تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹
۱۱۰۴-۱۰۹۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3193.1815

مقاله پژوهشی

تأثیر تنش خشکی آخر فصل بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ارقام ایرانی گلرنگ در منطقه کرج

یوسف جوشن[۱]، بهزاد ثانی[۲]، حمید جبّاری[۳*]، حمید مظفری[۲]، پیام معاونی[۲]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس، تهران، ایران
۲. استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس، تهران، ایران
۳. استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش خشکی آخر فصل بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ارقام ایرانی گلرنگ، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد. این تحقیق به صورت آزمایش کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طول فصل زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. فاکتور اصلی این آزمایش شامل دو سطح رطوبتی بدون تنش خشکی و تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه (فاکتور اصلی) بود و پنج رقم ایرانی گلرنگ شامل صفه، گلدشت، گل مهر، پدیده و پرنیان سطوح فاکتور فرعی آزمایش را تشکیل دادند. نتایج حاصل نشان داد تنش خشکی آخر فصل تاثیر معنی‌داری بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام گلرنگ داشت و سبب کاهش ارتفاع گیاه، تعداد طبق، قطر طبق، تعداد دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در ارقام گلرنگ شد. از سوی دیگر تنش خشکی موجب کاهش محتوی نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ و افزایش دمای کانوپی در ارقام گلرنگ گردید. تنش خشکی عملکرد دانه و محتوی روغن دانه گلرنگ را به ترتیب و بطور میانگین ۱۴/۹ و ۲/۷ درصد در مقایسه با شرایط بدون خشکی کاهش داد. واکنش ارقام مختلف گلرنگ نیز از نظر صفات اکوفیزیولوژیک به تنش خشکی متفاوت بود. به‌طوری‌که رقم پرنیان به سبب تعداد طبق و وزن هزار دانه بیشتر، بیشترین عملکرد دانه را در هر دو سطح آبیاری بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب با میانگین ۲۱۵۰ و ۱۷۷۳ کیلوگرم بر هکتار داشت. بیشترین کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی نیز در رقم صفه و به میزان ۲۴/۸ درصد مشاهده شد. در بین ارقام مورد بررسی رقم پرنیان دارای بالاترین محتوی نسبی آب برگ و شاخص سطح برگ و کمترین دمای کانوپی در شرایط تنش خشکی بود که با عملکرد بهتر این رقم در ارتباط بود. با توجه به نتایج بدست آمده رقم پرنیان یک رقم متحمل به تنش خشکی بود.

واژه‌های کلیدی: **اجزا عملکرد، ارقام پاییزه گلرنگ، دمای کانوپی، شاخص سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ**

مقدمه

با توجه به مسئله گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی اخیر، در آینده شاهد بروز گرما و خشکسالی در کشور خواهیم بود (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2006). از آن‌جایی‌که بخش اعظم اراضی ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد و با محدودیت منابع آب مواجه می‌باشد، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و مطالعه تحمل نسبی به تنش کمبود آب در گیاهان زراعی ضروری به‌نظر می‌رسد (Pascual-Villalobos and Alburquerque, 1996). به همین جهت نیاز به کاشت گیاهان روغنی مقاوم به خشکی مثل گلرنگ در تأمین نیاز روغن کشور در سال‌های آتی، بیش از پیش احساس می‌شود. خشکی، در میان مهمترین عوامل محدود کنندهٔ رشد گیاه و تولیدات کشاورزی

* نگارنده پاسخگو: حمید جباری. پست الکترونیک: h.jabbari@areeo.ac.ir

در سراسر دنیا، بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (Sun et al., 2013; Bhatnagar- Mathur et al., 2009; Akhzari and Pessarakli, 2015) و از آنجاییکه تقریباً ۹۰ درصد مناطق ایران به عنوان اقلیم خشک و نیمه خشک در نظر گرفته می‌شوند (Bannayan et al., 2010)، انتظار می رود که تغییر اقلیم تاثیر عمیقی بر روی تولید پایدار محصول در محیط‌های خشک و نیمه خشکی مانند ایران داشته باشد (Bannayan and Eyshi Rezaei, 2012).

گلرنگ یکی از قدیمی ترین گیاهان زراعی دنیا است که در مقیاس‌های کوچک کشت می‌شود (Hussain et al., 2016). این گیاه به جهت استفاده از گلچه‌ها برای رنگرزی، رنگ و طعم دهندگی به غذا، دارو و تغذیه دام و پرندگان کشت و کار می‌شود (Hussain et al., 2016). توجه به زراعت گیاه گلرنگ محدود بوده اما با توجه به افزایش تقاضا برای تولید روغن و همچنین توانایی بالای رشد این گیاه در مناطق خشک، توسعه کشت این گیاه اخیراً مورد توجه قرار گرفته است (Hussain et al., 2016)؛ بنابراین این گیاه با سازگاری به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک و هوایی خشک در طول دوره گل‌دهی، پر شدن و رسیدن دانه از یک سو و با داشتن ریشه‌های طویل و با توان جذب آب بالا از بخش های عمیق تر خاک از سوی دیگر، به عنوان یک دانه روغنی متحمل به کمبود آب به حساب می‌آید (Yao, 2006). گلرنگ در جریان کمبود آب اواخر فصل، بخشی از عملکرد دانه (۶۵ تا ۹۵ درصد) را به وسیله انتقال مجدد ذخایر کربوهیدراتی قبل از گرده‌افشانی به دانه، تأمین می‌کند (Koutroubas et al., 2004).

قاش و همکاران (Ghosh et al., 2013) در آزمایشی برخی از پارامترهای رشد برای گزینش کارآمد در مراحل اولیه رشد محصول گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که سطح برگ در تجمع ماده خشک در اولین مرحله از رشد محصول نقش مؤثری دارد.

در آزمایشی تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی چهار رقم گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج، مشخص کرد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر (۸۳/۸ درصد)، ۱۴۰ میلی‌متر (۸۲/۶ درصد) و ۲۱۰ میلی‌متر (۸۳/۲ درصد) مربوط به رقم گلدشت در مقایسه با ارقام اصفهان ۱۴، محلی اصفهان و سینا بود (Merajipour et al., 2013).

در بررسی تاثیر تنش خشکی آخر فصل (از اواخر گلدهی تا رسیدگی دانه) بر عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های پائیزه گلرنگ (پدیده، زرقان ۲۷۹، ورامین ۲۹۵ و دورگ‌های بین ارقام داخلی و خارجی کادبلیو ۵ و کادبلیو ۸) برای کشت در اراضی کم بازده و مواجه با کمبود آب حاشیه دریاچه ارومیه نتیجه گرفته شد که کمبود آب باعث کاهش معنی دار محتوای نسبی آب، قطر طبق، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و روغن و افزایش معنی‌دار دمای برگ گردید (Pasebaneslam, 2011). در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، کادبلیو ۸ به ترتیب با کسب ۳۱۸۹ و ۹۱۳ کیلوگرم عملکرد دانه و روغن بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد و کادبلیو ۵ و پدیده به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (Pasebaneslam, 2011). در بررسی پاسخ فیزیولوژیک شش لاین گلرنگ به تنش خشکی گزارش شد که آبیاری براساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک سبب واکنش‌های متفاوت لاین‌های مورد بررسی، از نظر صفات رنگدانه‌های فتوسنتزی، نشت الکترولیت‌ها از غشای سلول، محتوی نسبی آب برگ، عملکرد دانه، درصد روغن دانه و کارایی مصرف آب می‌شود (Bortolheiro and Silva, 2017). در غربالگری ۴۰ ژنوتیپ گلرنگ از نظر تحمل به خشکی براساس صفات مورفوفیزیولوژیکی مشخص شد که محتوی نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به طور معنی‌داری بالاتر بود که به کنترل میزان تعرق و جذب بیشتر آب از ریشه ها به واسطه تنظیم اسمزی مناسب مرتبط است (Achhale, 2016).

یکی از مکانیسم‌های اصلی مقاومت به خشکی در گیاهان کاهش میزان تعرق از طریق بستن روزنه‌ها می‌باشد که نتیجه این امر افزایش دمای پوشش گیاهی و میزان آب حفظ شده برگ می‌باشد (Karimizadeh and Mohammadi, 2011). استفاده از دمای پوشش‌گیاهی برای شناخت وضعیت آبی محصول و کنترل نیاز آبی آن بر این فرض استوار است که تعرق باعث خنک شدن برگ‌ها می‌شود. با محدودیت دسترسی به آب، تعرق کاهش یافته و متعاقب آن دمای برگ-ها به خاطر تداوم جذب تشعشع افزایش می‌یابد (Karimizadeh and Mohammadi, 2011). بالا بودن دمای پوشش گیاهی به دلیل بسته بودن روزنه‌ها، به علت حساسیت آن‌ها به کمبود آب است که در نتیجه تعرق صورت نگرفته و دمای برگ افزایش می‌یابد (Bagheri et al., 2013). در گیاه گلرنگ، محدوده درجه حرارت برگ در مرحله

قبل از گل‌دهی گلرنگ در شرایط مختلف رطوبتی خاک می‌تواند از ۲۹ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد متغییر باشد (Achhale, 2016).

تفاوت قابل ملاحظه‌ای از لحاظ طول دوره رشد، ارتفاع بوته، تعداد غوزه، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن در بین ژنوتیپ‌های گلرنگ در تیمارهای مختلف آبیاری تایید شده است (Achhale, 2016).

اگرچه اثرات فیزیولوژیک القاء شده بوسیلهٔ تنش خشکی در گیاهان به خوبی مطالعه شده، اما خشکی هنوز یک موضوع تحقیقاتی با اولویت بالا به شمار می‌آید (Medici et al., 2014) و به نظر می‌رسد افزایش دانش ما از تحمل به تنش خشکی اهمیت زیادی در کشت گیاهان و پیدا کردن روش‌های موثر برای کاهش اثرات مضر خشکی بر روی گیاهان داشته باشد (Fleta-Soriano and Munné-Bosch, 2016) بنابراین درک سازوکارهای تحمل گیاه تحت تنش آب، یک موضوع تحقیقاتی مهمی است. از این رو هدف از این مطالعه مقایسه ارقام ایرانی گلرنگ از نظر تحمل به تنش خشکی و شناسایی شاخص‌های فیزیولوژیک و زراعی مهم به منظور گزینش ارقام متحمل به خشکی بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با موقعیت طول جغرافیایی ´۷۵ و °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۵۹ و °۳۵ شمالی و ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن، منطقه کرج دارای اقلیم سرد نیمه خشک[1] با متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی رسی بود و مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

این مطالعه به صورت آزمایش کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش شامل فاکتور آبیاری در دو سطح آبیاری کامل (بدون تنش خشکی) و تنش خشکی آخر فصل (به صورت قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به بعد) و فاکتور ژنوتیپ در ۵ سطح شامل ارقام ایرانی گلرنگ (صفه، گلدشت، گل مهر، پدیده و پرنیان) بودند. در این آزمایش سطوح آبیاری فاکتور اصلی و ارقام گلرنگ فاکتور فرعی بودند. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول چهار متر بود و فاصله خطوط کشت ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت پنج سانتی‌متر و تراکم ۶۷ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های فرعی ۱ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۴ متر در نظر گرفته شد.

آبیاری براساس ۸۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری ۸۰ درصد آب تبخیر شده بود. ظرفیت زراعی[2] خاک ۲۵ درصد بود. میزان آب ورودی به مزرعه با کنتور اندازه گیری شد. تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل به ترتیب ۵ و ۴ مرتبه و همچنین میزان آب مصرفی در تیمارهای مذکور به‌ترتیب ۳۲۰۰ و ۲۵۶۰ مترمکعب در هکتار بود. بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری انجام شد. براساس نتایج تجزیه خاک مزرعه (جدول ۱) و توصیه کودی، اقدام به کود پاشی (کود اوره ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت ۶۰ کیلوگرم به صورت پایه، ۱۲۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۷۰ کیلوگرم در مرحله شروع گل‌دهی، کود فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به ترتیب ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه) شد. کاشت در تاریخ ۱۵ مهرماه انجام شد. در طول دوره رشد برای مبارزه با علف‌های هرز نازک برگ از علفکش گالانت به نسبت یک در هزار استفاده شد و جهت کنترل آفت مگس گلرنگ با استفاده از سم دیازینون مبارزه شیمیایی به عمل آمد.

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با دستگاه سان اسکن[3] مدل دلتا-تی در مرحله اواخر پر شدن دانه (۲۵۲ روز پس از کاشت) از ساعت ۱۲ تا ۱۴ و در سه جهت در زیر سایه‌انداز و همچنین بالای سایه انداز (با آسمان بدون ابر) انجام شد. محتوای نسبی آب برگ[4] در هر تکرار و هر سطح تیماری اندازه گیری شد. برای این منظور در ساعت هفت صبح سه برگ جوان و توسعه یافته از بالای پوشش گیاهی از دو ردیف میانی هر کرت برداشت و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی و در ظرف محتوی یخ قرار داده شدند. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند و وزن تر برگ اندازه گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن تورژسانس، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در درون

[1] Cold semi-arid climates (BSK)
[2] Field Capacity (FC)
[3] Sun Scan (type ss1 DELTA-T DEVICES Cambridge-England)
[4] Relative Water Content (RWC)

ظروف شیشه‌ای درب‌دار حاوی آب مقطر در دمای محیط قرار داده شد و سپس با گرفتن آب روی برگ‌ها با کاغذ خشک کن، وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌های وزن شده به مدت ۴۸ ساعت درون پاکت‌های کاغذی در آون (۷۰ درجه سانتی گراد) قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند و در نهایت وزن نمونه‌های خشک یادداشت گردید و درصد محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید (Jabbari, 2014).

$$RWC\ (\%) = (FW-DW)/(TW-DW)\times 100 \qquad [۱]$$

که در آن RWC: محتوای نسبی آب برگ، FW: وزن تر برگ، TW: وزن آماس برگ و DW: وزن خشک برگ است (Jabbari, 2014).

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل انجام آزمایش (صفر تا ۳۰ سانتیمتر)

Table 1. Soil analysis of experiment location (0-30 cm)

عمق نمونه‌برداری Sampling depth	بافت خاک Soil Texture	اسیدیته خاک pH	درصد کربن آلی O.C	هدایت الکتریکی خاک EC	نیتروژن کل N total	فسفر قابل‌جذب P	پتاسیم قابل جذب K	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt
(cm)			(%)	(dS/m)	%	(ppm)	(ppm)	(%)	(%)	(%)
0-30	Clay-loam	7.24	0.58	2.22	0.06	12.6	256	24	27	49

دمای برگ با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل تی ۸۲۵-۲[5] ساخت کارخانه تستو[6] ایتالیا اندازه‌گیری شد (Singh et al., 1985). اندازه‌گیری درصد روغن دانه با دستگاه رزونانس مغناطیسی هسته‌ای[7] انجام شد.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت ۶ بوته به صورت تصادفی انتخاب شد و صفات وابسته به عملکرد شامل قطر طبق، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق اندازه-گیری شد. در پایان فصل با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای با حذف دو خط کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای خطوط برداشت انجام و محصول دانه هر کرت توزین شد. وزن هزار دانه نیز توسط توزین چهار تکرار ۱۰۰۰ تایی و میانگین گرفتن از عدد حاصله بدست آمد.

در پایان تجزیه واریانس داده‌ها و محاسبه ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده[8] در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در جدول ۲ نشان داد که اثر آبیاری بر کلیه صفات مورد بررسی بجز تعداد دانه در طبق معنی‌دار بود. همچنین صفات ارتفاع بوته، دمای کانوپی، محتوی نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ، قطر طبق، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن در ارقام مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۲). اثر متقابل آبیاری×رقم نیز بر صفات ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح یک درصد و بر صفات محتوی نسبی آب برگ و درصد روغن دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد تنش خشکی آخر فصل منجر به کاهش طول دوره رشد ارقام گلرنگ به میزان ۶ روز شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ترکیب سطوح آبیاری و رقم نشان داد که در تیمار آبیاری کامل بالاترین میزان ارتفاع بوته در رقم پرنیان با میانگین ۱۴۰/۶ سانتی‌متر مشاهده شد، ولی در تیمار قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه بالاترین میزان این صفت در رقم گل مهر با میانگین ۱۲۸/۳ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۴). در مقابل، کمترین ارتفاع بوته در در هر دو تیمار بدون تنش و تنش خشکی در رقم گلدشت مشاهده شد (جدول ۴). در تحقیق دیگری نیز تنش خشکی باعث رسیدگی سریع‌تر و کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شد (Khakwani et al., 2012). کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Al-Barrak, 2006, Sinaki et al., 2007). در همین راستا نتایج بدست آمده نشان داده است که آبیاری

[5] T825-2
[6] Testo
[7] Nuclear magnetic resonance (NMR)
[8] FLSD

طبیعی، منجر به بالاترین ارتفاع در گیاه گلرنگ گردید و در شرایط تنش خشکی، گیاه گلرنگ دارای کمترین ارتفاع ساقه بود (Soleymani et al., 2011). با توجه به رشد نامحدود بودن گیاه گلرنگ با وجود اعمال قطع آبیاری (تنش خشکی) از مرحله پرشدن دانه، کاهش ارتفاع بوته در این آزمایش مشاهده شد که نشان دهنده رشد رویشی حتی بعد از مرحله گل‌دهی (رشد زایشی) در ارقام گلرنگ می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهند که آبیاری مناسب یک عامل با اهمیت در جهت دستیابی به بیشترین رشد گیاه و ارتفاع بوته است. در این بررسی ارتفاع بوته با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵). رابطه مثبت میان عملکرد دانه با ارتفاع بوته در گیاهان زراعی در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Torabian and Maghsoudi, 2014; Noori et al., 2017).

جدول ۲. تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی گلرنگ تحت تأثیر تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance in safflower characteristics under drought stress

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	Mean of Squares: طول دوره رشد Growth duration	ارتفاع بوته Plant height	دمای کانوپی Canopy temperature	میانگین مربعات: محتوی نسبی آب برگ Relative Water content	شاخص سطح برگ Leaf area index
Replication	**بلوک**	2	0.93^{ns}	0.03^{ns}	0.1^{ns}	1.3^{ns}	0.14^{ns}
Irrigation (I)	**آبیاری**	1	258.13^{**}	512.53^{**}	67.2^{**}	1080.0^{**}	2.94^{**}
Main error	**خطای اصلی**	2	0.93	0.03	0.5	2.7	0.13
Variety (V)	**رقم**	4	14.91^{ns}	418.58^{**}	9.4^{**}	74.0^{**}	2.02^{**}
I×V	**آبیاری×رقم**	4	0.88^{ns}	126.11^{**}	1.5^{ns}	15.4^{*}	0.05^{ns}
Secondary error	**خطای فرعی**	16	31.85	0.45	0.5	3.5	0.21
CV (%)	**ضریب تغییرات (درصد)**		*2.23*	*0.52*	*2.2*	*2.7*	*30.9*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	Mean of Squares: قطر طبق Head diameter	تعداد طبق در بوته Head per plant	تعداد دانه در طبق Seed per head	میانگین مربعات: وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن دانه Oil seed percent
Replication	**بلوک**	2	0.001^{ns}	0.63^{ns}	1.2^{ns}	2.0^{ns}	28820^{ns}	0.49^{ns}
Irrigation (I)	**آبیاری**	1	0.243^{**}	496.13^{**}	17.6^{ns}	21.8^{*}	614328^{*}	4.25^{*}
Main error	**خطای اصلی**	2	0.001	0.23	13.2	1.16	2571	0.14
Variety (V)	**رقم**	4	0.332^{**}	83.46^{**}	110.1^{**}	427.1^{**}	194328^{**}	23.60^{**}
I×V	**آبیاری×رقم**	4	0.020^{ns}	27.13^{**}	4.6^{ns}	2.9^{**}	65989^{**}	0.96^{*}
Secondary error	**خطای فرعی**	16	0.02	1.35	3.10	0.4	6659	0.21
CV (%)	**ضریب تغییرات (درصد)**		*5.8*	*6.43*	*6.63*	*2.0*	*4.6*	*1.6*

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5 and 1% probability levels respectively and not significant.

به نظر می‌رسد کاهش تولید مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش فتوسنتز ناشی از تأثیر محدودیت آب از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژی جهت ارائه به بخش‌های هوایی و در حال رشد گیاه، به همراه کاهش طویل‌شدن فاصله میان گره‌ها احتمالاً منجر به کاهش ارتفاع گلرنگ به واسطه رشد نامحدود بودن این گیاه می‌گردد.

اندازه‌گیری دمای برگ و کانوپی روشی متداول برای ارزیابی شدت تنش خشکی در گیاهان زراعی می‌باشد (Pasban Eslam et al., 2000, Fanaei et al., 2009). در مطالعه حاضر اعمال تنش خشکی آخر فصل بطور میانگین منجر به افزایش سه درجه سانتی‌گراد در دمای کانوپی ارقام گلرنگ شد. همچنین بالاترین و پایین‌ترین دمای کانوپی نیز به ترتیب در ارقام گلدشت و پرنیان با میانگین ۳۴/۱ و ۳۰/۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۳). افزایش دمای کانوپی در شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش تنفس و کاهش تعرق اتفاق می‌افتد که این امر باعث کاهش رشد رویشی و تجمع مواد ذخیره‌ای شده و در پی آن کاهش سطح برگ و ارتفاع آن گیاه می‌شود (Emam et al., 2010).

محتوای نسبی آب برگ شاخص مناسبی برای بیان وضعیت آبی گیاه بوده و شاخص فراگیرتری از تعادل بین میزان عرضه آب نسبی برگ و میزان تعرق است (Silva et al., 2013). واکنش ارقام مختلف گلرنگ در سطوح تیمار آبیاری نشان داد که در شرایط بدون تنش ارقام تفاوت زیادی از نظر محتوی نسبی آب برگ نداشتند و بیشترین محتوی نسبی آب برگ در رقم پرنیان مشاهده شد که تنها با رقم گلدشت تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۴). در مقابل، در تیمار تنش خشکی، ارقام پرنیان و پدیده به ترتیب با میانگین ۶۷/۴ و ۶۶/۱ درصد بیشترین محتوی نسبی آب برگ را دارا بودند (جدول ۴). تفاوت محتوای آب نسبی برگ در ارقام مختلف می‌تواند به توانایی آن‌ها در جذب آب از خاک یا توانایی بستن روزنه‌ها و تعرق کمتر در شرایط تنش مربوط باشد (Pasban Eslam, 2016)؛ بنابراین محتوی نسبی آب برگ در واقع ابزار بسیار مناسبی برای گزینش در تنش خشکی است و ارقامی که بدون بستن روزنه‌های خود توانایی حفظ آب بیشتری دارند برای مناطق خشک مناسب هستند. به‌طوری که بررسی همبستگی بین صفات مختلف نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری ($r= 0.85, p<0.01$) بین محتوی نسبی آب برگ و عملکرد دانه در ارقام مورد بررسی وجود داشت (جدول ۵). حفظ محتوای آب نسبی برگ به معنای توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتری آب در شرایط تنش است که از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل می‌شود (Zadehbagheri et al., 2012).

در این مطالعه تنش خشکی آخر فصل سبب کاهش حدود ۳۴ درصدی شاخص سطح برگ در ارقام گلرنگ شد (جدول ۳). در میان ارقام مورد بررسی بیشترین و کم‌ترین شاخص سطح برگ در ارقام پرنیان و گلدشت با میانگین ۲/۴ و ۰/۷ مشاهده شد (جدول ۳). در همین رابطه، در آزمایش دیگری کاهش ۲۷ درصدی شاخص سطح برگ گلرنگ تحت تنش خشکی گزارش شده است (Fathian and Ehsanzade, 2013). تنش خشکی از طریق کاهش تولید و رشد برگ (Anjum et al., 2011) و پیری زودرس برگ‌ها مقدار شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر کوتاه شدن دوره رشد گیاه در اثر تنش خشکی منجر به کاهش فرصت توسعه برگ‌ها شده و کاهش شاخص سطح برگ را در پی دارد.

نتایج نشان داد قطر طبق گلرنگ در اثر قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به میزان ۰/۱۸ سانتی‌متر کاهش یافت. به نظر می‌رسد که اعمال قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه به واسطه کاهش رشد طبق‌های شاخه‌های فرعی به واسطه رشد نامحدود بودن گیاه گلرنگ سبب کاهش قطر طبق شده است. در بین ارقام مورد مطالعه، بیشترین قطر طبق در ارقام گلدشت و پرنیان با میانگین ۲/۸۸ و ۲/۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۳). در این بررسی، همبستگی معنی‌داری بین قطر طبق و عملکرد دانه مشاهده نشد (جدول ۵).

مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و رقم نشان داد در شرایط بدون تنش بیشترین تعداد طبق در بوته در ارقام پرنیان و پدیده مشاهده شد در حالی که در شرایط تنش خشکی بیشترین تعداد طبق در رقم پرنیان با میانگین ۲۰ عدد بدست آمد (جدول ۴). بیشترین کاهش تعداد طبق در اثر تنش خشکی در رقم پدیده مشاهده شد که در حدود ۵۴ درصد بود (جدول ۴). تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه در گلرنگ سبب کاهش معنی‌دار تعداد طبق و وزن هزار دانه می‌شود (Efatdoust, 2003). در اثر تنش خشکی سطح برگ کاهش یافته، سرعت پیری برگ‌ها تشدید شده و میزان فتوسنتز خالص و در نتیجه ماده خشک تولیدی گیاه کاهش می‌یابد و در نتیجه گیاه تعداد طبق کمتری تولید می‌کند (Farshidifar et al., 2002). در همین راستا کاهش تعداد طبق گیاه گلرنگ در اثر تنش خشکی قبلاً نیز گزارش شده است (Nourmand Movayed, 2004).

تعداد دانه در طبق تحت تاثیر تیمار آبیاری قرار نگرفت، درحالی‌که در بین ارقام مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). در میان ارقام گلرنگ بیشترین تعداد دانه در طبق در ارقام پرنیان و گل مهر مشاهده شد در حالی‌که

کمترین میزان این صفت در رقم پدیده مشاهده شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد به دلیل قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه در تیمار تنش خشکی، پتانسیل تعداد دانه در طبق قبل از اعمال تنش شکل گرفته است و تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در طبق نداشته است.

جدول ۳. مقایسه میانگین برخی از صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای آبیاری و رقم

Table 3. Mean comparison of some traits measured in irrigation and variety treatments

Treatment	تیمار	طول دوره رشد (رشد) Growth duration (days)	دمای کانوپی (درجه سانتی‌گراد) Canopy temperature (°C)	شاخص سطح برگ Leaf area index	قطر طبق (سانتی‌متر) Head diameter (cm)	تعداد دانه در طبق Seed per head
Irrigation	**آبیاری**					
بدون تنش خشکی (شاهد) Control		255 [a]	31.1 [b]	1.82 [a]	2.66 [a]	27.3[ns]
قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه Withholding irrigation from seed filling stage		249 [b]	34.1 [a]	1.20 [b]	2.48 [b]	25.8[ns]
Variety	**رقم**					
Parnian	**پرنیان**	249 [a]	30.6 [c]	2.4 [a]	2.75 [a]	31.0 [a]
Goldasht	**گلدشت**	248 [a]	34.1 [a]	0.7 [c]	2.88 [a]	23.0 [c]
Padideh	**پدیده**	252 [a]	32.7 [b]	1.6 [b]	2.36 [b]	22.0 [c]
Golmehr	**گل مهر**	253 [a]	32.8 [b]	1.3 [bc]	2.35 [b]	31.0 [a]
Sofeh	**صفه**	253 [a]	32.5 [b]	1.5 [b]	2.53 [b]	25.8 [b]

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد هستند.

.Mean values of the same category followed by different letters are significant at p≤0.05 level

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های برخی صفات مورد مطالعه در ارقام گلرنگ در ترکیب تیماری آبیاری و رقم

Table 4. Mean Comparison of some characteristics in safflower varieties at irrigation ×variety treatment.

Treatments آبیاری	Variety رقم	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	محتوی نسبی آب برگ (درصد) Relative Water content (%)	تعداد طبق در بوته Head per plant	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن دانه Oil seed percent
بدون تنش خشکی (شاهد) Control	**Parnian**	140.6 [a]	76.7 [a]	27.0 [a]	42.3 [a]	2150 [a]	27.1 [d]
	Goldasht	110.6 [h]	68.7 [b]	20.6 [b]	40.5 [b]	1509 [de]	26.8 [de]
	Padideh	129.3 [c]	74.7 [a]	26.6 [a]	25.4 [e]	1831 [bc]	29.4 [bc]
	Golmehr	138.0 [b]	75.7 [a]	18.3 [c]	24.7 [ef]	1958 [b]	30.4 [a]
	Sofeh	138.6 [b]	74.1 [a]	18.0 [c]	26.7 [d]	2123 [a]	30.2 [ab]
قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه Withholding irrigation from seed filling stage	**Parnian**	120.6 [f]	67.4 [b]	20.0 [bc]	40.8 [b]	1773 [c]	25.1 [f]
	Goldasht	115.3 [g]	57.1 [c]	15.0 [d]	37.4 [c]	1450 [e]	26.0 [e]
	Padideh	125.0 [e]	66.1 [b]	12.0 [e]	25.1 [ef]	1759 [c]	29.3 [c]
	Golmehr	128.3 [c]	59.4 [c]	8.6 [f]	24.3 [fg]	1563 [de]	29.5 [bc]
	Sofeh	126.6 [d]	60.1 [c]	14.3 [d]	23.5 [g]	1596 [d]	30.2 [ab]

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Mean values of the same category followed by different letters are significant at p≤0.05 level.

مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و رقم نشان داد رقم پرنیان در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب با میانگین ۴۲/۳ و ۴۰/۸ گرم دارای بیشترین وزن هزار دانه بود. با این حال کمترین وزن هزار دانه در تیمار شاهد و تنش خشکی به ترتیب در ارقام گل مهر و صفه بدست آمد و بیشترین میزان کاهش این صفت در اثر تنش خشکی در رقم

صفه بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد تنش خشکی در مراحل زایشی احتمالاً به واسطه اختلال در فتوسنتز گیاه و در نتیجه کاهش سنتز آسیمیلات‌های لازم برای پر شدن دانه‌ها، چروکیدگی و کاهش وزن دانه‌ها می‌باشد (Safavi Fard, 2017). این درحالی است که کاهش وزن هزار دانه در قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه می‌تواند ناشی از هم‌زمانی رشد دانه با زمان اعمال تنش و اختلال در انتقال آسیمیلات‌های تولید شده در قبل از گل‌دهی به دانه‌ها باشد. به طور کلی وزن هزار دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن آن است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تامین می‌شود که به نظر می‌رسد در تیمارهای قطع آبیاری، این عوامل از سرعت و مدت کمتری نسبت به شرایط عدم تنش برخوردار بودند (Sinaki et al., 2007). گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت فتوسنتز منجر به تولید دانه‌های کوچکتر و در نتیجه کاهش وزن هزار دانه خواهد شد (Sedaghat et al., 2017).

بررسی سطوح تیماری آبیاری و رقم نشان داد که رقم پرنیان در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی با میانگین ۲۱۵۰ و ۱۷۷۳ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. کمترین عملکرد دانه نیز در هر دو تیمار شاهد و قطع آبیاری در رقم گلدشت مشاهده شد (جدول ۴). همچنین در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه در رقم پدیده تفاوت معنی‌داری با رقم پرنیان نداشت (جدول ۴). بیشترین میزان کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی آخر فصل نیز در رقم صفه در حدود ۲۵ درصد بود (جدول ۴). در مطالعات گذشته، کاهش عملکرد دانه در ارقام مختلف گلرنگ در اثر تنش خشکی بیش از ۱۶ درصد گزارش شده است (Rahmani, 2018). در این رابطه گزارش شده است که تنش خشکی پس از مرحله گرده افشانی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود (Niknam et al., 2003). با توجه به اینکه مراحل تشکیل و پرشدن از نظر نیاز بوته به رطوبت موجود در خاک بحرانی می‌باشد، اعمال تنش در این مراحل به دلیل اثر نامناسب بر میزان جذب آسیمیلات‌ها موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Safavi Fard, 2017). در این بررسی، عملکرد دانه بیشتر در رقم پرنیان می‌تواند به دلیل دمای کانوپی کمتر، شاخص سطح برگ و محتوی نسبی آب برگ بیشتر و بالاتر بودن وزن هزار دانه و تعداد طبق در بوته باشد (جداول ۳ و ۴).

در این آزمایش، ارقام صفه و گل‌مهر در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی بیشترین محتوی روغن دانه را داشت و بیشترین میزان کاهش درصد روغن دانه در اثر تنش خشکی نیز در رقم پرنیان در حدود دو درصد مشاهده شد (جدول ۴). گزارش شده است که درصد روغن تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری قرار می‌گیرد و با افزایش مقدار آبیاری درصد روغن نیز افزایش می‌یابد (Patel and Patel, 1996). در آزمایش دیگری وقوع تنش خشکی طی مرحله پر شدن دانه موجب افت ۱ تا ۲ درصدی روغن دانه شده است (Mirshekari et al., 2013). نتایج نشان داد تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه‌ها منجر به کاهش درصد روغن دانه گلرنگ شد که به نظر می‌رسد علت آن تسریع در رسیدگی گیاه می‌باشد که در این حالت فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره شده در دانه وجود نداشته و بنابراین درصد روغن کاهش می‌یابد (Gupta et al., 2016).

مطالعه همبستگی بین صفات مختلف می‌تواند در تعیین صفات کلیدی و موثر در عملکرد مفید باشد. نتایج بررسی ضرایب همبستگی در جدول ۵ نشان داد عملکرد دانه با ارتفاع بوته، محتوی نسبی آبی برگ و تعداد دانه در طبق دارای رابطه مستقیم و معنی‌دار بود. رابطه مثبت میان عملکرد دانه با ارتفاع بوته و محتوی نسبی آب برگ گیاهان زراعی در مطالعات قبلی گزارش شده است (Torabian and Maghsoudi, 2014; Noori et al., 2017). همچنین تعداد دانه در طبق نیز با صفات ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ رابطه مستقیم و معنی‌داری داشتند. از سوی دیگر، دمای کانوپی ارقام گلرنگ رابطه معکوس و معنی‌داری با شاخص سطح برگ، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه نشان داد. درصد روغن دانه گلرنگ نیز رابطه معکوس و معنی‌دار با وزن هزار دانه گلرنگ داشت (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که صفات فیزیولوژیک محتوی نسبی آب برگ و دمای کانوپی دو شاخص مهم برای گزینش ارقام متحمل به خشکی در گیاه گلرنگ هستند. ارقام مختلف گلرنگ دارای عملکرد متفاوتی در شرایط محیطی یکسان هستند. عملکرد دانه در ارقام مورد بررسی در شرایط تنش بین ۱۴۵۰ تا ۱۷۷۳ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود که بالاترین عملکرد دانه به رقم پرنیان تعلق داشت. تحت شرایط تنش خشکی از مرحله پر شدن دانه عملکرد ارقام گلرنگ

حدود ۱۵ درصد کاهش پیدا کرد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در رقم پرنیان بدست آمد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد رقم پرنیان از نظر صفات عملکردی نظیر تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به سایر ارقام برتری قابل ملاحظه‌ای داشت. علاوه بر این از نظر صفات فیزیولوژیک موثر در تحمل خشکی نظیر دمای کانوپی کمتر و محتوی نسبی آب برگ و شاخص سطح برگ مطلوب این رقم نسبت به سایر ارقام برتر بود.

جدول ۵. ضرایب همبستگی ساده بین صفات مختلف ارزیابی شده در ارقام گلرنگ

Table 5. Simple correlation coefficients between different traits in safflower varieties

	صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ارتفاع بوته Plant height	1									
2	دمای کانوپی Canopy temperature	-0.55^{ns}	1								
3	محتوی نسبی آب برگ Relative Water content	0.62*	-0.57*	1							
4	شاخص سطح برگ Leaf area index	0.35^{ns}	-0.94**	0.42^{ns}	1						
5	قطر طبق Head diameter	-0.32^{ns}	-0.28^{ns}	0.12^{ns}	0.53^{ns}	1					
6	تعداد طبق در بوته Head per plant	0.23^{ns}	-0.45^{ns}	0.75**	0.38^{ns}	0.28^{ns}	1				
7	تعداد دانه در طبق Seed per head	0.67**	-0.74**	0.41^{ns}	0.67**	0.17^{ns}	0.27^{ns}	1			
8	وزن هزار دانه 1000 seed weight	-0.36^{ns}	0.17^{ns}	0.08^{ns}	-0.04^{ns}	0.46^{ns}	0.47^{ns}	-0.24^{ns}	1		
9	عملکرد دانه Seed yield	0.86**	-0.57*	0.85**	0.44^{ns}	-0.06^{ns}	0.52^{ns}	0.67**	0.02^{ns}	1	
10	درصد روغن دانه Oil seed percent	0.58*	-0.49^{ns}	0.18^{ns}	0.32^{ns}	-0.32^{ns}	-0.27^{ns}	0.41^{ns}	-0.91**	0.27^{ns}	1

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5 and 1% probability levels respectively and not significant.

منابع

Achhale, D. 2016. Screening of safflower (*Carthamus tinctorius* l.) Genotypes for drought tolerance. MSc dissertation. College of Agriculture, the Rajmata Vijayaraje Scindia Krishi Vishwa Vidyalaya, Gwalior, Indore (MP). 75 p.

Al-Barrak, Kh.M., 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). Science Journal of King Faisal University. 7(1), 87-102.

Akhzari, D., Pessarakli, M. Eftekhari Ahandani, S., 2015. Effects of grazing intensity on soil and vegetation properties in a Mediterranean rangeland. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 46 (22), 2798-2806.

Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research. 6(9), 2026-2032.

Bagheri, H., Andalibi, B., Azimi Moghaddam, M., 2013. Effect of atrazine anti-transpiration application on improving physiological traits, yield and yield components of safflower under rainfed condition. Journal of Crops Improvement. 14(2), 1-16. [In Persian with English Summary].

Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S., Mohamadian, A., 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. Field Crops Research. 118,105-114

Bhatnagar-Mathur, P., Vadez, V., Jyostna Devi, M., 2009. Genetic engineering of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with the *P5CSF129A* gene for osmoregulation with implications on drought tolerance. Molecular Breeding. 23, 591-606.

Bortolheiro, F.P.A.P., Silva, M.A., 2017. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 89(4), 3051-3066.

Efatdoust, N., 2003. Effect of drought stress on different safflower genotypes. MSc dissertation. Islamic Azad University Ardabil Branch. Iran. [In Persian].

Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., Jalali, A.H., 2010. Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 9(5), 495-499.

Eyshi Rezaei, E., Bannayan, M., 2012. Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. Meteorological Applications. 19, 346-354.

Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar A., 2009. Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. International Journal of Plant Production. 3(2), 41-45.

Farshidfar, E., Mohammadi, R., Sutca, J., 2002. Association between field and laboratory perdictors of drought tolerance in wheat disomic addition lines. Acta Agronomica Hungarica. 50, 377-381.

Fathian, S., Ehsan Zade, P., 2013. Association between some physiological characteristics and yield in spring safflower under two irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science. 43(4), 649-659. [In Persian with English Summary].

Fleta-Soriano, E., Munné-Bosch, S., 2016. Stress memory and the inevitable effects of drought: A Physiological Perspective. Frontiers in Plant Science. 7, 1-6.

Ghosh P.K., Majumder, M.K., Banerjee, S.P., 2013. Growth analysis studies and their possible use in selection work in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). International Journal of Farming and Allied Sciences. 2, 38-41.

Gupta, K., Kayam, G., Faigenboim-Doron, A., Clevenger, J., Ozias-Akins, P., Hovav, R., 2016. Gene expression profiling during seed-filling process in peanut with emphasis on oil biosynthesis networks. Plant Science. 248, 116-127.

Hussain, M.I., Lyra, D.A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., Khalid, N., 2016. Salt and drought stresses in safflower: a review. Agronomy for Sustainable Development. 36(1), 4-13.

Jabbari, H., 2014. Idntification of water deficit tolerance mechanisams in vegetative and reproductive stages in rapeseed. Ph.D thesis. College of Aburaihan, University of Tehran, Iran. 200 p. [In Persian].

Karimizadeh, R., Mohammadi, M., 2011. Association of canopy temperature depression with yield of durum wheat genotypes under supplementary irrigated and rainfed conditions. Australian Journal of Crop Science. 5(2), 138.

Khakwani, A.A., Dennett, M.D., Munir, M., Abid, M., 2012. Growth and yield response of wheat varieties to water stress at booting and anthesis stages of development. Pakistan Journal of Botany. 44(3), 879-886.

Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A., 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. Field Crops Research. 90, 263-274.

Medici, A., Laloi, M., Atanassova, R., 2014. Profiling of sugar transporter genes in grapevine coping with water deficit. FEBS Letters. 588, 3989–3997

Meerajipour, M., Movahhedi Dehnavi, M., Dehdari, A., Farajee, H., Meerajipour, M., 2013. Effect of drought stress on some physiological characteristics of four spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Yasouj. Environmental Stresses in Crop Sciences. 5(2), 125-134. [In Persian with English Summary].

Mirshekari, M., Majnoun, H.N., Amiri, R., Moslehi, A., Zandvakili, O.R., 2013. Effects of sowing date and irrigation treatment on safflower seed quality. African Journal of Agricultural Research. 8 (49), 6488-6498

Niknam, S.R., Ma, Q., Turner, W., 2003. Osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* genotypes in a water-limited environmental in south Western Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture. 43(9), 1127-1135.

Noori, A., Ashraf Mehrabi, A., Safari, H., 2017. Study of correlation and path coefficient analysis of agronomic traits and grain yield for *Aegilops cylindrica* accessions under non-stress and drought stress conditions in Ilam. Journal of Crop Breeding. 9 (23), 76-84. [In Persian with English Summary].

Nourmand Movayed, F. 2004. Comparison of photosynthetic contribution of safflower inflorescence and adjacent leaves in seed formation and production under different field moisture conditions. MSc dissertation. Faculty of agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. [In Persian].

Pasban Eslam, B., 2011. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. Journal of Agricultural Sciences and Technology. 13, 327-338. [In Persian with English Summary].

Pasban Eslam, B., Shakiba, M.R., Neyshabouri, M.R., Moghadam, M., Ahmadi, M.R., 2000. Evaluation of physiological indices as a screening technique for drought resistance in oilseed rape. Pakistan Academy of Sciences Journal. 37, 143-152.

Pasban Eslam, B., 2016. Stability of grain and oil yields and its components in Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) under early and late season drought. Agricultural Science and Sustainable Production. 25 (4), 177-188.

Pascual-Villalobos, M.J., Albuquerque, N., 1996. Genetic variation of a safflower germplasm collection grown as a winter crop in southern Spain. Euphytica. 92, 327-332.

Patel, P.G. Patel, Z.Q. 1996. Effects of irrigation methods and levels on seed yield and quality of safflower. Journal of Oilseed Research. 13, 53-55.

Rahmani, F., 2018. Effect of zinc foliar application on some physiological characteristics and quantitative and qualitative yield of different safflower cultivars under drought stress. Ph.D thesis. Islamic Azad University Takestan Branch, Iran. [In Persian].

Safavi Fard, N., 2017. Study of drought stress and planting season effect on resources use efficiency in new cultivars and hybrids of canola. Ph.D thesis. Islamic Azad University Science and Research Branch, Iran. [In Persian].

Sedaghat, M., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Emam, Y., Mokhtassi-Bidgoli, A., 2017. Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. Plant Physiology and Biochemistry. 119, 59-69.

Silva, M.D.A., Jifon, J.L., Santos, C.M.D., Jadoski, C.J., Silva, J.A.G.D., 2013. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. Brazilian archives of Biology and Technology. 56(5), 735-748.

Sinaki, M.J., Majidi Heravan, E. Shirani-rad, A.H. Noormohamadi, G. Zarei, G.H., 2007. The effects of water deficit during growth stage of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasin Journal of Agricultural and Environmental Science. 2(4), 417-424.

Singh, D.P., Singh, P., Kumar, A., Sharma, H.C., 1985. Transpiration. Cooling as a screening technique for drought tolerance in oilseed Brassica. Annals of Botany. 56, 815-820.

Soleymani, A., Emami, S.A., Shahrajabian, M.H., Naranjani, L.E.I.L.A., 2011. Evaluation of suitable planting dates and autumn safflower cultivars under climatic condition of Isfahan, Iran. Research on Crops. 12(1), 155-162.

Sun, Y.W., He, Y., Zhang, R.P., Huang, J.W., Gu, M.C., 2013. Optimization of ultrasonic extraction conditions of safflower yellow from *Carthamus tinctorius* by response surface methodology. Zhong Yao Cai. 36(12), 2018-2022.

Torabian, A., Maghsoudi, K., 2014. Study on relationship between yield and yield components of wheat under normal irrigation and drought stress conditions by path analysis method. Applied Field Crops Research. 27(104), 47-53. [In Persian with English Summary].

Zadehbagheri, M., Mojtaba, M., Javanmardi, S., Sharafzadeh, S., 2012. Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotype. African Journal of Agricultural Research. 7(42), 5661-5670.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 4, pp. 1093-1104
Winter 2021
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3193.1815

Original article

The effect of late season drought stress on some morphophysiological characteristics of Iranian safflower varieties in Karaj region

Yousef Joshan[1], Behzad Sani[1], Hamid Jabbari[2*], Hamid Mozafari[1], Payam Moaveni[1]

1. Department of Agronomy, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Received 27 February 2020; Accepted 18 April 2020

Abstract

In order to investigate the effects of late-season drought stress on some morpho-physiological characteristics of Iranian safflower varieties, an experiment was conducted in the research field of Karaj Seed and Plant Improvement Research Institute. This study included two irrigation levels; normal irrigation (control) and drought stress from grain filling stage (main plot), and five Iranian safflower varieties including Sofeh, Goldasht, Golmehr, Padideh and Parnian (sub-plot), which conducted as a split-plot experiment in a randomized complete block design with three replications during the 2016-17. The results showed that drought stress had a significant effect on morpho-physiological traits and yield of safflower varieties and decreased plant height, heads per plant, head diameter, seeds per head, 1000-seed weight and grain yield. Moreover, drought stress reduced relative water content, leaf area index and increased canopy temperature of safflower varieties. Drought stress reduced seed yield and oil content of safflower seeds by 14.9 and 2.7%, respectively. The echo-physiological response of safflower varieties to drought stress was different. Due to the number of heads and 1000-seed weight Parnian variety had the highest grain yield at both control and stress conditions by 2150 and 1773 kg/ha, respectively. The highest grain yield loss due to drought stress was observed in Sofeh variety by 24.8%. Parnian variety had the highest relative water content and leaf area index and the lowest canopy temperature under drought stress. So, Parnian was a drought-tolerant variety.

Keywords: Canopy temperature, Leaf area index, Relative water content, Safflower winter varieties, Yield components

[*]Correspondent author: Hamid Jabbari; E-Mail: h.jabbari@areeo.ac.ir.