

مقاله پژوهشی

مطالعه اثرات کاربرد بیوچار و فسفر بر خصوصیات بیوشیمیایی بافت ریشه و برگ گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) رشدیافته در خاک متأثر از نمک

پیمان محمدی خانقاه^۱، سعید خماری^{۲*} و اسماعیل گلی کلانپا^۳

^۱ گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

^۲ گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۳ گروه آموزشی علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی کاربرد بیوچار و فسفر بر خصوصیات بیوشیمیایی جو رشدیافته در خاک متأثر از نمک، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل انواع بیوچار در چهار سطح (عدم کاربرد بیوچار - شاهد، بیوچار ساده، بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک و بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک) و فسفر در سه سطح (شاهد، کاربرد فسفر (۵۰ میلی گرم در لیتر)، کاربرد فسفر اضافه (۱۰۰ میلی گرم در لیتر)) بودند. صفات پراکسید هیدروژن ریشه و برگ، مالون دی آلدئید ریشه و برگ، پرولین ریشه و برگ و قند محلول ریشه و برگ و وزن تر ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین پراکسید هیدروژن برگ و میزان کلروفیل b در شرایط کاربرد بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر مشاهده شد، کمترین میزان کلروفیل b در بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد عدم کاربرد فسفر بیوچار مشاهده شد که حدود ۶۴/۲۰ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بود بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن ریشه در تیمار کاربرد فسفر اضافه که بطور معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بود و حدود ۹۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود، بیشترین میزان کلروفیل کل و پرولین برگ، در تیمار شاهد و عدم کاربرد فسفر مشاهده شد. کمترین پراکسید هیدروژن برگ در تیمار شاهد بیوچار و کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که حدود ۶۴/۲۰ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بود. بیشترین میزان قند محلول برگ در تیمار شاهد بیوچار و کاربرد فسفر اضافه بدست آمد. همچنین بیشترین میزان قند محلول ریشه در تیمار شاهد، بیشترین میزان مالون دی آلدئید برگ در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه، بیشترین میانگین مالون دی آلدئید ریشه با کاربرد فسفر اضافه بدست آمد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت کاربرد بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در شرایط کاربرد فسفر اضافه در کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه جو به عنوان بهترین تیمار معرفی می شود.

واژگان کلیدی: بیوچار، قند محلول، پرولین، پراکسید هیدروژن، مالون دی آلدئید

مقدمه

شوری تحت عنوان غلظت نمک های محلول موجود در آب یا

* نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: Saeid.khomari@tabrizu.ac.ir

بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند (Noreen et al., 2021).

در سیستم‌های کشاورزی پایدار استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر محاسن اکولوژیکی و حداقل مضرات زیست‌محیطی را دارا باشد، امری ضروری است (Bakhtiari et al., 2020). بیوپار نوعی اصلاح‌کننده خاک است که سبب تحول عظیمی در افزایش مقاومت گیاه به تنش شده است (Ali et al., 2017). بیوپار، ماده کربنی است که از گرمادهی بقایای گیاهی و ضایعات در محیط حاوی اکسیژن محدود یا بدون اکسیژن به دست می‌آید (Razzaghi et al., 2020). تجزیه گرمایی زیست‌توده در محیط فاقد اکسیژن را گرماکافت می‌نامند (Ali et al., 2017). بیوپار پایداری بالایی داشته و به منظور مدیریت ضایعات و کاهش تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات خاک و تولید انرژی شود (Razzaghi et al., 2020). خصوصیات منحصر به فرد بیوپار آن را به عنوان گزینه مناسبی برای مصرف در خاک مطرح ساخته است (Ali et al., 2017). بیوپار خصوصیات مختلف فیزیکی از جمله ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی، شیمیایی (اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان مواد آلی) و زیستی خاک (فعالیت، تنوع و جمعیت میکروبی و فعالیت آنزیمی) را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (Ali et al., 2017; Razzaghi et al., 2020). بیوپار و سلیوم با تعدیل اثر تنش کادمیوم سبب بهبود صفات گشنیز (*Coriandrum sativum*) شدند (Rafighzadeh et al., 2024). مصرف خاکی بیوپار جهت افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*) توصیه می‌شود (Tadayonnejad et al., 2021). گزارش‌های زیادی اثر مثبت بیوپار بر وزن تر و خشک گیاه (Agbna et al., 2017; Tanure et al., 2019)، عناصر غذایی (بهاروندی و همکاران، ۱۴۰۲)، فتوسنتز (Agbna et al., 2017) و ارتفاع گیاه (Carter et al., 2013) را بیان کرده‌اند. بنابراین، بیوپار پتانسیل این را دارد که بهترین روش مدیریتی برای خاک‌های با حاصلخیزی پایین باشد (El-Naggar

محل‌های خاک گفته می‌شود. شوری خاک اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که یون‌های نمک‌های محلول در خاک تجمع می‌کنند، مشکل‌ساز می‌شود. هنگامی که گیاهان در این مناطق آبیاری می‌شوند، تبخیر و تعرق، آب خالص را به عنوان بخار از خاک خارج کرده و املاح در خاک غلیظ می‌شوند. با ادامه آبیاری بدون فرصتی برای تخلیه نمک‌های انباشته‌شده توسط سیستم زهکشی، شوری خاک افزایش می‌یابد. بنابراین شوری زیاد خاک یک مشکل رایج و خشک مناطق در نیمه‌خشک است که در آن آبیاری انجام می‌شود و تبخیر و تعرق اغلب بیشتر از مقدار آبیاری است (Arif et al., 2020). با کاهش عرضه آب شیرین در برخی مناطق، رقابت شدیدی بین کشاورزی، صنعت و تقاضای آب خانگی وجود دارد (El Ghazali, 2020). یکی از مشکلات موجود در بخش کشاورزی شوری خاک است که در بیش از یک میلیارد هکتار از اراضی جهان و در بیش از ۱۰۰ کشور گسترش یافته است. بنابراین شوری خاک تهدید مهمی برای تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی جهان است (Singh, 2022). گزارش شده است که شوری فرآیندهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Yadav et al., 2019). همچنین تنش شوری به دلیل اختلال در تغذیه، کاهش فتوسنتز (Rajaie et al., 2024) و افزایش تخریب غشای سلولی سبب کاهش رشد و عملکرد می‌شود (Desoky et al., 2020). بنابراین برای تثبیت رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت تنش شوری، شناخت تکنیک‌های زراعی مناسب اهمیت فراوانی دارد (Zorb et al., 2019). همچنین تنش شوری تمام مراحل رشد از جوانه‌زنی تا تولید توده زنده گیاه، دانه و میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pakar et al., 2016). جو (*Hordeum vulgare*) در بین غلات به لحاظ اهمیت، رتبه چهارم را در جهان به خود اختصاص داده است. این گیاه دارای سابقه کاشت طولانی در مناطق وسیعی از کره زمین بوده و دارای قدمتی معادل کشاورزی است (Niazi et al., 2020). به نظر بسیاری از پژوهشگران یکی از متحمل‌ترین گیاهان زراعی به تنش شوری است. با این وجود تنش شوری تولید این گیاه را در

(et al., 2019).

فسفر از عناصر غذایی ضروری برای محصولات کشاورزی است و کاربرد آن برای دستیابی به تولید مطلوب در این محصولات بسیار مهم است (Mosapour et al., 2024). این عنصر، تشکیل‌دهنده مولکول‌های حیاتی DNA، RNA و ATP است. همچنین فسفر در فتوسنتز، تنفس و توسعه رشد نقش بسزایی دارد (Havlin et al., 2005). از آنجا که فسفر به شدت در معرض واکنش با ترکیبات خاک است و در خاک غیرمتحرک است تنها از مسیر انتشار و برخورد مستقیم ریشه جذب گیاه می‌شود. به همین علت ریشه گیاه باید برای جذب فسفر مورد نیاز خود در میان خاک رشد کند. فسفر به سرعت از سطح ریشه جذب می‌شود و به همین علت منطقه‌ای به شعاع ۱/۲ تا یک میلی‌متر اطراف ریشه فاقد فسفر است بنابراین استفاده از کودهای فسفوری در ریزوسفر گیاه در طول دوره رشد به شدت توصیه می‌شود (Mikkelsen, 2013). در این پژوهش کوشش شد تا ضمن کاشت گیاه زراعی جو در خاک متأثر از نمک، تأثیر احتمالی کاربرد توأم بیوچار و فسفر بر فعالیت بیوشیمیایی بافت ریشه و برگ در کاهش یا حذف آسیب‌های تنش شوری بر این گیاه زراعی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی خصوصیات بیوشیمیایی بافت ریشه و برگ گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) رشد یافته در خاک متأثر از نمک، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار و اجرای آن به شکل گلدانی در مجموعه گلخانه‌ای دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی و مجموعه‌های آزمایشگاهی دانشگاه در سال ۱۴۰۱ انجام شد. در این راستا، برخی آزمایش‌های مقدماتی طراحی و اجرا شد، از جمله: نمونه برداری از خاک‌های مشکل‌دار (متأثر از نمک) واقع در مناطق مختلف دشت اردبیل به منظور انتخاب خاک مورد آزمایش، تعیین غلظت بهینه بیوچار جهت اختلاط با خاک متأثر از نمک، تعیین دو سطح

فسفر اضافه بر میزان اولیه فسفر خاک و غیره. برای اعمال تنش شوری به صورت طبیعی از خاکی که دارای شوری بالایی بود استفاده گردید که برخی از خصوصیات خاک در جدول ۱ آورده شده است. تیمارهای آزمایشی شامل انواع بیوچار در چهار سطح (عدم کاربرد بیوچار - شاهد، بیوچار ساده، بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک و بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک) و فسفر در سه سطح (شاهد، کاربرد فسفر (۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، کاربرد فسفر اضافه (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)) بودند. برای اجرای این پژوهش، خاک شور از زمین اطراف فرودگاه اردبیل جمع‌آوری شده و به گلخانه شماره ۲ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل گردید. گلدان‌های پلاستیکی (مقادیر خاک برای هر گلدان آزمایشی ۳/۵ کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد که ۳ کیلوگرم خاک شور و ۰/۵ کیلو ماسه بادی را شامل بود) در شرایط آزمایشگاه و با حفظ رطوبت تیمارها در حد ۶۰ درصد رطوبت مزرعه روش وزنی نگهداری گردید. قطر گلدان‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. در طول مدت انکوباسیون هر یک ساعت گالن‌های حاوی سوسپانسیون به خوبی تکان داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت بیوچارها از محلول اسیدی جدا و با پارچه توری فیلتر شدند و با آب شهری و سپس با آب مقطر شسته شدند تا خشتی گردند. سپس بیوچارها در ظروف فلزی پهن گردیدند و در آن با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا کاملاً خشک شوند. بعد از خشک شدن بیوچار مورد نیاز برای مخلوط کردن با خاک با درصد‌های مشخص از هر نوع بیوچار آماده شد. بعد از مخلوط کردن بیوچار و خاک، یک ماه بعد اقدام به کشت شد. قبل از کاشت، نیم کیلو از خاک هر گلدان به منظور آنالیز عناصر برداشته و در جای تاریک و سرد نگهداری گردید تا اینکه کشت در تاریخ ۱۴۰۱/۰۲/۲۸ انجام گرفت. برخی از ویژگی‌های BET بیوچار اصلاح شده در جدول ۲ بیان شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی بیوچار ساده و بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک و اسید نیتریک (SEM-EDS) در شکل ۱ آورده شده است.

اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران

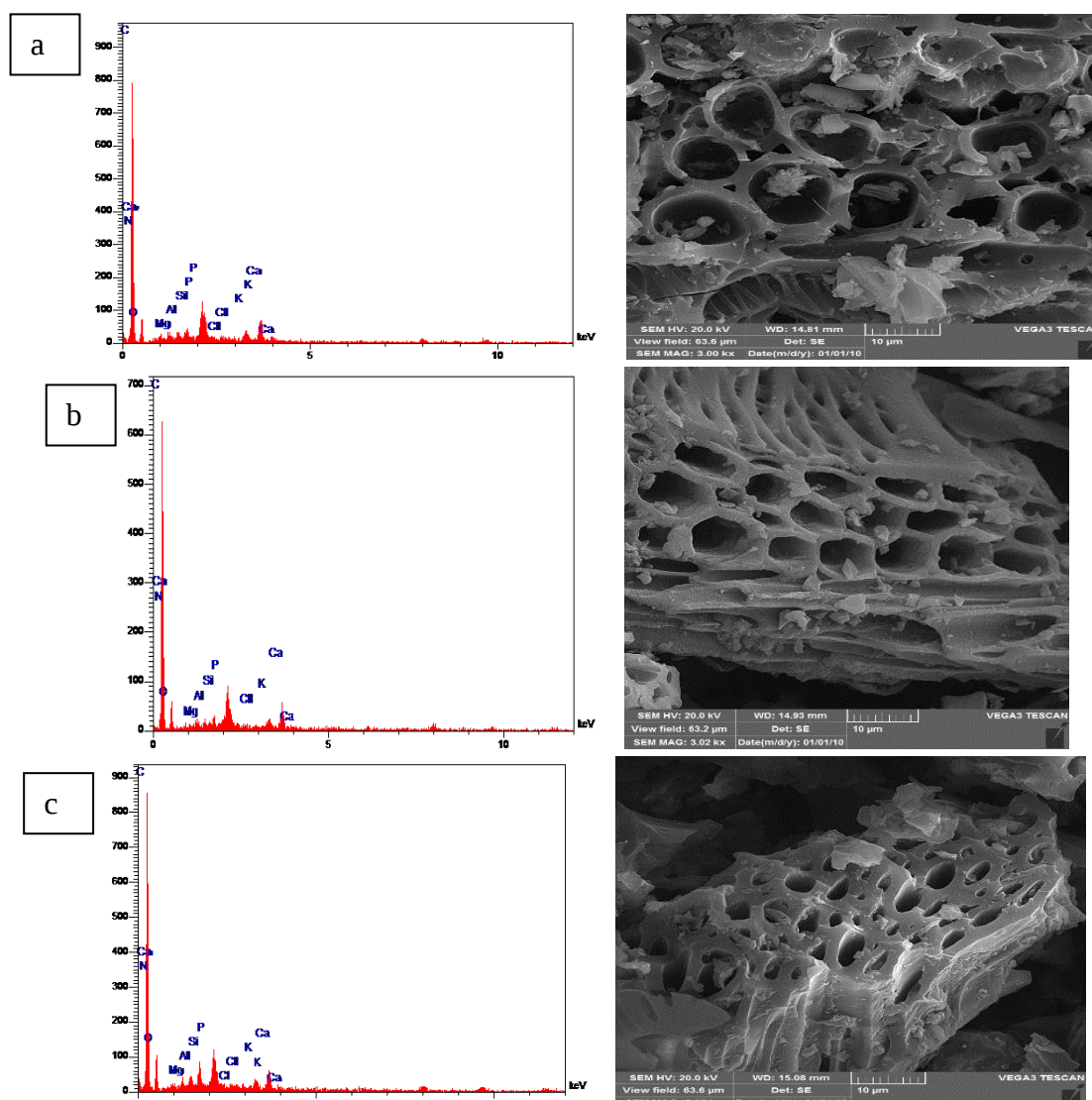
جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش

N _{total}	T.N.V (%)	OC	pH	ECe (ds/m)	بافت خاک	K	P	Ca	Na
						(mg/kg)		(mg/L)	
۰/۰۵۲۱	۳۲/۱	۰/۹۷۵	۷/۱۶	۵/۰۷	لومی رسی	۳۳۲/۷	۴/۵۲	۳۵/۶	۷۲/۵

جدول ۲- ویژگی های BET بیوچار اصلاح شده

نوع بیوچار	سطح ویژه بیوچار (m ² /g)	حجم منافذ (cm ³ /g)	متوسط قطر منافذ (nm)
بیوچار ساده	۲/۶۱ ± ۵/۵۸	۰/۰۰۴ ± ۰/۰۰۵	۶/۳۷ ± ۰/۴۱
بیوچار تیمارشده با اسید فسفریک	۹/۷۳ ± ۰/۸۵	۰/۰۰۸۶ ± ۰/۰۰۰۳	۳/۵۲ ± ۰/۳۱
بیوچار تیمارشده با اسید نیتریک	۵/۷۵ ± ۰/۳۹	۰/۰۱۱ ± ۰/۰۰۰۸	۷/۸۴ ± ۰/۳۰

میانگین ها به صورت (mean ± S.E.) نشان داده شده اند.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و نمودارهای آن در انواع اسید مودیفاید (SEM-EDS) (a) بیوچار ساده، (b) فسفریک اسید و (c) نیتریک اسید

معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده فسفر قرار گرفت اما اثر ساده بیوچار و همچنین اثر متقابل بیوچار $\times$ فسفر معنی‌دار نشد. براساس شکل ۳ کاربرد فسفر باعث افزایش میزان پراکسید هیدروژن ریشه شد بطوریکه بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن ریشه در تیمار کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که بطور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود و حدود ۹۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. افزایش وزن تر ریشه در اثر بیوچار (شکل ۱۰) نشان‌دهنده افزایش رشد ریشه است که به نوبه خود منجر به جذب فسفر می‌شود و در شرایط تنش شوری منجر به افزایش محتوای پراکسید هیدروژن خواهد شد. افزایش میزان فسفر می‌تواند میزان پروئین‌های محلول را افزایش و در نتیجه میزان پراکسیداسیون لیپیدی را افزایش دهد که با نتایج Heshmati و همکاران (۲۰۱۶) در گلرنگ مطابقت دارد.

کلروفیل b: ارزیابی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کلروفیل b به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل بیوچار $\times$ فسفر قرار گرفت اما اثرات ساده بیوچار و فسفر معنی‌دار نشد (جدول ۳). همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان کلروفیل b در شرایط کاربرد بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بدست آمد (شکل ۴). کمترین میزان کلروفیل b در بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد عدم کاربرد فسفر بیوچار مشاهده شد که حدود ۶۴/۲۰ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بود (شکل ۴). در بررسی تأثیر بیوچار در گیاه نعنای فلفلی گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک میزان فسفر گیاه را تحت تأثیر قرار داد و باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Rezaeian, 2014).

کلروفیل کل: بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ساده بیوچار و فسفر بر مقدار کلروفیل کل معنی‌دار نیست، اما اثر متقابل آن‌ها بر کلروفیل کل معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد و عدم کاربرد فسفر مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با شرایط کاربرد بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک در تیمار عدم کاربرد

(۱۹۷۳) انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان مالون دی‌آلدید از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) استفاده شد. مقدار پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش پراکسید هیدروژن با یدید پتاسیم (KI) تعیین شد (Alexieva et al., 2001).

کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها، پس از اطمینان از نرمال‌بودن آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver 9.4) انجام گرفت. با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، مقایسه میانگین داده‌ها انجام شد. همچنین برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel (2013) استفاده گردید.

نتایج و بحث

پراکسید هیدروژن برگ: مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) پراکسید هیدروژن برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده بیوچار و همچنین اثر متقابل بیوچار $\times$ فسفر قرار گرفت اما اثر ساده فسفر معنی‌دار نشد.

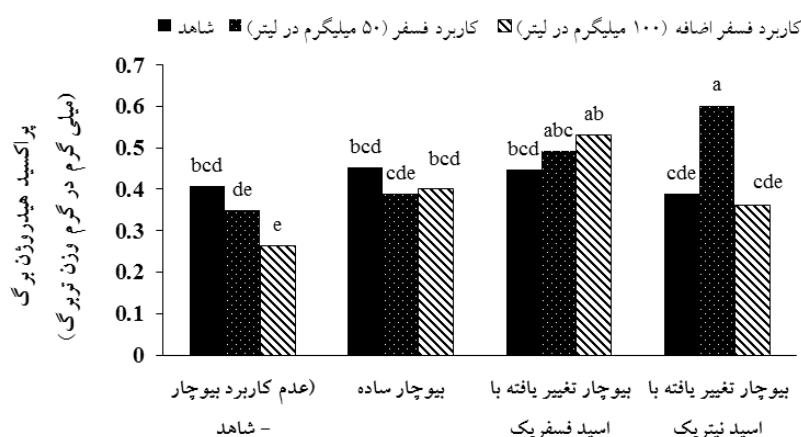
نتایج گویای آن است که بیشترین پراکسید هیدروژن برگ در شرایط کاربرد بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار بیوچار تغییر یافته با اسید فسفریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه و کاربرد فسفر اضافه نداشت (شکل ۲). کمترین پراکسید هیدروژن برگ در تیمار شاهد بیوچار و کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که حدود ۶۴/۲۰ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه بود (شکل ۲). مصرف خاکی بیوچار باعث افزایش عملکرد، غلظت عناصر غذایی و میزان پراکسید هیدروژن مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*) شد (Tadayonnejad et al., 2021). کاربرد بیوچار به همراه لجن فاضلاب سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه گندم گردید که این افزایش در نتیجه توانایی کلات‌سازی یون‌ها (۶۶/۸ درصد) و نیز رفع رادیکال‌های آزاد (۵۲ درصد) بوده است (تقی‌زاده طبری و همکاران، ۱۳۹۹).

پراکسید هیدروژن ریشه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) پراکسید هیدروژن ریشه بطور

جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات بیوشیمیایی گیاه جو رشد یافته در خاک متأثر از نمک تحت تأثیر غلظت‌های مختلف بیوچار و فسفر

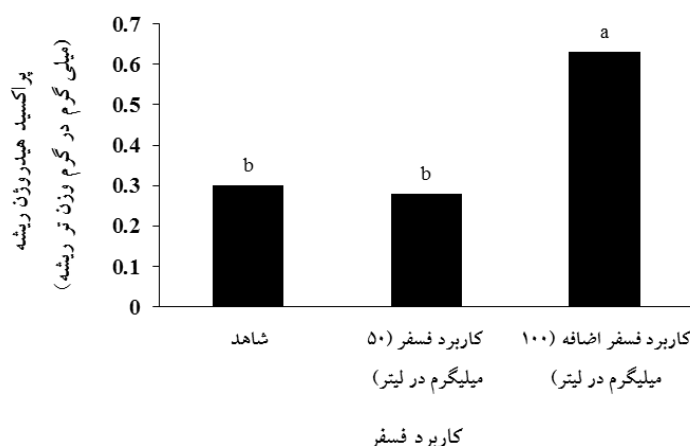
منابع تغییر	درجه آزادی	H ₂ O ₂ برگ	H ₂ O ₂ ریشه	کلروفیل b	کلروفیل کل پرولین برگ	قند محلول ریشه	قند محلول برگ	MDA ریشه	وزن تر ریشه	میانگین مربعات	
بیوچار	۳	۰/۰۳**	۰/۲۱ ns	۱۷/۷۵ ns	۶۱/۲۱ ns	۰/۰۳۷ *	۲۳۳۱۲/۱ *	۴۳/۶۳ ns	۲/۰۵ *		
فسفر	۲	۰/۰۱ ns	۰/۴۶ *	۳۸/۳۹ ns	۱۳۶/۴۲ ns	۰/۰۴۵ *	۲۴۸۰/۳ ns	۳۸۱/۴۰ **	۰/۹۵ ns		
فسفر × بیوچار	۶	۰/۰۲ **	۰/۲۷ ns	۴۲/۶۷ *	۱۲۶/۶۶ *	۰/۰۵ **	۶۵۱۹/۹ ns	۱۲۵۸۲۹/۳۳ *	۱/۰۰۲ ns		
خطای آزمایش	۲۴	۰/۰۰۵	۰/۱۲	۱۲/۵۶	۴۴/۸۳	۰/۰۰۷	۳۲۵۱/۲۹	۴۱۷۶۸/۱	۰/۵۷		
ضریب تغییرات		۱۷/۱۷	۲۴/۱۶	۱۸/۳۳	۲۱/۲۹	۲۶/۵۲	۷/۲۱	۱۱/۲۲	۲۴/۹۰		

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

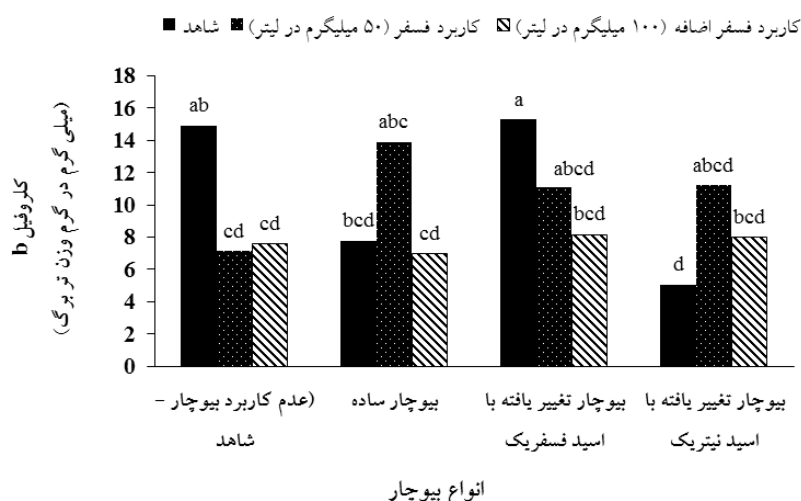


انواع بیوچار

شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار و فسفر بر میزان پراکسید هیدروژن برگ گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر فسفر بر میزان پراکسید هیدروژن ریشه گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار و فسفر بر میزان کلروفیل b برگ گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوچار و فسفر بر میزان کلروفیل کل برگ گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

(Mikkelsen, 2013). افزایش وزن تر ریشه در اثر بیوچار منجر به افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه محتوای کلروفیل خواهد شد. در هنگام تنش شوری، یون فسفات با یون کلسیم موجود در خاک به سرعت رسوب می‌کند و از دسترس گیاه خارج می‌شود و در نتیجه میزان جذب عناصر کاهش یافته و کلروفیل کاهش می‌یابد در شرایط تنش شوری، افزایش یون‌های سدیم و پتاسیم می‌تواند دلیل اصلی کاهش جذب فسفر در گیاهان تیمار شده با بیوچار باشد (Farhangi-Abriz and Torabian, 2015).

فسفر اضافه نداشت (شکل ۵). کمترین میزان کلروفیل کل در بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد عدم کاربرد فسفر مشاهده شد که حدود ۴۵/۵۶ درصد کمتر از تیمار بیوچار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد فسفر بود (شکل ۵). فسفر به سرعت از سطح ریشه جذب می‌شود و به همین علت منطقه‌ای به شعاع ۱/۲ تا یک میلی‌متر اطراف ریشه فاقد فسفر است بنابراین استفاده از کودهای فسفوری در ریزوسفر گیاه در طول دوره رشد به شدت توصیه می‌شود.

غشاها و پروتئین‌های موجود در سلول می‌گردند. این کار می‌تواند از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های کربوکسیل بیوجار و زنجیرهای قطبی پروتئین‌ها و در نهایت پایداریسازی پروتئین‌ها انجام پذیرد.

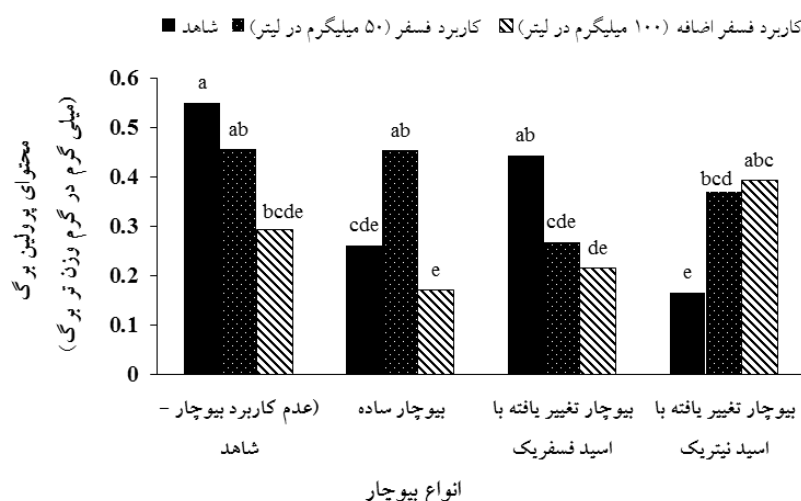
قند محلول برگ: ارزیابی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که قند محلول برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش بیوجار اثر متقابل بیوجار $\times$ فسفر قرار گرفت اما اثر ساده فسفر معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین میزان قند محلول برگ در تیمار شاهد بیوجار و کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که بطور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود اما اختلاف معنی‌داری با بیوجار تغییر یافته با اسید فسفریک نداشت و بین تیمارهای دیگر از نظر کمترین میزان قند محلول برگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۸). اگرچه تأثیر بیوجار بر خصوصیات بیوشیمیایی و میزان قند گیاهان کمتر مورد بررسی قرار گرفته با این وجود برخی از مطالعات افزایش قند محلول را در اثر استفاده از بیوجار بیان کردند (Rozylo et al., 2017). میزان قندهای محلول برگ، با مصرف کودهای فسفردار و زیستی (بارور-۲)، تحت شرایط کم آبی افزایش پیدا می‌کند که می‌تواند تحمل به تنش را در گلرنگ افزایش دهد (Heshmati et al., 2016). بیوجار نیز با بهبود وضعیت خاک سبب افزایش صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و فل کل و کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و قند محلول در گیاه گشنیز شد (Rafighzadeh et al., 2024).

مالون دی‌آلدهید ریشه: براساس نتایج جدول ۳، مالون دی‌آلدهید ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده فسفر قرار گرفت اما اثر ساده بیوجار و همچنین اثر متقابل بیوجار $\times$ فسفر معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین مالون دی‌آلدهید ریشه با کاربرد فسفر اضافه به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۹). بطوریکه کمترین میانگین مالون دی‌آلدهید ریشه در تیمار عدم کاربرد فسفر اضافه مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۹). مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در تیمار

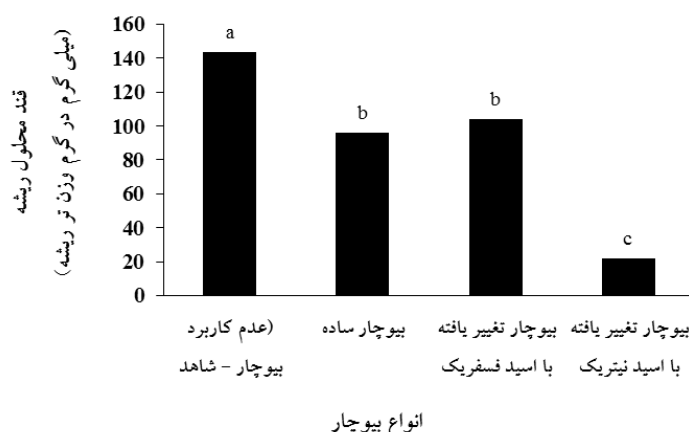
(2018). میزان کلروفیل کل در اثر کاربرد بیوجار تحت تأثیر رطوبت نسبی، پایداری غشای برگ و میزان نیتروژن برگ‌ها است و از آنجایی که بیوجار با بهبود خصوصیات خاک در افزایش صفات ذکرشده مؤثر است، می‌تواند در افزایش کلروفیل کل نیز تأثیر داشته باشد (تقی‌زاده طبری و همکاران، ۱۳۹۹). بیوجار باعث افزایش محتوای کلروفیل کل در گیاه شنبلیله (*Trigonella corniculata*) شد (Younis et al., 2015).

پرولین برگ: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر تیمارهای بیوجار و فسفر و اثر متقابل تنش بیوجار $\times$ فسفر بر پرولین برگ معنی‌دار بود. بیشترین میزان پرولین برگ در تیمار شاهد و عدم کاربرد فسفر مشاهده شد (شکل ۶). کمترین میزان پرولین برگ در بیوجار تغییر یافته با اسید نیتریک در تیمار شاهد (عدم مصرف فسفر اضافه) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد فسفر اضافه در بیوجار ساده نداشت (شکل ۶). استفاده از بیوجار و اسید سالیسیلیک در بهبود اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی در گیاه سرخارگل مفید بود (Emami, 2022). کاربرد بیوجار برگ نخل خرما موجب افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت می‌شود و این افزایش موجب کاهش تنش و در نتیجه کاهش پرولین می‌گردد (Nowroozi, 2017).

قند محلول ریشه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها می‌توان اظهار داشت که قند محلول ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده بیوجار قرار گرفت اما اثر ساده فسفر و اثر متقابل بیوجار $\times$ فسفر معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین میزان قند محلول ریشه در تیمار شاهد شد (شکل ۷). کمترین میزان قند محلول ریشه در بیوجار تغییر یافته با اسید نیتریک مشاهده شد که حدود ۷۸/۵۸ درصد کمتر از تیمار شاهد بود (شکل ۷). بیوجار با جذب سدیم خاک سبب کاهش نمک در خاک و افزایش مواد مغذی برای رشد گیاه می‌شود (Talaat et al., 2015). در آزمایشی که بر روی انگور انجام دادند مشاهده کردند که با کاربرد بیوجار میزان قند کاهش می‌یابد (Rasouli et al., 2009). بیوجار سبب تنظیم اسمزی و همچنین پایداری



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوجار و فسفر بر میزان پرولین برگ گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

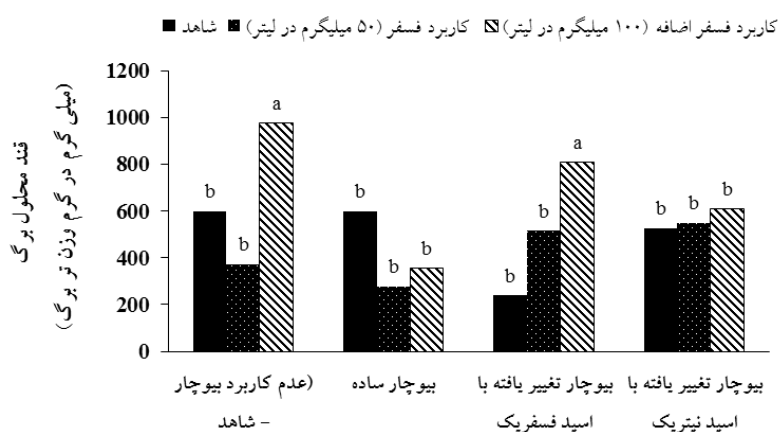


شکل ۷- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوجار بر میزان قند محلول ریشه گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

زیستی در افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، پرولین و مالون دی‌آلدهید تأثیر مثبت گذاشته است، که افزایش آنها در گیاه می‌تواند از طریق تنظیم اسمزی موجب پایداری سلول‌ها و حفظ تورژسانس سلولی گردد (Heshmati et al., 2016).

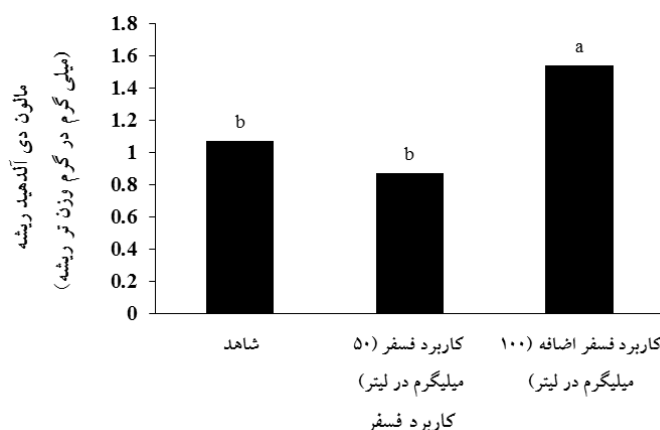
وزن تر ریشه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که وزن تر ریشه تحت تأثیر اثر ساده بیوجار قرار گرفت اما اثر ساده فسفر و همچنین اثر متقابل بیوجار × فسفر معنی‌دار نشد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود بیشترین میزان وزن تر ریشه در تیمار بیوجار تغییر یافته

بکارگیری کود زیستی موجب کاهش ۷۹/۵ درصدی مالون دی‌آلدهید نسبت به تیمار شاهد در شرایط بدون تنش شد (Heshmati et al., 2016). مالون دی‌آلدهید محصول نهایی پراکسیداسیون لیپید است که به‌عنوان یک نشانگر برای تولید رادیکال‌های آزاد و آسیب غشاء تحت اثر شرایط تنش غیرزننده کاربرد دارد بنابراین تجمع افزایش‌یافته پراکسیداسیون لیپید، نشان‌دهنده بالارفتن انواع اکسیژن فعال است (Parvanova et al., 2004). افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک چه به‌صورت کود شیمیایی و چه به‌صورت کود



انواع بیوجار

شکل ۸- مقایسه میانگین تأثیر متقابل بیوجار و فسفر بر میزان قند محلول برگ گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۹- مقایسه میانگین تأثیر فسفر بر میزان مالون دی‌آلدئید ریشه گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر بیوجار بر وزن تر ریشه گیاه جو رشد یافته در شرایط شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

با اسيد فسفريك مشاهده شد كه حدود ۴۴/۱۱ درصد بيشتر از تيمار شاهد بود. همچنين كمترين ميزان وزن تر ريشه در تيمار شاهد بدست آمد (شكل ۱۰). در تحقيقي كه Kamara و همكاران (۲۰۱۵) بر روي تأثير بيوچار توليدشده از ساقه برنج بر رشد و محصول برنج صورت دادند؛ گزارش كردند كه ۵ گرم بيوچار بر كيلوگرم خاك سبب افزايش ارتفاع گياه، وزن تر و خشك برنج شده است.

نتيجه گيري

يكي از رويكردهاي مهم براي كاهش اثرات سوء تنش شوري در گياهان، اصلاح كيفيت خاك است. از آنجايي كه مواد آلي از گذشته به عنوان عامل كليدي در كيفيت خاك مطرح بوده، موجب افزايش و بهبود رشد گياهان مي شود. يكي از مواد آلي كه به عنوان اصلاح كننده خاك شناخته مي شود استفاده از بيوچار است. نتايج بدست آمده از اين پژوهش نشان دهنده تأثير مثبت بيوچار و فسفر در كاهش اثرات تنش شوري

منابع

- بهاروندي، فهميه، فيضيان، محمد، عبدي، صمد، و عالي نژاديان بيدآبادي، افسانه (۱۴۰۲). اثر نوع بيوچار و زيست توده بر رشد گياه نعناع فلفلي (*Mentha piperita* L.) در خاك آلوده به كادميم. پژوهش هاي خاك، ۳۷(۱)، ۳۳-۴۹. doi: 10.22092/ijsr.2023.358547.664
- تقي زاده طبري، زهرا، اصغري، حميدرضا، عباس دخت، حميد، و باباخانزاده سنجيري، اسماعيل (۱۳۹۹). بررسي اثر بيوچار و ساليسيليك اسيد بر برخي از خصوصيات فيزيولوژيك و مورفولوژيك گاوزبان اروپايي (*Borago officinalis* L.) در شرايط تنش كم آبي. تحقيقات گياهان دارويي و معطر ايران، ۳۶(۱)، ۱۱۱-۹۸. doi: 10.22092/ijmapr.2020.127841.2642.۹۸-۱۱۱
- Agbna, G. H., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N. A., Guangcheng, S., & Timm, L. C. (2017). Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae*, 222, 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004>
- Alexieva, V., Sergei, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell Environment*, 24, 1337-1344.
- Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Ibrahim, M., Riaz, M., & Shahzad, A. N. (2017). Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 12700-12712. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8904-x>
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, 64-77.
- Bakhtiari, M., Mozafari, H., Asl, K. K., Sani, B., & Mirza, M. (2020). Bio-organic and inorganic fertilizers modify leaf nutrients, essential oil properties, and antioxidant capacity in medic savory (*Satureja macrantha* L.). *Journal of Biological Research-Bollettino della Societa Italiana di Biologia Sperimentale*, 93(1). <https://doi.org/10.4081/jbr.2020.8477>
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.

- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., & Haefele, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404-418. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020404>
- Desoky, E. S. M., Saad, A. M., El-Saadony, M. T., Merwad, A. R. M., & Rady, M. M. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 30, 101878. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101878>
- El Ghazali, G. E. B. (2020). Structural characteristics and adaptations to salinity and drought: A review. *International Journal of Science*, 9, 28-33.
- El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., & Ok, Y. S. (2019). Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma*, 337, 536-554. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>
- Emami, T. (2022). Effect of biochar and salicylic acid on physiological traits and yield of echinacea (*Echinacea purpurea* L.) under non-stress and drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), 229-243. doi: 10.22034/csrar.2022.320762.1172
- Farhangi-Abriz, S., & Torabian, S. (2018). Effect of biochar on growth and ion contents of bean plant under saline condition. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(12), 11556-11564. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1446-z>
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2005). Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. Prentice Hall.
- Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photo peroxidation in isolated chloroplast, kinetics and stoichiometry of fatty acid per oxidation. *Biochemistry Biopsy*, 125, 189-198.
- Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., & Fathi Amirkhiz, K. (2016). Effect of chemical and biological phosphorus on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(19), 203-214.
- Kamara, A., Kamara, H. S., & Kamara, M. S. (2015). effect of rice straw biochar on soil quality and the early growth and biomass yield of two rice varieties. *Agricultural Sciences*, 6, 798-806.
- Mikkelsen, R. L. (2013). A Closer Look at Phosphorus Uptake by Plants. International Plant Nutrition Institute (IPNI) 13049, North America.
- Mosapour, M., & Feizian, M. (2024). The effect of humic acid and biochar in sheep manure on the concentration of some nutrient elements in aerial parts and the yield of the summer savory plant (*Satureja hortensis* L.). *Plant Process and Function*, 13(59), 24.
- Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2020). Physiological and biochemical characteristics of barley as affected by biofertilizer, crop residues and water stress. *Plant Process and Function*, 9(36), 279-298.
- Noreen, S., Sultan, M., Akhter, M. S., Shah, K. H., Ummara, U., Manzoor, H., & Ahmad, P. (2021). Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 244-254.
- Nowroozi, M. (2017). Short-term effects of biochar produced from date palm's leaves on moisture retention.
- Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., & Pessarakli, M. (2016). Barley growth, yield, antioxidant enzymes, and ion accumulation affected by PGRs under salinity stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 2016 - Taylor & Francis.
- Parvanova, D., Ivanov, S., Konstantinova, T., Karanov, E., Atanassov, A., Tsvetkov, T., Alexieva, V., & Djilianov, D. (2004). Transgenic tobacco plants accumulating osmolytes show reduced oxidative damage under freezing stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42, 57-63.
- Rafighzadeh, F., Ghanbari Jahromi, M., & Diyanat, M. (2024). Effect of biochar and selenium on alleviating oxidative stressed induced by cadmium on coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Plant Process and Function*, 13(60), 9.
- Rajaie, M., Tahmasebi, S., & Dastfal, M. (2024). Evaluation of physiological indices and yield in promising cultivars and lines of wheat (*Triticum aestivum* L.) under field saline condition. *Plant Process and Function*, 13(60), 5.
- Rasouli, V., & Golmohammadi, M. A. J. I. D. (2009). Evaluation of drought stress tolerance in grapevine cultivars of Qazvin Province. *Seed and Plant Improvement Journal*, (2).
- Razzaghi, F., Obour, P. B., & Arthur, E. (2020). Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma*, 361, 114055. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114055>
- Rezaeian, A. (2014). Effect of Biochar and mycorrhiza on absorption, transport and accumulation of cadmium in the peppermint plant. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Shahrod. (In Persian)
- Rozylo, K., Swieca, M., Gawlik-Dziki, U., Stefaniuk, M., & Oleszczuk, P. (2017). The potential of biochar for reducing the negative effects of soil contamination on the phytochemical properties and heavy metal accumulation in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Science*, 26(1), 34-46.

- Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, 38, 39-67. <https://doi.org/10.1111/sum.12772>
- Tadayonnejad, M., Dehqani, M., Parsadoust, F. (2021). Effect of salinity stress and phosphorus application in different stages of wheat growth on biomass and some of its physiological characteristics. *Plant Process and Function*, 10 (44), 119-132.
- Talaat, N. B., Ghoniem, A. E., Abdelhamid, M. T., & Shawky, B. T. (2015). Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrients acquisition and induce compatible solutes accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 75(1), 281-295.
- Tanure, M. M. C., da Costa, L. M., Huiz, H. A., Fernandes, R. B. A., Cecon, P. R., Junior, J. D. P., & da Luz, J. M. R. (2019). Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.007>
- Yadav, S. P., Bharadwaj, R., Nayak, H., Mahto, R., Singh, R. K., & Prasad, S. K. (2019). Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7, 1793-1798.
- Younis, U., Malik, S. A., Qayyum, M. F., Shah, M. H. R., Shahzad, A. N., & Mahmood, S. (2015). Biochar affects growth and biochemical activities of fenugreek (*Trigonella corniculata*) cadmium polluted soil. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88(1).
- Zorb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant Biology*, 21, 31-38. <https://doi.org/10.1111/plb.12884>

Investigation of the Effects of Biochar and Phosphorus Application on the Biochemical Characteristics of Root and Leaf Tissues in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Grown in Salt-Affected Soil

Peymaneh Mohammadi Khanqah¹, Saeid Khomari*², Esmail Goli Kalanpa³

¹ Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

² Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

(Received: 2024/09/30, Accepted: 2025/02/11)

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of biochar and phosphorus application on the biochemical characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in salt-affected soil. The experiment was arranged as a factorial based on a completely randomized design (CRD) with three replications in the research greenhouse of Mohaghegh Ardabili University during 2022. The experimental treatments included four types of biochar (no biochar as control, raw biochar, phosphoric acid-modified biochar, and nitric acid-modified biochar) and three levels of phosphorus (no phosphorus, 50 mg/L, and 100 mg/L). Measured parameters included hydrogen peroxide content, malondialdehyde (MDA), proline, soluble sugars in roots and leaves, and root fresh weight. The results showed that the highest leaf hydrogen peroxide content and chlorophyll b were observed in the treatment with nitric acid-modified biochar without additional phosphorus. The lowest chlorophyll b content was recorded in the same biochar treatment under no phosphorus application, which was approximately 20.64% lower than the nitric acid-modified biochar treatment with no extra phosphorus. The highest root hydrogen peroxide content was observed in the 100 mg/L phosphorus treatment, showing a significant increase of about 91% compared to the control. The maximum total chlorophyll and leaf proline contents were recorded under the control treatment with no phosphorus application. The lowest leaf hydrogen peroxide content (20.64% less than the highest) was observed in the control biochar treatment with high phosphorus. The highest leaf soluble sugar content was obtained in the control biochar with high phosphorus, while the maximum root soluble sugar was found in the control treatment. The highest leaf MDA content was recorded in the treatment without additional phosphorus, while the highest average root MDA content occurred in the high phosphorus treatment. Overall, the application of nitric acid-modified biochar in combination with high phosphorus levels was identified as the most effective treatment in mitigating the adverse effects of salinity stress on barley plants.

Keywords: Biochar, Soluble sugar, Proline, Hydrogen peroxide, Malondialdehyde

Corresponding author, Email: Saeid.khomari@tabrizu.ac.ir