

تأثیر پتاسیم و براسینواستروئید بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و اسانس گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) در رژیم‌های متفاوت فراهمی آب

مریم اویسی عمران^۱، محسن زواره^{۲*}، فاطمه سفیدکن^۳، بهلول عباس‌زاده^۴ و سمانه اسدی‌صنم^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

پست الکترونیک: mzavareh@guilan.ac.ir

۳- استاد، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استادیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: مهر ۱۳۹۸

تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۸

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد خاکی کود پتاسیم و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و اسانس گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) در پاسخ به فراهمی آب انجام شد. تیمارها شامل سه مقدار فراهمی آب (آبیاری در سطح ۹۰٪ ظرفیت زراعی (شاهد)، آبیاری در سطح ۶۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی و آبیاری در سطح ۳۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی) در کرت‌های اصلی و چهار مقدار کود پتاسیم (بدون کاربرد پتاسیم (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم K₂O در هکتار) و محلول‌پاشی سه غلظت براسینواستروئید (محلول‌پاشی آب خالص (شاهد) و محلول‌پاشی با غلظت‌های ۰/۱ و ۱ میکرومولار) در کرت‌های فرعی بودند. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که بیشترین میانگین ارتفاع بوته (۶۷/۸ سانتی‌متر)، تعداد برگ در بوته (۱۵۱)، تعداد گل در بوته (۱۸/۱)، وزن خشک گل (۱۵۱/۹ گرم در بوته) و وزن خشک اندام هوایی (۵۰۸/۶ گرم در بوته) در سال دوم، تیمار آبی شاهد و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم حاصل شد. بیشترین درصد اسانس (۷۶) در تیمار آبی ۶۰٪ ظرفیت زراعی و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و ۱ میکرومولار براسینواستروئید بدست آمد. حداکثر عملکرد اسانس با مقدار ۰/۶۷ گرم در بوته مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و ۱ میکرومولار در سال دوم بود. در کل، یافته‌های این پژوهش نشان داد که رژیم آبی ۶۰٪ ظرفیت زراعی همراه با ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و غلظت ۱ میکرومولار براسینواستروئید می‌تواند سبب کاهش اثرهای تنش و افزایش عملکرد اسانس و بهبود برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه سرخارگل شود.

واژه‌های کلیدی: اکیناسه (*Echinacea*)، تنش خشکی، عملکرد گل، کاربرد خاکی، محلول‌پاشی هورمون.

مقدمه

گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Moench)، گیاهی از خانواده کاسنی است که علفی، چندساله و بومی آمریکای شمالی می‌باشد (Barnes et al., 2005). از جنس *Echinacea*، ۹ گونه و چهار رقم شناسایی و معرفی شده است (Stanisavljević et al., 2009) که از میان آنها سه گونه *Echinacea angustifolia* (DC.) Hell، *Echinacea purpurea* و *Echinacea pallida* (Nutt.) Moench (L.) به‌عنوان گونه‌های مهم با کاربرد دارویی و ارزش اقتصادی شناخته شده‌اند (Barnes et al., 2005). این گیاه سرما را تا دمای ۷- درجه سلسیوس به‌خوبی تحمل کرده (Asadi Sanam et al., 2015) و در خاک‌های حاصلخیز و غنی از مواد آلی و هوموسی با بافت لومی و متوسط و همچنین در مکان‌های پرنور و مرطوب به‌خوبی رشد می‌کند (Miller & Yu, 2004). بذر سرخارگل قوه رویشی کمی دارد و از آنجایی که رشد اولیه این گیاه بسیار کند است، کشت مستقیم آن توصیه نمی‌شود و همواره باید از روش غیرمستقیم (نشاءکاری) استفاده کرد (Omidbaigi, 2002). تمام پیکر سرخارگل از ریشه تا اندام‌های هوایی دارای مواد مؤثره ارزشمندی مانند ترکیب‌های آلکیل آمیدی، مواد فنولی به‌ویژه مشتقات کافئیک اسید، ترکیب‌های پلی‌ساکاریدی و همچنین اسانس (Chen et al., 2005)؛ (Zollinger et al., 2006) است.

پژوهشی بر روی گیاه سرخارگل نشان داد که تنش کم‌آبی منجر به کاهش معنی‌دار قطر ساقه، تعداد شاخه گل‌دهنده و عملکرد خشک اندام هوایی شده است (Farahvash et al., 2015). در مطالعه دیگری روی سرخارگل مشاهده شد که اعمال تنش کم‌آبی سبب کاهش ۱۹/۵۱ درصدی ارتفاع بوته، ۶/۹۱ درصدی تعداد شاخه گل‌دهنده، ۱۵/۶۲ درصدی وزن خشک اندام‌های هوایی شده که با محلول‌پاشی سولفات روی و آهن و همچنین کاربرد کود فسفات زیستی، اثر منفی تنش برطرف شد (Yarnia et al., 2012). در آزمایش دیگری روی دو گونه *E. purpurea* و *E. angustifolia*، مشاهده شد که اعمال

تنش کم‌آبیاری دوره‌ای (دوره اول: ۲ تا ۶ هفته پس از کاشت و دوره دوم: ۳ هفته پیش از برداشت) روی ماده خشک ریشه و نسبت آن به ماده خشک اندام‌های هوایی و همچنین بر تعداد گل در بوته گونه‌های مورد آزمایش معنی‌دار نبوده ولی سبب کاهش سطح برگ هر دو گونه و کاهش ماده خشک کل بوته در گونه *E. purpurea* شده است (Zheng et al., 2006).

پتاسیم نقش کلیدی در فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تنظیم اسمزی، بهبود کارایی مصرف آب و تحمل به تنش خشکی دارد. مقادیر کافی پتاسیم می‌تواند انباشت زیست‌توده خشک گیاهان، سطح برگ، بسته شدن سریع روزنه‌ها و حفظ رطوبت داخلی را در زمان بروز تنش کم‌آبی افزایش دهد و در تنظیم اسمزی و حفظ تورژسانس سلولی در مواجهه با تنش کم‌آبی تأثیر بسزایی داشته باشد (Egilla et al., 2001). در پژوهشی روی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) مشاهده شد که شاخص‌های رشد و عملکردی مانند تعداد گل در بوته، تعداد ساقه جانبی، قطر گل اصلی، قطر نهج، وزن تر و خشک گل در مرحله گلدهی تحت تأثیر کاربرد کود شیمیایی پتاسیم (۲۵۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم) و کمپوست قرار گرفته‌اند (Ashenavar et al., 2014).

براسینواستروئیدها گروه جدیدی از تنظیم‌کننده رشد استروئیدی هستند که تحمل گیاهان به گستره وسیعی از تنش‌های محیطی از جمله تنش کم‌آبی را افزایش داده و بر رشد و نمو و کاهش اثرهای علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها هم تأثیر می‌گذارد (Asha & Xia et al., 2009). در این راستا، در پژوهشی روی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.)، تأثیر کاربرد غلظت‌های مختلف ۲۸- هموبراسینواستروئید در شرایط تنش کم‌آبی بررسی و مشاهده شد که کاهش مقدار آب آبیاری بر پارامترهای رشدی مانند وزن خشک و طول ریشه، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع گیاه و عملکرد کل اندام‌های هوایی تأثیر معنی‌دار کاهشی داشته است اما کاربرد غلظت 10^{-8} مولار ۲۸- هموبراسینواستروئید موجب

قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه مقدار فراهمی آب: آبیاری نرمال با سطح ۹۰٪ ظرفیت زراعی یا ۱۰٪ تخلیه از ۱۰۰٪ FC (شاهد)، سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی یا ۴۰٪ تخلیه از ۱۰۰٪ FC و سطح ۳۰٪ ظرفیت زراعی یا ۷۰٪ تخلیه از ۱۰۰٪ FC در کرت اصلی، چهار مقدار کود شیمیایی پتاسیم: بدون کاربرد پتاسیم (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم K_2O در هکتار از منبع سولفات پتاسیم به صورت خاک پاش و دو مقدار تنظیم‌کننده رشد براسینواستروئید صفر (محلول پاشی با آب خالص)، ۰/۱ و ۱ میکرومولار در کرت‌های فرعی بودند. نشاءهای گونه *E. purpurea* (L.) Moench در مرحله سه تا چهار برگی از گلخانه پژوهشگاه گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی کرج تهیه شدند. عملیات آماده‌سازی بستر کشت شامل شخم پاییزه، تسطیح و دو دیسک عمود بر هم پیش از کاشت بود. پیش از شروع آزمایش، از خاک هر تکرار سه نمونه مجزا برداشت و بعد ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه مرکب در آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه خاک و آب کشور (کرج) تعیین شد (جدول ۱). داده‌های دما، رطوبت نسبی، میانگین بارندگی و ساعات آفتابی برای دو سال از ایستگاه هواشناسی دانشگاه تهران جمع‌آوری شد (شکل‌های ۱ تا ۴).

افزایش معنی‌دار ویژگی‌های مذکور شده است. در مورد درصد اسانس با کاهش مقدار آبیاری افزایش معنی‌داری مشاهده شد، به طوری که مقدار آن در تیمار آبیاری شاهد از ۳۶٪ به ۸۷٪ در تیمار تنش شدید و استفاده از 10^{-8} مولار رسید (Esk, 2011).

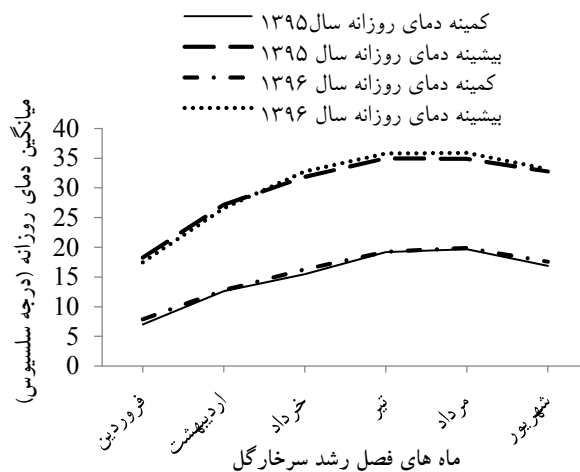
بنابراین، با توجه به کمبود منابع آب و افزایش شدت کم‌آبی در سال‌های اخیر و اثرهای مخرب این شرایط بر عملکرد گیاهان دارویی و اهمیت پتاسیم و براسینواستروئید در کاهش این اثرها، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر استفاده از مقادیر مختلف پتاسیم و محلول پاشی براسینواستروئید در کاهش اثرهای کم‌آبی و بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد ماده خشک و اسانس گیاه دارویی سرخارگل طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

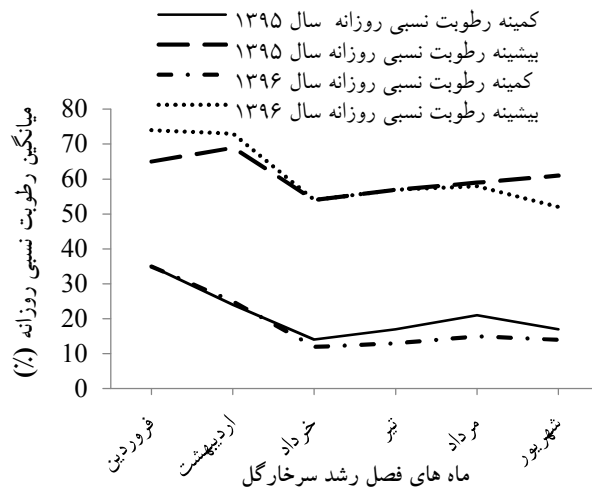
این پژوهش طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی گیاهان دارویی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲۹۲/۹ متر از سطح دریا) انجام شده است. آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده فاکتوریل در

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش

عمق نمونه برداری (cm)	کربن آلی (%)	نیترژن (%)	پتاسیم (mg/Kg)	فسفر (mg/Kg)	اسیدیته	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	بافت خاک
۰-۱۵	۰/۶۲۵	۰/۰۸	۱۹۷/۶	۱۰/۲	۷/۳۶	۳۳	۳۸	۲۹	لومی - رسی
۱۵-۳۰	۰/۶۸	۰/۰۸	۱۷۸/۶	۸/۷	۷/۲	۳۰	۴۱	۲۹	لومی - رسی



شکل ۱- میانگین دمای روزانه در شش ماه فصل رشد سرخارگل در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶



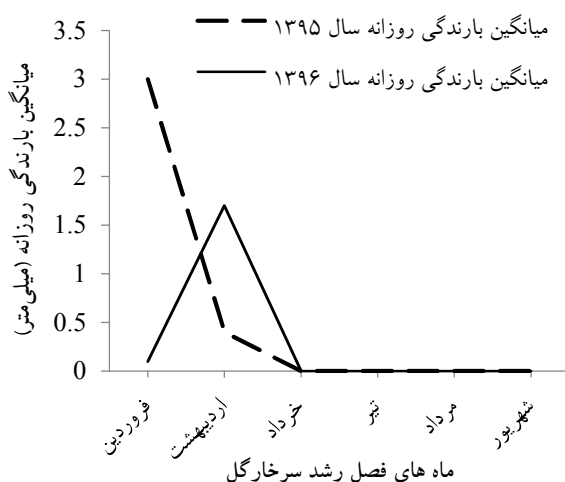
شکل ۲- میانگین رطوبت نسبی روزانه در شش ماه فصل رشد سرخارگل در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

پتاسیم مورد نیاز هر تیمار از منبع سولفات پتاسیم (K_2SO_4) محاسبه و در سال اول پیش از کشت به کرت‌ها اضافه شد (در سال دوم در ابتدای رشد دوباره بوته‌ها به صورت سرک در بین ردیف‌های کشت زیر خاک کرت‌ها قرار داده شد). محلول‌پاشی هورمون براسینوستروئید ($C_{28}H_{48}O_6$) در دو مرحله انجام شد. مرحله اول یک هفته پس از اعمال رژیم‌های آبیاری و مرحله دوم به فاصله یک هفته پس از محلول‌پاشی مرحله اول انجام شد. محلول‌پاشی هنگام غروب خورشید و با استفاده از دستگاه سم‌پاش انجام

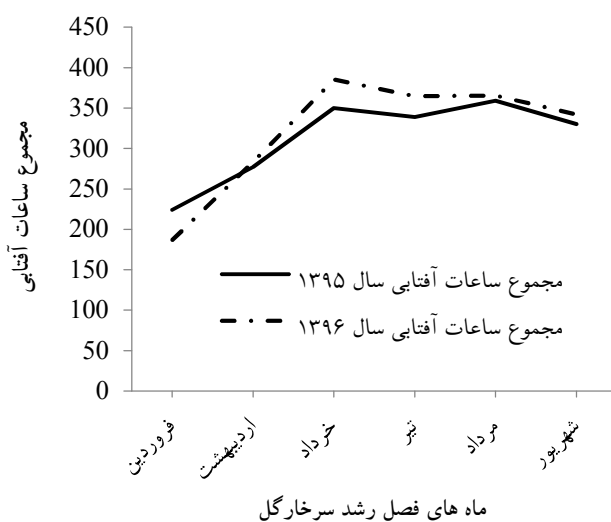
پس از آماده‌سازی زمین، کرت‌هایی به ابعاد 2×4 متر شامل ۷ ردیف کشت با فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر و بین ردیف ۴۵ سانتی‌متر ایجاد شدند. نشاءها در تاریخ ۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۵ به زمین اصلی منتقل و با تراکم $7/5$ بوته در مترمربع کشت گردیدند (به دلیل رشد دوباره اندام‌های هوایی، در سال دوم نیازی به کاشت دوباره نبود). بلافاصله پس از کشت، نشاءها به صورت جوی و پشته آبیاری شدند. وجین علف‌های هرز در چندین مرحله به صورت دستی انجام شد.

تکرار نمونه‌گیری انجام شد و ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم نمونه‌ها در آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه خاک و آب کشور (کرج) تعیین شد. با دستگاه صفحه فشاری ظرفیت زراعی تعیین شد (۲۳/۲۱٪). نقطه پژمردگی دائم خاک ۱۳/۳٪ بدست آمد. برای محاسبه حجم آب مورد نیاز هر کرت از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد.

شد، به طوری که تمام بوته‌ها خیس شدند. اعمال تیمار کم‌آبی از مرحله ساقه‌دهی (حدوداً اواخر خرداد) انجام شد و برای تعیین زمان آبیاری از دستگاه رطوبت‌سنج (Time Domain Reflectometry) مدل MCT 50 استفاده شد. برای این کار، نخست با روش نمونه‌گیری وزنی، منحنی رطوبتی خاک و منحنی TDR رسم شد. سپس از خاک هر



شکل ۳- میانگین بارندگی روزانه در شش ماه فصل رشد سرخارگل در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶



شکل ۴- مجموع ساعات آفتابی در شش ماه فصل رشد سرخارگل در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

اعمال کم آبی، لوله‌های فلزی دستگاه TDR در همه کرت‌ها قرار داده شد و براساس اعداد دستگاه، حجم آب مورد نیاز هر کرت با رابطه‌های بالا محاسبه و به وسیله کنتور، حجم آب مورد نیاز به کرت‌ها داده شد. مقدار آب استفاده شده و دفعات آبیاری هر کرت در جدول ۲ آمده است.

$$D = d \times \theta_v \quad \text{رابطه ۱}$$

$$V = D \times A \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، D: عمق آبیاری، d: عمق مؤثر ریشه، θ_v : تخلیه حجمی آب، A: سطح خاک هر کرت و V: حجم آبی است که به هر کرت داده شده است. برای تعیین درصد رطوبت خاک و

جدول ۲- مقدار آب مصرف شده و تعداد دور آبیاری برای هر یک از تیمارهای آزمایشی در دو سال انجام آزمایش

سال	سطوح آبیاری	دفعات آبیاری	مقدار آبیاری در کل دوره برای هر کرت (مترمکعب)
۱۳۹۵	۹۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی	۶۲	۳/۵۷۶
	۶۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی	۲۵	۱/۲۷۲
	۳۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی	۱۸	۰/۶۲۴
۱۳۹۶	۹۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی	۶۶	۳/۷۹۲
	۶۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی	۳۳	۱/۵۱۲
	۳۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی	۲۰	۰/۷۹۲

تهیه اسانس، از ۱۰۰ گرم از گل‌های هواخشک آسیاب شده به مدت ۳ ساعت در دستگاه کلونجر استفاده شد تا اسانس با روش تقطیر با آب بدست آید. عملکرد اسانس (برحسب ۱۰۰ گرم ماده خشک) پس از رطوبت‌زدایی با سولفات سدیم بدون آب بر حسب گرم در بوته به وسیله رابطه ۳ محاسبه شد (Izadi et al., 2014).

رابطه ۳

$$۱۰۰ / \text{درصد اسانس} \times \text{عملکرد گل} = \text{عملکرد اسانس}$$

برای تجزیه مرکب (دوساله) داده‌ها، از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ (Institute, 2002) استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارها، با آزمون LSD و در سطح احتمال ۵٪ انجام شد و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ رسم شدند.

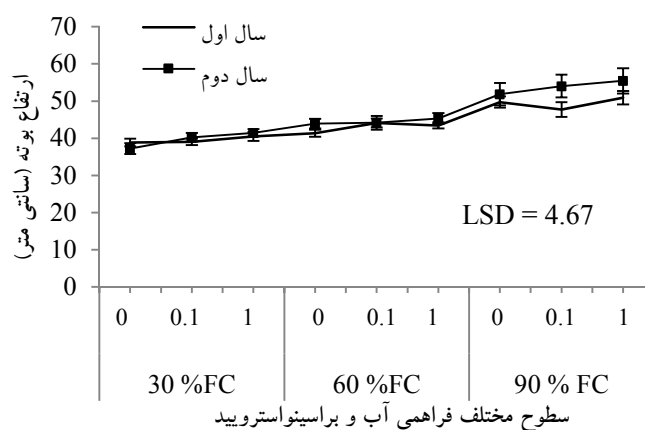
برداشت نهایی و اندازه‌گیری تمامی ویژگی‌های مورد نظر، روی هفت بوته‌ای که به صورت تصادفی از هر کرت و با رعایت اثر حاشیه در مرحله ۹۰٪ گلدهی برداشت شده بودند، انجام شد. ارتفاع این بوته‌ها (از سطح خاک تا انتهای گل ساقه اصلی)، تعداد ساقه‌های جانبی، تعداد برگ، تعداد گل باز در هر بوته پیش از برداشت بوته‌ها تعیین شدند. پس از برداشت (از فاصله ۵ سانتی‌متری سطح خاک) بوته‌ها به آزمایشگاه منتقل و اجزای بوته (گل، برگ، ساقه) از یکدیگر جدا و وزن تر آنها با ترازوی دیجیتال تعیین شد و بعد نمونه‌ها به مدت ۱۰ روز در محیط سایه، مسقف و خشک رها شدند و وزن هواخشک اجزا بوته با ترازو اندازه‌گیری شد. برای اطمینان بیشتر از یکسان بودن رطوبت تمامی نمونه‌ها میزان رطوبت نمونه‌های خشک شده با استفاده از آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس بدست آمد (درصد رطوبت نمونه‌های سال اول: ۲۵/۷، سال دوم: ۲۳/۴). برای

نتایج

ارتفاع بوته

آبی شاهد و سطح ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم با ۶۷/۸ سانتی متر بدست آمد (جدول ۴). برهم‌کنش دوم نشان داد که حداکثر ارتفاع بوته با مقدار ۵۵/۴۶ سانتی متر در سال دوم و در تیمار آبی نرمال و محلول پاشی ۱ میکرومولار هورمون براسینواستروئید بدست آمد که نسبت به کمترین ارتفاع حدود ۴۹٪ افزایش داشت (شکل ۵).

نتایج تجزیه داده‌های دو سال نشان داد که برهم‌کنش‌های سال × فراهمی آب × پتاسیم ($P \leq 0.01$) و سال × فراهمی آب × براسینواستروئید ($P \leq 0.05$) بر ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری داشته‌اند (جدول ۳). براساس برهم‌کنش اول، بیشترین ارتفاع بوته در سال دوم در تیمار



شکل ۵- برهم‌کنش فراهمی آب × براسینواستروئید در دو سال بر ارتفاع بوته در مرحله گلدهی کامل سرخارگل

محور افقی: سطوح مختلف فراهمی آب (درصد تخلیه از FC) و براسینواستروئید (میکرومولار). مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE (انحراف معیار) است.

تعداد برگ

تأثیر برهم‌کنش سال × فراهمی آب × پتاسیم بر تعداد برگ معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود (جدول ۳). براساس این برهم‌کنش، بیشترین تعداد برگ با میانگین ۱۵۱ عدد در سال دوم و در گیاهان کرت‌های آبی شاهد و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم شمارش گردید (جدول ۴).

تعداد گل

در این آزمایش تعداد گل تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش سال × فراهمی آب × پتاسیم در سطح آماری ۱٪ قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین تعداد گل نشان داد در سال دوم با افزایش سطوح تنش تعداد گل‌ها کاهش یافت (جدول ۴). با

تعداد ساقه جانبی

تجزیه واریانس داده‌های تعداد ساقه‌های جانبی در دو سال نشان داد که این ویژگی تحت تأثیر برهم‌کنش سال × فراهمی آب × پتاسیم قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها برای این صفت نشان دادند که با افزایش میزان تخلیه آب از خاک، تعداد شاخه کاهش یافته و از سویی افزایش سطوح پتاسیم سبب افزایش این ویژگی گردید (جدول ۴). بیشترین تعداد ساقه جانبی با ۱۸/۵ عدد در سال دوم، تیمار آبی نرمال و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بوده و کمترین تعداد (با میانگین ۸ شاخه) در سال دوم در کرت‌های تیمار آبی ۳۰٪ ظرفیت زراعی و بدون کاربرد پتاسیم بدست آمد که نسبت به بیشترین تعداد حدود ۵۷٪ کاهش داشت (جدول ۴).

داد که بیشترین عملکرد گل با ۱۲۹/۵۲ گرم در بوته در سال اول در کرت‌های تحت تیمار ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم و ۱ میکرومولار براسینواستروئید محاسبه و در مقابل کمترین مقدار نیز در سال دوم و بدون کاربرد پتاسیم و براسینواستروئید با مقدار ۵۶/۴۲ گرم در بوته بدست آمد (شکل ۶).

ماده خشک برگ

در برهم‌کنش سال × فراهمی آب × پتاسیم در سال دوم، تیمار آبیاری نرمال و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم بیشترین مقدار ماده خشک برگ (۲۲۵/۴۱ گرم در بوته) بدست آمد (جدول ۴). در حالی‌که در برهم‌کنش سال × پتاسیم × براسینواستروئید در سال دوم بیشترین مقدار برای وزن خشک برگ ۱۸۳/۵۱ گرم در بوته در ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و غلظت ۱ میکرومولار ثبت گردید (شکل ۷-الف). برهم‌کنش فراهمی آب × پتاسیم × براسینواستروئید نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم و غلظت ۱ میکرومولار براسینواستروئید با مقدار ۲۳۰/۶۶ گرم در بوته بیشترین وزن خشک برگ ثبت گردید (شکل ۷-ب).

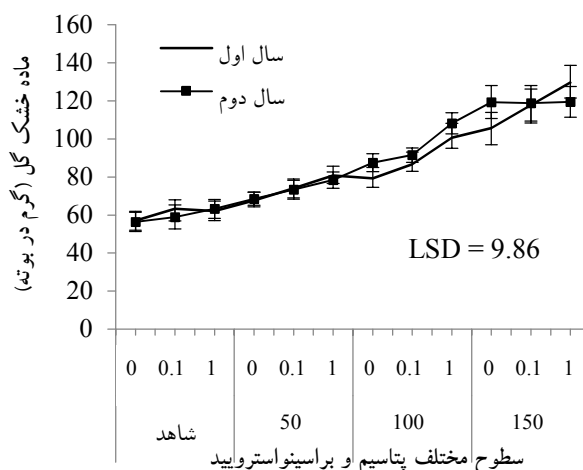
این‌حال، بیشترین تعداد گل (۱۸) در تمامی سطوح تنش در ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار بدست آمد (جدول ۴).

قطر گل

نتایج تجزیه نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه سال × فراهمی آب × پتاسیم تأثیر بسیار معنی‌داری بر قطر گل داشت (جدول ۳). طبق مقایسه میانگین بیشترین قطر گل با مقدار ۸/۴۹ سانتی‌متر در سال اول، تیمار آبیاری نرمال و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بدست آمد، از سویی کمترین مقدار (۴/۶۴ سانتی‌متر) نسبت به بیشترین مقدار ۴۵٪ کاهش یافت (جدول ۴).

ماده خشک گل

براساس نتایج این پژوهش، ماده خشک گل تحت تأثیر برهم‌کنش سال × فراهمی آب × پتاسیم و همچنین سال × پتاسیم × براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۳). در برهم‌کنش اول بیشترین ماده خشک گل‌ها ۱۵۱/۹۴ گرم در بوته در سال دوم در کرت‌هایی بدست آمد که تحت تیمار آبی شاهد و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بودند (جدول ۴). برهم‌کنش سال × پتاسیم × براسینواستروئید نیز نشان



شکل ۶- برهم‌کنش پتاسیم × براسینواستروئید در دو سال بر ماده خشک گل در مرحله گلدهی کامل سرخارگل

محور افقی: سطوح مختلف پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) و براسینواستروئید (میکرومولار)؛ مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE (انحراف معیار) است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های مورد مطالعه

میانگین مربعات											درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد اسانس	درصد اسانس	ماده خشک اندام هوایی	ماده خشک ساقه	ماده خشک برگ	ماده خشک گل	قطر گل	تعداد گل	تعداد برگ	تعداد ساقه جانبی	ارتفاع بوته		
۰/۵۲**	۰/۴۷**	۱۳۱۶۴/۰۶**	۱۵۰۵/۴**	۴۱۲۴/۱**	۱۳۷/۷n.s	۰/۳۶n.s	۰/۶۲n.s	۱۳۲۰۲/۳**	۱۹/۷**	۲۱۸/۳**	۱	سال
۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۲۲۱۷/۰۵	۵۳/۵	۷۸۸/۶	۲۲۲/۶	۰/۲۴	۱/۱۶	۹۳/۰۲	۲/۸	۱۰/۲	۴	خطای آزمایش (۱)
۰/۱۲**	۱/۰۳**	۴۳۸۹۹۹/۸**	۱۲۹۸۰/۸**	۱۵۷۷۸۷/۹**	۲۵۸۱۱/۴**	۷۶/۲۴**	۱۴۸۵/۱**	۳۰۲۲۱/۵**	۸۸۴/۸**	۲۷۰۲/۵**	۲	فراهمی آب
۰/۰۰۹**	۰/۰۰۴۵*	۲۱۶/۲n.s	۵۷/۷n.s	۱۹۸/۸n.s	۴۸/۵۸n.s	۱/۴۵**	۳۳/۸**	۷۰۴/۳**	۲/۸**	۸۰/۹**	۲	سال × فراهمی آب
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۲	۱۷۴/۵	۵۲/۱	۱۷۷/۹	۳۴/۷۷	۰/۲	۱/۵	۳۰/۱	۰/۴۷	۷/۲	۸	خطای آزمایش (۲)
۱/۵۹**	۰/۶۳**	۲۰۳۰۱۳/۴**	۱۳۶۴/۰۲**	**۴۱۸۱۸/۴	۳۴۲۷۴/۲**	۱۷/۶**	۱۷۰/۴**	۶۱۵/۱**	۶۱/۹**	۱۳۲۹/۹**	۳	پتاسیم
۰/۰۷**	۰/۰۳۱**	۲۰۵۷/۱**	۲۹۵/۷**	**۴۹۶/۸**	۱۸۷/۸**	۲/۴**	۱/۳n.s	۲۴۵/۵**	۱۰/۹**	۱۴۶/۶**	۳	سال × پتاسیم
۰/۰۵۶**	۰/۰۸۲**	۴۱۶۱/۱**	۸۳۲/۱**	۵۳۰/۰۵**	۱۰۴۳/۲**	۱/۰۳۵**	۱/۹n.s	۵۹/۸n.s	۳/۳**	۱۷۳/۸**	۶	فراهمی آب × پتاسیم
۰/۰۲**	۰/۰۳۴**	۱۱۲۱/۱**	۴۱/۴n.s	۴۹۴/۵**	۲۵۴/۱۱**	۱/۰۳۶**	۳/۰۰۳*	۶۶/۰۳*	۲/۰۳**	۵۰/۳**	۶	سال × فراهمی آب × پتاسیم
۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۲۶۲/۸	۵۳/۶	۹۴/۵	۴۲/۴	۰/۲۵	۱/۱	۲۹/۱	۰/۵۲	۱۴/۳	۳۶	خطای آزمایش (۳)
۰/۳۴**	۰/۲**	۲۷۱۲۶/۳**	۷۳۳/۶**	**۷۲۵۹/۶	۲۸۸۱/۹**	۶/۷۱**	۲۳/۱**	۶۴۵/۸**	۱۷/۴**	۱۰۱/۱**	۲	براسینواستروئید
۰/۰۰۰۹n.s	۰/۰۰۱n.s	۱۸۰/۱n.s	۲۷۲/۹۴**	۹۷/۳n.s	۲۱۴/۰۹**	۰/۶۲n.s	۳/۰۰۶n.s	۸/۴n.s	۳/۶**	۱۲/۹n.s	۲	سال × براسینواستروئید
۰/۰۰۰۶n.s	۰/۰۰۳*	۷۰۹/۹**	۴۸/۴n.s	۲۳۴/۲*	۴۰/۸n.s	۰/۶۳**	۴/۳**	۸۶/۷**	۰/۱۵n.s	۸/۳n.s	۴	فراهمی آب × براسینواستروئید
۰/۰۳۳**	۰/۰۰۶**	۶۱۴/۴**	۷۳/۰۴n.s	**۳۲۳/۸	**۲۱۹/۱	۰/۲۷n.s	۱/۱n.s	۴۳/۹n.s	۰/۰۹n.s	۱۸/۷**	۶	پتاسیم × براسینواستروئید
۰/۰۰۱۶n.s	۰/۰۰۱n.s	n.s۱۴۷/۷	۳۴/۶n.s	۱۲۵/۶n.s	۴۶/۶ n.s	۰/۰۶n.s	۱/۰۵n.s	۱۷/۴n.s	۰/۱۲n.s	۱۹/۱**	۴	سال × فراهمی آب × براسینواستروئید
۰/۰۰۴۴**	n.s۰/۰۰۱	۱۱۳۴/۱**	۷۳/۶n.s	۲۷۷/۲**	۱۶۱/۹**	۰/۲۳n.s	۱/۱n.s	۲۷/۴n.s	۰/۳۰۲n.s	۵/۱n.s	۶	سال × پتاسیم × براسینواستروئید
۰/۰۰۴۷**	۰/۰۰۳**	۲۲۹/۸n.s	۵۱/۴n.s	۲۳۳/۹**	۴۴/۳n.s	۰/۲۸n.s	۱/۲n.s	۲۶/۱n.s	۰/۳۳n.s	۷/۹n.s	۱۲	فراهمی آب × پتاسیم × براسینواستروئید
۰/۰۰۲۳n.s	۰/۰۰۱n.s	۱۸۷/۳n.s	۴۵/۴n.s	۱۵۵/۷n.s	۳۱/۲n.s	۰/۲۶n.s	۱/۴n.s	۳۰/۵n.s	۰/۵۴n.s	۶/۹n.s	۱۲	سال × فراهمی آب × پتاسیم × براسینواستروئید
۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱	۱۹۷/۳	۵۰/۰۷	۹۴/۱	۳۹/۷	۰/۲۳	۱/۰۹	۲۷/۳	۰/۴۵	۷/۰۱	۹۶	خطای آزمایش (۴)
۱۲/۴	۹/۰۹	۴/۴	۸/۰۶	۶/۷	۷/۳	۶/۴	۹/۰۷	۴/۱۲	۴/۸	۵/۹	-	ضریب تغییرات (%)

جدول ۴- میانگین برهم کنش فراهمی آب و پتاسیم در دو سال بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در سرخارگل در مرحله گلدهی کامل

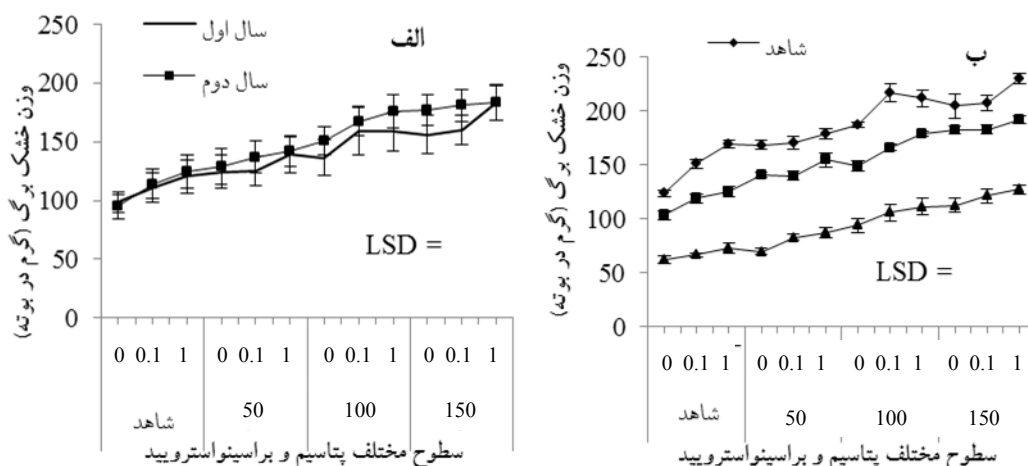
تیمار

سال	فراهمی آب	پتاسیم (کیلوگرم/هکتار)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد ساقه جانبی	تعداد برگ در بوته	تعداد گل باز در بوته	قطر گل (سانتی‌متر)	ماده خشک گل (گرم در بوته)	ماده خشک برگ (گرم در بوته)	ماده خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	درصد اسانس	عملکرد اسانس
	شاهد		۴۳/۵۷±۱/۱۲	۱۵/۸۸±۰/۳۷	۱۳۳/۶۶±۱/۱۳	۱۳/۱۱±۰/۳۳	۷/۰۵±۰/۱۶	۷۷/۷۳±۲/۷۵	۱۴۸/۹۲±۷/۷۸	۳۰۱/۵۴±۱۰/۲۸	۰/۱۲±۰/۰۰۸	۰/۰۹۳±۰/۰۰۶
	%۹۰	۵۰	۴۶/۲۲±۱/۰۱	۱۶/۸۳±۰/۳۱	۱۳۴/۱۳±۲/۱۴	۱۳/۷۳±۰/۳۱	۷/۶۱±۰/۱۳	۸۷/۹۴±۳/۲۵	۱۶۸/۰۴±۵/۲۴	۳۴۲/۵۱±۷/۱۷	۰/۱۱±۰/۰۰۴	۰/۱±۰/۰۰۵
	FC	۱۰۰	۵۳/۸±۱/۴۵	۱۷/۷۵±۰/۲۹	۱۳۴/۸۷±۰/۶۳	۱۵/۲۵±۰/۰۵	۸/۳۱±۰/۱۵	۱۱۲±۴/۳۸	۲۰۳/۵۸±۷/۸۶	۴۱۷/۴۴±۱۰/۹۳	۰/۱۹±۰/۰۱۷	۰/۲۲±۰/۰۰۲
	۱۵۰		۵۴/۱۸±۱/۷۸	۱۸/۳۹±۰/۲۸	۱۳۵/۸۸±۱/۱۳	۱۷/۶۷±۰/۴۵	۸/۴۹±۰/۱۹	۱۵۱/۲۸±۴/۳۳	۲۰۲/۸۴±۹/۰۲	۴۷۸/۲۵±۱۳/۵۹	۰/۲۷±۰/۰۱۹	۰/۴۲±۰/۰۰۳
۱۳۹۵	شاهد		۳۹/۱۱±۰/۶۶	۱۴/۷۷±۰/۳۳	۱۲۸/۳۱±۱/۲۳	۹/۷۵±۱/۰۸	۶/۷۸±۰/۱۸	۵۷/۵۲±۱/۲۳	۱۱۱/۰۹±۲/۳۸	۲۴۰/۰۲±۳/۰۳	۰/۲۹±۰/۰۱۸	۰/۱۳±۰/۰۱۳
	%۶۰	۵۰	۴۲/۱۱±۰/۶۶	۱۵/۷۲±۰/۴۳	۱۲۹/۰۹±۱/۱۵	۱۲±۰/۱۷	۷/۳۴±۰/۱۳	۷۴/۷۹±۳/۵۳	۱۴۴/۲۲±۵/۱۴	۲۹۹/۰۲±۹/۲	۰/۳۶±۰/۰۱۷	۰/۲۲±۰/۰۱۷
	FC	۱۰۰	۴۵/۰۶±۱/۰۳	۱۶±۰/۳۳	۱۲۹/۹۸±۱/۱۹	۱۳/۰۷±۰/۱۵	۷/۳±۰/۰۶	۸۶/۸۸±۳/۱۹	۱۶۲/۳۱±۶/۰۵	۳۴۵/۸۳±۹/۷	۰/۶±۰/۰۲۳	۰/۴۱±۰/۰۰۳
	۱۵۰		۴۵/۵۵±۱	۱۶/۵۳±۰/۳	۱۳۱/۱۷±۰/۸۹	۱۳/۹۷±۰/۲۹	۷/۴۱±۰/۱۵	۱۰۰/۰۹±۳/۲۴	۱۸۳/۶۴±۴/۴۲	۳۸۳/۹۶±۷/۳۲	۰/۴۴±۰/۰۱۹	۰/۴۵±۰/۰۰۳۶
	شاهد		۳۶/۰۳±۰/۴۴	۱۰/۷۲±۰/۳۲	۹۰/۶۴±۰/۳۲	۵/۳۹±۰/۲۹	۵/۷۹±۰/۱۹	۴۷/۲۷±۲/۶۱	۶۹/۴±۳/۳۴	۱۷۵/۹۶±۵/۶۳	۰/۱۶±۰/۰۱۵	۰/۹۶±۰/۰۰۹
	%۳۰	۵۰	۳۹/۰۳±۰/۴۴	۱۱/۰۳±۰/۱۸	۹۱/۴۵±۲/۱۸	۶/۷۱±۰/۲۲	۶/۰۴±۰/۲۲	۵۹/۸۱±۲/۰۳	۷۶/۷۹±۴/۱	۲۰۶/۷۲±۳/۲۸	۰/۳۱±۰/۰۱۱	۰/۲۳±۰/۰۱۵
	FC	۱۰۰	۴۰/۲۲±۰/۲۷	۱۰/۷۶±۰/۲۸	۹۳/۵۷±۱/۲	۷/۸۸±۰/۲۶	۶/۵۳±۰/۱۷	۶۷/۶۲±۲/۷۵	۸۸/۴۶±۳/۳۴	۲۳۲/۵۲±۶/۹۶	۰/۳±۰/۰۲۳	۰/۲۵±۰/۰۰۲۷
	۱۵۰		۴۲/۶۳±۰/۵۱	۱۱/۰۶±۰/۲۱	۹۴/۰۹±۱/۸۲	۹/۲۶±۰/۳۵	۶/۰۷±۰/۱۶	۱۰۱/۵±۴/۲۱	۱۱۳/۱۱±۶/۲۲	۲۹۴/۵۵±۱۰/۰۸	۰/۴۱±۰/۰۲۷	۰/۴۲±۰/۰۰۳۸

ادامه جدول ۴ - ...

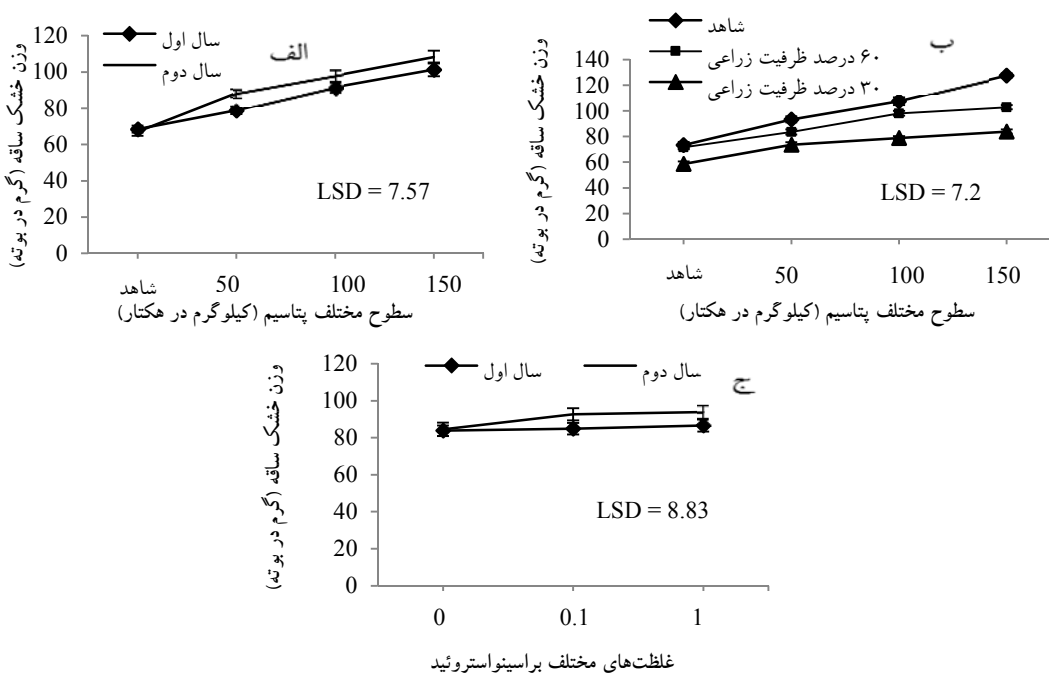
تیمار												
سال	فراهمی آب	پتاسیم (کیلوگرم/هکتار)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	تعداد ساقه جانبی	تعداد برگ در بوته	تعداد گل باز در بوته	قطر گل (سانتی متر)	ماده خشک گل (گرم در بوته)	ماده خشک برگ (گرم در بوته)	ماده خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	درصد اسانس	عملکرد اسانس
	شاهد		۴۳/۵۴±۰/۸۵	۱۴/۷۲±۰/۳۹	۱۴۲/۳۲±۲/۱۳	۱۳/۷۵±۰/۳	۶/۹۲±۰/۱۸	۷۶/۰۵±۱/۵۲	۱۴۷/۴۲±۶/۳۹	۲۹۵/۰۸±۱۰/۷۶	۰/۱۶±۰/۰۱	۰/۱۳±۰/۰۰۹
	۹۰٪	۵۰	۴۵/۰۲±۱/۱۳	۱۶/۵۹±۰/۱۳	۱۴۹/۴±۱/۰۸	۱۵/۰۸±۰/۸۷	۷/۶۳±۰/۱۷	۸۶/۶۶±۲/۱۷	۱۷۷/۸۶±۲/۲	۳۶۴/۹±۵/۳۷	۰/۲۵±۰/۰۱۱	۰/۲۲±۰/۰۱۴
	FC	۱۰۰	۵۸/۸۲±۱/۷۶	۱۸/۴۳±۰/۱۸	۱۵۶/۵±۱/۵۷	۱۷/۳۱±۰/۳۶	۹/۰۲±۰/۳	۱۱۳/۱۴±۴/۵۷	۲۰۷/±۵/۶۳	۴۳۴/۱۳±۱۲/۰۶	۰/۳۳±۰/۰۲۵	۰/۳۸±۰/۰۴۳
	۱۵۰		۶۷/۷۸±۰/۹۴	۱۸/۰۶±۰/۲۶	۱۵۱/۰۱±۲/۶۲	۱۸/۱۴±۰/۳۵	۸/۵±۰/۲۲	۱۵۱/۹۴±۱/۴۷	۲۲۵/۴۱±۳/۰۹	۵۰۸/۶۳±۳/۹۸	۰/۳۹±۰/۰۲۳	۰/۶±۰/۰۳۳
۱۳۹۶	شاهد		۴۰/۰۵±۰/۹۹	۱۳/۶۱±۰/۲۲	۱۳۱/۸۲±۱/۴۷	۱۱±۰/۲۸	۶/۷۴±۰/۱۹	۵۹/۲۳±۱/۷۶	۱۲۰/۶۱±۵/۷۱	۲۵۱/۴۲±۷/۶۳	۰/۲۹±۰/۰۱۴	۰/۱۳±۰/۰۱۶
	۶۰٪	۵۰	۴۱/۰۴±۱/۰۸	۱۴/۲۷±۰/۲۷	۱۳۴/۵۶±۱/۳۶	۱۱/۵۸±۰/۱۵	۶/۵۳±۰/۱۴	۷۲/۱±۳/۱۶	۱۴۶/۴۱±۲/۹۷	۳۰۵/۷۱±۷	۰/۴۴±۰/۰۲۵	۰/۲۷±۰/۰۲۲
	FC	۱۰۰	۴۵/۳۸±۰/۸۱	۱۵/۷۴±۰/۳۳	۱۴۲/۶۸±۱/۱۱	۱۳/۶۳±۰/۳۱	۷/۴۱±۰/۲۷	۸۸/۲۸±۳/۰۳	۱۶۷/۳±۳/۷۵	۳۵۵/۲۵±۸/۵	۰/۷۳±۰/۰۲۵	۰/۶۳±۰/۰۴۱
	۱۵۰		۵۱/۴۸±۰/۸۳	۱۷/۳۵±۰/۱۶	۱۴۸±۱/۷۵	۱۵/۲±۰/۲۳	۸/۱۷±۰/۱۲	۱۱۰/۶۱±۲/۳۲	۱۸۸/۶۳±۱/۴۳	۴۰۴/۷۸±۳/۳	۰/۵۹±۰/۰۲۳	۰/۵۶±۰/۰۲۱
	شاهد		۳۶/۸۴±۱/۴۸	۷/۹۲±۰/۱۶	۱۱۲/۶۷±۳/۵۷	۴/۸۴±۰/۲۶	۴/۶۴±۰/۲۳	۴۳/۳۶±۴/۶۴	۶۵/۴۳±۲/۶۸	۱۶۶/۷۹±۸/۶۱	۰/۳۲±۰/۰۱۸	۰/۱۹±۰/۰۱۳
	۳۰٪	۵۰	۳۸/۶۸±۱/۲۵	۹/۸۲±۰/۲۳	۱۰۸/۳۹±۵/۰۲	۴/۸۶±۰/۲۳	۵/۵۶±۰/۳۱	۶۱/۵۱±۱/۹۳	۸۳/۴۴±۳/۵۳	۲۲۲/۰۹±۵/۶۸	۰/۲±۰/۰۱۴	۰/۱۵±۰/۰۱۷
	FC	۱۰۰	۳۹/۸۶±۱/۳۵	۱۰/۹۹±۰/۱۵	۱۱۶±۲/۰۵	۵/۷۵±۰/۲۷	۶/۱۲±۰/۲۲	۸۵/۷±۳/۱۲	۱۱۹/۲۲±۳/۵۶	۲۸۵/۹۸±۷/۷۱	۰/۴۵±۰/۰۱۸	۰/۴±۰/۰۲۸
	۱۵۰		۴۳/۲۳±۰/۷۸	۱۰/۷۱±۰/۱۳	۱۲۱/۱۶±۲/۳۸	۸±۰/۲	۶/۵۲±۰/۲۸	۹۵±۱/۶۵	۱۲۷/۹۴±۱/۰۴	۳۱۰/۹۲±۱/۷۴	۰/۵۱±۰/۰۳۲	۰/۵۷±۰/۰۴۳

مقادیر میانگین سه تکرار ± SE (انحراف معیار) است.



شکل ۷- برهم کنش فراهمی آب، پتاسیم و براسینواستروئید در دو سال بر ماده خشک برگ در مرحله گلدهی کامل سرخارگل (الف و ب)

محور افقی: سطوح مختلف پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) و براسینواستروئید (میکرومولار)؛ مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE (انحراف معیار) است.



شکل ۸- برهم کنش فراهمی آب، پتاسیم و براسینواستروئید در دو سال بر ماده خشک ساقه در مرحله گلدهی کامل سرخارگل (الف، ب و ج)

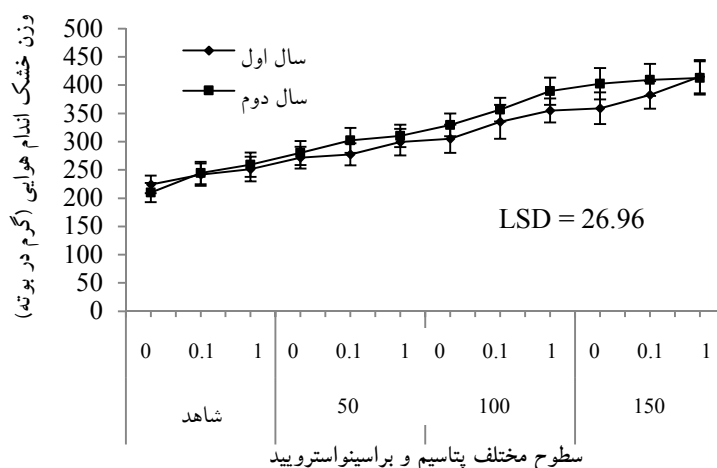
محور افقی: سطوح مختلف پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) و براسینواستروئید (میکرومولار)؛ مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE (انحراف معیار) است.

وزن خشک ساقه

بر اساس مقایسه میانگین در برهم‌کنش دوگانه سال \times پتاسیم در سال دوم بیشترین مقدار در بوته (۱۰۸/۲۵ گرم) در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بوده است (شکل ۸-الف). در برهم‌کنش فراهمی آب \times پتاسیم، بیشترین مقدار وزن خشک ساقه در بوته در تیمار آبی نرمال و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (۱۲۷/۶۹ گرم) بوده است (شکل ۸-ب). از سویی در برهم‌کنش سال \times براسینواستروئید، ۹۳/۹۲ گرم در بوته بیشترین مقدار وزن خشک را در سال دوم و غلظت ۱ میکرومولار و ۸۳/۷۸ گرم در بوته نیز در سال اول و بدون کاربرد براسینواستروئید کمترین مقدار وزن خشک را ثبت کرده است (شکل ۸-ج).

وزن خشک اندام هوایی

برهم‌کنش سال \times فراهمی آب \times پتاسیم نشان داد که بیشترین وزن خشک با ۵۰۸/۶۳ گرم در بوته در سال دوم، در رژیم آبی نرمال و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بدست آمد (جدول ۴). در برهم‌کنش سه‌گانه سال \times پتاسیم \times براسینواستروئید در سال اول، تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و غلظت ۱ میکرومولار براسینواستروئید با مقدار ۴۱۵/۰۲ گرم در بوته محاسبه شد و کمترین مقدار نیز ۲۰۹/۲۹ گرم در بوته در سال دوم و بدون کاربرد پتاسیم و براسینواستروئید بدست آمد (شکل ۹).



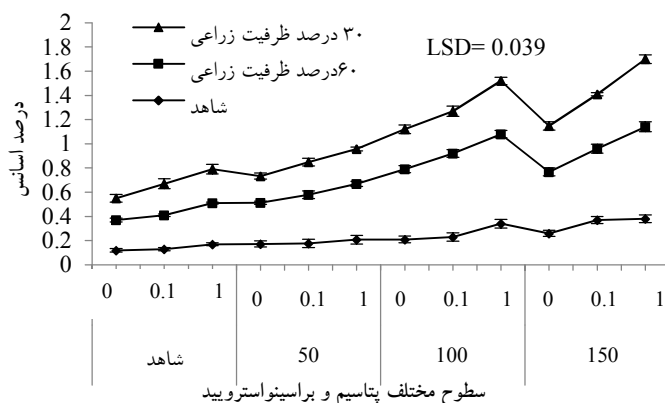
شکل ۹- برهم‌کنش پتاسیم \times براسینواستروئید در دو سال بر ماده خشک اندام هوایی در مرحله گلدهی کامل سرخارگل (الف و ب)

محور افقی: سطوح مختلف پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) و براسینواستروئید (میکرومولار)؛ مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE (انحراف معیار) است.

درصد اسانس

تجزیه واریانس مربوط به درصد اسانس طی دو سال تحت تأثیر عوامل مورد بررسی (فراهمی آب، پتاسیم و براسینواستروئید) و برهم‌کنش میان آنها قرار گرفت (جدول ۳). برهم‌کنش سه‌گانه سال \times فراهمی آب \times پتاسیم نیز نشان داد که بیشترین درصد (۷۳) در سال دوم و تیمارهای ۶۰٪

ظرفیت زراعی و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم مشاهده شدند (جدول ۴). همچنین برهم‌کنش سه‌گانه فراهمی آب \times پتاسیم \times براسینواستروئید بیانگر آن بود که بیشترین درصد اسانس با مقدار ۷۶٪ در تیمار آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی، ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و غلظت ۱ میکرومولار براسینواستروئید بوده است (شکل ۱۰).



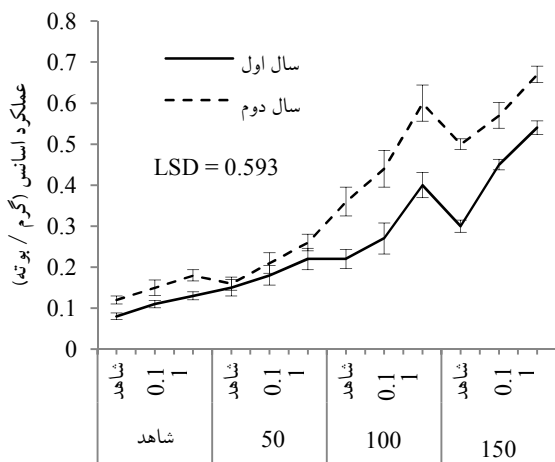
شکل ۱۰- برهم کنش پتاسیم × براسینواستروئید × فراهمی آب بر درصد اسانس در مرحله گلدهی کامل

محور افقی: سطوح مختلف پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) و براسینواستروئید (میکرومولار)؛ مقادیر میانگین سه تکرار ± SE (انحراف معیار) است.

عملکرد اسانس

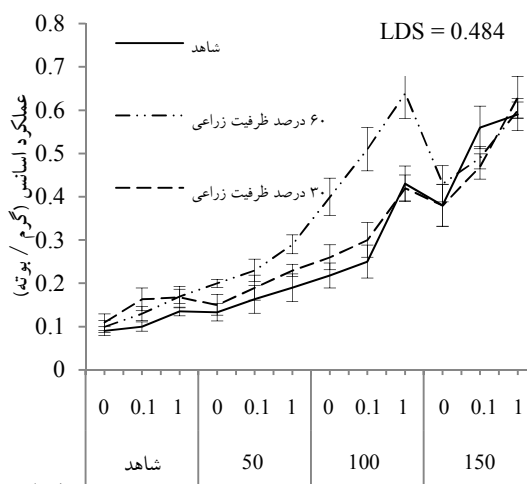
در سال دوم، بیشترین درصد عملکرد اسانس (۰/۶۷ گرم در بوته) در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم و ۱ میکرومولار براسینواستروئید بوده است (شکل ۱۱- الف). در نهایت برهم کنش سه گانه فراهمی آب × پتاسیم × براسینواستروئید نمایانگر بیشترین درصد عملکرد اسانس (۰/۶۴ گرم در بوته) در تیمار آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی، ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و غلظت ۱ میکرومولار براسینواستروئید بوده است (شکل ۱۱- ب).

جدول تجزیه واریانس مربوط به عملکرد اسانس نشان دهنده برهم کنش معنی دار سال، فراهمی آب، پتاسیم و براسینواستروئید بود (جدول ۳). برهم کنش سه گانه سال × فراهمی آب × پتاسیم نشان داد که بیشترین درصد عملکرد اسانس (۰/۶۳ گرم در بوته) در سال دوم تیمارهای آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم مشاهده شد (جدول ۴). در برهم کنش سه گانه سال × پتاسیم × براسینواستروئید



(الف)

سطوح مختلف پتاسیم و براسینواستروئید



(ب)

سطوح مختلف پتاسیم و براسینواستروئید

شکل ۱۱- برهم کنش پتاسیم، براسینواستروئید و فراهمی آب بر عملکرد اسانس

در مرحله گلدهی کامل سرخارگل (الف و ب)

محور افقی: سطوح مختلف پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) و براسینواستروئید (میکرومولار)؛ مقادیر میانگین سه تکرار ± SE (انحراف معیار) است.

بحث

در این آزمایش، کاهش فراهمی آب در مقایسه با شاهد (شرایط آبیاری نرمال)، کاهش ارتفاع بوته (جدول ۴ و شکل ۵)، تعداد ساقه جانبی، تعداد برگ، تعداد و قطر گل (جدول ۴) را سبب شد ولی کاربرد سطوح مختلف پتاسیم و محلول پاشی براسینواستروئید از این کاهش جلوگیری کرد. در واقع کمبود آب سبب کاهش فتوسنتز و تورژسانس سلول و به دنبال آن کاهش رشد و توسعه (تقسیم و طویل شدن) سلولی به ویژه در ساقه و برگ می شود. در واقع اولین نشانه کاهش رشد سلول محدود شدن اندازه اندام است، به همین دلیل بارزترین اثر کم آبی بر روی گیاه کاهش ارتفاع، اندازه کوچک تر و تعداد برگ ها می باشد (Shibli et al., 2007).

ماده خشک اندام های هوایی شامل گل، برگ و ساقه با افزایش سطوح کم آبی کاهش یافت (جدول ۴ و شکل های ۶ تا ۹) که با کاربرد تیمارهای آزمایش، مقداری از این کاهش جبران گردید. کمبود فراهمی آب سبب کاهش سطح برگ، سرعت تعرق و انباشت ماده خشک کل به دلیل ریختن برگ ها و میوه ها شده که در نهایت سبب کاهش عملکرد شد. از سویی رویسکو (ریبولوز ۱ و ۵- بیس فسفات کربوکسیلاز اکسیژناز) آنزیم کلیدی درگیر در تثبیت دی اکسید کربن در فتوسنتز می باشد و فعالیت آن به سرعت سبب تنظیم چرخه احیاء دی اکسید کربن در شرایط تنش می شود (Flexas et al., 2006). محدودیت تثبیت کربن ناشی از بسته شدن روزنه ها و کاهش فتوسنتز در شرایط تنش سبب اختلال در متابولیسم کربوهیدرات و فرایند تخصیص ماده خشک می گردد (Chaves et al., 2002). یکی دیگر از دلایل محدودیت فتوسنتز خالص در گیاهان تحت تنش، کاهش سنتز فتوآسیمیلات ها است، در همین حال ترکیب های ذخیره ای مانند نشاسته به دلیل ادامه تنفس در گیاه تخلیه می شود (Galmés et al., 2007). از این رو عدم تعادل بین انباشت فتوآسیمیلات ها و مصرف آنها در طی تنفس نوری منجر به کاهش انتقال آسیمیلات ها به سمت اندام های زایشی می شود (Abid et al., 2016). در آزمایشی مشاهده شد که

تنش خشکی سبب کاهش رشد، ارتفاع بوته و وزن خشک گیاه می گردد (Ghajar Sepanloo & Bahmanyar, 2004). در رابطه با علت کاهش ارتفاع ساقه این طور بیان کردند که این امر به علت مسدود شدن آوندهای چوبی و آبکش است که باعث اختلال در انتقال مواد و شیره گیاهی از طریق آوندها می شود (Singh et al., 2006). در پژوهشی بر روی گیاه دارویی گل گاوزبان (*Echium amoenum* L.) نشان داده شد که تنش خشکی بر روی عملکرد زیست توده، تعداد ساقه جانبی و عملکرد سرشاخه این گیاه تأثیر معنی دار کاهش یافته است. این تأثیر بر هر یک از بخش های رویشی و زایشی در نهایت منجر به تغییر در میزان عملکرد تولیدی در گیاهان از جمله کاهش ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، تعداد و سطح برگ، تعداد و طول میانگره و اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به اندام هوایی شده است (Sreevalli et al., 2000). از دلایل کاهش وزن خشک اندام های هوایی می توان به کاهش مقدار کلروفیل بر اثر تنش وارد شده به گیاه عنوان کرد که با کاهش سنتز مواد لازم برای رشد گیاه فراهم است (Khalid, 2006). از دلایل کاهش کلروفیل، افزایش فعالیت کلروفیلاز با کاهش توان آب برگ است. در روزهای اولیه پس از تنش فعالیت آنزیم کلروفیلاز سبب تجزیه کلروفیل می شود، ولی با گذشت زمان و طولانی شدن تنش خشکی کاهش ساخت کلروفیل دلیل اصلی کاهش میزان آن است. در واقع خشک شدن بافت های برگ نه تنها مانع ساخته شدن کلروفیل می شود، بلکه به نظر می رسد که تخریب کلروفیل موجود را هم باعث می شود (Santos, 2004).

بیشترین درصد (شکل ۱۰) و عملکرد اسانس (شکل ۱۱- الف) در تیمار ۶۰٪ ظرفیت زراعی و سطوح بالای پتاسیم و براسینواستروئید بدست آمد. در واقع اینگونه پیشنهاد شده است که دلیل افزایش تولید و انباشت اسانس در گیاه در شرایط تنش وجود تراکم بالایی از غدد تولیدکننده روغن (اسانس) می باشد. علاوه بر این، تحریک تولید اسانس در شرایط تنش، تولید مقادیر بالای ترین در

سبب افزایش سطوح کلروفیل می‌شود که به دنبال آن فتوسنتز در مرحله اول و بعد منجر به سنتز کربوهیدرات در گیاه می‌گردد (Swamy & Rao, 2009). در پژوهشی بر روی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) اثرگذاری براسینواستروئید بر روی افزایش رشد و میزان اسانس گیاه به اثبات رسید (Çoban & Baydar, 2017). در مطالعه‌ای در شرایط کمبود فراهمی آب بر روی گیاهچه گوجه‌فرنگی مشاهده شد که استفاده از غلظت ۱ میکرومول ۲۴- ایبراسینواستروئیدها سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک و تر اندام‌های مختلف گیاه (ساقه، برگ و ریشه) در مقایسه با شاهد شده است (Behnamnia, 2015) که نقش مؤثر براسینواستروئید را در کاهش اثرهای کم‌آبی نشان می‌دهد.

به‌طورکلی، با توجه به نتایج بدست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که گیاه دارویی سرخارگل در سال دوم کشت از لحاظ ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک مورد بحث، عملکرد بهتری نسبت به سال اول داشته است. به‌نحوی که بین تیمارهای آبی، بعد از تیمار شاهد گیاهان در سطح رطوبتی ۶۰٪ ظرفیت نسبت به تیمار ۳۰٪ ظرفیت زراعی تحمل بیشتری به شرایط تنش آبی نشان داده و عملکرد اسانس بیشتری را باعث شدند. به‌علاوه، استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و محلول‌پاشی براسینواستروئید با غلظت ۱ میکرومولار توانست از اثرهای منفی تنش خشکی کم کرده و سبب بهبود عملکرد رویشی، زایشی و اسانس سرخارگل در مواجهه با این شرایط شود.

منابع مورد استفاده

- Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R., Jiang, D. and Dai, T., 2016. Improved tolerance to -post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 106: 218-227.
- Asadi Sanam, S., Pirdashti, H., Hashempour, A., Zavareh, M., Nematzadeh, G.A. and Yaghoubian, Y., 2015. The physiological and biochemical response of Eastern Purple Coneflower to freezing

گیاه در شرایط تنش می‌باشد که به‌علت تخصیص کمتر کربن برای رشد است. در واقع در این حالت نوعی چالش در گیاه برای رشد و دفاع از خود در شرایط تنش بوجود می‌آید. در گیاه مریم‌گلی تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب سبب افزایش ۱/۷۷ و ۱/۰۱ درصدی عملکرد اسانس شد (Sreevalli et al., 2000). در گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در شرایط تنش کمبود آب عملکرد اسانس افزایش ۲/۲۱ درصدی در تنش متوسط و کاهش ۴۲/۸ درصدی در تنش شدید در مقایسه با شاهد را نشان داد (Bettaieb et al., 2011).

در مواجهه با شرایط تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی، علاوه‌بر محدود شدن میزان جذب آب، فراهمی و جذب عناصر غذایی نیز کاهش می‌یابد. البته تغذیه مناسب می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریتی برای تولید گیاهان در این شرایط مورد توجه قرار گیرد (Waraich et al., 2011). پتاسیم با کاهش اتلاف آب از طریق تبخیر و تعرق سبب افزایش تحمل گیاه به خشکی شده و موجبات افزایش عملکرد را در شرایط تنش فراهم می‌کند. از سویی پتاسیم در فعال کردن آنزیم‌های احیاء‌کننده گاز کربنیک نقش مهمی دارد. به همین دلیل کمبود آن باعث کاهش سوخت‌وساز گیاه شده، در نتیجه رشد و سطح برگ کاهش پیدا می‌کند (Azizabadi et al., 2014). در بررسی نقش پتاسیم در کاهش اثرهای تنش کم‌آبی در آزمایشی روی سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) مشاهده شد که استفاده از مقادیر مختلف پتاسیم، اثر معنی‌داری بر درصد اسانس نداشت اما در تمامی تیمارها نسبت به شاهد درصد اسانس افزایش داشت. از سویی افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش عملکرد اسانس شد، همچنین بین سطوح مختلف پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد و در کل بیشترین عملکرد اسانس در تیمار آبیاری بعد از ۵۰ میلی‌لیتر تبخیر و سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (Dodman & Dodman, 2011).

پژوهش‌های زیادی مبنی بر اثرهای مثبت کاربرد براسینواستروئید انجام شده است. بکارگیری این هورمون

- growth, leaf macro and micronutrient content and root longevity. *Plant Soil*, 229: 213-224.
- Esk, M., 2011. The effect of 28-homobrassinolid in reducing the effects of drought in savory herbs. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3: 183-187.
 - FarahVash, F., Mirshekari, B., Farzarian, M. and Hosseinzadeh Moghbeli, A.H., 2015. Effect of zinc sulfate and Abscisic acid on some morpho-physiological traits of Purpule coneflower (*Echinacea purpurea*) under water deficit stress. *Crops Ecophysiology*, 1(33): 57-87.
 - Flexas, J., Bota, J., Galmes, J., Medrano, H. and Ribas-Carbó, M., 2006. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*, 127: 343-352.
 - Galmés, J., Flexas, J., Savé, R. and Medrano, H., 2007. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. *Plant and Soil*, 290: 139-155.
 - Ghajar sepanloo, M. and Bahmanyar, M.A., 2004. The effect of irrigation interruptions in different stages of growth on yield, water use efficiency and harvest index of soybean cultivars in Mazandaran. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 2(2): 79-89.
 - Izadi, Z., Soroushzadeh, A., Modares sanavi, S.A.M., Asnaashari, M. and Davoodi, P., 2014. Antimicrobial effects of *Echinacea purpurea* essential oil and identification of its chemical compositions. The Gulf Biological Society. Bushehr University of Medical Sciences and Health Services, 17(1): 58-69.
 - Khalid, K.A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophys*, 20: 289-296.
 - Miller, S.C. and Yu, H.C., 2004. *Echinacea: The Genus Echinacea*. CRC Press, 296p.
 - Omidbaigi, R., 2002. Investigation of Purpule coneflower (*Echinaceae purpurea*) cultivation and adaptation in northern Tehran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 6(2): 231-240.
 - Santos, C.V., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, 103: 93-99.
 - Shibli, R.A., Kushad, M., Yousef, G.G. and Lila, M.A., 2007. Physiological and biochemical responses of tomato microshoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. *Plant Growth Regulation*, 51: 159-169.
 - Singh, V., Pallaghy, C.K. and Singh, D., 2006. Phosphorus nutrition and tolerance of cotton to stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 62: 515-523.
 - Asha, A. and Lingakumar, K., 2015. Effect of 24-epibrassinolide spray on vegetative growth, pigment composition and biochemical constituents of *Vigna mungo* (L.) Hepper (Blackgram). *Journal Global Bioscience*, 4: 2007-2012.
 - Ashenavar, M., Bahmanyar, M.A. and Akbarpour, V., 2014. Investigating the effect of different fertilizer sources on growth and yield indices of *Echinacea purpurea* L.. *Journal of Agricultural Ecology*, 6(2): 266-274.
 - Azizabadi, A., Golchin, A. and Delavar, M., 2014. The Effect of potassium and water supply on growth characteristics and concentration of nutrition elements in safflower. *Journal of Crop Science and Technology*, 5(19): 65-79.
 - Barnes, J., Anderson, L.A., Gibbons, S. and Phillipson, J.D., 2005. *Echinacea* species (*Echinacea angustifolia* (DC.) Hell., *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt., *Echinacea purpurea* (L.) Moench): a review of their chemistry, pharmacology and clinical properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 57: 929-954.
 - Behnamnia, M., 2015. Protective roles of brassinolide on tomato seedlings under drought stress. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8: 453-462.
 - Bettaieb, I., Bourgou, S., Sriti, J., Msaada, K. and Limam, F.B., 2011. Essential oils and fatty acids composition of Tunisian and Indian cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds: a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 2100-2107.
 - Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho, I., Faria, T. and Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, 89: 907-916.
 - Chen, Y., Fu, T., Tao, T., Yang, J., Chang, Y., Wang, M., Kim, L., Qu, L., Cassady, J., Scalzo, R. and Wang, X., 2005. Macrophage activating effects of new alkamides from the roots of *Echinacea* species. *Journal of Natural Products*, 68(5): 773-776.
 - Çoban, Ö. and Baydar, N.G., 2017. Brassinosteroid modifies growth and essential oil production in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 36: 43-49.
 - Dodman, Y. and Dodman, A., 2011. Effect of water deficit and potassium levels on oil and essential oil of nigella (*Nigella sativa*). First National Congress on Science and Technology in Agriculture, Zanjan University, 10-12 September.
 - Egilla, J.N., Davies, F.T. and Drew, M.C., 2001. Effect of potassium on drought resistance of *Hibiscus rosa-sinensis* cv. Leprechaun: Plant

- Xia, X.J., Wang, Y.J., Zhou, Y.H., Tao, Y., Mao, W.H., Shi, K., Asami, T., Chen, Z. and Yu, J.Q., 2009. Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber. *Plant Physiology*, 150(2): 801-814.
- Yarnia, M., Farzarian, M., Rashidi, V., Javanshir, A. and Aliasgharzad, N., 2012. Effects of microelement fertilizers and phosphate biological fertilizer on some morphological traits of Purple coneflower in water stress condition. *African Journal of Microbiology Research*, 6: 4825-4832.
- Zheng, Y., Dixon, M., and Saxena, P., 2006. Greenhouse production of *Echinacea purpurea* (L.) and *E. angustifolia* using different growing media, $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios and watering regimes. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 809-815.
- Zollinger, N., Kjelgren, R., Cerny-Koenig, T., Kopp, K. and Koenig, R., 2006. Drought responses of six ornamental herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae*, 109: 267-274.
- water stress: I. Seed cotton yield and leaf morphology. *Field Crops Research*, 96: 191-198.
- Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R. and Kulkarni, R., 2000. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. *Life, Earth and Health Sciences*, 22: 356-358.
- Stanisavljević, I., Stojičević, S., Veličković, D., Veljković, V. and Lazić, M., 2009. Antioxidant and antimicrobial activities of *Echinacea* (*Echinacea purpurea* L.) extracts obtained by classical and ultrasound extraction. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 17: 478-483.
- Swamy, K. and Rao, S., 2009. Effect of 24-epibrassinolide on growth, photosynthesis, and essential oil content of *Pelargonium graveolens* (L.) Herit. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56: 616-620.
- Waraich, E.A., Ahmad, R. and Ashraf, M., 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5: 764-777.

Effects of potassium and brassinosteroid on some morphophysiological characteristics and essential oil yield of *Echinacea purpurea* (L.) Moench under different regimens of water availability

M. Oveysi Omran¹, M. Zavareh^{2*}, F. Sefidkon³, B. Abbaszadeh³ and S. Asadi-Sanam³

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, E-mail: mzavareh@guilan.ac.ir

3- Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: February 2019

Revised: September 2019

Accepted: November 2019

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of soil application of potassium fertilizer and foliar application of brassinosteroid on morphophysiological characteristics and essential oil yield of medicinal plant purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) in response to water availability. Treatments consisted of three levels of water availability (irrigation at 90% (control), 60%, and 30% of field capacity (FC)) in main plots and four amounts of potassium fertilizer (no potassium application (control), 50, 100, and 150 kg K₂O ha⁻¹) as well as the foliar application of three brassinosteroid concentrations (distilled water (control), 0.1, and 1 μM) in subplots. Results showed that the highest mean plant height (67.8 cm), number of leaves plant⁻¹ (151), number of flowers plant⁻¹ (18.1), flower dry weight (151.9 g plant⁻¹) and aerial parts dry weight (508.6 g plant⁻¹) were obtained in the second year of the experiment under 150 kg ha⁻¹ potassium and normal irrigation treatments. The highest percentage of essential oil (76) was obtained under irrigation at 60% of FC, 150 kg ha⁻¹ potassium, and 1 μM brassinosteroid treatments. In the second year, the maximum amount of essential oil plant⁻¹ (0.67 g) was related to 150 kg ha⁻¹ potassium and 1 μM brassinosteroid treatments. In general, the results of this study showed that irrigation at 60% of FC together with 150 kg ha⁻¹ potassium and 1 μM of brassinosteroid could reduce the effects of drought stress, increase the amount of essential oil plant⁻¹ and improve some morphophysiological characteristics in purple coneflower.

Keywords: *Echinacea*, drought stress, flower yield, soil application, PGR.