

ارزیابی عملکرد دانه و صفات زراعی ژنوتیپ‌های خارجی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط تنش خشکی

مجید غلامحسینی^{۱*}، سعدالله منصوری^۱، بهرام مسعودی^۱ و فرناز شریعتی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴)

چکیده

با وجود قابلیت بالای تولید کنجد در کشور، عملکرد و کارایی مصرف آب آن پایین است. بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا به‌ویژه در شرایط تنش خشکی برای توسعه کشت این گیاه ضرورت دارد. بدین منظور پاسخ کمی و کیفی ۲۰ ژنوتیپ وارداتی کنجد به شرایط تنش خشکی در اقلیم نیمه خشک ایران در کرج (مزارع تحقیقاتی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر) طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های خرد شده با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری در دو سطح شامل آبیاری کامل و تنش خشکی در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های کنجد (۲۰ ژنوتیپ وارداتی همراه با یک رقم داخلی به‌عنوان شاهد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. بر اساس نتایج ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۸، ۱۲ و ۱۷ در گروه زودرس، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در گروه میان‌رس، ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۵، ۷، ۹، ۱۳ و ۱۵ در گروه دیررس و رقم داخلی اولتان در گروه خیلی دیررس دسته‌بندی شدند. در بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ شماره ۷ با شاخص سطح برگ ۳/۲۷ بیشترین و ژنوتیپ شماره ۲۰ با شاخص سطح برگ ۱/۰۰ کمترین این صفت را دارا بودند. همچنین نتایج بیانگر آن بود که تیمار تنش خشکی ۳۵، ۴۴ و ۳۵ درصد به ترتیب تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه را کاهش داد. از طرف دیگر در تمامی ژنوتیپ‌ها اعمال تنش خشکی باعث افت عملکرد دانه و ماده خشک شد. نتایج بیانگر آن است که ژنوتیپ شماره ۶ با ۵۰ درصد کاهش عملکرد دانه بیشترین و ژنوتیپ شماره ۱۱ با ۲۶ درصد افت عملکرد دانه کمترین تأثیرپذیری را از اعمال تنش نشان دادند. در صفت عملکرد دانه، ژنوتیپ شماره ۷ در هر دو تیمار آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار عملکرد دانه را داشت (۱۵۳۱ و ۱۱۰۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و تنش خشکی). با این حال به دلیل طول دوره رشد کوتاه‌تر، افت کمتر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و عملکرد روغن بالا، ژنوتیپ شماره ۱۱ نیز به‌عنوان ژنوتیپ برتر در نظر گرفته شد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، تیمار آبیاری، روز تا رسیدگی، عملکرد روغن، کارایی مصرف آب

۱. استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.gholamhoseini@areeo.ac.ir

مقدمه

دانه‌های روغنی به‌عنوان پایه و ماده اولیه تولید روغن نباتی در مبحث امنیت غذایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند. به واقع، ضریب مصرف روغن نباتی در سبد غذایی خانوارهای ایرانی به میزانی بالاست، ۲۰ کیلوگرم در سال به ازای هر نفر (۱۸)، که با قطعیت می‌توان از روغن نباتی به‌عنوان یکی از نیازهای اساسی جامعه در حوزه غذایی نام برد. با توجه به اهمیت روغن خوراکی به‌عنوان یک کالای اساسی در سبد خانوار و همچنین واردات بیش از ۹۰ درصدی روغن مورد نیاز کشور (۱۹)، تحقیقات گسترده در زمینه انواع دانه‌های روغنی ضروری است. در بین دانه‌های روغنی، کنجد (*Sesamum indicum, L.*) یکی از گیاهان بسیار قدیمی و جزء اولین گیاهان زراعی اهلی شده توسط بشر است (۳۵). کنجد گیاهی است که عمدتاً در کشورهای در حال توسعه کاشته می‌شود و مطابق با آخرین آمار فائو (۱۳)، کشورهای سودان، برمه (میانمار) و هندوستان به‌ترتیب سه کشور عمده تولید کننده این محصول معرفی شده‌اند. ایران از نظر تولید دانه در رتبه ۱۲۶ام دنیا قرار دارد. با وجود پتانسیل بالای تولید کنجد در کشور، عملکرد و کارایی مصرف آب آن پایین است (۱۷). در بسیاری از کشورها، از جمله ایران، میزان عملکرد به یک تن در هکتار هم نرسیده و حتی در تعدادی از آنها عملکرد تولیدی کمتر از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است (۱۳). متوسط عملکرد دانه کنجد در سطح جهانی ۵۱۰ و در ایران ۶۹۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۱۳). بنابراین شناسایی و معرفی ارقام پرمحصول کنجد از مهم‌ترین اولویت‌های پژوهشی در این گیاه است.

تنش‌های محیطی از عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی محسوب می‌شوند. مطابق برآوردهای انجام شده تنها ۱۰ درصد از زمین‌های قابل کشت جهان به‌عنوان مناطق بدون تنش طبقه‌بندی می‌شوند و تنش خشکی به تنهایی ۲۶ درصد از زمین‌های کشاورزی را متأثر می‌سازد (۳۴). ایران در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده و تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش

خشکی عمده‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی است. گزارش شده است که انتخاب برای مقاومت به خشکی باید با انتخاب مواد ژنتیکی برای پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط بدون تنش همراه باشد (۱۴ و ۲۶). ژنوتیپ‌هایی که در شرایط آبیاری مناسب و محدود، عملکرد یکسانی داشته باشند و یا لاقل تفاوت عملکرد آنها کم باشد، نسبت به خشکی دارای مقاومت نسبی هستند (۲۵).

یافته‌های حسین و همکاران (۲۰) نشان داد که عملکرد دانه و صفات وابسته به آن در گیاه کنجد در مقایسه با خصوصیات مورفولوژیک نسبت به کمبود آب حساس‌تر هستند. نتایج مطالعه‌ای در منطقه کاهرامانماراس ترکیه با تابستان‌های گرم و خشک بیانگر آن است که در سطوح متوسط تنش (یک مرتبه آبیاری در هفته)، رشد رویشی کنجد کاهش می‌یابد و عملکرد دانه و اجزای آن تنها در شرایط خشکی شدید (یک مرتبه آبیاری در دو هفته) واکنش نشان دادند (۳۳). در آزمایش فاضلی و همکاران (۱۵) افزایش سطح تنش خشکی موجب کاهش پتانسیل آب، پتانسیل اسمزی، مقدار وزن تر و خشک و میزان پروتئین موجود در برگ و ریشه در دو رقم کنجد داراب ۱۴ و یکتا شد و از سوی دیگر، افزایش قندهای محلول و مجموع قندها و اولیگوساکاریدها را به دنبال داشت. ایشان پیشنهاد دادند که سازوکار تحمل کنجد نسبت به خشکی شامل تولید پروتئین، تغییرات غلظت قند و انباشت یونها جهت حفظ پتانسیل فشار کافی در شرایط تنش است. در تحقیقی که در چین صورت گرفت ۵ رقم کنجد از نظر تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج نشان داد که تنش خشکی با تأثیر بر سرعت رشد، توسعه سیستم ریشه‌ای، تعداد و اندازه برگ‌ها، ارتفاع گیاه سبب کاهش رشد و توسعه کنجد شده است، که بر این اساس تأثیر تنش در مرحله گلدهی بیش از مرحله دانه‌بندی بود (۲۲). نتایج ابراهیمیان و همکاران (۱۰) نشان داد با افزایش کمبود آب صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، عملکرد ماده خشک و دانه کنجد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین آئین (۱) با بررسی دو ژنوتیپ کنجد در شرایط آبیاری مطلوب

بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش دو عامل شامل رژیم آبیاری در دو سطح، آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده در خاک (آبیاری کامل)، و آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده در خاک (تنش خشکی) و ۲۱ ژنوتیپ‌های گیاه کنگد، مورد بررسی قرار گرفتند. جدول ۱ اسامی و مشخصات کلی ژنوتیپ‌های مورد استفاده را ارائه می‌کند. در این آزمایش رژیم‌های آبیاری در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌ها در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پس از اجرای عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و ایجاد فارو در محل اجرای آزمایش، نقشه آزمایش در محل اجرا پیاده‌سازی شد. بذور کنگد در ۲۲ خرداد ماه سال ۱۳۹۷ و ۲۶ خرداد ماه سال ۱۳۹۸ در کرت‌های آزمایشی کشت شدند. مساحت هر واحد آزمایشی حدود ۵ مترمربع (۲/۵×۲) بود. هر کرت شامل سه ردیف کاشت به طول ۲/۵ متر بود. فاصله‌ای به اندازه ۸ متر بین کرت‌های اصلی، ۲ متر بین بلوک‌ها و ۰/۶ متر بین کرت‌های فرعی، به منظور جلوگیری از تداخل تیمارهای آزمایشی لحاظ شد. بذور کنگد در واحدهای آزمایشی به وسیله دست کشت شدند و سپس در مراحل اولیه رشد و نمو کنگد (دو تا سه برگی، کد رشدی ۱۲ و ۱۳ بر اساس کدبندی رشد و نمو کنگد (۳)) تنک شدند، به طوری که تراکم ۲۰ بوته در مترمربع (فاصله ۶۰ سانتی‌متری ردیف‌های کشت از هم و فاصله تقریبی ۸ سانتی‌متری بوته از هم روی ردیف‌ها) حاصل شد. در این آزمایش قبل از کاشت مزرعه با علفکش ترفلان (تری فلورالین، دو لیتر در هکتار) به منظور کنترل علف‌های هرز تیمار شد اما به دلیل غنی بودن بانک بذری خاک از بذور گونه‌های مختلف علف‌های هرز، جمعیت قابل توجهی از علف‌های هرز در مزرعه مشاهده شد، از این رو عملیات وجین در طول فصل رشد به طور مرتب و در فواصل زمانی کوتاه انجام گرفت.

برای آبیاری مزرعه از روش هیدروفوم همراه با یک کنتور حجمی برای اندازه‌گیری مقدار آب مصرف شده استفاده شد. جدول زمان‌بندی آبیاری واحدهای آزمایشی بر اساس روش

و تنش خشکی در منطقه جیرفت و کهنوج نتیجه‌گیری کرد که ژنوتیپ مقاوم به تنش خشکی از ارتفاع گیاه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه و عملکرد دانه بیشتری در شرایط تنش برخوردار است. در مجموع چنین می‌توان بیان کرد که با توجه به خشکسالی‌های پی در پی در کشور، انتظار است که کنگد، با توجه به سازگاری آن به شرایط کم‌آبی، بتواند جایگاه ویژه‌ای را در تولید روغن با کیفیت مورد نیاز کشور به خود اختصاص دهد. بنابراین لزوم شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و به‌ویژه بررسی ژنوتیپ‌های خارجی که علاوه بر ویژگی تحمل به خشکی عملکرد مطلوبی نیز داشته باشند، از طریق اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای لازم است. بدین منظور پژوهش حاضر با هدف تعیین پاسخ ژنوتیپ‌های وارداتی کنگد از نظر عملکرد کمی و کیفی و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی و مقایسه آنها با رقم داخلی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، واقع در محمد شهر کرج با مختصات جغرافیائی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و صفر دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۲۳ متر از سطح دریا اجرا شد. محل اجرای آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن در گروه اقلیمی نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود (۱۷). منطبق با داده‌های هواشناسی، تیر ماه با میانگین دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد و دی با دمای ۱/۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال در کرج محسوب می‌شوند. همچنین بر اساس داده‌های بلند مدت هواشناسی میانگین بارندگی سالیانه این منطقه حدود ۲۴۷ میلی‌متر بوده و بارندگی‌ها از فصل پاییز آغاز و تا اواسط بهار ادامه دارند و تابستان‌های آن گرم و بدون بارندگی است. میانگین سالیانه رطوبت نسبی کرج ۵۲ درصد و میانگین حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۷۲ و ۳۸ درصد گزارش شده است.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه

جدول ۱. اسامی و مشخصات ژنوتیپ‌های کنجد مورد استفاده در آزمایش‌های سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

ردیف	نام ژنوتیپ	کشور منشاء	وضعیت اصلاحی	ردیف	نام ژنوتیپ	کشور منشاء	وضعیت اصلاحی
۱	Gynum 11*	کره جنوبی	لاین اصلاحی	۱۲	Hail 2	کره جنوبی	لاین اصلاحی
۲	Kubarez 55	ترکیه	لاین اصلاحی	۱۳	Jungkyung	استرالیا	لاین اصلاحی
۳	Lao hong zhi ma	چین	توده بومی	۱۴	Hoechon 2	کره جنوبی	لاین اصلاحی
۴	Bian gan	چین	لاین اصلاحی	۱۵	Black chil sung	کره جنوبی	لاین اصلاحی
۵	Bukbak	کره جنوبی	لاین اصلاحی	۱۶	Dunae	کره جنوبی	لاین اصلاحی
۶	Dongeuuy	کره جنوبی	لاین اصلاحی	۱۷	Anthalya 1	ترکیه	لاین اصلاحی
۷	Margo	آمریکا	رقم	۱۸	Pachequero	مکزیک	لاین اصلاحی
۸	Local 123	مصر	لاین اصلاحی	۱۹	Haibuk	کره جنوبی	لاین اصلاحی
۹	Amaliada	یونان	لاین اصلاحی	۲۰	Sunhua 1	کره جنوبی	لاین اصلاحی
۱۰	Uusu 1	کره جنوبی	لاین اصلاحی	۲۱	اولتان**	ایران	رقم
۱۱	Songhak	کره جنوبی	لاین اصلاحی				

در متن به منظور جلوگیری از طولانی شدن جملات به جای اسامی ژنوتیپ‌ها از شماره‌های آنها استفاده شده است. * ژنوتیپ‌های شماره یک تا ۲۰ از بانک ژن کشور استرالیا دریافت شده و در بررسی‌های اولیه توسط مسعودی و احمدی (۲۸) به عنوان ژنوتیپ‌های برتر گزارش شده‌اند. ** ژنوتیپ شماره ۲۱ به عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

نیترژن‌دار (اوره) به مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به صورت تقسیط شده در دو مرحله، یک دوم در مرحله سه تا چهار برگی (کد رشدی ۱۳ و ۱۴) و مابقی در مرحله هشت تا نه برگی (کد رشدی ۱۸ و ۱۹) به صورت جایگذاری کنار ردیف‌های کاشت به کار برده شد.

در هر دو سال آزمایش هنگامی که کنجد در مرحله باز شدن ۹۰ درصد گل‌ها قرار داشت (کد رشدی ۶۹)، شاخص سطح برگ به وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta-T area meter; Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK) ارزیابی شد. برداشت نهایی برای محاسبه عملکرد ماده خشک و دانه با توجه به تاریخ رسیدگی هر ژنوتیپ از اواخر شهریور ماه تا اوایل آذر ماه انجام گرفت و ژنوتیپ‌ها بر اساس طول دوره رشد (صفت روز تا رسیدگی) به روش لانگهام (۲۷) دسته‌بندی شدند. همچنین صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد شامل عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن هزار دانه، تعداد دانه در هر کپسول، تعداد کپسول در هر بوته اندازه‌گیری شد. مساحت برداشت شده هر کرت از ردیف میانی با لحاظ کردن

تغییرات درصد حجمی رطوبت خاک انجام شد. در این روش هنگامی که درصد رطوبت خاک از حد مشخصی کمتر شود، آبیاری انجام می‌گیرد. در این آزمایش آبیاری زمانی صورت گرفت که ۴۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک به ترتیب در رژیم آبیاری کامل و تنش خشکی، بوسیله گیاه و یا تبخیر از سطح خاک تخلیه شد. تعیین مقدار رطوبت قابل استفاده نیز از تفاوت درصد حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی از درصد حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی به دست آمد. برای کنترل رطوبت خاک از دستگاه T.D.R (Time-Domain Reflectometry, Model 6050 X1, SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP. CA, USA) استفاده شد. در هر مرحله از آبیاری، کرت‌ها به طور مساوی (به وسیله قرائت کنتور) به روش نشتی آبیاری شدند. مجموع آب مصرف شده در طول اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۷ برابر ۵۱۴۰ و ۲۷۶۰ مترمکعب در هکتار به ترتیب در رژیم آبیاری کامل و تنش خشکی و ۵۷۱۰ و ۳۲۲۰ متر مکعب در هکتار به ترتیب در رژیم آبیاری کامل و تنش خشکی در سال ۱۳۹۸ بود. کود

نتایج و بحث

روز تا رسیدگی

اثر اصلی تیمارهای آزمایشی (رژیم آبیاری و ژنوتیپ) بر صفت روز تا رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۲). همانطور که انتظار می‌رفت کاهش فراهمی آب باعث کوتاه شدن طول دوره رشد شد (جدول ۳). در واقع تنش خشکی سبب تسریع در زودرسی ژنوتیپ‌های کنجد شد. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ ۶ با طول دوره رشد ۹۰ روز، زودرس‌ترین و ژنوتیپ ۲۱ با طول دوره رشد ۱۱۸ روز، دیررس‌ترین ژنوتیپ بود (جدول ۳). لانگهام (۲۷) ژنوتیپ‌های کنجد را بر اساس طول دوره رشد در شش دسته خیلی زودرس (کمتر از ۸۵ روز)، زودرس (۸۵ تا ۹۴ روز)، میان‌رس (۹۵ تا ۱۰۴ روز)، دیررس (۱۰۵ تا ۱۱۴ روز) و خیلی دیررس (بیشتر از ۱۱۴ روز) طبقه‌بندی کرد. بر این اساس در آزمایش حاضر ژنوتیپ‌های ۶، ۸، ۱۲ و ۱۷ در گروه زودرس، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در گروه میان‌رس، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۵، ۷، ۹، ۱۳ و ۱۵ در گروه دیررس و ژنوتیپ ۲۱ در گروه خیلی دیررس دسته‌بندی می‌شوند. زودرس بودن ژنوتیپ‌های کنجد یک مزیت به شمار می‌آید. زیرا پس از کشت کنجد که در اکثر نقاط کشور کشت دوم است، مزارع به کشت اصلی پاییزه (گندم، جو و کلزا) اختصاص می‌یابد و تاخیر در برداشت کنجد با تأخیر در کاشت گیاه اصلی و متعاقباً افت عملکرد آن همراه است. علاوه بر این زودرسی از جمله صفاتی است که می‌تواند باعث فرار گیاه از خشکی شود (۷). با این حال باید توجه داشت که صرف زودرس بودن یک ژنوتیپ نمی‌تواند تضمین کننده برتری آن باشد چرا که علاوه بر زودرسی، عملکرد دانه و روغن بالا نیز در انتخاب ژنوتیپ کنجد بسیار حائز اهمیت است.

شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ کنجد شد (جدول ۳). کاهش تقسیم سلولی در اثر افزایش

اثر حاشیه، بالغ بر ۲ مترمربع بود. عملکرد دانه بر اساس رطوبت ۱۰ درصدی دانه محاسبه شد. جهت تعیین اجزاء عملکرد از کل بوته‌های برداشت شده از هر کرت، ۴ بوته به صورت تصادفی انتخاب شد و تعداد کپسول در بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در کپسول از هر کرت ۱۵ کپسول به طور تصادفی انتخاب و پس از بوجاری و شمارش تعداد بذور موجود در آنها، متوسط تعداد دانه در کپسول برای هر واحد آزمایشی مشخص شد. برای تعیین وزن هزار دانه نیز دو نمونه ۵۰۰ تایی از بذور هر یک از کرت‌ها شمارش و توزین شد و بر اساس آن وزن هزار دانه محاسبه شد. درصد روغن دانه، پس از خشک کردن دانه‌ها، با استفاده از دستگاه رزونانس مغناطیس هسته (Nuclear Magnetic Resonance, minispec mq 20 NMR Analyzer, Bruker, Rheinstetten, Germany) اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن در واحد سطح نیز از حاصل ضرب درصد روغن دانه در عملکرد دانه در واحد سطح به دست آمد. همچنین پس از برداشت نهایی، کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency; WUE) بر اساس نسبت عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب آبیاری مصرفی (مترمکعب در هکتار) محاسبه شد.

قبل از انجام تجزیه واریانس، مفروضات تجزیه واریانس از جمله نرمال بودن باقی‌مانده داده‌های آزمایشی (مقدار باقی‌مانده هر داده آزمایشی برابر با کسر میانگین تیمار و تکرار از هر داده و جمع آن با میانگین کل است) با استفاده از رویه univariate (آزمون شاپیرو-ویلک) توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ بررسی شد. همچنین از آنجائیکه فرض تجانس واریانس‌ها در هر دو سال و برای صفات مختلف منطبق بر نتایج آزمون بارتلت صادق بود در این آزمایش از تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS استفاده شد. برای مقایسه میانگین اثرات اصلی از آزمون LSD (گزاره means) و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون lsmeans (گزاره‌های slice و pdiff) انجام گرفت. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات روز تا رسیدگی، شاخص سطح برگ و اجزای عملکرد کبجد تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

منابع تغییر	درجه آزادی	روز تا رسیدگی	شاخص سطح برگ	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه
سال	۱	۱۶۵ ^{ns}	۱/۴۹ ^{ns}	۳۵/۸ ^{ns}	۶/۸۱ ^{ns}	۴/۶۷
تکرار (سال)	۴	۱۱۰	۰/۲۴	۵/۲۱	۹/۶۳	۲/۴۳
رژیم آبیاری	۱	۲۳۰۴ ^{**}	۳۵/۵ ^{**}	۷۷۴۲۰ ^{**}	۵۲۵۷۷ ^{**}	۵۳/۶*
سال × رژیم آبیاری	۱	۵/۷۳ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۱۶۳ ^{ns}	۳۷۶ ^{**}	۲/۳۴ ^{**}
تکرار × رژیم آبیاری (سال)	۴	۱۸۶	۰/۰۲	۱۰۳	۷۵/۲	۲/۵۳
ژنوتیپ	۲۰	۴۵۱ ^{**}	۳/۶۵ ^{**}	۳۲۵۷ ^{**}	۱۴۸۰ ^{**}	۱/۰۲ ^{**}
رژیم آبیاری × ژنوتیپ	۲۰	۹/۰۵ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۶۳/۷ ^{ns}	۲۱/۵ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}
سال × ژنوتیپ	۲۰	۶/۲ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۱۹۶ ^{**}	۶۱/۷ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}
سال × رژیم آبیاری × ژنوتیپ	۲۰	۴/۶۲ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۱۰۴ ^{ns}	۲۴/۹ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}
خطای آزمایشی	۱۶۰	۸/۰۹	۰/۱۳	۷۷/۴	۴۶/۷	۰/۰۹
ضرب تغییرات (%)		۲/۵۷	۱۹/۶۳	۱۰/۷۸	۱۳/۱۶	۱۴/۶۲

ns, * و ** به ترتیب بدون اثر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری و ژنوتیپ بر صفات روز تا رسیدگی، شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد و درصد روغن دانه

رژیم آبیاری	روز تا رسیدگی	شاخص سطح برگ	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه (گرم)	محتوی روغن دانه (درصد)
آبیاری کامل	۱۰۴ ^a	۲/۲۶ ^a	۹۹ ^a	۶۶ ^a	۲/۶۱ ^a	۵۱/۱ ^a
تنش خشکی	۹۷ ^b	۱/۵۱ ^b	۶۴ ^b	۳۷ ^b	۱/۶۹ ^b	۴۶/۲ ^b
ژنوتیپ [†]						
۱	۹۵ ^{hi}	۱/۵۹ ^{ij}	۵۵ ^j	۴۲ ^{ef}	۱/۹۷ ^{g-j}	۴۸/۴ ^{c-f}
۲	۹۶ ^{ghi}	۲/۱۴ ^{c-f}	۸۰ ^{efg}	۴۹ ^d	۲/۱۸ ^{d-g}	۴۹/۶ ^{a-d}
۳	۱۰۶ ^{de}	۲/۲۶ ^{b-e}	۹۷ ^b	۶۸ ^a	۲/۰۳ ^{ghi}	۴۷/۵ ^g
۴	۱۰۷ ^{cde}	۲/۳۵ ^{bcd}	۸۴ ^{de}	۶۰ ^c	۲/۴۸ ^b	۴۸/۸ ^{b-f}
۵	۱۰۹ ^{bcd}	۲/۳۸ ^{bc}	۸۹ ^d	۵۸ ^{cb}	۲/۹۷ ^a	۴۹/۶ ^{a-d}
۶	۹۰ ⁱ	۱/۷۳ ^{ghi}	۷۵ ^{gh}	۴۱ ^{fg}	۲/۱۴ ^{fg}	۴۷/۹ ^{d-g}
۷	۱۱۴ ^{ab}	۳/۲۷ ^a	۱۱۲ ^a	۶۷ ^a	۲/۴۱ ^{bcd}	۴۹/۱ ^{a-e}
۸	۹۳ ^{hi}	۲/۰۲ ^{efg}	۹۰ ^{cd}	۵۸ ^c	۲/۲۰ ^{d-g}	۵۰/۱ ^{ab}
۹	۱۰۶ ^{de}	۱/۹۰ ^{fgh}	۸۴ ^{def}	۵۷ ^c	۲/۳۹ ^{b-e}	۵۰/۴ ^a
۱۰	۹۸ ^{fgh}	۱/۴۷ ^{i-l}	۷۷ ^{fgh}	۴۲ ^{ef}	۲/۱۴ ^{fg}	۴۷/۵ ^{efg}
۱۱	۹۵ ^{de}	۲/۲۳ ^{b-e}	۹۸ ^b	۶۱ ^{bc}	۲/۲۱ ^{c-g}	۴۸/۴ ^{c-f}
۱۲	۹۳ ^{hi}	۱/۳۷ ^{jkl}	۶۳ ⁱ	۳۸ ^{fg}	۱/۸۴ ^{hij}	۴۶/۴ ^g
۱۳	۱۱۳ ^{abc}	۲/۴۵ ^b	۹۹ ^b	۷۱ ^a	۲/۰۹ ^{fgh}	۴۹/۷ ^{abc}
۱۴	۱۰۲ ^{efg}	۱/۶۸ ^{hi}	۷۹ ^{efg}	۴۹ ^d	۲/۰۰ ^{ghi}	۴۸/۲ ^{c-f}
۱۵	۱۰۵ ^{de}	۲/۴۸ ^b	۹۷ ^{bc}	۶۶ ^{ab}	۲/۴۶ ^{bc}	۴۹/۷ ^{abc}
۱۶	۱۰۴ ^{def}	۱/۱۸ ^{lm}	۵۴ ^j	۳۶ ^g	۱/۸۶ ^{hij}	۴۷/۴ ^{fg}
۱۷	۹۳ ^{hi}	۱/۳۰ ^{j-m}	۷۶ ^{gh}	۴۷ ^{de}	۱/۷۹ ^{ij}	۴۹/۲ ^{a-d}
۱۸	۱۰۴ ^{def}	۱/۵۲ ^{ijk}	۸۰ ^{efg}	۴۳ ^{ef}	۲/۳۰ ^{b-f}	۴۹/۴ ^{a-d}
۱۹	۹۶ ^{ghi}	۱/۲۵ ^{klm}	۵۳ ^j	۳۸ ^{fg}	۱/۷۹ ^{ij}	۴۸/۹ ^{a-f}
۲۰	۱۰۳ ^{def}	۱/۰۵ ^m	۷۰ ^{hi}	۴۱ ^{fg}	۱/۷۴ ^j	۴۸/۳ ^{c-f}
۲۱	۱۱۸ ^a	۲/۰۸ ^{def}	۱۰۱ ^b	۵۹ ^c	۲/۱۵ ^{efg}	۴۸/۵ ^{b-f}
LSD	۶/۲۰	۰/۳۰	۷/۰۹	۵/۵۱	۰/۲۵۴	۱/۶۵

† برای آگاهی از اسامی ژنوتیپ‌ها به جدول شماره ۱ در بخش مواد و روش‌ها مراجعه کنید. در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی داری در سطح آماری ۵ درصد ندارند.

کاهش فراهمی آب باعث افت معنی‌دار اجزای عملکرد شد (جدول ۳). به‌طور متوسط تیمار تنش خشکی ۳۵، ۴۴ و ۳۵ درصد به‌ترتیب تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه را کاهش داد. کاهش اجزای عملکرد در اثر تنش خشکی را می‌توان به کاهش آهنگ رشد اندام‌های زایشی و کاهش عرضه مواد فتوسنتزی به آنها در شرایط کم آبیاری نسبت داد. سایر مطالعات نیز نشان می‌دهند که با افزایش فواصل آبیاری (اعمال تنش خشکی) تمامی اجزای عملکرد کنگد کاهش می‌یابند (۸ و ۹). با توجه به فصل کشت کنگد در کشور بدیهی است که بروز تنش خشکی در طول فصل رشد اثرات سوء درجه حرارت‌های بالای تابستانه را تشدید می‌کند که در چنین شرایطی تشکیل و رشد کپسول و دانه در بوته به حداقل خود رسیده و این امر موجب کاهش عملکرد دانه خواهد شد. همچنین اعمال تنش خشکی، به‌دلیل کوتاه کردن دوره پر شدن دانه و نیز کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه ناشی از کاهش شاخص سطح برگ و فتوسنتز کمتر برگ، سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود (۲۹).

نتایج همچنین نشان داد که در هر دو سال آزمایش ژنوتیپ شماره ۷ بیشترین تعداد کپسول در بوته را دارا بود (جدول ۳). این ژنوتیپ از نظر تعداد دانه در کپسول نیز از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود (جدول ۳). با این حال وزن هزار دانه این ژنوتیپ در مقایسه با ژنوتیپ شماره ۵ که دارای بیشترین وزن هزار دانه بود، ۱۹ درصد کمتر بود. در کنگد نیز مانند سایر محصولات زراعی با تغییر اجزای عملکرد نمی‌توان میزان محصول را از یک آستانه نهایی بالاتر برد، زیرا تلاش برای افزایش تعداد دانه در کپسول تا اندازه‌ای از طریق کاهش در وزن هزار دانه خنثی می‌شود. به‌طور کلی با افزایش تعداد دانه در کپسول قابلیت دسترسی به مواد فتوسنتزی برای هر دانه کمتر می‌شود و این امر موجب کاهش وزن هزار دانه می‌شود. تقسیم‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر طول دوره رشد و تأثیر آن بر اجزای عملکرد نیز حاکی از آن بود که در صفت تعداد کپسول در بوته برتری از آن ژنوتیپ خیلی دیررس و در دو صفت دیگر (تعداد دانه در بوته و وزن

میزان اسیدآبسیک، تأمین نشدن آسیمیلات مورد نیاز برای رشد برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز از مهم‌ترین علل کاهش شاخص سطح برگ بر اثر تنش خشکی ذکر شده است (۴). در بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ شماره ۷ با شاخص سطح برگ ۳/۲۷ بیشترین و ژنوتیپ شماره ۲۰ با شاخص سطح برگ ۱/۰۰ کمترین این صفت را دارا بودند (جدول ۳). از طرف دیگر، شاخص سطح برگ ژنوتیپ‌های دیررس (با متوسط ۲/۴۴) در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر (ژنوتیپ‌های زودرس ۱/۶۰، میان‌رس ۱/۶۳ و خیلی دیررس ۲/۰۸) بیشتر بود. سطح فتوسنتز کننده گیاه به وسیله شاخص سطح برگ نشان داده می‌شود و در نتیجه ژنوتیپ‌هایی با شاخص سطح برگ بیشتر، از سطح فتوسنتز کننده بیشتری برخوردار هستند. این موضوع باعث افزایش جذب نور توسط پوشش گیاهی شده و در نهایت افزایش بازده فتوسنتزی را در پی خواهد داشت. با این حال باید توجه داشت که علاوه بر شاخص سطح برگ، آرایش و نحوه قرارگیری برگ‌ها در پوشش گیاهی نیز تأثیر مستقیمی بر جذب نور و بازده فتوسنتزی دارد (۱۲). گزارش شده است که ژنوتیپ‌هایی که کمترین کاهش در شاخص سطح برگ را در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهند مقاومت بیشتری در برابر تنش خشکی دارند (۲۳). با این حال این فرضیه نیز مطرح است که شاخص سطح برگ بالا در زمان گلدهی و پر شدن دانه، در شرایطی که گیاه با محدودیت تامین آب مواجه است، سبب تخلیه رطوبت خاک شده و دسترسی گیاه را به رطوبت در مراحل بعدی رشد کاهش می‌دهد که موجب افت عملکرد دانه از طریق کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (۳۰).

اجزای عملکرد (تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که علاوه بر اثر اصلی تیمارهای آزمایشی، برهم‌کنش دو جانبه سال \times ژنوتیپ بر تعداد کپسول در بوته و برهم‌کنش سال \times رژیم آبیاری بر تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه کنگد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکرد ماده خشک، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، محتوی روغن دانه و عملکرد روغن در گیاه کنجد تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد ماده خشک	عملکرد دانه	کارایی مصرف آب	محتوی روغن دانه	عملکرد روغن
سال	۱	۸۵۳۹۸ ^{ns}	۵/۷۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{**}	۸/۷۳ ^{ns}	۴۲/۰ ^{ns}
تکرار (سال)	۴	۲۹۷۲۹۳	۵۸۳۹	۰/۰۰۰۱	۱۵/۰	۱۲۵۵
رژیم آبیاری	۱	۲۲۰۴۳۳۷۴۸ ^{**}	۱۰۴۳۲۶۳۱ ^{**}	۰/۰۰۰۷ [*]	۱۴۹۱ ^{**}	۳۵۱۶۱۶۷ ^{**}
سال × رژیم آبیاری	۱	۱۴۹۳۹۵۴ ^{ns}	۳۵۳۶ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{**}	۶۳/۷ ^{**}	۶۴۵۰ ^{ns}
تکرار × رژیم آبیاری (سال)	۴	۲۱۳۹۳۹	۱۵۲۴۱	۰/۰۰۰۷	۲/۸۵	۳۷۷۵
ژنوتیپ	۲۰	۵۷۴۲۲۸۹ ^{**}	۸۵۵۳۲۶ ^{**}	۰/۰۰۵۷ ^{**}	۱۴/۲ ^{**}	۲۱۳۳۶۰ ^{**}
رژیم آبیاری × ژنوتیپ	۲۰	۱۱۹۲۳۱۹ ^{**}	۱۵۰۳۳ [*]	۰/۰۰۰۵ ^{**}	۳/۰۱ ^{ns}	۵۰۲۴ ^{**}
سال × ژنوتیپ	۲۰	۵۵۴۹۶۰ ^{ns}	۲۵۲۲۳ ^{**}	۰/۰۰۰۰۲ ^{ns}	۲/۷۰ ^{ns}	۵۹۳۳ ^{**}
سال × رژیم آبیاری × ژنوتیپ	۲۰	۶۵۴۱۲۳ ^{ns}	۱۱۳۶۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۸ ^{ns}	۲/۸۲ ^{ns}	۲۴۳۷ ^{ns}
خطای آزمایشی	۱۶۰	۴۲۶۷۴۱	۷۶۰۶	۰/۰۰۰۴	۴/۲۲	۲۱۷۲
ضریب تغییرات (%)		۱۲/۷۳	۱۱/۲۹	۱۱/۶۱	۴/۲۱	۱۲/۱۸

ns، * و ** به ترتیب بدون اثر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

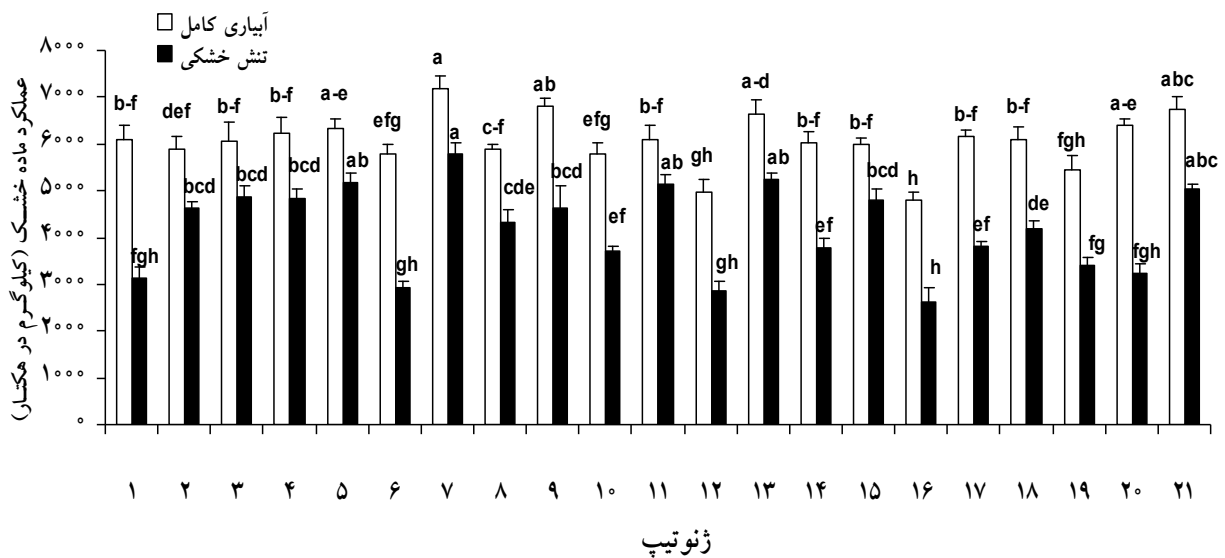
هزار دانه) برتری از آن ژنوتیپ‌های دیررس بود.

عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه

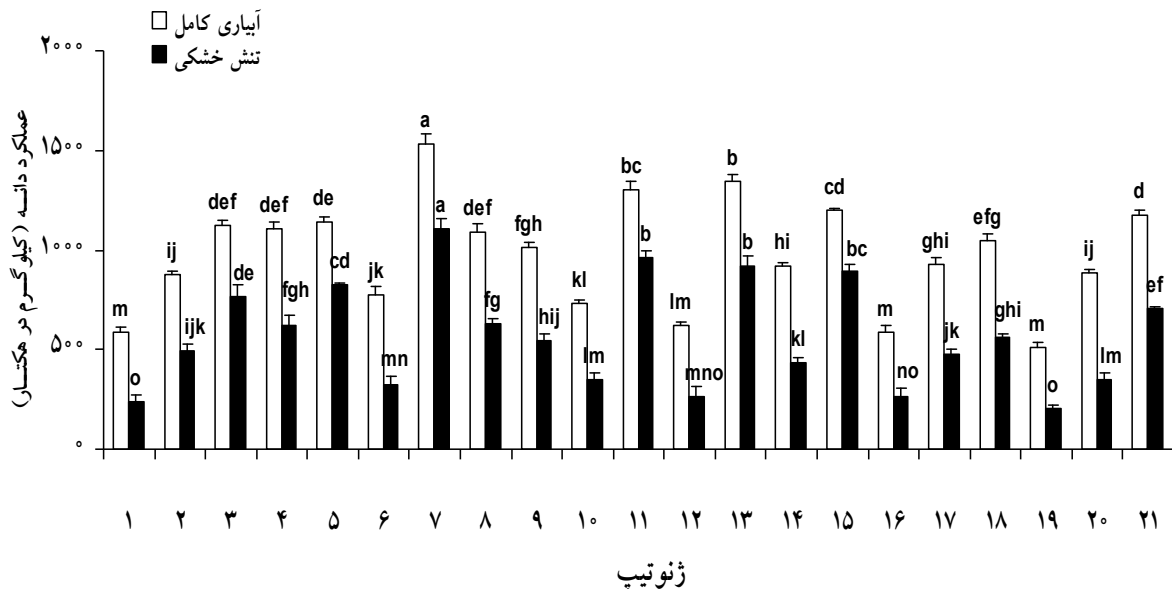
نتایج نشان داد که علاوه بر اثر اصلی تیمارهای آزمایشی بر عملکرد ماده خشک و دانه، اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ نیز بر این دو صفت معنی دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ بر عملکرد ماده خشک نشان می‌دهد که در هر دو تیمار آبیاری، ژنوتیپ شماره ۷ بیشترین مقدار عملکرد ماده خشک را دارا بود (شکل ۱). از طرف دیگر، در تمامی ژنوتیپ‌ها اعمال تنش خشکی باعث افت عملکرد ماده خشک شد. نتایج بیانگر آن است که ژنوتیپ شماره ۶ با ۵۰ درصد کاهش بیشترین و ژنوتیپ شماره ۱۱ با ۱۶ درصد کاهش، کمترین تأثیرپذیری عملکرد ماده خشک را از اعمال تنش نشان دادند. در صفت عملکرد دانه نیز ژنوتیپ شماره ۷ در هر دو تیمار آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار عملکرد دانه را حاصل کرد (شکل ۲). به عبارت دیگر همبستگی قوی و

مثبتی بین ماده خشک تولیدی و عملکرد دانه در شرایط تنش (۰/۶۲) و بدون تنش (۰/۸۱) مشاهده شد. گزارش شده است که با افزایش عملکرد ماده خشک گیاهان زراعی امکان تولید مواد فتوسنتزی از طریق گسترش و تداوم سطح برگ افزایش یافته و در نتیجه آن سهم دانه از کل ماده خشک تولیدی افزایش می‌یابد (۲).

نتایج نشان داد افت عملکرد دانه در ژنوتیپ شماره ۷ در اثر تنش خشکی ۲۸ درصد بود که پس از دو ژنوتیپ شماره ۱۵ با ۲۷ درصد و ژنوتیپ شماره ۱۱ با ۲۶ درصد، کمترین افت عملکرد دانه را در اثر تنش خشکی نشان داد. اگرچه ژنوتیپ شماره ۷ بیشترین عملکرد دانه را در هر دو تیمار آبیاری دارا بود با این حال در زراعت کنجد علاوه بر عملکرد دانه، طول دوره رشد و یا به عبارت بهتر زودرسی گیاه نیز هم از جهت تسریع در آزادسازی زمین برای زراعت بعدی و هم از جهت کاهش مصرف آب حایز اهمیت است. با در نظر گرفتن این موارد به نظر می‌رسد نمی‌توان از ویژگی‌های ژنوتیپ شماره ۱۱



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × ژنوتیپ بر عملکرد ماده خشک کنجد. در هر رژیم آبیاری میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد ندارند. داده‌ها میانگین دو سال آزمایش هستند. برای آگاهی از اسامی ژنوتیپ‌ها به جدول شماره ۱ در بخش مواد و روش‌ها مراجعه کنید. خطوط عمودی (بار) انحراف استاندارد است.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × ژنوتیپ بر عملکرد دانه کنجد. در هر رژیم آبیاری میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد ندارند. داده‌ها میانگین دو سال آزمایش هستند. برای آگاهی از اسامی ژنوتیپ‌ها به جدول شماره ۱ در بخش مواد و روش‌ها مراجعه کنید. خطوط عمودی (بار) انحراف استاندارد است.

در مقایسه با ژنوتیپ شماره ۷ داشت، باین‌حال در زمره ژنوتیپ‌های میان‌رس دسته‌بندی شده بود که به‌طور متوسط تا

به سادگی چشم‌پوشی کرد. این ژنوتیپ اگرچه نزدیک به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه کمتری در شرایط تنش خشکی

مصرف آب را دارا بود (شکل ۴). این ژنوتیپ به ازای مصرف هر یک مترمکعب آب، $0/283$ و $0/370$ گرم دانه به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و تنش خشکی تولید کرد. همچنین ژنوتیپ شماره ۷ در مقایسه با شاهد (ژنوتیپ شماره ۲۱) به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و تنش خشکی ۳۱ و ۵۹ درصد برتری در کارایی مصرف آب داشت. نتایج همچنین نشان داد که در پنج ژنوتیپ برتر آزمایش که بیشترین عملکرد دانه را داشتند (به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۱۳، ۱۱، ۱۵ و ۲۱) اعمال تنش خشکی سبب افزایش کارایی مصرف آب شد (شکل ۴). با این - حال باید توجه داشت که اگرچه در شرایط تنش خشکی کارایی مصرف آب این ژنوتیپ‌ها افزایش یافت، اما این افزایش با افزایش تولید همراه نیست چرا که افزایش کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش تعرق است و از افزایش تولید ناشی نمی‌شود. در مقابل در ژنوتیپ‌هایی که بیشترین افت عملکرد دانه را در اثر تنش خشکی نشان دادند (به‌طور متوسط بیش از ۵۰ درصد کاهش عملکرد دانه و به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۲۰، ۱۹، ۱، ۶، ۱۲، ۱۶ و ۱۰) اعمال تنش خشکی با کاهش کارایی مصرف آب همراه بود (شکل ۴). دلیل اصلی کاهش کارایی مصرف آب در این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی، کاهش شدیدتر عملکرد دانه در مقایسه با آب مصرفی بود. بنابراین در تعدادی از ژنوتیپ‌ها تنش خشکی موجب افزایش کارایی مصرف آب و در تعدادی دیگر باعث کاهش آن شد. در مورد اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب نتایج متناقضی گزارش شده است. تعدادی از پژوهشگران اظهار داشتند تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب می‌شود (۲۴). در مقابل، سایرین عکس آن را گزارش کردند (۵). این نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های ژنوتیپ و شدت و زمان اعمال تنش خشکی در نوع پاسخ کارایی مصرف آب تأثیرگذار است.

محتوی روغن دانه و عملکرد روغن

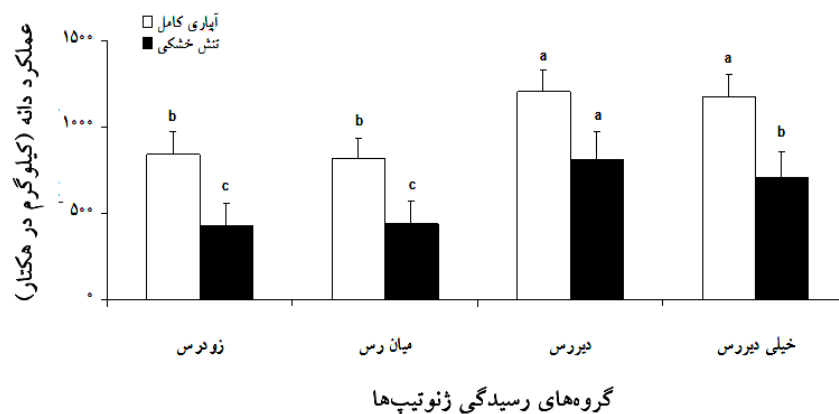
نتایج نشان داد درصد روغن دانه در شرایط تنش خشکی به‌طور

۱۰ روز در مقایسه با ژنوتیپ شماره ۷ زودرس‌تر بود. از طرف دیگر همانطور که اشاره شد افت عملکرد این ژنوتیپ در اثر تنش خشکی ۲۶ درصد بود که از این حیث رتبه اول کمترین کاهش عملکرد دانه را در اثر تنش خشکی به خود اختصاص داد. علاوه بر این ژنوتیپ شماره ۱۱ در شرایط آبیاری کامل با ۱۳۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه قابل قبولی داشت. همچنین شاخص برداشت این ژنوتیپ نیز در گروه آماری برتر قرار داشته (داده‌ها ارایه نشده است) و اختلاف معنی‌داری با بیشترین شاخص برداشت محاسبه شده ($20/3$ درصد متعلق به ژنوتیپ شماره ۷) نداشت. بنابراین به دلایل ذکر شده ژنوتیپ شماره ۱۱ در زمره ژنوتیپ‌های برتر و حایز اهمیت طبقه‌بندی می‌شود.

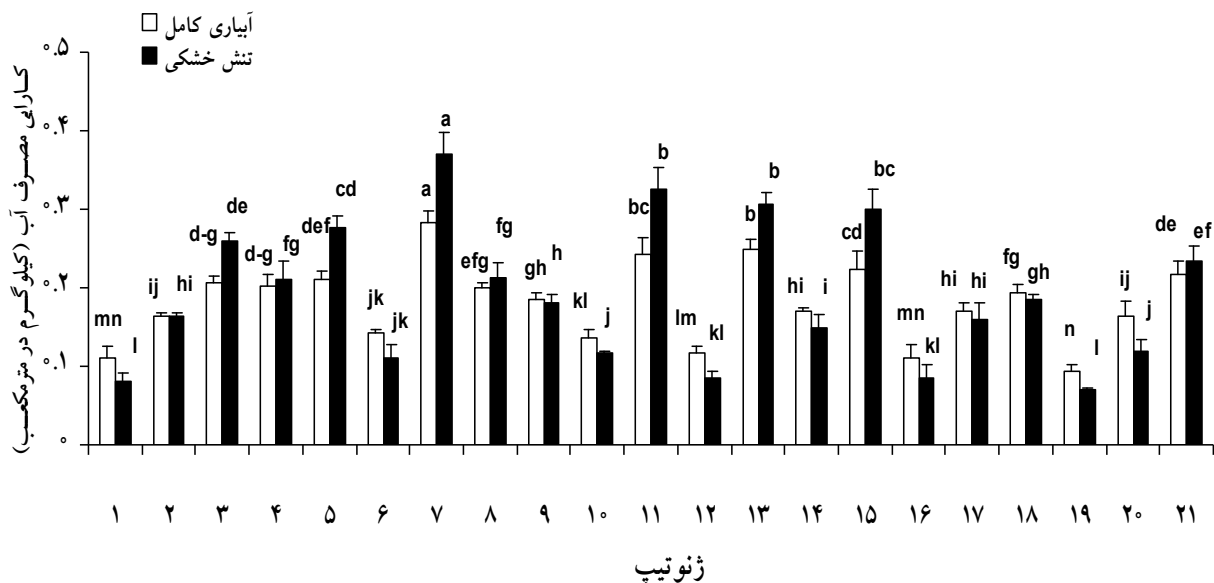
دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر طول دوره رشد و مقایسه عملکرد دانه آنها نیز حاکی از آن است که در هر دو تیمار آبیاری متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ‌های دیررس در مقایسه با سایر گروه‌های رسیدگی (زودرس، میان رس و خیلی دیررس) بیشتر است (شکل ۳). از طرف دیگر ژنوتیپ‌های دیررس حداقل افت عملکرد دانه (۳۳ درصد) را در اثر تنش خشکی نشان دادند. این در حالی بود که در ژنوتیپ‌های زودرس تا ۵۰ درصد از عملکرد دانه آنها در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. هرچند انتظار می‌رفت ژنوتیپ‌های زودرس و حتی میان‌رس به دلیل ویژگی‌های اجتناب از خشکی حداقل افت عملکرد دانه را در اثر تنش خشکی نشان دهند، به نظر می‌رسد خصوصیت رشد نامحدود ژنوتیپ‌های کنجد در حصول نتایج دخیل باشد. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های دیررس چون طول دوره گلدهی طولانی‌تر (۲۷) و سیستم ریشه‌ای کارآمدتری (۱۶) دارند، تحمل به خشکی بیشتری داشته و افت عملکرد دانه آنها ناشی از تنش خشکی در مقایسه با سایر گروه‌های رسیدگی کمتر است.

کارایی مصرف آب

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ حاکی از آن است که در هر دو تیمار آبیاری، ژنوتیپ شماره ۷ بیشترین کارایی



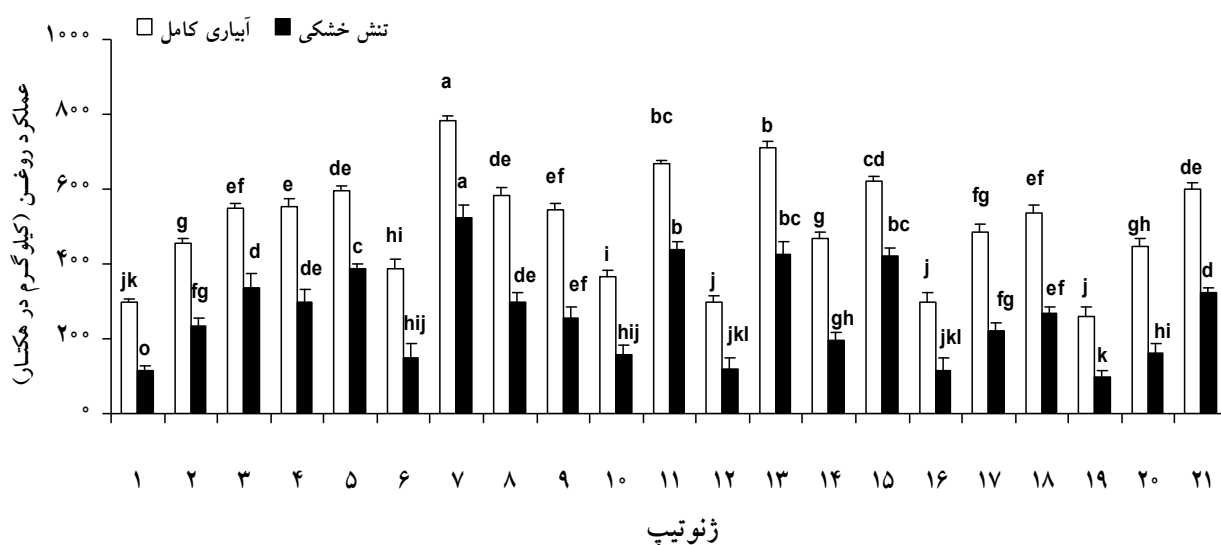
شکل ۳. مقایسه عملکرد دانه کنگد در گروه‌های رسیدگی ژنوتیپ‌ها. در هر رژیم آبیاری میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد ندارند. داده‌ها میانگین دو سال آزمایش هستند. خطوط عمودی (بار) انحراف استاندارد است.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری × ژنوتیپ بر کارایی مصرف آب ژنوتیپ‌های کنگد. در هر رژیم آبیاری میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد ندارند. داده‌ها میانگین دو سال آزمایش هستند. برای آگاهی از اسامی ژنوتیپ‌ها به جدول شماره ۱ در بخش مواد و روش‌ها مراجعه کنید. خطوط عمودی (بار) انحراف استاندارد است.

سنتز اسیدهای چرب (ناشی از کاهش توان فتوسنتزی گیاه) کاهش می‌یابد (۱۱). همچنین تنش خشکی طول دوره پر شدن دانه را کاهش می‌دهد (۶) که یکی از اثرات آن افت محتوی روغن دانه است. سایر محققین نیز کاهش محتوی روغن دانه گیاهان روغنی از جمله کلزا (۱۱)، کنگد (۱۷) و سویا (۲۱) را در اثر تنش خشکی گزارش کرده‌اند.

معنی‌داری کاهش یافت و تیمار تنش در مقایسه با آبیاری کامل باعث افت ۱۰ درصدی روغن دانه کنگد شد (جدول ۳). اگرچه تعدادی از پژوهشگران عقیده دارند که درصد روغن دانه گیاهان زراعی در درجه اول تحت کنترل عوامل ژنتیکی است (۳۵) اما گزارش شده است که مقدار روغن دانه گیاهان در معرض تنش‌های شدید محیطی به دلیل کاهش توانایی گیاه برای



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری \times ژنوتیپ بر عملکرد روغن کنگد. در هر رژیم آبیاری میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد ندارند. داده‌ها میانگین دو سال آزمایش هستند. برای آگاهی از اسامی ژنوتیپ‌ها به جدول شماره ۲ در بخش مواد و روش‌ها مراجعه کنید. خطوط عمودی (بار) انحراف استاندارد است.

درصد روغن دانه کنگد همراه نیست.

مشابه با عملکرد دانه، ژنوتیپ شماره ۷ در هر دو تیمار آبیاری بیشترین عملکرد روغن را حاصل کرد (شکل ۵). این ژنوتیپ در مقایسه با ژنوتیپ شاهد (ژنوتیپ شماره ۲۱) ۳۰ و ۶۲ درصد عملکرد روغن بیشتری به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و تنش خشکی داشت. همچنین ژنوتیپ شماره ۱۱ که در بخش عملکرد دانه و با توجه به ویژگی‌های مطلوب آن (عملکرد دانه بالا در هر دو تیمار آبیاری و میان‌رس بودن آن) مورد توجه قرار گرفت، در هر دو تیمار آبیاری عملکرد روغن بیشتری از ژنوتیپ شاهد داشت (شکل ۵). ژنوتیپ شماره ۱۱ اگرچه از نظر درصد روغن در بین ۲۱ ژنوتیپ مورد بررسی در جایگاه چهاردهم قرار داشت، اما از نظر عملکرد دانه و روغن در جایگاه سوم قرار گرفت. به عبارت دیگر عملکرد دانه بالای این ژنوتیپ درصد روغن پایین آن را جبران کرده و باعث قرارگیری این ژنوتیپ در بین سه ژنوتیپ برتر از لحاظ عملکرد روغن شد. همبستگی بسیار معنی‌دار و مستقیم عملکرد دانه با عملکرد روغن (۰/۹۹) در مقایسه با همبستگی ضعیف‌تر

همانطور که اشاره شد بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر درصد روغن دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد که در یافته‌های سایر پژوهشگران (۳۱) نیز منعکس شده است. با این حال دامنه تغییرات درصد روغن دانه در مقایسه با سایر صفات اندازه‌گیری شده از جمله عملکرد دانه بسیار محدودتر بود. نتایج بیانگر آن است که بین ژنوتیپ شماره ۱۲ با کمترین درصد روغن دانه (۴/۴۶ درصد) و ژنوتیپ شماره ۹ که دارای چرب‌ترین دانه (۴/۵۰ درصد) بود تفاوت نه درصدی مشاهده شد. این درحالی بود که تفاوت عملکرد دانه کم محصول‌ترین ژنوتیپ (ژنوتیپ شماره ۱۹ با عملکرد ۳۵۸ کیلوگرم در هکتار) با پرمحصول‌ترین آن (ژنوتیپ شماره ۷ با عملکرد ۱۳۱۸ کیلوگرم در هکتار) ۷۳ درصد بود. به عبارت دیگر تنوع بین ژنوتیپ‌ها در صفتی مانند درصد روغن دانه در مقایسه با سایر صفات کمتر بود. همچنین نتایج نشان داد که درصد روغن دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه (۰/۴۷) داشت که در توافق با یافته‌های بعضی از پژوهشگران (۳۲) بود. به عبارت دیگر انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا لزوماً با کاهش

تمامی صفات در هر دو تیمار آبیاری تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد که نشان‌دهنده تنوع مناسب مواد ژنتیکی مورد بررسی از نظر اهداف اصلاحی است. نتایج حاکی از آن بود که اگرچه به دلیل عملکرد دانه برتر هم در تیمار آبیاری کامل و هم در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ شماره ۷ (رقم Margo از کشور آمریکا) برترین ژنوتیپ از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود با این حال ویژگی‌های ژنوتیپ شماره ۱۱ (لاین اصلاحی Songhak از کشور کره جنوبی) از جمله طول دوره رشد کوتاه‌تر آن و افت کمتر عملکرد دانه آن در شرایط تنش خشکی موجب می‌شود این ژنوتیپ نیز به‌عنوان ژنوتیپ برتر در نظر گرفته شود. این امید است بتوان از این دو ژنوتیپ در برنامه‌های آبی اصلاحی کنجد به‌ویژه برای تحمل به خشکی استفاده کرد.

عملکرد روغن با درصد روغن (۰/۴۱) نیز گواه این مطلب است که عملکرد روغن به‌عنوان یک صفت تعیین کننده در گیاهان دانه روغنی بیشتر وابسته به عملکرد دانه است تا درصد روغن دانه. داده‌های حاصل از ژنوتیپ شماره ۹ نیز گواهی دیگر بر این مطلب است به طوری که درصد روغن دانه این ژنوتیپ از تمامی ژنوتیپ‌ها بالاتر بود اما عملکرد دانه و متعاقباً عملکرد روغن آن جایگاه یازدهم را در بین ژنوتیپ‌ها داشت. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که ژنوتیپی با عملکرد دانه بالا و درصد روغن پایین می‌تواند عملکرد روغن بالایی داشته باشد اما عکس این مطلب صادق نیست.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد بین ژنوتیپ‌های ارزیابی شده از نظر

منابع مورد استفاده

- Aien, A. 2013. Effect of eliminating of irrigation at different growth stages on seed yield and some agronomic traits of two sesame genotypes. *Seed and Plant Production Journal* 29: 67-79. (In Farsi).
- Arnell, N. W. 2008. Climate change and drought. In: First International Conference: Drought Management: Scientific and Technological Innovations. Zaragoza, Spain. pp. 13-19.
- Attibayeba, A., N. M. Elie, N. J. Serina, J. G. C. Dianga and M. Y. Francois. 2010. Description of different growth stages of *Sesamum indicum* L. using the extended BBCH scale. *Pakistan Journal of Nutrition* 9: 235-239.
- Brevedan, R. E. and D. B. Egli. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence and yield of soybean. *Crop Science* 43: 2083-2088.
- Cavagnaro, J. B. and S. K. Jain. 1985. Effect of water stress in four *Amaranthus* species. *Amaranth News Letter* 3: 1-2.
- Champolivier, L. and A. Merrien. 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. *European Journal of Agronomy* 5: 153-160.
- Cooper, M., F. Eeuwijk, S. C. Chapman, D. W. Podlich and C. Loeffler. 2006. Genotype-by-environment interactions under waterlimited conditions. pp. 51-69, In: J. M. Ribaut (ed.), Drought Adaptation in Cereals. Food Products Press, New York.
- Dilip, K., M. Ajumer and S. Roy. 1991. Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation, row spacing and plant population. *Indian Journal of Agronomy* 37: 758-762.
- Dutta, P., K. Jana, P. Bandyopadhyay and D. Maity. 2000. Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation. *Indian Journal of Agronomy* 54: 613-616.
- Ebrahimian, E., S. M. Seyyedi, A. Bybordi and C. A. Damalas. 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management* 218: 149-157.
- Elferjani, R. and R. Soolanayakanahally. 2018. Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. *Frontiers in Plant Science* 9: 1224-1235.
- Falster, D. S. and M. Westoby. 2003. Leaf size and angle vary widely across species: what consequences for light interception? *New Phytologist* 158: 509-525.
- Food and Agriculture Organization. (2020). FAO Statistics. Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed 23 February 2020.
- Farshadfar, E., R. Mohammadi, M. Farshadfar and S. Dabiri. 2013. Relationships and repeatability of drought tolerance indices in wheat rye disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science* 7: 130-198.

15. Fazeli, F., M. Ghorbanli and V. Niknam. 2006. Effect of drought on water relations, growth and solute accumulation in two sesame cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 9: 1829-1835.
16. Ghasemi Hamedani, N., M. Gholamhoseini, F. Bazrafshan, B. Amiri and F. Habibzadeh. 2020. Variability of root traits in sesame genotypes under different irrigation regimes. *Rhizosphere* 13: 100190.
17. Gholamhoseini, M. 2020. Evaluation of sesame genotypes for agronomic traits and stress indices grown under different irrigation treatments. *Agronomy Journal* 112: 1794-1804.
18. Ghosori, S. and M. Ghasemi Ghonche Nazi. 2020. Estimation of the consumption of basic goods in the country 2011-2021. Available online at: <https://www.amar.org.ir/news>. Accessed 24 August 2022. (In Farsi).
19. Helali, A. 2020. Investigating the share of oilseeds produced domestically and imported in the supply of household oil consumption. Available online at: <https://www.agri-peri.ac.ir/page-Main/Fa/0/dorsa-search>. Accessed 24 August 2022. (In Farsi).
20. Hussein, Y., G. Amin, A. Azab and H. Gahin. 2015. Induction of drought stress resistance in sesame (*Sesamum indicum* L.) plant by salicylic acid and kinetin. *Journal of Plant Sciences* 10: 128-141.
21. Iyer, V. V., G. Sriram, D. B. Fulton, R. Zhou, M. E. Westgate and J. Shanks. 2008. Metabolic flux maps comparing the effect of temperature on protein and oil biosynthesis in developing soybean cotyledons. *Plant, Cell & Environment* 31: 506-517.
22. Jain, S., R., Yue-Lioang, L. E. Mei-wang, Y. Ting-Xian, Y. Xiao-Wen and Z. Hong- Ving. 2010. Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crops Sciences* 4: 42-48.
23. Jacquemoud, S. and S. Ustin. 2019. Leaf Optical Properties. Cambridge University Press, Cambridge.
24. Johnson, B. L. and T. L. Henderson. 2002. Water use patterns of grain amaranth in the northern Great Plains. *Agronomy Journal* 94: 1437-1443.
25. Khalili, M., A. Pour-Aboughadareh, M. R. Naghavi and E. Mohammad-Amini. 2014. Evaluation of drought tolerance in safflower genotypes based on drought tolerance indices. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 42: 214-218.
26. Khalili, M., A. Pour-Aboughadareh and M. R. Naghavi. 2016. Assessment of drought tolerance in barley: Integrated selection criterion and drought tolerance indices. *Environmental and Experimental Biology* 14: 33-41.
27. Langham, D. R. 2015. Non-dehiscent sesame IND variety Sesaco 39. Available online at: <https://patents.google.com/patent/US9125372B1/en>. Accessed 24 August 2022.
28. Masoudi, B. and M. Ahmadi. 2019. Evaluation of genetic diversity of agronomic and morphological traits of sesame genotypes. *Journal of Crop Breeding* 11: 78-91. (In Farsi).
29. Nasir, M. W. and Z. Toth. 2020. Response of different potato genotypes to drought stress. *Agriculture* 11: 763-776.
30. Parker, G. G. 2020. Tamm review: Leaf Area Index (LAI) is both a determinant and a consequence of important processes in vegetation canopies. *Forest Ecology and Management* 477: 118496.
31. Sabannavar, S. J. and H. C. Lakshman. 2008. Interactions between *Azotobacter*, *Pseudomonas* and arbuscular mycorrhizal fungi on two varieties of (*Sesamum indicum* L.). *Journal Agronomy and Crop Science* 194: 470-478.
32. Thiyagu, K., G. Kandasamy, N. Manivannan and D. Uma. 2007. Correlation and path analysis for oil yield and its components in cultivated sesame (*Sesamum indicum* L.). *Agricultural Science Digest* 27: 1-12.
33. Ucana, K. and F. Killi. 2010. Effects of different irrigation programs on flower and capsule numbers and shedding percentage of sesame. *Agricultural Water Management* 98: 227-233.
34. Wang, W., B. Vinocur and A. Altman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218: 1-14.
35. Yol, E., R. Toker, M. Golukcu and B. Uzun. 2015. Oil content and fatty acid characteristics in Mediterranean sesame core collection. *Crop Science* 55: 2177-2185.

Evaluation of Grain Yield and Agronomic Traits of Foreign Sesame (*Sesamum Indicum*. L) Genotypes under Drought Stress Conditions

M. Gholamhoseini^{1*}, S. Mansouri¹, B. Masoudi¹ and F. Shariati¹

(Received: October 09-2021; Accepted: January 04-2022)

Abstract

Despite the high potential of sesame production in the country, its yield and water use efficiency is low. Therefore, identifying genotypes with high grain yield, especially under drought stress conditions, is essential for developing this crop. For this purpose, field experiments were conducted to investigate the qualitative and quantitative response of 21 sesame genotypes to drought stress conditions at Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, located in the semi-arid region of Iran, during the 2017 and 2018 growing seasons. The experiment was a split-plot based on a randomized complete block design with three replications. The irrigation treatments consisting of normal irrigation and drought stress were assigned to the main plots and the sesame genotypes (20 imported genotypes with one Iranian cultivar as a control) were allocated to the sub-plots. Dongeuy, Local 123, Hail 2 and Anthalya 1 genotypes were found as early maturing, Gynum 11, Kubarez 55, Uusu 1, Songhak, Hoechon 2, Dunae, Pachequero, Haibuk and Sunhua 1 genotypes as the medium maturing, Lao hong zhi ma, Bian gan, Bukbak, Margo, Amaliada, Jungkyung and Black chil sung genotypes as the late maturing and Oltan genotype as the very late maturing group. The Margo genotype showed the highest LAI (3.2), and Sunhua 1 genotype showed the lowest value (1.0). The results also revealed that drought stress decreased the number of capsules per plant, the number of seeds per capsule and 1000-seed weight by 35, 44 and 35%, respectively. On the other hand, drought stress caused a reduction in grain and dry matter yield in all genotypes. The Dongeuy genotype with 50% reduction and Songhak genotype with 26% reduction in grain yield showed the highest and lowest sufferings from drought stress, respectively. The Margo genotype produced the highest grain yield in both irrigation treatments (1531 and 1107 kg ha⁻¹ under normal irrigation and drought stress treatments, respectively). In conclusion, the Songhak genotype was considered as one of the superior genotypes due to its shorter growing period, less grain yield loss under drought stress, and high oil yield.

Keywords: Day to maturity, Irrigation treatments, Oil yield, Water use efficiency, Yield components

1. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj. Iran

*: Corresponding Author, Email: m.gholamhoseini@areeo.ac.ir