

برآورد اجزای واریانس ژنتیکی اسیدهای چرب آفتابگردان در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی با روش تجزیه لاین × تستر

سیده شراره آریانزاد^۱، حمید نجفی زربینی^{۲*}، مهدی غفاری^۳ و غلامعلی رنجبر^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ساری

۲- دانشیار، گروه اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ساری

۳- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۶)

چکیده

این ارزیابی به منظور برآورد اجزای واریانس ژنتیکی اسیدهای چرب آفتابگردان در دو شرایط جداگانه آبیاری معمولی و تنش خشکی در طی دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در کرج اجرا شد. مواد گیاهی مورد بررسی شامل ۱۲ هیبرید حاصل از تلاقی چهار لاین برگرداننده باروری با سه لاین نرعمقیم (تستر) بود که در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی شدند. تنش خشکی باعث کاهش عملکرد روغن (۳۴ درصد)، درصد روغن (شش درصد)، اسید استئاریک (۴/۷ درصد) و اولئیک (۱۰/۶ درصد) و افزایش اسیدهای پالمیتیک (۱۲ درصد) و لینولئیک (۲/۸ درصد) شد. در هر دو شرایط، اثر متقابل لاین × تستر نقش بیشتری را در توجیه واریانس هیبریدها از نظر میزان اسیدهای چرب داشت که نشان دهنده نقش بارز اثرات غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی این خصوصیات است. در شرایط آبیاری مطلوب عملکرد روغن، درصد روغن و اسید استئاریک تحت تأثیر هر دو نوع اثرات افزایشی، غالبیت و اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک در کنترل اثرات غالبیت بودند. در شرایط تنش خشکی به جز درصد روغن که در کنترل اثرات افزایشی ژن بود، بقیه خصوصیات در کنترل اثرات غالبیت بودند. بر اساس نتایج این بررسی ترکیب اسیدهای چرب اصلی آفتابگردان عمدتاً در کنترل اثرات ژنتیکی غیرافزایشی بوده و روش‌های مبتنی بر دورگ‌گیری و تهیه ارقام هیبرید می‌تواند در اصلاح آفتابگردان از نظر ترکیب اسیدهای چرب مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: اثر افزایشی، اولئیک، تستر، غالبیت، لاین، لینولئیک

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: h.najafi@sanru.ac.ir

مقدمه

آفتابگردان زراعی با نام علمی *Helianthus annuus* L. گیاهی یک‌ساله و دیپلوئید ($2n = 2x = 34$) متعلق به جنس هلیانتوس و تیره گل ستارگان (Asteraceae) بوده و خاستگاه اولیه آن آمریکای شمالی است (Seiler, 2007). دانه آفتابگردان روغنی دارای ۴۵-۴۰ درصد روغن است که حدود ۹۰ درصد آن را اسیدهای چرب غیراشباع از جمله دو اسیدچرب لینولئیک (۶۸-۷۲ درصد) و اولئیک (۱۶-۱۹ درصد) و اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک (حدود ۶ درصد) و استئاریک (حدود ۵ درصد) تشکیل می‌دهد (Skoric, 2012). آفتابگردان یکی از سازگارترین گیاهان به نواحی معتدل دنیا با ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است (Robinson, 1997). این گیاه روغنی با سطح کاشت جهانی ۲۷/۸ میلیون هکتار و عملکرد ۱۸۰۲ کیلوگرم در هکتار (FAO, 2020) یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی سازگار برای کشت بهاره-تابستانه در مناطق معتدل و سرد و پاییزه-زمستانه در مناطق گرمسیر ایران است (Ghaffari et al., 2020). بیشترین سطح زیر کشت آفتابگردان در ایران در سال ۱۳۷۲ حدود ۱۰۷ هزار هکتار با میانگین عملکرد دانه ۶۹۰ کیلوگرم در هکتار بوده و در سال ۱۴۰۰ به ۹۶۹۰ هکتار با عملکرد ۱۵۰۸ و ۵۷۶ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در شرایط آبی و دیم کاهش یافته است. آفتابگردان یک گیاه نیمه متحمل به تنش خشکی است ولی عملکرد آن در شرایط تنش خشکی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Chimenti et al., 2002). در مناطق خشک، در شرایطی که سایر محصولات به شدت از کمبود آب آسیب می‌بینند، آفتابگردان به دلیل دارا بودن سیستم ریشه‌ای عمیق و توانایی جذب آب از لایه‌های زیرین خاک، اغلب تولید رضایت بخشی دارد (Hussain et al., 2018). عملکرد دانه و درصد روغن این گیاه تا حد قابل ملاحظه‌ای از تنش خشکی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی متأثر می‌شود (Ghaffari et al., 2012; Akcay and Dagdelen, 2016).

ژنوتیپ عامل اصلی تعیین‌کننده ترکیب اسیدهای چرب روغن‌ها است (Knowles, 1988)؛ با این حال شرایط محیطی مانند میزان رطوبت بر خصوصیات کیفی روغن آفتابگردان تأثیر می‌گذارد (Baldini et al., 2000; Anastasi et al., 2010). گزارش‌ها در مورد تأثیر تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان محدود است. در گزارش‌های منتشر شده ژنوتیپ‌های آفتابگردان پاسخ متفاوتی را به تنش خشکی در ارتباط با ترکیب اسیدهای چرب نشان داده‌اند (Ali et al., 2009). در برخی گزارش‌ها تنش خشکی باعث کاهش میزان اسید اولئیک و افزایش اسید لینولئیک آفتابگردان شده است (Baldini et al., 2000; Petcu et al., 2001; Popa et al., 2017). برآورد اجزای واریانس ژنتیکی یکی از ملزومات اولیه برای آغاز یک برنامه به نژادی در گیاهان دگرگرده‌افشان مانند آفتابگردان است. اجرای یک برنامه مبتنی بر گزینش برای اصلاح خصوصیات که توسط اثرات افزایشی کنترل می‌شوند و تهیه ارقام هیبرید برای اصلاح خصوصیات که در کنترل اثرات غیرافزایشی هستند توصیه شده است (Skoric, 2012). طرح تلاقی لاین در تستر به‌عنوان یک روش اصلی در برآورد اجزای واریانس ژنتیکی در اصلاح گیاهان دگرگشن مانند ذرت (Banaei et al., 2016; Barzgar et al., 2022) و از جمله در اصلاح آفتابگردان (Memon et al., 2015; Ghaffari and Shariati, 2018; Chahal et al., 2020; Tyagi et al., 2020; Haddadan et al., 2020) استفاده قرار گرفته است.

ماهیت ژنتیکی خصوصیات مرتبط با ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان به دلیل تأثیر شدید محیط پیچیده است (Joksimovic et al., 2006). نقش اثرات غالبیت در کنترل میزان اسید اولئیک (Perez-Vich et al., 2002) و نقش اثرات غالبیت در کنترل میزان اسید لینولئیک (Tan, 2010) آفتابگردان گزارش شده است. اورتیس و همکاران (Ortis et al., 2005) گزارش دادند که اسید استئاریک آفتابگردان تحت کنترل عمل غیرافزایشی ژن است.

گازی (GC-2014C, Shimadzu, Japan) با روش آزاد مهر دمیرچی و دوتا (Azadmard-Damirchi and Dutta, 2006) اندازه‌گیری شد. بر روی داده‌های حاصل، تجزیه واریانس با روش لاین در تستر صورت گرفت و برآورد اجزای واریانس ژنتیکی بر اساس روابط سینگ و چوداری (Singh and Chaudhary, 1985) صورت گرفت. از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۰ برای تجزیه داده‌ها استفاده شد. بعد از تجزیه واریانس برای برآورد پارامترهای ژنتیکی (واریانس افزایشی و غالبیت) از روابط ۱ و ۲ استفاده شد:

$$\sigma_A^2 = 2(MSL + MST - 2MSLT) / r(1+t) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\sigma_D^2 = (MSLT - MSe) / r \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط σ_A^2 و σ_D^2 به ترتیب عبارت‌اند از واریانس افزایشی و غالبیت و MSL، MST، MSLT و MSe به ترتیب میانگین مربعات لاین، تستر، اثر متقابل لاین \times تستر و خطا و I، t و تعداد تکرار، لاین و تستر می‌باشند. در برآورد واریانس اثرهای افزایشی و غالبیت به علت این که لاین‌های والدی اینبرد بودند، مقدار ضریب اینبریدینگ برابر با یک در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب برای دو شرایط به‌طور جداگانه، بین سال‌ها از نظر اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک در شرایط آبیاری مطلوب، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱) که حاکی از تأثیر شرایط متغیر سال‌های اجرای آزمایش بر اسیدهای چرب بود. با این حال این تغییرات بر عملکرد و درصد روغن و نیز میزان اسید استئاریک مؤثر نبوده و نشان‌دهنده پایداری بیشتر آن‌ها در طی دو سال اجرای آزمایش می‌باشد. در بررسی‌های مرتبط نیز تأثیر معنی‌دار تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان گزارش شده است (Petcu et al., 2017; Popa et al., 2009; Ali et al., 2001). بین هیبریدها از نظر اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک اختلاف معنی‌داری وجود داشت و این امر نشان می‌دهد که تنوع کافی بین هیبریدها از نظر این اسیدهای چرب وجود داشته و امکان

ایوانوف و همکاران (Ivanov et al., 1988) نقش اثرات افزایشی را در کنترل اسید پالمیتیک آفتابگردان بیشتر از اثر غیرافزایشی گزارش کردند؛ در حالی که ساکتیول (Sakthivel, 2003) و اورتیس و همکاران (Ortis et al., 2005) عمل غیرافزایشی ژن در توارث این صفت را مهم‌تر ذکر کردند. میلر و ویک (Miller and Vick, 1999) گزارش کردند که اسیدهای پالمیتیک و استئاریک تحت کنترل عمل افزایشی ژن قرار دارند.

اطلاع از نحوه کنترل ژنتیکی خصوصیات گیاهی عامل اولیه در تعیین روش به‌نژادی است. با توجه به اهمیت اسیدهای چرب در کیفیت تغذیه‌ای روغن‌های گیاهی و با توجه به تأثیر خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان، در این بررسی اجزای واریانس ژنتیکی برای اسیدهای چرب آفتابگردان در دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی مقایسه شده و بر اساس نحوه عمل ژن، روش مناسب برای اصلاح این خصوصیات پیشنهاد می‌شود.

مواد و روش‌ها

این ارزیابی به‌منظور برآورد اجزای واریانس ژنتیکی اسیدهای چرب اصلی آفتابگردان در دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. مواد گیاهی مورد بررسی، شامل ۱۲ هیبرید حاصل از تلاقی چهار لاین با سه تستر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت و ارزیابی شدند. لاین‌های برگشت‌دهنده باروری به‌عنوان لاین و لاین‌های نرعیتم سیتوپلاسمی به‌عنوان تستر در نظر گرفته شدند. تنش خشکی از طریق قطع آبیاری از مرحله ستاره‌ای (مرحله R1) تا پایان گلدهی (R6) بر اساس مراحل نمودی اشنايدر و میلر (Schneider and Miller, 1981) صورت گرفت. درصد روغن با روش سوکسوله در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای هر تیمار تعیین شده و عملکرد روغن از طریق حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن به‌دست آمد. ترکیب اسیدهای چرب با استفاده از روش کروماتوگرافی

(*et al.*, 2019). با این حال، در این بررسی اثر متقابل هیچیک از اجزای هیبرید (لاین، تستر و اثر متقابل لاین با تستر) با اثر سال از نظر اسید استتاریک معنی دار نبود که حاکی از پایداری این اسید چرب در شرایط دو سال اجرای آزمایش می باشد. در شرایط تنش خشکی اثر سال بر اسیدهای چرب و بر درصد روغن معنی دار بود (جدول ۲). این امر نشان می دهد که اثر شرایط متغیر سال با اعمال تنش خشکی تشدید شده است. تشدید اثر تنش خشکی در معنی دار شدن اثر هیبرید برای کلیه خصوصیات اندازه گیری شده غیر از عملکرد روغن نیز آشکار شد و با توجه به تنوع مشاهده شده تجزیه لاین در تستر می تواند به عنوان یک روش کارا برای برآورد اجزای واریانس ژنتیکی مورد استفاده قرار گیرد.

تجزیه واریانس به روش لاین در تستر وجود دارد. بین لاین ها (برگشت دهنده باروری) از نظر عملکرد روغن، درصد روغن و اسیدهای چرب پالمیتیک، استتاریک و اولئیک اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اختلاف بین تسترها (نرعمیم) و همچنین اثر متقابل لاین با تستر از نظر همه اسیدهای چرب معنی دار شدند. این نتایج حاکی از دخالت هر دو نوع اثرات افزایشی و غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی خصوصیات مذکور است و معنی دار بودن اثر متقابل این اجزا با اثر سال نشان دهنده واکنش متفاوت لاین ها و تسترها به شرایط متغیر سال از نظر عملکرد و درصد روغن و ترکیب اسیدهای چرب می باشد. شرایط محیطی یکی از مهم ترین عوامل آشکارکننده تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ ها از نظر خصوصیات مورد مطالعه است (Jockovic

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد، درصد روغن و اسیدهای چرب اصلی آفتابگردان در شرایط آبیاری معمولی

Table 1. Analysis of variance for oil yield, oil content and major fatty acids of sunflower under normal irrigation condition

| منابع تغییر S.O.V. | درجه آزادی DF | عملکرد روغن Oil yield | درصد روغن Oil content | پالمیتیک Palmitic | استتاریک Stearic | اولئیک Oleic | لینولئیک Linoleic |
|---|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| سال Year | 1 | 53764.3 ^{ns} | 12.6 ^{ns} | 2.4 ^{**} | 0.2 ^{ns} | 82.9 ^{**} | 36.0 [*] |
| سال/تکرار Replication/Year | 4 | 32456.6 | 8.6 | 0.1 | 0.1 | 2.5 | 2.8 |
| هیبرید Hybrid | 11 | 59836.3 ^{ns} | 8.0 ^{ns} | 1.1 ^{**} | 3.1 ^{ns} | 59.1 ^{**} | 63.4 [*] |
| هیبرید × سال Hybrid × Year | 11 | 81208.8 ^{ns} | 9.8 ^{ns} | 0.4 [*] | 1.3 ^{ns} | 22.6 ^{ns} | 25.8 ^{ns} |
| لاین Line | 3 | 157753.9 ^{**} | 18.1 ^{**} | 0.5 ^{**} | 4.9 ^{**} | 5.3 ^{**} | 1.6 ^{ns} |
| تستر Tester | 2 | 25442.6 ^{ns} | 5.6 ^{ns} | 2.7 ^{**} | 3.9 ^{**} | 137.8 ^{**} | 153.7 ^{**} |
| لاین × تستر Line × Tester | 6 | 31872.7 ^{ns} | 3.7 ^{ns} | 1.1 ^{**} | 1.8 ^{**} | 67.4 ^{**} | 68.0 ^{**} |
| لاین × سال Line × Year | 3 | 34524.3 ^{ns} | 14.6 ^{**} | 0.4 ^{**} | 1.4 ^{ns} | 20.4 ^{**} | 22.8 ^{**} |
| تستر × سال Tester × Year | 2 | 115526.8 ^{**} | 6.8 [*] | 0.5 ^{**} | 0.5 ^{ns} | 21.6 ^{**} | 24.8 ^{**} |
| لاین × تستر × سال Line × Tester × Year | 6 | 106435.7 ^{**} | 8.7 ^{**} | 0.3 ^{**} | 1.7 ^{ns} | 26.8 ^{**} | 31.1 ^{**} |
| خطا Error | 48 | 16030.4 | 2.1 | 0.06 | 0.0 | 0.4 | 0.9 |
| ضریب تغییرات (درصد) CV (%) | | 37.5 | 2.2 | 1.0 | 0.8 | 1.4 | 1.2 |

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

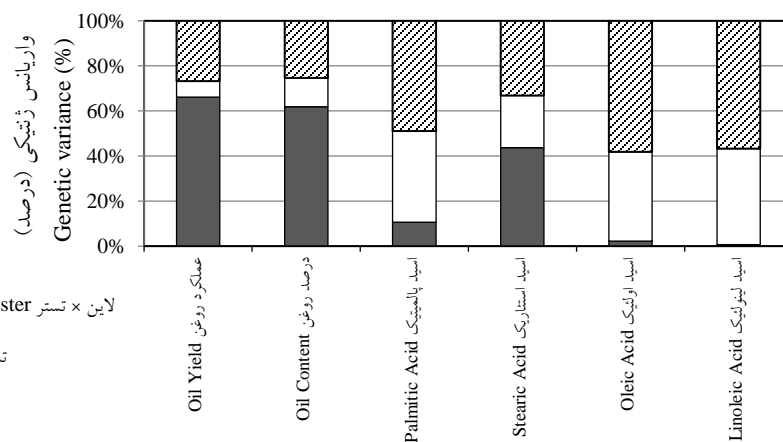
^{ns}، * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

از واریانس هیبریدها را به خود اختصاص دادند و این امر نشان می‌دهد که تنوع مشاهده شده در هیبریدها از نظر خصوصیات زراعی عمدتاً از لاین‌های برگرداننده باروری نشأت گرفته است. این شکل تصویر اولیه‌ای را از ماهیت کنترل ژنتیکی خصوصیات اندازه‌گیری شده در اختیار می‌گذارد و بر اساس آن نقش بارز اثرات افزایشی در کنترل عملکرد روغن، درصد روغن و میزان اسید استتاریک و نقش بیشتر اثرات غیرافزایشی در کنترل سه اسیدچرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک مشخص می‌شود.

در شرایط تنش خشکی تنوع هیبریدها از نظر سه اسیدچرب پالمیتیک، استتاریک و لینولئیک عمدتاً توسط اثر متقابل لاین \times تستر توجیه شد و لاین‌های تستر سهم بیشتری را در توجیه واریانس هیبریدها از نظر اسید اولئیک داشتند (شکل ۲). در هر دو شرایط لاین‌های برگرداننده باروری نقش بیشتری را در توجیه واریانس هیبریدها از نظر درصد روغن و اثر متقابل لاین در تستر در توجیه واریانس هیبریدها از نظر میزان اسید پالمیتیک داشتند که با گزارش کاهال و همکاران (Chahal et al., 2019) مطابقت دارد. در مجموع نتایج حاصل نشان داد که اثر متقابل لاین با تستر سهم بیشتری از واریانس هیبریدها از نظر میزان اسیدهای چرب روغن آفتابگردان را به خود اختصاص داده که دلالت بر نقش اثرات غیر-افزایشی در کنترل میزان اسیدهای چرب آفتابگردان دارد.

بین لاین‌ها از نظر عملکرد و درصد روغن و دو اسیدچرب اشباع پالمیتیک و استتاریک اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بین تسترها نیز از نظر همه صفات به غیر از عملکرد روغن اختلاف معنی‌داری وجود داشت و اثر متقابل لاین با تستر برای هر چهار اسیدچرب مورد بررسی معنی‌دار بود. برخلاف شرایط آبیاری معمولی اثر متقابل اجزای هیبرید با اثر سال از نظر اسید استتاریک معنی‌دار بود و نشان می‌دهد که شرایط تنش بر واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط محیطی سال نیز مؤثر می‌باشد. نتایج این بررسی نشان داد که واکنش لاین‌ها و تسترها در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری معمولی از نظر ترکیب اسیدهای چرب متفاوت می‌باشد و این امر می‌تواند بر روش به نژادی این خصوصیات در شرایط تنش خشکی تأثیر گذارد.

بر اساس تفکیک مجموع مربعات هیبریدها به اجزای خود در شرایط آبیاری معمولی، لاین‌های برگرداننده باروری نقش اصلی را در توجیه واریانس هیبریدها از نظر عملکرد روغن، درصد روغن و میزان اسید استتاریک داشتند، در حالی که اثر متقابل لاین با تستر سهم بیشتری را در توجیه واریانس هیبریدها از نظر اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک داشت (شکل ۱). لاین‌های تستر به‌خصوص در مورد عملکرد روغن و درصد روغن سهم کمتری



شکل ۱- مشارکت نسبی منابع مختلف در واریانس ژنتیکی عملکرد روغن، درصد روغن و اسیدهای چرب آفتابگردان در شرایط آبیاری معمولی
Figure 1. Relative contribution of different genetic variance components of oil yield, oil content and the fatty acids of sunflower under normal irrigation condition

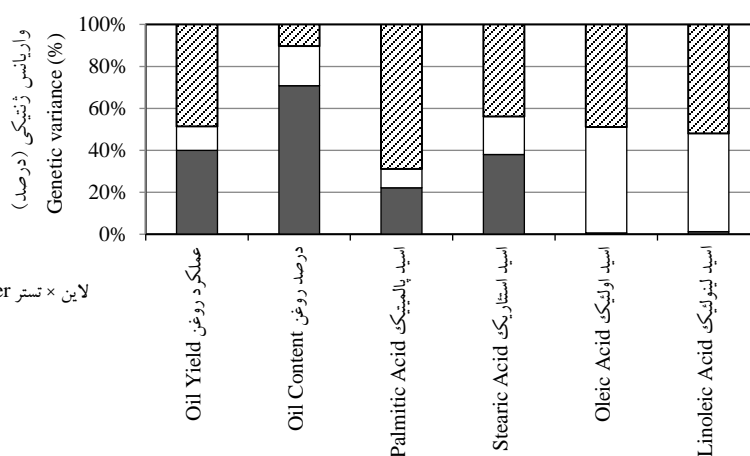
جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات مرتبط با درصد روغن و ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان در شرایط تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance of oil yield, oil content and major fatty acids of sunflower under drought stress condition

| منابع تغییر S.O.V. | درجه آزادی DF | عملکرد روغن Oil yield | درصد روغن Oil content | پالمیتیک Palmitic | استتاریک Stearic | اولئیک Oleic | لینولئیک Linoleic |
|---|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| سال Year | 1 | 33736.8 ^{ns} | 57.4* | 13.0** | 6.1** | 83.7** | 105.9** |
| سال/تکرار Replication/Year | 4 | 16902.4 | 6.91 | 0.0 | 0.1 | 1.4 | 2.8 |
| هیبرید Hybrid | 11 | 26095.6 ^{ns} | 11.4* | 2.3** | 2.9** | 58.9** | 61.3** |
| هیبرید × سال Hybrid × Year | 11 | 18920.6 ^{ns} | 3.9* | 1.3 ^{ns} | 3.8 ^{ns} | 14.0** | 18.0* |
| لاین Line | 3 | 41423.2* | 16.6** | 1.7** | 4.4** | 1.3 ^{ns} | 3.1 ^{ns} |
| تستر Tester | 2 | 17787.4 ^{ns} | 6.6** | 1.0** | 3.1** | 177.9** | 166.7** |
| لاین × تستر Line × Tester | 6 | 25177.8 ^{ns} | 1.2 ^{ns} | 2.7** | 2.5** | 57.3** | 61.6** |
| لاین × سال Line × Year | 3 | 5908.1 ^{ns} | 1.9 ^{ns} | 0.1 ^{ns} | 2.7** | 38.4** | 29.8** |
| تستر × سال Tester × year | 2 | 2390.8 ^{ns} | 6.5** | 1.9** | 2.7** | 8.1** | 1.6 ^{ns} |
| لاین × تستر × سال Line × Tester × Year | 6 | 22365.3 ^{ns} | 2.9* | 1.8** | 3.4** | 6.0** | 19.2** |
| خطا Error | 48 | 14007.6 | 1.0 | 0.1 | 0.0 | 1.1 | 1.1 |
| ضریب تغییرات (درصد) CV (%) | | 43.3 | 1.6 | 0.9 | 0.5 | 2.3 | 1.3 |

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

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



شکل ۲- مشارکت نسبی منابع مختلف در واریانس ژنتیکی عملکرد روغن، درصد روغن و اسیدهای چرب آفتابگردان در شرایط تنش خشکی

Figure 2. Relative contribution of different genetic variance components of oil yield, oil content and major fatty acids of sunflower under drought stress condition

کاهش آن در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک عامل منفی در کاهش کیفیت روغن آفتابگردان به‌شمار می‌رود. با توجه به این‌که میزان افزایش اسید اولئیک (۱۲ درصد) بیشتر از میزان کاهش اسید لینولئیک (۲/۸ درصد) بود و همچنین میزان افزایش اسید پالمیتیک بیش از میزان کاهش اسید استئاریک بود، بنابراین در مجموع می‌توان گفت که بر اساس نتایج این بررسی تنش خشکی با افزایش میزان اسید پالمیتیک و کاهش اسید اولئیک باعث کاهش کیفیت روغن آفتابگردان شده است.

برآورد اجزای واریانس ژنتیکی در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی صورت گرفت. در شرایط آبیاری مطلوب (جدول ۳) عملکرد روغن، درصد روغن و میزان اسید استئاریک تحت تأثیر هر دو نوع اثر افزایشی و غالبیت و میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک تحت اثر غیرافزایشی بودند. تان (Tan, 2010)، عبدالستار (Abd El-Satar, 2017) و نیلما و پارامشوراپا (Neelima and Parameshwarappa, 2017) اهمیت اثرات ژن‌های افزایشی و غیرافزایشی را در کنترل درصد روغن گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. گانگاپا و همکاران (Gangappa et al., 1997) نیز با استفاده از روش لاین \times تستر تأثیر هر دو نوع اثرات افزایشی و غالبیت را در کنترل میزان روغن دانه را گزارش نمودند. شکار و همکاران (Shekar et al., 1998) نقش بیشتر اثرات افزایشی در کنترل عملکرد روغن را ذکر کردند که با توجه به تفکیک مجموع مربعات تیمار (شکل ۱) با نتایج این بررسی مطابقت دارد.

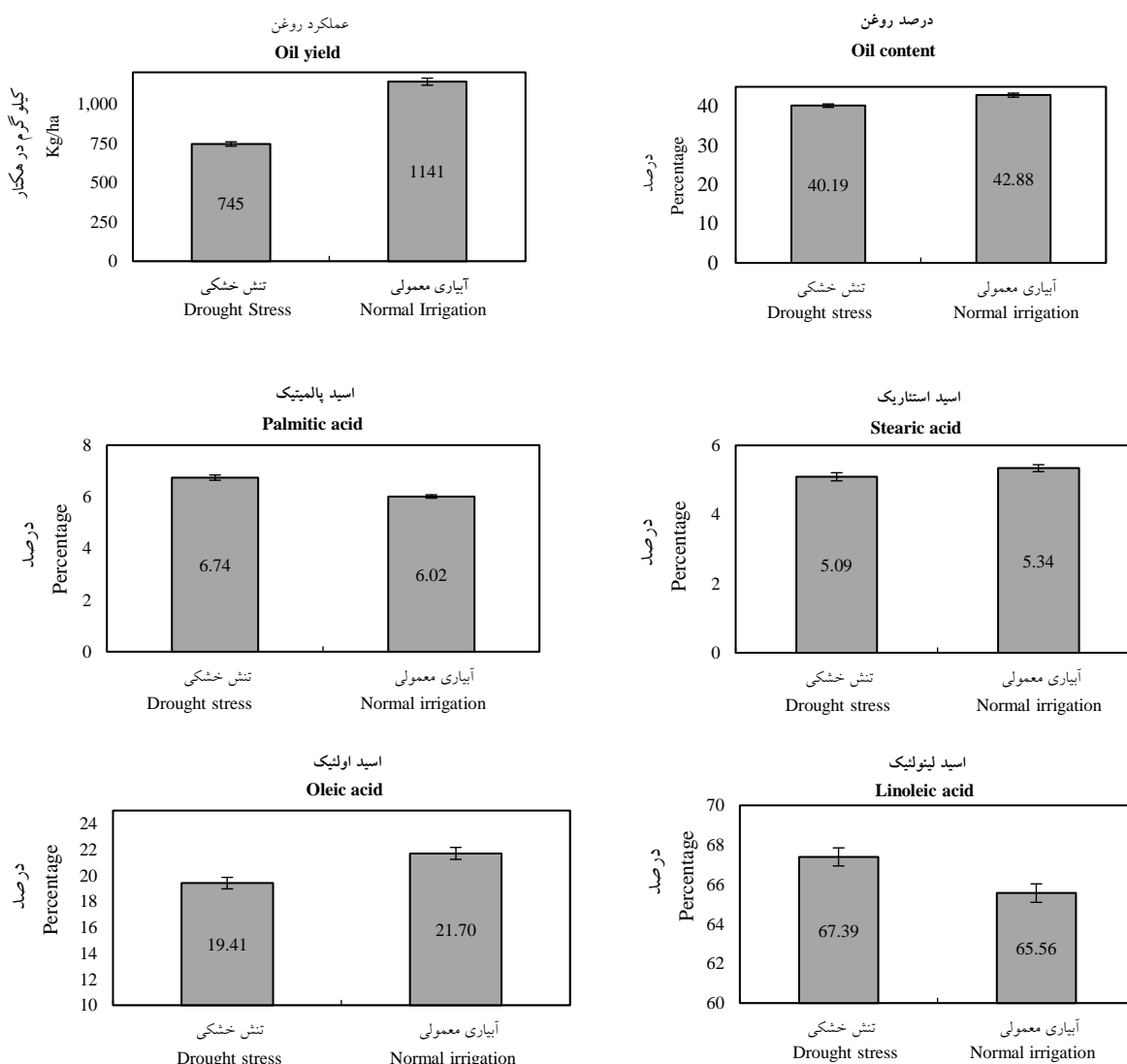
نتایج این بررسی با برخی گزارش‌های منتشر شده در مورد نحوه کنترل ژنتیکی اسیدهای چرب منطبق است. سهم بیشتر عمل غیرافزایشی ژن در کنترل میزان اسید پالمیتیک و تأثیر هر دو نوع عمل افزایشی و غیرافزایشی ژن در کنترل میزان اسید استئاریک روغن آفتابگردان گزارش شده است (Tan, 2010). نقش بیشتر اثرات غیرافزایشی در کنترل میزان اسید اولئیک (Perez-Vich et al., 2002) و اسید لینولئیک (Joksimovic et al., 2006; Tan, 2010) گزارش شده است. در مطابقت با نتایج این بررسی، چاهالام و همکاران (Chahal et al., 2019)

مقایسه میانگین دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی از نظر خصوصیات اندازه‌گیری شده نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد روغن از ۱۱۴۱ به ۷۴۵ کیلوگرم در هکتار (۳۴ درصد)، درصد روغن از ۴۲/۸۸ به ۴۰/۱۹ درصد (شش درصد)، اسید استئاریک از ۵/۳۴ به ۵/۰۹ درصد (۴/۷ درصد) و اسید اولئیک از ۲۱/۷۰ به ۱۹/۴۱ درصد (۱۰/۶ درصد) و افزایش اسید پالمیتیک از ۶/۰۲ به ۶/۷۴ درصد (۱۲ درصد) و اسید لینولئیک از ۶۵/۵۶ به ۶۷/۳۹ درصد (۲/۸ درصد) شده است. نتایج در مورد کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی با برخی گزارش‌ها منطبق است (Todorovic et al., 2009; Ghaffari et al., 2012; Akcay and Dagdelen, 2016). در مطابقت با نتایج این بررسی فلاژلا و همکاران (Flagella et al., 2002) کاهش اسید پالمیتیک و افزایش اسید استئاریک در شرایط تنش خشکی را گزارش کردند. با این‌حال نتایج متناقضی مبنی بر افزایش میزان اسید پالمیتیک و لینولئیک (Petcu et al., 2001) و کاهش اسید اولئیک (Baldini et al., 2000) وجود دارد که با گزارش علی و همکاران (Ali et al., 2009) مبنی بر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌های آفتابگردان به تنش خشکی از نظر ترکیب اسیدهای چرب توجیه می‌شود. شواهد نشان می‌دهد شرایط محیطی از جمله تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان (Demurin et al., 2000) تأثیر می‌گذارد. این تغییرات می‌تواند نقش محافظت‌کنندگی در شرایط تنش خشکی را داشته باشد با این‌حال بر کمیت و کیفیت روغن آن نیز تأثیر دارد (Hassan et al., 2019).

در این بررسی مهم‌ترین تأثیر تنش خشکی به‌صورت افزایش میزان اسید پالمیتیک و کاهش میزان اسید اولئیک آشکار شد. اسید پالمیتیک یک اسیدچرب اشباع بوده و افزایش میزان آن به‌دلیل افزایش کلاسترول خون تأثیر منفی بر کیفیت روغن می‌گذارد. از سوی دیگر اسید اولئیک ضمن کاهش میزان کلاسترول به‌عنوان یک اسیدچرب تک‌غیراشباع نقش مهمی در پایداری و ماندگاری روغن دارد (Smith et al., 2007) و

اثر غیرافزایشی گزارش کردند. در حالی که در این بررسی نقش اثرات غیرافزایشی بیشتر از اثرات افزایشی بود (شکل ۱) که با نتایج ساکتیول (Sakthivel, 2003) و اورتیس و همکاران (Ortis *et al.*, 2005) منطبق است.

گزارش کردند که میزان اسیدهای پالمیتیک و لینولئیک آفتابگردان عمدتاً در کنترل عمل ژن‌های غیرافزایشی است. با این حال ایوانوف و همکاران (Ivanov *et al.*, 1988) نقش اثرات افزایشی را در کنترل اسید پالمیتیک آفتابگردان بیشتر از



شکل ۳- میانگین عملکرد روغن، درصد روغن و اسیدهای چرب روغن آفتابگردان در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی. خطوط عمودی بر هر ستون نمایانگر خطای استاندارد میانگین است.

Figure 3. Mean values for oil yield, oil content and the fatty acids of sunflower oil under normal and drought stress conditions. The bars represent the standard error of the mean values.

حالی که در این بررسی دخالت هر دو نوع اثرات افزایشی و غیرافزایشی در کنترل این خصوصیات بارز بود. میلر و ویک

اورتیس و همکاران (Ortis *et al.*, 2005) گزارش دادند که اسید استئاریک آفتابگردان تحت کنترل عمل غیرافزایشی ژن است. در

روش‌های مبتنی بر دورگ‌گیری و تهیه ارقام هیبرید برای اصلاح ارقام آفتابگردان از نظر اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک مؤثر خواهد بود.

بر اساس نتایج حاصل از برآورد اجزای واریانس ژنتیکی در شرایط تنش خشکی (جدول ۴) به غیر از درصد روغن که در کنترل اثرات افزایشی بود، بقیه خصوصیات (عملکرد روغن و میزان هر چهار اسیدچرب اصلی) در کنترل اثرات غیرافزایشی بودند. اطلاعاتی در مورد نحوه کنترل ژنتیکی خصوصیات مرتبط با ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان در شرایط تنش خشکی در دست نیست و گزارش‌های موجود بر اساس بررسی در شرایط آبیاری مطلوب بوده است. با این حال، گزارش‌هایی مبنی بر پیچیده بودن ماهیت کنترل ژنتیکی خصوصیات مرتبط با کیفیت روغن آفتابگردان به دلیل اثرات شدید محیطی وجود دارد (Joksimovic et al., 2006). نقش بیشتر اثرات افزایشی در کنترل درصد روغن آفتابگردان گزارش شده است (Shekar et al., 1998; Leon et al., 2005; Ortis et al., 2003) که با نتیجه این آزمایش به خصوص در شرایط تنش خشکی مطابقت دارد.

(Miller and Vick, 1999) نیز گزارش دادند که میزان اسید پالمیتیک آفتابگردان در کنترل عمل افزایشی ژن است. این نوع تفاوت در برخی گزارش‌ها می‌تواند به دلیل استفاده از مواد ژنتیکی مختلف یا از اثرات محیط‌های مختلف آزمایشی ناشی شده باشد. در شرایط آبیاری معمولی غالبیت ناقص برای درصد روغن و عملکرد روغن و فوق‌غالبیت برای همه اسیدهای چرب مشاهده شد (جدول ۳). اثرات غالبیت برای اسید اولئیک و اسید لینولئیک (Perez-Vich et al., 2002) و غالبیت ناقص برای میزان اسید پالمیتیک و استئاریک (Ivanov et al., 1988) گزارش شده است. درجه غالبیت کمتر از ۱ نشان دهنده وجود غالبیت ناقص و بیشتر از یک نشان دهنده فوق‌غالبیت است. درجه غالبیت برابر یک به معنای وجود غالبیت کامل در کنترل صفت است. به دلیل مشاهده اثرات فوق‌غالبیت برای همه اسیدهای چرب در این بررسی دورگ‌گیری و بهره‌برداری از پدیده هتروزیس برای افزایش میزان هر یک از اسیدهای چرب مؤثر خواهد بود. بر اساس نتایج این بررسی، در شرایط آبیاری مطلوب هر دو روش مبتنی بر گزینش و دورگ‌گیری برای اصلاح ارقام آفتابگردان از نظر عملکرد روغن، درصد روغن و میزان اسید استئاریک و

جدول ۳- برآورد اجزای واریانس ژنتیکی برای عملکرد روغن، درصد روغن و اسیدهای چرب آفتابگردان در شرایط آبیاری معمولی

Table 3. Estimation of genetic variance for oil yield, oil content and the fatty acids of sunflower under normal irrigation condition

| اجزای ژنتیکی Genetic components | عملکرد روغن Oil yield | درصد روغن Oil content | پالمیتیک Palmitic | استئاریک Stearic | اولئیک Oleic | لینولئیک Linoleic |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| واریانس افزایشی V(A) | 11376.30** | 1.55* | 0.09 ^{ns} | 0.48** | 0.78 ^{ns} | 1.84 ^{ns} |
| SE5% | 8116.40 | 0.97 | 0.16 | 0.34 | 8.48 | 9.29 |
| SE1% | 10821.87 | 1.29 | 0.21 | 0.45 | 11.31 | 12.38 |
| واریانس غیرافزایشی V(D) | 5280.75* | 0.52* | 0.34** | 0.60** | 22.35** | 22.35** |
| SE5% | 4446.34 | 0.52 | 0.15 | 0.25 | 9.23 | 9.30 |
| SE1% | 5928.46 | 0.69 | 0.20 | 0.34 | 12.30 | 12.40 |
| درجه غالبیت | 0.96 | 0.82 | 2.68 | 1.58 | 7.58 | 4.93 |

^{ns} و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

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

جدول ۴- برآورد اجزای واریانس ژنتیکی برای عملکرد روغن، درصد روغن و اسیدهای چرب آفتابگردان در شرایط تنش خشکی

Table 4. Estimation of genetic variance for oil yield, oil content and the fatty acids of sunflower under drought stress condition

| اجزای ژنتیکی Genetic components | عملکرد روغن Oil yield | درصد روغن Oil content | پالمیتیک Palmitic | استئاریک Stearic | اولئیک Oleic | لینولئیک Linoleic |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| واریانس افزایشی V(A) | 843.34 ^{ns} | 1.99 ^{**} | 0.00 ^{ns} | 0.23 ^{ns} | 6.16 ^{ns} | 4.44 ^{ns} |
| SE5% | 2663.44 | 0.90 | 0.18 | 0.31 | 10.33 | 9.83 |
| SE1% | 3551.25 | 1.21 | 0.24 | 0.41 | 13.77 | 13.10 |
| واریانس غیر افزایشی V(D) | 3723.38* | 0.08 ^{ns} | 0.87 ^{**} | 0.83 ^{**} | 18.74 ^{**} | 20.16 ^{**} |
| SE5% | 3527.63 | 0.17 | 0.37 | 0.34 | 7.83 | 8.43 |
| SE1% | 4703.50 | 0.23 | 0.49 | 0.46 | 10.45 | 11.24 |
| درجه غالبیت | 2.97 | 0.28 | 0.00 | 2.67 | 2.47 | 3.01 |

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

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

واریانس هیبریدها از نظر میزان اسیدهای چرب داشت که نشان دهنده نقش بارز اثرات غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی این خصوصیات است. در شرایط آبیاری مطلوب عملکرد روغن، درصد روغن و اسید استئاریک تحت تأثیر هر دو نوع اثرات افزایشی و غالبیت و اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک در کنترل اثرات غالبیت بودند. در شرایط تنش خشکی به جز درصد روغن که در کنترل اثرات افزایشی بود، بقیه خصوصیات در کنترل اثرات غالبیت بودند. بر اساس نتایج این بررسی ترکیب اسیدهای چرب اصلی آفتابگردان عمدتاً در کنترل اثرات غیرافزایشی بوده و بیانگر نقش بیشتر عوامل ژنتیکی در کنترل این خصوصیات است. این امر نشان می‌دهد که فارغ از شرایط تأمین رطوبتی روش‌های مبتنی بر دورگ‌گیری و تهیه ارقام هیبرید می‌تواند به طور مؤثر در اصلاح ارقام آفتابگردان از نظر ترکیب اسیدهای چرب مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه منابع طبیعی ساری و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج جهت فراهم کردن شرایط اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

اثرات غالبیت ناقص برای درصد روغن و اثرات فوق‌غالبیت برای عملکرد دانه و میزان سه اسیدچرب استئاریک، اولئیک و لینولئیک در شرایط تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به نقش بیشتر اثرات افزایشی در کنترل درصد روغن چنین نتیجه‌ای در مورد درصد روغن قابل استنتاج است. با توجه به اینکه بررسی‌ها در شرایط آبیاری مطلوب نیز بیانگر درگیر بودن اثرات غالبیت در کنترل اسیدهای چرب اصلی آفتابگردان بود، می‌توان گفت که ترکیب اسیدهای چرب اصلی آفتابگردان عمدتاً در کنترل اثرات غیرافزایشی می‌باشد. این امر بیانگر نقش بیشتر عوامل ژنتیکی در کنترل این خصوصیات است و نشان می‌دهد که فارغ از شرایط تأمین رطوبتی روش‌های مبتنی بر دورگ‌گیری و تهیه ارقام هیبرید می‌تواند به طور مؤثر در اصلاح ارقام آفتابگردان از نظر ترکیب اسیدهای چرب مورد استفاده قرار گیرد.

بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی هیبریدهای آفتابگردان در دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی، تنش خشکی باعث کاهش عملکرد روغن (۳۴ درصد)، درصد روغن (شش درصد)، اسید استئاریک (۴/۷ درصد) و اولئیک (۱۰/۶ درصد) و افزایش اسیدهای پالمیتیک (۱۲ درصد) و لینولئیک (۲/۸ درصد) شد. در هر دو شرایط اثر متقابل لاین × تستر نقش بیشتری را در توجیه

References

- Abd El-Satar, M.A.** (2017). Genetic analysis of half diallel matting with different methods and their comparisons for yield and its associated traits in sunflower under saline soil stress conditions. *Helia*, **40(66)**: 85-114.
- Akcaay, S. and Dagdelen, N.** (2016). Water use efficiency, yield and yield components of second crop sunflower under deficit irrigation. *Turkish Journal of Field Crops*, **21**: 190-199.
- Ali, Q., Ashraf, M. and Anwar, F.** (2009). Physico-chemical attributes of seed oil from drought stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *Grasas Y aceites*, **60(5)**: 477-483.
- Anastasi, U., Santonoceto, C., Giuffre, A., Sortino, O., Gresta, F. and Abbate, V.** (2010). Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. *Field Crops Research*, **119**: 145-153.
- Azadmard-Damirchi, S. and Dutta, P.C.** (2006). Novel solid-phase extraction method to separate 4-desmethyl-, 4-monomethyl-, and 4, 40-dimethylsterols in vegetable oils. *Journal of Chromatography A*, **1108**: 183-187.
- Baldini, M., Giovanardi, R. and Vannozzi, G.** (2000). Effect of different water availability on fatty acid composition of the oil in standard and high oleic sunflower hybrids. *15th International Sunflower Conference*, Toulouse, France.
- Banaei, R., Baghizadeh, A., and Khavari Khorasani, S.** (2016). Estimates of genetic variance parameters and general and specific combining ability of morphological traits, yield and yield components of maize hybrids in normal and salt stress conditions. *Plant Genetic Researches*, **3(1)**: 57-74 (In Persian).
- Barzgari, A., Malekzade Shafaroudi, S., and Khavari Khorasani, S.** (2022). Study on combining ability and gene effects estimation in some sweet corn inbred lines (*Zea mays* L. var *saccarata*) by line× tester method. *Plant Genetic Researches*, **8(2)**: 131-142 (In Persian).
- Chahal, R.K., Dhillon, S.K., Kandhola, S.S., Kaur G., Kaila V. and Tyagi. V.** (2019). Magnitude and nature of gene effects controlling oil content and quality components in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, **42(70)**: 73-84.
- Chimenti, C., Pearson, J. and Hall, A.** (2002). Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crops Research*, **75**: 235-246.
- Demurin, Y., Skoric D., Vorosbaranyi, I. and Jovic S.** (2000). Inheritance of increased high oleic acid content in sunflower seed oil. *Helia*, **23(32)**: 87-92.
- FAO.** (2020). *Agricultural Production Year Book*. Rome. Italy. Available at: <http://faostat3.fao.org>.
- Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantito, E., Caterina, R.D. and Caro, A.D.** (2002). Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*, **17**: 221-230.
- Gangappa, E., Channakishnaiah, K.M., Harini, M.S. and, Ramesh, S.** (1997). Studies on combining ability in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, **20(27)**: 73-84.
- Ghaffari, M. and Shariati, F.** (2018). Combining ability of sunflower inbred lines under drought stress. *Helia*, **41(69)**: 201-212.
- Ghaffari, M., Andarkhor, S., Homayonifar, M., Kalantar Ahmadi, S., Shariati, F., Jamali, H. and Rahmanpour, S.** (2020). Agronomic attributes and stability of exotic sunflower hybrids in Iran. *Helia*, **43(72)**: 67-81.
- Ghaffari, M., Toorchi, M., Valizadeh, M. and Shakiba, M.R.** (2012). Morpho-physiological screening of sunflower inbred lines under drought stress condition. *Turkish Journal of Field Crops*, **17(2)**: 185-190.
- Haddadan, A.Z., Ghaffari, M., Hervan, E.M. and Alizadeh, B.** (2020) Impact of parent inbred lines on heterosis expression for agronomic characteristics in sunflower. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, **56(3)**: 123-132.

- Hassan, A.M. and Mohamed, H.E.** (2019). 1- Arginine Pretreatment Enhances Drought Resistance of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Plants by Increase in Polyamines Content, *Journal of Plant Growth Regulation*, **38(2)**: 600-605.
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M. and Nawaz, A.** (2018). Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, **201**: 152-166.
- Ivanov, P., Petakov, D., Nikolova V. and Pentchev, E.** (1988). Sunflower breeding for high palmitic acid content in the oil. *12th International Sunflower Conference, Novi Sad, Yugoslavia, Serbia.*
- Jockovic, M., Cvejic, S., Jovic, S., Marjanovic-Jeromela, A., Miladinovic, D., Jockovic, B., Miklic, V. and Radic, V.** (2019). Evaluation of sunflower hybrids in multi-environment trial (MET). *Turkish Journal of Field Crops*, **24**: 202-210.
- Joksimovic, J., Atlagic, J., Marinkovic, R. and Jovanović, D.** (2006). Genetic control of oleic and linoleic acid contents in sunflower. *Helia*, **29**: 33-40.
- Knowles, P.F.** (1988). Recent advances in oil crops breeding. *Proceeding of the World Conference on Biotechnology for the Fats and Oil Industry*. American Oil Chemists Society, Illinois, USA.
- Leon, A.J., Andrade, F.H. and Lee, M.** (2003). Genetic analysis of seed oil concentration and environments in sunflower. *Crop Science*, **43**: 135-140.
- Memon, S., Baloch, M.J., Baloch, G.M. and Jatoi, W.A.** (2015). Combining ability through line × tester analysis for phenological, seed yield, and oil traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Euphytica*, **204**: 199-209
- Miller, J.F. and Vick, B.A.** (1999). Registration of three low palmitic acid and five low stearic acid sunflower genetic stocks. *Crop Science*, **39(1)**: 305-306.
- Neelima, S. and Parameshwarappa, K.G.** (2017). Stability of single and three-way cross hybrids for seed yield and other important agronomic traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, **40(67)**: 197-210.
- Ortis, L., Nestares, G., Frutos, E. and Machado, N.** (2005). Combining ability analysis for agronomic traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, **28**: 125-134.
- Perez-Vich, B., Fernandez-Martínez, J., Grondona, M., Knapp, S.J. and Berry, S.T.** (2002). Stearoyl-ACP and oleoyl-PC desaturase genes co-segregate with quantitative trait loci underlying high stearic and high oleic acid mutant phenotypes in sunflower. *Theoretical Applied Genetic*, **104(2-3)**: 338-349.
- Petcu, E., Arsintescu, A. and Stanciu, D.** (2001). The effect of drought stress on fatty acid composition in some Romanian sunflower hybrids. *Romanian Agricultural Research*, **15**: 39-43.
- Popa, M., Anton, G.F., Rîșnoveanu, L., Petcu, E. and Babeanu, N.** (2017). The effect of planting date and climatic condition on oil content and fatty acid composition in some Romanian sunflower hybrids. *AgroLife Scientific Journal*, **6**: 212-221.
- Robinson, R.G.** (1997). Production and culture. In: Schneiter A.A., (ed.). *Sunflower Science and Technology*, pp. 55-87. Agronomy Monograph, ASA Inc, Madison, USA.
- Sakthivel, K.** (2003). Line × tester analysis for combining ability in kharif sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Ecobiology*, **15(4)**: 299-304.
- Schneiter, A. and Miller, J.** (1981). Description of sunflower growth stages. *Crop Science*, **21**: 901-903.
- Seiler, G.J.** (2007). The potential of wild sunflower species for industrial uses. *Helia*, **30**: 175-198.
- Shekar, G.C., Jayaramafah, H., Virupakshappa, K. and Jagadeesh, B.N.** (1998). Combining ability of high oleic acid in sunflower. *Helia*, **21(28)**: 7-14.
- Singh, R.K. and Chaudhary, B.D.** (1985). *Biometrical Techniques in Breeding and Genetics*. Kalyani Publishers, New Delhi, IND.

- Skoric, D.** (2012). The genetics of sunflower. In: Skoric, D., Seiler, G., Liu, Z., Jan, C.C., Miller, J.F. and Charlet, L.D. (Eds.). *Sunflower Genetics and Breeding*. pp. 102-128. Serbian Academy of Science and Arts, Novi Sad, CS.
- Smith, S.A., King, R.E. and Min, D.B.** (2007). Oxidative and thermal stabilities of genetically modified high oleic sunflower oil. *Food Chemistry*, **102**: 1208-1213.
- Tan, A.S.** (2010). Study on the determination of combining abilities of inbred lines for hybrid breeding using line× tester analysis in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, **33(53)**: 131-148.
- Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Saab, M.T.A., Stöckle, C. and Steduto, P.** (2009). Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*, **101**: 509-521.
- Tyagi, V., Dhillon, S.K. and Kaur, K.** (2020). Gene action for oil content and quality in diverse cytoplasmic sources in sunflower under varied moisture environments. *Helia*, **43(73)**: 151-166.

Estimation of Genetic Variance Components of Sunflower Fatty Acids Under Normal Irrigation and Drought Stress Conditions Using Line × Tester Method

Seyede Sharare Arianezhad¹, Hamid Najafi Zarini^{2*}, Mehdi Ghaffari³ and Gholamali Ranjbar²

1- Ph.D. Student, Department of Plant Breeding, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Breeding, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Sari, Iran

3- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: April 11, 2022 - Accepted: July 7, 2022)

Abstract

This research was carried out to estimate the genetic variance components for sunflower fatty acids in two separate optimum and drought stressed conditions in Karaj during 2020 and 2021 growing seasons. The plant materials consisted of 12 hybrids derived from crossing of four restorer lines by three cytoplasmic male sterile lines (Testers) that were evaluated in two separate experiments as randomized complete block design with three replications. Drought stress made a reduction in oil yield (34 percent), oil content (six percent), stearic acid (4.7 percent) and oleic acid (10.6 percent) and an increase in palmitic acid (12 percent) and linoleic acid (2.8 percent). Line × tester interaction effect had a major role in explanation of the variance of the hybrids in terms of fatty acid content in both conditions, indicating the critical role of non-additive effects in genetic control of these traits. Under optimum irrigation, oil yield, oil content and stearic acid content were under control of both additive and dominant gene action and palmitic, oleic and linoleic acids were under control of dominant gene action. Under drought stress, except oil content which was under control of additive effects, all the other traits were under control of dominant gene action. According to the results of this study, fatty acid composition of sunflower was under control of non-additive genetic effects and the crossing-based methods and hybrid breeding could be used for improvement of sunflower in terms of fatty acid composition.

Keywords: Additive effect, Dominance, Line, Linoleic, Oleic, Tester

* Corresponding Author, E-mail: h.najafi@sanru.ac.ir