نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال چهاردهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۳/ مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۵۱ تا ۷۱

تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک لوبیا با کاربرد بیوچار و اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش شوری خاک

معصومه نصیری[۱]، بابک عندلیبی[۲*]، سعید خماری[۳]، اسماعیل گلی کلانپا[۴] و سجاد نصیری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱)

چکیده

گیاه لوبیا در بسیاری از کشورها از نظر رژیم غذایی در جایگاه ویژه‌ایی قرار دارد چرا که آن حاوی پروتئین و فیبر بالا بوده و منبع غنی از مواد معدنی ضروری بدن است. پژوهشی گلخانه‌ای با هدف بررسی اثرات بیوچار و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه لوبیا تحت شوری خاک به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورها شامل بیوچار در چهار سطح (شاهد، بیوچار ساده و بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک و اسید سولفوریک)، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سه سطح (شاهد، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و شوری در سه سطح ۰، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. نتایج نشان داد که اثرمتقابل سه جانبه فاکتورهای آزمایش تاثیر معنی‌دار بر تمامی صفات مورد بررسی داشتند. بالاترین غلظت کلروفیل a و کاروتنوئید از ترکیب تیماری ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بدون کاربرد بیوچار در شرایط عدم تنش شوری خاک به‌دست آمد. با این حال کاربرد بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک بدون مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط شوری خاک متوسط (۴ دسی‌زیمنس بر متر) بالاترین میزان آنتوسیانین را در برگ لوبیا موجب شد. کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تواماً با بیوچار ساده در شرایط عدم تنش شوری خاک، بالاترین میزان فتوسنتز جاری را در لوبیا موجب شد. در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر خاک با وجود کاربرد اسید سالیسیلیک و بیوچار کمترین میزان فتوسنتز جاری به‌دست آمد. نتیجه‌گیری شد که تحت تنش شوری خاک، ویژگی‌های مختلف فیزیولوژیکی در گیاه لوبیا دچار تغییرات معنی‌دار می‌شود، اما کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار می‌تواند به کاهش اثرات منفی تنش شوری خاک کمک کند. براساس نتایج کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک به‌مراه بیوچار ساده در تنش شوری متوسط و کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توأم با بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک نتیجه بهتری نسبت به سایر تیمارها در اکثر صفات نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، کلروفیل، فتوسنتز

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۳. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۴. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: andalibi@znu.ac.ir و babak.andalibi@Znu.ac.ir

مقدمه

لوبیا (*Phaseolus Vulgaris L.*) منبع عالی از مواد مغذی در رژیم غذایی بشر در بسیاری از کشورها به شمار می‌رود. این گیاه دارای ارزش اقتصادی بالایی بوده و بیشترین سطح زیرکشت را در میان حبوبات به خود اختصاص داده است (۱۶). تحمل این گیاه به شوری خاک پایین بوده و جزو گیاهان بسیار حساس به تنش شوری است (۹). تنش شوری خاک از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است، به‌طوری‌که بیش از ۲۰ درصد زمین‌های قابل کشت دنیا را تحت تأثیر قرار داده و هر روز بر مقدار آن افزوده می‌شود (۸). شوری از جمله عوامل محیطی بوده که تاثیر مستقیم و غیرمستقیم بر فرآیندهای مختلف رشد و توسعه گیاه داشته و باعث ایجاد تغییرات در آن می‌شود (۲۴).افزایش غلظت نمک در خاک باعث کاهش توانایی گیاه در جذب آب می‌شود و این امر بر فرآیندهای متابولیکی، جذب عناصر غذایی، تنظیم اسمزی و میزان و سرعت فتوسنتز اثر منفی گذاشته و باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی معنی‌دار در گیاه می‌شود (۵). بررسی‌ها نشان داده است که میزان محتوی نسبی آب برگ و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در لوبیا چیتی در شرایط محیطی تنش‌زا به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط نرمال بود (۱). گزارش شده است که در شرایط تنش شوری، گیاه برای مقابله با تنش، سطح برگ را از طریق کوچک و فشرده کردن سلول برگ کاهش می‌دهد و افزایش ضخامت برگ در چنین شرایط باعث تجمع بیشتر کلروپلاست در واحد سطح شده و علی‌رغم کاهش محتوی کلی کلروفیل، به‌دلیل تیره تر شدن برگ، شاخص SPAD با عدد بالایی قرائت می‌شود (۲۰). طی مطالعه‌ایی مشخص شد که در ارقام لوبیا چیتی محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اثر تنش محیطی کاهش معنی‌دار یافت. نتیجه‌گیری شد با توجه به ارتباط مستقیم رنگیزه کلروفیل با فرآیند فتوسنتز، هر گونه کاهش در محتوی رنگدانه‌ها می‌تواند بر فرآیند فتوسنتز تاثیر منفی داشته باشد (۱۹). هرچند بیان شده است که کاهش کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند جنبه سازگاری داشته باشد، زیرا که با کاهش کلروفیل، الکترون برانگیخته شده طی فتوسنتز کاهش یافته و به‌دنبال آن خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن کاهش می‌یابد (۱۶). به‌طورکلی حفظ کلروفیل برگ و به‌دنبال آن دوام فتوسنتز تحت شرایط تنش محیطی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مناسب جهت بررسی مقاومت گیاهان و گونه‌های مختلف گیاهی به شرایط تنش‌زای محیطی است (۲۱).

راهکارهای مدیریتی مختلفی برای بهبود شرایط خاک‌های مسئله‌دار از جمله خاک‌های شور پیشنهاد شده است. در این خصوص استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی از جمله بیوچار می‌تواند راهکار نویدبخش در بهبود این خاک‌ها و افزایش محصولات کشاورزی باشد (۷ و ۲۳). کاهش تنش شوری در خاک‌های شور و سدیمی و بهبود رشد گیاه درنتیجه مصرف بیوچار می‌تواند به‌طور مستقیم از طریق آزادسازی عناصر غذایی ضروری گیاه و جذب سطحی سدیم در سطح بیوچار و به‌طور غیرمستقیم، از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله افزایش فراهمی آب و فعالیت میکروبی در ارتباط باشد (۴). بیوچار ترکیبی است پایدار از کربن که باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک می‌شود. این ماده باعث بهبود مواد غذایی خاک، حفظ آب در خاک و اصلاح ساختاری خاک و بهبود رابطه فیزیولوژیکی آب– خاک– گیاه می‌شود (۲، ۱۶ و ۲۰). از طرفی سالیسیلیک اسید ظرفیت لازم در جنبه‌های متعدد تنظیمی در پاسخ‌های گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده را از طریق توسعه تالک کراس سیگنالینگ با سایر سوبستراهای رشد را دارد (۱ و ۱۱). استفاده از سالیسیلیک اسید می‌تواند نیاز آبی گیاه را بین ۱۹ تا ۵۶ درصد کاهش دهد (۲۲). افزایش محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی و تغییرات فعالیت برخی از آنزیم‌های مهم از نقش‌های سالیسیلیک اسید به شمار می‌رود (۱۸). طی مطالعه‌ایی گزارش شده است در بین موتانت‌های آرابیدوپسیس، کاربرد غلظت‌های مختلف از سالیسیلیک اسید در شرایط تنش‌زا، غلظت متفاوتی از کلروفیل و نسبت Fv/Fm نشان دادند (۱). این تحقیق با هدف مطالعه اثرات سطوح مختلف

سالیسیلیک اسید و فرم‌های مختلف از بیوچار بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد دانه در رقم یاقوت لوبیا در شرایط سطوح مختلف از تنش شوری خاک انجام یافت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال های ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. فاکتورها شامل بیوچار در چهار سطح (شاهد بدون بیوچار، بیوچار ساده ۲/۵ درصد وزنی در خاک و بیوچار تغییر یافته با فسفریک اسید و سولفوریک اسید ۱/۲۵ درصد وزنی در خاک) و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در سه سطح (شاهد بدون محلول پاشی، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و شوری در سه سطح (۰، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. عملیات کاشت بذرها در سال اول در تاریخ ۱۴ فروردین و سال دوم در ۳۰ فروردین ماه با تراکم ۱۲ بوته در گلدان‌های ۸ کیلویی انجام گرفت. رقم یاقوت از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری و خاک مورد آزمایش از ایستگاه تحقیقات کشاورزی سامیان اردبیل تهیه و در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه محقق اردبیلی آنالیز شد (جدول ۱). دمای روزانه و شبانه گلخانه به‌ترتیب ۲۴ و ۱۹ درجه سیلسیوس و میزان رطوبت، ۵۰ درصد تنظیم شد. برای تهیه بیوچار اصلاح شده به نسبت ۱۰ گرم بیوچار با ۱۰۰ میلی لیتر اسید فسفریک و اسید سولفوریک یک مولار اضافه شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در ۱۵۰ دور در دقیقه روی شیکر گذاشته و هم‌زده شد. سپس بیوچار به‌وسیله سانتریفوژ از محلول جدا شده و پس از سه بار شستشو با آب دیونیزه در آون ۶۵ درجه خشک شده و در ظروف در بسته نگهداری شد. پس از یک ماه، خاک آماده شده به گلدان‌ها انتقال داده شد.

مقدار شوری مدنظر با تهیه گل اشباع و تجزیه خاک مخلوط شده با نمک محاسبه و اعمال شد. به‌طوری‌که برای شوری با EC=4، ۱/۰۹ گرم و EC=8، ۲/۲ گرم نمک در نظر گرفته شد. به‌منظور کنترل دقیق مقدار شوری خاک با دستگاه هدایت‌سنج مقدار هدایت الکتریکی خاک گلدان‌ها کنترل شد. از زیرگلدانی پلاستیکی برای ممانعت از هدرروی شوری و برگشت آن به داخل گلدان استفاده شد. به‌منظور جلوگیری از وارد شدن تنش به گیاه، تیمار شوری در دو مرحله اعمال شد. مرحله اول در زمان کاشت، همزمان با اولین آبیاری و مرحله دوم، زمانی که گیاهچه‌ها به‌طور کامل در خاک مستقر شدند. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر اساس سطوح تعیین شده، در دو مرحله اوایل و اواخر گلدهی به فاصله ۱۵ روز انجام گرفت. برای تهیه محلول سالسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار، مقدار ۰/۳۴۵ گرم اسید در یک لیتر آب حل شد و برای تهیه محلول یک میلی‌مولار، مقدار ۰/۶۹ گرم اسید را در یک لیتر آب حل شده و با استفاده از سمپاش دستی و پس از ۴۰ روز بعد از کاشت بر گیاهان محلول‌پاشی شد. نمونه‌برداری از بوته‌ها برای اندازه‌گیری صفات مختلف رویشی بعد از اعمال تیمارها انجام گرفت.

اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی

مقدار ۰/۱گرم از برگ به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون ساییده و سپس در دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت زمان ۱۰ دقیقه قرار داده شد. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. نمونه داخل بالن در کوئت اسپکتروفتومتر ریخته و مقدار جذب به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتربرای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئید توسط اسپکتروفتومتر قرائت و با استفاده از رابطه‌های ذیر مقادیر برای رنگیزه‌ها بر حسب میلی‌گرم برگرم وزن تر نمونه به دست آمد (۱).

رابطه (۱)

$$\text{Chla (mg/g FW)} = \frac{[12.7(A663) - 2.69(A645)] \times V}{1000 \times W}$$

رابطه (۲)

$$\text{Chlb (mg/g FW)} = \frac{[22.9(A645) - 4.68(A663)] \times V}{1000 \times W}$$

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

مشخصه	PH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت	شن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)
مقدار	۸/۲	۰/۸	لومی رسی	۳۷	۳۵	۲۸
مشخصه	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن کل (درصد)	CEC (میکروگرم بر ۱۰۰ گرم خاک)	ماده آلی خاک (درصد)	کربن آلی خاک (درصد)
مقدار	۱۰/۸	۱۸۱	۰/۰۷	۱۰/۵	۱/۷	۰/۶

رابطه (۳)

$$\text{Chltotal (mg/g FW)} = \frac{[20.2(A645) + 8.02(A663)] \times V}{1000 \times W}$$

رابطه (۴)

$$\text{Carotenoid (mg/g FW)} = \frac{[(1000 \times A470) - (1.82 \times \text{chla}) - (85.02 \times \text{chlb})] \times V}{198 \times 1000 \times W}$$

A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر؛ V: حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ) و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم

اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین کل

برای تعیین مقدار آنتوسیانین کل، ۰/۱ گرم از بافت برگ با ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک یک درصد متانول، در هاون چینی ساییده شد. محلول به‌دست آمده به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. فاز رویی را برداشته و جذب محلول‌ها در طول موج ۵۳۰ و ۷۵۷ نانومتر نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد. از محلول اسید کلریدریک ۱ درصد متانول به‌عنوان شاهد استفاده شد. میزان آنتوسیانین برای هر عصاره با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد (۱۴).

$$A = (A530 - 0.25) \times A757$$ رابطه (۵)

A= جذب محلول (اعداد اندیس نشانگر طول موج‌هایی است که جذب در آنها اندازه‌گیری شده است).

انتقال مجدد مواد از ساقه به دانه

به‌منظور تعیین میزان انتقال مجدد مواد از ساقه به دانه و نیز سرعت پر شدن دانه و تعیین فتوسنتز جاری در شرایط کنترل و تنش، ۱۰ روز پس از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیکی و هر هفته یکبار در سه مرحله و در هر مرحله پنج ساقه علامت‌گذاری و برداشت و سپس به مدت زمان ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. ساقه‌ها و دانه‌ها توزین شده و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه (گرم در بوته) و فتوسنتز جاری (گرم در بوته) و سرعت پر شدن دانه از روابط زیر به‌دست آمد (۱۵).

جهت محاسبه انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از رابطه (۶) استفاده شد.

$$A = B - C$$ رابطه (۶)

که در آن A انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای، B حداکثر وزن خشک ساقه پس از گرده‌افشانی و C وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی دانه هستند.

جهت محاسبه میزان فتوسنتز جاری از رابطه (۷) استفاده شد:

$$CPR = GY - DMR \times 100$$ رابطه (۷)

که در آن CGR میزان فتوسنتز جاری، GY عملکرد دانه و DMR انتقال مجدد ماده خشک از ساقه به دانه هستند.

جهت بررسی سرعت پرشدن دانه از رابطه (۸) استفاده شد:

$$GFR = \Delta Gw/\Delta T$$ رابطه (۸)

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آنها بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی لوبیا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		غلظت کلروفیل a	غلظت کلروفیل b	غلظت کلروفیل کل	غلظت کاروتنوئید	آنتوسیانین
سال	۱	۰/۱۲^{ns}	۰/۰۷۷	۰/۰۰۶^{ns}	۲/۱۹^{ns}	۰/۱۰^{ns}
بلوک (سال)	۶	۲۳/۴^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۲۷/۸^{ns}	۲۲۹^{ns}	۰/۷۷^{ns}
شوری	۲	۰/۳۸^{ns}	۰/۰۳*	۰/۶۴*	۵/۶۷*	۰/۰۴^{ns}
بیوچار	۳	۰/۳۴*	۰/۰۱*	۰/۴۳*	۸/۷۷*	۲/۵۲*
اسید سالیسیلیک	۲	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۶**	۰/۰۳*	۱۶/۵^{ns}	۰/۷۱^{ns}
شوری × بیوچار	۶	۰/۰۹**	۰/۰۱۸**	۰/۱۴**	۳/۹۴**	۰/۸۲**
شوری × سالیسیلیک	۴	۰/۴۴**	۰/۰۰۳*	۰/۴۹**	۰/۲۵**	۰/۶۵*
بیوچار × سالیسیلیک	۶	۰/۲۴**	۰/۰۰۳**	۰/۲۹**	۱/۵۱*	۰/۱۸*
شوری × بیوچار × سالیسیلیک	۱۲	۰/۰۷**	۰/۰۰۹**	۰/۱۱**	۰/۸۶**	۰/۳۲**
سال × شوری	۲	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۰۱^{ns}
سال × بیوچار	۳	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲۹^{ns}	۰/۴۶^{ns}	۰/۱۲^{ns}
سال × سالیسیلیک	۲	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱/۷۸*	۰/۰۹^{ns}
سال × شوری × بیوچار	۶	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۲۰^{ns}
سال × شوری × سالیسیلیک	۴	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۱۸^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۵^{ns}
سال × بیوچار × سالیسیلیک	۶	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}
سال × شوری × بیوچار × سالیسیلیک	۱۲	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۷	۰/۰۷۱^{ns}	۰/۰۳۶^{ns}
خطای کل	۲۱۰	۰/۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۹	۰/۴۴	۰/۰۵
ضریب تغییرات (درصد)		۲۹/۱	۲۵/۸	۲۷/۱	۱۹/۸	۲۴/۶

ns: غیرمعنی دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

که در آن GER سرعت پرشدن دانه، ΔGw = تغییرات وزن خشک دانه در دو مرحله نمونه‌برداری و ΔT = فاصله زمانی بین دو نمونه‌برداری می باشد.

عملکرد دانه

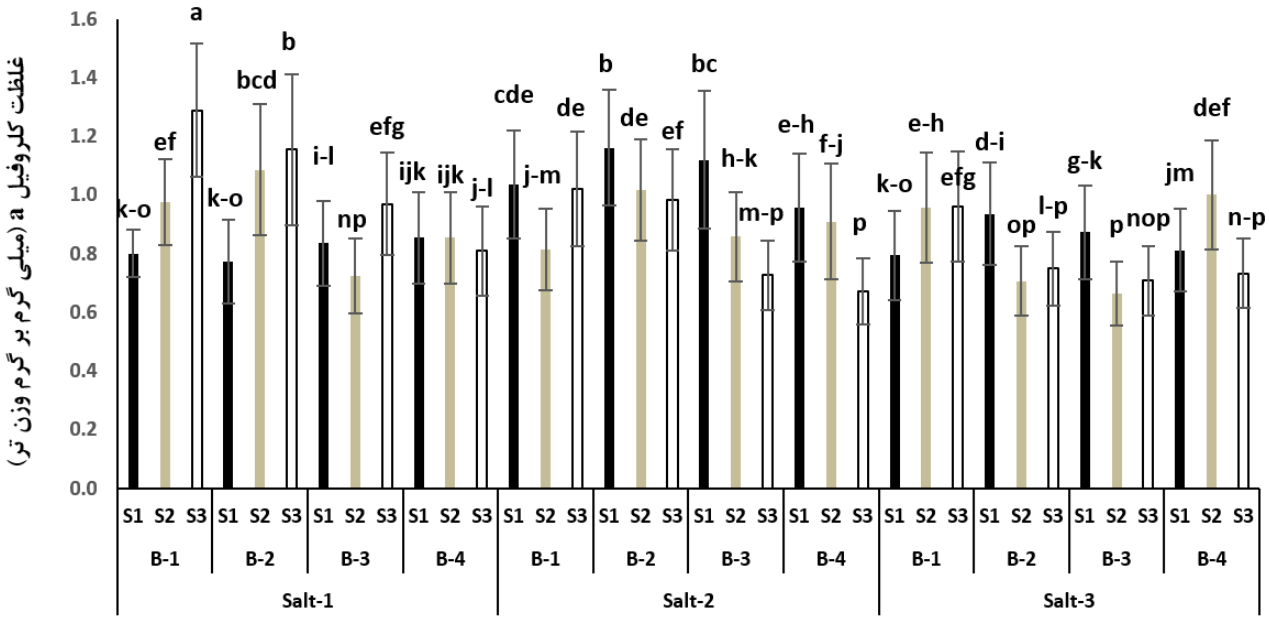
برای تعیین عملکرد در انتهای فصل رشد پس از رسیدگی کامل از بین بوته‌های باقیمانده جهت یکنواختی نتایج، تعداد ۵ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و عملکرد دانه تک بوته از طریق میانگین‌گیری از داده‌ها برای هر گلدان به‌دست آمد.

داده‌ها با استفاده از نرم افزارSAS تجزیه واریانس شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نمودارها و شکل‌ها با نرم افزار Excel ترسیم شد.

نتایج و بحث

غلظت کلروفیل a

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، در بین فاکتورهای مورد آزمایش تنها اثر ساده بیوچار در سطح احتمال پنج درصد بر غلظت کلروفیل a معنی‌دار شد. با این حال اثرات متقابل سه جانبه شوری × بیوچار × سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش سه جانبه فاکتورهای آزمایش نشان داد که استفاده از بیوچار و سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای رنگیزه کلروفیل



شکل ۱. اثر تنش شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک بر تغییرات میانگین دو ساله غلظت کلروفیل a گیاه لوبیا

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

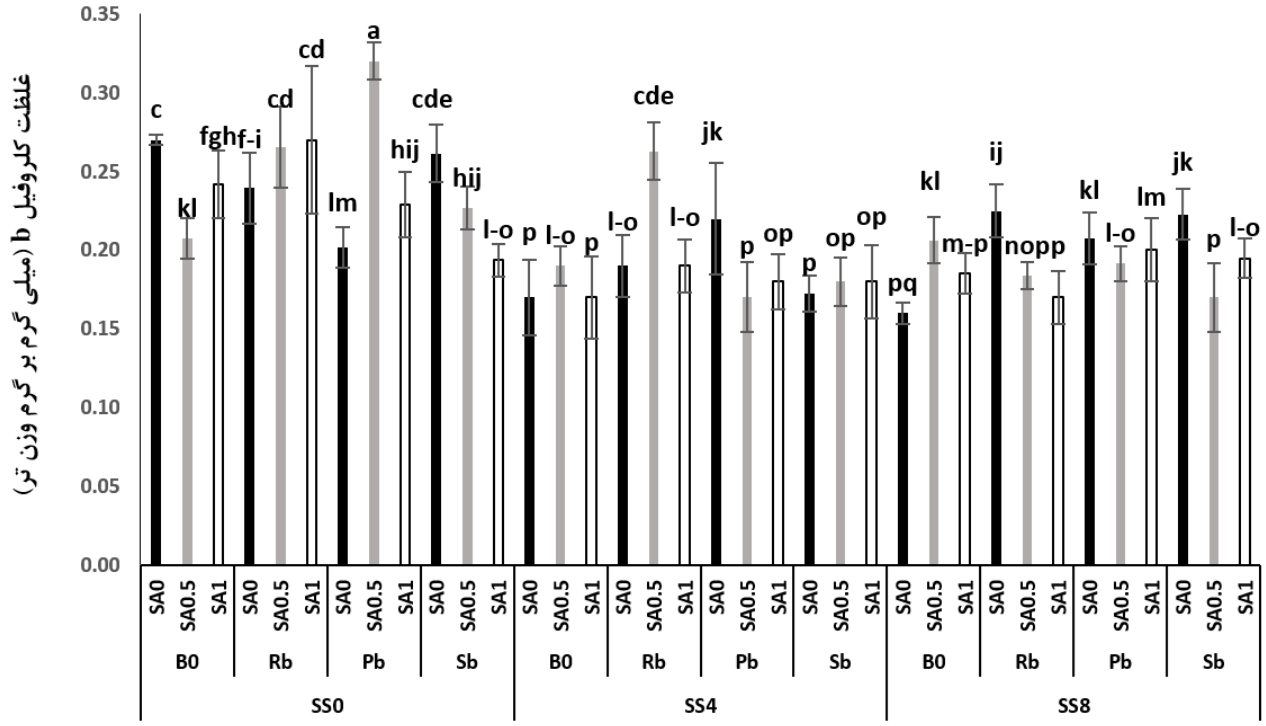
a در مقایسه با تیمار شاهد بدون کاربرد این مواد شد. بر این اساس تمام سطوح استفاده از بیوچار و سالیسیلیک اسید باعث افزایش این صفت شدند. به‌طوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل a از ترکیب تیماری مصرف ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید با کاربرد بیوچار ساده در شرایط عدم تنش شوری خاک (۱/۲۹ میلی‌گرم برگرم) به‌دست آمد. ترکیبات تیماری در شرایط شوری خاک ۸ دسی‌زیمنس بر متر بدون استفاده از بیوچار و سالیسیلیک اسید به لحاظ غلظت کلروفیل a از مقادیر کمتری در مقایسه با شرایط عدم شوری خاک برخوردار بودند (شکل ۱).

غلظت کلروفیل b

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی فاکتورهای آزمایش، شوری خاک، بیوچار و سالیسیلیک اسید تاثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل b نشان دادند (به‌ترتیب با سطح اطمینان ۹۵، ۹۵ و ۹۹ درصد). برهم‌کنش سه جانبه این فاکتورها نیز به لحاظ آماری تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر این صفت نشان دادند، همچنین اثرات متقابل سه جانبه سال × شوری × بیوچار نیز در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار بر غلظت کلروفیل b داشت (جدول ۲).

مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری خاک در بیوچار به‌طور جداگانه در دو سال آزمایش نشان داد که کاربرد بیوچار ساده در شرایط عدم شوری خاک در هر دو سال آزمایش بالاترین غلظت کلروفیل را موجب شدند (با ۰/۳۰ و ۰/۲۴ میلی‌گرم برگرم وزن تر به‌ترتیب در سال اول و دوم آزمایش) (شکل ۲). کمترین میزان این صفت نیز در شرایط شوری خاک ۸ دسی‌زیمنس بر متر بدون مصرف بیوچار به‌دست آمد. نتایج نشان داد که مقادیر غلظت کلروفیل b در سال اول در مجموع نسبت به سال دوم بالاتر بود (شکل ۲).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که ترکیب تیماری مصرف یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توأم با کاربرد بیوچار ساده با



شکل ۲. اثر تنش شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک بر تغییرات میانگین دو ساله غلظت کلروفیل b گیاه لوبیا

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

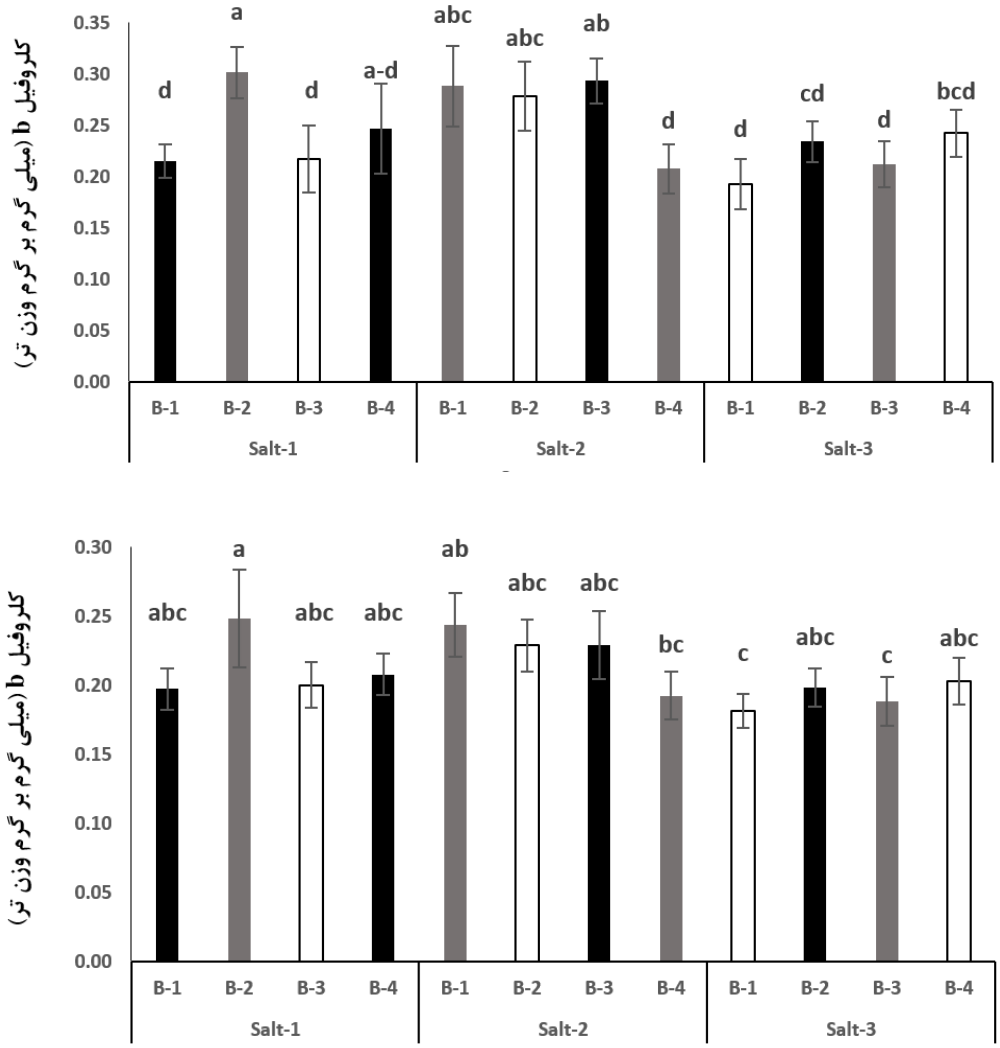
۲/۵ درصد وزنی خاک در شرایط عدم شوری منجر به ثبت بالاترین غلظت کلروفیل b (۰/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در لوبیا شد. کمترین غلظت کلروفیل b نیز در شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار به‌دست آمد (شکل ۳).

بالاترین محتوی کلروفیل b نیز با ۰/۳۲ میلی‌گرم برگرم متعلق به تیمار ترکیبی بیوچار ساده با بالاترین سطح سالیسیلیک اسید در شرایط عدم شوری مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد، افزایش ۴۶ درصدی را داشت (شکل ۳).

غلظت کلروفیل کل

بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات ساده فاکتورهای آزمایش در سطح احتمال پنج درصد بر صفت کلروفیل کل معنی‌دار بود. اثر متقابل سه جانبه فاکتورهای آزمایش (شوری، بیوچار و سالیسیلیک اسید) نیز به لحاظ آماری تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر غلظت کلروفیل کل در لوبیا نشان دادند (جدول ۲).

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، بالاترین غلظت کلروفیل کل (۱/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) متعلق به ترکیب تیماری مصرف ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بدون کاربرد بیوچار در شرایط عدم تنش شوری خاک بود. ترکیب تیماری مصرف یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید با کاربرد بیوچار ساده در شرایط عدم تنش شوری خاک نیز بدون اختلاف معنی‌دار به دنبال تیمار برتر (۱/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) قرار داشت. مصرف ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توأماً با کاربرد بیوچار تغییر یافته سولفوریک اسید در شرایط تنش شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر خاک کمترین (۰/۸۵ میلی‌گرم بر گرم) غلظت کلروفیل کل را



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرمتقابل سه جانبه سال × شوری خاک × بیوچار بر کلروفیل b در دو سال آزمایش

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

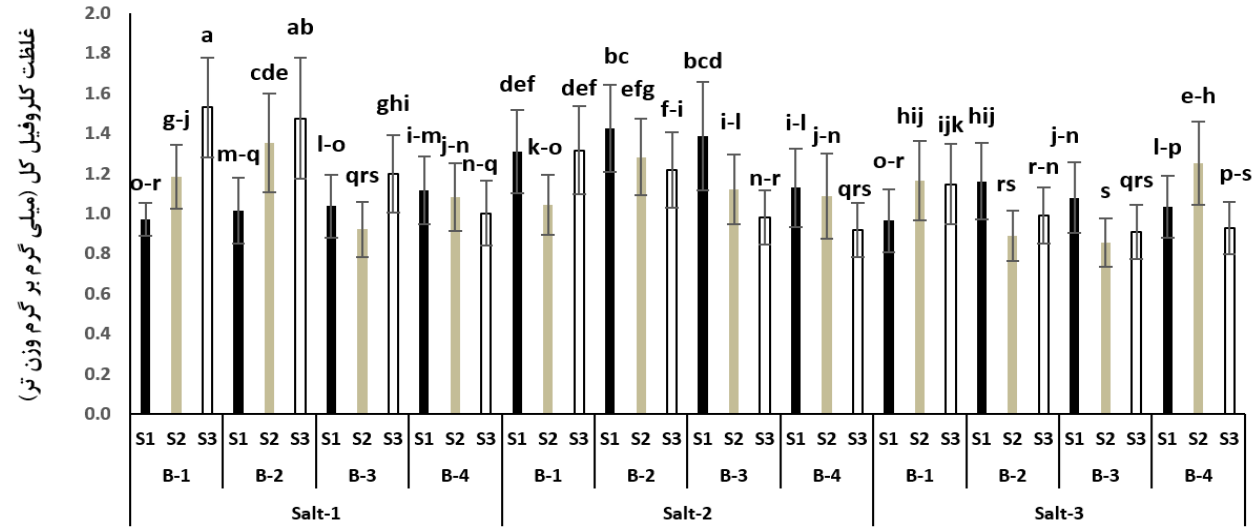
S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

در لوبیا موجب شد (شکل ۴).

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از تاثیر معنی‌دار شوری و بیوچار در سطح احتمال پنج درصد بر روی غلظت کاروتنوئید بود. اثرات متقابل سه جانبه شوری × بیوچار × سالیسیلیک اسید نیز از نظر آماری تاثیر معنی‌دار بر این صفت در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. همچنین برهم‌کنش دو جانبه سال × سالیسیلیک اسید نیز از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد، تاثیر معنی‌دار بر میزان غلظت کاروتنوئید در لوبیا داشت (جدول ۲).

بالاترین میزان کاروتنوئید (۴/۸۱ میلی‌گرم برگرم وزن تر) متعلق به ترکیب تیماری مصرف یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بدون کاربرد بیوچار در شرایط عدم تنش شوری خاک بود.



شکل ۴. اثر تنش شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک بر تغییرات میانگین دو ساله غلظت کلروفیل کل گیاه لوبیا

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

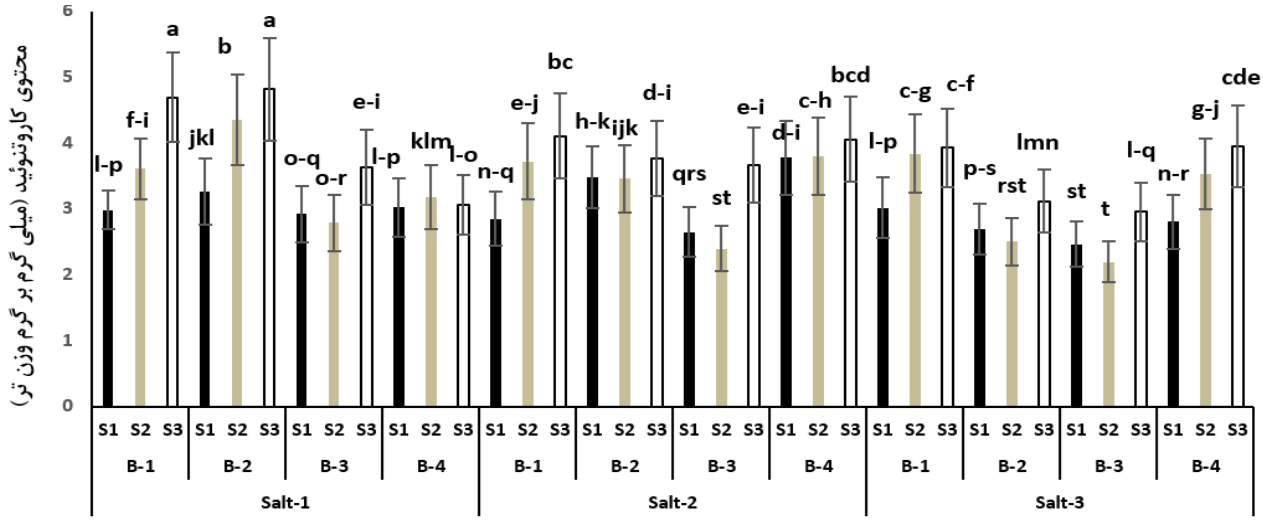
S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی زیمنس بر متر

به‌دنبال تیمار برتر، ترکیب تیماری مصرف ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بدون کاربرد بیوچار ساده در شرایط عدم تنش شوری خاک با اختلاف معنی‌دار (۴/۳۵ میلی‌گرم برگرم وزن تر) قرار داشت. مصرف ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید همراه با کاربرد بیوچار تغییر یافته سولفوریک اسید در شرایط تنش شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر خاک کمترین میزان کاروتنوئید (۲/۱۹ میلی‌گرم برگرم) را در لوبیا موجب شد (شکل ۵). همچنین نتایج جداگانه در دو سال آزمایش نشان داد که مصرف یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در هر دو سال بالاترین محتوی کاروتنوئید را موجب شدند، درحالی‌که کاربرد ۰/۵ میلی مولار از آن در سال دوم آزمایش به لحاظ آماری، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد (شکل ۶). از نظر محتوی کاروتنوئید نیز ترکیبات تیماری کاربرد بیوچار یا عدم کاربرد آن در سطوح یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط عدم شوری، تیمارهای برتر بودند که نسبت به تیمار شاهد بیش از ۴۰ درصد باعث افزایش این صفت شدند.

آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در بین فاکتورهای مورد آزمایش تنها اثر ساده بیوچار در سطح احتمال پنج درصد بر میزان آنتوسیانین برگ معنی‌دار بود، هرچند اثرات متقابل سه جانبه شوری خاک × بیوچار × سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر این صفت تاثیر معنی‌دار نشان داد (جدول ۲).

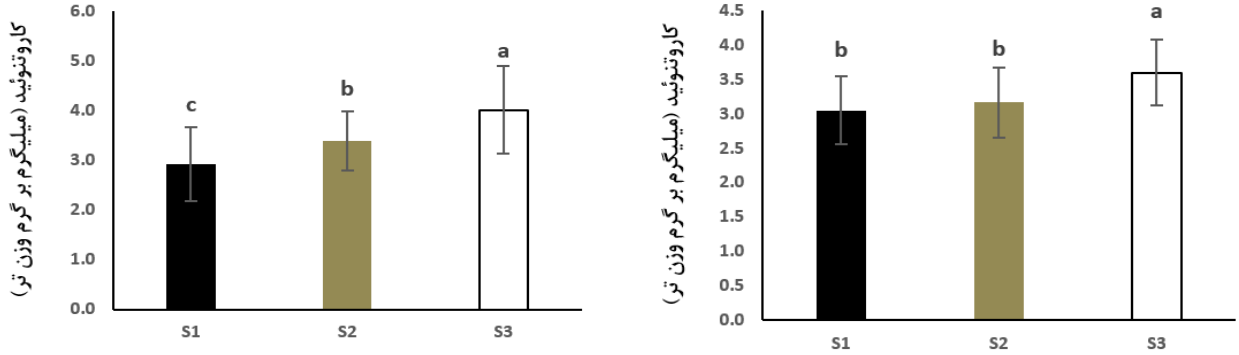
مقایسه میانگین برهم‌کنش سه جانبه فاکتورها نشان داد که کاربرد بیوچار تغییر یافته با فسفریک اسید بدون مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری خاک متوسط (۴ دسی‌زیمنس بر متر) بالاترین میزان آنتوسیانین در برگ لوبیا را موجب شد (۱/۵۷ میلی‌گرم برگرم وزن تر). کمترین میزان آنتوسیانین در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید به میزان یک میلی‌مولار و کاربرد تواماً بیوچار تغییر یافته با سولفوریک اسید در شرایط شوری خاک متوسط و بالا مشاهده شد، به‌طوری‌که در مقایسه با تیمار برتر، کاهش ۴ تا ۵ برابری آنتوسیانین را در این ترکیبات مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۵. اثر تنش شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک بر تغییرات میانگین دو ساله محتوی کاروتنوئید گیاه لوبیا

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی زیمنس بر متر

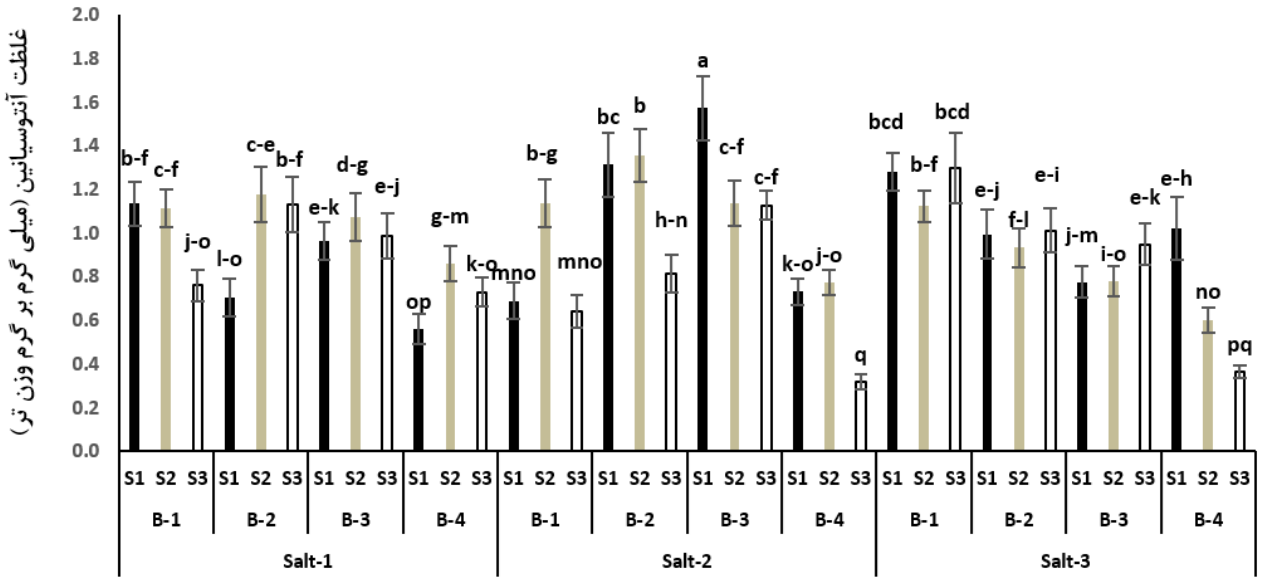


شکل ۶. مقایسه میانگین اثر ساده سالیسیلیک اسید بر محتوی کاروتنوئید در دو سال آزمایش

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

به‌طورکلی تشکیل پلاستیدهای جدید، کلروفیل‌های a، b و کاروتن، آنتوسیانین، یولوگزانتین و نئوگزانتین به‌واسطه بروز تنش کاهش می‌یابند. کاهش رنگدانه‌های مختلف فتوسنتزی درگیاهان مختلف از جمله لوبیا گزارش شده است. در شرایط تنش، کاهش محتوی کلروفیل درنتیجه‌ی بالا رفتن فعالیت کلروفیلاز است (۳). از طرفی تغییر در متابولیسم نیتروژن در شرایط تنش‌زا نیز می‌تواند منجر به کاهش محتوی کلروفیل شود. با این حال کاهش کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند جنبه



شکل ۷. اثر تنش شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک بر تغییرات میانگین دو ساله غلظت آنتوسیانین گیاه لوبیا

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

سازگاری داشته و با کاهش الکترون برانگیخته شده از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن ممانعت شود (۱۶). حفظ کلروفیل برگ از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مناسب جهت بررسی مقاومت گیاه به شرایط تنش‌زای محیطی است (۲۱).

در راستای حفظ کلروفیل، اثر مثبت سالیسیلیک اسید در گیاهان مختلف آزمایش شده است (۱ و ۱۱). افزایش محتوی کلروفیل، کاروتنوئید و آنتوسیانین از نقش‌های اسید سالیسیلیک به شمار می‌رود (۱۸). در گیاه لوبیا، غلظت کلروفیل با کاربرد سالیسیلیک افزایش معنی‌دار نشان داد. از آنجایی‌که فراهمی عناصر مغذی و آب عوامل اصلی در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های درگیر در سنتز آنها محسوب می‌شود، به‌نظر می‌رسد بیوچار با داشتن خصوصیات منحصر به فرد در جذب و نگهداری عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری آب بالا، اثرات مثبت غیرمستقیم در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی داشته است (۹). در این آزمایش کاربرد سالیسیلیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن تاثیر مثبت و معنی‌داری در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی نشان داد. کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توأم با مصرف بیوچار ساده و یا تغییر یافته با فسفریک اسید موجب افزایش معنی‌دار در غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئید در سطوح مختلف تنش شوری خاک نشان داد.

میزان فتوسنتز جاری

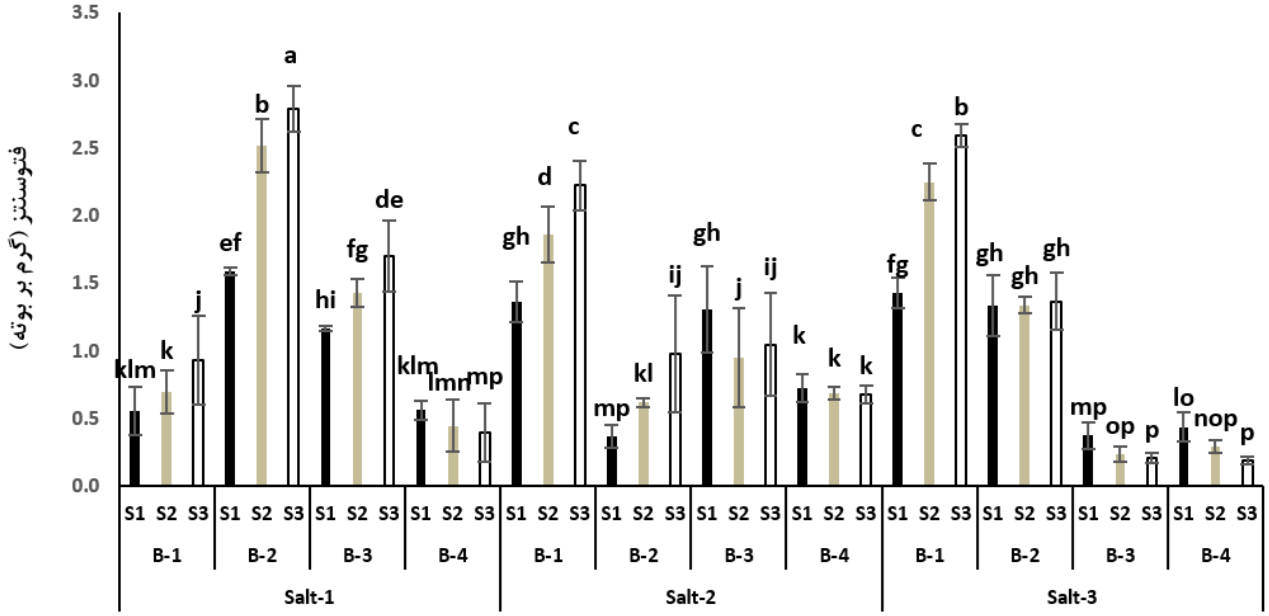
براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی شوری خاک و بیوچار در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنی‌دار بر میزان فتوسنتز جاری در لوبیا داشت. علاوه بر آن اثرات متقابل سه جانبه فاکتورهای آزمایش (شوری خاک، بیوچار و سالیسیلیک اسید) نیز از نظر آماری تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر این صفت نشان دادند. برهم‌کنش سه جانبه شوری × بیوچار × سالیسیلیک اسید نیز در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی دار روی میزان فتوسنتز جاری نشان داد (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آنها بر ویژگی‌های فیزیولوژیک لوبیا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		میزان فتوسنتز جاری	سرعت پرشدن دانه	انتقال مجدد مواد از ساقه به دانه	عملکرد دانه
سال	۱	۰/۱۸^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۷۰۱*
بلوک (سال)	۶	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۴۲^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۸۲/۹
شوری	۲	۱/۳۳*	۰/۰۵۱**	۰/۰۹۴^{ns}	۱۵۵*
بیوچار	۳	۱۶/۹*	۰/۰۶۸*	۰/۳۲۳*	۷۱۱**
اسید سالیسیلیک	۲	۲/۵۳^{ns}	۰/۱۸۵^{ns}	۰/۴۹۴^{ns}	۲۲۲**
شوری × بیوچار	۶	۱۲/۳**	۰/۱۸۲**	۰/۵۷۷**	۱۹۵**
شوری × سالیسیلیک	۴	۰/۲۱**	۰/۰۰۵*	۰/۰۸۷**	۴/۸۹*
بیوچار × سالیسیلیک	۶	۱/۳۰**	۰/۰۱۹**	۰/۰۸۴۲**	۴۳/۹**
شوری × بیوچار × سالیسیلیک	۱۲	۰/۴۶**	۰/۰۰۵**	۰/۰۵۱**	۲۵/۸**
سال × شوری	۲	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۶/۳۹^{ns}
سال × بیوچار	۳	۰/۹۳^{ns}	۰/۰۲۲^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۲۳/۲*
سال × سالیسیلیک	۲	۰/۳۱^{ns}	۰/۰۲۲^{ns}	۰/۰۶۱^{ns}	۰/۰۲۰^{ns}
سال × شوری × بیوچار	۶	۰/۲۳**	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۸^{ns}	۴/۲۵*
سال × شوری × سالیسیلیک	۴	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۳۳^{ns}
سال × بیوچار × سالیسیلیک	۶	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۱/۱۱^{ns}
سال × شوری × بیوچار × سالیسیلیک	۱۲	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۹۶^{ns}
خطای کل	۲۱۰	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۲/۷۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱۷/۸	۲۳/۶	۳۰/۶	۷/۲۹

ns: غیرمعنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

مقایسه میانگین برهم‌کنش سه جانبه فاکتورهای آزمایش نشان داد که کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تواماً با کاربرد بیوچار ساده در شرایط عدم تنش شوری خاک (شاهد) بالاترین میزان فتوسنتز جاری در لوبیا را موجب شد (۲/۷۹ گرم در بوته). به دنبال تیمار برتر ترکیبات تیماری کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید با بیوچار ساده در شرایط عدم تنش شوری قرار داشت (۲/۵۲ گرم در بوته). کمترین میزان فتوسنتز جاری (۰/۱۹ گرم در بوته) در شرایط شوری شدید خاک (۸ دسی‌زیمنس برمتر) با کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و بیوچار تغییر یافته با سولفوریک اسید به‌دست آمد (شکل ۸) که نشان‌دهنده تاثیر شوری خاک بر میزان فتوسنتز علی‌رغم کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار بود. با این حال در شرایط عدم شوری و شوری خاک متوسط، بالاخص با کاربرد بیوچار ساده و تغییر یافته با فسفریک اسید، میزان فتوسنتز در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد که بیانگر تاثیر مثبت این مواد بود.



شکل ۸. اثر تنش شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک بر تغییرات میانگین دو ساله میزان فتوسنتز جاری گیاه لوبیا

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

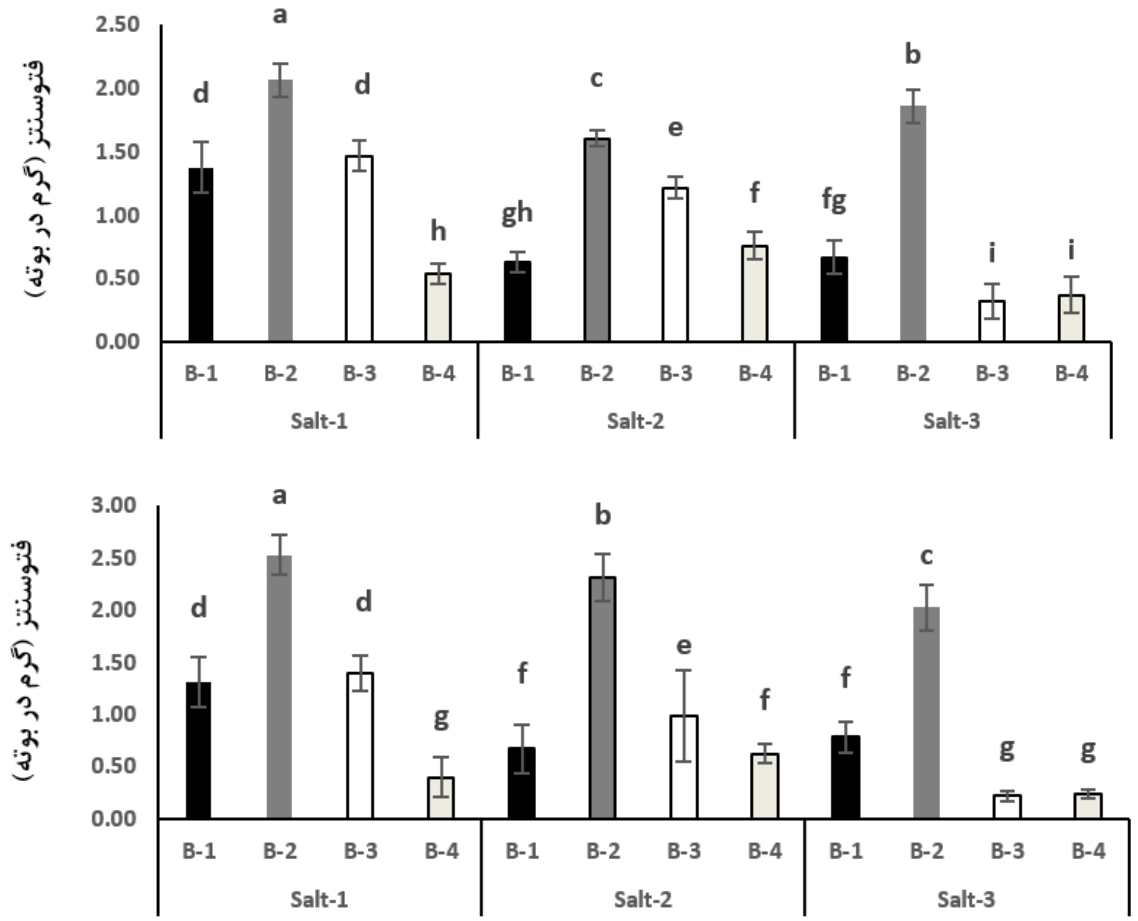
S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی زیمنس بر متر

مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و بیوچار در دو سال آزمایش نشان داد که در شرایط عدم شوری کاربرد بیوچار ساده بالاترین میزان فتوسنتز جاری (۲/۰۷ گرم در بوته) را موجب شد. علی‌رغم کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار تغییر یافته با فسفریک و سولفوریک اسید، کمترین میزان فتوسنتز نیز در شرایط تنش شوری بالای خاک مشاهده شد (شکل ۹).

کمترین میزان فتوسنتز جاری در شرایط شوری بالای خاک به‌دست آمد که نشان‌دهنده تاثیر شوری خاک بر میزان فتوسنتز، علی‌رغم کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار بود. با این حال در شرایط عدم شوری و شوری خاک متوسط، بالاخص با کاربرد بیوچار ساده و تغییر یافته با فسفریک اسید، میزان فتوسنتز در مقایسه با شاهد به‌طورمعنی‌داری افزایش نشان داد که بیانگر تاثیر مثبت این مواد بود. افزایش غلظت نمک در خاک باعث کاهش توانایی گیاه در جذب آب می‌شود و این امر بر فرآیندهای متابولیکی، جذب عناصر غذایی و میزان و سرعت فتوسنتز اثر منفی می‌گذارد (۵).

سرعت پر شدن دانه

مطابق با نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، در بین عوامل آزمایش، اثر ساده شوری خاک در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده بیوچار در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنی‌دار بر سرعت پرشدن دانه نشان دادند. اثرات متقابل سه جانبه فاکتورهای آزمایش (شوری خاک، بیوچار و سالیسیلیک اسید) نیز از نظر آماری تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر سرعت پرشدن دانه داشتند. همچنین برهم‌کنش سه جانبه سال × بیوچار × سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنی دار بر این صفت نشان داد (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین سرعت پرشدن دانه در ترکیب تیماری مصرف



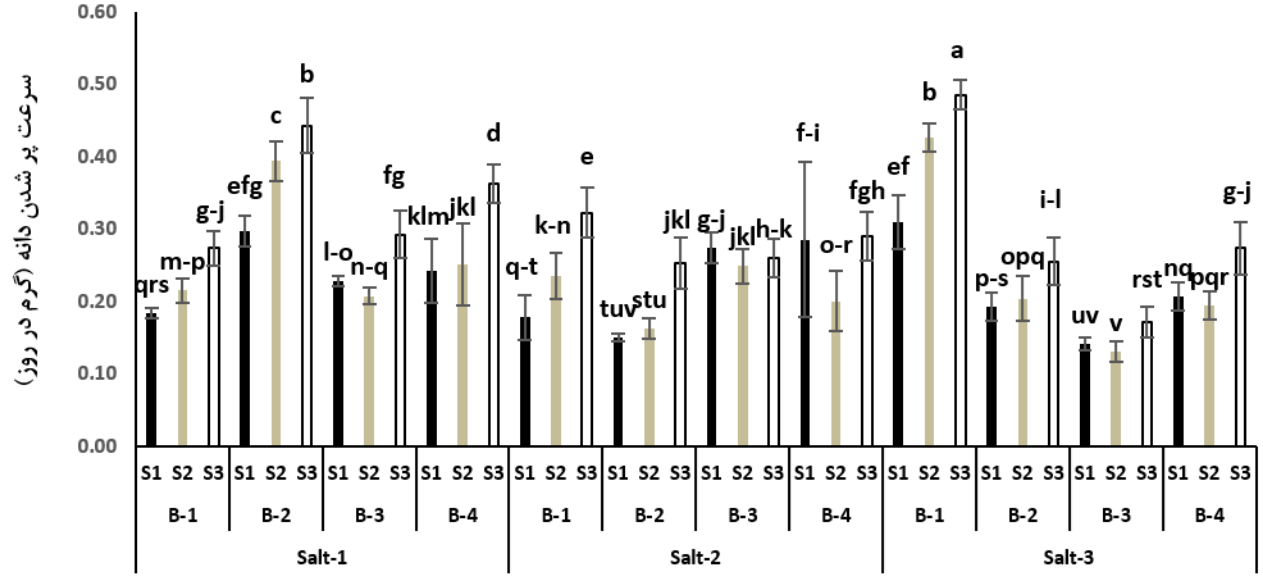
شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × شوری × بیوچار بر میزان فتوسنتز جاری در دو سال آزمایش

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بدون کاربرد بیوچار در شرایط تنش شوری شدید خاک حادث شد (۰/۴۸ گرم در روز). ترکیبات تیماری عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار در شوری خاک متوسط و کاربرد سطوح مختلف از سالیسیلیک اسید با بیوچار تغییر یافته با فسفریک اسید در شوری بالای خاک بدون اختلاف معنی‌دار آماری کمترین میزان سرعت پرشدن دانه را داشتند (شکل ۱۰).

نتایج برهم‌کنش شوری در بیوچار به‌طور جداگانه در دو سال آزمایش نشان داد که کاربرد بیوچار ساده در شرایط عدم تنش شوری و عدم کاربرد آن در شوری شدید، بالاترین سرعت پرشدن دانه را موجب شدند. به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش‌زا محیط سرعت پرشدن دانه می‌تواند به‌طور معنی‌داری افزایش یابد. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد انواع بیوچار در شرایط عدم تنش شوری باعث افزایش سرعت پرشدن دانه در لوبیا شد (شکل ۱۱). همچنین بر اساس نتایج آزمایش، به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش‌زا، سرعت پرشدن دانه می‌تواند به‌طور معنی‌داری افزایش یابد. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد انواع بیوچار در شرایط عدم تنش شوری باعث افزایش سرعت پرشدن دانه در



شکل ۱۰. اثر تنش شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک بر تغییرات میانگین دو ساله سرعت پر شدن دانه گیاه لوبیا

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

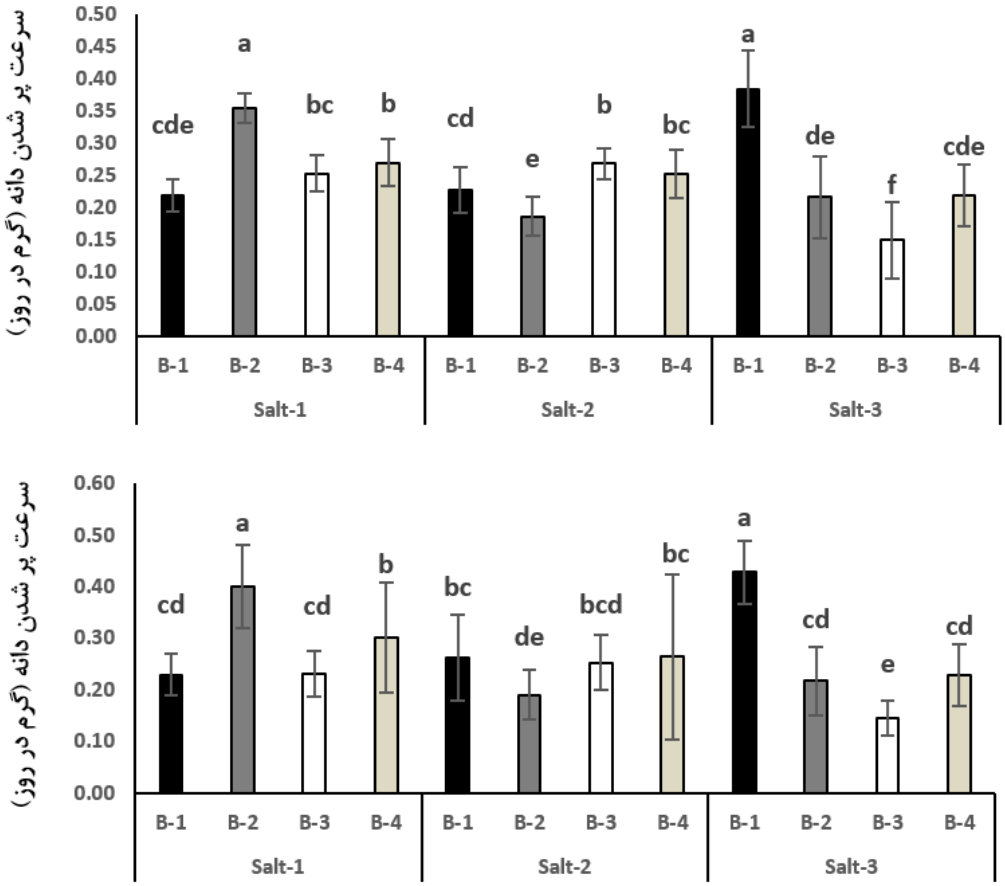
S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی زیمنس بر متر

لوبیا شد. سرعت فتوسنتز در اثر تنش محیطی در لوبیا کاهش معنی‌دار یافت. بهبود رشد گیاه به‌واسطه افزایش میزان و سرعت فتوسنتز در اثر کاربرد بیوچار ناشی از افزایش فراهمی عناصر غذایی ضروری (مستقیم) و بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک از جمله افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، پ‌هاش، بهبود ساختمان خاک، افزایش زیست توده میکروبی و بهبود حاصلخیزی خاک (غیرمستقیم) است (۳ و ۶). لذا استفاده از بیوچار در خاک‌های شور می‌تواند تا حد زیادی سبب کاهش اثرات سوء تنش شوری شود. چرا که بیوچار با دارا بودن سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا قادر به جذب عناصر غذایی محلول و نمک‌ها بوده و سبب حفظ عناصر غذایی در خاک می‌شود (۱۲ و ۱۷).

انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در بین فاکتورهای مورد آزمایش تنها اثر ساده بیوچار در سطح احتمال پنج درصد بر انتقال مجدد مواد از ساقه به دانه معنی‌دار شد. هرچند اثرات متقابل سه جانبه شوری خاک × بیوچار × سالیسیلیک اسید نیز در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار بر این صفت داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که از نظر انتقال مواد از ساقه به دانه ترکیبات تیماری کاربرد سالیسیلیک اسید همراه با مصرف بیوچار ساده و یا بیوچار تغییر یافته با فسفریک اسید در شرایط عدم تنش شوری و کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بدون مصرف بیوچار در شرایط تنش شوری بالای خاک، بدون تفاوت معنی‌دار آماری، بیشترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (به ترتیب با ۰/۶۴۶، ۰/۶۲۴ و ۰/۶۱۸ گرم در بوته). کمترین میزان انتقال مواد از ساقه به دانه نیز در شرایط عدم کاربرد یا کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بدون مصرف بیوچار و یا مصرف بیوچار تغییر یافته با سولفوریک اسید در شرایط عدم تنش شوری خاک به‌دست آمد (شکل ۱۲).

افزایش غلظت نمک در خاک باعث کاهش توانایی گیاه در جذب آب می‌شود و این امر بر فرآیندهای متابولیکی، جذب

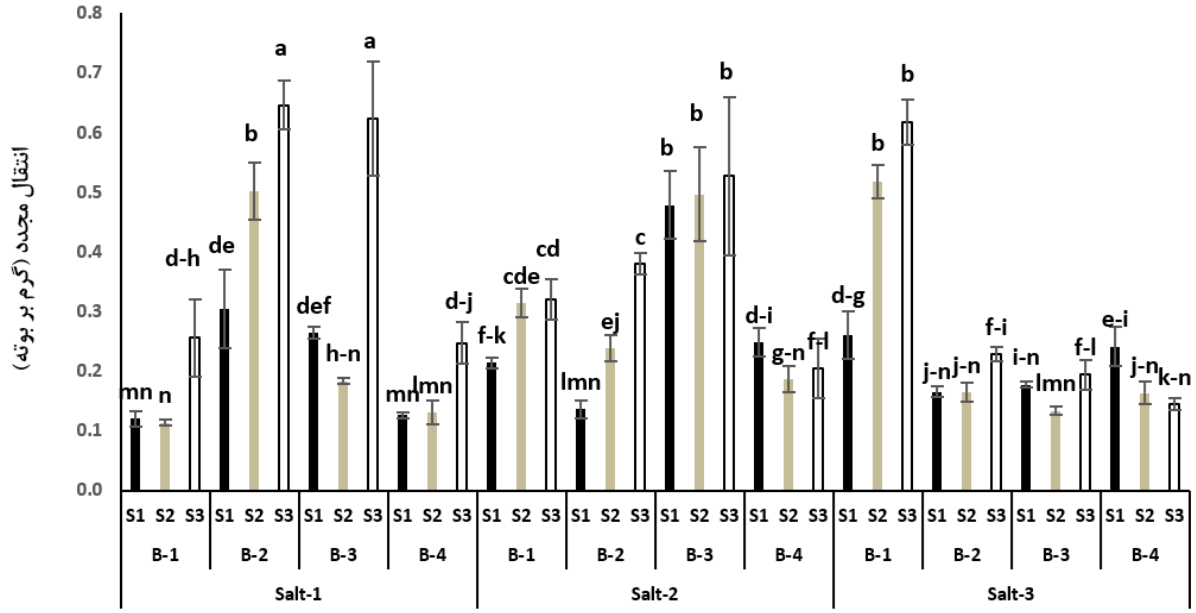


شکل ۱۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × شوری × بیوچار بر سرعت پرشدن دانه در دو سال آزمایش

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

عناصر غذایی و میزان و سرعت فتوسنتز اثر منفی می‌گذارد (۵). سرعت فتوسنتز در اثر تنش محیطی در لوبیا کاهش معنی‌دار یافت. در گیاه لوبیا گزارش دادند که سالیسیلیک اسید از طریق تاثیر بر هدایت روزنه‌ای (۱۵) و تنظیم غلظت دی اکسیدکربن سرعت فتوسنتز را در شرایط تنش‌زا کنترل می‌کند. سالیسیلیک اسید از پتانسیل بالایی در ایجاد واکنش‌های متابولیکی و تاثیر بر مولفه‌های فتوسنتزی و روابط آبی گیاه برخوردار است. بهبود رشد گیاه به‌واسطه افزایش میزان و سرعت فتوسنتز در اثر کاربرد بیوچار ناشی از افزایش فراهمی عناصر غذایی ضروری (مستقیم) و بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک از جمله افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، پ‌هاش، بهبود ساختمان خاک، افزایش زیست توده میکروبی و بهبود حاصلخیزی خاک (غیرمستقیم) است (۳ و ۶). لذا استفاده از بیوچار در خاک‌های شور می‌تواند تا حد زیادی سبب کاهش اثرات سوء تنش شوری شود. چرا که بیوچار با دارا بودن سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا قادر به جذب عناصر غذایی محلول و نمک‌ها بوده و سبب حفظ عناصر غذایی در خاک می‌شود (۱۰ و ۱۲).



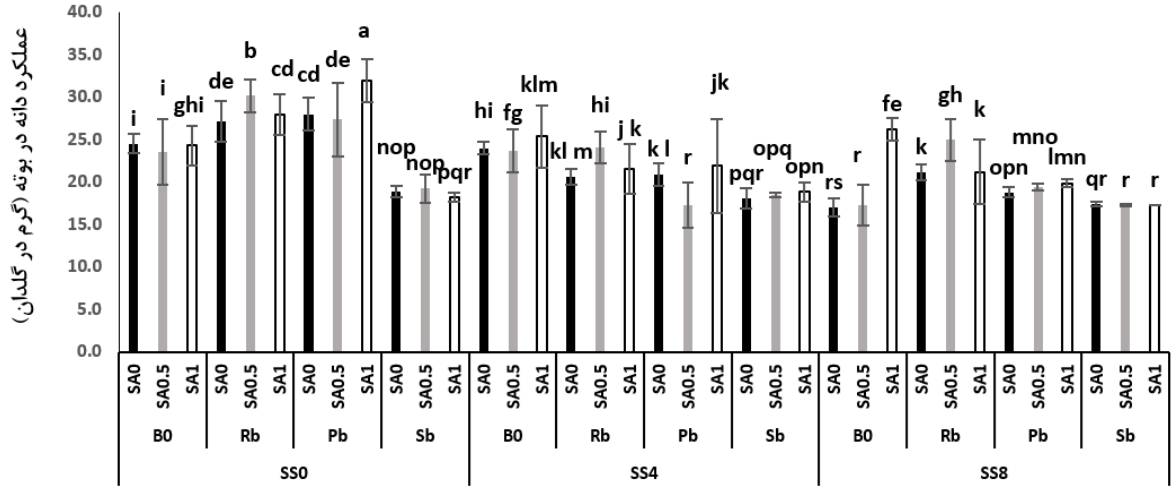
شکل ۱۲. اثر تنش شوری، بیوچار و اسید سالیسیلیک بر تغییرات میانگین دو ساله انتقال مجدد در گیاه لوبیا

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

عملکرد دانه

در خصوص عملکرد دانه، اثر سال و شوری در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده بیوچار و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرمتقابل دو جانبه شوری در بیوچار و بیوچار در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد و شوری در سالیسیلیک اسید و سال در بیوچار در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنی‌دار بر این صفت نشان دادند. برهم‌کنش سه جانبه شوری در بیوچار در سالیسیلیک و سال در شوری در بیوچار نیز هر دو در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار بر عملکرد دانه در لوبیا نشان دادند (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین داده‌های دو ساله، مصرف یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توأم با کاربرد بیوچار به شکل تغییر یافته فسفریک اسید در شرایط عدم شوری بالاترین عملکرد دانه در بوته لوبیا (۳۲/۱ گرم در بوته) را موجب شد. همچنین سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار به‌همراه بیوچار ساده در شرایط عدم شوری، با اختلاف معنی‌دار آماری به‌دنبال ترکیب تیماری برتر قرار گرفت (۳۰/۲ گرم در بوته). کمترین عملکرد دانه نیز متعلق به ترکیبات تیماری سطوح مختلف سالیسیلیک اسید با بیوچار تغییر یافته با فسفریک بالاخص سولفوریک اسید، تحت شوری بالای خاک (۸ دسی‌زیمنس بر متر) بود (شکل ۱۳). نتایج نشان داد که کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش شوری متوسط (۴ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به عدم شرایط تنش چندان تغییر نیافت، اما در شرایط تنش شوری شدید، شاهد کاهش عملکرد دانه به میزان ۳۰/۶ درصد بود. همچنین با توجه به نتایج کاربرد بیوچار و سالیسیلیک اسید به‌صورت مستقل و بالاخص در ترکیب با یکدیگر (به جزء ترکیبات تیماری بیوچار اصلاح یافته با سولفوریک اسید در سطوح مختلف سالیسیلیک اسید) توانست عملکرد دانه را در سطوح مختلف تنش شوری نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بهبود بخشد.



شکل ۱۳. اثر متقابل شوری خاک، بیوچار و سالیسیلیک اسید بر میانگین عملکرد دانه در دو سال آزمایش

(ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.)

S1: بدون اسید سالیسیلیک، S2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S3: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک؛ B-1: بدون بیوچار، B-2: بیوچار ساده، B-3: بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک، B-4: بیوچار تغییر یافته با اسید سولفوریک؛ Salt-1: بدون شوری خاک، salt-2: شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و Salt-3: شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تحت تنش شوری خاک، ویژگی‌های مختلف فیزیولوژیکی در گیاه لوبیا دچار تغییرات معنی‌دار می‌شود. نتایج نشان داد که تنش شوری منجر به کاهش محتوی نسبی آب برگ، پایداری غشاء، کاهش عملکرد کوانتومی شد، با این حال به‌دلیل کوچکتر شدن سطح برگ منجر به افزایش عدد اسپد شد. کاهش غلظت رنگدانه‌های مختلف فتوسنتزی منجر به کاهش فتوسنتز جاری در لوبیا شد، با این حال کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار در سطوح مختلف شوری خاک توانست تغییرات مثبت بر ویژگی‌های فیزیولوژیک لوبیا داشته باشد. اثرات مثبت سالیسیلیک اسید و بیوچار منجر به افزایش محتوی نسبی آب، افزایش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و درنتیجه بهبود فتوسنتز جاری شد. هرچند برخی ترکیبات تیماری دارای اثرات منفی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در لوبیا شدند که می‌تواند ناشی از حساسیت این گیاه به شوری باشد. در این آزمایش سطوح ۰/۵ و بالاخص یک میلی‌مولار از سالیسیلیک اسید و بیوچار ساده نسبت به سایر ترکیبات تیماری، تاثیر مثبت و معنی‌دار در رنگدانه‌های فتوسنتزی و فتوسنتز جاری نشان دادند. کاربرد بیوچار تغییر یافته با سولفوریک اسید در کلیه تیمارها کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه را به‌دنبال داشت، با این حال سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف از شوری توأم با کاربرد بیوچار ساده، تاثیر مثبت و معنی‌دار بر عملکرد دانه نشان داد.

منابع مورد استفاده

1. Arnon, D. I. 1967. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-150.
2. Bielska, L., L. Skulcov, N. Neuwirthova, A. Cornelissen, G. Sarah and E. Hale. 2108. Sorption, bioavailability and ecotoxic effects of hydrophobic organic compounds in biochar amended soils. *Science of the Total Environment*

624: 78-86.
3. Borchard, N., M. Schirrmann, M. L. Cayuela, C. Kammann, N. Wrage-Mönnig, J. M. Estavillo, T. Fuertes-Mendizabal, G. Sigua, K. Spokas, J. A. Ippolito and J. Novak. 2019. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N_2O emissions: A meta-analysis. *Science of The Total Environment* 651: 2354-2364.
4. Conti, F. D., G. Visioli, A. Malcevschi and C. Menta. 2017. Safety assessment of gasification biochars using *Folsomia candida* (Collembola) ecotoxicological bioassays. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 6668-6679.
5. Dahlawi, S., A. Naeem, Z. Rengel and R. Naidu. 2018. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of The Total Environment* 940: 320- 335.
6. Elhindi, K. M., A. S. El-Din and A. M. Elgorban. 2017. The impact of *arbuscular mycorrhizal* fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Saudi journal of biological sciences* 24(1): 170-179.
7. Enders, A., K. Hanley, T. Whitman, S. Joseph and J. Lehmann. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology* 114: 644- 653.
8. Fang, J., L. Zhan, Y. S. Ok and B. Gao. 2018. Mini review of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 57: 15-21.
9. Gulati, P. and D. J. Rose. 2018. Effect of extrusion on folic acid concentration and mineral element analyzability in Great Northern beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food chemistry* 269: 118-124.
10. Gupta, B. and B. Huang. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Genomics* 9: 1-18.
11. Harfouche, A. L., E. Rugini, F. Mencarelli, R. Botondi and R. Muleo. 2008. Salicylic acid induces H2O2 production and endochitinase gene expression but not ethylene biosynthesis in *Castanea sativa* invitro model system. *Russian Journal of Plant Physiology* 165: 734-744.
12. Jayakannan, M., J. Bose, O. Babourina, Z. Rengel and S. Shabala. 2015. Salicylic acid in plant salinity stress signaling and tolerance. *Plant Growth Regulation* 76(1): 25-40.
13. Kanwal, S., N. Ilyas, S. Shabir, M. Saeed, R. Gul, M. Zahoor and R. Mazhar. 2017. Application of biochar in mitigation of negative effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Nutrition* 41(4): 1-13.
14. Lashari, M. S., Y. Ye, H. Ji, L. Li, G. W. Kibue, H. Lu and G. Pan. 2015. Biochar - manure compost in conjunction with pyro ligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(6): 1321-1327.
15. Mita, S., N. Murano, M. Akanke and K. Nakamura. 1997. Mutants of Arabidopsis thaliana with pleiotropic effects on the expression of the gene for beta-amylase and on the accumulation of anthocyanin that are inducible by sugars. *Journal of Plant Nutrition* 11: 841-851.
16. Oukarroum, A., G. Schansker and R. J. Strasser. 2009. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. *Physiologia Plantarum* 137(2): 188-199.
17. Peng, F., P. W. He, Y. Luo, X. Lu, Y. Liang and J. Fu. 2012. Adsorption of phosphate by biomass char deriving from fast pyrolysis of biomass waste. *CLEAN - Soil, Air, Water* 40: 493-498.
18. Puhringer, H. 2016. Effects of different biochar application rates on soil fertility and soil water retention in on-farm experiments on smallholder farms in Kenya. M.Sc. thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
19. Ruelland, E., I. Pokotylo, N. Djafi, C. Cantrel, A. Repellin and A. Zachowski. 2016. Corrigendum: Salicylic acid modulates levels of phosphoinositide dependent-phospholipase C substrates and products to remodel the Arabidopsis suspension cell transcriptome. *Frontiers in plant science 28: 7-36.*
20. Siddique, Z., S. Jan, S. R. Imadi and P. Ahmad. 2016. Drought stress and photosynthesis in plants. *Journal of Water Stress and Crop Plants* 32: 1-11.
21. Tammeorg, P. A., P. Simojoki, F. L. Makela, L. Alakukku and J. Helenius. 2014. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertilizer on a boreal loamy sand. *Agriculture Ecosystems Environment* 191: 108-116.
22. Vaccari, F. P., A. Maienza, F. Miglietta, S. Baronti, S. D. Lonardo, L. Giagnoni, A. Lagomarsino, A. Pozzi, E. Pusceddu, R. Ranieri, G. Valboa and L. Genesio. 2015. Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 207: 163-170.
23. Wakchaure, G. C., P. S. Minhas, P. Ratnakumar and R. L. Choudhary. 2016. Optimizing supplemental irrigation for wheat (*Triticum aestivum* L.) and the impact of plant bio-regulators in a semi-arid region of Deccan Plateau in India. *Agricultural Water Management* 172: 9-17.
24. 37. Zhang, H. J., H. Z. Dong, W. J. Li and D. M. Zhang. 2011. Effects of soil salinity and plant density on yield and leaf senescence of field grown cotton. *Journal Agronomy Crop Science* 198: 27- 37.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 14, No. 2, Summer 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Changes in Some Physiological Characteristics of Bean with the Application of Biochar and Salicylic Acid under Saline Soil Conditions

M. Nasiri[1], B. Andalibi[2*], S. Khomari[3], E. Goli kalanpa[4] and S. Nasiri[1]

1 and 2. Ph.D. Student of Plant Physiology and Crop Production and Associate Professor, Respectively, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
4. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
*: Corresponding Author, Email: babak.andalibi@Znu.ac.ir, andalibi@znu.ac.ir

(Received: December 02-2023; Accepted: April 30-2024)

Extended Abstract

Introduction

Phaseolus vulgaris L., commonly known as the common bean, is an important legume crop, responsible for 85% of global bean production. Nevertheless, soil salinity represents a significant challenge that severely impairs its productivity. Soil salinity represents one of the most detrimental constraints on crop growth and production. Conversely, beans are regarded as one of the most susceptible crops to salinity stress. However, the detrimental effects of salinity on crops can be significantly mitigated by the use of certain substances. Salinity exerts a significant negative influence on the primary plant processes, including photosynthesis and the production of photoassimilates, which ultimately results in a reduction in plant production. The application of an appropriate quantity of salicylic acid (SA) enhances the plant's tolerance to abiotic stresses, thereby reducing the destructive effects of stress and increasing tolerance to abiotic stresses. It has been demonstrated that the external application of salicylic acid can induce the tolerance of crop plants to a range of abiotic stresses, including salt, drought, heat, cold, and heavy metals. Furthermore, SA can be an effective substance against plant abiotic stresses, as it can regulate a variety of phytohormones, and it may play a key role in free radical scavenging and nutrient uptake. Furthermore, the utilization of biochar represents an efficacious approach to mitigating the consequences of abiotic stresses, such as salinity. Biochar, a carbon-rich material, is employed to enhance soil carbon sequestration, reduce CO_2 emissions, and augment soil microbial diversity and activity. It has been postulated that biochar has the capacity to adsorb some of the toxic ions, such as Na and Cl, thereby reducing the toxic effects of salinity.

Materials and Methods

A two-year glasshouse study was conducted using a randomized complete block design, with four replicates in each treatment. The study was conducted at the Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Iran over two consecutive years (2022-2023). The experiment included three levels of salicylic acid (SA): SA0 (0 mM), SA0.5 (0.5 mM) and SA1 (1 mM), four levels of biochar, including no biochar application as the control treatment (B0), recommended biochar (Rb) by application of 2.5% biochar. The treatments included 5% (w/w) of modified biochar with phosphoric acid (PA), 1.25% of modified biochar with sulfuric acid (Sb), and salt stress (SS) using NaCl in three levels: SS0 (distilled water), SS4 (4 dS m^{-1}), and SS8 (8 dS m^{-1}). In this experiment, the salinity treatment was applied in two stages: at the planting time and when the seedlings had fully established themselves in the soil. Salicylic acid was applied foliarly at two stages: early and late flowering, according to the predetermined levels.

Results and Discussion

Salinity had a detrimental impact on the biochemical attributes of bean plants, yet this effect was alleviated by

the application of the SA treatment. Furthermore, salt stress resulted in a reduction in relative water content, membrane stability index, leaf area and photosynthetic pigments, which in turn led to a reduction in current photosynthesis and remobilisation of photoassimilates. Nevertheless, the application of biochar and the use of SA were found to alleviate the negative effects, resulting in a higher grain yield compared with the control plants, i.e. at the absence of biochar and SA application at the end of the experiment. The combined application of biochar and SA resulted in a higher relative water content, photosynthetic pigments and an enhanced rate of photosynthesis. The greatest accumulation of chlorophyll-a and carotenoids was observed in response to the application of SA1 without biochar in non-stress conditions. Furthermore, the lowest photosynthetic rate was observed in response to SS8. Moreover, the greatest anthocyanin accumulation was observed in response to the addition of biochar to the soil in the absence of SA under salt stress conditions.

Our research has demonstrated that the combined application of biochar and SA can significantly mitigate the adverse effects of salinity stress on common beans. Furthermore, the results demonstrated that SA significantly enhanced grain yield of plants under both saline and non-saline soils. The results indicate that the excessive use of biochar and SA may lower the mentioned effectiveness, as the biochar increases soil porosity, which negatively impacts water availability. Furthermore, application of high doses of SA has been shown to have a negative impact on the biochemical and enzymatic attributes of the plant under salinity conditions.

Conclusions

Although the study on the effects of biochar and SA on common beans under salinity stress provides valuable insights, it is important to consider the limitations of the study. Consequently, the findings may not be directly extrapolated to the natural agricultural settings, where multiple environmental factors interact.

Keywords

Anthocyanin, chlorophyll, photosynthesis, relative leaf water content