



ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

تحت تنش کم‌آبی و کاربرد براسینواستروئید

مهناز ظفیری^{۱*}، علی عبادی^۲، سدابه جهانبخش گده کهریز^۳ و محمد صدقی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۰/۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۳۰

چکیده

جهت بررسی اثر تنش کم‌آبی و کاربرد تنظیم کننده رشد براسینواستروئید بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گلرنگ بهاره، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۲ به صورت اسپلٹ پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش خشکی در سه سطح آبیاری، پس از ۸۰ میلی‌متر (آبیاری نرمال)، ۱۲۰ میلی‌متر (تنش ملایم) و ۱۶۰ میلی‌متر (تنش شدید) تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به عنوان عامل اصلی و سه رقم گلرنگ بهاره (گلدشت، سینا خاردار و فرامان) و دو سطح تنظیم کننده رشد براسینواستروئید (شاهد و مصرف 10^{-7} مولار) به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، CO_2 زیر روزنه‌ای، کارایی مصرف آب، شاخص SPAD و پروتئین محلول برگ، میزان تعرق و عملکرد دانه گردید. در آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، حداکثر مقادیر تعرق و هدایت روزنه‌ای به رقم فرامان، CO_2 زیر روزنه‌ای به رقم سینا خاردار و شاخص SPAD به رقم گلدشت مربوط بودند. در تنش ملایم حداکثر میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای به رقم گلدشت و بالاترین مقدار CO_2 زیر روزنه‌ای به رقم سینا خاردار تعلق داشتند. در تنش شدید، حداکثر مقادیر تعرق، هدایت روزنه، شاخص SPAD و CO_2 زیر روزنه‌ای در رقم گلدشت مشاهده شد. به نظر می‌رسد در منطقه اردبیل، رقم گلدشت در هر دو تنش خشکی ملایم و شدید دارای تحمل بهتری نسبت به دو رقم دیگر است.

واژگان کلیدی: براسینواستروئید، پروتئین محلول برگ، تبادلات گازی، پارامترهای فتوسنتزی، گلرنگ.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

مقدمه

تنش کمبود آب یک تهدید دایمی برای زندگی گیاه است و خشک‌سالی و تنش حاصل از آن یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی می‌باشد که تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با محدودیت مواجه ساخته است (Yonesi *et al.*, 2010). کمبود آب با از بین رفتن آماس سلول‌ها، باعث مختل شدن فرایندهای فیزیولوژیکی، توقف رشد برگ، کاهش فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تغییر در متابولیسم، خشک شدن و مرگ گیاه می‌شود (Alizade, 1995).

فتوسنتز، تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش-های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به‌واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش کاهش می‌یابد. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش گرچه به‌منظور کاهش هدر رفت آب صورت می‌گیرد، اما به واسطه جلوگیری از ورود دی اکسید کربن می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Ashraf and Harris, 2004).

شاخص سبزیگی تخمینی از غلظت کلروفیل را نشان می‌دهد. این عدد همبستگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ و نیتروژن دارد (Hassibi, 2007). برای کاهش اثر سوء تنش خشکی بر گیاهان زراعی، روش‌های زراعی و فیزیولوژیکی مختلفی به‌کار می‌رود که در این میان استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها است. در بین مواد شیمیایی مختلفی که برای کاهش اثرات

نامطلوب تنش آبی وجود دارند، براسینواستروئید ماده‌ای است که رشد و تولید گیاهان را تحت شرایط خشکی تنظیم می‌کند. کاربرد خارجی براسینولید فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی مانند فتوسنتز، اسیدهای نوکلئیک، تجمع پرولین و ساخت پروتئین را تحریک می‌کند. همچنین ثابت شده است که این ماده، در مراحل رونویسی ژن و ترجمه نقش داشته و سطوح پروتئین‌ها و آنزیم‌ها را بهبود می‌بخشد. با وجود اینکه بسیاری از مطالعات روی بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های شوری و دمای بالا متمرکز شده است، گزارش‌های محدودی در خصوص توانایی براسینولید در کاهش اثر خشکی در گیاهان زراعی وجود دارد (Anjum *et al.*, 2011a).

گلرنگ دارای خصوصیات ارزشمندی از جمله سازگاری با شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک می‌باشد (Rohini and Sankara, 2000). تولید دانه گلرنگ در جهان در سال ۲۰۱۲ معادل ۲۰۲۲۲ تن، و در ایران در سال ۲۰۱۴ حدود ۸۰۰ الی ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAO., 2012). از آنجایی که تاکنون در اردبیل، گلرنگ به عنوان دانه روغنی کشت نشده است.

با توجه به اهمیت گلرنگ در صنعت روغن-کشی و کیفیت بالای دانه روغنی گلرنگ بین سایر دانه‌های روغنی، تصمیم گرفته شد که این گیاه در شرایط آب و هوایی اردبیل کشت شود تا میزان محصول در تنش خشکی در هر دو حالت مصرف و عدم مصرف براسینواستروئید آزمایش شود که در صورت مناسب بودن میزان محصول، کشت رقم مناسب گلرنگ برای کشاورزان این منطقه ترویج شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۳۸/۲۵ شمالی و ۴۸/۳۰ شرقی در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا اجرا شد. بارش این منطقه بر اساس آمار ۳۰ ساله هواشناسی بین ۲۸۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بوده که بیش‌تر به‌صورت بارش زمستانه است. خاک منطقه دارای بافت سیلتی لومی است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ درج شده است. آزمایش به‌صورت اسپلٹ پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. عامل اصلی آبیاری در سه سطح آبیاری پس از ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A (Nezarat et al., 2013) و عامل فرعی شامل سه رقم گلرنگ بهاره (گلدشت، سینا و فرمان) (جدول ۵) و تنظیم‌کننده رشد براسینواستروئید در دو سطح صفر و 10^{-7} مولار بود (Dalio et al., 2013). زمان آبدهی به هر کرت، بر اساس میزان تبخیر آب مورد نظر از تشتک کلاس A در نظر گرفته شد. میزان آبدهی به هر کرت اصلی به میزان یکسان انجام گرفت، بدین گونه که، در زمان آبیاری هر کرت مورد نظر، آب در اولین جوی ردیف کشت رها شده و وقتی به انتهای آخرین ردیف کشت رسید آبدهی به اتمام رسید (آبیاری به حالت جوی پشته‌ای انجام گرفت).

کود دامی پوسیده قبل از کشت و موقع تهیه بستر کشت و شخم‌زنی به میزان ۵/۵ تن در هکتار به زمین افزوده شد. کاشت در اردیبهشت ماه به صورت جوی و پشته‌ای در عمق ۳ سانتی‌متری، فاصله بین ردیف‌ها ۵۵ سانتی‌متر و بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت به حالت هیرم

کاری در اردیبهشت ماه انجام گرفت. آبیاری تا موقع گلدهی برای همه تیمارها یکسان بود و از مرحله ۲۵ درصد گلدهی تیمارهای تنش خشکی اعمال شد. سه روز بعد از اعمال هر تنش، تیمارهای براسینواستروئید تنها در یک مرحله، به حالت محلول‌پاشی بر برگ‌ها به میزان ۳ لیتر برای هر ۲۷۰ بوته در ۷/۲ مترمربع استفاده شد (Zafari et al., 2016). برداشت از نمونه‌ها با حذف دو ردیف حاشیه (اول و آخر) هر کرت و ۶۰ سانتی‌متر از طرفین کرت انجام شد. صفات مورد بررسی شامل شاخص‌های مربوط به تبادلات گازی از جمله سرعت فتوسنتز، میزان تعرق، میزان دی-اکسید کربن زیر روزنه‌ای و هدایت روزنه‌ای (Fischer et al., 1998) بود. با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی IRGA مدل (LCA4) تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها بعد از اعمال هر سطح تنش، در ساعت ۱۱ صبح تا ۱۳ ظهر انجام شد. از هر بوته سه برگ جوان انتخاب گردید. برگ‌ها در اتاقک دستگاه قرار داده شد و بعد از ثابت شدن پارامترها بعد از ۴۵ ثانیه، مؤلفه‌های فتوسنتزی اندازه‌گیری شدند. به‌منظور به دست آوردن کارایی مصرف آب لحظه‌ای، میزان فتوسنتز بر هدایت روزنه‌ای تقسیم شد (Ritchie et al., 1990). سنجش پروتئین‌ها به روش برادفورد (Bradford, 1976) مورد استفاده قرار گرفت. شاخص محتوای کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD-502 اندازه‌گیری شد. قرائت از ۳ نقطه از هر برگ انجام و سپس میانگین سه نقطه به‌دست آمد.

برای تعیین عملکرد دانه هر رقم، در هر کرت از دو ردیف میانی و سطحی به مساحت یک متر مربع برداشت شده و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

میلی‌متر تبخیر از تشتک، و بیشتر بودن میزان آن در تنش ملایم و شدید در گلدشت نسبت به فرامان و سینا، می‌تواند به علت مقاومت رقم گلدشت به کم‌آبی باشد. مقاومت بیشتر به خشکی با مقادیر بالاتر هدایت روزنه و تعرق مرتبط است. چرا که بستن روزنه‌ها به مدت طولانی می‌تواند به تخریب کلروپلاست (Jones *et al.*, 1981) و افزایش دمای برگ منجر شود. بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به تنش خشکی یک فرایند جذب آب نیست بلکه با کاهش تورژسانس سلول‌های روزنه مرتبط است. ورونا و کالکاگنو (Verona and Calcagno, 1991) بیان داشته‌اند که برای عملکرد بهتر، گیاه بایستی روزنه‌های خود را در طی تنش باز نگه دارد تا آب و مواد غذایی را به نحو بهتری از خاک جذب کند. در این حالت چنین رقم‌هایی می‌توانند به‌عنوان مقاوم به خشکی مورد توجه قرار گیرند. اثر اصلی براسینواستروئید بر افزایش میزان هدایت روزنه (۱۷/۱۷ درصد) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). براسینواستروئید می‌تواند با کمک به تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی باعث جذب آب و تداوم تورژسانس شده و در نتیجه منجر به افزایش هدایت روزنه و ورود بیشتر دی‌اکسید کربن به گیاه شود (Pustovoitova *et al.*, 2000). روزنه‌ها منافذ جذب دی‌اکسید کربن و اتلاف آب هستند. یکی از اولین واکنش‌های گیاهان به تنش خشکی بسته شدن روزنه‌ها است که سرعت فتوسنتز را نیز کاهش می‌دهد (Anjum *et al.*, 2011b). کاهش هدایت روزنه‌ای تحت تنش خشکی و افزایش هدایت روزنه‌ای با اعمال براسینواستروئید در شرایط تنش خشکی در گیاه ذرت توسط (Anjum *et al.*, 2011a) گزارش شده است. همچنین، کاهش و افزایش هدایت روزنه‌ای در

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید و مقایسه میانگین اثرهای اصلی و متقابل به روش دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

هدایت روزنه‌ای: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش، رقم، تنظیم‌کننده رشد براسینواستروئید و برهمکنش تنش و رقم بر میزان هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش سطح تبخیر، از میزان هدایت روزنه‌ای رقم فرامان و سینا کاسته شده است، اما در رقم گلدشت با افزایش سطح تبخیر از ۸۰ به ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، هدایت روزنه‌ای ۳۱/۲۵ درصد افزایش و با افزایش سطح به ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، افت شدید هدایت روزنه‌ای (۵۱/۲۵ درصد کاهش) مشاهده شد (جدول ۴).

کاهش هدایت روزنه‌ای می‌تواند به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی باشد، تا از این طریق تلفات آب به حداقل برسد. بیش از ۹۹ درصد آب جذب شده توسط ریشه‌های گیاه از طریق تعرق و به‌ویژه توسط روزنه‌های برگ از دست می‌رود. تحت تنش آبی، گیاه سعی می‌کند محتوی آب خود را با کاهش هدایت روزنه‌ای حفظ کند (Anjum *et al.*, 2011 a). کاهش هدایت روزنه با افزایش تنش کم‌آبی در یونجه نیز گزارش شده است (Zafari *et al.*, 2012). در سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، رقم فرامان و رقم سینا خاردار به‌ترتیب از بیشترین و کمترین هدایت روزنه برخوردار بودند. اما در سطح ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، رقم گلدشت نسبت به دو رقم دیگر در میزان هدایت روزنه برتری داشت. افزایش هدایت روزنه رقم گلدشت در سطح ۱۲۰

فرمان در جلوگیری از هدر رفت آب و در نتیجه بستن روزنه نسبت به رقم گلدشت کارآتر عمل کرده است و رقم سینا خاردار در سطح ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، نسبت به دو رقم دیگر در جلوگیری از تبخیر و اتلاف آب موفق‌تر بوده است و این ممکن است ناشی از تولید بیشتر تنظیم‌کننده‌های اسمزی یا ژنتیک خاردار بودن و کمبود سطح تعرق‌کننده باشد زیرا که بیشترین اتلاف آب از طریق برگ‌ها صورت می‌گیرد. کاهش میزان تعرق در رقم سینا در برابر تنش نسبت به رقم گلدشت پیش‌تر از این نیز گزارش شده بود (Javadipour *et al.*, 2013). مقایسه میانگین اثر ساده شبه هورمون براسینواستروئید (جدول ۳) گویای این مطلب است که اعمال براسینواستروئید باعث کاهش معنی‌دار میزان تعرق (۵/۰۶ درصد) در گیاه شده است (Hnilicka *et al.*, 2010). سرعت فتوسنتز: تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی تیمارهای آبیاری، رقم، براسینواستروئید و برهمکنش رقم و آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در سطح ۸۰ میلی-متر تبخیر از تشتک، هر سه رقم سینا خاردار، گلدشت و فرمان در یک دامنه آماری بودند. در سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، رقم سینا خاردار با رقم گلدشت در یک دامنه آماری بوده و نسبت به رقم فرمان سرعت فتوسنتز بیشتری داشت و فرمان نیز با گلدشت در یک دامنه آماری بودند. در سطح ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک نیز هر سه رقم در یک دامنه آماری بودند. همچنین، با افزایش سطح تبخیر در هر سه رقم، میزان سرعت فتوسنتز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از اثرات روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای باشد. به عبارتی فتوسنتز از دو طریق

گیاه نخود به‌ترتیب تحت تنش شوری و اعمال براسینواستروئید توسط (Shahid *et al.*, 2011) گزارش شده است.

تعرق: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش، رقم، تنظیم‌کننده رشد براسینواستروئید و برهمکنش تنش و رقم بر میزان تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). با افزایش تبخیر از ۸۰ به ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، میزان تعرق در رقم فرمان ۱۱/۵۳ درصد کاهش یافته ولی در رقم گلدشت (۹۲/۸۵ درصد) و سینا خاردار (۲۹/۸۲ درصد) افزایش یافت (جدول ۴). احتمالاً رقم فرمان نسبت به گلدشت و سینا در مقابله با تنش کم‌آبی زودتر به تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی یا ABA روی می‌آورد. ولی با افزایش تبخیر به ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، سطح تعرق در هر سه رقم نسبت به سطح ۱۲۰ میلی‌متر و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کاهش یافت. به‌طوری‌که، از ۱۲۰ به ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کاهش ۵۳/۲۶ درصد در فرمان، ۵۸/۷۳ درصد در گلدشت و ۷۱/۰۵ درصد کاهش تعرق در سینا مشاهده شد. گیاه با تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل قندهای محلول و به‌ویژه پرولین با افزایش مقاومت روزنه‌ها باعث کاهش تعرق می‌شود (Siosemardeh *et al.*, 2003). بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش علاوه بر تولید ABA در ریشه و ارسال آن به برگ‌ها، کاهش پتانسیل آماسی در برگ نیز مؤثر بوده و به احتمال زیاد از طریق ABA تولید شده در خود برگ‌ها عمل می‌کند (Ramachandra *et al.*, 2004). رقم فرمان در سطح تبخیر ۱۲۰ میلی‌متر دارای کمترین میزان تعرق بود و تعرق در رقم فرمان با افزایش سطح تبخیر روند کاهشی داشت، رقم

کربن زیر روزه‌ای به ترتیب در ارقام گلدشت، سینا (۷/۳۶ درصد کاهش نسبت به گلدشت) و فرامان (۱۱/۷۲ درصد کاهش نسبت به سینا خاردار) مشاهده شد. کاهش دی اکسید کربن زیر روزه‌ای با تنش خشکی در گندم نیز گزارش شده است (Rohi and Siosemardeh, 2008).

میزان دی‌اکسیدکربن زیر روزه‌ای با هدایت روزه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد داشت. بنابراین، با افزایش و کاهش هدایت روزه جذب و میزان دی‌اکسید کربن زیر روزه‌ای افزایش و کاهش خواهد یافت. براسینواستروئید با تاثیر بر افزایش پروتئین محلول و یا افزایش سایر تنظیم کننده‌های اسمزی از جمله پرولین (Ahmadi mousavi et al., 2005) می‌تواند با افزایش دوام جذب آب از خاک، منجر به افزایش آماس سلول و هدایت روزه و در نتیجه افزایش ۲/۸۴ درصدی دی اکسیدکربن زیر روزه‌ای شود، چرا که بین افزایش پروتئین محلول با هدایت روزه‌ای و میزان دی اکسیدکربن زیر روزه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد.

کارآیی مصرف آب لحظه‌ای: شاخصی است که میزان فتوسنتز را به ازای هر واحد هدایت روزه‌ای و تعرق نشان می‌دهد. اثرات اصلی تیمارهای آبیاری، ارقام و براسینواستروئید و اثر متقابل آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطح تبخیر از میزان کارآیی مصرف آب لحظه‌ای کاسته می‌شود. در سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، کارآیی مصرف آب لحظه‌ای رقم گلدشت با رقم سینا خاردار تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند و هر دو نسبت به رقم فرامان برتری داشتند. در ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، سینا

تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، اول آن که بسته شدن روزه‌ها دسترسی کلروپلاست را به دی‌اکسید کربن محدود می‌کند، دوم آنکه پایین بودن پتانسیل آب اثرات مستقیمی بر ساختمان اجزای دخیل در فتوسنتز دارد. عموماً پذیرفته شده است که محدودیت روزه‌ای عامل اصلی تعیین کننده کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی است (Cornic, 2000). براسینواستروئید باعث افزایش معنی‌دار ۵۳/۳۱ درصدی سرعت فتوسنتز نسبت به عدم مصرف براسینواستروئید شد (جدول ۳). براسینواستروئید می‌تواند با کمک به تولید تنظیم کننده‌های اسمزی از جمله پروتئین محلول باعث جذب آب و تداوم تورژانس شده و در نتیجه منجر به افزایش هدایت روزه و ورود بیشتر دی اکسید کربن به گیاه شود (Pustovoitova et al., 2000). افزایش سرعت فتوسنتز تحت تاثیر براسینواستروئید در نخود توسط (Shahid et al., 2011) گزارش شده است.

میزان دی اکسید کربن زیر روزه‌ای: نتایج

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری، رقم، براسینواستروئید و برهمکنش آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش سطح تبخیر از میزان دی اکسید کربن زیر روزه‌ای کاسته شد (جدول ۴). در سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، هر سه رقم در یک دامنه آماری قرار داشتند، در ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، رقم‌های گلدشت و فرامان با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی رقم سینا خاردار میزان دی اکسید کربن زیر روزه‌ای بیشتری نسبت به دو رقم دیگر داشت. با افزایش تبخیر به ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، کاهش میزان دی اکسید

باهم اختلاف داشتند. در سطح ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، ارقام فرامان و سینا از لحاظ شاخص محتوای کلروفیل باهم در یک دامنه آماری بودند و رقم گلدشت با اختلاف معنی‌دار شاخص کلروفیل بالایی نسبت به دو رقم دیگر داشت. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص کلروفیل با کارایی مصرف آب و پروتئین محلول، دی‌اکسیدکربن زیر روزه‌ای و سرعت فتوسنتز نشان‌دهنده این است که شاخص کلروفیل در گیاه با سایر صفات فیزیولوژیکی مرتبط بوده و مجموعه عوامل مذکور در شاخص کلروفیل گیاه دخیل هستند. در نتیجه با کاهش صفات مذکور تحت تنش خشکی، شاخص کلروفیل نیز کاهش می‌یابد. البته نمی‌توان به طور قطع گفت کدام عامل باعث شده است که گلدشت نسبت به ارقام دیگر از شاخص کلروفیل بالایی برخوردار باشد. اما به احتمال قوی، بالا بودن شاخص کلروفیل گلدشت نسبت به ارقام دیگر ناشی از خصلت پاکوتاه بودن و کوچکی سطح برگ‌ها باشد. برخی تحقیقات نشان داده‌اند که ارقام پاکوتاه گندم، سطح برگ کوچک‌تر، غلظت کلروفیل بیشتر، ظرفیت تبادل خالص و دی‌اکسیدکربن بیشتری در مقایسه با ارقام پابلند دارند (Bishop and Bughee., 1998). اینک رقم سینا از شاخص محتوای کلروفیل کمتری برخوردار است ممکن است ناشی از خاردار بودن و کمبود تعداد و سطح برگ باشد. تنش خشکی باعث از هم‌گسیختگی ساختار سلول و در نتیجه اختلال در آنزیم‌های سلول می‌باشد و از جمله کلروفیل که عامل اصلی در فرایند فتوسنتز و در نتیجه کاهش آسیمیلات سازی شده و در نتیجه کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Ahmadi and Siosemardeh, 2004). کاهش شاخص محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی در

به‌طور معنی‌داری کارایی مصرف آب بیشتری (۲۰/۲۰ درصد) نسبت به گلدشت داشت. در سطح ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، کارایی مصرف آب سینا خاردار با اختلاف معنی‌دار (۳۱/۸۴ درصد) بیشتر از رقم فرامان بود، ولی با گلدشت در یک دامنه آماری قرار داشتند. همچنین، گلدشت با رقم فرامان تفاوت معنی‌داری نداشت. از نظر این صفت رقم سینا خاردار متحمل‌تر بود که توانست در بیش‌ترین سطح تنش خشکی کارایی مصرف آب بالاتری را داشته باشد.

اعمال براسینواستروئید با ۱۸ درصد اختلاف باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب لحظه‌ای شد (جدول ۳). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین کارایی مصرف آب با دی‌اکسیدکربن زیر روزه‌ای و شاخص محتوای کلروفیل، مؤید این مطلب است که براسینواستروئید می‌تواند با تاثیر بر افزایش دی‌اکسیدکربن زیر روزه‌ای و تنظیم کننده‌های اسمزی (Zafari et al., 2016) منجر به افزایش کارایی مصرف آب شود. اما با تعرق و سرعت فتوسنتز همبستگی نشان نداد که نشان می‌دهد کاهش کارایی مصرف آب با افزایش تنش می‌تواند در اثر کاهش میزان CO₂ زیر روزه‌ای باشد که بیشتر متاثر از عوامل غیر روزه‌ای است تا عوامل روزه‌ای (Flexas et al., 2008).

شاخص محتوای کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای ارقام، آبیاری و براسینواستروئید و اثر متقابل آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، رقم گلدشت بیشترین شاخص محتوای کلروفیل و رقم سینا کمترین شاخص کلروفیل را به خود اختصاص دادند به‌طوری‌که، ۲۰ درصد

حفاظتی پروتئین‌های محلول در حفظ فتوسنتز تحت تنش دارد. کاهش پروتئین محلول که با کاهش روبیسکو و نقصان فتوسنتز همراه است به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئاز می‌باشد (Mafakheri *et al.*, 2010).

عملکرد دانه: تیمارهای آبیاری، براسینواستروئید و رقم در سطح احتمال یک درصد عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار دادند (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی از میزان عملکرد دانه به شدت کاسته شد. سطح تبخیر ۸۰ میلی‌متر از بیشترین میزان عملکرد دانه (۶۵۷۸/۵ کیلوگرم در هکتار) برخوردار بود که با افزایش سطح تبخیر به ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر، به ترتیب ۴۸ و ۶۳/۸۴ درصد کاهش عملکرد مشاهده گردید. بیشترین افت عملکرد متعلق به افزایش تبخیر از ۸۰ میلی‌متر به ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک است و این به دلیل کاهش شدید کارآیی مصرف آب از ۸۰ میلی‌متر به ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر اب از تشتک است که با عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (شکل ۱: الف). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با دی‌اکسید کربن زیرروزنه‌ای، شاخص محتوای کلروفیل و کارآیی مصرف آب نشان می‌دهد که تنش خشکی از طریق کاهش میزان صفات مذکور منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. کاهش عملکرد دانه در گلرنگ طی تنش خشکی در یافته‌های امید (Omidi, 2009) گزارش شده است. بین واریته‌های گلرنگ در اجزای عملکرد، رقم فرامان با مقدار (۵۰۰۶/۶ کیلوگرم در هکتار) از میزان عملکرد دانه بیشتری نسبت به سینا و گلدشت برخوردار بود، و سینا با گلدشت در یک دامنه آماری قرار داشتند (شکل ۱: ب). مصرف براسینواستروئید با اختلاف

گیاه ماش نیز مشاهده شده است (Shokohfar and Abofitilenegad., 2013) اعمال براسینواستروئید باعث افزایش شاخص محتوای کلروفیل شده و این اختلاف با مقدار ۳/۶۱ درصد، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). براسینواستروئید با تاثیر بر سایر صفات مذکور که همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص محتوای کلروفیل داشتند می‌تواند اثر خود را به حالت غیرمستقیم بر افزایش شاخص محتوای کلروفیل اعمال نماید.

پروتئین محلول برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارهای آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد برای پروتئین محلول برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمار ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، هر سه رقم در یک دامنه آماری قرار داشتند اما در تنش‌های ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، رقم گلدشت کمترین میزان پروتئین را داشت و رقم فرامان و سینا خادار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول ۴). کاهش پروتئین محلول در اثر تنش کم‌آبی در یونجه توسط ظفری و همکاران (Zafari *et al.*, 2012) نیز گزارش شده است. یک احتمال برای افت شدید پروتئین محلول برگ در گلدشت می‌تواند ناشی از زودرس بودن این رقم باشد، زیرا به محض تشکیل دانه، مواد غذایی به خصوص نیتروژن از برگ به دانه انتقال پیدا می‌کند و در نتیجه از میزان پروتئین کاسته می‌شود (Scarfts-Brandner and Egli, 1987). مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار براسینواستروئید نشان داد که اعمال این پیش‌هورمون باعث افزایش معنی‌دار (۲۹/۳۳ درصد) در میزان پروتئین محلول برگ شد (جدول ۳). رابطه مثبت و معنی‌دار بین پروتئین محلول برگ با سرعت فتوسنتز دلالت بر نقش آنزیمی و

فتوسنتز (۱۸/۸۱ میکرومول CO₂ بر مترمربع بر ثانیه) نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود و بعد از آن رقم گلدشت نسبت به فرامان مقاومتر بود. در حالی که در سطح تنش شدید ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر آب، رقم سینا افت داشت و تحمل کمتری نسبت به دو رقم دیگر داشت و در این سطح، گلدشت نسبت به دو رقم دیگر از لحاظ شاخص سبزیگی (۵۷/۲۲)، دی اکسید کربن زیر روزه‌ای (۵۲۴/۱۸ میکرولیتر بر لیتر)، هدایت روزه‌ای (۰/۵۲ میلی‌مول CO₂ بر مترمربع بر ثانیه) و تعرق (۰/۵۲ مول بر مترمربع بر ثانیه) برتری معنی‌داری نسبت به دو رقم دیگر داشت. اثر اصلی رقم بر عملکرد دانه نشان داد که فرامان از بیشترین عملکرد دانه برخوردار است. بنابراین، با توجه به هر دو سطح تنش ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر، چنان به نظر می‌رسد که رقم گلدشت برای منطقه اردبیل مناسب می‌باشد که دامنه تغییرات آن با افزایش یا کاهش تنش کمتر از دو رقم دیگر است. همچنین، نتیجه‌گیری شد که اعمال براسینواستروئید باعث افزایش معنی‌دار مؤلفه‌های فتوسنتزی و کاهش تعرق شد.

معنی‌دار موجب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۵/۶۹ درصد شد (جدول ۴). افزایش عملکرد دانه با مصرف براسینواستروئید در هر دو شرایط تنش خشکی و عدم تنش در ماش گزارش شده است (Sengupta *et al.*, 2011). افزایش عملکرد دانه توسط براسینواستروئید علاوه بر همبستگی موارد ذکر شده، می‌تواند در اثر افزایش محتوای کلروفیل، محتوای آب نسبی و تنظیم کننده‌های اسمزی باشد که با غلبه بر تنش موجب بهبود عملکرد دانه می‌شوند (Zafari *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این بررسی، تعدادی از صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گلرنگ تحت تاثیر تنش کم‌آبی قرار گرفت. تنش کم‌آبی صرف نظر از نوع ژنوتیپ باعث بهم ریختن واکنش‌های داخل سلولی و در نتیجه متابولیت‌های سلولی گردید. در بین سه رقم کاشته شده رقم سینا در سطح تبخیر ۱۲۰ میلی‌متر، رقم مناسبی برای کشت بود به دلیل اینکه به ترتیب در پروتئین (۱۷/۷۵ میلی‌گرم بر گرم)، کارایی مصرف آب (۹/۸۵ میکرومول CO₂ بر میلی‌مول H₂O)، دی‌اکسید کربن زیر روزه‌ای (۵۶۱/۶۷ میکرولیتر بر لیتر) و سرعت

جدول ۱- تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Analysis of soil physical and chemical characteristics

شوری (dS/m)	اسیدیته PH	کربنات کلسیم CaCO ₃ (%)	کربن آلی Organic Matter (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)
3/74	7/83	14/45	0/0626	35	42	23	0/0626	29/82	20/21

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای فتوسنتزی اندازه گیری شده ارقام گلرنگ
Table 2- Analysis of variance photosynthetic parameters measured

منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	پروتئین محلول Soluble protein	شاخص محتوای کلروفیل Spad	کارآبی مصرف آب لحظه ای WUE	دی اکسید کربن زیر روزنه sub-stomat CO ₂
تکرار Replication	2	0.31 ^{ns}	6.78 ^{ns}	3.66 ^{ns}	49.63 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	43.51 ^{**}	1024.62 ^{**}	688.61 ^{**}	12802.11 ^{**}
خطای کرت اصلی Error a	4	0.25 ^{ns}	17.04 ^{ns}	1.60 ^{ns}	13.47 ^{ns}
رقم Cultivar	2	152.96 ^{**}	510.80 ^{**}	20.40 ^{**}	10283.42 ^{**}
براسینواستروئید Brassinosteroid	1	183.63 ^{**}	176.04 ^{**}	64.11 ^{**}	2898.28 ^{**}
C × I آبیاری × رقم	4	5.87 ^{**}	32.77 ^{**}	8.13 ^{**}	4321.71 ^{**}
I × B براسینواستروئید × آبیاری	2	1.18 ^{ns}	0.107 ^{ns}	0.085 ^{ns}	0.38 ^{ns}
C × B رقم × براسینواستروئید	2	1.31 ^{ns}	0.0937 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.50 ^{ns}
B × C × I آبیاری × رقم × براسینواستروئید	4	1.18 ^{ns}	0.211 ^{ns}	0.038 ^{ns}	0.94 ^{ns}
خطای کرت فرعی Error b	30	0.87	150.47	1.38	2891.95
C.V ضریب تغییرات	-	8.73	4.56	10.67	1.13

ns, **, *, are insignificant, significant at the 5% and 1%
 ns, **, *, are insignificant, significant at the 5% and 1% درصد ۱ و ۵ درصد احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ادامه جدول ۲
Table 2- Continued

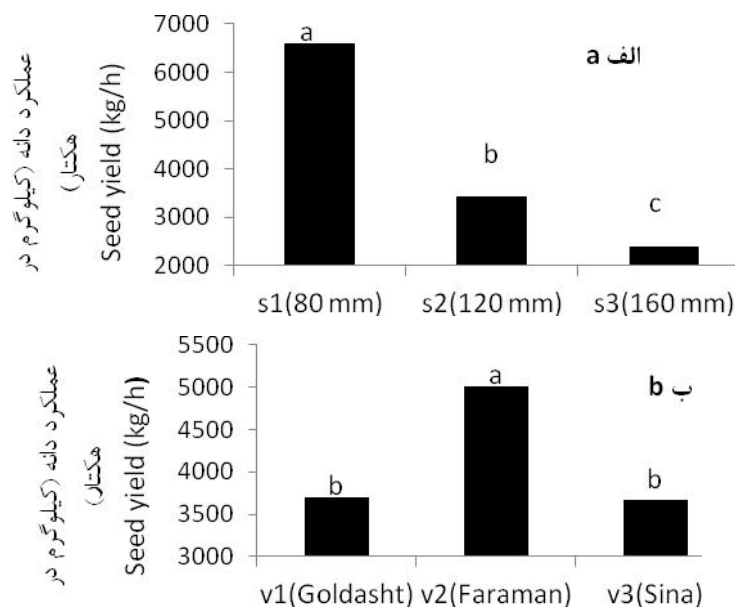
منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	فتوسنتز سرعت Photosynthetic rate	تعرق Perspiration	هدایت روزنه Stomatal conductance	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	5.84 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.0029 ^{**}	3003284.7 [*]
آبیاری Irrigation	2	685.249 ^{**}	2.21 ^{**}	0.022 ^{**}	86001248.9 ^{**}
خطای کرت اصلی Error a	4	2.31 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.00061 ^{ns}	451935.2 ^{ns}
رقم Cultivar	2	40.77 ^{**}	0.090 ^{**}	0.0331 ^{**}	10412415.6 ^{**}
براسینواستروئید Brassinosteroid	1	1362.02 ^{**}	0.022 ^{**}	0.0037 ^{**}	16919533.2 ^{**}
C × I آبیاری × رقم	4	77.02 ^{**}	0.109 ^{**}	0.022 ^{**}	257156.3 ^{ns}
I × B براسینواستروئید × آبیاری	2	1.21 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	723359.1 ^{ns}
C × B رقم × براسینواستروئید	2	1.57 ^{ns}	0.00018 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	3850.4 ^{ns}
B × C × I آبیاری × رقم × براسینواستروئید	4	1.39 ^{ns}	0.00014 ^{ns}	0.000002 ^{ns}	5 64329.4 ^{ns}
خطای کرت فرعی Error b	30	3.67	0.00084	0.00036	9665284.1
C.V ضریب تغییرات	-	13.86	3.50	20.92	18.91

ns, **, *, are insignificant, significant at the 5% and 1%
 ns, **, *, are insignificant, significant at the 5% and 1% درصد ۱ و ۵ درصد احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای فتوسنتزی اندازه گیری شده تحت تأثیر براسینواستروئید

Table 3. Comparison of photosynthetic parameters measured safflower cultivar in effect Brassinosteroids

تیمارها Treatments	پروتئین محلول Soluble Protein (mg/g f.wt)	شاخص محتوای کلروفیل Spad	کارایی مصرف آب لحظه‌ای WUE ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$)	CO ₂ زیر روزنه Sub Stomat CO ₂ ($\mu\text{l l}^{-1}$)	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}^{-1}$)	هدایت روزنه Stomatal conductance ($\text{mmol CO}_2/\text{m}^2\text{s}^{-1}$)	تعرق Perspiration ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield (kg/h)
اعمال 10 ⁻⁷ مولار براسینواستروئید Use 10 ⁻⁷ M brassinosteroid	12.58 ^a	60.27 ^a	12.11 ^a	515.42 ^a	18.85 ^a	0.099 ^a	0.79 ^b	4687.7 ^a
عدم اعمال براسینواستروئید Lack of apply brassinosteroid	8.89 ^b	56.66 ^b	9.93 ^b	500.76 ^b	8.80 ^b	0.082 ^b	0.83 ^a	3568.2 ^b



شکل ۱- مقایسه میانگین پارامترهای فتوسنتزی اندازه گیری شده تحت تأثیر آبیاری (الف) و رقم (ب)

Figure 1- Comparison of photosynthetic parameters measured safflower cultivar in effect irrigation (a) and cultivar (b)

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم پارامترهای فتوسنتزی اندازه گیری شده ارقام گلرنگ
Table 4- compares the average interaction of water and cultivar of photosynthetic parameters measured of safflower cultivar

تیمارها Treatments	پروتئین محلول Soluble Protein (mg/g f.wt)	شاخص محتوای کلروفیل Spad	کارایی مصرف آب لحظه‌ای WUE (μmol CO_2/mmol H_2O)	دی اکسید زیر کربن روزنه ای CO_2 under Stomat ($\mu\text{l l}^{-1}$)	سرعت فتوسنتز Photosynt hetic rate ($\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	هدایت روزنه Stomatal conductance (mmol CO_2 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	تعرق Perspiration ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 80 mm evaporation	گلدشت Goldasht 8.84 ^{adc}	فرامان Faraman 74.40 ^a	19.40 ^a	494.01 ^c	16.61 ^{abc}	0.11 ^c	0.090 ^d
	سینا Sina 13.67 ^a	59.51 ^c	15.86 ^b	484.41 ^c	19.95 ^a	0.22 ^a	1.04 ^c
	گلدشت Goldasht 14.21 ^a	60.70 ^c	18.75 ^a	534.45 ^b	22.77 ^a	0.028 ^f	0.80 ^e
آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 120 mm evaporation	گلدشت Goldasht 6.59 ^d	57/22 ^{dc}	7.86 ^d	525.41 ^b	12.98 ^{bdc}	0.16 ^b	1.26 ^a
	فرامان Faraman 12.16 ^{ab}	50.17 ^e	8.78 ^{dc}	523.51 ^b	10.93 ^{dce}	0.065 ^{de}	0.92 ^d
	سینا Sina 17.75 ^a	46.38 ^e	9.85 ^c	561.67 ^a	18.81 ^{ab}	0.068 ^{de}	1.14 ^b
آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 160 mm evaporation	گلدشت Goldasht 6.71 ^d	57/22 ^{dc}	5.86 ^{ef}	524/18 ^b	7.88 ^{de}	0.078 ^d	0.52 ^f
	فرامان Faraman 10.74 ^{bc}	50.17 ^e	5.20 ^f	436.97 ^d	9.71 ^{de}	0.051 ^{ef}	0.43 ^g
	سینا Sina 9.95 ^{bc}	46.38 ^e	7.63 ^{de}	488.20 ^c	4.78 ^e	0.030 ^f	0.33 ^h

در هر ستون حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون Dunken می‌باشد.

In each column joint letters showed no statistical difference in the level of five percent is based on the test.

جدول ۵- ویژگی‌های ارقام کشت شده
Table 6- Characteristics of studied cultivars

رقم cultivar	ارتفاع بوته plant height	طول دوره رشد Growing season period	خاردار بودن Spines	رنگ گل Flower color
گلدشت Goldasht	پاکوتاه dwarf	زودرس early-mature	بی خار non spiny	قرمز red
فرامان Faraman	متوسط medium	متوسط رس mid-mature	بی خار non spiny	قرمز red
سینا Sina	متوسط medium	متوسط رس mid-mature	خاردار Spiny	زرد yellow

References

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, A., and A. Siosemardeh. 2004. Effects of water stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline contents of four Iranian wheat cultivars under different moisture regimes. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 35(3): 753-763. (In Persian).
- Ahmadi mousavi, E., Kh. Kalanti, and M. Torkzadeh. 2005. Effects of 24-epibrassinolide on lipid peroxidation, prolin, sugar and photosynthesis pigments content of canola (*Brassica napus* L.) under water stress. *Journal of Environmental Research*. 18(4): 295-306. (In Persian).
- Alizade, A. 1995. Soil and plant water relations. Publish Mashhad. 744 p. (In Persian).
- Anjum. S.A., L.C. Wang, M. Farooq, M. Hussain, L.L. Xue, and C.M. ZOU. 2011 a. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants of leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197: 177-185.
- Anjum. S.A., X.Y. Xie, L.C. Wang, M.F. Saleem, C. Man, and W. Lei. 2011 b. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Reserch*. 6(9): 2026- 2032.
- Ashraf, M., and P.J.C. Harris. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*. 166: 3-16.
- Bishop, D.L., and B.G. Bughee. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi dwarf wheat. *Journal of Plant Physiology*. 153: 558-565.
- Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Biochen*. 72: 248-254.
- Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *Trends in Biochemical Sciences*. 5: 187-188.
- Dalio, R.J.D., H.P. Pinheiro, L. Sodek, and C.R.B. Haddad. 2013. 24-epibrassinolide restores nitrogen metabolism of pigeon pea under saline stress. *Botanical Studies*. 54: 9-16.
- Fischer, R.A., D.K. Rees, D. Sayre, Z.M. Lu, A.G. Condon, and A. Larque Saavedra. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*. 38: 1467-1475.
- FAO. Fao. org/ site/ 384/ default. aspx.
- Flexas, J., M. Ribas-Carbo, A. Diaz-Espejo, J. Galmes, and H. Medrano. 2008. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. *Plant. Cell. Environment*. 31: 602-621.
- Hassibi, P. 2007. Study the physiological effects of cold stress at seedling stage of different rice genotypes. PhD Thesis from Shahid Chamran Ahvaz University. P. 145. (In Persian).

- Hnilicka, F., M. Koudela, J. Martikova, H. Hnilickova, and V. Hejnak. 2010. Effect of water deficit and application of 24-Epibrassinolid on gas exchange in cauliflower plants. *Scientia Agriculture Bohemica*. 41(1): 15-20.
- Javadipour, Z., M. Movahhedi Dehnavi, and H.R. Balouchi. 2013. Comparison of photosynthesis parameters and leaf chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under salin conditions. *Electronic Journal of Crop Production*. 2:35-56. (In Persian).
- Jones, M.N., N.C. Turner, and C.B. Osmond. 1981. Mechanisms of drought resistance. In: L.G. Paleg, and A. Aspinall (Eds.) *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*. Academic Press. 15-35.
- Mafakheri, A., A. Siosemardeh, B. Bahramnejad, P.C. Struik, and Y. Sohrabi. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*. 4(8): 580-585.
- Nezarat, S., F. Farahvash, H., Afshari, and A. Tayebi. 2013. Evaluation of drought stress on agronomic characteristics of safflower cultivars in different planting dates. First National Conference on Water Crisis. Islamic Azad University of Khorasgan (In Persian).
- Omid, A.H. 2009. Effects of drought stress at different growth stages on seed yield and some. *Seed and Plant Production Journal*. 2(25):15-31. (In Persian).
- Pustovoitova, T.N., N.E. Zhdonova, and V.N. Zholkevich. 2000. Epibrassinolide increase plant drought resistance. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 376: 36-38.
- Ramachandra Reddy, A., K.V. Choityana, and R. Ivekanadan. 2004. Drought induced response of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plant. *Journal of Plant Physiology*. 161: 1189-1202.
- Ritchie, S.W., H.T. Nguyen, and A.S. Halody. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of tow wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*. 30:105-111.
- Rohi, E., and A. Siosemardeh. 2008. Study on exchange in different wheat (*Triticum aestivum L.*) genotypes under moisture stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*. 24: 45-62. (In Persian).
- Rohini, V.K., and K.R. Sankara. 2000. Embryo transformation, A practical approach for realizing transgenic plants of safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Annals of Botany*. 86: 1043-1049.
- Scarfts-Brandner, S.J., and D.B. Egli. 1987. Sink removal and leaf senescence in soybean. *Plant Physiology*. 85: 662-666.
- Sengupta, K., N.C. Banik, S. Bhui, and S. Mitra. 2011. Effect of brassinolide on growth and yield of summer green gram crop. *Journal Crop Weed*. 7(2): 152-154.
- Shahid, M.A., M.A. Pervaz, R.M. Balal, N.S. Mattson, A. Rashid, R. Ahmad, C.M. Ayyub, and T. Abbas. 2011. Brassinosteroid (24-epibrassinolide) enhances growth

- and alleviates the deleterious effects induced by salt stress in pea (*Pisumsativum* L.). *Australian Journal of Crop Science*. 5(5): 500-510.
- Shokohfar, A., and S. Abofitilenegad. 2013. Effects of drought stress on some physiological and biological function mung bean varieties (*Vigna radiate* L.) in Desful. *Crop Physiology Journal*. 5(17): 49-59. (In Persian).
 - Siosemardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustint, and H. Ebrahimzade. 2003. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal Agricultural Science*. 35(1): 93-106. (In Persian).
 - Verona, C., and F. Calcagno. 1991. Study of stomatal parameters for selection of drought resistant varieties in *Triticum durum*. *Euphytica*. 57: 275-283
 - Yonesi, A., F. SAarifzade, and A. Ahmadi. 2010. Effect of irrigation on grain yield, yield components and some germination characteristics grain sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars of kimia. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 41(1): 187-195. (In Persian).
 - Zafari, M., A. Ebadi, and S. Jahanbakhsh. 2012. Effect of mycorrhiza on water deficit resistance in alfalfa. Master Thesis University of Mohaghegh Ardabili. 99p. (In Persian).
 - Zafari, M., A. Ebadi, and S. Jahanbakhsh, and M. Sedghi. 2016. Effect Brassinosteroid application on safflower cultivars tolerance to water stress in Ardabil. *Electronic Journal Crop Production*. 10(3): 17-31

Evaluating Some Physiological Characteristics of Safflower Cultivars (*Carthamus tinctorius L.*) Under Water Deficit Stress and Brassionosteroide Application

Mahnaz Zafari^{1*}, Ali Ebadi², Sodabeh Jahanbakhsh godehahriz³, and Mohammad Sedghi²

Received: January 2016, Revised: 28 December 2016, Accepted: 19 February 2018

Abstract

To evaluate the effects of water deficit stress and growth regulator (Brassinosteroid) on some physiological characteristics cultivars of safflower, an split plot factorial experiment based on randomize complete block design with 3 replications was conducted at the Research Farm of Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University in 2014. Water stress was in three levels: 80 mm evaporation (normal irrigation); 120 mm evaporation (low water stress); 160 mm evaporation (high water stress) from evaporation pan of class A which were assigned to main plots and three cultivars of safflower (Goldasht, Spiny Sina and Faraman) and two levels of Brassinosteroid, control and 10^{-7} mol. in sub plots. The results showed that water stress decreased stomatal conductance, photosynthetic rate, sub-stomatal CO₂, water-use efficiency, chlorophyll content index (SPAD), seed yield, leaf soluble protein and transpiration rate. The results also showed that use of brassinosteroid, increased photosynthetic parameters and reduced transpiration. Irrigation at evaporation of 80 mm from pan, resulted in the maximum amount of transpiration and stomatal conductance to the Faraman cultivar, sub-stomatal CO₂ to Sina spiny cultivar and chlorophyll content index (SPAD) to Goldasht cultivar. Irrigation at 120 mm evaporation from class A pan resulted in the maximum amount of transpiration and stomatal conductance to Goldasht cultivar, while the highest sub-stomatal CO₂, belonged to Sina spiny. Irrigation at 160 mm evaporation from class A pan resulted in the maximum amount of transpiration, stomatal conductance, chlorophyll content index (SPAD) and the sub-stomatal CO₂ to Goldasht cultivar. It seems that Goldasht cultivar under both mild and severe drought stresses tolerates drought better than the other two cultivars in Ardabil region.

Key words: Brassinosteroid, Gas exchange, Photosynthetic parameters, Safflower, Soluble protein.

1- Ph.D. Student of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

2- Prof. Faculty of Agriculture, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

3- Associate Prof. Faculty of Agriculture, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

* Corresponding Author: mahnaz.zafari@yahoo.com