوتیپ×صفت) است. از این‌رو، ژنوتیپ‌های واقع در رأس، ژنوتیپ‌های واکنش‌پذیرتری می‌باشند. به‌طور عکس، ژنوتیپی که در مبدأ واقع گردد، نسبت به همه صفات مطالعه شده و یا نسبت به همه محیط‌های اجرا شده، رتبه یکسانی داشته و واکنشی نسبت به آن‌ها نشان نمی‌دهد (Moghadam *et al.*, 2012). در این مطالعه، هشت خط عمود منجر به تقسیم بای‌پلات به هشت بخش مختلف گردیده است (شکل ۳). ژنوتیپ شماره ۶ در بخشی قرار گرفت که نسبت به سرعت پرشدن دانه و وزن هزار دانه بسیار واکنش‌پذیر بود. ژنوتیپ شماره ۱۶ بالاترین پاسخ را به صفات ارتفاع بوته، محتوای روغن، عملکرد دانه، عملکرد روغن، تعداد دانه در خورجین و تعداد شاخه فرعی در بوته نشان داد. ژنوتیپ شماره ۱ در بخشی قرار گرفت که (به‌طور مشترک با ژنوتیپ ۲۰) حاوی بیشترین مقادیر برای صفت تعداد خورجین در شاخه اصلی بود. ژنوتیپ شماره ۲۰ نیز علاوه بر تعداد خورجین در شاخه اصلی، دارای بیشترین مقادیر از نظر صفات تعداد خورجین در شاخه فرعی و دوره پرشدن دانه بود. این نتایج با نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها همخوانی دارد. در بخش‌های پنجم و ششم هیچ ژنوتیپی در رأس قرار نگرفت و هیچ صفتی نیز در این محدوده قرار نگرفت. ژنوتیپ شماره ۱۰ و ۸ در بخش‌هایی قرار گرفتند که به‌ترتیب روز تا رسیدگی و روز تا گلدهی وجود داشت. البته باید عنوان داشت که فقط حدود ۵۰ درصد از تغییرات توسط این بای‌پلات توجیه شد که نشان می‌دهد روابط بین صفات مورد ارزیابی پیچیده بوده و بنابراین ممکن است مشاهدات به‌طور دقیق بازتاب اعداد ثبت شده نباشد. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها توسط تجزیه خوشه‌ای، تا حدود زیادی توسط بای‌پلات نیز تأیید شد.

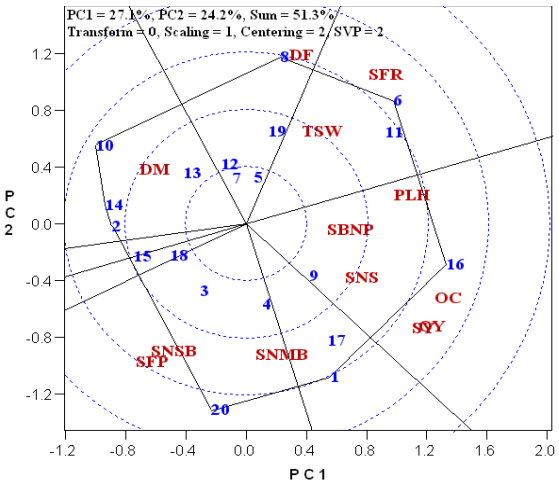
شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

از شاخص SIIG به‌منظور گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر

1- Which wins where or which is best for what

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

تمام صفات مطالعه شده استفاده گردید (جدول ۶). این شاخص با تبدیل صفات مختلف به یک معیار واحد، باعث تسهیل و افزایش کارایی گزینش می‌گردد. هر چقدر شاخص SIIG برای ژنوتیپی به عدد یک نزدیک باشد، آن ژنوتیپ از نظر تمام صفات مطالعه شده مطلوبیت بیشتری دارد. نکته جالب توجه این شاخص این است که به هر میزان تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها برای یک صفت بیشتر باشد، سهم آن صفت در مقدار عددی SIIG برای آن ژنوتیپ بیشتر خواهد بود (Zali and Barati, 2020). در این مطالعه، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۶ و ۱۷ با کمترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل، بیشترین فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل و بیشترین مقدار شاخص SIIG (به ترتیب ۰/۷۶۶، ۰/۷۱۹ و ۰/۶۰۱) به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب شناسایی شدند (جدول ۶). بالاترین عملکرد دانه، محتوای روغن و عملکرد روغن نیز متعلق به این ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۴). این ژنوتیپ‌ها در تجزیه خوشه‌ای در یک گروه واحد (شکل ۲) و در بای‌پلات ژنوتیپ × صفت تقریباً در یک محدوده قرار گرفتند (شکل ۳). ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۱۰، ۱۵ و ۱۳ با کمترین مقدار شاخص SIIG، به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه تعیین شدند (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (شکل‌های ۲ و ۳) نیز مبین هم‌گروه بودن این ژنوتیپ‌ها است. از این شاخص در مطالعات مختلف جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب استفاده شده است (Zali and Barati, 2020; Haghighatnia and Alhani, 2020). در مطالعه‌ای از شاخص SIIG برای ترکیب روش‌های مختلف تجزیه پایداری در گندم دوروم استفاده و با کمک آن، ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شد (Najafi Mirak *et al*., 2018). در مطالعه‌ای دیگر، از این شاخص برای ادغام شاخص‌های مختلف تحمل خشکی و انتخاب مؤثر ژنوتیپ‌های گندم متحمل بهره گرفته و ابراز شد که این مدل گزینش‌گر، قابلیت انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل را از بین ژنوتیپ‌های تحت بررسی دارد (Tahmasebi *et al*., 2018). در یک بررسی، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب عدس در شرایط دیم استفاده و کارایی آن در تمایز ژنوتیپ‌های برتر از نظر همه صفات، تأیید شد (Amiri *et al*., 2021).



DF = تعداد روز تا گلدهی
DM = تعداد روز تا رسیدن
SFP = دوره پرشدن دانه
SFR = سرعت پرشدن دانه
PLH = ارتفاع بوته
SBNP = تعداد شاخه فرعی در بوته
SNSB = تعداد خورجین در شاخه فرعی
SNMB = تعداد خورجین در شاخه اصلی
SNS = تعداد دانه در خورجین
TSW = وزن هزار دانه
SY = عملکرد دانه
OC = محتوای روغن
OY = عملکرد روغن

شکل ۳- شمای چندضلعی بای‌پلات رقم × صفت
Figure 3. Polygon view of the cultivar × trait biplot

جدول ۶- مقادیر شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)
Table 6. Selection index of ideal genotype (SIIG)

Rank رتبه	SIIG	Distance from non-ideal genotype فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل	Distance from ideal genotype فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل	Genotype ژنوتیپ
1	0.766	0.438	0.134	1
12	0.380	0.205	0.334	2
11	0.407	0.208	0.303	3
9	0.446	0.225	0.279	4
10	0.423	0.208	0.284	5
7	0.511	0.268	0.257	6
14	0.349	0.184	0.343	7
13	0.362	0.215	0.379	8
8	0.509	0.254	0.246	9
19	0.226	0.128	0.436	10
4	0.565	0.289	0.223	11
16	0.300	0.164	0.383	12
17	0.280	0.155	0.398	13
20	0.185	0.103	0.454	14
18	0.280	0.151	0.388	15
2	0.719	0.385	0.151	16
3	0.601	0.308	0.205	17
15	0.317	0.169	0.365	18
5	0.548	0.285	0.234	19
6	0.530	0.294	0.260	20 (Check)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

نتیجه‌گیری کلی

وجود تنوع کافی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه و سایر صفات، حاکی از آن است که همچنان تحقیقات بیشتری در خصوص گزینش و یا اصلاح ارقام پرعملکرد نیاز است. بر اساس نتایج همه روش‌های آماری مختلف بکار گرفته شده در این آزمایش، لاین‌های شماره ۱، ۱۶ و ۱۷ که بالاترین عملکرد دانه، محتوای روغن و عملکرد روغن را داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب و کاندید جهت تولید اقتصادی شناسایی شدند. لاین‌های شماره ۱۴، ۱۰، ۱۵ و ۱۳ نیز به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه تعیین شدند و قابل توصیه جهت کشت اقتصادی نیستند. نتایج نشان داد که کاملینا یک گیاه زراعی با مقاومت بالا به خشکی و برخوردار از دوره رشد کوتاه است که پتانسیل تنوع‌بخشی به تناوب در دیمزارها را دارد. به‌طور کلی، تنوع محصولات در دیمزارها باعث افزایش بهره‌وری، حاصلخیزی خاک و انعطاف پذیری در برابر آفات و بیماری‌ها می‌گردد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق منتج از پروژه مصوب مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم به شماره ۹۹۱۱۰۰-۰۵۸-۱۵-۱۵-۰ می‌باشد که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Amiri, R., Pezeshkpour, P., & Karami, I. (2021). Identification of lentil desirable genotypes using multivariate statistical methods and selection index of ideal genotype under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 140-151 (In Persian).

Anderson, J. V., Wittenberg, A., Li, H., & Berti, M. T. (2019). High throughput phenotyping of Camelina sativa seeds for crude protein, total oil, and fatty acids profile by near infrared spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, 137, 501-507. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.075

Bacenetti, J., Restuccia, A., Schillaci, G., & Failla, S. (2017). Biodiesel production from unconventional oilseed crops (*Linum usitatissimum* L. and *Camelina sativa* L.) in Mediterranean conditions: environmental sustainability assessment. *Renewable Energy*, 112, 444-456. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.044

Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J., & Cermak, S. (2016). Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. *Industrial Crops and Products*, 94, 690-710. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.034

Berti, M., Wilckens, R., Fischer, S., Solis, A., & Johnson, B. (2011). Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile. *Industrial Crops and Products*, 34, 1358-1365. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.008

Borzoo, S., Mohsenzadeh, S., & Kahrizi, D. (2021). Water-deficit stress and genotype variation induced alteration in seed characteristics of *Camelina sativa*. *Rhizosphere*, 20, 100427. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100427

Campbell, M. (2018). Camelina – An Alternative Oil Crop. In: Kaltschmitt, M., Neuling, U. (eds) Biokerosene. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53065-8_12

Canak, P., Jermela, A. M., Vujosevic, B., Kiprovski, B., Alberghini, B., Facciolla, E., Monti, A., & Zanetti, F. (2020). Is drought stress tolerance affected by biotypes and seed size in the emerging oilseed crop camelina? *Agronomy*, 10(12), 1856. https://doi.org/10.3390/agronomy10121856

Chaturvedi, S., Bhattacharya, A., Khare, S. K., & Kaushik, G. (2019). *Camelina sativa*: An Emerging Biofuel Crop. In: Hussain C. (eds) Handbook of Environmental Materials Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73645-7-110.

Chen, C., Bekkerman, A., Afshar, R. K., & Neill, K. (2015). Intensification of dryland cropping systems for bio-feedstock production: Evaluation of agronomic and economic benefits of *Camelina sativa. Industrial Crops and Products*, 71, 114-121. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.065

Czarnik, M., Jarecki, W., & Bobrecka-Jamro, D. (2018). Reaction of winter varieties of false flax (*Camelina sativa* (L.) Crantz) to the varied sowing time. *Journal of Central European Agriculture*, 19(3), 571-586. https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.3.2054

Fallah, F., Kahrizi, D., Rezaeizad, A., Zebarjadi, A., & Zarei, L. (2020). Evaluation of genetic variation and parameters of fatty acid profile in doubled haploid lines of *Camelina sativa* L. *Plant Genetic Researches*, 6(2), 79-96 (In Persian).

Gehringer, A., Friedt, W., Lühs, W., & Snowdon, R. (2006). Genetic mapping of agronomic traits in false flax (*Camelina sativa* subsp. *sativa*). *Genome*, 49, 1555-1563. https://doi.org/10.1139/g06-117

Gesch, R. W., Matthees, H. L., Alvarez, A. L., & Gardner, R. D. (2018). Winter camelina: crop growth, seed yield and quality response to genotype and sowing rate. *Crop Science*, 58, 2089-2098. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0018

Gugel, R., & Falk, K. (2006). Agronomic and seed quality evaluation of *Camelina sativa* in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 1047-1058. https://doi.org/10.4141/P04-08

Haghighatnia, H., & Alhani, A. (2020). Evaluation of irrigation water salinity tolerance indices in new cultivars and lines of safflower. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(7), 1811-1821 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

Hergert, G., Margheim, J., Pavlista, A., Martin, D., Isbell, T., & Supalla, R. (2016). Irrigation response and water productivity of deficit to fully irrigated spring camelina. *Agricultural Water Management*, 177, 46-53. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.009

Hunsaker, D. J., French, A. N., & Thorp, K. R. (2013). Camelina water use and seed yield response to irrigation scheduling in an arid environment. *Irrigation Science*, 31, 911-929. https://doi.org/10.1007/s00271-012-0368-7

Hunsaker, D., French, A., Clarke, T., & El-Shikha, D. (2011). Water use, crop coefficients, and irrigation management criteria for camelina production in arid regions. *Irrigation Science*, 29, 27-43. https://doi.org/10.1007/s00271-010-0213-9

Jankowski, K. J., Sokólski, M., & Kordan, B. (2019). Camelina: yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. *Industrial Crops and Products*, 141, 111776. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111776

Kahrizi, D., & Rostami-Ahmadvandi, H. (2015). First report of camelina (*Camelina sativa*) biotechnologically breeding and cultivation in Iran. The 1st International and 9th National Biotechnology Congress of Islamic Republic of Iran. 23-25 May, 2015, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Kahrizi, D., Kazemitabar, S. K., Soorni, J., Rostami-Ahmadvandi, H., Falah, F., Akbarabadi, A., Raziei, Z., & Bakhsham, M. (2016). Introducing of camelina medicinal-oil plant for dryland conditions in Iran. National Conference on the Impact of Climate Change on Plant Production. 9 Sep. 2016. Sari, Iran.

Kahrizi, D., Rostami-Ahmadvandi, H., & Akbarabadi, A. (2015). Feasibility Cultivation of camelina (*Camelina sativa*) as medicinal-oil plant in rainfed conditions in Kermanshah-Iran's first report. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2, 215-218. https://doi.org/10.22092/JMPB.2015.108911

Katar, D., Arslan, Y., & Subasi, I. (2012). Genotypic variations on yield, yield components and oil quality in some camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(2), 105-110.

Krzyzaniak, M., Stolarski, M. J., Tworkowski, J., Puttick, D., Eynck, C., Załuski, D., & Kwiatkowski, J. (2019). Yield and seed composition of 10 spring camelina genotypes cultivated in the temperate climate of central Europe. *Industrial Crops and Products*, 138, 111443. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.006

Lily, Z. L., Fahlgren, N., Kutchan, T., Schachtman, D., Ge, Y., Gesch, R., George, S., Dyer, J., & Abdel-Haleem, H. (2021). Discovering candidate genes related to flowering time in the spring panel of *Camelina sativa*. *Industrial Crops and Products*, 173, 114104. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114104

Masella, P., Martinelli, T., & Galasso, I. (2014). Agronomic evaluation and phenotypic plasticity of *Camelina sativa* growing in Lombardia, Italy. *Crop and Pasture Science*, 65(5), 453-460. https://doi.org/10.1071/CP14025

Moghadam, M., Safari, P., & Danyali, S. F. (2012). GGE Biplot Analysis: A graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists. Parivar publication, 396 p (In Persian).

Morales, D., Potlakayala, S., Soliman, M., Daramola, J., Weeden, H., Jones, A., Kovak, E., Lowry, E., Patel, P., & Puthiyaparambil, J. (2017). Effect of biochemical and physiological response to salt stress in *Camelina sativa*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(7), 716-729. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1254237

Moser, B. R. (2012). Biodiesel from alternative oilseed feedstocks: Camelina and field pennycress. *Biofuels*, 3(2), 193-209. https://doi.org/10.4155/bfs.12.6

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H. (2018). Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(2), 79-96 (In Persian).

Obour, A. K., Obeng, E., Mohammed, Y. A., Ciampitti, I., Durrett, T. P., Aznar-moreno, J. A., & Chen, C. (2017). Camelina seed yield and fatty acids as influenced by genotype and environment. *Agronomy Journal*, 109(3), 947-956. https://doi.org/10.2134/agronj2016.05.0256

Obour, A. K., Sintim, H. Y., Obeng, E., & Jeliazkov, V. D. J. (2015). Oilseed Camelina (*Camelina sativa* L Crantz): production systems, prospects and challenges in the USA great plains. *Advances in Plants and Agriculture Research*, 2(2), 68-76. https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00043

Pavlista, A., Isbell, T., Baltensperger, D., & Hergert, G. (2011). Planting date and development of springseeded irrigated canola, brown mustard and Camelina. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 451-456. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.029

Schillinger, W. F., Wysocki, D. J., Chastain, T. G., Guy, S. O., & Karow, R. S. (2012). Camelina: planting date and method effects on stand establishment and seed yield. *Field Crops Research*, 130, 138-144. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.019

Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K., & Langridge, P. (2017). Early flowering as a drought escape mechanism in plants: how can

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]

it aid wheat production? *Frontiers in Plant Science*, 8(8), 1950. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01950

Stefanoni, W., Latterini, F., Ruiz, J., Bergonzoli, S., Palmieri, N., & Pari, L. (2021). Assessing the camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) seed harvesting using a combine harvester: a case-study on the assessment of work performance and seed loss. *Sustainability*, 13(1), 195. https://doi.org/10.3390/su13010195

Tahmasebi, S., Dastfal, M., Zali, H., & Rajaie, M. (2018). Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south. *Cereal Research*, 8(2), 209-225 (In Persian).

Toncea, I. (2014). The seed yield potential of Camelia-first Romanian cultivar of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz). *Romanian Agricultural Research*, 31, 17-23.

Veljkovic, V. B., Kostic, M. D., Stamenkovic, O. S. (2022). Camelina seed harvesting, storing, pretreating, and processing to recover oil: A review. *Industrial Crops and Products*, 178(2), 114539. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114539

Vinogradov, D. V., Mazhaisky, Y. A., Evtishina, E. V., & Lupova, E. I. (2019). Ways to increase camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) productivity in Russia's nonchernozem zone. *Russian Agricultural Sciences*, 45(5), 430-433.

Vollmann, J., & Eynck, C. (2015). Camelina as a sustainable oilseed crop: Contributions of plant breeding and genetic engineering. *Biotechnology Journal*, 10, 525-535. https://doi.org/10.1002/biot.201400200

Vollmann, J., Moritz, T., Kargl, C., Baumgartner, S., & Wagentrist, H. (2007). Agronomic evaluation of camelina genotypes selected for seed quality characteristics. *Industrial Crops and Products*, 26(3), 270-277. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.03.017

Walia, M. K., Zanetti, F., Gesch, R. W., Krzyzaniak, M., Eynck, C., Puttick, D., Alexopoulou, E., Royo-Esnal, A., Stolarski, M. J., Isbell, T., & Monti, A. (2021). Winter camelina seed quality in different growing environments across Northern America and Europe. *Industrial Crops and Products*, 169, 113639. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113639

Walsh, D., Sanderson, D., Hall, L. M., Mugo, S., & Hills, M. J. (2014). Allelopathic effects of Camelina (*Camelina sativa*) and canola (*Brassica napus*) on wild oat, flax and radish. *Allelopathy Journal*, 33(1), 83-95.

Waraich, E. A., Ahmad, R., Ahmad, Z., Barutcular, C., Erman, M., Cig, F., Saneoka, H., & Ozturk, F. (2020). Comparative study of growth, physiology and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L.) and canola (*Brassica napus* L.) under different irrigation regimes. *Pakistan Journal of Botany*, 52(5), 1537-1544. https://doi.org/10.30848/PJB2020-5(2)

Wittenberg, A., Anderson, J. V., & Berti, M. T. (2020). Crop growth and productivity of winter camelina in response to sowing date in the northwestern Corn Belt of the USA. *Industrial Crops and Products*, 158, 113036. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113036

Zali, H., & Barati, A. (2020). Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), 93-104 (In Persian).

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum – An International Journal*, 7(2), 703-711.

Załuski, D., Tworkowski, J., Krzyzaniak, M., Stolarski, M. J., & Kwiatkowski, J. (2020). The characterization of 10 spring camelina genotypes grown in environmental conditions in North-Eastern Poland. *Agronomy*, 10(1), 64. https://doi.org/10.3390/agronomy10010064

Zanetti, F., Alberghini, B., Marjanovi´c Jeromela, A., Grahovac, N., Rajkovi´c, D., Kiprovski, B., & Monti, A. (2021). Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 2. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00663-y

Zanetti, F., Eynck, C., Christou, M., Krzyzaniak, M., Righini, D., Alexopoulou, E., Stolarski, M. J., Van Loo, E. N., Puttick, D., & Monti, A. (2017). Agronomic performance and seed quality attributes of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada. *Industrial Crops and Products*, 107, 602-608. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.022

Zanetti, F., Gesch, R. W., Walia, M. K., Johnson, J. M. F., & Monti, A. (2020). Winter camelina root characteristics and yield performance under contrasting environmental conditions. *Field Crops Research*, 252, 107794. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107794

Zhang, C-J., Gao, Y., Jiang, C., Liu, L., Wang, Y., Kim, D-S., Yu, J., Yu, L., Li, F., Fan, Y., Chen, M., Zhang, Y., Min, X., Zhang, H., & Yan, X. (2021). Camelina seed yield and quality in different growing environments in northern China. *Industrial Crops and Products*, 172, 114071. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114071

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.47.152]