تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۹
۵۱۹-۵۳۱
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2035.1504

مقاله پژوهشی

تأثیر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و جذب عناصر غذایی گل‌گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) در شرایط قطع آبیاری

حدیث حسنوند[1*]، سید عطاءاله سیادت[2]، عبدالمهدی بخشنده[2]، محمدرضا مرادی[4]، عادل پشت‌دار[5]

۱. دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۳. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۴. کارشناس گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۸

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و جذب عناصر غذایی گل‌گاوزبان اروپایی در شرایط قطع آبیاری یک آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۹۷-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. عوامل آزمایشی شامل قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی، مرحله گلدهی، پر شدن دانه و آبیاری کامل (شاهد) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت (صفر، ۶۹، ۱۳۸ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر) در کرت‌های فرعی موردبررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، درصد روغن، درصد خاکستر گل و برگ و جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سدیم در دو بخش گل و برگ داشت. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که در اثر قطع آبیاری در مراحل ساقه دهی و گلدهی، فقط میزان غلظت عناصر سدیم و پتاسیم و درصد روغن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. حداکثر عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل به میزان ۶۳۳/۴۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید سبب افزایش ۵۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی شد. سالیسیلیک اسید تمام صفات موردبررسی به‌جز مقدار سدیم را افزایش داد. اثر متقابل فاکتورها نیز بر خاکستر گل، پتاسیم گل و برگ، فسفر برگ و سدیم گل معنادار بود. مصرف ۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در شرایط بدون قطع آبیاری، سبب افزایش ۳۸ درصدی فسفر برگ نسبت به شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید و تنش خشکی شد. بیشترین میزان پتاسیم گل و برگ با محلول‌پاشی ۱۳۸ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی به دست آمد. نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۱۳۸ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر در گل‌گاوزبان اروپایی می‌تواند باعث کاهش قابل‌ملاحظه آسیب‌های ناشی از تأثیرات منفی قطع آبیاری گردد.

واژه‌های کلیدی: **پتاسیم، درصد خاکستر، سدیم، کم‌آبی، گل‌گاوزبان اروپایی، نیتروژن.**

مقدمه

گل‌گاوزبان اروپایی با نام علمی (*Borago officinalis* L.) گیاهی دارویی از تیره گاوزبان، علفی و یک‌ساله است. برگ‌های این گیاه ساده و پوشیده از تارهای خشن، گل‌های آن به رنگ آبی است (Sheikhpour et al., 2014). در گل و برگ گل‌گاوزبان اروپایی موسیلاژ، انواع تانن، روغن‌های فرار، ساپونین، ویتامین C، کلسیم، پتاسیم وجود دارد همچنین در گل آن رزمارینیک به‌عنوان یک ترکیب فنلی دارای اثرات فارمالوژیک متعدد که می‌تواند توجیه‌کننده بسیاری از اثرات دارویی گل‌گاوزبان باشد، شناسایی‌شده است. میزان روغن بذر گل‌گاوزبان اروپایی بین ۳۷-۲۷ درصد متغیر است و روغن آن

* نگارنده پاسخگو: حدیث حسنوند. پست الکترونیک: h1167.hasanvand@gmail.com

حاوی مقداری زیادی اسید چرب سیرنشده امگا ۶ است که دارای خواص دارویی فراوانی است و به‌عنوان مکمل‌های غذایی حاوی امگا-۶ و دارویی تجویزی برای درمان بیماری‌های قلبی، اگزمای طبیعی، دیابت‌ها، ورم مفاصل و بیماری اماس استفاده می‌شود (Naghdibadi et al., 2012). این گیاه دارای ریشه‌های نیمه‌حرفه‌ای است که به‌صورت عمودی تا عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متری در خاک نفوذ می‌کند و به علت داشتن ریشه‌های اصلی و فرعی در اعماق خاک می‌تواند آب و عناصر غذایی موردنیاز خود را جذب و لذا تا حدی در برابر خشکی متحمل است (Najafi, 2012).

گیاهان در طی رشد خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوند، هر یک از این تنش‌ها می‌توانند بسته به میزان حساسیت و مرحله رشد گونه گیاهی، اثرات متفاوتی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن‌ها داشته باشند (Heidari, 2006). تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان دارویی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود. دست‌برهان و همکاران (Dastborhan et al., 2015) گزارش کردند که تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش عملکرد دانه و افزایش میزان روغن دانه در گیاه گل‌گاوزبان اروپایی می‌شود.

خشکی به چند طریق ممکن است بر وضعیت تغذیه‌ی معدنی گیاهان اثر داشته باشد، شامل کاهش انتقال یون‌ها از خاک به ریشه‌ها، تغییر جذب یون‌ها به‌وسیله ریشه‌ها، تغییر تقاضای ریشه و اندام‌های هوایی برای یون‌ها، کاهش انتقال از طریق گیاه و کمبود یا تجمع یون‌هایی که ممکن است در متابولیسم اختلال ایجاد و یا پاسخ‌های سازش را القا کنند (Reddy et al., 2004). نتایج تحقیقات انجام‌شده روی گیاه گل‌گاوزبان اروپایی نشان داد که در شرایط بروز تنش خشکی تا حدی بر میزان تجمع عناصر فسفر و پتاسیم در دو قسمت گل و برگ (به‌جز میزان فسفر برگ) افزوده می‌شود (Heidari and Minaei, 2014). بروز تنش خشکی باعث بالا رفتن غلظت املاح محلول در محیط ریشه و درنتیجه افزایش پتانسیل اسمزی خاک می‌شود که این امر باعث کاهش جذب عناصر غذایی تا حد زیادی می‌شود (Grattan and Grieve, 1999). شکرانی و همکاران (Shokrani et al., 2012) کاهش معنی‌دار عناصر غذایی را با افزایش مدت تنش خشکی (قطع آبیاری) در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) گزارش کردند. ولی آن‌ها تغییر معنی‌داری را در میزان فسفر و پتاسیم برگی همیشه‌بهار مشاهده نکردند.

افزایش مقاومت گیاهان از راه‌های مختلف شامل بهنژادی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد عملی است. در مقایسه با روش‌های بهنژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بردار هستند، استفاده از مواد شیمیایی شامل سالیسیلیک اسید آسان‌تر و ارزان‌تر است. سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی در گیاه بوده که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده شبه هورمونی موردتوجه است و در مکانیسم‌های دفاعی علیه تنش‌های زیستی و محیطی نقش دارد (Noorzad et al., 2015). دلاوری پاریزی و همکاران (Delavari Parizi et al., 2012) در بررسی آثار سالیسیلیک اسید در گیاهان ریحان تحت شرایط تنش شوری دریافتند که میزان سدیم برگ با افزایش شدت تنش افزایش و در تیمار با سالیسیلیک اسید کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات صورت گرفته روی گیاه دارویی اکلیل‌کوهی نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش مقدار پتاسیم، نیتروژن و فسفر شد درصورتی‌که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش یون‌های مذکور گردید (Grinishabankareh and Khorasan Nezhad, 2017).

با بروز خشکی و کم‌آبی در ایران هم‌زمان با افزایش جمعیت و مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی و ایجاد رقابت بیشتر بر منابع آب، محدودیت منابع آب همواره از مهم‌ترین مسائل و مشکلات کشاورزی روز کشور است و از این پدیده طبیعی و غیرقابل تغییر راه فراری نیست. کشت گیاهانی باارزش اقتصادی بالا جهت بهره‌وری حداکثری از منابع محدود آب و راهکار احتمالی کاهش خسارت تنش در شرایط کمبود آب زمینه‌ساز انجام پروژه حاضر باهدف بررسی اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد و جذب عناصر غذایی گیاه دارویی گل‌گاوزبان اروپایی تحت رژیم‌های قطع آبیاری در شرایط آب و هوایی اهواز شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۷-۹۶ در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام گردید. سطوح آبیاری شامل (آبیاری نرمال، قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه رفتن تا شروع گلدهی، قطع آبیاری از مرحله‌ی شروع گلدهی تا شروع پر شدن دانه (برای صفات عناصر غذایی) و قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه تا شروع برداشت

(برای صفت عملکرد دانه و میزان روغن)، در کرت‌های اصلی و سالیسیلیک اسید (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با ۶۹، ۱۳۸ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. برای انتخاب سطوح قطع آبیاری در سال اول یک آزمایش با تیمارهای تاریخ کاشت و تراکم صورت گرفت و در این آزمایش مراحل فنولوژیکی گل‌گاوزبان اروپایی یادداشت گردید سپس در سال دوم با استفاده از نتایج فنولوژی سال اول، آزمایش فعلی با تیمارهای قطع آبیاری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید انتخاب شدند. هر واحد آزمایش شامل ۸ ردیف کاشت به طول ۳، بافاصله بوته ۱۴ سانتی‌متر و تراکم گیاهی گل‌گاوزبان اروپایی ۱۴ بوته در مترمربع بود. با توجه به آزمون خاک، کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل (۷۵ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت پایه و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره که یک‌دوم آن به‌صورت پایه و بقیه آن به‌صورت سرک (Heidari and Minaei, 2014; Ashori et al., 2014) در مرحله ۶-۴ برگی به خاک افزوده شد. بذرهای تهیه‌شده از شرکت پاکان بذر اصفهان در تاریخ ۱۵ مهر در عمق ۳-۲ سانتی‌متری کشت گردیدند. تاریخ شروع ساقه دهی، گلدهی، پر شدن دانه و تاریخ برداشت دانه به ترتیب در ماه‌های آبان، دی، بهمن و اواخر اسفند صورت گرفت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه موردنظر و همچنین اطلاعات هواشناسی محل مورد آزمایش به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در زمان شروع آزمایش (۱۳۹۶-۹۷)

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil field at the start of the experimssent (2017- 2018)

عمق نمونه‌برداری Sampling depth	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	ماده آلی Organic matter	بافت خاک soil texture
cm	%	------mg/kg-------			µmhos.cm^{-1}	%	
0-30	0.04	7.2	264	7.3	3.2	0.81	رسی-سیلتی clay-silt

جدول ۲. اطلاعات هواشناسی ایستگاه تحقیقاتی اهواز طی مدت اجرای آزمایش (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶)

Table 2. Meteorological data of Ahvaz research station during the experiment (2017-2018)

Month	ماه	دمای حداقل Minimum temperature	دمای حداکثر Maximum temperature	میانگین دما Mean temperature	میانگین بارندگی روزانه Mean daily rainfall	میانگین تبخیر روزانه Mean daily evaporation	میانگین ساعات آفتابی Mean Sunny hours
		----------(°C)----------			----------mm----------		h
October	مهر	19.4	38.1	28.8	0	8.1	9.2
November	آبان	14.5	31.7	23.1	0	4.5	6.9
December	آذر	7.3	22.1	14.7	0.63	2.5	7
January	دی	8.2	22.9	15.6	0.09	2.3	7.2
Febrile	بهمن	8.1	22.7	15.4	0.25	2.5	5.1
March	اسفند	12.8	27.1	20	0.43	4.1	7.4
April	فروردین	16.1	32.6	24.3	1	6.7	8.5
May	اردیبهشت	21	36	31.3	0.5	12.6	6.3

از زمان کاشت تا مرحله استقرار کامل گیاهچه‌ها (تقریباً زمان شروع ساقه دهی) آبیاری به‌صورت تأمین صد در صد نیاز آبی گیاه و بدون اعمال تیمار قطع آبیاری انجام شد. با رسیدن به هرکدام از این مراحل آغاز رشد طولی ساقه تا شروع گلدهی، مرحله شروع گلدهی تا شروع پر شدن دانه و شروع بذردهی تا شروع برداشت قطع آبیاری انجام گردید. این عمل تا پایان مرحله فیزیولوژیکی موردنظر ادامه یافت. در زمان اعمال تیمار قطع آبیاری نیز به دلیل احتمال بارندگی از محافظ نایلونی باران با استفاده از شلتر و نایلون در زمان احتمال وقوع بارش جهت حفظ دوره‌های قطع آبیاری مدنظر،

استفاده شد. به‌منظور محاسبه حجم آب آبیاری در هر کرت آزمایشی، آبیاری با استفاده از سیستم تحت‌فشار مجهز به شیلنگ و کنتور انجام شد. حجم آب ورودی به کرت‌های آزمایشی در تیمارهای آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله‌ی آغاز رشد طولی ساقه تا شروع گلدهی، مرحله شروع گلدهی تا شروع پر شدن دانه و شروع پر شدن دانه تا شروع برداشت به ترتیب به میزان ۱۷۰۰/۱۶، ۱۱۲۶/۱۳، ۱۵۴۱/۱۶ و ۱۴۰۹/۱۴ مترمکعب در هکتار بود. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید طی دو مرحله (جهت اثربخشی محلول‌پاشی) در طول دوره رویشی (شروع ساقه دهی و گلدهی) هم‌زمان با اعمال تیمار تنش رطوبتی انجام شد. پس از اعمال تیمارهای مربوطه اندازه‌گیری صفات در مرحله گلدهی کامل شروع شد.

جهت تعیین عملکرد دانه، از هر واحد آزمایشی یک مترمربع (با حذف حاشیه‌ها) علامت‌گذاری شد و به دلیل رشد نامحدود بودن گل‌گاوزبان اروپایی و ریزش دانه‌ی آن، جمع‌آوری دانه‌ی گل‌گاوزبان از سطح تعیین‌شده در چهار نوبت صورت گرفت. با شروع گلدهی بوته‌ها، در فاصله بین ردیف‌های سطح علامت‌گذاری شده، پوشش‌های پلاستیک‌هایی تعبیه شد تا از ریزش بذر روی زمین و خسارت مورچه‌ها جلوگیری شود. درنهایت محصول دانه در واحد سطح تعیین گردید.

برای تعیین روغن دانه از دستگاه سوکسله به مدت ۳ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. با توزین روغن به‌دست‌آمده از ۵ گرم دانه گل‌گاوزبان اروپایی، میزان روغن استخراجی تعیین شد (Uquiche et al., 2008). درصد خاکستر با استفاده از دستگاه کوره الکتریکی مدل (Ramind zist fanavar) در درجه حرارت ۵۰۰-۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و از اختلاف وزن اولیه و ثانویه بوته چینی اندازه‌گیری شد (Samsam Shariat, 2007). سدیم و پتاسیم به روش شعله سنجی (مدل Elico cl 361) (Rouhanipour et al., 2010) و میزان فسفر نیز با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Analytikjena Spekol 2000) در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر (Hassibi, 2006) اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری نیتروژن به روش میکروکجلدال (Page et al., 1982) صورت گرفت.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD، در سطح آماری پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد بذر

تجزیه واریانس عملکرد دانه بیانگر اثر معنی‌داری تیمار قطع آبیاری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید روی عملکرد دانه در واحد سطح است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی قطع آبیاری بر عملکرد دانه نشان می‌دهد که قطع آبیاری در مرحله رویشی سبب کاهش ۳۳ درصدی و در مرحله زایشی موجب کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم قطع آبیاری شد. بیشترین کاهش عملکرد دانه مربوط به اعمال قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود (جدول ۴). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به آبیاری مطلوب را می‌توان به کاهش فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه تحت شرایط تنش نسبت داد چراکه کاهش فتوسنتز خالص و کاهش مواد غذایی انتقال‌یافته از برگ به دانه از پی‌آمدهای تنش کمبود آب است که باعث پایین آوردن عملکرد دانه می‌شود. کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم‌آبی با یافته‌های دست‌برهان و همکاران (Dastborhan et al., 2015) مطابق دارد.

استفاده از سالیسیلیک اسید به‌صورت محلول‌پاشی عملکرد دانه را افزایش داد. درحالی‌که بین دو تیمار ۲۰۷ و ۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید ازنظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، ولی بالاترین عملکرد دانه با میانگین ۵۵۱/۴۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به سطح ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و پایین‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۲۷۱/۸۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عدم محلول‌پاشی بود (جدول ۴). بدین ترتیب افزایش میزان مصرف سالیسیلیک اسید تا سطح ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش عملکرد دانه به میزان ۵۰ درصد گردید. جامی و همکاران (Jami et al., 2015) گزارش کردند که عملکرد دانه زیره‌سبز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل دو فاکتور قطع آبیاری و غلظت سالیسیلیک اسید قرار گرفت، به‌نحوی‌که بیشترین عملکرد دانه از تیمار بدون قطع آبیاری و غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به دست آمد و کمترین عملکرد دانه از تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه در تیمار بدون محلول‌پاشی و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید حاصل شد.

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد و روغن دانه گل‌گاوزبان اروپایی تحت تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید

Table 3. Analysis of variance of yield and grain oil borage as effected by interrupting irrigation and salicylic acid spraying.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات Ms: عملکرد دانه Grain yield	روغن دانه Seed oil
Replication	تکرار	3	13387.19**	1.11^{ns}
Interrupting irrigation (I)	قطع آبیاری	3	313245.53**	71.56**
Ea	خطای اصلی	3	2153.64	0.54
Salicylic acid (SA)	سالیسیلیک اسید	9	261016.78**	22.22**
I × SA	قطع آبیاری × سالیسیلیک اسید	3	1142.77^{ns}	0.32^{ns}
Eb	خطای فرعی	9	1790.93	0.62
Cv (%)	ضریب تغییرات	36	9.7	2.36

ns، *و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد

ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

جدول ۴. مقایسه میانگین عملکرد و روغن دانه تحت اثر قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید

Table 4. Mean comparisons yield and grain oil as affected by interrupting irrigation and Salicylic acid

Treatment تیمار		عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	روغن دانه Seed oil (%)
قطع آبیاری Interrupting irrigation	عدم قطع آبیاری Un interrupting irrigation	633.43^{a}	30.35^{c}
	از مرحله ساقه رفتن From stemming stage	428.63^{b}	33.63^{b}
	از مرحله گلدهی From flowering stag	370.40^{c}	34.71^{a}
	از مرحله پر شدن دانه From seed fill stage	310.94^{d}	34.95^{a}
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	بدون محلول‌پاشی No spraying	271.81^{c}	31.99^{c}
	۶۹ میلی‌گرم در لیتر 69 mg.L^{-1}	398.86^{b}	33.19^{b}
	۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر 138 mg.L^{-1}	521.33^{a}	33.62^{b}
	۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر 207 mg.L^{-1}	551.40^{a}	34.85^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند

Means with the same letters in each column have not significantly different.

روغن دانه

نتایج نشان داد که اثر ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطح احتمال خطای یک درصد بر درصد روغن معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان روغن دانه (۳۴/۹۵ درصد) مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود که با تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار (۳۰/۳۵ درصد) آن به تیمار بدون قطع آبیاری تعلق داشت (جدول ۴). در شرایط تنش مواد فتوسنتزی کمتری به دانه‌ها انتقال‌یافته و با کاهش وزن دانه‌ها، مقدار روغن تجمع یافته و در آن‌ها افزایش پیدا می‌نماید و همچنین تحت شرایط تنش خشکی، تراکم بیشتری از غدد مولد روغن به وجود می‌آید که مقدار

انباشت روغن را افزایش می‌دهد. افزایش درصد روغن در طی شرایط تنش خشکی در گیاهان گل‌گاوزبان (Dastborhan et al., 2015) و بالنگو (Omidi et al., 2018) گزارش‌شده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

مقایسه میانگین تیمارها نشان می‌دهد که محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید سبب افزایش درصد روغن دانه گل‌گاوزبان گردید. به‌گونه‌ای که بیشترین درصد در تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و کمترین آن‌ها در تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۴). بررسی غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر روی روغن کرچک تحت شرایط کم‌آبیاری نشان داده است که سطوح متفاوت سالیسیلیک اسید، سبب افزایش قابل‌توجهی در میزان روغن کرچک نسبت به تیمار شاهد شد (Izadi and Tadayon., 2014). همچنین محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید نیز سبب افزایش میزان روغن در گیاه مرزه (Sadeghian et al., 2018) نسبت به تیمار شاهد گردید.

درصد خاکستر گل و برگ: غلظت مواد معدنی در گیاهان بستگی به اثر متقابل عوامل متعدد ازجمله خاک، گونه گیاهی، مرحله رشد گیاه، تنش، اقلیم و اثر متقابل عناصر در جذب دارد. با توجه به اینکه درصد خاکستر بیانگر مقدار مواد معدنی در بافت‌های گیاهی است، جذب این مواد توسط ریشه در شرایط خشکی کاهش می‌یابد (Karami et al., 2016). نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارها و اثرات اصلی آن‌ها بر درصد خاکستر گل و اثرات اصلی قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید بر درصد خاکستر برگ، تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال خطای یک درصد داشت (جدول ۵). بیشترین درصد خاکستر گل را تیمار بدون قطع آبیاری در سطح ۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به میزان ۱۵/۰۲ درصد را به خود اختصاص داد (جدول ۷). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری بر درصد خاکستر برگ نیز حاکی از کاهش این صفت با اعمال قطع آبیاری در مرحله رویشی و زایشی بود. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین درصد خاکستر برگ به ترتیب ۱۴/۴۸ و ۱۰/۰۱ به تیمار بدون قطع آبیاری و قطع در مرحله گلدهی تعلق داشت (جدول ۶). احتمالاً، در شرایط تنش شدید، میزان جذب عناصر معدنی از خاک کمتر صورت گرفته، درنتیجه میزان تجمع آن‌ها در گیاه کاهش‌یافته است.

بابایی (Babaei, 2011) در مطالعه‌ای بر روی ریحان، دلیل کاهش درصد خاکستر را به دلیل کاهش رطوبت خاک ناشی از کمبود آب گزارش نموده است. تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر درصد خاکستر برگ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید درصد این صفت افزایش داشت و غلظت‌های ۱۳۸ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر نسبت به سایر تیمارها بیشترین میزان را داشته است.

درصد نیتروژن گل و برگ

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثرات اصلی تنش خشکی و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال خطای یک درصد بر درصد نیتروژن گل و برگ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر اصلی قطع آبیاری (جدول ۶) نشان داد که بیشترین میانگین نیتروژن گل و برگ به ترتیب (۲/۶۵ و ۳/۰۹ درصد) در تیمار بدون قطع آبیاری به دست آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن ازنظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. گیاهان در شرایط تنش خشکی برای جبران کمبود عناصر غذایی (به دلیل کاهش جذب توسط ریشه‌ها)، میزان رشد خود را کاهش می‌دهند (Ashraf et al., 2011). در این آزمایش نیز کمبود رطوبت در مراحل گلدهی، سرعت انتشار و هم‌چنین جریان توده‌ای را کاهش داده و باعث می‌شود که میزان انتقال یون آمونیوم و نیترات به سطح ریشه و غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاه کاهش یابد (Azizabadi et al., 2014). قلی‌نژاد و همکاران (Gholinezhad et al., 2016) نشان دادند که تنش خشکی منجر به کاهش غلظت نیتروژن برگ در گیاه گل‌گاوزبان اروپایی شد. دلیل کاهش نیتروژن در بخش‌های هوایی ممکن است افزایش میزان پتاسیم بخش‌های هوایی باشد چراکه اثر منفی این دو عنصر در برخی گونه‌ها به اثبات رسیده است (Girma et al., 2010).

محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید سبب تشدید نیترات‌ردوکتاز سلول‌ها می‌شود به دنبال آن جذب نیتروژن افزایش می‌یابد؛ بنابراین میزان نیتروژن گیاه نیز افزایش‌یافته است. درنتیجه شرایط رشدی و تغذیه‌ای گیاه همچون جذب پتاسیم در گیاه بهبود می‌یابد. با افزایش سالیسیلیک اسید از صفر به ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نیتروژن در گل از ۱/۹ به ۲/۹ و در برگ از ۲/۵ به ۳/۰۳ درصد افزایش یافت (جدول ۶). پاداش و همکاران (Padash et al., 2016) در ریحان گزارش کردند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش غلظت نیتروژن در تنش‌های مختلف خشکی شد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات موردمطالعه در گل‌گاوزبان اروپایی تحت تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید

Table 5. Analysis of variance of studied characteristics in borage as effected by interrupting irrigation and salicylic acid spraying

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	خاکستر Ash contents		نیتروژن Nitrogen		فسفر Phosphor		پتاسیم Potassium		سدیم Sodium	
		گل Flower	برگ Leaf	گل Flower	برگ Leaf	گل Flower	برگ Leaf	گل Flower	برگ Leaf	گل Flower	برگ Leaf
تکرار Replication	3	0.17^{ns}	0.21^{ns}	0.13**	0.009^{ns}	0.001**	0.001**	13.24^{ns}	409.57**	80.87**	124.72^{ns}
قطع آبیاری Interrupting irrigation (I)	2	75.93**	80.36**	1.46**	4.99**	0.02**	0.005**	241.87**	272.19**	3210.52**	6095.67
خطای اصلی Ea	6	0.53	0.11	0.004	0.021	0.0002	0.0002	26.66	7.96	1.83	39.24
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (SA)	3	10.30**	10.09**	2.06**	0.58**	0.009**	0.006**	413.01**	371.59**	133.06**	2961.31**
قطع آبیاری× سالیسیلیک اسید I* SA	6	0.58^{ns}	2.37**	1.81^{ns}	0.05^{ns}	0.0003^{ns}	0.0006**	62.26**	43.76**	39.89**	76.31^{ns}
خطای فرعی Eb	27	0.76	0.79	0.49	0.61	0.0001	0.0001	17.49	6.76	0.69	44.48
ضریب تغییرات Cv (%)		*7.49*	*5.14*	*6.42*	*2.29*	*8.20*	*9.07*	*2*	*2.3*	*1.9*	*7.7*

ns، *و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد

ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

جدول ۶. مقایسه میانگین غلظت عناصر غذایی تحت اثر قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید

Table 6. Mean comparisons macro-elements concentration as affected by interrupting irrigation and Salicylic acid

Treatment	تیمار	خاکستر برگ Leaf ash	نیتروژن گل Flower Nitrogen	نیتروژن برگ Leaf Nitrogen	فسفر گل Flower phosphor	سدیم برگ Leaf sodium
		----------%----------			-------mg.g^{-1} DW-------	
قطع آبیاری Interrupting irrigation	عدم قطع آبیاری Un interrupting irrigation	14.48^{a}	2.65^{a}	3.09^{a}	0.192^{a}	69.76^{c}
	از مرحله ساقه رفتن From stemming stage	12.46^{b}	2.66^{a}	3.22^{a}	0.186^{a}	81.32^{b}
	از مرحله گلدهی From flowering stag	10.01^{c}	2.10^{b}	2.2^{b}	0.122^{b}	107.83^{a}
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	بدون محلول‌پاشی No spraying	11.61^{c}	1.91^{c}	2.52^{c}	0.142^{c}	100.12^{a}
	۶۹ میلی‌گرم در لیتر 69 mg.L^{-1}	11.81^{bc}	2.44^{b}	2.86^{b}	0.153^{b}	95.90^{a}
	۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر 138 mg.L^{-1}	13.64^{a}	2.94^{a}	2.93^{ab}	0.194^{a}	84.13^{b}
	۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر 207 mg.L^{-1}	12.21^{b}	2.73^{a}	3.03^{a}	0.185^{a}	65.03^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in each column have not significantly different

جدول ۷. مقایسه میانگین درصد خاکستر و غلظت عناصر غذایی تحت اثر برهمکنش قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید

Table 7. Mean comparisons off ash content and macro-elements concentration as interaction affected by interrupting irrigation and Salicylic acid

Treatment	تیمارها					
Interrupting irrigation قطع آبیاری	Salicylic acid سالیسیلیک اسید	Flower ash خاکستر گل	Leaf phosphor فسفر برگ	Flower Potassium پتاسیم گل	Leaf Potassium پتاسیم برگ	Flower sodium سدیم گل
	$mg.L^{-1}$	%	----------$mg.g^{-1}DW$----------			
Un interrupting irrigation بدون قطع آبیاری	0	12.25^{de}	0.121^{bc}	198.13^{f}	113.70^{f}	42.95^{f}
	69	13.28^{cd}	0.139^{b}	202.11^{cdef}	119.60^{cd}	40.64^{g}
	138	15.02^{a}	0.177^{a}	204.31^{cdef}	122.56^{bc}	37.94^{h}
	207	14.25^{ab}	0.172^{a}	207.67^{bc}	122.21^{bc}	39.32^{g}
Interrupting irrigation in stemming stage قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن	0	11.00^{f}	0.106^{c}	199.07^{ef}	117.82^{d}	66.82^{ab}
	69	12.50^{cd}	0.1411^{b}	203.82^{cdef}	119.42^{cd}	65.96^{cd}
	138	13.57^{bc}	0.173^{a}	205.99^{bcd}	125.23^{b}	64.09^{cd}
	207	11.25^{ef}	0.173^{a}	207.67^{bc}	125.29^{b}	52.31^{e}
Interrupting irrigation in flowering stage قطع آبیاری در مرحله گلدهی	0	9.50^{gh}	0.109^{c}	200.56^{def}	118.05^{d}	67.94^{a}
	69	8.25^{i}	0.117^{c}	204.61^{cde}	151.25^{bcd}	67.17^{ab}
	138	10.55^{fg}	0.139^{b}	223.99^{a}	136.55^{a}	66.31^{bc}
	207	9.25^{hi}	0.119^{c}	211.88^{b}	134.02^{a}	64.31^{d}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in each column have not significantly different.

فسفر گل و برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل و اصلی قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید بر میزان فسفر برگ معنی‌دار بود درحالی‌که فسفر گل فقط تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آزمایش در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری بر فسفر گل نشان داد که بیشترین غلظت فسفر (۰/۱۹۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در شرایط بدون قطع آبیاری به دست آمد که ازنظر آماری با قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن در یک گروه قرار گرفتند. با اعمال قطع آبیاری در مرحله گلدهی، میزان فسفر در گیاه کاسته شد (جدول ۶). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آبیاری و شرایط عدم قطع آبیاری باعث افزایش انحلال مواد معدنی و افزایش جابه‌جایی و حرکت عناصر مغذی به سمت ریشه‌ها و به دنبال آن افزایش قابلیت دسترسی عناصر برای گیاه و درنتیجه باعث افزایش جذب عناصر توسط گیاهان می‌شود (Rasouli and Fakher, 2016). کاهش فسفر در پی قطع آبیاری در ارتباط با کاهش آب خاک است که منجر به کاهش جریان عناصر خاک به گیاه شده است. در این شرایط جذب یون فسفات نه‌تنها به‌واسطه قابلیت حل کم آن بلکه به دلیل کاهش قدرت جذب ریشه‌ها تقلیل پیدا می‌کند (Marschner, 1995). نتایج به‌دست‌آمده در مورد گیاه گل‌گاوزبان اروپایی (Gholinezhad et al., 2016) نشان از کاهش میزان فسفر درنتیجه افزایش تنش خشکی است. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید نیز به‌طور معنی‌داری موجب بهبود میزان فسفر گل در مقایسه با عدم محلول‌پاشی شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان فسفر گل (۰/۱۹۴ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) مربوط به محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید ۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر بود. هرچند با غلظت ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش پاداش و همکاران (Padash et al., 2016)، با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، میزان فسفر در اندام‌های هوایی ریحان افزایش می‌یابد.

با توجه به جدول (۷)، اثرات متقابل تیمارها مشخص شد که در کلیه سطوح تیمار قطع آبیاری، بیشترین مقدار فسفر مربوط به سطح ۱۳۸ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید بود و همچنین ترکیب تیمار بدون قطع آبیاری (شاهد) و کاربرد اسید سالیسیلیک (مقدار ۰/۱۷۷ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) به‌دست‌آمده آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان

فسفر در سطوح مربوط به قطع آبیاری در مرحله گلدهی و تیمار بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با میانگین (۰/۱۰۹ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) بود. نعمت‌الهی و همکاران (Nematollahi et al., 2012) از کاهش معنی‌دار میزان فسفر برگ آفتابگردان در شرایط تنش خشکی و افزایش میزان آن با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید خبر دادند. عقلمند و همکاران (Aghlmand et al., 2016) گزارش کردند که اثر بهبودی سالیسیلیک اسید بر رشد گیاه ریحان تحت تنش خشکی می‌تواند به نقش آن در جذب مواد غذایی، ارتباط آبی، تنظیم روزنه‌ای و مقدار کلروفیل مربوط باشد.

پتاسیم گل و برگ

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر اصلی قطع آبیاری و سطوح مختلف سالیسیلیک اسید و اثر متقابل تیمارها بر غلظت پتاسیم گل و برگ در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). در هر سه سطح تنش، بیشترین میزان پتاسیم گل و برگ از تیمارهای توأم قطع آبیاری در مرحله گلدهی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطح ۱۳۸ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. افزایش میزان پتاسیم به دلیل نقش سالیسیلیک اسید در تعدیل تنش در هر یک از مراحل اعمال تنش خشکی است. میزان افزایش مقدار پتاسیم در تیمار بدون قطع آبیاری در سطح ۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید نسبت به عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۴/۵ درصد در گل و ۶/۹ درصد در برگ و همچنین در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی در سطح ۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید نسبت به سطح بدون محلول‌پاشی ۱۰/۴ درصد در گل و ۱۳/۵ درصد در برگ بود (جدول ۷).

زاهدچکووری و قاسم‌اف (Zahedchekovary and Gasemov, 2015) در بررسی تغییرات برخی از عناصر تغذیه‌ای پرمصرف، پرولین و پروتئین در گیاه گل‌گاوزبان اروپایی تحت تنش خشکی گزارش کردند که تحت تیمار تنش آبی مقدار پتاسیم در بخش‌های هوایی افزایش و در ریشه کاهش‌یافته است که این امر با نگاهی دقیق به نقش پتاسیم در گیاه قابل توجیه است. از عمده‌ترین نقش‌های عنصر پتاسیم مقاوم نمودن گیاه در برابر عوامل خارجی است این بدان معنی است که گیاه به‌محض اعمال تنش با ایجاد مکانیسم افزایش یون پتاسیم درون سلول‌ها و آوندهای خود، در برابر عامل تنش مقاومت می‌کند (Wu et al., 2008). طبق نظر دستبندان‌نژاد و همکاران (Dastbandan Nejad et al., 2010) در شرایط تنش خشکی، میزان پتاسیم جذب‌شده ۲ تا ۳ برابر شرایط طبیعی است. آن‌ها همچنین گزارش کردند که علت افزایش جذب پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی را می‌توان به مکانیسم جذب فعال این یون به‌وسیله گیاه نسبت داد که بدین‌وسیله مقاومت خود را در برابر تنش بالا می‌برد.

گرینی‌شبانکاره و خراسانی‌نژاد (Grinishabankareh and Khorasan Nezhad, 2017) در بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه دارویی اکلیل‌کوهی تحت رژیم‌های کم‌آبی دریافتند که میزان یون پتاسیم با افزایش سطح سالیسیلیک اسید طی تنش خشکی روند صعودی دارد. به‌طوری‌که بیشترین آن از تیمار تنش شدید به دست آمد. همچنین پژوهش‌های پاداش و همکاران (Padash et al., 2016) در مورد نقش مثبت سالیسیلیک اسید در افزایش مقدار پتاسیم با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

سدیم گل و برگ

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثرات قطع آبیاری، سالیسیلیک اسید و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال خطای یک درصد بر مقدار سدیم گل معنی‌دار بود. درحالی‌که سدیم برگ فقط تحت تأثیر اثر اصلی قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید قرار گرفت. مقایسه میانگین اثر متقابل قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید بر مقدار سدیم گل نشان داد که با افزایش سالیسیلیک اسید در تمامی تیمارهای قطع آبیاری، سدیم گل کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در تیمار بدون قطع آبیاری، قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن و قطع آبیاری در مرحله گلدهی در سطح ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید به ترتیب با میانگین (۳۹/۳۲، ۵۲/۳۱ و ۶۴/۳۱ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) کمترین و در تیمار بدون محلول‌پاشی بیشترین سدیم گل را به خود اختصاص داده است (جدول ۷). گزارش‌شده است که سالیسیلیک اسید باعث کاهش غلظت سدیم و افزایش غلظت پتاسیم و نیتروژن در گیاه ریحان در تنش‌های مختلف می‌شود (Padash et al., 2016).

نتایج مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری بر سدیم برگ نشان داد که میزان سدیم برگ در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی حدود ۳۷ درصد بیشتر از تیمار بدون قطع آبیاری

(شاهد) بود (جدول ۶). بیشتر پژوهشگران در شرایط تنش خشکی افزایش سدیم را در گیاهان گزارش کردند، به‌طور مثال قلی‌نژاد و همکاران (Gholinezhad et al., 2016) گزارش کردند که قطع آبیاری در مرحله زایشی میزان سدیم بافت ریشه و اندام هوایی گل‌گاوزبان اروپایی را افزایش داده است. این افزایش به‌عنوان مکانیسم دفاعی مطرح‌شده است که به کمک آن گیاهان تحت تنش می‌توانند به‌منظور تنظیم فشار اسمزی سلول‌ها و بافت‌های تحت تنش، میزان سدیم را در سلول‌ها افزایش دهند تا قابلیت جذب آب از خاک بهبود یابد (Noorzad et a., 2015). نتایج مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید بر سدیم برگ نشان داد که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث کاهش مقدار سدیم برگ در گل‌گاوزبان اروپایی شد که این کاهش در سطح ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید معادل ۶۵/۰۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بود. سالیسیلیک اسید، جذب عناصر سدیم را کاهش و پتاسیم را افزایش می‌دهد که بیانگر نقش آن در حفظ و ثبات هموستازی یونی گیاه است (Raghami et al., 2016).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج آزمایش نشان داد که تمام صفات موردمطالعه در گل‌گاوزبان اروپایی تحت تأثیر قطع آبیاری قرار گرفتند. تنش خشکی در مرحله زایشی اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد دانه و عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن و فسفر در دو بخش گل و برگ داشت. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که مرحله شروع گلدهی تا شروع پر شدن دانه و شروع پر شدن دانه تا شروع برداشت حساس‌ترین مراحل گیاه به تنش خشکی است. به‌طوری قطع آبیاری در این مراحل به ترتیب سبب کاهش ۳۸ و ۵۰ درصدی عملکرد دانه در قیاس با سایر مراحل گردید؛ بنابراین گل‌گاوزبان اروپایی در تیمار قطع آبیاری در مرحله رویشی به دلیل آبیاری مجدد و عقب افتادن رشد در آن‌ها وضعیت رشدی و سرسبزی بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت و درنتیجه عملکرد دانه بهتری را نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله رسیدگی نشان داد. سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه، میزان روغن، عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دو بخش گل و برگ اثر مثبت گذاشته، باعث افزایش آن‌ها طی تنش قطع آبیاری در مراحل ساقه رفتن و گلدهی گردید ولی مقدار عنصر سدیم با افزایش سطح سالیسیلیک اسید کاهش یافت. در این تحقیق کاربرد ۱۳۸ و ۲۰۷ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و آبیاری در تمامی مراحل رشد بالاترین عملکرد دانه و درصد روغن را حاصل نمود.

منابع

Aghlmand, S., Esmaielpour, B., Abasszadeh Dahaji, P., Soltani Toularoud., A.A., Jalilvand, P., 2016. Effects of mycorrhizal fungi and salicylic acid on growth and physiological parameters of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water deficit conditions. Journal of Water and Soil Science. 26(1), 66-51. [In Persian with English summary].

Ashori, D., Hosseini, A.N., Safarzadeh, M.N., 2014. Effect of plant density and planting arrangement on yield and yield components of (*Echium amoenum* Fisch and Mey) in Guilan province. Journal of Horticultural Science. 28(2), 135-143. . [In Persian with English summary].

Ashraf, M., Akram, N.A., Al-Qurainy, F., Flooda, M.R., 2011. Drought tolerance: roles of organic osmolyts, growth, regulators, and mineral nutrients. Advances in Agronomy. 111, 249-296.

Azizabadi, A., Golchin, A., Delavar, M.A., 2014. Effect of potassium and drought stress on growth indices and nutrient concentrations of safflower leaves. Science and Technology of Greenhouse Crops. 5(19), 79-65. . [In Persian with English summary].

Babaei, B., 2011. Effect of cycocel on quantitative and qualitative characteristics of *Ocimum bosilicus* L. under drought stress. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, the University of Zabol, Iran. [In Persian].

Dastbandan Nejad, S., Saki Nejad, T., Lack, S., 2010. Effect of drought stress and different levels of potassium fertilizer on K+ accumulation in corn. Natural Science. 8(5), 23-27.

Dastborhan, S., Ghassemi-Golezani, K., 2015. Influence of seed priming and water stress on selected physiological traits of borage. Folia Horticulturae. 27(2), 151-159.

Delavari Parizi, M., Baghizadeh, A., Enteshari, Sh., Manouchehri Kalantari, K., 2012. The study of the interactive effects of salicylic acid and salinity stress on induction of oxidative stress and mechanisms of tolerance in *Ocimum basilicum* L. Journal of Plant Biology. 4(12), 25-36.

Gholinezhad, R., Sirousmehr, A.R., Siahsar, B., Gholinezhad, M., 2016. Effects of drought stress, compost and vermicompost fertilizers on qualitative and quantitative characteristics borago (*Borago officinalis*). MSc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran. [In Persian].

Girma, K., Holtz, S., Tubana, B., Solie, J., Raun, W., 2010. Nitrogen accumulation in shoots as a function of growth stage of corn and winter wheat. Journal of Plant Nutrition. 33, 165-182.

Grattan, S.R., Grieve, C.M., 1999. Salinity-mineral relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae. 78(1), 127-157.

Grinishabankareh, H., Khorasan Nezhad, S., 2017. The Effect of biological fertilizers and salicylic acid on quality and performance of medicinal herbs of anthrax in underwater regimes. Agricultural Landscaping. 19(2), 491-475. [In Persian].

Hassibi, P., 2006. Physiological study of the effect of cold stress on the seedling stage of different rice genotypes. Ph.D. dissertation, Faculty of Agriculture, University of Ahvaz, Iran. [In Persian].

Heidari, M., 2006. Response of Plants to Environmental Stress. Arass Rayaneh Publication. [In Persian].

Heidari, M., Minaei, A., 2014. Effects of drought stress and humic acid application on flower yield and content of macro-elements in medical plant borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Plant Production Research. 21(1), 167-182. [In Persian with English Summary].

Heshmat, O., Shams, H., Saif Sahandi, M., Rajabian, T., Miransar, M., 2018. Balangu (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. Plant Physiology and Biochemistry. 103, 641-646.

Izadi, Z., Tedin, M.R., 2013. Effect of irrigation on growth and yield of castor oil in salicylic acid and spermine soluble treatments. Process and Plant Function. 3(9), 92-83. [In Persian with English Summary].

Jami, F., Mehraban, A., Ganjali, H.R., 2015. The effect of water shortage and foliar application of salicylic acid on quantitative and qualitative performance of cumin herb. Indian Journal of Science and Technology. 8(27), 1-8.

Karami, R., Hadi, H., Tajbakhsh, M., 2016. Forage yield of sorghum under water deficit and foliar application of zinc sulphate and salicylic acid. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production. 26(2), 187-169. [In Persian with English Summary].

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plant. 2nd edition. Landon. Academic press. Inc.

Mirzaei, M.M., Ghorbani, S., Roozbehani, A., Ghaderi, A., 2016. The effect of application of bio fertilizer on quantity and quality of borage under water deficit stress. Crop Research on the Sides of the Desert. 13(2), 157-172. . [In Persian with English summary].

Naghdibadi, H., Zainali Mobarakeh, Z., Omidi, H., Reza Zadeh, S., 2012. Morphologic, agronomic and phytochemical changes in borage (*Borago officinalis* L.) as effected by chemical and biofertilizers. Journal of Medicinal Plants. 9, 145-156.

Najafi, S. 2012. Medical plants: Identification and Use. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 244p. [In Persian].

Nematollahi, E., Jafari, A., Bagheri, A., 2012. Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. Journal of Plant Ecophysiology. 5(12), 37-51. [In Persian with English Summary].

Noorzad, S., Ahmadian, A., Moghadam, M., 2015. Estimation of proline, chlorophyll index, carbohydrate and nutrient uptake in coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress and fertilization treatments. Iranian Journal of Field Crops Research. 13(1), 131-139. [In Persian].

Padash, A., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R., 2016. Effect of salicylic acid on concentration of nutrients, protein and antioxidant enzymes of basil under lead stress. Iranian Journal of Plant Biology. 8(27), 17-32. [In Persian with English Summary].

Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd edition. 345p.

Raghami, M., Staji, A., Bagheri, A., Ariakia, A., 2016. Effect of salinity and salicylic acid on some morphological specifications of (*Solanum melongena* var. Taki) in soil culture system. Science and Technology of Greenhouse Crops. 7(2), 87-77. . [In Persian with English summary].

Rasouli, D., Fakher, B., 2016. Effects of drought stress on quantitative and qualitative yield, physiological characteristics and essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum americanum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 32(5), 900-913. [In Persian with English summary].

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekananda, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Plant Physiology. 161, 1202-1189.

Rouhanipour, A., 2010. Effect of silicon on corn (*Zea mays*) grown under conditions of salt stress and hydroponic culture. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Ahwaz, Iran. [In Persian].

Sadeghian, F., Ghorbanpour, M., Hadian, J., Hadavi, M., Mohamadi, A., Ghafarzadegan, R., 2018. Effects of exogenous salicylic acid application on growth, metabolic activities and essential oil composition of Satureja khuzistanica Jamzad. Journal of Medicinal Plants. 12(47), 70-82.

Samsam Shariat, H., 2007. Extraction and extraction of active ingredients of medicinal plants and their identification and evaluation methods. Mani Publication, Isfahan, Iran. 258p. [In Persian].

Sheikhpour, S., Sirousmehr, A.R., Fakheri, B.R., 2014. Evaluation of chlorophyll content, nutrients and yield of borage (*Borago officinalis* L.) in responses to chemical and biological fertilizers. Advanced in Crop Science. 2, 131-140.

Shokrani, F., Pirzad, A., Zardoshti, M.R., Darvishzadeh, R., 2012. Effect of biological nitrogen on the harves index of flower and essential oil of (*Calendula ofcinalis* L.) under end season water defcit condition. The International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3(2), 247-255.

Uquiche, E., Jerez, M., Ortiz, J., 2008. Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 9, 495-500.

Wu, Y., Hu, Y., Xu, G., 2008. Interactive effects of potassium and sodium on root growth and expression of K/Na transporter genes in rice. Journal of Plant Growth Regulation. 57(3), 271-280.

Zahedchekovary, S., Gasemov, N., 2015. Study of some microelements, proline and protein of Brago officilalis L. under drught stress. Crop Biotechnology. 4(11), 65-75. [In Persian with English Summary].

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 2, pp. 519-531
Summer 2020
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2035.1504

Original article

Effects of salicylic acid on yield and nutrient uptake of borage (*Borago officinalis* L.) under interrupting irrigation conditions

H. Hasanvand[1*], S.A. Siadat[2], A.M. Bakhshandeh[2], M.R. Moradi Telavat[3], A. Poshtdar[4]

1. Ph.D. Student of Agronomy, Khouzestan Agricultural science and Natural Resources University, Iran
2. Professor, Department of Plant Production and Genetic, Khouzestan Agricultural science and Natural Resources University, Iran
3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetic, Khouzestan Agricultural science and Natural Resources University, Iran
4. Department of Plant Production and Genetic, Khouzestan Agricultural science and Natural Resources University, Iran

Received 15 November 2018; Accepted 28 January 2019

Abstract

In order to effects of salicylic acid on yield and nutrient uptake borage (*Borago officinalis* L.) under interrupting irrigation conditions, an experiment was carried out with split plot design based on randomized complete block design with four replications in Khouzestan Science Agriculture and Natural Resources University, Iran during 2017-2018. The treatments were included interrupting irrigation as main plot in (stress at stemming stage, stress at flowering stage, seed fill stage and control) and application of salicylic acid as subfactor in concentrations (0, 69, 138 and 207 $mg.L^{-1}$) was considered. Results showed that interrupting irrigation and salicylic acid had the significant effect on grain yield, oil percentages, ash contents of flower and leaf ash and nutrients of nitrogen, phosphorus, potassium, and sodium in two parts of the flower and leaf respectively. Mean comparison test showed that with interrupting irrigation in stemming and flowering stages, only the concentration of sodium, potassium elements and oil percentages increased significantly. Maximum grain yield in the full irrigation treatment was 633.43 $kg.ha^{-1}$. Foliar application with 207 $mg.L^{-1}$salicylic acid increased 50% flower yield compared to non-foliar application. Salicylic acid increased all the traits studied, other than sodium. In this study the interaction factors on flower ash, potassium flowers and leaf, phosphorus and sodium flowers were significant. Consumption of 138 $mg.L^{-1}$salicylic acid in interrupting irrigation condition increased 38% of leaf phosphorus, due to non-consumption of salicylic acid and drought stress. The highest amount of potassium of flower and leaves were obtained by application 138 and 207 $mg.L^{-1}$ salicylic acid in interrupting irrigation stress at flowering stage. The results suggested salicylic acid application in 138 and 207 $mg.L^{-1}$ concentration in borage can reduce the negative effects of interrupting irrigation damage.

***Keywords*:** Ash contents, Borago officinalis, Nitrogen, Potassium and Sodium, Water deficit.

[*]Correspondent author: Hadis Hasanvand; E-Mail: h1167.hasanvand@gmail.com.