فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۵۹، فروردین و اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۴۱۷-۴۳۱
https://doi.org/10.22034/13.59.417

مقاله پژوهشی

اثر اسید هیومیک و بیوچار کود گوسفندی بر غلظت برخی عناصر غذایی اندام هوایی و عملکرد گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.)

مریم موسی‌پور و محمد فیضیان*
گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد خاکی بیوچار کود گوسفندی و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی اندام هوایی گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) پژوهشی به‌صورت فاکتوریل دوعاملی بر پایه طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای صورت گرفت. فاکتورهای مورد استفاده شامل سه سطح بیوچار (صفر، ۱ و ۲ درصد وزنی) و سه سطح محلول‌پاشی اسید هیومیک (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در سه مرحله) بود. نتایج نشان داد اثر اصلی کاربرد بیوچار و اسید هیومیک بر وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، قطر ساقه، کربوهیدرات، کلروفیل فلورسانس، مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی مثبت و معنی‌دار گردید. اثرهای متقابل بیوچار و هیومیک اسید بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به‌جز وزن خشک ریشه، قطر ساقه و کربوهیدرات معنی‌دار شد. بطوریکه بیشترین وزن تر (۵۰/۹ گرم در گلدان) و خشک اندام هوایی (۵/۴ گرم در گلدان)، وزن تر ریشه (۲۷/۱۷ گرم در گلدان)، کلروفیل فلورسانس (۰/۹۴۴)، مقدار نیتروژن (۳/۶۲ درصد)، فسفر (۰/۳۸۳ درصد) و پتاسیم اندام هوایی (۴/۰۳ درصد) در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم اسید هیومیک +۲ درصد بیوچار و کمترین صفات مذکور در تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و اسید هیومیک) مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه (۰/۷۸۷ گرم در گلدان) و کربوهیدرات (۴/۲۵۳ میلی‌گرم در گرم) در اثر کاربرد ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و بیشترین قطر ساقه (۰/۴۶۱ سانتی‌متر) در تیمار ۲ درصد بیوچار مشاهده گردید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که مصرف خاکی بیوچار و محلول‌پاشی اسید هیومیک جهت افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی مرزه تابستانه توصیه می‌شود؛ اما چون‌که پژوهش مورد نظر در شرایط گلخانه‌ای صورت گرفته است، پیش از هرگونه توصیه کودی در شرایط مزرعه با توجه به نتایج این پژوهش بهتر است مورد ارزیابی و تأیید قرار گیرد.

کلمات کلیدی: عناصر پرمصرف، کودهای آلی، مرزه تابستانه، وزن تر و خشک

مقدمه

امروزه استفاده از انواع تحریک‌کننده‌های زیستی مانند ترکیبات هوموسی یکی از راهکارهای بهبود حاصلخیزی خاک است. اسید هیومیک یکی از ترکیب‌های آلی هوموسی و سازگار با طبیعت است که در اثر تجزیه مواد آلی به‌ویژه با منشأ گیاهی به وجود می‌آید (امینی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۸) و از منابع مختلف مانند خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسیدشده و زغال‌سنگ استخراج می‌شود (Albayrak and Camas, 2005).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: feizian.m@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

اسید هیومیک که مخلوطی از مولکول‌های بسیار بزرگ با قابلیت پیچیده‌شدن عناصر فلزی است، یکی از مهم‌ترین اجزای هوموس است (Albayrak and Camas, 2005). مهم‌ترین اثرهای کاربرد اسید هیومیک شامل تحریک تجمع بیوماس در گیاهان، تحریک جذب و تجمع عناصر غذایی معدنی، بهبود خصوصیات فیزیکی، بیوشیمیایی، بیولوژیک و حاصلخیزی خاک است (Izhar Shafi *et al*., 2020). نتایج تحقیقات مختلف اثر مثبت اسید هیومیک در بهبود رشد و عملکرد گیاهان دارویی را بیان کرده‌اند، به‌طوری‌که نتایج تحقیقات عسگریان و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید سبب افزایش وزن و تر و خشک اندام هوایی، محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی و تعداد گل گیاه همیشه‌بهار گردید. در گزارشی دیگر عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) بیان کردند که کاربرد سطوح ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک اثر معنی‌داری در افزایش وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه و نسبت وزن خشک برگ به ساقه در گیاه مرزه تابستانه داشت. به‌طوری‌که بیشترین مقادیر صفات مذکور در نتیجه محلول‌پاشی ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. نتایج تحقیقات رستمی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید موجب افزایش ویژگی‌های رشدی و ترکیب شیمایی گیاه نعناع سبز نسبت به سطح شاهد شد.

در دهه اخیر استفاده از ماده‌ای بنام بیوچار برای افزایش باروری خاک افزایش یافته است. بیوچار ماده‌ای جامد، متخلخل و غنی از کربن است که از تجزیه حرارتی بقایا و زیست‌توده‌های آلی در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن محدود طی فرایند گرماکافت تهیه می‌شود (Haider *et al*., 2021) که دارای ذخیره بالایی از کربن است (Zimmerman *et al*., 2011). بیوچار به دلیل ویژگی‌های ساختار ویژه از جمله سطح بالا و ساختار منافذ غنی، می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خوب برای بهبود رشد محصول با تعدیل شرایط خاک و با حفظ گروه‌های عملکردی خاک مورد استفاده قرار گیرد (Jiang *et al*., 2020). نتایج مطالعات نشان داده افزودن بیوچار به خاک به‌عنوان یک منبع کربن به خاک می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (Siedt *et al*., 2021; Zhang *et al*., 2021)، ویژگی‌های بیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک (Sheng and Zhu, 2018) و کیفیت و حاصلخیزی خاک شود (Siedt *et al*., 2021). گزارش‌های زیادی اثر مثبت بیوچار 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.

مرزه تابستانه با نام علمی (*Satureja hortensis* L.) و نام عمومی *Summer savory* از تیره نعناعیان (Lamiaceae) است. مرزه گیاه یک‌ساله علفی و گاهی هم بوته‌ای با ساقه‌های منشعب به طول تا ۱۰ سانتی‌متر و رنگ سبز کدر که با همین مشخصه با دیگر گونه‌ها متفاوت است (Yazdanpanah *et al*., 2011). این گیاه هم به‌صورت خوراکی و هم به شکل دارویی کاربرد دارد. از مهم‌ترین خواص درمانی این گیاه می‌توان به ضددرد، ضدباکتری، ضدسرطان، ضدالتهاب، ضدعفونی‌کننده، ضدقارچ، ضداسپاسم، معرق، هضم‌کننده غذا، ادرارآور، خلط‌آور، مسهل، مسکن، محرک و مقوی معده اشاره کرد (صالحی سورقمی، ۱۳۹۳). با توجه به اهمیت دارویی و غذایی گیاه مرزه، بررسی افزایش عملکرد و کیفیت این گیاه از طریق کودهای آلی اهمیت ویژه‌ای دارد، بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور اثر مصرف خاکی بیوچار و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های رشدی و غلظت عناصر غذایی مرزه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر اسید هیومیک و بیوچار کود گوسفندی بر برخی ویژگی‌های رشدی و مقدار عناصر غذایی اندام هوایی مرزه پژوهشی به‌صورت فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای (با میانگین دمای روزانه ۲۸–۲۰ درجه سانتی‌گراد، دمای شبانه ۱۸–۱۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی بین ۷۰–۶۰ درصد و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و بیوچار مورد استفاده

	pHs	بافت	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیتروژن کل	کربن آلی	پتاسیم	فسفر	آهن	روی	مس	منگنز
				درصد		میلی‌گرم بر کیلوگرم					
خاک	۷/۶	لوم	۰/۷۲	۰/۰۸	۰/۹	۲۸۰	۲۱	۵/۱	۱/۰۳	۱/۴۶	۷/۱۷
بیوچار	۱۰/۱	-	۱۲/۵۶	۱/۱۹	۲۱/۹	۱۳۳۰۰۰	۲۸۰۰	۱۹۵۰	۲۳۳	۱۰۲	۳۲۳

شدت نور ۵۰۰-۴۰۰ میکرومول بر مترمربع) صورت گرفت. فاکتور اول شامل سه سطح اسید هیومیک (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و فاکتور دوم سه سطح بیوچار (صفر، ۱ و ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) بودند. جهت انجام این پژوهش خاک لازم از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک واقع در ایستگاه دانشکده کشاورزی لرستان تهیه گردید. پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل: pH به روش عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه pHمتر (Thomas, 1996)، EC عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت الکتریکی (Rhoades *et al.*, 1996)، درصد مواد آلی به روش اکسایش تر (Nelson and Sommers, 1983)، نیتروژن کل به روش کلدال (Bremner., 1996)، فسفر قابل‌استفاده به روش عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم (Olsen *et al.*, 1954) و پتاسیم قابل استفاده خاک با استفاده از استات آمونیوم و خواندن با دستگاه شعله‌سنج (Knudsen *et al.*, 1982) تعیین شد (جدول ۱).

جهت تهیه بیوچار در ابتدا کود گوسفندی تازه پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری درون ورقه‌های آلومینیومی به مدت پنج ساعت و دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد درون کوره الکتریکی قرار داده شد تا فرآیند پیرولیس انجام شود (Lehmann *et al.*, 2003). برخی خصوصیات آن در جدول ۱ آمده است. همچنین اسید هیومیک مورد استفاده شده در این تحقیق به‌صورت پودری از شرکت فنی مهندسی سروستان پاک ایرانیان تهیه شد که دارای ۷۳ الی ۷۴ درصد اسید هیومیک و ۱۰ الی ۱۲ درصد پتاسیم (K_2O) بود. غلظت‌های مورد نظر اسید هیومیک پس از وزن کردن تهیه و به‌منظور اعمال تیمارها استفاده شدند.

جهت آزمایش‌های گلخانه‌ای پس از وزن کردن خاک هر گلدان سطوح بیوچار مذکور دو روز قبل از کشت به خاک اعمال شد. سپس در روز کشت تعداد ۱۰ عدد بذر مرزه تابستانه در عمق نیم تا یک سانتی‌متری خاک قرار داده و تا زمان برداشت به‌صورت منظم در حد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند. دو هفته بعد از نمایان شدن و پس از استقرار کامل، تعداد بوته‌ها به پنج عدد در هر گلدان کاهش یافت. محلول‌پاشی هیومیک در سه مرحله صورت گرفت؛ که اولین مرحله آن در مرحله چهار تا شش برگی و مراحل بعدی به فاصله ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. ۱۰ هفته پس از کاشت (قبل از وارد شدن به مرحله گلدهی)، بوته‌ها برداشت شد و برخی خصوصیات رشدی آن‌ها شامل وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع و قطر ساقه به روش‌های رایج اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک و توزین شدند. جهت اندازه‌گیری نیتروژن و فسفر اندام هوایی گیاه به ترتیب با روش‌های کجلدال (Bremner, 1996) و آمونیوم مولیبدات وانادات (Chapman and Pratt, 1962) استفاده شد. برای اندازه‌گیری پتاسیم، نمونه‌های خشک گیاهی با اسید نیتریک مخلوط و به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس در اجاق هضم قرار داده شد و غلظت آن‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و با روش نشر شعله‌ای اندازه‌گیری شد (طباطبایی، ۱۳۹۳). سپس مقدار آن‌ها بر حسب درصد وزن خشک گزارش شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس از دستگاه فلورومتر مدل (Pocket PEA) ساخت کشور انگلیس استفاده شد. به این صورت که یک برگ از قسمت میانی گیاه انتخاب و کلروفیل فلورسانس آن ثبت گردید. سنجش غلظت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

کربوهیدرات‌های محلول با استفاده از روش استاندارد انجام گرفت (Keles and Oncel, 2004). پس از به دست آوردن نتایج آزمایشگاهی و گلخانه‌ای، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزار MINITAB نسخه ۱۹ انجام و میانگین صفات اندازه‌گیری‌شده با استفاده از آزمون دانکن و در سطح آماری پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

بحث و نتایج

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر اصلی کاربرد سطوح مختلف بیوچار، اسید هیومیک و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام هوایی مثبت و معنی‌دار گردید.

مقایسه میانگین برهمکنش اثر کاربرد سطوح مختلف بیوچار و اسید هیومیک بر وزن تر و خشک اندام هوایی مرزه (شکل ۱) نشان داد بیشترین مقدار وزن تر (۵۰/۹ گرم در گلدان) و خشک (۵/۴ گرم در گلدان) به ترتیب در تیمار بیوچار ۲ درصد + ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک مشاهده شد. درحالی‌که کمترین وزن تر (۱۴/۷ گرم در گلدان) و خشک اندام هوایی (۰/۷) در تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و اسید هیومیک) به دست آمد. همان‌طور که مشاهده شد بین برخی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد به‌طوری‌که در سطح بیوچار ۱ درصد و شاهد (عدم کاربرد بیوچار) بین تیمار ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی مشاهده نشد.

هیومیک اسید از طریق افزایش جذب عناصر غذایی پرمصرف و تأثیر شبه‌هورمونی اسید هیومیک مربوط موجب افزایش رشد گیاه و در نتیجه افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌شود (Hafez *et al.*, 2015). گزارش‌های صورت گرفته افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه مرزه در اثر کاربرد اسید هیومیک بیان شده است (هراتیان و همکاران، ۱۴۰۱؛ زارع‌منش و همکاران، ۱۴۰۰).

بیوچار با داشتن سطح ویـژه و تراکم بار سطحی بالا توانایی بالایی در نگـهداری عناصـر غـذایی و آب قابل استفاده گیـاه دارد در نتیجه از شستشوی عناصر غذایی جلوگیری می‌نماید که این عمر سبب افزایش حاصلخیزی و در نتیجه بهبود عملکرد گیاه می‌گردد (Laird *et al.*, 2010). افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی در نتیجه کاربرد بیوچار توسط اصغری و همکاران (۱۴۰۲) و بهاروندی و همکاران (۱۴۰۲) و به ترتیب در گیاهان اسپرس (*Onobrychis viciifolia* Scop.) و نعناع فلفی گزارش شده که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

وزن تر ریشه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد اثر اصلی کاربرد سطوح مختلف بیوچار و اسید هیومیک و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر ریشه مثبت و معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین برهمکنش اثر کاربرد سطوح بیوچار و اسید هیومیک بر وزن تر ریشه (شکل ۲) نشان داد بیشترین (۲۷/۱۷ گرم در گلدان) و کمترین وزن تر ریشه (۱۱/۰۳ گرم در گلدان) به ترتیب مربوط به تیمار ۲ درصد بیوچار + ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک و تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و اسید هیومیک) مشاهده شد. درحالی‌که بین برخی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به ماهیت بیوچار، استفاده از آن با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و یا افزایش دسترس عناصر غذایی مانند فسفر و نیتروژن موجب افزایش پارامترهای رشدی گیاهان و در نتیجه وزن تر ریشه می‌شود. همچنین اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری سلول‌های ریشه به جذب بهتر مواد غذایی و توسعه بیشتر گیاه کمک می‌نماید (Saruhan *et al.*, 2011). گزارشی‌های مختلفی اثر مثبت بیوچار در افزایش وزن تر ریشه گیاه را گزارش کرده‌اند (عرب بافرانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ فخرآبادی و خوش‌سیمای، ۱۴۰۰) که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

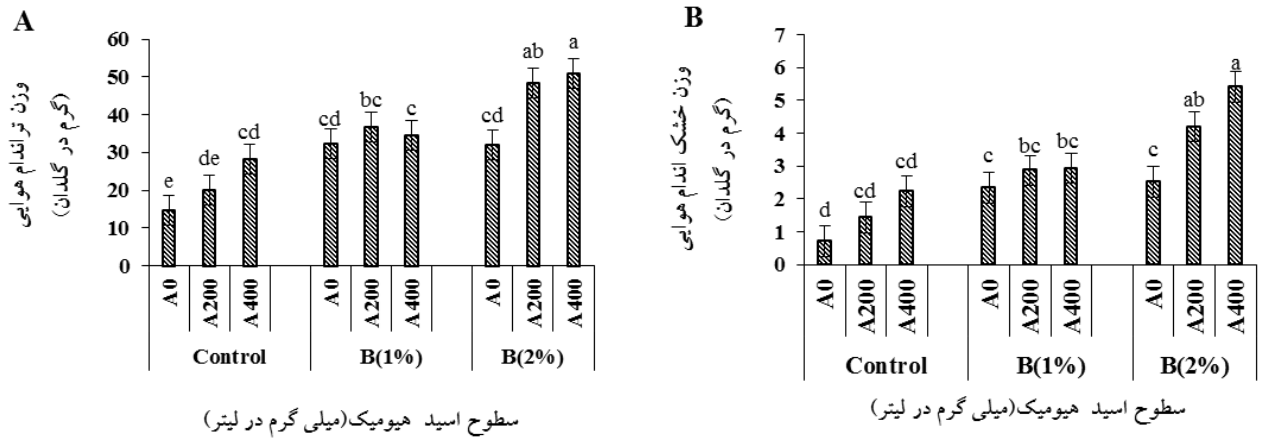
کلروفیل فلورسانس: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد اثر اصلی کاربرد بیوچار و اسید هیومیک و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار کلروفیل فلورسانس مثبت و معنی‌دار شد. براساس شکل ۳ بیشترین (۰/۹۴۴) و کمترین (۰/۷۷۵) مقدار کلروفیل فلورسانس به ترتیب در اثر کاربرد ۲ درصد بیوچار + ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک و تیمار شاهد مشاهده شد درحالی‌که بین برخی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد سطوح مختلف بیوچار و اسید هیومیک بر صفات اندازه‌گیری‌شده گیاه مرزه

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	قطر ساقه
اسید هیومیک	۲	۳۲۴/۹۱**	۶/۳۵۶**	۱۰۰/۰۳۰**	۰/۲۱۲**	۰/۰۳۶**
بیوچار	۲	۱۱۸۸/۵۸**	۱۵/۰۱۹**	۱۶۶/۲۲۵**	۰/۲۶۶**	۰/۰۷۷**
اسید هیومیک×بیوچار	۴	۷۲/۱۸*	۱/۰۱۲*	۱۲/۵۰۸*	۰/۰۳۹ ns	۰/۰۰۸ ns
خطا	۱۸	۱۹/۳۴	۰/۳۱۲	۲/۷۷۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۴
منابع تغییر		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلرفیل فلورسانس	کربوهیدرات
اسید هیومیک	۲	۲/۸۶۸**	۰/۰۱۷**	۰/۹۵۰**	۰/۰۱۲**	۳/۶۷۹**
بیوچار	۲	۱/۸۲۸**	۰/۰۱۳**	۳/۷۷۶**	۰/۰۱۸**	۲/۷۱۶**
اسید هیومیک×بیوچار	۴	۰/۰۷۰ *	۰/۰۰۱**	۰/۰۵۱*	۰/۰۰۱**	۰/۰۴۹ns
خطا	۱۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۴

****، * و ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.**



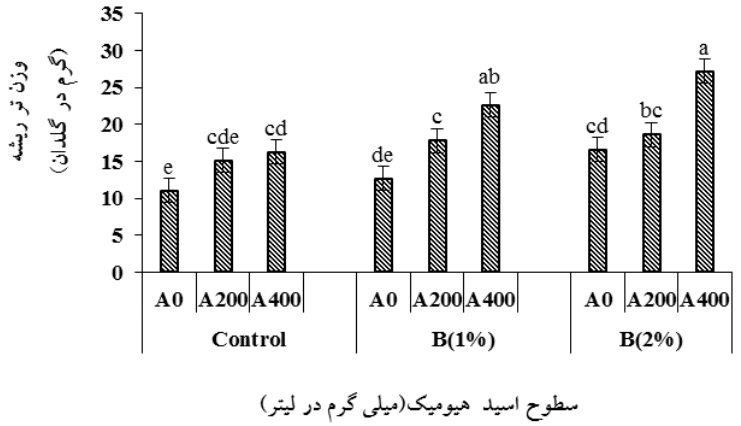
شکل ۱- اثر متقابل کاربرد بیوچار و اسید هیومیک بر وزن تر (A) و وزن خشک (B) اندام هوایی مرزه.

(Control: شاهد، B(1%): تیمار ۱ درصد بیوچار، B(2%): تیمار ۲ درصد بیوچار، A0: شاهد، A200: تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، A400: تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک)

کلرفیل فلورسانس معیاری مناسب جهت ارزیابی وضعیت فیتوشیمیایی گیاه است (Rathke *et al.*, 2005). اثر تیمارهای مختلف اسید هیومیک و بیوچار بر میزان کلروفیل فلورسانس گیاه می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که این دو کود می‌توانند در سیستم فتوسنتزی گیاه مؤثر واقع شوند. برخی محققان اثر اسید هیومیک بر افزایش کلروفیل برگ را، به تأثیر این ماده در افزایش میکروارگانیسم‌های خاک برای آزاد کردن مواد مغذی بیشتر از ذخایر غیرقابل دسترس، نسبت داده‌اند (Ferrara and Brunetti, 2010). مطالعات شاهسون و چمنی (۱۳۹۳) و محمدی و همکاران (۱۴۰۱) به ترتیب افزایش مقدار کلروفیل فلورسانس در گیاه شب‌بو و تریتیکاله در اثر کاربرد اسید هیومیک را مشاهده کردند که با نتایج این پژوهش مشابهت دارد.

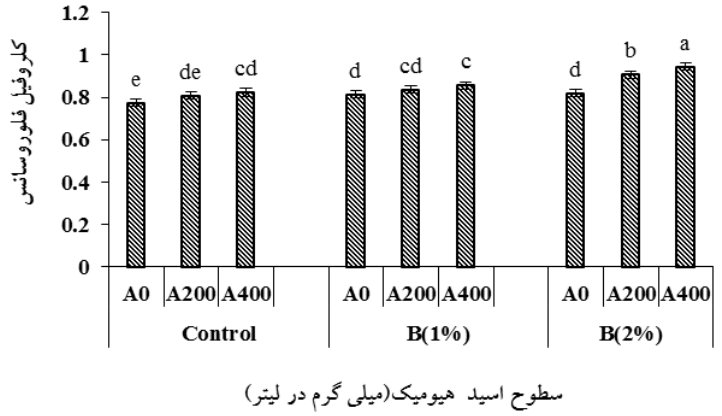
عناصر اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد اثر اصلی کاربرد بیوچار و اسید هیومیک و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



شکل ۲- اثر متقابل کاربرد بیوچار و اسید هیومیک بر وزن تر ریشه مرزه

(Control: شاهد، B(1%): تیمار ۱ درصد بیوچار، B(2%): تیمار ۲ درصد بیوچار، A0: شاهد، A200: تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، A400: تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک)



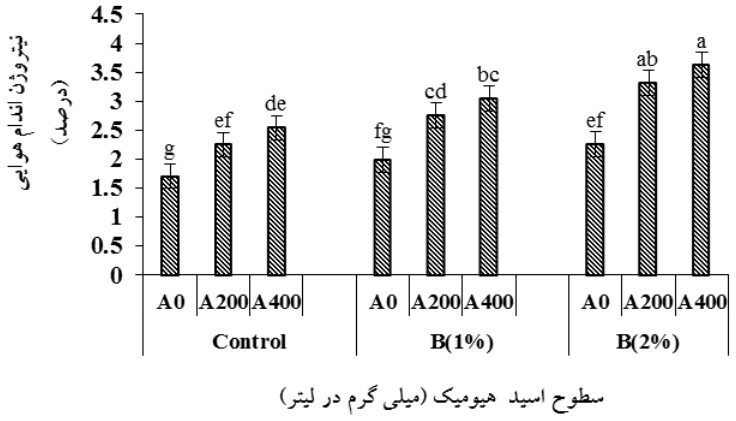
شکل ۳- اثر متقابل کاربرد بیوچار و اسید هیومیک بر کلروفیل فلورسانس مرزه

(Control: شاهد، B(1%): تیمار ۱ درصد بیوچار، B(2%): تیمار ۲ درصد بیوچار، A0: شاهد، A200: تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، A400: تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک)

مرزه مثبت و معنی‌دار گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۴) بیشترین (۳/۶۲ درصد) و کمترین (۱/۷ درصد) نیتروژن اندام هوایی مرزه به ترتیب در تیمار ۲ درصد بیوچار + ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک و تیمار شاهد مشاهده شد درحالی‌که بین برخی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج همچنین نشان داد (شکل ۴) در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم+ عدم استفاده از بیوچار مقدار نیتروژن (۲/۵۳۹ درصد) را نسبت به تیمار ۲ درصد بیوچار +عدم کاربرد اسید هیومیک (۲/۲۵۲ درصد) بطور معنی‌داری بیشتر افزایش داد بنابراین می‌توان گفت در این تحقیق اسید هیومیک کارایی جذب نیتروژن را بیشتر تحت تأثیر قرار داده است.

افزایش میزان نیتروژن در اثر کاربرد هیومیک اسید را می‌توان چنین توجیه نمود که هیومیک اسید با تحریک جذب NO_3^- توسط افزایش بیان پروتئین حامل نیتروژن در سطح غشای سلولی و همچنین تغییر در میزان کاتیون‌ها جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد (زارع‌منش و همکاران، ۱۴۰۰).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



شکل ۴- اثر متقابل کاربرد بیوچار و اسید هیومیک بر نیتروژن اندام هوایی مرزه

(Control: شاهد، B(1%): تیمار ۱ درصد بیوچار، B(2%): تیمار ۲ درصد بیوچار، A0: شاهد، A200: تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، A400: تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک)

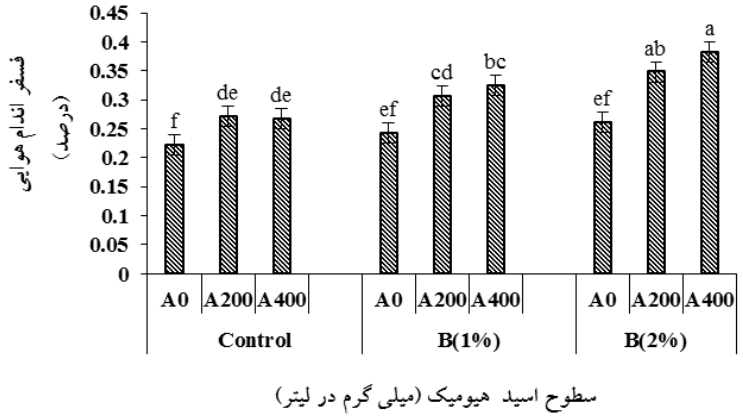
همچنین می‌توان اثر هورمونی شبیه جیبرلین این ماده را در جذب نیتروژن دخیل مرتبط دانست (Khaled and Fawy, 2011). اسید هیومیک با بهبود تولید قند، پروتئین و ویتامین در گیاه و نیز تأثیر مثبتی که بر جنبه‌های مختلف فتوسنتز دارد محتوای غذایی محصولات را افزایش می‌دهد (Khaled and Fawy, 2011). نتایج تحقیقات زارع‌منش و همکاران (۱۴۰۰) و وطن‌خواه و همکاران، (۱۳۹۵) به ترتیب افزایش محتوی نیتروژن گیاه در اثر کاربرد هیومیک اسید را در برگ‌های مرزه خوزستانی و برگ درخت انگور را گزارش نمودند.

تحقیقات نشان داده است بیوچار مانند یک منبع حاصلخیز کننده و نگه‌دارنده تعادل غذایی در خاک با افزایش زیست‌فراهمی و نگهداری عناصر مغذی از جمله نیتروژن سبب افزایش رشد گیاهان و بازدهی محصول خواهد شد (Farrell *et al.*, 2014; Jeffery *et al.*, 2011). بطورکلی مطالعات نشان داده افزودن بیوچار به خاک سبب افزایش زیست‌فراهمی نیتروژن و جذب آن می‌شود (بهاروندی و همکاران، ۱۴۰۲؛ Nigussie *et al.*, 2012). نتایج گزارشی نشان داد کاربرد بیوچار محتوی نیتروژن اندام هوایی نعناع را افزایش داد به‌طوری‌که در اثر کاربرد بیوچار مقدار نیتروژن در تیمار شاهد از ۱/۷۴ درصد به ۱/۸۴ درصد افزایش یافت (زعفریان و همکاران، ۱۳۹۸).

نتایج همچنین نشان داد بیشترین (۰/۳۸۳ درصد) مقدار فسفر اندام هوایی در تیمار بیوچار ۲ درصد + ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک و کمترین (۰/۲۲۳ درصد) آن در تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۵). هر چند بین برخی سطوح تیمارهای بکار گرفته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در خاک‌های معدنی اورتوفسفات و ماده آلی بیشتر جذب سطح هیدروکسیل از گروه‌های هیدروکسیدی فلزی می‌شوند؛ که استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی که غنی از کربن باشند موجب افزایش قابلیت زیستی فسفر می‌شوند (Ding *et al.*, 2012). تحقیقات نشان داده است که اسید هیومیک در خاک‌های آهکی موجب افزایش زیست‌فراهمی و حتی افزایش بازدهی فسفر در این خاک‌ها شود (نظری و همکاران، ۱۳۹۸).

Chintala و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند، بیوچار می‌تواند قابلیت استفاده فسفر را از طریق جذب سطحی و همچنین از طریق افزایش CEC خاک، افزایش دهد و به دنبال آن جذب فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد. محققان بر این باورند که بیوچار حاصل از فضولات دامی منبع با ارزشی از فسفر برای گیاهان زراعی و در نتیجه راه‌حلی پایدار برای مشکل کمبود فسفر در بسیاری از خاک‌های زراعی است (Marchetti and Castelli, 2013; Vassilev *et al.*, 2013). در تحقیقی (بهاروندی و همکاران، ۱۴۰۲) با بررسی اثر سطوح مختلف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



شکل ۵- اثر متقابل کاربرد بیوچار و اسید هیومیک بر فسفر اندام هوایی مرزه

(Control: شاهد، B(1%): تیمار ۱ درصد بیوچار، B(2%): تیمار ۲ درصد بیوچار، A0: شاهد، A200: تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، A400: تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک)

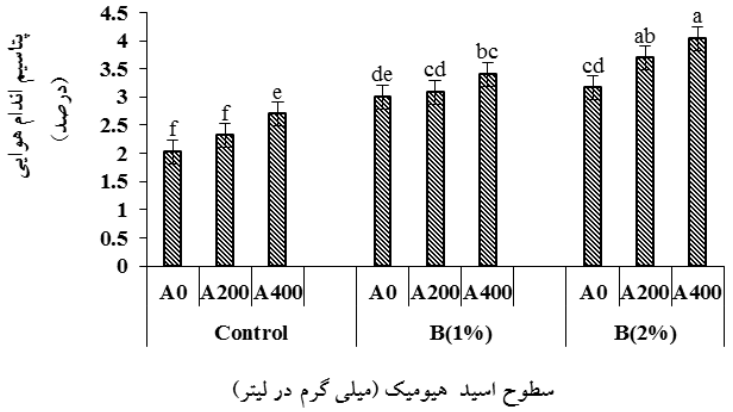
بیوچار کاه گندم بر محتوی فسفر اندام هوایی نعناع مشاهده شد که کاربرد ۲ و ۴ درصد بیوچار غلظت فسفر در اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد. در گزارشی دیگر کاربرد ۵ و ۱۰ درصد حجمی بیوچار بطور معنی‌داری موجب افزایش فسفر اندام هوایی ریحان شد بطوریکه بیشترین محتوی فسفر گیاه (۰/۱۶ درصد) در تیمار ۱۰ درصد حجمی مشاهده شد (فخرآبادی و خوش‌سیمایی، ۱۴۰۰).

همان‌طور که مشاهده گردید پتاسیم نیز مانند نیتروژن و فسفر در نتیجه کاربرد اسید هومیک و بیوچار افزایش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین (۴/۰۳۸ درصد) مقدار پتاسیم اندام هوایی در تیمار ۲ درصد بیوچار + ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک مشاهده گردید که با تیمار ۲ درصد بیوچار + ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۶). کمترین محتوی پتاسیم (۲/۰۳۲ درصد) در تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و اسید هیومیک) به دست آمد درحالی‌که با تیمار تحت محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و عدم کاربرد بیوچار تفاوت معنی‌داری مشاهده نداشت (شکل ۶). محققان براین باورند که افزایش مقدار عناصر اندام هوایی گیاه مانند پتاسیم را به دریافت مستقیم این عناصر از طریق جذب برگی در نتیجه استفاده از اسید هیومیک دانست. همچنین اسید هیومیک با اسیدی‌کردن خاک سبب تسهیل در انحلال پتاسیم شده و میزان دسترسی و جذب این عصر را توسط گیاه افزایش می‌دهد (Sanchez *et al*., 2002).

در گزارشی بررسی اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر غلظت عناصر گیاه مرزه بیان کردند بیشترین مقدار پتاسیم (۹۰۰۰ میلی‌گرم) در اثر کاربرد ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اسید هیومیک به دست آمد (زارع‌منش و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات علی‌پور و همکاران (۱۴۰۱) نیز افزایش محتوی پتاسیم برگ پسته را در نتیجه محلول‌پاشی اسید هیومیک را گزارش نمودند که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

محققان عقیده دارند که بیوچار با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک فراهمی پتاسیم برای گیاه را افزایش می‌دهد (Van Zwieten *et al*., 2010). از طرفی می‌توان این‌گونه بیان نمود که بیوچار یک منبع سرشار از کاتیون‌های محلول مانند پتاسیم است که عامل مهمی در افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی است. عرب بافرانی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی اثر بیوچار ضایعات شاخ و برگ درخت پسته بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ دریافتند بالاترین میزان پتاسیم اندام هوایی در سطح ۴ درصد بیوچار مشاهده شد که بطور مشابه بهاروندی و همکاران (۱۴۰۲) نیز افزایش پتاسیم اندام هوایی نعناع فلفلی در نتیجه کاربرد بیوچار را گزارش کردند که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



شکل ۶- اثر متقابل کاربرد بیوچار و اسید هیومیک بر پتاسیم اندام هوایی مرزه

(Control: شاهد، B(1%): تیمار ۱ درصد بیوچار، B(2%): تیمار ۲ درصد بیوچار، A0: شاهد، A200: تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، A400: تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک)

با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

وزن خشک ریشه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۲) اثر اصلی کاربرد سطوح مختلف بیوچار و اسید هیومیک بر وزن خشک ریشه گیاه مثبت و معنی‌دار گردید درحالی‌که اثر متقابل آن‌ها رابطه معنی‌داری را نشان نداد. براساس نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۳) اثر اصلی اسید هیومیک سبب افزایش وزن خشک ریشه گیاه شد به این ترتیب که در تیمار ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک به ترتیب ۲۷/۲۲ و ۶۳/۶۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین کاربرد سطوح بیوچار سبب افزایش وزن خشک ریشه گیاه شد هر چند بین سطح ۱ و ۲ درصد وزنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به این صورت که در سطح ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار نسبت به شاهد به ترتیب وزن خشک ریشه ۵۴/۳۵ و ۷۶/۸۳ درصد افزایش یافت. همان‌طور که مشاهده گردید در اثر کاربرد اسید هیومیک و بیوچار وزن تر ریشه افزایش معنی‌داری داشت که پیرو آن وزن خشک نیز افزایش می‌یابد. برخی محققان عقیده دارند افزایش وزن خشک ریشه در نتیجه تغییرات ویژگی‌های خاک به دلیل افزودن بیوچار است (Olmo *et al.*, 2016). عباس‌نسب و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که افزودن دو سطح ۰/۵ و ۱ درصد وزنی بیوچار سبب افزایش وزن خشک ریشه دو گونه یونجه شد درحالی‌که این افزایش در سطح ۰/۵ درصد وزنی بیشتر از ۱ درصد مشاهده گردید. اسید هیومیک با تولیدکردن اسیدهای آمینه و نوکلئیک زیاد؛ تکثیر سلولی را در کل گیاه و به‌خصوص در ریشه آن‌ها افزایش می‌دهد (Saruhan *et al.*, 2011). **نتایج** آزمایش‌های عزیزی و همکاران نشان داد که کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک (۲۵۰، ۵۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) سبب افزایش وزن خشک ریشه مرزه شد که مشابه نتایج این تحقیق است.

قطر ساقه: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر اصلی کاربرد سطوح بیوچار و اسید هیومیک بر قطر ساقه مثبت و معنی‌دار شد، درحالی‌که اثر متقابل تیمارها اثر معنی‌داری بر آن نداشت. نتایج نشان داد (جدول ۳) اثر اصلی کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش قطر ساقه گیاه شد. به‌طوری‌که در اثر کاربرد ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به ترتیب قطر ساقه ۲۷/۲۷ و ۴۰/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح مختلف بیوبار افزایش قطر ساقه گیاه مرزه را در پی داشت (هر چند بین سطح ۱ و ۲ درصد بیوبار تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد). به‌طوری‌که در سطوح ۱ و ۲ درصد بیوچار به ترتیب قطر ساقه نسبت به شاهد ۴۱/۷۲ و ۶۵/۸۲ درصد افزایش یافت. محققان بیان کردند یکی از دلایل افزایش قطر ساقه در شرایط استفاده از اسید هیومیک، افزایش فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی کاربرد بیوچار اسید هیومیک بر وزن خشک ریشه و قطر ساقه گیاه مرزه

تیمارها	سطوح	وزن خشک ریشه (گرم)	قطر ساقه (سانتی‌متر)	کربوهیدرات (میلی‌گرم بر گرم)
اسید هیومیک	۰	۰/۴۸۱[b]	۰/۳۰۸[b]	۲/۹۷۸[c]
	۲۰۰	۰/۶۱۲[ab]	۰/۳۹۲[a]	۳/۶۹۴[b]
	۴۰۰	۰/۷۸۷[a]	۰/۴۳۴[a]	۴/۲۵۳[a]
بیوچار	۰	۰/۴۳۶[b]	۰/۲۷۸[b]	۳/۰۲۴[c]
	۱ درصد	۰/۶۷۳[a]	۰/۳۹۴[a]	۳/۸۲۷[b]
	۲ درصد	۰/۷۷۱[a]	۰/۴۶۱[a]	۴/۰۷۵[a]

اعدادی که در هر ردیف دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.

میکروارگانیسم‌ها است؛ زیرا میکروارگانیسم‌ها تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین، جیبرلین و سیتوکینین را افزایش می‌دهند. از طرفی افزایش سیتوکینین باعث افزایش سطح تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن سلولی و نهایتاً باعث افزایش قطر ساقه گیاه می‌گردد (De Sanfilippo *et al.*, 1990). محققین دیگر تأثیر مثبت اسید هیومیک در افزایش قطر ساقه را به جذب عناصر نیتروژن و مخصوصاً فسفر، مرتبط دانستند که این عناصر سبب افزایش رشد گیاه و قطر ساقه می‌گردد (Fatma *et al.*, 2015). افزایش قطر ساقه گیاه در اثر کاربرد اسید هیومیک توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (رشیدی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۹؛ Abourayya *et al.*, 2020). همان‌طور که ذکر شد افزودن مستقیم عناصر غذایی به خاک، افزایش دسترسی و حفظ عناصر غذایی از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأثیرات مثبت بر میکروارگانیسم خاک از جمله دلایل تأثیر مثبت بیوچار بر خصوصیات رشدی گیاه از جمله قطر ساقه است. گزارش‌های مختلفی افزایش قطر ساقه در نتیجه کاربرد بیوچار را گزارش کرده‌اند که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد (نیکبخت و همکاران، ۱۴۰۱؛ اصغری و همکاران، ۱۴۰۲).

کربوهیدرات: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد اثرات اصلی اسید هیومیک و بیوچار بر مقدار کربوهیدرات مرزه مثبت و معنی‌دار شد درحالی‌که اثرات متقابل آن‌ها بر این ویژگی معنی‌دار نشد. براساس نتایج (جدول ۳) کاربرد ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به شاهد به ترتیب مقدار کربوهیدرات گیاه را ۲۴/۰۴ و ۵۵/۹۷ درصد افزایش داد. همچنین کاربرد ۱ و ۲ درصد بیوچار به ترتیب مقدار کربوهیدرات گیاه را نسبت به شاهد ۲۶/۵۵ و ۳۴/۷۵ درصد افزایش داد. بطورکلی گزارش شده که کودهای آلی با فراهم‌کردن و رهاسازی آسان و سریع‌تر عناصر مورد نیاز در فتوسنتز موجب افزایش مقدار کربوهیدرات گیاهان می‌شوند (AL Erwy *et al.*, 2016). صبوری و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعه اثر محلول‌پاشی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه مرزه گزارش کردند که کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار کربوهیدرات در گیاه مرزه شد که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد. مطالعات اصغری و همکاران (۱۴۰۲) نشان داد که کاربرد بیوچار تفاله بادام سبب افزایش ۱۵۳/۵ درصدی محتوی کربوهیدرات‌های محلول گیاه اسپرس (*Onobrychis viciifolia* Scop.) شد. درحالی‌که مطالعات کیانی و همکاران (۱۴۰۲) نشان داد کاربرد ۱۵ تن در هکتار بیوچار سبب کاهش محتوی کربوهیدرات گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) شد که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد.

نتیجه‌گیری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد بیوچار و اسید هیومیک موجب افزایش ویژگی‌های رشدی و غلظت عناصر غذایی اندام هوایی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط گلخانه‌ای شد. به‌طوری‌که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، کلروفیل فلورسانس، مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم اسید هیومیک +۲ درصد بیوچار و کمترین صفات مذکور در تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و اسید هیومیک) مشاهده شد. هر چند بین برخی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت مصرف خاکی ۲ بیوچار و محلول‌پاشی اسید هیومیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک جهت افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی مرزه تابستانه توصیه می‌شود؛ اما چون که پژوهش مورد نظر در شرایط گلخانه‌ای صورت گرفته است، پیش از هر گونه توصیه کودی در شرایط مزرعه با توجه به نتایج این پژوهش بهتر است مورد ارزیابی و تأیید قرار گیرد.

منابع

اصغری، محمدرضا، خماری، سعید، و داوری، مهدی (۱۴۰۲). اثر کاربرد قارچ تریکودرما و انواع بیوچار بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاهچه اسپرس رشدیافته در خاک حاوی فلزات سنگین. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۴)، ۲۱۹-۲۳۸. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1402.12.54.14.4

امینی‌فرد، محمد حسین، احمدی، فریده، و قزل، رحمان (۱۳۹۸). تأثیر سطوح اسید فولویک و کود دامی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گل زعفران در سال اول. *پژوهش‌های زعفران*، ۷(۲)، ۲۹۹-۳۱۰. https://doi.org/10.22077/jsr.2018.1013.1044

بهاروندی، فهیمه، فیضیان، محمد عبدی، صمد و عالی‌نژادیان بیدآبادی، افسانه (۱۴۰۲). اثر نوع بیوچار و زیست‌توده بر رشد گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در خاک آلوده به کادمیم. *پژوهش‌های خاک*، ۳۷(۱)، ۳۳-۴۹. https://doi.org/10.22092/ijsr.2023.358547.664

رشیدی‌فرد، عاطفه، چرم، مصطفی، نوروزی مصیر، مرتضی، و روشنفکر، حبیب‌الله (۱۳۹۹). تأثیر کاربرد اسید هیومیک و عنصر روی بر برخی ویژگی‌های رشد و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهچه ذرت تحت تنش شوری خاک. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱(۹۹)، ۲۳۹۳-۲۴۰۲. 10.22059/IJSWR.2020.303784.668638

رستمی، قادر، مقدم، محمد، سعیدی پویا، الهام، و آژدانیان، لادن (۱۳۹۸). اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نعناع سبز (*Mentha spicata* L.) تحت تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۲(۱)، ۹۵-۱۱۰. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1296.1264

زارع‌منش، حدیث، عیسوند، حمیدرضا، اکبری، ناصر، اسماعیلی، احمد، و فیضیان، محمد (۱۴۰۰). بررسی تأثیر اسید هیومیک بر تغییرات غلظت عناصر غذایی برگ، ریشه و ساقه مرزه خوزستانی در شرایط تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۰(۴۱)، ۱-۱۶. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.15.5

زعفریان، فائزه، اکبرپور، وحید، حبیبی، مریم، و کاوه، محمد (۱۳۹۸). تأثیر بیوچار و کودهای زیستی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و محتوای عناصر غذایی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۱(۴)، ۴۰۷-۴۲۲. https://doi.org/10.22059/jci.2019.279035.2194

شاهسون مارکده، محسن، و چمنی، اسماعیل (۱۳۹۳). تأثیر غلظت و زمان‌های مختلف کاربرد اسید هیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل بریده شب‌بو "رقم Hanza". *مجله روابط خاک و گیاه*، ۵(۱۹)، ۱۵۷-۱۷۰. http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1393.5.3.13.9

صبوری، فرنوش، سیروس مهر، علیرضا، و گرگینی شبانکاره، حسین (۱۳۹۶). اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی هیومیک اسید بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی مرزه (*Satureia hortensis* L.). *نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۹(۳۴)، ۲۴-۱۳. 10.22108/IJPB.2018.22437

صالحی سورمقی، محمدحسین (۱۳۹۳). گیاهان دارویی و گیاه‌درمانی. جلد سوم، انتشارات دنیای تغذیه، تهران.

طباطبایی، سیدجلال (۱۳۹۳). اصول تغذیه معدنی گیاهان. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.

عباس‌نسب، زهرا، عابدی، مهدی، و ساداتی، سیداحسان (۱۴۰۰). اثر بیوچار بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو گونه (علف پشمکی) *Bromus tomentellus* و (یونجه) *Medicago sativa*. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۰(۴۱)، ۱۴۵-۱۵۶. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.4.4

عرب بافرانی، زهرا، قانعی بافقی، محمدجواد، و شیرمردی، مصطفی (۱۳۹۹). اثر بیوچار ضایعات شاخ و برگ درخت پسته بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ. *مجله مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۰(۳)، ۹۴-۷۳. 10.22069/EJSMS.2021.17831.1937

عسگریان، هوشمند، عبدوسی، وحید، دانائی، الهام، و لادن مقدم، علیرضا (۱۴۰۰). تأثیر کاربرد توأم اسید هیومیک و سلنیوم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) تحت تنش شوری. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۷(۴)، ۶۱۱-۵۹۶. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.353520.2940

عزیزی، الهام، جناتی، نفیسه، و آرمین، محمد (۱۳۹۹). تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست. *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۵(۵۹)، ۱۱۲-۹۹. https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1399.15.59.8.5

علی‌پور، حمید، رضوی نسب، اعظم، حسینی‌فرد، سید جواد (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد اسید هیومیک بر ویژگی‌های رشدی، کدو و عملکرد پسته. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۲(۴)، ۱۳۳-۱۱۷. https://doi.org/10.22069/ejsms.2023.20659.2077

فخرآبادی، حامد، و خوش‌سیمای، مرتضی (۱۴۰۰). اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۵(۴)، ۹۵۴-۹۴۱. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.2021.15.4.17.7

کیانی، هاوری، خالصرو، شیوا، مختصی بیدگلی، علی، و شریفی، زاهد (۱۴۰۲). تأثیر بیوچار و تنش خشکی بر برخی سازوکارهای حفاظتی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.). *نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۹(۲)، ۳۰۲-۲۸۵. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.360517.3253

محمدی کله سرلو، سارا، سید شریفی، رئوف، و نریمانی، حامد (۱۴۰۱). اثر ورمی‌کمپوست، اسید هیومیک و فلاوباکتریوم بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک تریتیکاله در شرایط شوری خاک. *نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۵(۲)، ۲۰۲-۱۸۳. https://doi.org/10.22077/escs.2021.4179.1982

نظری، طالب، بارانی مطلق، مجتی، دردی‌پور، اسماعیل، قربانی نصرآبادی، رضا، و سفیدگر شاهکلایی، سمیه (۱۳۹۸). مقایسه مصرف خاکی، محلول‌پاشی و همراه با آب آبیاری اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های رشدی و فراهمی آهن و فسفر در گیاه کلزا. *نشریه مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)*، ۴۲(۴)، ۱۴-۱. https://doi.org/10.22055/agen.2019.29783.1494

نیکبخت، جعفر، پرویزی، آرزو، و برزگر، طاهر (۱۴۰۱). اثر کاربرد بیوچار بر عملکرد و بهروری آب کاهو در شرایط کم‌آبیاری. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲(۴)، ۸۷۱-۷۵۹. https://doi.org/10.22059/jwim.2022.342723.997

وطن‌خواه، اکرم، محمدخانی، عبدالرحمان، هوشمند، سعدلله، و کیانی، شهرام (۱۳۹۵). اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و سولفات آهن بر برخی شاخص‌های فیزیولوژی، کمیت و کیفیت میوه انگور رقم "عسکری". *مجله تولید و فرآوری گیاهان زراعی*، ۶(۲۲)، ۱۱۹-۱۰۷. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.22.107

هراتیان، آذین، مرتضایی نژاد فروغ کلاته جاری، سپیده، و فاتحی فواد (۱۴۰۱). بهبود برخی شاخص‌های ریختی، بیوشیمیایی و فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز تحت تأثیر کاریکین، اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک در گل لیزیانتوس (*Eustoma grandiflorum* cv. "Mariachi"). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۱(۵۱)، ۲۹۴-۲۷۱. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.51.17.4

Abourayya, M. S., Kaseem, N. E., Mahmoud, T. S. M., Rakha, A. M., Eisa, R. A., & Amin, O. A. (2020). Impact of soil application with humic acid and foliar spray of milagro bio-stimulant on vegetative growth and mineral nutrient uptake of Nonpareil almond young trees under Nubaria conditions. *Bulletin of the National Research Centre*, *44*, 1-8. https://doi.org/10.1186/s42269-020-00296-x

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

Al-Erwy, A. S., Al-Toukhy, A., & Bafeel, S. O. (2016). Effect of chemical, organic and bio fertilizers on photosynthetic pigments, carbohydrates and minerals of Wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated with sea water. *Agricultural and Food Sciences, Environmental Science*, *3*(2), 296-310.

Albayrak, S, & Camas, N. (2005). Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). *Journal of Agronomy, 4(2),* 130-133. https://doi.org/10.3923/ja.2005.130.133

Bremner, J. M. (1996). Nitrogen Total. In: Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series 5 (ed. Sparks, D. L.) Pp. 1085-1122. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37

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

Chapman, H. D, & Pratt, P. F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, *93*(1), 68. https://doi.org/10.1097/00010694-196201000-00015

De Sanfilippo, E. C., Arguello, J. A., Abdala, G., & Orioli, G. A. (1990). Content of auxin-inhibitor-and gibberellin-like substances in humic acids. *Biologia Plantarum*, *32*, 346-351.

Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2014). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *60*(3), 393-404. https://doi.org/10.1080/03650340.2013.789870

Ding, X., Song, X., & Boily, J. F. (2012). Identification of fluoride and phosphate binding sites at FeOOH surfaces. *The Journal of Physical Chemistry C*, *116*(41), 21939-21947. https://doi.org/10.1021/jp3083776

Fatma, K. M. S., Morsey, M. M., & Thanaa, S. M. (2015). Influence of spraying yeast extract and humic acid on fruit maturity stage and storability of" Canino" apricot fruits. *International Journal of ChemTech Research*, *8*(6), 530-543. http://sphinxsai.com/2015/ch_vol8_no6/2/(530-543)V8N6CT.pdf

Ferrara, G, & Brunetti, G. (2010). Effects of the times of application of a soil humic acid on berry quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) cv Italia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *8*(3), 817-822. https://doi.org/10.5424/1283

Hafez, M. M., Shafeek, M. R., Mahmoud, A. R., & Ali, A. H. (2015). Beneficial effects of nitrogen fertilizer and humic acid on growth, yield and nutritive values of spinach (*Spinacia olivera* L.). *Journal of Applied Sciences*, *5*(02), 597-603.

Haider, F. U., Coulter, J. A., Cheema, S. A., Farooq, M., Wu, J., Zhang, R., & Liqun, C. (2021). Co-application of biochar and microorganisms improves soybean performance and remediate cadmium contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *214*, 112112. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112112

Izhar Shafi, M., Adnan, M., Fahad, S., Wahid, F., Khan, A., Yue, Z., & Datta, R. (2020). Application of single superphosphate with humic acid improves the growth, yield and phosphorus uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) in calcareous soil. *Agronomy*, *10*(9), 1224. https://doi.org/10.3390/agronomy10091224

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems and environment*, *144*(1), 175-187. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015

Jiang, Z., Lian, F., Wang, Z., & Xing, B. (2020). The role of biochars in sustainable crop production and soil resiliency. *Journal of Experimental Botany*, *71*(2), 520-542. https://doi.org/10.1093/jxb/erz301

Keles, Y, & Oncel, I. (2004). Growth and solute composition in two wheat species experiencing combined influence of stress conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, *51*, 203-209. http://dx.doi.org/10.1023/B:RUPP.0000019215.20500.6e

Knudsen, D., Peterson, G. A., & Pratt, P. F. (1983). Lithium, sodium, and potassium. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, *9*, 225-246. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c13

Khaled, H, & Fawy, H. A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*, *6*(1), 21-29.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

http://dx.doi.org/10.17221/4/2010-SWR

Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, *249*, 343-357. http://dx.doi.org/10.1023/A:1022833116184

Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, *158*(3-4), 436-442. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.012

Marchetti, R, & Castelli, F. (2013). Biochar from swine solids and digestate influence nutrient dynamics and carbon dioxide release in soil. *Journal of Environmental Quality*, *42*(3), 893-901. https://doi.org/10.2134/jeq2012.0352

Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., & Ambaw, G. (2012). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, *12*(3), 369-376. http://10.140.5.162//handle/123456789/2246

Nelson, D. W, & Sommers, L. E. (1983). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, *9*, 539-579. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29

Olsen, S. R. (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. US Department of Agriculture. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34

Olmo, M., Villar, R., Salazar, P., & Alburquerque, J. A. (2016). Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. *Plant and Soil*, *399*, 333-343. https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-015-2700-5

Rathke, G. W., Christen, O., & Diepenbrock, W. (2005). Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*, *94*(2-3), 103-113. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.11.010

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, *5*, 417-435. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14

Sanchez-Sanchez, A., Sanchez-Andreu, J., Juarez, M., Jorda, J., & Bermudez, D. (2002). Humic substances and amino acids improve effectiveness of chelate FeEDDHA in lemon trees. *Journal of Plant Nutrition*, *25*(11), 2433-2442. https://doi.org/10.1081/PLN-120014705

Saruhan, V., Kusvuran, A., & Kokten, K. (2011). The effect of different replications of humic acid fertilization on yield performances of common vetch (*Vicia sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*, *10*(29), 5587-5592. https://doi.org/10.5897/AJB10.2199

Siedt, M., Schaffer, A., Smith, K. E., Nabel, M., Roß-Nickoll, M., & Van Dongen, J. T. (2021). Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. *Science of the Total Environment*, *751*, 141607. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141607

Sheng, Y, & Zhu, L. (2018). Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. *Science of the Total Environment*, *622*, 1391-1399. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.337

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

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, *5*, 475-490. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16

Vassilev, N., Martos, E., Mendes, G., Martos, V., & Vassileva, M. (2013). Biochar of animal origin: A sustainable solution to the global problem of high-grade rock phosphate scarcity?. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*(8), 1799-1804. https://doi.org/10.1002/jsfa.6130

Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, *327*, 235-246. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x

Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., & Abbassi, F. (2011). The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(4), 798-807. https://doi.org/10.5897/AJAR10.405.

Zimmerman, A. R., Gao, B., & Ahn, M. Y. (2011). Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(6), 1169-1179. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.005

Zhang, Y., Wang, J., & Feng, Y. (2021). The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. *Catena*, *202*, 105284. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105284

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

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.)

Maryam Mosapour and Mohammad Feizian*

Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad, Lorestan, Iran

(Received: 2023/06/21, Accepted: 2023/10/09)

Abstract

In order to investigate the effect of soil application of sheep manure biochar and humic acid foliar application on the yield and concentration of some nutrient elements in the aerial parts of the summer savory plant, two-factor factorial research was conducted based on a completely randomized design and three replications in greenhouse conditions. The factors used included three levels of biochar (0, 1 and 2% by weight) and three levels of humic acid spraying (0, 200 and 400 $mg.L^{-1}$ in three stages). The results showed that the main effect of biochar and humic acid application on the fresh and dry weight of the shoot, fresh and dry weight of the root, stem diameter, carbohydrate, chlorophyll fluorescence, amount of nitrogen, phosphorus and potassium of the shoot was positive and significant. The interaction effects of biochar and humic acid were significant on all measured traits except root dry weight, stem diameter and carbohydrates. So that the highest wet weight (50.9 grams per pot) and dry weight of shoot (5.4 grams per pot), root wet weight (27.17 grams per pot), chlorophyll fluorescence (0.944), nitrogen amount (3.62%), phosphorus (0.383%), and potassium (4.03%) of aerial parts in the treatment of 400 $mg.L^{-1}$ of humic acid + 2 percent of biochar and the least mentioned traits were observed in the control treatment (no application of biochar and humic acid). The results also showed that the highest root dry weight (0.787 g per pot) and carbohydrates (4.253 $mg.g^{-1}$) due to the use of 400 mg^{-1} humic acid and the largest stem diameter (0.461 cm) were observed in the 2% biochar treatment. According to the obtained results, it can be said that the soil application of biochar and humic acid foliar spraying is recommended to increase the yield and concentration of summer savory nutrients. But since the research was done in greenhouse conditions, it is better to evaluate and approve the results of this research before making any fertilizer recommendations in field conditions.

Keywords: Macro elements, Organic fertilizers, Summer savory, Fresh and dry weight

Corresponding author, Email: feizian.m@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]