

بررسی اثر بیوچار و سالیسیلیک اسید بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) در شرایط تنش کم آبی

زهرا تقی زاده طبری^{۱*}، حمیدرضا اصغری^۲، حمید عباسدخت^۲ و اسماعیل باباخانزاده سجیرانی^۳

*۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری رشته اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

پست الکترونیک: zt.tabari@gmail.com

۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

تاریخ اصلاح نهایی: دی ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۸

چکیده

کامبود آب بیشترین سهم را در بین انواع تنش‌ها در کاهش عملکرد به خود اختصاص داده است. از راهکارهای مقابله با اثرهای نامطلوب کم آبی می‌توان به اصلاح خاک و یا کاربرد برخی از مواد هورمونی برای تخفیف اثرهای نامطلوب خشکی اشاره کرد. این پژوهش با هدف بررسی دو اصلاح‌کننده خاک و تنظیم‌کننده رشد در شرایط کم آبی بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) انجام شد. این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شده است. کرت‌های اصلی شامل سطوح کم آبیاری در سه سطح (آبیاری به شکل معمول و هر ۵ روز یکبار، آبیاری هر ۱۰ و هر ۱۵ روز یکبار) و کرت‌های فرعی شامل بیوچار در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و سالیسیلیک اسید در دو سطح (۰ و ۰/۵ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد اثرهای ساده بیوچار و سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر روی تعداد ساقه گل‌دهنده، تعداد ساقه و نیز ارتفاع ساقه، میزان کلروفیل a، میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید و کلروفیل b برگ معنی‌دار بود. اثرهای متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری نیز بر کاروتنوئید و نیز کلروفیل b معنی‌دار بود. اثرهای متقابل سه‌گانه نیز در تعداد وزن خشک کل، تعداد ساقه گل‌دهنده، تعداد ساقه و نیز ارتفاع ساقه و کلروفیل b تأثیرگذار بود. به‌طور کلی تنش کم آبیاری موجب کاهش میزان رنگرزه‌های فتوسنتزی و شاخص‌های رشد برگ گاوزبان اروپایی نسبت به حالت شاهد شد، که سالیسیلیک اسید و بیوچار موجب کاهش اثرهای منفی بر میزان رنگرزه‌های فتوسنتزی شد. بنابراین به‌نظر می‌رسد استفاده از بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و سالیسیلیک اسید به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد در بهبود برخی از اثرهای منفی تنش آبی گیاه گاوزبان اروپایی مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، بیوچار، سالیسیلیک اسید، کاروتنوئید، بهبود رشد.

مقدمه

گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) از خانواده گاوزبان است. تیره گل گاوزبان یکی از تیره‌های بزرگ گیاهان دو لپه‌ای پیوسته گلبرگ است. گونه‌های مختلف این تیره دارای گسترش جهانی است و در مناطق معتدل و نیمه‌گرمسیر و به‌ویژه مدیترانه‌ای پراکنش دارند (Asadi-Samani *et al.*, 2014). این گیاه به‌عنوان یکی از مهمترین منابع اسیدهای چرب اصلی نیز به‌شمار می‌رود، به طوری که از آن به‌عنوان غنی‌ترین منبع شناخته شده برای گاما لینولئیک اسید در نزد بشر یاد شده است (Abdollahi Mayvan *et al.*, 2018).

خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولیدات محصولات کشاورزی می‌باشد. کمبود آب سلول منجر به غلیظ شدن مواد حل شده، کاهش فشار تورژسانس، تغییر حجم سلول، به هم خوردن روابط پتانسیل آب، تغییر در یکپارچگی غشاء، تغییر ماهیت پروتئین‌ها و برخی از اجزای فیزیولوژیکی و مولکولی می‌گردد (Raymond & Smirnoff, 2002; Bartels & Souer, 2003). از راهکارهای مقابله با اثرهای نامطلوب کم‌آبی می‌توان به اصلاح خاک و یا کاربرد برخی از مواد هورمونی برای تخفیف اثرهای نامطلوب خشکی اشاره کرد. امروزه محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌عنوان یکی از هورمون‌های گیاهی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌هایی همانند خشکی افزایش یافته است (Bayat *et al.*, 2011). سالیسیلیک یک تنظیم‌کننده درونی از گروه ترکیب‌های فنلی طبیعی می‌باشد که در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه دارای نقش اساسی است. افزایش جوانه‌زنی، القای گلدهی، رشد و نمو، افزایش میزان محصول و افزایش عملکرد میوه، بازدارندگی سنتز اتیلن و تأثیر در فعالیت‌های گیاهی از جمله باز و بسته شدن روزنه‌ها، روابط آبی، پایداری غشاء، جذب عناصر غذایی و فعال شدن عامل ایجاد مقاومت به بیماری‌ها از مواردی است که به کارکرد سالیسیلیک اسید نسبت داده می‌شود (Afshari *et al.*, 2013; Ghassemi *et al.*, 2019). بیوچار کربن فعال و یا کربن سیاه در خاک است که بسیار پایدار می‌باشد و می‌تواند برای صدها

و یا هزاران سال در خاک باقی بماند. استفاده از بیوچار قدمت حداقل ۲۰۰۰ ساله دارد (Xu *et al.*, 2015). مطالعات متعددی اثرهای مثبت بیوچار بر روابط آبی، خاک و گیاه را از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داده‌اند که شامل کاهش چگالی ظاهری خاک (Abbas *et al.*, 2018)، افزایش قابلیت نگهداری آب خاک که ناشی از تخلخل بالای بیوچار و توانایی آن در افزایش دانه‌بندی خاک است (Laird *et al.*, 2010; Herath *et al.*, 2013)، اثرهای قلیایی شدن خاک و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی (Laird *et al.*, 2010) از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی که خود موجب افزایش قابلیت جذب بیشتر عناصر غذایی اصلی می‌شود نیز از دیگر اثرهای بیوچار بر خاک است (Beesley *et al.*, 2011; Graber *et al.*, 2014).

با توجه به اهمیت دارویی و غذایی گیاه گاوزبان، بررسی و شناخت اثرهای کم آبی بر این گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، با توجه به مطالعات پیشین مبنی بر تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید (Afshari *et al.*, 2015; Nazar *et al.*, 2015) و بیوچار (Chen *et al.*, 2013; Ghassemi *et al.*, 2019) و بیوچار (Chen *et al.*, 2018; Batoool *et al.*, 2015; Haider *et al.*, 2015; Atkinson *et al.*, 2010) در تقلیل اثرهای منفی خشکی و نیز بهبود روابط آبی خاک در گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی این سه فاکتور مهم بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و زراعی گیاه گاوزبان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به‌صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سطوح کم آبیاری در سه سطح (آبیاری به شکل معمول و هر ۵ روز یک‌بار، آبیاری هر ۱۰ و ۱۵ روز یک‌بار) و کرت‌های فرعی شامل بیوچار حاصل از چوب درخت گردو

همچنین صفاتی مانند تعداد انشعابات جانبی (شاخه گل‌دهنده و ساقه فرعی) شمارش و در نهایت از میانگین آنها برای انجام محاسبات استفاده شد. نمونه‌های وزن خشک نیز به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و با ترازوی حساس به دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند.

نتایج

کلروفیل a

نتایج مقایسه میانگین اثرهای ساده تیمارها نشان داد گرچه مقدار عددی کلروفیل a در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار بیش از شرایط عدم کاربرد آن بود، اما تفاوت معنی‌دار آماری میان این دو تیمار از لحاظ مقدار کلروفیل a وجود نداشت. علاوه بر آن با افزایش مقدار بیوچار به ۱۰ تن در هکتار میزان کلروفیل a به شکل معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱)، اما کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a نسبت به شرایط عدم مصرف آن شد. به طوری که میزان کلروفیل a با افزودن سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد ۱۸/۲٪ افزایش یافت (شکل ۲). با افزایش دور آبیاری تا ۱۰ روز در مقدار کلروفیل a تغییر محسوسی مشاهده نشد، اما در دور آبیاری ۱۵ روز مقدار آن به شکل معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳) (نتایج جدول تجزیه واریانس در جدول ۳ آورده شده است).

کلروفیل b

مقایسه میانگین اثرهای سه‌گانه هر سه فاکتور (جدول ۵) نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط نرمال آبیاری و مصرف توأم سالیسیلیک اسید و بیوچار به مقدار ۱۰ تن در هکتار حاصل شد. کمترین میزان آن نیز در دور آبیاری ۱۰ روز و در شرایط عدم استفاده از سالیسیلیک اسید و بیوچار به میزان ۱۰ تن در هکتار مشاهده شد (نتایج جدول تجزیه واریانس در جدول ۳ آورده شده است).

در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و سالیسیلیک اسید در دو سطح (۰ و ۰/۵ میلی‌مولار) بود. ابعاد کرت‌های آزمایش ۲ در ۴ متر و فاصله بین کرت‌ها ۱۰۰ سانتی‌متر بود. هر واحد آزمایشی شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر و با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از اجرای آزمایش برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق ۳۰- سانتی‌متری انجام شد (جدول ۱) و عناصر موجود در بیوچار نیز از طریق آزمایش مشخص شد (جدول ۲). بذر مصرفی از شرکت Pharmasaat آلمان تهیه شد و کاشت بذرها در تاریخ ۲۵ اسفند به شکل مستقیم انجام گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ انجام گردید.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید

برای ارزیابی غلظت کلروفیل برگ از روش بدون لهیدگی استفاده شد. بدین ترتیب ۰/۰۱ گرم از بافت تازه برگ توزین شد. به نمونه‌ها ۶ میلی‌لیتر دی‌متیل سولفوکسید اضافه شد و محلول حاصل به مدت ۴ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از سرد شدن با قرار گرفتن در اسپکتروفتومتر مدل Jenway6305 ساخت کشور آلمان، میزان جذب نمونه‌های حاوی کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. سپس با استفاده از روابط موجود میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید به روش Hiscox محاسبه گردید (Hiscox & Israelstam, 1979).

تعداد ساقه گل‌دهنده، تعداد ساقه و ارتفاع ساقه و وزن خشک کل

ارتفاع ساقه اصلی در ۵ بوته از هر کرت برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و پس از میانگین‌گیری ثبت گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

نیتروژن کل (%)	پتاسیم (mg/kg)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	فسفر (ppm)	کربن آلی (%)	بافت خاک	ویژگی خاک
۰/۰۶۶	۱۴۹	۸/۳۶	۰/۷۱	۱۹	۰/۶۰	Loam-silt	

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار بکار برده شده در آزمایش

مواد آلی فرار در رطوبت (%)	خاکستر (%)	کربن آلی (%)	فسفر (ppm)	هدایت الکتریکی (μ s)	pH	پتاسیم (mg/kg)	نیتروژن کل (%)
۴۶/۹۵	۷/۶۰	۴۵/۴۴	۰/۰۱	۲۰۰	۹/۷۰	۰/۲۱	۱/۲۷

کلروفیل کل

کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش ۲۰ درصدی میزان کلروفیل کل نسبت به شاهد شد (شکل ۴) و کاربرد بیوچار نیز میزان آن را به مقادیر ۹٪ و ۳٪ با کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۵). تنش کم آبی موجب کاهش میزان کلروفیل کل شد که در شرایط دور آبیاری ۱۰ روز مقدار این کاهش ۱۱/۰۹٪ و در دور آبیاری ۱۵ روز مقدار این کاهش ۳۹/۶۸٪ نسبت به شاهد بود (شکل ۶) (نتایج جدول تجزیه واریانس در جدول ۳ آورده شده است).

تعداد ساقه گل‌دهنده

مقایسه میانگین اثرهای سه‌گانه (جدول ۵) فاکتور آزمایشی بر تعداد ساقه گل‌دهنده، تعداد ساقه و نیز ارتفاع ساقه نشان داد که بیشترین مقدار این صفات در شرایط عدم کم آبیاری و در زمان مصرف توأم سالیسیلیک اسید و بیوچار به مقدار ۱۰ تن در هکتار بدست آمد (نتایج جدول تجزیه واریانس در جدول ۴ آورده شده است).

وزن خشک کل

مقایسه میانگین مقدار وزن خشک کل تحت تأثیر برهم‌کنش بیوچار و سالیسیلیک اسید (شکل ۹) نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک کل در سه تیمار کاربرد توأم ۱۰ تن بیوچار در هکتار به همراه سالیسیلیک اسید و نیز عدم مصرف بیوچار و سالیسیلیک اسید و همچنین عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و ۵ تن در هکتار بیوچار بدست آمد. کمترین میزان وزن خشک در شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار بود. مقایسه میانگین اثرهای دوگانه دور آبیاری و سالیسیلیک اسید (شکل ۱۰) نشان داد که در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید میزان وزن خشک کل تا دور آبیاری ۱۰ روز با شرایط نرمال آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت؛ اما با افزایش دور آبیاری به ۱۵ روز میزان وزن خشک کل نسبت به شاهد ۲۱٪ کاهش نشان داد. این در حالیست که در شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک اسید میزان وزن خشک کل در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری با افزایش دور آبیاری تا ۱۰ روز داشت و مقدار آن در این شرایط نسبت به شاهد ۱۱٪ کاهش معنی‌دار نشان داد که با افزایش دور آبیاری به ۱۵ روز این میزان به ۱۶٪ رسید.

کاروتنوئید

مقایسه میانگین اثرهای متقابل سالیسیلیک اسید و دور آبیاری نیز (شکل ۷) نشان داد که کم آبیاری موجب کاهش میزان کاروتنوئید شد. البته مصرف و عدم مصرف سالیسیلیک اسید در تیمارهای کم آبیاری تفاوت معنی‌داری بر میزان کاروتنوئید ایجاد نکرد، اما در آبیاری نرمال مقدار کاروتنوئید در کاربرد سالیسیلیک اسید ۲۹٪ بیشتر از شرایط عدم استفاده آن بود. در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، میزان کاروتنوئید در تیمارهای آبیاری مختلف (آبیاری نرمال، دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۵ روز) به ترتیب ۰/۳۶۱، ۰/۳۷۶ و ۰/۳۹۹ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بود که این مقادیر با کاربرد سالیسیلیک اسید به ترتیب به مقادیر ۰/۸۱۷، ۰/۴۱۳ و ۰/۴۱۳ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) افزایش یافت. کاربرد بیوچار موجب کاهش میزان کاروتنوئید شد، به طوری که میزان آن با کاربرد بیوچار به میزان ۵ و ۱۰ تن در هکتار به ترتیب ۴۳٪ و ۷۳٪ کاهش نشان داد (شکل ۸) (نتایج جدول تجزیه واریانس در جدول ۳ آورده شده است).

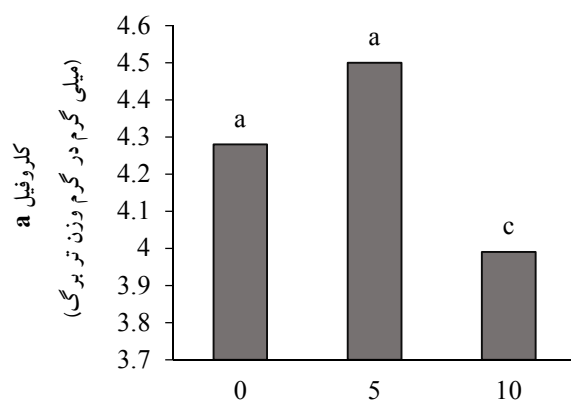
جدول ۳- تجزیه واریانس برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه گاوزبان اروپایی تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

میانگین مربعات				درجه	منابع تغییر
کاروتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	آزادی	
۰/۰۰۵ns	۰/۰۱۶۷ns	۰/۰۴۶ns	۰/۰۸۶ns	۳	تکرار
۰/۸۳۸**	۴۴/۸۷۳**	۴/۸۰۵**	۲۸/۲۲۴**	۲	تنش کم آبیاری (A)
۰/۰۶۲**	۱/۳۰۴**	۰/۲۵۷**	۱/۷۶۷**	۶	خطای آزمایشی (a)
۰/۰۶۱**	۱/۵۹۳*	۰/۱۰۲*	۱/۶۰۴**	۲	بیوچار (B)
۰/۰۰۴ns	۰/۱۲۴ns	۰/۰۲۵ns	۰/۱۰۹ns	۴	اثر متقابل A×B
۰/۱۱۲**	۱۸/۸۱۱**	۱/۶۵۳**	۹/۳۱۰**	۱	سالیسیلیک اسید (C)
۰/۰۵۲**	۰/۷۱۶ns	۰/۴۸۹**	۰/۰۲۳ns	۲	اثر متقابل A×C
۰/۰۱۰ns	۰/۱۳۲ns	۰/۱۰۶*	۰/۰۱۵ns	۲	اثر متقابل B×C
۰/۰۰۶ns	۰/۳۹۴ns	۰/۱۰۱*	۰/۴۵۹ns	۴	اثر متقابل A×B×C
۰/۰۰۳	۰/۳۳۹	۰/۰۲۸	۰/۲۳۸	۴۵	خطای آزمایشی b
۱۱/۸۷	۱۰/۵۰	۱۳/۰۳	۱۱/۴۵	-	ضریب تغییرات (%)

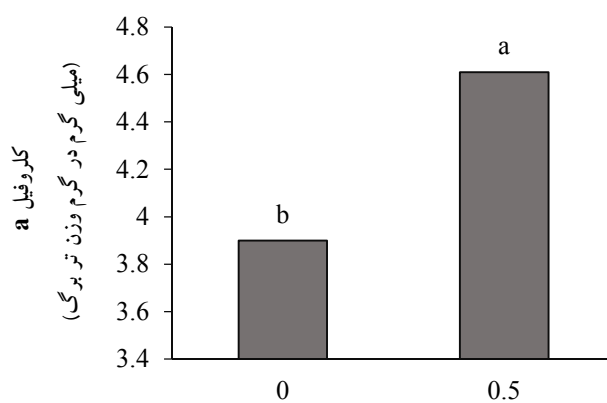
* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۴- تجزیه واریانس برخی از خصوصیات زراعی گیاه گاوزبان اروپایی تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

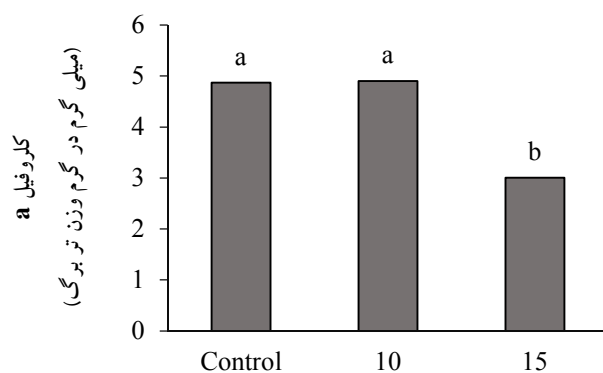
میانگین مربعات				درجه	منابع تغییر
وزن خشک کل	تعداد ساقه	تعداد ساقه گل‌دهنده	ارتفاع ساقه	آزادی	
۳۳۲۱/۳۶*	۰/۲۵۹ns	۱/۹۸ns	۰/۰۰۰۸ns	۳	تکرار
۳۳۳۶/۶۲*	۱۶۴/۲۹۱**	۳۸۸/۰۱**	۰/۱۵۶۸**	۲	تنش کم آبیاری (A)
۵۴۷/۵۹**	۰/۱۰۶ns	۰/۴۹۵ns	۰/۰۰۰۱ns	۶	خطای آزمایشی (a)
۲۱۹/۵۲ns	۳/۰۴۱**	۱۲/۸۴**	۰/۰۰۲۴**	۲	بیوچار (B)
۹۰/۲۱ns	۲/۸۹۵**	۸/۸۴**	۰/۰۰۱۴**	۴	اثر متقابل A×B
۲۰۱۴/۱۷**	۵۳/۳۸۸**	۱۱۷/۵۵**	۰/۰۴۳۵**	۱	سالیسیلیک اسید (C)
۹۴۵/۱۳**	۳/۰۹۷**	۹/۱۸**	۰/۰۰۱۵**	۲	اثر متقابل A×C
۱۷۵۷/۳۵**	۰/۱۸۰ns	۰/۹۳ns	۰/۰۰۰۱ns	۲	اثر متقابل B×C
۱۱۳/۲۰ns	۱/۵۷۶**	۵/۳۰۵**	۰/۰۰۱۱**	۴	اثر متقابل A×B×C
۱۳۴/۷۷	۰/۰۹۰	۰/۳۰۱	۰/۰۰۰۱۲	۴۵	خطای آزمایشی b
۱۰/۸۷	۶/۲۳	۸/۲۷	۲/۷	-	ضریب تغییرات (%)



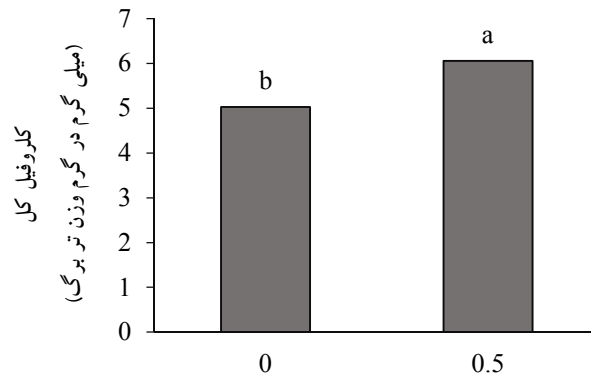
شکل ۱- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل a تحت تأثیر مقادیر مختلف بیوچار (شاهد، ۵ و ۱۰ تن در هکتار)



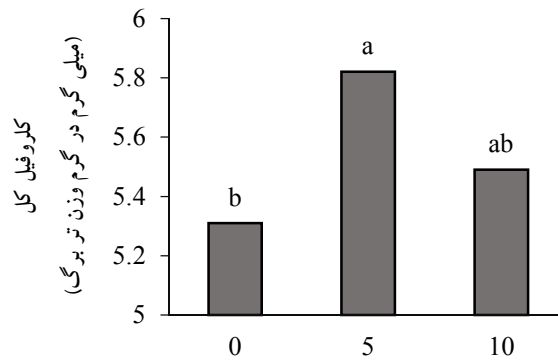
شکل ۲- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل a تحت تأثیر مقادیر مختلف سالیسیلیک اسید (۰ و ۰/۵ میلی مولار)



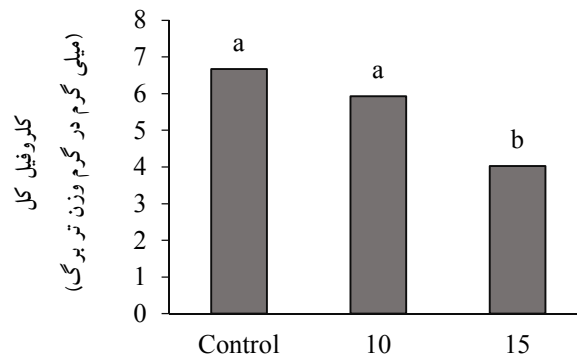
شکل ۳- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل a تحت تأثیر دور آبیاری مختلف (شاهد، ۱۰ و ۱۵ روز)



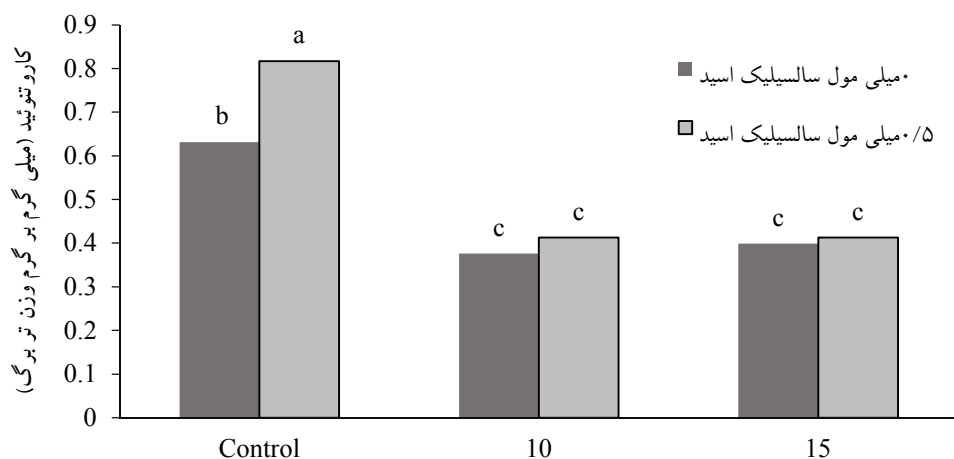
شکل ۴- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل کل تحت تأثیر مقادیر مختلف سالیسیلیک اسید (۰ و ۰/۵ میلی مولار)



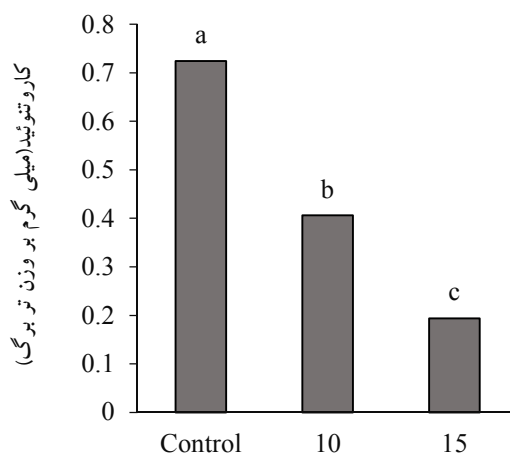
شکل ۵- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل کل تحت تأثیر مقادیر مختلف بیوجار (شاهد، ۵ و ۱۰ تن در هکتار)



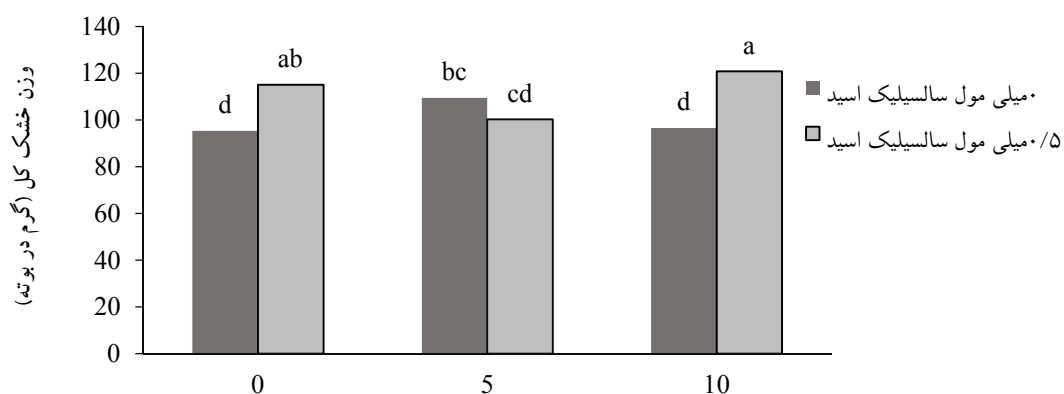
شکل ۶- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل کل تحت تأثیر مقادیر مختلف آبیاری (شاهد، ۱۰ و ۱۵ روز)



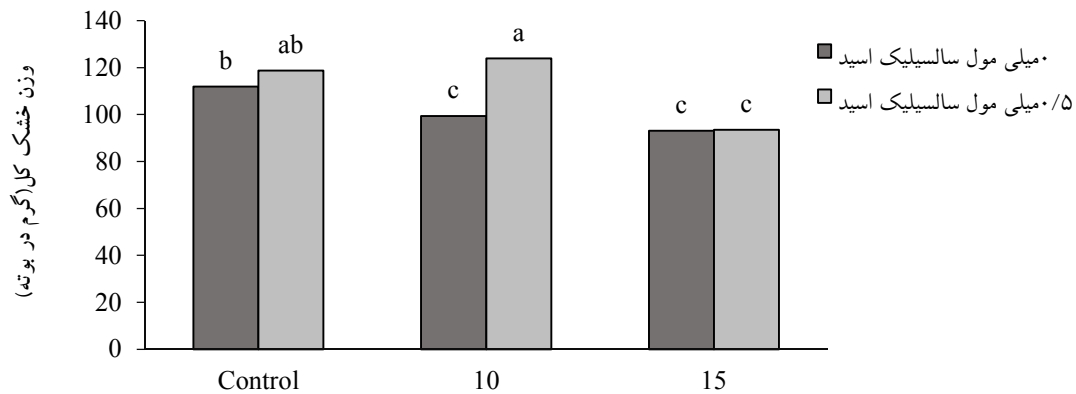
شکل ۷- مقایسه میانگین مقدار کاروتنوئید تحت تأثیر برهم کنش دور آبیاری (شاهد، ۱۰ و ۱۵ روز) و سالیسیلیک اسید



شکل ۸- مقایسه میانگین مقدار کاروتنوئید تحت تأثیر مقادیر مختلف بیوچار (شاهد، ۵ و ۱۰ تن در هکتار)



شکل ۹- مقایسه میانگین مقدار وزن خشک کل تحت تأثیر برهم کنش بیوچار (شاهد، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و سالیسیلیک اسید



شکل ۱۰- مقایسه میانگین مقدار وزن خشک کل تحت تأثیر برهم کنش دور آبیاری (شاهد، ۱۰ و ۱۵ روز) و سالیسیلیک اسید

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرهای سه گانه خصوصیات گیاه گاوزبان اروپایی تحت تأثیر اثر متقابل A×B×C

تیمارهای آزمایشی						
کم آبیاری (A)	بیوچار (B)	سالیسیلیک اسید (C)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	پایداری غشاء (%)	ارتفاع ساقه (متر)	تعداد ساقه گل دهنده (عدد در پوت)
شاهد	شاهد	عدم مصرف	۱/۵۵c	۵۲/۹۰d	۰/۴۵fe	۶e
	۵ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۹۳b	۷۰/۳۵a	۰/۵۲b	۸/۵b
	۱۰ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۵۹c	۵۹/۵۵c	۰/۴۸d	۷d
	شاهد	۰/۵ میلی مولار	۲/۰۴b	۶۷/۰۲۲b	۰/۵۰c	۷/۵c
	۵ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۲۹d	۵۵/۴۰d	۰/۴۶e	۶e
	۱۰ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۲/۳۶a	۷۱/۲۴a	۰/۵۶a	۱۰/۵a
۰ روز	شاهد	عدم مصرف	۰/۷۸g	۴۲/۴۶kji	۰/۳۹i	۴g
	۵ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۰۳ef	۴۹/۷۴e	۰/۴۴fe	۵/۲۵f
	۱۰ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۰۲ef	۴۵/۳۶fgh	۰/۴۱h	۴g
	شاهد	۰/۵ میلی مولار	۱/۰۷edf	۴۶/۴۳fg	۰/۴۲g	۵f
	۵ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۰۴ef	۴۳/۹۵hgij	۰/۴۰hi	۴g
	۱۰ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۲۳de	۴۷/۸۴fe	۰/۴۴fg	۵f
۱۵ روز	شاهد	عدم مصرف	۰/۹۱fg	۴۲/۹۶hkji	۰/۲۹m	۱k
	۵ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۰۳ef	۴۰/۸۲k	۰/۳۶j	۳i
	۱۰ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۰۱efg	۴۳/۹۶hgji	۰/۳۲l	۱/۷۵j
	شاهد	۰/۵ میلی مولار	۱/۱۳edf	۴۱/۸۹kj	۰/۳۷j	۳/۵h
	۵ تن در هکتار	عدم مصرف	۰/۹۴fg	۴۸/۰۸۴fe	۰/۳۳kl	۲j
	۱۰ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۰۵ef	۴۴/۸۴hgi	۰/۳۴k	۳i

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

بحث

Kammann و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند که کاربرد بیوچار موجب کاهش میزان کلروفیل و کارایی فتوسنتز ظاهری و کاهش نیتروژن برگ در گیاه *Chenopodium quinoa* شد. آنان دلیل این امر را تخصیص منابع نیتروژن بیشتر به رشد رویشی برگ‌ها و تقلیل ذخایر نیتروژن توسط آنها و در نتیجه کاهش پرولین و نیز کاهش غلظت روبیسکو بیان نمودند.

کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش رنگریزه‌های فتوسنتزی در شرایط کم‌آبی و نرمال آبیاری شد که تنها در کاروتنوئید در شرایط کم‌آبی کاربرد آن اثری نداشت. مطالعات متعددی نشان داده که کاربرد سالیسیلیک اسید می‌تواند موجب بهبود فتوسنتز به‌ویژه در شرایط تنش خشکی شود. کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه نخود موجب بهبود سطح برگ و محتوای کلروفیل در گیاه نخود شد (Afshari et al., 2013). تنش خشکی همچنین موجب کاهش ۵۰ درصدی فتوسنتز خالص گیاه خردل وحشی شد که کاربرد سالیسیلیک اسید مقدار آن را به ۳۱/۸٪ تقلیل داد. محققان دلیل این افزایش فتوسنتز را در افزایش مقدار پرولین بیان کردند (Nazar et al., 2015). همچنین ممانعت از اکسیداسیون اکسین و در نتیجه افزایش سطح اکسین و به‌دنبال آن بهبود فتوسنتز از جمله اثرهای مفید غلظت‌های پایین سالیسیلیک اسید بر فتوسنتز در شرایط خشکی است (Ghassemi-Golezani & Lotfi, 2015).

کم‌آبیاری موجب کاهش تعداد ساقه گل‌دهنده، ارتفاع ساقه و نیز وزن خشک کل شد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تنش آب اثرهای فیزیولوژیکی مختلفی مانند کاهش میزان فتوسنتز از طریق بستن روزنه‌ها، کوچک شدن سلول‌ها، کاهش فضای بین سلولی، کاهش تقسیم سلول و در نتیجه کاهش رشد و ارتفاع گیاه را به‌دنبال دارد (Gholamhoseini et al., 2013). برخی از محققان عوامل مؤثر در کاهش رشد گیاهان تحت تنش خشکی را اختلال در تقسیم میتوز، کاهش تورژسانس و رشد و توسعه سلولی می‌دانند که در نهایت کاهش رشد گیاه را دربردارد (Jaleel et al., 2009).

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش دور آبیاری به میزان ۱۵ روز موجب کاهش شدید میزان کلروفیل a شد و میزان کلروفیل کل و نیز کلروفیل b و کاروتنوئید را نیز کاهش داد. گزارش‌های مختلفی در رابطه با افزایش و یا کاهش کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی وجود دارد. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند به دلیل کاهش سنتز کلروفیل و یا ناشی از تخریب آن باشد. البته بیشتر مطالعات کاهش میزان کلروفیل را در شرایط تنش خشکی به‌خوبی نشان داده‌اند (Keshavarz Afshar et al., 2017; Ghobadi et al., 2013; Nazar et al., 2015).

کاربرد بیوچار در بهبود رنگریزه‌های فتوسنتزی مؤثر نبود، با توجه به اینکه کاربرد بیوچار میزان کلروفیل b را افزایش داد اما بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار نبود و میزان کاروتنوئید و کلروفیل a (با کاربرد ۱۰ تن در هکتار) را کاهش داد. گرچه مطالعات متعددی حکایت از اثرهای مثبت کاربرد بیوچار در افزایش کلروفیل و یا فتوسنتز بر روی گیاهان مختلف دارند (Wang et al., 2014; Xu et al., 2015) اما برخی از مطالعات از عدم تأثیر بیوچار بر فتوسنتز و نیز اثرهای منفی آن شواهدی را ارائه کرده‌اند (Hiu et al., 2018; Xu et al., 2015; Keshavarz Afshar et al., 2017). همانطور که Hiu و همکاران (۲۰۱۸) کاربرد بیوچار را بر روی رنگریزه‌های فتوسنتزی گیاه *Panicum virgatum* بی‌اثر دانستند.

بررسی اثرهای تنش خشکی شدید و ملایم به همراه سطوح مختلف بیوچار (۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار) در آزمایشی گلخانه‌ای بر گیاه خار مریم نشان داد که تنش خشکی میزان کلروفیل b را در این گیاه کاهش داده ولی تأثیری در میزان کلروفیل a و کاروتنوئید نداشت (Keshavarz Afshar et al., 2017). گرچه بیوچار موجب بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک و افزایش کارایی مصرف آب در این گیاه شد ولی روی مؤلفه‌های رشدی و فتوسنتزی گیاه بی‌اثر بود.

خاک فراهم می‌کند، بنابراین در تغییر جامعه میکروبی خاک نقش دارد (Chen *et al.*, 2018).

جمع‌بندی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و سالیسیلیک اسید به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد با بهبود صفات مورفولوژیکی گیاه گاوزبان اروپایی در کاهش اثرهای تنش کم‌آبی مؤثر است. بنابراین نتایج این مطالعه در توسعه کاشت گیاهان دارویی در مناطق نیمه‌خشک و خشک قابل اهمیت می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- Abdollahi Mayvan, M., Khorramdel, S., Koocheki, A. and Ghorbani, R., 2018. Evaluation of yield and yield component of borage (*Borago officinalis* L.) affected as irrigation level and plant density. *Journal of Agroecology*, 10(2): 327-339.
- Abbas, T.R., Rizwan, M., Shafaqat, A., Adrees, A., Mahmood, A., Rehman, M., Ibrahim, M., Arshad, M. and Qayyum, F., 2018. Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148: 825-833.
- Afshari, M.F., Shekari, R., Azimkhani, H. and Fotokian, M.H., 2013. Effects of foliar application of salicylic acid on growth and physiological attributes of cowpea under water stress conditions. *Iran Agricultural Research*, 32(1): 54-70.
- Asadi-Samani, M., Bahmani, M. and Rafieian-Kopaei, M., 2014. The chemical composition, botanical characteristic and biological activities of *Borago officinalis*: a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7(1): 22-28.
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. and Hipps, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil*, 337: 1-18.
- Bartels, D. and Souer, E., 2003. Molecular responses of higher plants to dehydration. *Topics in Current Genetics*, 4: 9-38.
- Batool, A., Taj, S., Rashid, A., Khalid, A., Qadeer, S., Saleem, A.R. and Ghufuran, M.A., 2015. Potential of soil amendments (biochar and gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Frontiers in Plant Science*, 6: 733.
- Bayat, H., Mardani, H., Arouie, H. and Salahvarzi, Y., 2011. Effects of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of cucumber seedling (*Cucumis sativus* Cv. *Super Dominus*) under drought

کاربرد سالیسیلیک اسید موجب تخفیف اثرهای تنش کم‌آبی و افزایش رشد گیاه گاوزبان شد. سالیسیلیک اسید از تجزیه هورمون اکسین ممانعت نموده و با تأثیر بر سیتوکینین و اکسین، رشد و تقسیم سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث افزایش سنتز پروتئین و آنزیم‌های مربوط به رشد می‌شود و از این طریق در تقلیل اثرهای کاهش رشد ناشی از تنش خشکی بسیار مؤثر است (Porheidar Ghafarbi *et al.*, 2017).

بیوچار نیز موجب افزایش تمامی صفات زراعی مورد بررسی شد، به‌طوری که بالاترین مقدار صفات زراعی ذکرشده در شرایط نرمال آبیاری و ۱۰ روز با مصرف مقدار ۱۰ تن در هکتار حاصل شد، اما با افزایش دور آبیاری مقدار ۵ تن در هکتار بهتر عمل کرد. امروزه اثرهای بیوچار بر هر یک از مؤلفه‌های رشد گیاهان به‌خوبی شناخته شده است. بیوچار موجب بهبود اثرهای منفی بر ارتفاع و سطح برگ در شرایط تنش خشکی در گیاه بامیه (Batool *et al.*, 2015) و ذرت (Haider *et al.*, 2015) شد و به شکل مشابه موجب افزایش بیوماس گندم گردید (Olmo *et al.*, 2014). Abbas و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی مقادیر مختلف بیوچار توأم با سطوح مختلف خشکی نشان دادند که تنش خشکی در شرایط عدم حضور بیوچار به شکل ملایم (۵۰٪ ظرفیت زراعی) و شدید (۳۵٪ ظرفیت زراعی) موجب کاهش تعداد پنجه‌ها در بوته در گیاه گندم به ترتیب ۱۴٪ و ۳۱٪ و کاهش وزن خشک به میزان ۱۲٪ تا ۱۶٪ شد؛ اما مصرف بیوچار با بهبود صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در تعدیل شرایط تنش مؤثر بود. بیوچار مقدار آب قابل دسترس گیاه را به شکل معنی‌داری افزایش می‌دهد، علاوه بر آن افزایش رشد در بیوچار می‌تواند به علت افزایش در محتوی عناصر غذایی محلول خاک باشد که ناشی از افزایش جذب مواد غذایی به علت تعدیل PH خاک و یا افزایش کربن آلی خاک می‌باشد. همچنین از آنجایی که کاربرد بیوچار موجب تغییر در تخلخل خاک، رطوبت و نیز نیتروژن خاک می‌گردد و از این طریق محیط مناسب و نیز انرژی و غذای لازم را برای باکتری‌های

- biomass, and soil respiration. *Agriculture*, 8(9): 143-155.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biological*, 11: 100-105.
 - Kammann, C.L., Linsel, S., Gößling, J. and Koyro, H., 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil-plant relations. *Plant Soil*, 345: 195-210.
 - Keshavarz Afshar, R., Hashemi, M., DaCosta, M. Spargo, J. and Sadeghpour, A., 2017. Biochar application and drought stress effects on physiological characteristics of *Silybum*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(6):743-752.
 - Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. and Karlen, D., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158: 436-442.
 - Nazar, R., Umar, S., Khan, N.A. and Sareer, O., 2015. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany*, 98: 84-94.
 - Olmo, M., Alburquerque, J.A., Barrón, V., del Campillo, M., Gallardo, A., Fuentes, M. and Villar, R., 2014. Wheat growth and yield responses to biochar addition under mediterranean climate conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 50(8): 1177-1187.
 - Porheidar Ghafarbi, S., Rahimian Mashhadi, H., Alizadeh, H. and Hassannejad, S., 2017. Study on the effect of salicylic acid (SA) mixture with some herbicides on chlorophyll *a* fluoresce and some morphological traits of common lambs quarts (*Chenopodium Album*). *Iranian Journal of Weed Science*, 13(3): 175-191.
 - Raymond, M.J. and Smirnov, N., 2002. Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. *Annals of Botany*, 89: 813-823.
 - Wang, Y.F., Pana, F., Wang, G., Zhanga, G., Wang, Y., Chena, Xu. and Maa, Z.H., 2014. Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system *Oxymal* *hupehensis* Rehd. seedlings under replant conditions. *Scientia Horticulturae*, 175: 9-15.
 - Xu, C.Y., Hosseini-Bai, S.H., Hao, Y., Rachaputi, R., Wang, H., Xu, Z. and Wallace, H., 2015. Effect of biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 6112-6125.
 - stress. *International Journal of Plant Production*, 18(3): 63-76.
 - Beesley, L., Moreno-Jimenez, L.E. Gomez-Eyles, J., Harris, E., Robinson, B. and Sizmur, T., 2011. A review of biochar's potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution*, 159: 3269-3282.
 - Chen, H., Ma, J., Wei, J., Gong, X., Yu, X., Guo, H. and Zhao, Y., 2018. Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. *Science of The Total Environment*, 635: 333-342.
 - Ghassemi, S., Ghassemi-Golezani, K. and Zehtab Salmasi, S., 2019. Changes in antioxidant enzymes activities and physiological traits of ajowan in response to water stress and hormonal application. *Scientia Horticulturae*, 246: 957-964.
 - Ghassemi-Golezani, K. and Lotfi, R., 2015. The impact of salicylic acid and silicon on chlorophyll *a* fluorescence in mung bean under salt stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 62(5): 611-616.
 - Ghobadi, M., Taherabadi, Sh., Ghobadi, M.E., Mohammadi, G.R. and Honarmand, S.J., 2013. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, 50: 29-38.
 - Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E. and Khodaei-Joghan, A., 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, 117: 106-114.
 - Graber, E.R., Frenkel, O., Jaiswal, A.K. and Elad, Y., 2014. How may biochar influence severity of diseases caused by soil borne pathogens? *Carbon Manage*, 5(2): 169-183.
 - Haider, G., Koyro, H.W., Azam, F., Steffens, D., Müller, C. and Kammann, C., 2015. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. *Plant Soil*, 395: 141-157.
 - Herath, H., Camps-Arbestain, M. and Hedley, M., 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an alfisol and an andisol. *Geoderma*, 209: 188-197.
 - Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F., 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57(12): 1332-1334.
 - Hiu, D., Yu, C.H., Deng, Qi. Saini, P. Collins, K. and de Koff, J., 2018. Weak effects of biochar and nitrogen fertilization on switchgrass photosynthesis,

Effects of biochar and salicylic acid on physiological and morphological characteristics of European borage (*Borago officinalis* L.) under water deficit conditions

Z. Taghizadeh Tabari^{1*}, H.R. Asghari², H. Abbasdokht² and E. Babakhanzadeh sajrani³

1*- Corresponding author, Ph.D. student of Agronomy, Agriculture Faculty, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, E-mail: zt.tabari@gmail.com

2- Agriculture Faculty, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

3- Agricultural and Natural Resources Research Center of Semnan, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO, Semnan, Iran

Received: October 2019

Revised: January 2020

Accepted: February 2020

Abstract

Water deficit has been the major contributor to the decline in plant yield. Soil amendment and certain hormonal agents are some strategies applied to mitigate the adverse effects of drought stress. The purpose of this study was to investigate the effects of one soil modifier and one growth regulator on some physiological and morphological characteristics of *Borago officinalis* L. under water deficit conditions. The experiment was implemented as a split-factorial in a randomized complete block design with four replications at the research farm of Agriculture Faculty of Shahrood University of Technology, Iran during 2017- 2018. The main plots consisted of three levels of irrigation (usual irrigation every five days, irrigation every 10 and 15 days) and sub-plots consisted of biochar at three levels (0, 5 and 10 t ha⁻¹) and salicylic acid at two levels (0 and 0.5 mM). Based on the results, biochar, salicylic acid, and water deficit factors affected the number of flowering stems, number of stems, stem height, the amount of chlorophylls *a* and *b*, total chlorophyll, and carotenoids significantly. Interactions between salicylic acid and water deficit levels had the most effects on carotenoids and chlorophyll *b*. Triple interaction of factors also affected the total dry weight, number of flowering stems, the number of stems, stem height, and chlorophyll *b*. Generally, water deficit stress decreased the amount of photosynthetic pigments and leaf growth indices of European borage compared to control, and salicylic acid and biochar reduced the negative effects on the amount of photosynthetic pigments. Therefore, the use of biochar as a soil modifier and salicylic acid as a growth regulator seems to be useful in ameliorating some of the negative effects of water stress on *Borago officinalis*.

Keywords: Chlorophyll, biochar, salicylic acid, carotenoid, growth improvement.