

تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی چهار رقم گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج

مینا معراجی پور^۱؛ محسن موحدی دهنوی^{۲*}؛ اشکبوس دهداری^۲؛ هوشنگ فرجی^۲؛ میترا معراجی پور^۱
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه یاسوج؛ ۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج.

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۱

چکیده

معرفی شاخص‌های فیزیولوژیک مرتبط با تحمل ارقام گلرنگ به خشکی نقش مهمی در انتخاب ارقام متحمل دارد. به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گلرنگ بهاره، در سال ۱۳۸۹ آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج، به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی آبیاری پس از ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و عامل فرعی چهار رقم گلرنگ بهاره، اصفهان ۱۴، محلی اصفهان، گلدشت و سینا ۴۱۱ بودند. نتایج نشان دادند که برهمکنش تیمار آبیاری و رقم و اثرات ساده تیمارهای آزمایشی بر حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II معنی‌دار نبود. برهمکنش رقم و تیمار آبیاری بر صفات محتوای نسبی آب، پرولین و قندهای محلول برگ معنی‌دار شد. بیشترین میزان محتوای نسبی آب در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر (۸۳/۸۳ درصد)، ۱۴۰ میلی‌متر (۸۲/۶۲ درصد) و ۲۱۰ میلی‌متر (۸۳/۲۲ درصد) مربوط به رقم گلدشت بود. در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان پرولین (۱۶۷/۸۷ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود. بیشترین میزان قندهای محلول کل در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر (۶۳۲/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، ۱۴۰ میلی‌متر (۶۷۷/۵۶ میلی‌گرم بر گرم بافت تر برگ) و ۲۱۰ میلی‌متر (۶۷۸/۷۱ میلی‌گرم بر گرم بافت تر برگ) مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود. می‌توان گفت که کم‌آبی موجب افزایش پرولین در رقم اصفهان ۱۴ و افزایش محتوای قند محلول برگ در رقم سینا ۴۱۱ شد.

واژه‌های کلیدی: فلورسانس کلروفیل، پرولین، مالون دی‌آلدئید، پروتئین محلول برگ

مقدمه

از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط کشور، گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius L.* گیاهی است یک‌ساله از تیره کاسنی و مدت زیادی از کشت آن در جهان می‌گذرد، این گیاه به عنوان یک گیاه مقاوم به تنش شوری و خشکی (Bassil and Kaffka, 2002) و با داشتن تیپ-های بهاره و پاییزه از آینده نویدبخشی برخوردار است (Pasbaneslam, 2002).

تنش خشکی یکی از مشکلات تولید فراورده‌های کشاورزی در بسیاری از نقاط دنیا به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک است. اغلب گیاهان زراعی به‌ویژه در طی دوره گلدهی تا نمو بذر به تنش کمبود آب حساس هستند. امروزه فلورسانس کلروفیل به عنوان یک معیار سنجش برای

اندازه‌گیری تأثیر تنش‌های محیطی، از جمله تنش آب بر گونه‌های زراعی و تعیین میزان مقاومت به خشکی آن‌ها پیشنهاد شده است (Moffatt et al, 1990). در واقع، تنش خشکی با تأثیر سوئی که بر ورود دی‌اکسید کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه سیستم به سرعت به F_m می‌رسد؛ که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر (F_v) خواهد بود. از طرفی با افزایش شدت نور، سیستم فتوسنتزی با یک روش تنظیمی برای کاهش انرژی القا شده تحریکی، انرژی مازاد را به طریق افزایش خاموشی غیر فتوشیمیایی به صورت فرآیند غیر تشعشی از دست می‌دهد. با این ساز و کار تنظیمی، ضمن حفاظت از مرکز واکنش، موجب می‌گردد که حداقل صدمه به این مرکز وارد شود (Bhardway and Singhal,)

سال ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج در شهر یاسوج اجرا شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل آبیاری پس از ۷۰ (تیمار بدون تنش)، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (Naderi Darbaghshahi et al., 2005) و عامل فرعی شامل چهار رقم گلرنگ بهاره شامل اصفهان ۱۴، محلی اصفهان، گلدشت و رقم سینا ۴۱۱ بودند. مشخصات ارقام مورد مطالعه در جدول یک آورده شده است. کاشت در تاریخ ۱۱ تیر ماه ۱۳۸۹ (Alinaghizadeh, 2009) و به صورت جوی و پشته‌ای در عمق ۳-۴ سانتی‌متری صورت گرفت. قبل از کاشت آزمون خاک انجام گرفت و بر اساس نتایج آزمون خاک، تمام کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و یک دوم کود نیتروژن از منبع اوره، قبل از کاشت و یک دوم باقیمانده به صورت سرک در مرحله رشد سریع ساقه، به زمین داده شد. اولین آبیاری بعد از کاشت صورت گرفت. بعد از اطمینان از استقرار بذر آبیاری‌های بعدی طبق تیمارهای تنشی صورت گرفت. به هنگام برداشت در تاریخ ۲۶ آبان ماه پس از حذف دو ردیف حاشیه هر کرت و ۵۰ سانتی‌متر از هر طرف کرت، سطحی معادل یک مترمربع برداشت گردید. صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی شامل میزان فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه فلورومتر (OS1-F1)، کلروفیل (Arnon, 1949)، محتوای نسبی آب (Weatherley, 1950)، میزان مالون دی آلدهید (Health and Packer, 1968)، پرولین (Irigoyen et al., 1992) و پروتئین محلول برگ (Bradford, 1976) بودند.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید. مقایسه میانگین اثرهای اصلی به روش LSD در سطح ۵ درصد و در صورت معنی‌دار بودن اثر برش‌دهی، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Lsmeans انجام شد (SAS, 1997).

1981). در بررسی اثر تنش خشکی در آفتابگردان مشخص شد که تنش خشکی در مرحله گلدهی دارای بیشترین و در مرحله پر شدن دانه دارای کمترین میزان فلورسانس کلروفیل بود (Babaian Jelodar et al., 2002).

گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی، با تولید و ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند. مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی، بیشتر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها هستند. پرولین یکی از اسیدآمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش بسزایی دارد (Abbaszadeh et al., 2008). در برخی از گیاهان در مراحل اولیه تنش کم-آبی چندین اسید آمینه افزایش می‌یابد که با ادامه کم‌آبی فقط اسیدآمینه پرولین بیشتر تجمع و ذخیره می‌شود (Rajinder, 1987). در گلرنگ ثابت شده است که با افزایش سن گیاه تجمع پرولین بیشتر شده و این افزایش کاهش محتوای نسبی رطوبت گیاه و رطوبت خاک همبستگی دارد، به طوری که خشکی موجب افزایش معنی‌داری در میزان پرولین برگ‌ها می‌شود (Ninganor et al., 1995).

از تغییرات دیگری که در زمان مواجهه گیاهان با شرایط تنش‌زای محیط حادث می‌شود، تولید گونه‌های اکسیژن فعال^۱ است (Hassibi et al., 2009). پراکسیداسیون چربی‌ها نمایان‌گر تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان است که می‌تواند تحت تأثیر رادیکال‌های آزاد یا گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد شود. در اثر تخریب پراکسیدهای اسیدهای چرب اشباع نشده، مالون دی آلدهید^۲ به وجود می‌آید که به عنوان یک نشان‌گر برای مشخص کردن مقدار صدمات اکسیداتیو به لیپیدها به کار می‌رود (Davey et al., 2005).

هدف از این تحقیق تعیین واکنش فیزیولوژیک ارقام گلرنگ بهاره و تعیین بهترین رقم در شرایط تنش خشکی از لحاظ صفات فیزیولوژیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی روی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گلرنگ بهاره، آزمایشی مزرعه‌ای در تابستان

^۱- Reactive Oxygen Species (ROS)

^۲- Malon de Aldehyd (MDA)

جدول ۱. مشخصات ارقام مورد آزمایش

cultivar	رقم	Character / مشخصه		
		ارتفاع بوته Plant height	طول دوره رشد Growing season period	خار دار یا بدون خار Spines
Esfahan 14	اصفهان ۱۴	پا بلند	متوسط	بدون خار
Local variety of Esfahan	محلی اصفهان	پا بلند	دیر رس	بدون خار
Goldasht	گلدشت	پا کوتاه	زود رس	بدون خار
Sina 411	سینا ۴۱۱	متوسط	متوسط رس	بدون خار
		medium height	mid-mature	non spiny

Table 1. Characteristics of varieties in the experiment

نظر باشد که بین این ویژگی‌ها و تعداد زیادی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه ارتباط مستقیمی وجود دارد. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به سرعت تبادل کربن و میزان هدایت روزنه‌ای اشاره کرد (Nautiyal et al, 2002). در نتیجه این رقم می‌تواند واکنش‌های فتوشیمیایی را در حالت تورژانس راه بیندازد و تبادلات گازی مناسب تری داشته است. در نتیجه شرایط فتوسنتزی بهتری داشته و مانع از افزایش بیش از حد فلورسانس حداقل شده است. در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر کارایی رقم سینا ۴۱۱ در استفاده از رطوبت اندک خاک نسبت به رقم محلی اصفهان بهتر بوده است و به تبع آن فلورسانس حداقل کمتری داشته است. در این شرایط کارایی سینا ۴۱۱ حتی نسبت به رقم گلدشت در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی-متر تبخیر بیشتر بود که نشان دهنده مقاومت بهتر این رقم به خشکی خاک می‌باشد.

فلورسانس حداکثر (F_m)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش و رقم برای فلورسانس حداکثر معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی-متر تبخیر رقم اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر فلورسانس حداکثر داشت (جدول ۳). در این شرایط بیشترین میزان فلورسانس حداکثر مربوط به رقم اصفهان ۱۴ و کمترین میزان آن مربوط به رقم گلدشت بود، که البته با ارقام محلی اصفهان و سینا ۴۱۱ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین و بیشترین میزان، ۱۴/۹۷ درصد اختلاف داشتند (جدول ۴). همانطور که قبلاً بیان شد در شرایط

نتایج و بحث

فلورسانس کلروفیل

فلورسانس حداقل (F_0)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش و رقم برای فلورسانس حداقل معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که در هر سه تیمار رطوبتی اثر رقم بر فلورسانس حداقل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان فلورسانس حداقل مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود که با رقم محلی اصفهان تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین میزان آن مربوط به رقم گلدشت بود. کمترین و بیشترین میزان فلورسانس حداقل، ۲۶/۹۵ درصد با یکدیگر اختلاف داشتند. در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان فلورسانس حداقل مربوط به رقم محلی اصفهان، و کمترین میزان مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود که با ارقام گلدشت و اصفهان ۱۴ تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین و کمترین میزان، با یکدیگر ۱۶/۵۹ درصد اختلاف داشتند. در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر، رقم محلی اصفهان دارای بیشترین میزان فلورسانس حداقل بود که با رقم اصفهان ۱۴ تفاوت معنی‌داری نداشت؛ و کمترین میزان مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود، که نسبت به بیشترین میزان ۱۹/۱۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از آنجاییکه رقم گلدشت نسبت به رقم اصفهان ۱۴ دارای محتوای نسبی آب بیشتری است (جدول ۴) که نشان می‌دهد این رقم توانسته به نحو مناسب‌تری از رطوبت خاک استفاده کند. شاید اهمیت محتوای نسبی رطوبت از این

با رقم گلدشت تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود که با رقم گلدشت تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین و بیشترین میزان، ۳۸/۴۵ درصد با یکدیگر اختلاف داشتند. در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر رقم گلدشت دارای بیشترین میزان کلروفیل a بود که با ارقام محلی اصفهان و سینا ۴۱۱ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان آن مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود، که نسبت به بیشترین میزان، ۴۹/۴ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). ظاهراً رقم‌های گلدشت، سینا ۴۱۱ و محلی اصفهان توانسته‌اند در شرایط تنش از تخریب کلروفیل a جلوگیری نمایند که این توانایی در رقم اصفهان ۱۴ کمتر بود. در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر با افزایش تأثیر تنش بر گیاه، رقم گلدشت با کاهش سطح تعرق کننده جهت جلوگیری از اتلاف آب توانسته میزان کلروفیل a را در واحد سطح افزایش دهد (Salehi et al., 2004)، اما رقم اصفهان ۱۴ که نسبت به آن رقمی دیر رس بوده (جدول ۴)، میزان کلروفیل a در واحد سطح برگ کمتری داشت. برخی تحقیقات نشان دادند که ارقام پاکوتاه گندم سطح برگ کوچک‌تر، غلظت کلروفیل بیشتر و ظرفیت تبادل خالص CO₂ بیشتری در مقایسه با ارقام پا بلند دارند (Bishop and Bughee, 1998).

کلروفیل b

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش و رقم برای کلروفیل b معنی‌دار شد (جدول ۲)، اما در هیچ کدام از تیمارهای رطوبتی اثر رقم بر کلروفیل b معنی‌دار نبود (جدول ۳). در طی تنش خشکی به علت تغییر در سیستم‌های فتوسنتزی فتوسیستم II کمتر از فتوسیستم I تحت تأثیر تنش قرار گرفت (Estill et al., 1991)، در نتیجه اثر رقم در شرایط مختلف رطوبتی بر کلروفیل b معنی‌دار نشد.

مجموع کلروفیل a و b

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش و رقم برای مجموع کلروفیل a و b معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر اثر رقم بر مجموع کلروفیل a و b در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در این شرایط رقم گلدشت دارای بیشترین میزان مجموع کلروفیل a و b بود که البته با ارقام سینا ۴۱۱ و محلی اصفهان تفاوت معنی‌داری

آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر رقم گلدشت نسبت به رقم اصفهان ۱۴ استفاده بهتری از رطوبت داشته و در دستگاه فتوسنتزی این رقم جریان الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I مناسب‌تر صورت گرفته در نتیجه میزان فلورسانس حداکثر کمتری نسبت به رقم اصفهان ۱۴ داشته است.

حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)

نتایج نشان داد که برهمکنش تیمارهای آبیاری و رقم و اثرات ساده تیمارهای آزمایشی برای حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II معنی‌دار نبود (جدول ۲). هاواکس و همکاران (Havaux et al., 1998) بیان نمودند که تنش خشکی تغییرات معنی‌داری در فلورسانس حداقل ایجاد نمی‌کند و معمولاً تنش گرمایی به تنهایی و یا در ترکیب با تنش خشکی می‌تواند موجب انهدام و یا تخریب مراکز واکنشی PSII شود و در نتیجه فلورسانس حداقل افزایش یابد. این نتایج توسط آرائوس و همکاران (Araus et al., 1998) نیز اعلام شده است. از آنجایی که اندازه‌گیری فلورسانس در اوایل صبح و کمی بعد از طلوع آفتاب و در اواخر روز قبل از غروب آفتاب صورت می‌گرفت و در این مواقع تنش گرمایی وجود نداشت؛ نتایج آزمایش نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش میزان حداقل فلورسانس در ارقام مورد مطالعه نشده است. از آنجایی که تنش خشکی تأثیر افزایشی بر میزان فلورسانس حداکثر نیز نداشته است به تبع آن نتوانسته باعث کاهش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II گردد و ارقام نتوانسته‌اند حتی در شرایط تنش نیز به خوبی فعالیت‌های فتوسنتزی خود را انجام دهند. در واقع ارقام نتوانسته‌اند با کاهش F_o در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را ثابت نگه دارند.

محتوای کلروفیل برگ

کلروفیل a

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تنش و رقم بر میزان کلروفیل a معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر اثر رقم بر کلروفیل a در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود که

سلول‌های برگ‌ی خود (جدول ۴)، محتوای آب نسبی بیشتری نیز داشتند.

پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء (مالون دی آلدئید)^۱

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تنش و رقم بر میزان مالون دی آلدئید معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر، اثر رقم بر میزان مالون دی آلدئید در سطح احتمال ۵ درصد و در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان مالون دی آلدئید مربوط به رقم اصفهان ۱۴ و کمترین آن مربوط به رقم گلدشت بود که البته با ارقام محلی اصفهان و سینا ۴۱۱ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین و بیشترین میزان، ۳۷/۸ درصد اختلاف داشتند. در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر رقم اصفهان ۱۴ دارای بیشترین میزان مالون دی آلدئید بود، و رقم سینا ۴۱۱ دارای کمترین میزان بود؛ که البته با رقم گلدشت تفاوت معنی‌داری نداشت و نسبت به بیشترین مقدار، ۵۴/۰۴ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴).

محتوای پرولین برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تنش و رقم بر میزان پرولین برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). اثر رقم بر میزان پرولین، فقط در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در این شرایط بیشترین میزان پرولین مربوط به رقم اصفهان ۱۴ و کمترین آن مربوط به رقم محلی اصفهان بود، که نسبت به بیشترین میزان، ۶۵/۵۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). پرولین و کلروفیل هر دو از پیش ماده گلوتامات به وجود می‌آیند. در شرایط خشکی میزان پرولین افزایش می‌یابد و شاید یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل افزایش سنتز پرولین باشد (Matthews and Anderson, 1988). رقم اصفهان ۱۴ دارای بیشترین میزان پرولین است و دارای کمترین میزان کلروفیل. این نشان دهنده این است که پیش ماده گلوتامات در این رقم و این شرایط بیشتر صرف تولید پرولین جهت تنظیم فشار اسمزی می‌شود. رقم محلی

نداشت. کمترین میزان مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود که نسبت به بیشترین میزان، ۴۴/۵۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). با توجه به اینکه هیچ کدام از تیمارهای رطوبتی، اثر رقم بر میزان کلروفیل b معنی‌دار نبود، می‌توان همان دلایلی را که برای برتری رقم گلدشت به اصفهان ۱۴ ارائه دادیم باز هم بیان نمود.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تنش و رقم بر محتوای نسبی آب معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که اثر رقم در هر سه تیمار رطوبتی بر محتوای آب نسبی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان محتوای آب نسبی مربوط به رقم گلدشت بود که با ارقام محلی اصفهان و سینا ۴۱۱ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین آن هم مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود، که نسبت به بیشترین میزان، ۸/۸۵ درصد کاهش نشان داد. در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان محتوای نسبی آب مربوط به رقم گلدشت بود که با ارقام اصفهان ۱۴ و سینا ۴۱۱ تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین آن نیز مربوط به رقم محلی اصفهان بود، که نسبت به بیشترین میزان ۷/۷۳ درصد کاهش نشان داد. در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر رقم گلدشت دارای بیشترین میزان محتوای آب نسبی بود که با رقم سینا ۴۱۱ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان آن (۷۷/۹۰ درصد) مربوط به رقم محلی اصفهان بود که با رقم اصفهان ۱۴ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین و بیشترین میزان محتوای آب نسبی، ۶/۳۹ درصد با یکدیگر اختلاف داشتند (جدول ۴).

همانطور که پاتاکاس (Patakas, 2000) بیان نمود، قندها از اسمولیت‌های سازگار به شمار می‌آیند که در تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس سلول‌ها و پایدار نمودن پروتئین و غشاء سلولی نقش عمده دارند. در این آزمایش نیز در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر، رقم اصفهان ۱۴ محتوای قند محلول کمتری دارد (جدول ۴)، در نتیجه فشار اسمزی لازم برای کشیدن آب به درون سلول را نداشته و محتوای آب نسبی کمتری هم دارد. ارقام سینا ۴۱۱ و گلدشت که از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند به دلیل بیشتر بودن میزان قند محلول در

¹ - Malon de Aldehyd

اصفهان تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان مربوط به رقم گلدشت بود. بیشترین و کمترین میزان، ۶۹/۷ درصد با یکدیگر اختلاف داشتند. در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود که با ارقام گلدشت و محلی اصفهان تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین میزان مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود که با رقم محلی اصفهان تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین و بیشترین میزان، ۵۱/۰۳ درصد با یکدیگر اختلاف داشتند (جدول ۴). در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر رقم سینا ۴۱۱ دارای بیشترین میزان کلروفیل a است (جدول ۴)، بنابراین بیشترین میزان پروتئین محلول در برگ را نیز دارد. مشخص شده است که به محض تشکیل دانه انتقال مواد غذایی به ویژه نیتروژن از برگ به دانه شروع گردیده و در نتیجه پروتئین محلول کل برگ کاهش می‌یابد (Scarfts-Brandner and Egli, 1987). بنابراین رقم گلدشت نیز به دلیل زودرس بودن پروتئین محلول برگ کمتری نیز دارد (جدول ۱). لال و ادواردز (Lal and Edwards, 1996) گزارش کردند که کاهش سرعت فتوسنتز در طول دوره تنش خشکی در گیاه ذرت ممکن است صرف نظر از تأثیر عوامل روزنه‌ای به علت کاهش فعالیت روبیسکو باشد. با توجه به اینکه روبیسکو مهمترین و فراوان‌ترین پروتئین برگ پرچم است، هر گونه کاهش در غلظت پروتئین‌های محلول نشانه کاهش غلظت روبیسکو بوده و این امر می‌تواند کاهش میزان فتوسنتز جاری را در پی داشته باشد (Saeidi et al, 2011). در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر رقم سینا ۴۱۱ دارای بیشترین میزان پروتئین برگ بوده بنابراین فتوسنتز بیشتری انجام می‌دهد. می‌توان مشاهده نمود که در این شرایط دارای بیشترین میزان قند محلول نیز می‌باشد که باز هم گویای فتوسنتز بیشتر سینا ۴۱۱ می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که آبیاری پس از ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر موجب افزایش چشمگیری در صفات قندهای محلول کل، پروتئین محلول برگ و کلروفیل a در رقم سینا ۴۱۱ شد. بنابراین این رقم دارای راهکار دفاعی بهتر و کارآمدتری نسبت به سایر ارقام بود و در نتیجه متحمل‌تر به تنش خشکی می‌باشد.

اصفهان توانایی کمتری در تولید پرولین داشته است (به خاطر ویژگی‌های ژنتیکی) همچنین دارای محتوای نسبی آب کمتری نیز می‌باشد و نمی‌تواند باعث افزایش غلظت شیره سلولی جهت جلوگیری از هدر روی آب شود.

محتوای قندهای محلول کل برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تنش و رقم بر میزان قندهای محلول کل برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). اثر رقم بر میزان قندهای محلول کل برگ در هر سه تیمار آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان قندهای محلول کل برگ مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود و کمترین میزان آن مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود که با رقم گلدشت تفاوت معنی‌داری نداشت و نسبت به بیشترین میزان، ۲۶/۲ درصد کاهش نشان داد. در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان قندهای محلول کل برگ مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود و کمترین میزان آن مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود که نسبت به بیشترین میزان، ۶۰/۳۷ درصد کاهش نشان داد. در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان قندهای محلول کل برگ مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود و کمترین میزان مربوط به رقم گلدشت بود که با رقم محلی اصفهان تفاوت معنی‌داری نداشت. در این شرایط کمترین و بیشترین میزان، ۲۹ درصد با یکدیگر اختلاف داشتند (جدول ۴). افزایش در قندهای محلول در واکنش به تنش آب می‌تواند به انتقال کمتر از برگ‌ها، مصرف آرام‌تر به خاطر کاهش رشد و دیگر تغییرات مثل هیدرولیز نشاسته نسبت داده شود (Kameli and Losel, 1996).

محتوای پروتئین محلول برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تنش و رقم بر پروتئین محلول برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). اثر رقم بر پروتئین محلول برگ در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر در سطح احتمال یک درصد و در شرایط آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان پروتئین محلول برگ مربوط به رقم سینا ۴۱۱ بود که با رقم محلی

جدول ۲. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

منابع تغییر	درجه آزادی	فلورسانس حداقل		فلورسانس حداکثر		فوتوسنتز II		کربن دی‌اکسید		محتوای آب نسبی		کربوهیدرات اشباع آب		مالون دی‌آلدهید		پروتئین برگ		کل قندهای محلول	
		F _o	F _v	F _m	F _v /F _m	F _v /F _m	F _v /F _m	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b	Relative water content	Water saturated deficient	Malon de aldehyde	Leaf prolin	Total soluble sugars	Leaf soluble protein	Total soluble sugars		
تکرار	2	0.56 ^{ns}	165.86 ^{ns}	0.00013 ^{ns}	0.030 ^{ns}	0.041 ^{ns}	0.041 ^{ns}	7.88 ^{ns}	1.16 ^{ns}	5.67 ^{ns}	0.99 ^{ns}	803.32 ^{ns}	1.60 ^{ns}						
آبیاری	2	249.93 ^{**}	165.86 ^{ns}	0.00023 ^{ns}	0.043 ^{ns}	0.078 ^{ns}	2.20 ^{ns}	3.74 ^{ns}	4.991.85 ^{**}	55398.51 ^{**}	86.60 ^{**}								
خطای عامل اصلی	4	5.71	615.92	0.00011	0.012	0.021	3.14	0.0000063	119.38	6.40.17	2.62								
رقم	3	563.22 ^{**}	3372.25 ^{**}	0.00023 ^{ns}	0.170 ^{**}	0.229 ^{**}	53.31 ^{**}	0.000016 ^{**}	3744.66 ^{**}	102776.98 ^{**}	60.38 ^{**}								
آبیاری × رقم	6	108.10 ^{**}	2192.23 ^{**}	0.00002 ^{ns}	0.066 ^{**}	0.077 ^{**}	16.11 ^{**}	0.0000051 ^{**}	2076.30 ^{**}	14313.51 ^{**}	21.23 ^{**}								
خطای عامل فرعی	18	4.36	407.90	0.00008	0.006	0.005	2.09	0.000011	220.55	1144.21	3.38								
ضرب تصورات	2.51	3.60	1.10	9.37	8.02	7.63	1.79	6.97	14.90	6.64	18.96								

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ و ۱ درصد و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

* and ** respectively means significant at 5 and 1% probability level, and ns means no significant

جدول ۳. میانگین مربعات حاصل از برش‌دهی اثر رقم در سطوح مختلف آبیاری

سطح آبیاری	درجه آزادی	فلورسانس حداقل		فلورسانس حداکثر		فوتوسنتز II		کربن دی‌اکسید اشباع آب		محتوای آب نسبی		کربوهیدرات اشباع آب		مالون دی‌آلدهید		پروتئین برگ		کل قندهای محلول	
		F _o	F _v	F _m	F _v /F _m	F _v /F _m	F _v /F _m	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b	Relative water content	Water saturates deficient	Malon de aldehyde	Leaf proline	Total soluble sugars	Leaf soluble protein			
آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر	3	477.187 ^{**}	5904.166 [*]	0.0017 ^{ns}	0.00092 ^{ns}	0.001 ^{ns}	35.104 [*]	28.049 [*]	0.0000011 ^{ns}	516.829 ^{ns}	19902 ^{**}	9.93 ^{ns}							
آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر	3	146.000 ^{**}	593.250 ^{ns}	0.0959 [*]	0.00023 ^{ns}	0.097 ^{ns}	27.279 ^{ns}	18.410 [*]	0.0000051 [*]	6694.396 ^{**}	90455 ^{**}	60.11 ^{**}							
آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر	3	156.250 ^{**}	859.500 ^{ns}	0.2063 [*]	0.007470 ^{ns}	0.284 [*]	23.164 [*]	41.869 ^{**}	0.0000207 ^{**}	686.044 ^{ns}	21057 ^{**}	32.81 [*]							

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ و ۱ درصد و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

* and ** respectively means significant at 5 and 1% probability level, and ns means no significant.

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم برای صفات مورد ارزیابی

Treatments (Cultivar × Irrigation)	Fo	Fm	Fv/Fm	Chlorophyll a (mg·g ⁻¹ leaf fresh weight)	Chlorophyll b (mg·g ⁻¹ leaf fresh weight)	Chlorophyll a+b (mg·g ⁻¹ leaf fresh weight)	Relative water content (%)	Water satuity deficient (%)	Malon de aldehyde (mg·g ⁻¹ leaf fresh weight)	Leaf proline (μmol·g ⁻¹ leaf fresh weight)	Total soluble sugars (mg·g ⁻¹ leaf fresh weight)	Leaf soluble protein (mg·g ⁻¹ leaf fresh weight)
Irrigation after 70 mm evaporation												
Esfahan 14	96.5 ^(a)	635.6 ^(a)	0.850 ^(a)	0.846 ^(a)	0.252 ^(a)	1.083 ^(a)	76.41 ^(b)	23.590 ^(a)	0.0077 ^(a)	75.348 ^(a)	467.008 ^(c)	4.34 ^(a)
Local variety of Esfahan	93.5 ^(a)	565.0 ^(b)	0.845 ^(a)	0.822 ^(a)	0.278 ^(a)	1.100 ^(a)	71.116 ^(a)	20.703 ^(ab)	0.0074 ^(a)	89.734 ^(a)	570.278 ^(b)	8.20 ^(a)
Goldasht	70.5 ^(c)	540.5 ^(c)	0.851 ^(a)	0.820 ^(a)	0.295 ^(a)	1.116 ^(a)	83.83 ^(a)	16.170 ^(c)	0.0079 ^(a)	85.387 ^(a)	468.155 ^(c)	6.47 ^(a)
Sina 411	77.0 ^(b)	544.5 ^(b)	0.857 ^(a)	0.766 ^(c)	0.277 ^(a)	1.064 ^(a)	83.49 ^(a)	19.850 ^(b)	0.0065 ^(a)	60.168 ^(b)	632.813 ^(a)	8.16 ^(a)
Irrigation after 140 mm evaporation												
Esfahan 14	85.5 ^(b)	577.5 ^(a)	0.849 ^(a)	0.671 ^(c)	0.280 ^(a)	0.951 ^(a)	82.34 ^(b)	19.790 ^(b)	0.0082 ^(a)	167.877 ^(a)	258.500 ^(c)	9.35 ^(b)
Local variety of Esfahan	96.5 ^(a)	554.0 ^(a)	0.841 ^(a)	0.830 ^(b,c)	0.262 ^(a)	1.093 ^(a)	76.23 ^(b)	23.763 ^(a)	0.0062 ^(b)	62.824 ^(c)	388.408 ^(b)	13.29 ^(a)
Goldasht	83.5 ^(b)	533.0 ^(a)	0.849 ^(a)	0.959 ^(ab)	0.271 ^(a)	1.230 ^(a)	82.62 ^(a)	18.780 ^(b)	0.0051 ^(b)	137.758 ^(b)	392.998 ^(b)	4.23 ^(c)
Sina 411	80.5 ^(b)	556.5 ^(a)	0.855 ^(a)	1.090 ^(c)	0.281 ^(a)	1.371 ^(a)	81.68 ^(a)	18.320 ^(b)	0.0061 ^(b)	89.320 ^(c)	677.563 ^(a)	13.96 ^(a)
Irrigation after 210 mm evaporation												
Esfahan 14	82.0 ^(ab)	522.0 ^(a)	0.851 ^(a)	0.583 ^(b)	0.263 ^(a)	0.846 ^(c)	78.07 ^(b)	25.420 ^(c)	0.0109 ^(a)	122.337 ^(a)	546.946 ^(b)	7.38 ^(b)
Local variety of Esfahan	83.5 ^(a)	544.5 ^(a)	0.852 ^(a)	0.901 ^(a)	0.282 ^(a)	1.183 ^(b)	77.90 ^(b)	21.053 ^(b)	0.0075 ^(b)	86.940 ^(a)	533.559 ^(b,c)	12.61 ^(ab)
Goldasht	78.0 ^(b)	577.0 ^(a)	0.864 ^(a)	1.152 ^(a)	0.373 ^(a)	1.525 ^(a)	83.22 ^(a)	17.390 ^(c)	0.0060 ^(b,c)	114.057 ^(a)	481.925 ^(c)	13.29 ^(a)
Sina 411	67.5 ^(c)	538.5 ^(a)	0.861 ^(a)	1.121 ^(a)	0.333 ^(a)	1.454 ^(ab)	82.28 ^(a)	17.720 ^(b,c)	0.0049 ^(c)	107.019 ^(a)	678.710 ^(a)	15.07 ^(a)

اعداد با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون Lsmeans ندارند.

Within each column, means followed by the same letter are not significantly different based on Lsmeans test.

منابع

- Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, E., Lebaschi, M.H., Naderi Hajibagher Kandi, M., Moghadami, F., 2008. The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). Iranian J. Medic. Aromatic Plant. 23(4), 504-513. [In Persian with English Summary].
- Alinaghizadeh, M., 2009. Effect of planting date on growth, yield and yield components of safflower as double cropping in Yasouj. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran. [In Persian with English Summary].
- Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H., Nachit, M.M., 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Field Crop Res. 55, 209-223.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24, 1-15.
- Babaian Jelodar, N., Zia Tabar Ahmadi, M., 2002. Plant growing in saline and arid lands. (translated). Mazandaran University Publication. 407p. [In Persian].
- Bassil, B.S., Kaffka, S.R., 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation. II Crop response to salinity. Agric. Water Manage. 54, 81-92.
- Bhardway, R., Singhal, G., 1981. Effect of water stress on photochemical activity of chloroplasts during greening etiolated barley seedlings. Plant Cell Physiol. 22(2), 155-162.
- Bishop, D.L., Bughee, B.G., 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi dwarf wheat. J. Plant Physiol. 153, 558-565.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. Annal. Biochem. 38, 248-252.
- Davey, M.W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J., Swennen, R.I., 2005. High throughput of malondialdehyde in plant. Annal. Biochem. 347, 201-207.
- Estill, K., Delany, R.H., Smith, W.K., Ditterline, R.L., 1991. Water relations and productivity of alfalfa leaf chlorophyll variants. Crop Sci. 25, 345-348.
- Hassibi, P., Moradi, F., Nabipour, M., 2009. The effect of low temperatures and antioxidant mechanism in susceptible and resistant genotypes of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings in the seed stage. Iranian J. Crop Sci. 10(3), 262-280. [In Persian with English summary].
- Havaux, M., Emez, M., Lannoye, R., 1998. Selection de varieties de ble dur (*Triticum durum* Desf.) et de ble tender (*Triticum aestivum* L.) adapted a la secheresse par I mesure de I extinction de la et de ble tender (*Triticum aestivum* L.) adapted a la secheresse par I mesure de I extinction de la fluorescence de la chlorophylle in viva. Agronomie. 8(3), 193-199.
- Health, R.L., Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast, I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch. Biochem. Biophys. 125(1), 189-198.
- Irigoyen J.J., Emerich, D.W., Sanchez-Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiol. Plantarum. 84, 55-60.
- Kameli, A., Losel, D.M., 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. New Phytol. 132, 57-62.

- Lal, A., Edwards, G.E., 1996. Analysis of inhibition of photosynthesis under water stress in the C₄ species *Amaranthus cruentus* and *Zea mays*: electron transport, CO₂ fixation and carboxylation capacity. *Aust. J. Plant Physiol.* 23, 403-412.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M., 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Viticult.* 39(4), 313-320.
- Moffatt, J., Sears, M.R.G., Paulsen, G., 1990. Wheat height temperature tolerance during reproductive growth. I: Evaluation by chlorophyll fluorescence. *Crop Sci.* 881-885.
- Naderi Darbaghshahi, M.R., Nour Mohamadi, Gh., Majidi, A., Darvish, F., Shirani Rad, A.H., Madani, H., 2005. Effect of drought stress and plant density on eco-physiological traits of three lines of safflower in summer planting. *Seed Plant Prod. J.* 20(3), 281-296. [In Persian with English summary].
- Nautiyal, P.C., Nageseara, R.R., Joshi, Y.C., 2002. Moisture-deficit induced changes in leaf-water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. *Field Crop Res.* 74, 67-79.
- Ninganoor, B.T., Parameshwarapa, K.G., Chetti, M.B., 1995. Analysis of some physiological characters and their association with seed yield and drought tolerance in safflower genotypes. *Karnataka J. Agric. Sci.* 8(1), 46-49.
- Paquine, R., Lechasseur, P., 1979. Observations sur une methode dosage la libre dans les de plantes. *Can. J. Bot.* 57, 1851-1854.
- Pasbaneslam, B., 2002. Safflower. *East Azarbaijan Agri-Jihad Organization Magazine.* 694, 1-2. [In Persian with English summary].
- Patakas, A., 2000. Changes in the solutes contributing to osmotic potential during leaf ontogeny in grapevine leaves. *Am. J. Enol. Viticult.* 51(3), 223-226.
- Rajinder, S.D., 1987. Glutathione status and protein synthesis during drought and subsequent dehydration in *Torula rulis*. *Plant Physiol.* 83,816-819.
- Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, E., Sepehri, R., Najafian, G., Shaabani, A., 2011. The effect of terminal drought stress on physiological characteristics and source-sink relationship in two cultivar of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian J. Agric. Sci.* 12(4), 392-408. [In Persian with English summary].
- Salehi, M., Koochaki, E., Nasiri Mahalati, M., 2004. Nitrogen and chlorophyll levels as an indicator of drought stress in wheat. *Iranian J. Field Crop Res.* 1(2), 199-205. [In Persian with English summary].
- SAS Institute Inc. 1997. SAS users guide. (SAS Inc.: Cary, NC).
- Scarfts-Brandner, S.J., Egli, D.B., 1987. Sink removal and leaf senescence in soybean. *Plant Physiol.* 85, 662-666.
- Weatherley, P.E., 1950. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytol.* 49, 81-87.