نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد دوازدهم، شماره ۴(۴۸)، زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۵۴۸-۵۲۵

نقش کاربرد براسینواستروییید بر تحمل به تنش کم آبی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)

مطلب حسین‌پور[1*]، علی عبادی[2]، اسماعیل نبی‌زاده[3]، حسن حبیبی[4] و سدابه جهانبخش گده‌کهریز[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۳ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۵/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۲

چکیده

خشکی می‌تواند اثر شدیدی بر رشد گیاهان داشته باشد. به‌منظور بررسی اثر کاربرد براسینواستروییید در تحمل به تنش کم‌آبی سرخارگل آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در شهرستان مهاباد اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل رژیم آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A)، کاربرد سورفکتانت (در دو سطح بدون و با غلظت نیم لیتر در هکتار) به‌عنوان فاکتور فرعی و محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینواستروییید (در سه سطح شاهد (صفر)، 10^{-8} و 10^{-7} مولار) به‌عنوان فاکتور فرعی فرعی بودند. در این پژوهش صفات رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل)، رنگدانه‌های کمکی (کارتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها، فلانوئیدها و ترکیبات فنلی)، شاخص سبزینگی، هدایت روزنه‌ای، میزان مالون‌دی آلدهید، عملکرد اقتصادی (عملکرد ساقه، برگ و گل)، درصد اسانس و عملکرد اسانس اندازه‌گیری شدند. براسینواستروییید موجب کاهش اثرات مخرب تنش بر میزان کلروفیل a شد. تنش آبی میزان کلروفیل a را ۲۸ درصد کاهش داد. با کاربرد براسینواستروییید (10^{-7} مولار) میزان تغییرات کلروفیل ۳۵ درصد افزایش داشت. تنش آبی شاخص سبزینگی را ۲۵ درصد کاهش داد. با کاربرد براسینواستروییید (10^{-7} مولار) شاخص سبزینگی ۸ درصد افزایش یافت. کاربرد براسینواستروییید (10^{-7} مولار) موجب افزایش میزان کارتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و فلانوئیدها به‌ترتیب ۱۷، ۵۹ و ۵۰ درصد شد. استفاده از غلظت 10^{-7} مولار براسینواستروییید در شرایط تنش باعث افزایش ۱۳ درصدی در هدایت روزنه‌ای در مقایسه با عدم استفاده از آن گردید. نتایج رگرسیونی پیش‌بینی عملکرد نشان داد، هدایت روزنه‌ای، میزان مالون‌دی‌آلدهید و میزان کلروفیل a نقش مهمی در پیش‌بینی عملکرد دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی سهم تعیین‌کننده‌ای بر کاهش فاکتورهای اساسی در رشد سرخارگل دارد؛ اما کاربرد براسینواستروییید و محلول سورفکتانت تحمل به تنش کم‌آبی را در این گیاه دارویی افزایش داد.

واژگان کلیدی: رنگدانه‌های فتوسنتزی، عملکرد اسانس، عملکرد اقتصادی،کارتنوئیدها.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.
۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۵- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
* نگارنده‌ی مسئول motalleb2002@yahoo.com

مقدمه

سرخارگل (*Echinacea purpurea*) یکی از گیاهان دارویی چند ساله از تیره‌ی گل ستاره (Asteraceae) بوده و منشأ آن شمال امریکا گزارش شده است (Mrozikiewicz *et al.*, 2010). از مهم‌ترین خواص دارویی آن افزایش قدرت سیستم ایمنی بدن در مقابل عوامل بیماری‌زا و درمان عفونت‌های مزمن دستگاه تنفسی و ادراری، عفونت‌های ویروسی، افزایش سیستم ایمنی، دفاعی و سوختگی می‌باشد (Tsai *et al.*, 2012). گیاهان دارویی همانند سایر گیاهان زراعی، تحت تأثیر مجموعه‌ای از ویژگی‌های بوم شناختی، فیزیولوژیک و محیطی هستند؛ بنابراین، می‌توان تعداد زیادی از این گیاهان را با بررسی شرایط رشد و نیازهای بوم شناختی آنها به‌صورت زراعی درآورد (Letchamo *et al.*, 2002). با توجه به دامنه سازگاری سرخارگل به شرایط مختلف آب و هوایی و خاکی، کشت گسترده این گونه دارویی مهم در سراسر جهان به‌ویژه ایران افزایش یافته است (Sabra *et al.*, 2012; Asadisnam *et al.*, 2014).

تنش‌های محیطی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده الگوهای پراکنش گیاهی در سطح جهان می‌باشند و تنش خشکی نیز به سهم خود تعیین کننده بخشی از این پراکنش است. در اکوسیستم‌ها، هرگونه شرایط محیطی که موجب کاهش تولید به کم‌تر از مقدار پتانسیل ژنتیکی گردد، تنش در نظر گرفته می‌شود (Raziqiedk, 2006). در طول تنش کم‌آبی، گونه‌های فعال اکسیژن افزایش یافته و موجب اختلال در سیستم انتقال الکترون شده و باعث ایجاد فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در کلروپلاست، میتوکندری و میکروبادی‌ها می‌گردند (Sofo *et al.*, 2005). مالون دی‌آلدهید یک محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده در فسفولیپیدها است. از سطح پراکسیداسیون لیپید به‌عنوان یک نشانه رادیکال آزاد مضر برای غشای سلولی تحت شرایط تنش استفاده شده است (Jaleel *et al.*, 2008). گیاهان تولید گونه‌های فعال اکسیژن را در شرایط عادی از طریق تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مهار می‌کنند (Inze and Montagu, 2000)، درحالی‌که در شرایط تنش کم‌آبی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن از حد ظرفیت سیستم آنتی‌اکسیدانی برای حذف این گونه‌ها تجاوز کرده و موجب بروز تنش اکسیداتیو می‌گردد (Sofo *et al.*, 2005).

خشکی به‌طورکلی سبب کاهش میزان سبزینگی شده (Heidari Sharif-Abad, 2000; Gautam *et al.*, 2011) و رشد و توسعه برگ را نیز کاهش می‌دهد (Meri, 2004). در پژوهشی یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2001) بیان کردند که کاهش مقدار کلروفیل در برگ‌های گیاهان ممکن است به دلیل تخریب بیشتر کلروفیل نسبت به سنتز آن تحت شرایط تنش باشد. نتایج تحقیقات گوتام و همکاران (Gautam *et al.*, 2011) بر روی گونه‌های گندم وحشی نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل برگ گیاه می‌شود. یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2001) اظهار داشتند که آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند. این ترکیبات در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابند و می‌توانند به‌واسطهٔ گروه‌های هیدروکسیل موجود در

ساختارشان به‌عنوان خنثی کننده رادیکال آزاد عمل کنند (Grace and Logan, 2000).

یکی از راهکارها برای اصلاح روش‌های آبیاری در جهت افزایش کارآیی مصرف آب در مزرعه که در ۱۰ سال اخیر بر روی آن تحقیق و بررسی‌هایی انجام شده، استفاده از سورفکتانت‌ها است. سورفکتانت نفوذ آب به درون خاک را تا دو برابر سرعت شرایط معمول و بدون سورفکتانت تسهیل می‌کند (Yang, 2008). در مطالعه واکنش کشت مخلوط افزایشی شبدر برسیم و ریحان به نظام‌های کم‌آبیاری تحت تأثیر سورفکتانت، کیفیت گیاه دارویی ریحان افزایش نشان داد (Daneshnia and Chaichi, 2014). هم‌چنین، یکی دیگر از مکانیزم‌های افزایش تحمل در گیاهان استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد می‌باشد. براسینواستروییدها از مشتقات آلفا کولستان (α_cholestan) هستند و از مسیر موالونات در گیاه سنتز می‌شوند (Zhuoyun and Jia, 2016). براسینواستروییدها تحمل گیاهان را در محدوده وسیعی از تنش‌های محیطی خشکی، شوری، سرما و گرما افزایش داده و این افزایش عموماً وابسته به تولید و افزایش رونوشت ژن‌های مسئول پاسخ به تنش برای بالا بردن تحمل به تنش در درون گیاهان تیمار شده به‌وسیله براسینواستروییدها می‌باشد (Eskandari, 2011). از این رو براسینواستروییدها منجر به محافظت گیاه در شرایط تنش و افزایش مقاومت می‌شوند (Ahmadi Mosavi *et al*., 2005). مطالعات نشان داد گیاهان گوجه‌فرنگی و برنج تحت تنش دمای پایین به‌وسیله براسینواستروییدها رشد بهتری را نسبت به گیاهان شاهد نشان دادند. این ترکیبات دارای اثرات فیزیولوژیک مختلف در رشد و نمو گیاهان بوده و موجب تحریک رشد و نمو می‌شوند (Ozdamir *et al*., 2012). بیان شده موتان‌های مختلف براسینواستروییدها موجب افزایش سازگاری گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌شوند (Bajgaz, 2000).

در گیاه شمعدانی افزایش رشد در نتیجه کاربرد ۲۴-اپی براسینواستروئید به‌دلیل افزایش سرعت فتوسنتز برگ‌ها و نهایتاً افزایش تجمع بیوماس اندام هوایی گزارش شده است (Swamy and Rao, 2009). در پژوهشی ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2008) گزارش دادند که تیمار ۲۴- اپی براسینواستروئید فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده که باعث کاهش اثرات تنش اکسیداتیو گردید. براسینواستروییدها سبب تحریک رشد، افزایش محتوای متابولیت‌های سازگاری، تغییرات رونوشت و بیان ژن، تحریک افزایش ساخت ژن‌های فعال در تنش، افزایش ظرفیت و فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Zhang *et al*., 2008) گردیده که همگی سبب کاهش اثرات تنش در گیاهان شده و به حفظ، بقاء و تولید عملکرد اقتصادی گیاهان کمک می‌کند. تحقیقات نشان دادند که کمبود آب، وزن تازه و خشک گیاه گوجه‌فرنگی را کاهش می‌دهد در حالی‌که کاربرد ۲۴-اپی براسینواستروئید به‌طور معنی‌داری وزن تازه گیاه و ماده خشک گیاه را تحت شرایط تنش و شاهد افزایش داد (Behnamnia *et al*., 2009; Li *et al*., 2008). این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد براسینواستروئید و سورفکتانت در افزایش تحمل به خشکی گیاه سرخارگل اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت یک آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۴- ۱۳۹۳ در شهرستان مهاباد در استان آذربایجان‌غربی، با موقعیت جغرافیایی

۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۴ متر از سطح دریا اجرا شد. آب و هوای منطقه اجرای آزمایش نیمه‌خشک و معتدل سردسیری است و میانگین بارندگی سالیانه آن ۳۵۴ میلی‌متر می‌باشد. خاک مزرعه دارای بافت رس- سیلتی بوده که مشخصات آن در جدول ۱ درج شده است.

گیاه دارویی سرخارگل گونه پورپورآ از موسسه پاکان بذر اصفهان تهیه و بعد از آزمون جوانه‌زنی، مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل رژیم آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی (در سه سطح آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A)، محلول سورفکتانت (در دو سطح بدون و با غلظت نیم لیتر در هکتار) به‌عنوان فاکتور دوم و عامل سوم محلول‌پاشی با هورمون استروییدی ۲۴-اپی براسینواستروییید (در سه سطح شاهد (صفر)، 10^{-8} و 10^{-7} مولار) و اعمال آنها پس از استقرار نشاها در مزرعه در مرحله ۷-۶ برگی بود. سورفکتانت مورد استفاده در این آزمایش یک سورفکتانت غیریونی متشکل از ۱۰ درصد آلکیل پلی‌گلی‌کوساید ۷ درصد اکسید اتیلن/اکسید پروپیلن کوپلیمر بلوکی و ۸۳ درصد آب بود (Chaichi *et al*., 2015). کاشت گیاه در مزرعه در کرت‌هایی به مساحت ۲/۵ مترمربع به‌صورت جوی و پشته‌ای و با رعایت فواصل بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله ۲ بوته در طول ردیف نیز ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. در طول دوره رشد عملیات داشت مانند کنترل علف‌های هرز و غیره انجام گرفت. در پایان دوره رشد از هر کرت ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر خط به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته و از باقی‌مانده برای نمونه‌برداری‌ها استفاده شد.

میزان رنگدانه‌ها و کارتنوئیدها: برای سنجش میزان کلروفیل از بافت تازه برگی استفاده شد. در این روش ۰/۱ گرم از بافت برگ را با استن ۸۰ درصد له کرده تا کلروفیل وارد محلول استن شده و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی (روشناور) در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۴۷۰ و ۶۶۳/۲ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد (Arnon, 1967). میزان سبزینگی با دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502، مینولتای ژاپن) تعیین شد.

رابطه ۱: $Chl.\ a = 12.25\ A\ 663.2 - 2.798\ A\ 646.8$

رابطه ۲: $Chl.\ b = 21.50\ A\ 646.8 – 5.10\ A\ 663.2$

رابطه ۳: $Chl.\ Total = Ca + Cb$

رابطه ۴: $Carotenoids = (1000\ a\ 470 – 1.82\ Ca –85.02Cb)/\ 198$

آنتوسیانین‌ها: ۰/۱ گرم از بافت تازه گیاه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و کلریدریک اسید خالص به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده و عصاره حاصل به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و جذب محلول روشناور در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت ضریب خاموشی (e) ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد. A= جذب، b= عرض کووت، C= غلظت محلول مورد نظر (Wagner, 1979).

رابطه ۵: $A= ebc$

ترکیب‌های فنلی کل: ۰/۱ گرم از هر نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد عصاره گیری و عصاره حاصل به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار داده شد. سپس به محلول حاصل ۱ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد، ۰/۵ میلی‌لیتر فولین ۵۰ درصد و ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۵ درصد اضافه شد. شدت جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر پس از یک ساعت نگهداری در تاریکی خوانده شد. برای محاسبه غلظت ترکیب‌های فنلی از منحنی استاندارد گالیک اسید استفاده شد (Ronald and Laima, 1999).

اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید: به این منظور مقدار ۰/۱ گرم از برگ را در اتانول اسیدی (شامل اتانول و اسید استیک گلاسیال به نسبت ۹۹ به ۱) خوب ساییده و عصاره حاصل به مدت ده دقیقه با ۳۶۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی جدا و به مدت ۱۰ دقیقه در آب گرم ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس میزان جذب عصاره توسط اسپکتروفتومتر در سه طول‌موج ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر قرائت شدند (Krizek *et al*., 1998).

میزان مالون‌دی آلدهید: ۰/۵ گرم نمونه گیاهی را در ۳ میلی‌لیتر تری کلرور استیک اسید (TCA) ۱۰٪ حل نموده، یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون صاف شده به ۱ میلی‌لیتر تیو باربیتوریک اسید (TBA) ۰/۵ درصد اضافه نموده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس نمونه‌ها سرد شده و در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شدند (De Vos *et al*., 1991).

هدایت روزنه‌ای: هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر مدل (porometer U.S.A SC-1) اندازه‌گیری شد. در این روش با قرار دادن قسمت میانی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته در داخل حس‌گر دستگاه اعداد مربوط به میزان هدایت روزنه برحسب $mol.m^{-2}.s^{-1}$ قرائت گردید.

عملکرد اقتصادی: برای اندازه‌گیری عملکرد اقتصادی که شامل وزن ساقه، برگ و گل می‌باشد با رعایت نیم‌متر اثر حاشیه از خطوط کنار نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از تعیین وزن‌تر نمونه‌ها در دمای اتاق با دمای ۳۰ درجه سلسیوس نگهداری و سایه خشک گردیده و مجدداً توزین و به‌عنوان وزن خشک یادداشت شد. در آزمایش مزرعه‌ای نمونه‌های ۱۰ گرمی همراه با آب مقطر در داخل بالن ریخته و به مدت ۴ ساعت جوشانده و حدود ۳۰ دقیقه پس از قطع جریان حرارت، عمل خارج نمودن و اندازه‌گیری حجمی اسانس بر حسب سانتی‌متر مکعب تعیین شد. در صورت مخلوط شدن اسانس با آب از ماده سوپر جاذب آب سولفات سدیم (Na_2SO_4) برای خشک کردن اسانس استفاده شد (Omidbaigi, 2005؛ Habibi *et al*., 2011).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای نرمال کردن داده‌ها از نرم‌افزار Mintab و برای تعیین روابط رگرسیونی صفات مورد بررسی با ماده تر و خشک نیز از نرم‌افزار SAS و رویه پس‌رونده استفاده شد.

نتایج و بحث

رنگدانه‌های فتوسنتزی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی سورفکتانت بر میزان کلروفیل‌های a، b و کلروفیل کل و شاخص سبزینگی، اثر اصلی براسینواستروئید بر میزان کلروفیل a، b و کل و

شاخص سبزینگی معنی‌دار بود. در بین اثرات دوگانه نیز اثر متقابل آبیاری در سورفکتانت تنها بر میزان کلروفیل b، اثر متقابل آبیاری در براسینواستروییید بر میزان کلروفیل a و شاخص سبزینگی معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشـان داد، تنش موجب کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل و شاخص سبزینگی) شد. کاربرد سورفکتانت و براسینواستروییید نیز تأثیر مثبتی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی داشت. مقایسه میانگین اثرات متقابل ژریم آبیاری در سورفکتانت نشان داد، ژریم آبیاری موجب کاهش در مقدار کلروفیل b شده و مصرف سورفکتانت با کاهش تأثیرات تنش از افت این رنگدانه‌ها در طی تنش جلوگیری می‌کند. به‌طوری‌که بالاترین میزان کلروفیل b در آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و کاربرد سورفکتانت با میانگین ۵/۵۹ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه (کلروفیل b) و کمترین میزان این رنگدانه نیز از تنش آبی حاصل از آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A و عدم استفاده از سورفکتانت به دست آمد (شکل ۱ ج). مقایسه میانگین برهم‌کنش ژریم آبیاری در براسینواستروییید نیز نشان داد که استفاده از براسینواستروییید موجب کاهش اثرات مخرب تنش بر میزان کلروفیل a و شاخص سبزینگی شده، به‌طوری‌که در شرایط عدم استفاده از براسینواستروییید، تنش آبی موجب کاهش کلروفیل a از ۸/۳۲ به ۶/۴۷ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه و شاخص سبزینگی از ۷۸ به ۵۸ شد در حالی‌که با کاربرد 10^{-7} مولار براسینواستروییید میزان تغییرات به‌ترتیب از ۱۲/۵ به ۸/۲۵ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه و ۶۶/۷۵ به ۷۲/۴۶ بود (شکل ۱ الف و ب).

براساس مطالعات انجام شده، تنش خشکی محتوای کلروفیل گلرنگ را کاهش داد (Jaleel *et al*., 2008). تنش خشکی میزان کلروفیل برگ را در گونه‌های آژیلوپس نیز کاهش داد (Gautam *et al*., 2011). محتوای کلروفیل در هنگام مواجه گیاهان بـا تـنش خشـکی کاهش می‌یابد (Xiao *et al*., 2008). براسینواستروییدها موجب کاهش اثرات تنش در گیاهان شده و به حفظ، بقاء و تولید عملکرد اقتصادی گیاهان کمک می‌کند (Zhang *et al*., 2008). این مطالعات با نتایج این تحقیق بر گیاه سرخارگل هم‌خوانی دارند.

رنگدانه‌های کمکی

در بین رنگدانه‌های کمکی، تنها میزان کارتنوئیدها تحت اثر اصلی براسینواستروییید و میزان آنتوسیانین‌ها و فلانوئیدها تحت اثر اصلی براسینواستروییید و سورفکتانت قرار گرفتند (جدول ۳). کاربرد براسینواستروییید موجب افزایش میزان کارتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و فلانوئیدها شده به‌طوری‌که تیمار براسینواستروییید (10^{-7} مولار) به ترتیب با میانگین ۳/۸۲، ۱/۳۴ و ۲۳/۶۷ بیشترین کارتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و فلانوئیدها و تیمار شاهد به‌ترتیب با میانگین ۳/۲۵، ۰/۸۴ و ۱۵/۷۶ کمترین میزان کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و فلانوئیدها را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

سورفکتانت موجب کاهش اثر تنش می‌شود (Yang, 2008). کاروتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو داشته، و اثرات منفی تنش را کاهش می‌دهند و به همین خاطر مقدار آنها در طی تنش افزایش می‌یابد. مقدار آنتوسیانین‌ها در برگ‌های گیاهچه‌ی لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش خشکی افزایش داشت (Fathi Amirkhiz *et al*., 2015). آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساس مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل

جلوگیری می‌کنند (Leng *et al.*, 2000). در پژوهشی، کمبود آب سبب کاهش مقدار فلاونوئیدهای برگ گندم شد (Balouchi *et al.*, 2008). نتایج نشان داد ترکیبات فنلی علاوه بر اثرات اصلی، تحت تأثیر برهم‌کنش تنش خشکی در سورفکتانت قرار گرفت (جدول ۴). میزان ترکیبات فنلی در تنش ملایم (آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر) روند افزایشی داشت ولی با شدت تنش (آبیاری در ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) میزان آن کاهش یافت. هم‌چنین مشاهده شد، استفاده از سورفکتانت موجب کاهش تأثیر تنش بر این صفت شد به‌طوری‌که روند تغییرات آن شیب کندتری پیدا کرد (شکل ۲). تحقیقات نشان داده‌اند که تنش خشکی در سویا سبب افزایش ترکیبات فنلی می‌شود (Ghorbanali and Niakan, 2005). براسینواستروییدها باعث افزایش میزان متابولیت‌های سازگاری شده و اثرات تنش در گیاهان را کاهش می‌دهد (Zhang *et al.*, 2008). این یافته‌ها نتایج حاصل از پژوهش انجام شده را تأیید می‌نمایند.

هدایت روزنه‌ای

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر اثر متقابل رژیم آبیاری در سورفکتانت، و براسینواستروییدر در سورفکتانت قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در طی تنش میزان هدایت روزنه‌ای کاهش پیدا می‌کند و استفاده از سورفکتانت با کاهش تأثیرات رژیم آبیاری موجب تأخیر در افت هدایت روزنه‌ی شد (شکل ۳). هم‌چنین، مقایسه اثرات متقابل رژیم آبیاری در براسینواستروییدر نیز نشان داد استفاده از این هورمون در شرایط تنش موجب کاهش افت در هدایت روزنه‌ای و افزایش تبادلات روزنه‌ای شد. استفاده از غلظت 10^{-7} مولار براسینواستروییدر در شرایط تنش باعث تغییر ۱۳ درصدی در هدایت روزنه‌ای در مقایسه با عدم استفاده از آن شد (شکل ۴). برهم‌کنش سورفکتانت در براسینواستروییدر نیز نشان داد، استفاده از این ترکیبات به‌صورت هم‌زمان موجب افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود (جدول ۸). نتایج به‌دست آمده در این آزمایش با نتایج (Siosemardeh *et al*, 2003) که نشان دادند در شرایط تنش کم‌آبی میزان هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد، مطابقت دارد، بنابراین تنش منجر به کاهش فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود (Ouerghi *et al.*, 2000; Hanstein and Felle, 2002). کاربرد سورفکتانت و براسینواستروییدر نیز با کاهش تأثیرات تنش موجب تأخیر در کاهش هدایت روزنه‌ای شدند.

مالون دی‌آلدهید

نتایج این مطالعه نشان داد میزان پراکسیداسیون لیپیدها یا مالون دی‌آلدهید تحت تأثیر اثرات اصلی رژیم آبیاری، سورفکتانت و براسینواستروییدر و برهم‌کنش اثرات متقابلِ دوگانه و سه‌گانه این تیمارها قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثرات سه‌گانه (شکل ۵) نشان می‌دهد در شرایط عدم استفاده از سورفکتانت، رژیم آبیاری باعث افزایش میزان مالون دی‌آلدهید شد (Hataei, 2004). استفاده از هورمون براسینواستروییدر در این شرایط تولید آن را کاهش داد که از این طریق از تأثیرات مخرب تنش جلوگیری می‌کند. در بین غلظت‌های مختلف هورمون، غلظت 10^{-7} مولار بهترین نتیجه را داشت. استفاده از سورفکتانت موجب تغییر در نتایج برهم‌کنش تنش در براسینواستروییدر شد، به‌طوری‌که این ماده باعث شده است در شرایط تنش شدید میزان مالون دی‌آلدهید روند ثابتی

پیدا کند و مقدار آن از حد معینی تجاوز نکند که این نشان‌دهنده نقش مؤثر این ماده در افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش و تولید رادیکال‌های آزاد می‌باشد. هم‌چنین، با توجه به روند تغییرات شکل‌ها مشاهده می‌شود که سورفکتانت بر نقش هورمون براسینواستروئید تأثیرگزار بوده و شیب تغییرات این هورمون در مقایسه با عدم استفاده از این ماده متفاوت شد و تغییرات با شیب بیشتری صورت گرفت (شکل ۵). طبق پژوهش‌های پیشین، نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر مورد تأیید می باشد (Fu and Huang, 2001; Jin *et al.*, 2006).

درصد حجمی اسانس

بر اساس نتایج این مطالعه از نظر درصد حجمی اسانس اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). در حالی‌که نکته قابل اشاره این است که همیشه همراه با بالا رفتن میزان تنش، درصد اسانس نمی‌تواند افزایش پیدا کند، زیرا در تنش‌های بالا گیاه بخش عمده مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم کننده اسمزی می‌کند که بتواند پتانسیل آب سلولی را تنظیم کند (Rezai Chaine, 2012). مطالعات نشان داد که آبیاری مطلوب منجر به تجمع اسانس شده (Figueiredo *et al.* 2008) و هیچ تأثیری بر درصد اسانس ندارد (Khazaie *et al.* 2008). بنابراین تنظیم و مدیریت آب در گیاهان دارویی و معطر از نظر تولید اسانس اهمیت زیادی دارد.

عملکرد اسانس

نتایج این مطالعه نشان داد عملکرد اسانس تحت تأثیر اثرات اصلی رژیم آبیاری و سورفکتانت و بر هم‌کنش اثرات متقابلِ دوگانه سورفکتانت و براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثرات دوگانه در جدول ۷ نشان می‌دهد استفاده از سورفکتانت همراه با براسینواستروئید موجب افزایش میزان عملکرد اسانس می‌گردد. نتیجه آزمایش‌های انجام یافته روی گیاهان دارویی حاکی از آن است که کاهش عملکرد اسانس در نتیجه کاهش رطوبت خاک ممکن است ناشی از اثر زیان‌بار تنش آبی بر رشد، پیکر رویشی و عملکرد گیاه باشد، زیرا عملکرد اسانس تابعی از درصد اسانس و عملکرد گیاه می‌باشد. در پژوهشی مشخص شد که با افزایش فواصل آبیاری، درصد اسانس و عملکرد دانه سیاه‌دانه کاهش یافت که این امر منجر به کاهش عملکرد اسانس شد (Navrozpoor and Rezvanimoqadam, 2006). مطالعات نشان دادند تنش کم‌آبی عملکرد اسانس را در گیاهان سیاهدانه (Rezapour *et al.*, 2011)، شوید (Andalibi, 2009)، شمعدانی عطری (Motsa *et al.*, 2006; Eiasu *et al.*, 2012)، مریم‌گلی (Bettaieb *et al.*, 2009)، ریحان (Ekrena *et al.*, 2012) و رازیانه (Rezaei Chaine *et al.*, 2012) کاهش داده است که نتیجه به‌دست آمده از این پژوهش را تأیید می‌کنند. در تحقیق حاضر، به دلیل کاهش محسوس عملکرد گیاه و میزان اسانس در رژیم آبیاری، در کل عملکرد اسانس با کاربرد محلول سورفکتانت و براسینواستروئید بهبود یافت.

عملکرد اقتصادی

نتایج نشان داد عملکرد ساقه، برگ، گل و عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر اثرات اصلی رژیم آبیاری، سورفکتانت و براسینواستروئید و برهم‌کنش اثرات متقابلِ دوگانه و سه‌گانه این تیمارها قرار گرفت (جدول ۹). مقایسه میانگین‌های اثرات سه‌گانه نشان داد، در شرایط

عدم استفاده از سورفکتانت رژیم آبیاری موجب کاهش عملکرد ساقه، برگ، گل و عملکرد بیولوژیک و استفاده از هورمون براسینواستروییید در این شرایط موجب تأثیر مثبت در میزان تولید آن شده که از این طریق از تأثیرات مخرب تنش جلوگیری کرده است. در بین غلظت‌های مختلف هورمون، غلظت 10^{-7} مولار بهترین نتیجه را داشت. استفاده از سورفکتانت موجب تغییر در نتایج برهم‌کنش تنش در براسینواستروییید شد به‌طوری‌که این ماده باعث شده است در تنش شدید میزان عملکرد روند ثابتی پیدا کند و مقدار آن از یک حدی کاهش بیشتری نداشته باشد که نشان‌دهنده نقش مؤثر این ماده در افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش و تولید عملکرد بهتر می‌باشد. هم‌چنین، با توجه به تغییرات مشاهده می‌شود این ماده بر نقش هورمون براسینواستروییید تأثیر داشته و شیب تغییرات این هورمون در مقایسه با عدم استفاده از این ماده متفاوت شد و تغییرات با شیب بیشتری صورت گرفت (جدول ۱۰).

نتایج تجزیه رگرسیونی نیز نشان داد از بین صفات مورد ارزیابی در پیش‌بینی عملکرد ساقه در مرحله اول هدایت روزنه‌ای، در مرحله دوم هدایت روزنه‌ای و مالون دی‌آلدهید و در مرحله سوم کلروفیل a نیز وارده معادله شده و اثرگذاری معنی‌داری بر پیش‌بینی عملکرد ساقه نشان دادند، به‌طوری‌که ضریب تبیین در این سه مرحله به ترتیب برابر ۰/۷۰۷، ۰/۸۱۶ و ۰/۸۵۵ بود. در مرحله چهارم و پنجم نیز اگرچه میزان آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنلی نیز وارد معادله شد ولی تأثیر معنی‌داری نداشتند. در مورد عملکرد برگ، صفات در ۸ مرحله وارد معادله عملکرد شد که تنها ۴ مرحله نخست توانست تأثیر معنی‌دار داشته باشد. در مرحله اول مالون دی‌آلدهید، در مرحله دوم علاوه بر مالون دی‌آلدهید میزان هدایت روزنه‌ای نیز وارد معادله شده و ضریب تبیین از ۰/۶۹ به ۰/۷۹ افزایش یافت. در مرحله سوم و چهارم نیز میزان فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی وارد معادله پیش‌بینی عملکرد برگ شده و ضریب تبیین به ۰/۸۲ و ۰/۸۶ افزایش یافت (جدول ۱۱). تنش خشکی موجب کاهش فتوسنتز، اندازه‌ی برگ، سطح برگ، تولید بیوماس شده و کاهش عملکرد را در پی داشت (Shahmoradi, 2003; Wang and Huang, 2004).

کاهش مقادیر عددی صفات مورد مطالعه در اثر افزایش شدت تنش، با نتایج پژوهش‌های دیگر مطابقت دارد (Azizi *et al*. 2009). در مطالعه‌ای تنش خشکی به‌طور بسیار مؤثری سبب کاهش عملکرد دانه گشنیز شد (Norzad *et al.*, 2014). در شنبلیله نیز عملکرد در اثر تنش خشکی کاهش یافت (Bazzazi *et al.*, 2013). هم‌چنین، در اسفرزه، بومادران، مریم گلی، همیشه بهار و بابونه با تشدید تنش خشکی، از وزن اندام هوایی، و عملکرد آنها کاسته شد (Lebaschy and Sharifi Ashoorabadi, 2004). کمبود آب سبب کاهش عملکرد دانه، عملکرد اندام رویشی و هم‌چنین کاهش رشد زیره سبز شد (Ahmadian *et al.*, 2009). بنابراین، تنش خشکی و عوارض ناشی از آن موجب کاهش عملکرد می‌شود (Shahmoradi, 2003).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که رژیم آبیاری سهم تعیین‌کننده‌ی بر کاهش فاکتورهای اساسی در رشد گیاه سرخارگل دارد؛ اما کاربرد براسینواستروییید و محلول سورفکتانت تحمل به تنش را در این گیاه افزایش داده و تأثیر مثبت و

معنی‌داری بر فاکتورهای اندازه‌گیری شده داشت. تنش موجب کاهش در رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش تولید رنگدانه‌های کمکی کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنلی و فلانوئیدها شد. هم‌چنین، در اثر تنش میزان مالون دی‌آلدهید افزایش و از میزان هدایت روزنه‌ای و عملکرد اقتصادی گیاه کاسته شد. محلول‌پاشی هورمون براسینواستروییید در غلظت 10^{-7} مولار نقش مؤثرتری و سورفکتانت نقش مثبتی در افزایش تحمل به تنش داشته و تأثیرات مخرب تنش بر صفات نام برده را کاهش داده، به‌طوری‌که تولید مالون دی‌آلدهید کاهش، هدایت روزنه‌ای افزایش و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد نیز افزایش پیدا کرد. همچنین، مشاهده شد که میزان هدایت روزنه‌ای، مالون دی‌آلدهید و کلروفیل a بیشترین نقش در پیش‌بینی عملکرد سرخارگل در شرایط تنش داشته، بنابراین تیماری که می‌تواند هدایت روزنه‌ای و میزان کلروفیل a را بهبود و میزان مالون دی‌آلدهید را کاهش دهد، می‌تواند بر فتوسنتز بهتر و در نهایت تولید ماده خشک و بیوماس بیشتری منجر شود. کاربرد محلول سورفکتانت و براسینواستروییید در شرایط تنش خشکی، کاهش محسوس عملکرد گیاه و درصد اسانس و در کل عملکرد اسانس را بهبود داد.

تشکر و قدردانی:

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و مالی و مسئولین آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی و دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد و همه عزیزانی که در این پژوهش ما را یاری دادند از صمیم قلب تشکر می‌نماییم.

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه

Table 1- Soil Characteristics

خصوصیات Characteristics		عمق نمونه‌برداری Soil sampling depth (cm)		
		0-30	30-60	60-90
شوری	EC	1.12	1.08	2.65
اسیدیته	pH	7.81	7.82	7.86
درصد اشباع	SP%	38	38	35
آهک	CaO %	1.75	3.75	14.0
رس	Clay%	37	36	39
سیلت	Silt%	44	45	44
شن	Sand%	19	19	17
بافت	Textuer	Silty clay	Silty clay	Silty clay
کربن آلی	O.C%	1.12	0.82	-
نیتروژن کل	N%	0.11	0.08	-
فسفر قابل جذب	P- ppm	12.2	9.8	-
پتاسیم قابل جذب	K - ppm	244	202	-

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی

Table 2- Analysis of variance of experimental factors on photosynthetic pigments

منابع تغییرات S.O.V.		درجه آزادی df	میانگین مربعات (Ms)			
			کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	شاخص سبزینگی SPAD
بلوک	Block (R)	2	16.28^{ns}	1.87^{ns}	90.81^{ns}	511.39^{ns}
آبیاری	Irrigation (I)	2	41.59^{ns}	1.6^{ns}	131.66^{ns}	561.67^{ns}
خطا	Error (R × I)	4	8.65	0.47	38.55	203.14
سورفکتانت	Surfactant (S)	1	36.19**	0.59*	90.11**	796.18*
	(I ×S)	2	3.21^{ns}	0.71*	4.1^{ns}	14.32^{ns}
خطا (I)	Error(I)	6	0.8	0.09	4.50	83.74
براسینواسترویید	Brassinosteroied (B)	2	46.77**	1.17**	114.41**	867.88**
	(I×B)	4	3.02^{*}	0.08^{ns}	8.26^{ns}	307.87^{*}
	(S×B)	2	0.05^{ns}	0.15^{ns}	2.29^{ns}	19.84^{ns}
	(I×S×B)	4	0.31^{ns}	0.04^{ns}	2.18^{ns}	62.93^{ns}
خطا	Error	24	1.01	0.13	4.58	98.88
ضریب تغییرات	C.V. (%)		11.23	22.46	17.97	13.8

ns ,*,** به ترتیب؛ غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1%, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی رنگدانه‌های فتوسنتزی

Table 3-Main effects comparison of photosynthetic pigments

تیمار Treatment		میلی‌متر پس از تبخیر mm After evaporation	کلروفیل a Chlorophyll a $mg.g^{-1}.fw$	کلروفیل b Chlorophyll b $mg.g^{-1}.fw$	میزان کلروفیل کل Total chlorophyll $mg.g^{-1}.fw$	شاخص سبزینگی SPAD
رژیم آبیاری Irrigation		70	10.48	4.28	9.39	78.37
		120	8.98	2.57	11.55	69.96
		170	7.44	1.95	14.76	67.80
سورفکتانت (لیتر در هکتار) Surfactant (l/ha)		0	8.15^{b}	2.46	10.61^{b}	68.20^{b}
		0.5	9.78^{a}	3.41	13.19^{a}	75.88^{a}
براسینواسترویید(مولار) Brassinosteroied (M)		0	7.22^{c}	1.99^{b}	9.21^{c}	67.88^{b}
	10^{-8}		9.29^{b}	2.98^{ab}	12.27^{b}	80.06^{a}
	10^{-7}		10.39^{a}	3.82^{a}	14.21^{a}	68.19^{b}

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Similar letters in each colomn indicate no significant differences.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر عوامل آزمایشی بر رنگدانه‌های کمکی فتوسنتزی

Table 4- Analysis of variance of experimental factors on photosynthetic pigments

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Ms) کاروتنوئید Carotenoid	آنتوسیانین‌ها Anthocyanins	فلانوئیدها flavonoids	ترکیبات فنلی phenolic compounds
بلوک Block (R)	2	5.4*	0.25*	2.32^{ns}	0.03^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	0.82^{ns}	0.13^{ns}	28.85^{ns}	0.19**
خطا Error (R × I)	4	0.69	0.02	27.42	0.01
سورفکتانت Surfactant (S)	1	1.2^{ns}	1.32**	128.25**	0.01^{ns}
(I ×S)	2	3.34^{ns}	0.01^{ns}	24.75^{ns}	0.06*
خطا (I) Error (I)	6	0.75	0.06	9.21	0.01
براسینواستروییید Brassinosteroied (B)	2	1.61*	1.12**	282.8**	0.05*
(I×B)	4	0.2^{ns}	0.08^{ns}	0.22^{ns}	0.01^{ns}
(S×B)	2	0.35^{ns}	0.01^{ns}	6.39^{ns}	0.05^{ns}
(I×S×B)	4	0.11^{ns}	0.02^{ns}	2.32^{ns}	0.02^{ns}
خطا Error	24	0.44	0.05	5.31	0.01
ضریب تغییرات C.V. (%)		18.49	21.65	11.6	2.44

ns ,*,**به ترتیب؛ غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: non-significant and significant respectively, at 5 and 1%.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی رنگدانه‌های کمکی فتوسنتز

Table 5- Comparison of the main effects of photosynthetic pigments

تیمار Treatment	میلی‌متر پس از تبخیر mm After evaporation	کاروتنوئیدها Carotenoid (mg.g^{-1}.fw)	آنتوسیانین‌ها Anthocyanins (uM/g.fw)	فلانوئیدها flavonoids (mM/g.fw)	ترکیبات فنلی phenolic compounds (uM/g)
رژیم آبیاری Irrigation	70	3.36	1.00	18.39	5.00^{b}
	120	3.65	1.06	20.56	5.11^{a}
	170	3.77	1.17	20.61	4.90^{c}
سورفکتانت (لیتر در هکتار) Surfactant (l/ha)	0	3.45	0.92^{b}	18.32^{b}	5.00
	0.5	3.74	1.24^{a}	21.40^{a}	5.01
براسینواستروییید (مولار) Brassinosteroied (M)	0	3.25^{b}	0.84	15.76^{c}	5.07^{a}
	10^{-8}	3.71^{ab}	1.06	20.13^{b}	4.97^{b}
	10^{-7}	3.82^{a}	1.34	23.67^{a}	4.97^{b}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Similar letters in each column indicate no significant differences.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر عوامل آزمایشی بر برخی صفات فیزیولوژیک

Table 6- Analysis of variance the impact of treatments on some physiological traits

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Ms)			
		مالون دی آلدهید MDA	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	درصد حجمی اسانس Volume percent of essential oil	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block (R)	2	0.008*	614.68^{ns}	11.362**	3778.76**
آبیاری Irrigation (I)	2	1.369**	56401.44**	0.1372^{ns}	7088.231**
خطا Error (R × I)	4	0.004	1158.29	0.746^{ns}	462.93*
سورفکتانت Surfactant (S)	1	1.05**	7547.30**	0.0029^{ns}	1790.53**
(I ×S)	2	0.11**	4726.38**	0.11129^{ns}	345.099^{ns}
خطا Error (I)	6	0.007	205.48	0.3890^{ns}	309.196^{ns}
براسینواستروییید Brassinosteroied (B)	2	0.38**	9978.06**	0.1516^{ns}	164.985^{ns}
(I×B)	4	0.053**	310.84^{ns}	0.1530^{ns}	64.039^{ns}
(S×B)	2	0.007*	3830.21**	0.8757^{ns}	1160.127**
(I×S×B)	4	0.024**	345.58^{ns}	0.3882^{ns}	177.795^{ns}
خطا Error	24	0.002	412.84	0.3127	144.970
ضریب تغییرات C.V. (%)		13.87	14.59	18.37	22.65

ns ,*,**به ترتیب؛ غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*n*s, *, **: non-significant and significant at 5 and 1%, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات اصلی برخی صفات فیزیولوژیک

Table 7- The mean comparison of some physiological traits

تیمار Treatment	میلی‌متر پس از تبخیر mm after evaporation	مالون دی آلدهید MDA (µmol g^{-1}FW)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($mMm^{-2}s^{-1}$)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($kg.ha^{-1}$)
رژیم آبیاری Irrigation	70	0.94	486.7	69.260^{a}
	120	1.25	461.1	59.218^{a}
	170	1.48^{a}	379.5	30.986^{b}
سورفکتانت (لیتر در هکتار) Surfactant (l/ha)	0	1.36^{a}	430.6^{b}	47.396^{b}
	0.5	1.08b	454.3^{a}	58.913^{a}
براسینواستروییید (مولار) Brassinosteroied(M)	0	1.38	425.5	49.671
	10^{-8}	1.19	433.7	54.641
	10^{-7}	1.09	469.1	55.152

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Similar letters in each column indicate no significant differences.

جدول ۸- مقایسه میانگین برهم‌کنش براسینواستروییید با سورفکتانت بر برخی صفات فیزیولوژیکی

Table 8- The mean comparison of Brassinosteroied and surfactants interaction on some physiological traits

سورفکتانت (لیتر در هکتار) Surfactant (l/ha)	براسینواستروییید (مولار) Brassinosteroied (M)	مالون دی آلدهید MDA (µmol g^{-1}FW)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($mMm^{-2}s^{-1}$)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($kg.ha^{-1}$)
0	0	1.55^{a}	420.74^{b}	48.563^{b}
	10^{-8}	1.32^{b}	430.77^{b}	53.502^{ab}
	10^{-7}	1.23^{c}	440.51^{b}	40.123^{b}
0.5	0	1.22^{c}	428.44^{b}	50.779^{b}
	10^{-8}	1.07^{d}	436.69^{b}	55.780^{ab}
	10^{-7}	0.96^{e}	497.82^{a}	70.180^{a}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Similar letters in each column indicate no significant differences.

جدول ۹ - نتایج تجزیه واریانس تأثیر عوامل آزمایشی بر عملکرد اقتصادی

Table 9 - Analysis of variance, effect of treatments on yield performance

منابع تغییرات S.O.V.		درجه آزادی df	میانگین مربعات (Ms) عملکرد ساقه Stem yield	عملکرد برگ Leaf yield	عملکرد گل Flower yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک	Block (R)	2	7008.25^{ns}	20766.31^{ns}	69636.95^{ns}	184243.5^{ns}
آبیاری	Irrigation (I)	2	10161665.41^{**}	18057359.44^{**}	8392482.47^{**}	106468396.8^{**}
خطا	Error (R × I)	4	1531.39^{ns}	26850.78^{ns}	93857.79^{ns}	248611.6^{ns}
سورفکتانت	Surfactant (S)	1	1216182.29^{**}	6071444.76^{**}	1684039.94^{**}	23663759.3^{**}
	(I ×S)	2	38446.64^{**}	1253176.58^{**}	264291.07^{*}	1299201.5^{**}
خطا (I)	Error (I)	6	1849.77^{ns}	21983.23^{ns}	81327.65^{ns}	200790.0^{ns}
براسینواستروییید	Brassinosteroied (B)	2	223195.06^{**}	113619.77^{*}	29353.87^{ns}	958381.5^{*}
	(I×B)	4	191387.40^{**}	99718.65^{**}	44115.88^{ns}	901633.9^{**}
	(S×B)	2	162325.32^{**}	290294.63^{**}	500292.89^{**}	2718966.4^{**}
	(I×S×B)	4	197607.25^{**}	329928.92^{**}	482418.31^{**}	2925594.9^{**}
خطا	Error	24	3410.49	21876.97	79611.57	200117.4
ضریب تغییرات	C.V. (%)		3.11	4.00	16.10	6.10

ns ,*,**به ترتیب؛ غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

% ^{ns}, *, **: non-significant and significant at 5 and 1%, respectively.

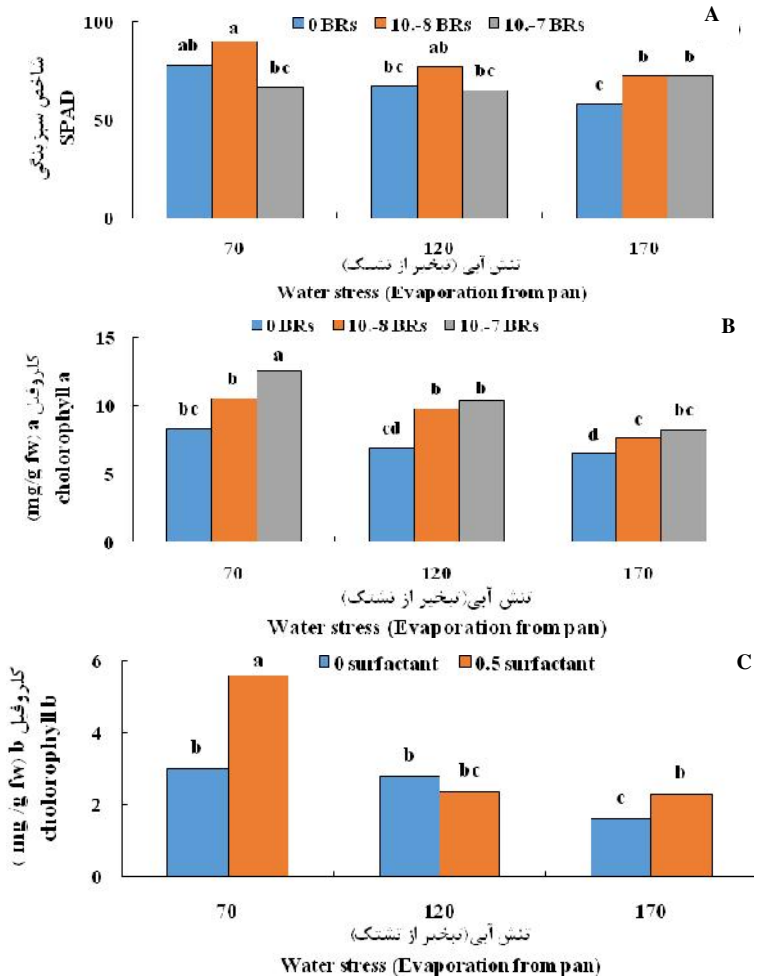
جدول ۱۰- برهم‌کنش براسینواستروییید، سورفکتانت و رژیم آبیاری بر عملکرد اقتصادی

Table 10 - Intraction of irrigation, surfactant and a Brassinosteroied on yield performance

رژیم آبیاری Irrigation	سورفکتانت Surfactant (l/ha)	براسینواستروییید brassinosteroied (M)	عملکرد ساقه Stem yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد برگ Leaf yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد گل Flower yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)
پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر After 70 mm evaporation	0	0	2339.19cd	4343.28bc	2241.01bc	8923.49bc
		10^{-8}	2367.38c	4371.70bc	2269.32bc	9008.41bc
		10^{-7}	2370.37c	4041.26efg	1595.66fg	8007.29de
	0.5	0	2533.97b	4538.22b	2436.02b	9508.22b
		10^{-8}	2310.89cd	4314.90c	2212.73bcd	8838.53bc
		10^{-7}	3450.58a	5454.67a	3352.61a	12257.87a
پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر After 120 mm evaporation	0	0	1884.91g	3889.08fg	1786.89de	7560.89ef
		10^{-8}	1923.71f	3927.92fg	1825.82cde	7677.45ef
		10^{-7}	1822.90h	3826.99g	1724.71ef	7374.62f
	0.5	0	2001.71f	4005.97ef	1903.87cd	7911.56de
		10^{-8}	2220.44d	4224.78cd	2122.70c	8567.93cd
		10^{-7}	2118.82e	4123.13de	2020.75bc	8262.71c
پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر After 170 mm evaporation	0	0	880.89k	1885.05i	872.95h	3638.89h
		10^{-8}	909.793k	1914.05i	901.87h	3725.71h
		10^{-7}	1042.90j	2047.07i	965.02h	4054.99h
	0.5	0	1172.81i	3177.69h	1075.11h	5425.62g
		10^{-8}	1210.01i	3214.19h	1112.11h	5536.31g
		10^{-7}	1224.13i	3228.46h	1126.05gh	5578.64g

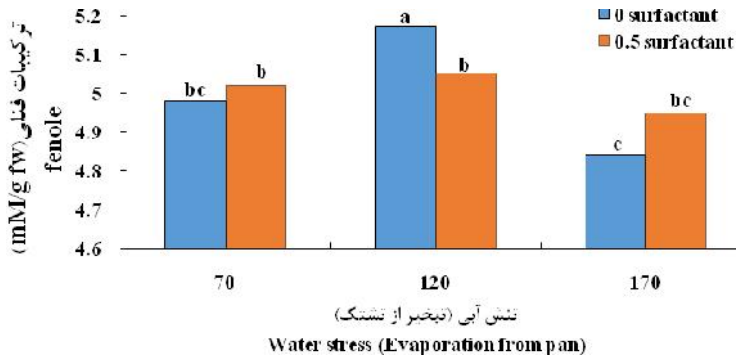
حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Similar letters in each column indicate no significant differences.



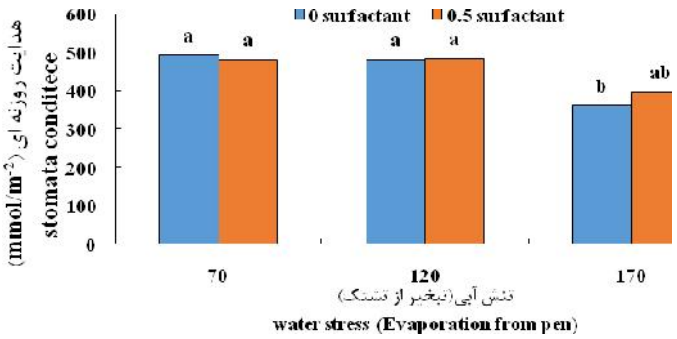
شکل ۱- اثر تنش آبی با براسینواستروییید بر کلروفیل a (الف)، شاخص سبزینگی (ب) و رژیم آبیاری با سورفکتانت بر کلروفیل b (ج)

Figure 1- The effect of water stress and Brassinosteroied on chlorophyll a (A), SPAD index (B) and irrigation with surfactant on chlorophyll b (C)



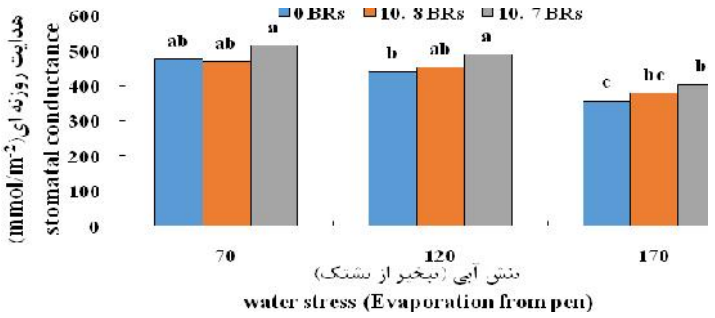
شکل ۲- برهم‌کنش رژیم آبیاری در سورفکتانت بر ترکیبات فنلی.

Figure 2- The interaction of irrigation and surfactants on phenolic compounds



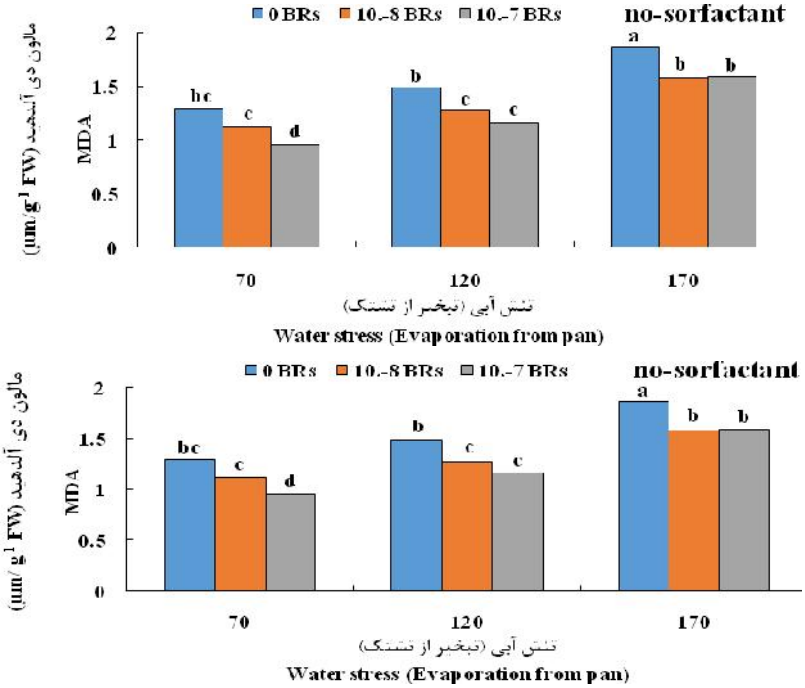
شکل ۳- برهم‌کنش رژیم آبیاری در سورفکتانت بر هدایت روزنه‌ای

Figure 3- Interaction of irrigation with surfactants on stomatal conductance



شکل ۴- برهم‌کنش رژیم آبیاری و براسینواستروییید بر میزان هدایت روزنه‌ای

Figure 4- Interaction of irrigation regims and Brassinosteroied on stomatal conductance



شکل ۵- برهم‌کنش اثرات سه‌گانه رژیم آبیاری با براسینواستروییید و سورفکتانت بر میزان مالون دی آلدهید

Figure 5. The interaction of irrigation regimes, surfactant and Brassinosteroied on

جدول ۱۱- نتایج تجزیه رگرسیونی پیش‌بینی عملکرد به‌وسیله صفات اندازه‌گیری شده

Table 11- Using regression analysis to predicting the yield performance of traits

	Set	Model	Partial R	Model R	C(p)	F	Pr > F
عملکرد ساقه Stem yield	1	-2462.2+9.80 StC	0.707	0.707	48.04	125.9	<.0001
	2	581.02-1023.4 MDA+5.77 StC	0.108	0.816	13.54	30.24	<.0001
	3	1499.9 -54.98 Cha -1088.5 MDA+ 4.98 StC	0.038	0.855	2.49	13.46	0.0006
	4	1691.9 -41.73 Cha -257.2 Anth -1223.9 MDA 5.29 StC	0.010	0.865	1.10	3.68	0.0608
	5	502.80 -42.11 Cha -244.07 Anth+221.36 Phen -1224.77 MDA+ 5.45 StC	0.002	0.868	2.24	0.93	0.3393
عملکرد برگ Leaf yield	1	6785.6 -2514.4 MDA	0.6915	0.6915	66.5	116.5	<.0001
	2	2148.31 -1496.95 MDA + 7.65 StC	0.102	0.794	29.71	25.47	<.0001
	3	3459.50 -46.23 Flav -1864.70 MDA+ 7.78 StC	0.0336	0.8278	19.01	9.76	0.0030
	4	-2980.7 -52.40 Flav+ 1246.9 Phen -1959.3 MDA+ 8.77 StC	0.0405	0.8684	5.71	15.08	0.0003
	5	-2298.18 -312.50 Anth -42.05 Flav 1157.61 Phen -2057.3 MDA +8.81 StC	0.0074	0.8757	4.92	2.85	0.0976
	6	-1888.10 -58.25 Cart -329.03 Anth -36.29 Flav +1077.1Phen -1998.2 MDA+ 8.89 StC	0.0025	0.8782	5.98	0.96	0.3312
	7	-1752.3 -17.38 Cha -53.79 Cart -293.68 Anth -31.69 Flav+1069.25 Phen +8.59 StC	0.0013	0.8795	7.50	0.48	0.4925
	8	-2165.97 -22.27 Cha -70.12 Cart -345.35 Anth -27.64 Flav 3.59 Spad+ 1066.58 -1914.08 MDA+ 9.01 StC	0.0017	0.8812	8.86	0.64	0.4266
عملکرد گل Flower yield	1	3775.08-1646.07 MAD	0.5675	0.5675	16.5	68.23	<.0001
	2	898.37-1014.86 MAD+4.74 StC	0.0757	0.6432	6.90	10.83	0.0018
	3	1760.04-535.95 Anth-1329.81 MAD+4.98 StC	0.0515	0.6947	0.97	8.44	0.0055
	4	2165.28-36.82 Cha-405.24 Anth-1296.58 MAD +4.40 StC	0.0137	0.7084	0.87	2.30	0.1359
	5	625.02-37.32 Cha-388.24 Anth+286.73 Phenolic compounds-1297.64 MAD+4.61 StC	0.0041	0.7125	2.24	0.69	0.4110
	6	518.95-28.15 Cha-348.10 Anth-13.14 Flav+335.96 Phen -1369.59MDA+4.80 StC	0.0033	0.7159	3.72	0.55	0.4609
	7	1103.50-21.84 Cha-297.00 Anth-16.11 Flavonoids-4.03spad+314.32 Phen -1407.40 MDA+4.36 StC	0.0046	0.7204	5.02	0.75	0.3911
عملکرد بیولوژیک Biological yield	1	14638-5951.09 MDA	0.6909	0.6909	49.61	116.2	<.0001
	2	3627.71-3535.24 MDA18.17 StC	0.1033	0.7942	18.31	25.61	<.0001
	3	6102.68-1539.42 Anth-4439.87 MDA+18.86 StC	0.0396	0.8338	7.56	11.90	0.0011
	4	7444.53-121.93 Cha-1106.62 Anth-4329.84 MDA+16.93 StC	0.0140	0.8477	5.06	4.50	0.0391
	5	-686.99-124.55 Cha-1016.84 Anth+1513.75 Phen -4335.46 MDA+18.03 StC	0.0107	0.8584	3.61	3.63	0.0629
	6	-1139.8-85.40 Cha-845.46 Anth-56.14 Flav+1723.97 Phen -4642.6 MDA+18.83 StC	0.0057	0.8641	3.78	1.96	0.1678

Anth: Anthocyanin, Cart: Carotenoid, Cha: Chlorophyll a, Flav: flavonoid, MDA: Malondialdehyde, Phen: phenolic compound, StC: Stomatal conductance.

References منابع مورد استفاده

- Ahmadi Mosavi, E., KH. Kalantari, and M. Torkzade. 2005. Effects of 24-epibrassinolide on lipid peroxidation, prolin, sugar and photosynthesis pigments content of canola (*Brassica napus* L.) under water stress. *Physiology*. 18: 295-306. (In Persian).
- Ahmadian, A., A. Ghanbari, and M. Golvi. 2009. The Interaction effect of water Stress and animal manure on yield components, essential oil and chemical composition of *Cuminum cyminum*. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 40(1): 173-180. (In Persian).
- Andalibi, B. 2009. The changes to the amount and composition of essential oil of Dill (*Anethum graveolens*) under limited irrigation conditions during growth and development. Ph.D. dissertation Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chloroophll in the plants. *Agronomy Journal*. 23: 112-121.
- Asadisnam, S., M. Zavareh, H. Peardshti, F. Sefidkon, G.A. Nihmatzadeh, and A. Hashempoor. 2014. The effect of planting date and duration of waterlogging on some biochemical properties of leaves of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Moench). National Conference on Medicinal Plants Educators and Technologists. Twenty-ninth and thirtieth November Islamic Azad University, Science and Research Ayatollah Amoli. Amol. Iran. (In Persian).
- Azizi, M., F. Rezwanee, M. Hassanzadeh Khayat, A. Lackzian, and H. Neamati. 2009. The effect of different levels of vermicompost and irrigation on morphological properties and essential oil content of german chamomile (*Matricaria recutita*) C.V. Goral. *Iranian Jouranal of Meadicial and Aromatic Plant*. 24(1): 82-93. (In Persian).
- Bajgaz, A. 2000. Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cells of chorella vulgaris. *Plant Physiology and Biochemistery*. 38: 209-215.
- Balouchi, H.R., S.A. Modarres Sanavy, Y. Emam, and M. Barzegar. 2008. Effect of water deficit, ultraviolet radiation and carbon dioxide enrichment on flag leaf qualitative characters of durum wheat (*Triticum turgidum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources.* 12 (45): 167-181. (In Persain).
- Bazzazi, N., M. Khodambashi, and SH. Mohammadi. 2013. The Effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of medicinal plant fenugreek. *Journal of Crop Production and Processing*. 8(3): 11-23. (In Persian).
- Behnamnia, M., Kh.M. Kalantari, and F. Rezanejad. 2009. Exogenous application of brassinosteroid alleviates drought-induced oxidativestress in *Lycopersicon esculentum* L. *General and Applied Plant Physiology*. 35 (1-2): 22-34.

- Bettaieb, I., N. Zakhama, N. Aidi-Wannes, M.E. Kchouk, and B. Marzouk. 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*. 120: 271-275.
- Chaichi, M.R., P. Nurre, J. Slaven, and M. Rostamza. 2015. Surfactant application on yield and irrigation water use efficiency in corn under limited irrigation. *Crop Science.* 55: 386-393.
- Daneshnia, F., and M.R. Chaichi. 2014. The effect of surfactant application and limited irrigation systems on qualitative traits of medicinal forage (Case Study: berseem clover and basil intercropping). 1st International and 13th Iranian Crop Science Congress 3 rd Iranian Seed Science and Technology Conference. Karaj, Iran. (In Persian).
- De Vos, C., H. Schat, M. De Waal, R. Vooijs, and W. Ernst. 1991. Increased to copperinduced damage of the root plasma membrane in copper tolerant *silene cucubalus*. *Plant Physiology*. 82: 523-528.
- Eiasu, B.K., J.M. Steyn, and P. Soundy. 2012. Physiomorphological response of rose-scented geranium (*Pelargonium* spp.) to irrigation frequency. *South African Journal of Botany*. 78: 96-103.
- Ekrena, S., C. Sonmez, E. Ozcakal, Y.S.K. Kurttas, E. Bayram, and H. Gurgulu. 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agricultural Water Management.* 109: 155-161.
- Eskandari, M. 2011. Effect of 28-hemobrassinolid to reducing the effects of drought in savory herbs. *Plant Physiology and Biochemistry*. 3(11): 183-187.
- Fathi Amirkhiz, K., M. Amini Dehaghi, and S. Heshmati. 2015. Study the effect of iron chelate on chlorophyll content, photochemical efficiency and some biochemical traits in safflower under deficit irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 46(1): 137-145. (In Persian).
- Figueiredo, A.C., J.G. Barroso, L.G. Pedro, and J.J. Scheffer. 2008. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal.* 23: 213-226.
- Fu, J., and B. Huang. 2001. Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 45: 105-114.
- Gautam, P.P., A.K. Fritz, M.B.K. Kirkham, and B. Gill. 2011. Response of *Aegilops* species to drought stress during reproductive stages of development. Fundamental for Life. Soil, Crop & Environmental Sciences. Internatinal Annual Meetings. 16-19.
- Ghorbanali, M., and M. Niakan. 2005. Evaluation of drought stress effect on soluble sugars content, protein, prolin and phenolic compounds and nitrate reeducates activity in soybean cultivar Gorgan 3. *Iranian Journal of Science Education*. 1(2): 537-550. (In Persian).

- Grace, S.C., and B.A. Logan. 2000. Energy dissipation and radical scavenging by the plant phenyl propanoid pathway. *Philosophical Transactions of the Royal Society* B. 355: 1499-1510.
- Habibi, H., D. Mazaheri, N. Majnoon Hosseini, M.R. Chaichi, M. Tabatabai, and M. Bigdeli, 2011. Evaluation of the impact of organic sources (biological) and inorganic nitrogen (urea) on performance and secondary metabolites both wild and cultivated plant species of thyme (*Thymus* spp.). Ph.D. Thesis. Department of Crop and Animal Sciences, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University.129 pp (In Persian).
- Hanstein, S.M., and H.H. Felle. 2002. CO_2-triggered chloride release from guard cells in intact faba bean leaves. Kinetics of the onset of stomatal closure. *Plant Physiology*. 130: 940-950.
- Hataei, Sh. 2004. The effect of drought on physiological characteristics and activity of antioxidant enzymes in different cultivars of peas. M.S. dissertation. Agricultural faculty in Karaj, Islamic Azad University of Karaj. 150 pp. (In Persian).
- Heidari Sharif-Abad, H. 2000. Plants, aridity, and drought. Research Institute of Forests and Rangelans, Tehran, Iran. 200pp. (In Persian).
- Inze, D., and M.V. Montagu. 2000 Oxidative stress in plants. T.J. International Ltd, Padstow, Carnawell. Great Britain. 321pp
- Jaleel, C.A., R. Gopi, B. Sankar, M. Gomathinayagam, and R. Panneerselvam. 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes Rendus Biologies*. 33: 42-47.
- Jin, J., S. Ningwei, B. Jinhe, and G. Junping. 2006. Regulation of ascorbate peroxidase the transcript level is involved in tolerance to postharvest water deficit stress in the cut Rose (*Rose Hybrida* L.) cv. Samantha. *Postharvest Biology and Technology*. 40: 236-243.
- Khazaie, H.R., F. Nadjafib, and M. Bannayan. 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass and oil production of thyme (Thymus vulgaris) and hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Industrial Crops and Products.* 27: 315–321.
- Krizek, D.T., S.J. Britz, and R.M. Mirecki. 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of, New Red Fire Lettuce. *Physiology Plant*. 103: 1-7.
- Lebaschy, M.H., and E. Sharifi Ashoorabadi. 2004. Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 20(3): 249-261. (In Persian).
- Leng, P., H. Itamura, H. Yamamura, and M.X. Deng, 2000. Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Scientia Horticulturae*. 83: 43-50.
- Letchamo, W., L.V. Polydeonny, N.O. Gladisheva, and T.J. Arnason. 2002 Factors affecting *Echinacea* quality. In: Trends in new crops and new uses (eds. Janick J, Whipkey A.). 514 pp. ASHS Press: Alexandria VA.

- Li, K.R., H.H. Wang, G. Han, Q.J. Wang, and J. Fan. 2008. Effects of brassinolide on the survival, growth and drought resistance of *Robinia pseudoacacia* seedlings under water-stress. *New Forests.* 35: 255-266.
- Meri, H.R. 2004. Physiology and yield of crops plants under drought stress. Press the Navid of Shiraz. (In Persian).
- Motsa, N.M., P. Soundy, J.M. Steyn, R.A. Learmonth, N.Mojela, and C. Teubes. 2006. Plant shoot age and temperature effects on essential oil yield and oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) grown in South Africa. *Journal of Essential Oil Research*. 18: 106-110.
- Mrozikiewicz, P.M., A. Bogacz, M. Karasiewicz, P.L. Mikolajczak, M. Ozarowski, A. Seremak-Mrozikiewicz, B. Czerny, T. Bobkiewicz-Kozlowska, and E. Grzeskowiak. 2010. The effect of standardized *Echinacea purpurea* extracts on rat cytochrome P450 expression level. *Phytomedicine.* 17: 830-833.
- Navrozpoor, Gh., and P. Rezvanimqadam. 2006. The effect of irrigation intervals and plant density on yield and essential oil of black seed oil (*Nigella sativa* L.). *Research and Development in Agriculture and Horticulture.* 73:133-138. (In Persian).
- Norzad, S., A. Ahmadian, M. Moghaddam, and E. Daneshfar. 2014. Effect of drought stress on yield, yield components and essential oil in coriander treated with organic and inorganic fertilizers. *Agricultural Crop Management*. 16(2): 289-302. (In Persian).
- Omidbaigi, R. 2005. Production and processing of medicinal plants. Tehran University. 283 pp. (In Persian).
- Ouerghi, Z., G. Cornie, M. Roudani, A. Ayadi, and J. Bruifert. 2000. Effect of NaCl on the photosynthesis of two wheat species (*Triticum durum* and *T. aestivum*) differing in their sensitivity to salt stress. *Plant Physiology*. 156: 335-340.
- Ozdamir, F., M. Bor, T. Demiral, and I. Turkan. 2012. Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and anti oxidative system of rice (*Oriza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Growth Regulation*. 42: 203-211.
- Raziqiedk, W. 2006. Effect of salinity and drought stresses on phosphatase enzyme activity in bread wheat cultivars in the early stages of seed germination. M.S. Dissertation. Tehran University. 150 pp. (In Persian).
- Rezaei Chaine, A. 2012. The effect of irrigation on the accumulation of essential oil, its composition and some physiological traits in fennel. Ph.D. Thesis Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. 93pp. (In Persian).
- Rezaei Chaine, A., S. Zehtab Salmasi, K. Ghasemi Golezani, and H. Dlazr. .2012. The effects on yield and yield components of fennel landraces. *Journal of Sustainable Agricultural Knowledge.* 22(4): 55-70. (In Persian).
- Rezapour, H., M. Haider, M. Glovi, and M. Ramroudi. 2011. Effect of drought stress and different amounts of sulfur fertilizer on yield and yield components and osmotic adjustment in medicinal plant buckwheat. *Quarterly Journal of Medicinal and Aromatic Plants of Iran Research*. 27(3): 396-384. (In Persian).

- Ronald, S.F., and S.K. Laima. 1999. Phenolics and cold tolerance of *Brassica napus*. *Plant Agriculture*. 1: 1-5.
- Sabra, A., F. Daayf, and S. Renault. 2012. Differential physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. *Scientia Horticulturae*. 135: 23-31.
- Shahmoradi, Sh. 2003. Effects of drought stress on qualitative and quantitative traits of soybean cultivars and advanced Layn¬Hay. Tehran University, Tehran. M.Sc. Thesis. 104pp. (In Persian).
- Siosemardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini, and H. Ebrahimzadeh, 2003. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science.* 35(1): 93-106. (In Persian).
- Sofo, A., A.C. Tuzio, B. Dichio, and C. Xiloyannis. 2005. Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate-gluta-thione cycle in four interspecific Prunus hybrids. *Plant Science*. 69: 403-412.
- Swamy, K.N., and S.S.R. Rao. 2009. Effect of 24-Epibrassinolide on growth, photosynthesis, and essential oil content of *Pelargonium graveolens* (L.) *Herit. Russian Journal of Plant Physiology*. 56(5): 616-620.
- Tsai, Y.L., S.Y. Chiou, K.C. Chan, and J.M. Sung. 2012. Caffeic acid derivatives, total phenols, antioxidant and antimutagenic activities of *Echinacea purpurea* flower extracts. *LWT-Food Science and Technology.* 46: 169-176.
- Wagner, G. J. 1979. Content and vacuole /extera vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanin in protoplast. *Plant Physiology*. 68: 88-93.
- Wang, Z., and B. Huang. 2004. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop Science*. 44: 1729-1736.
- Xiao X., X. Xu, and F. Yang. 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations. *Silva Fennica*. 42: 705-719.
- Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu, and L. Liu. 2001. Water deficit induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agronomy Journal*. 93: 196-206.
- Yang, X. 2008. Effects of nonionic surfactant on plant growth and physiology. Ph.D. Thesis. Faculty of University Auburn of Alabama. 141pp.
- Zhang, M., Z. Zhai, X. Tian, L. Duan, and Z. Li. 2008. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). *Plant Growth Regulation*. 56: 257-264.
- Zhuoyun, W., and L. Jia. 2016. Brassinosteroids regulate root growth, development, and symbiosis. *Molecular Plant*. 9(1): 86-100.

The Effect of Brassinosteroied Application on Water Stress Tolerance of Coneflower (*Echinacea purpurea* L.)

Motalleb Hoseinpour[1]*, Ali Ebadi[2], Esmaeil Nabizadeh[3], Hassan Habibi[4], and Soodabeh Jahanbakhsh Godekahriz[5]

Received: December 2016 , Revised: 30 August 2017, Accepted: 13 September 2017

Abstract

Drought can have a dramatic effect on plant growth. To evaluate the effect of brassinosteroied on drought stress tolerance of coneflower a split split plot experiement based on randomized complete blook design was conducted in Mahabad. The factors were irrigation regime as the main factor, with three levels (irrigation after 70, 120 and 170 mm evaporation from pan class A), the use of surfactants with two levels (without and with half a liter per hectare) and spraying 24 – Epi- brassinosteroied with three levels (control, 10^{-8} and 10^{-7} M). In this study traits like photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll), auxiliary pigments (carotenoids, anthocyanins, flavonoids and phenolic compounds), SPAD index, stomatal conductance, MDA, economic performance (stem, leaf and flower yields), essential oil percent and essential oil yield were measured. The results indicated that interaction of irrigation regime by brassinosteroied application reduced the adverse effects of water stress on chlorophyll a by 28 percent. It was also revealed that the use of brassinosteroied (10^{-7} M) increased the variation of chlorophyll a by 35 percent and water stress reduced SPAD index by 25%. Use of brassinosteroied (10^{-7} M) increased SPAD index by 8%. Application of brassinosteroied (10^{-7} M) increased levels of carotenoids, anthocyanins and flavonoids by 17, 59 and 50 percent, respectively. Use of 10^{-7} M concentration of brassinosteroied under stress, also interested in stomatal conductance by 13 percent, as compared to that of not its using. The results of prediction function regression showed that stomatal conductance, amount of MDA and chlorophyll a, played significant roles in yield prediction. The results of water stress also, showed a determining role in reducing major growth factors of *Echinacea purpurea*. But the use of brassinosteroied along with surfactant solution increased its drought tolerance.

Key words: Carotenoid, economy yield, esentioal oil yield, photosynthetic pigment.

1- Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran.
4- Assistant Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran.
5- Associate Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
** Corresponding Author: motalleb2002@yahoo.com*