

Investigating the Effects of Biochar on the Performance and Yield Components of Greenhouse Cucumber under Water Deficit Conditions

Afsaneh Rahmati¹, Abbas Khashei Siuki^{*2}, Mahdi Dasturani³,
Ali Shahidi⁴

1. M.Sc. Graduate in Irrigation and Drainage, Dept. of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran. E-mail: afsanehrahmati73@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran. E-mail: abbaskhashei@birjand.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran. E-mail: mehdi840561@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran. E-mail: ashahidi@birjand.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Short Technical Report</p> <p>Article history: Received: 01.15.2023 Revised: 09.20.2023 Accepted: 10.28.2023</p> <p>Keywords: Biomass, Low irrigation, Plant growth indicators, Soil amendment, Water use efficiency</p>	<p>Background and Objectives: Iran, as one of the countries located in the Earth's arid belt, has long faced the challenge of water scarcity, particularly in the agricultural sector. One approach to increase water productivity is maintaining current product production levels while reducing water consumption. Low watering of plants is a water-saving technique that has been explored. Biochar, produced through the controlled burning of biomass with minimal or no oxygen, differs from conventional burning. Biochar has gained attention due to its ability to improve soil fertility, enhance ecosystem functions, and sequester carbon. This study aimed to investigate the effects of biochar application on cucumber yield and yield components under conditions of low irrigation.</p> <p>Materials and Methods: The experiment was conducted in a greenhouse 100 km from Birjand (Mirik village) at coordinates 33 degrees 24 minutes north and 59 degrees 29 minutes east. A split-plot design was employed in an experimental greenhouse to examine the effects of different amounts of biochar and reduced irrigation on cucumber yield. The design consisted of two factors: different amounts of biochar application and reduced irrigation. The experiment followed a completely randomized design with three replicates, resulting in 36 plots measuring 80 cm in length and 40 cm in width. The experimental treatments included four levels of biochar application (0, 2, 4, and 6 grams per kilogram of soil) and three levels of water stress (100%, 75%, and 50% of the water requirement).</p> <p>Results: The results demonstrated that the use of biochar had a significant effect on cucumber diameter, stem diameter, plant height, cucumber height, water consumption efficiency, number of leaves, and cucumber weight. The average cucumber diameter was 3.07 mm, stem diameter was 9.85 mm, plant height was 165 cm, cucumber height was 16.9 cm, water consumption efficiency was 2.2 kg/m³, and number of leaves was 45. Cucumber weight was 4.58 tons per hectare. These effects were significant at a 1% level of significance.</p>

Conclusion: Applying biochar positively and significantly influenced stem diameter, cucumber diameter, cucumber weight, cucumber height, number of leaves, and plant height. Among the different levels of biochar application, 6 grams per kilogram of soil exhibited the highest performance across all indicators.

Cite this article: Rahmati, Afsaneh, Khashei Siuki, Abbas, Dasturani, Mahdi, Shahidi, Ali. 2024. Investigating the Effects of Biochar on the Performance and Yield Components of Greenhouse Cucumber under Water Deficit Conditions. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (4), 165-173.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20979.3610

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی اثرات بیوچار بر عملکرد و اجزاء عملکرد خیار گلخانه‌ای در شرایط کم آبیاری

افسانه رحمتی^۱، عباس خاشعی سیوکی^{۲*}، مهدی دستورانی^۳، علی شهیدی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران. رایانامه: afsanerahmati73@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران. رایانامه: abbaskhashei@birjand.ac.ir
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران. رایانامه: mehdi840561@gmail.com
۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران. رایانامه: ashahidi@birjand.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: گزارش کوتاه علمی</p> <p>تاریخ دریافت: ۰۱/۱۰/۲۵ تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۸/۰۶</p>	<p>سابقه و هدف: ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین همواره با مشکل کمبود آب به‌ویژه در بخش کشاورزی مواجه بوده است. یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری آب، نگه‌داشتن میزان تولید محصول در سطح کنونی توأم با کاهش آب مصرفی است. کم‌آبیاری گیاهان یکی از روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب است. بیوچار از سوختن توده‌های زیستی با حداقل و یا عدم حضور اکسیژن تولید می‌شود، این فرآیند متفاوت از سوختن واقعی می‌باشد. استفاده از بیوچار به دلیل توانایی بالا بهبود باروری خاک، کارکردهای اکوسیستم و ترسیب کربن موردتوجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف، بررسی استفاده از بیوچار بر عملکرد و اجزای عملکرد خیار در شرایط کم‌آبیاری انجام شد.</p>
<p>واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک، زغال‌زیستی، شاخص‌های رشد گیاه، کارایی مصرف آب، کم‌آبیاری</p>	<p>مواد و روش‌ها: این آزمایش در گلخانه‌ای واقع در ۱۰۰ کیلومتری بیرجند (روستای میریک) با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی انجام شد. جهت بررسی اثر مصرف مقادیر مختلف بیوچار و کم‌آبیاری بر میزان رشد عملکرد خیار گلخانه‌ای آزمایشی به شکل کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) با دو عامل شامل مقادیر مختلف کاربرد بیوچار و کم‌آبیاری در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار به‌صورت پشته‌ای و جمعاً در ۳۶ کرت به طول ۸۰ و عرض ۴۰ سانتی‌متر انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل بیوچار در چهار سطح (۰، ۲، ۴ و ۶ گرم در هر کیلوگرم خاک) و تنش آبی در سه سطح (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد نیاز آبی) بود.</p>

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار روی شاخص‌های قطر خیار با متوسط قطر ۳/۰۷ میلی‌متر، قطر ساقه با متوسط قطر ۹/۸۵ میلی‌متر، ارتفاع بوته با متوسط ارتفاع ۱۶۵ سانتی‌متر، ارتفاع خیار با متوسط ارتفاع ۱۶/۹ سانتی‌متر، کارایی مصرف آب با متوسط ۲/۲ کیلوگرم بر مترمکعب، تعداد برگ با متوسط تعداد ۴۵ و وزن خیار با متوسط وزن ۴/۵۸ تن در هکتار در سطح یک درصد تأثیر معنی‌دار داشته است.

نتیجه‌گیری: استفاده از بیوچار بر روی شاخص‌های قطر ساقه، قطر خیار، وزن خیار، ارتفاع خیار، تعداد برگ و ارتفاع بوته مثبت و معنی‌دار بود و استفاده از ۶ گرم بیوچار به ازای هر کیلوگرم خاک در تمامی شاخص‌ها بیش‌ترین عملکرد را به خود اختصاص داد.

استناد: رحمتی، افسانه، خاشعی سیوکی، عباس، دستورانی، مهدی، شهیدی، علی (۱۴۰۲). بررسی اثرات بیوچار بر عملکرد و اجزاء عملکرد خیار گلخانه‌ای در شرایط کم‌آبیری. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰ (۴)، ۱۷۳-۱۶۵.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20979.3610



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

کم‌آبیاری گیاهان یکی از روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، کاهش بحران آب و مدیریت تأمین نیاز آبی گیاهان زراعی است (۱، ۲). تغییرات اقلیمی و افزایش نگرانی‌ها در خصوص امنیت غذایی، نیاز به اصلاح روش‌های سنتی تولید را پررنگ کرده است. از این رو، کاربرد ارقام مناسب و روش‌های مناسب کاشت در گلخانه‌ها به منظور استفاده بهینه از فضا و سطح و همچنین کنترل هرچه بیش‌تر شرایط محیطی در طی دوره رشد رایج شده است (۳، ۴). در چند دهه اخیر تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق کودهای شیمیایی موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی، افت کیفیت محصولات و هدررفت سرمایه و انرژی شده است (۳، ۵). بررسی‌ها نشان داده است که منابع غیرشیمیایی در حاصلخیزی خاک و افزایش تولید و کیفیت محصول مؤثر است (۶، ۷). اخیراً استفاده از بیوپچار با توجه به مزایای اقتصادی و محیطی آن به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر برای مدیریت حاصلخیزی خاک رواج یافته است (۸). ترکیبات بیوپچار معمولاً شامل کربن، نیتروژن و هیدروژن و برخی عناصر مغذی کم‌تری مانند پتاسیم، کلسیم، سدیم و منیزیم است (۹، ۱۰). با توجه به بررسی منابع، تاکنون اثر کم‌آبیاری و افزودن بیوپچار به خاک بر عملکرد و اجزاء خیار رقم (استورم) در شرایط گلخانه در استان خراسان جنوبی بررسی نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی استفاده از بیوپچار بر عملکرد و اجزای عملکرد خیار گلخانه‌ای در شرایط کم‌آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه‌ای واقع در ۱۰۰ کیلومتری بیرجند (روستای میریک) با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه

و ۲۹ دقیقه شرقی انجام شد. آزمایش به شکل اسپلیت پلات با دو عامل مقادیر مختلف کاربرد بیوپچار (B) در چهار سطح (۰، ۲، ۴ و ۶ گرم در هر کیلوگرم خاک) و کم‌آبیاری (I) در سه سطح (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار به صورت پشته‌ای و جمعاً در ۳۶ کرت به طول ۸۰ و عرض ۴۰ سانتی‌متر انجام گرفت.

خاک مورد استفاده در این طرح، خاک با بافت لومی انتخاب گردید. سپس با توجه تیمارها، بیوپچار در سه سطح ۰، ۲، ۴ و ۶ گرم در هر کیلوگرم خاک افزوده شد. بعد از آماده کردن بستر مناسب کشت در هر کرت دو بذر با فاصله ۲ سانتی‌متر کشت گردید. تمام کرت‌ها تا زمان چهار برگی شدن بوته‌ها به‌طور خودکار آبیاری شدند و عملیات مبارزه با آفات زراعی به میزان یکسان و برابر بین تمام کرت‌ها اعمال گردید. شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل: ارتفاع بوته، قطر ساقه و میوه، وزن میوه بود. هم‌چنین میزان حجم آب آبیاری براساس رابطه ۱ به دست آمد:

$$Vn = (Fc - PWP)Pb MAD Drz A \quad (1)$$

حجم آب مصرفی برای ۱۰۰ درصد در هر دوره آبیاری برابر ۰/۸ لیتر، حجم آب مصرفی ۷۵ درصد برابر با ۰/۶ لیتر و حجم آب مصرفی برای ۵۰ درصد ۰/۴ لیتر است. پس از برداشت، مجموع میزان آب مصرفی را که به هر بوته معین محاسبه گردید. داده‌های حاصل در فرمول کارایی مصرف آب جایگزین گردید و کارایی مصرف آب بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد.

$$WUE = D/W \quad (2)$$

در رابطه، D نشان‌دهنده عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار و W نیز حجم آب مصرف شده در هکتار بر حسب مترمکعب می‌باشد.

واکاوای آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج حاصل از تجزیه واریانس برخی صفات کمی و کیفی خیار گلخانه‌ای تحت تأثیر کم‌آبیری، بیوچار و اثرات متقابل آن را ارائه داده است. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که بیوچار در سطح ۱ درصد بر ارتفاع خیار، قطر خیار، وزن خیار، ارتفاع بوته، تعداد برگ و قطر ساقه اثر معنی‌داری داشت. مطابق آن‌چه در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، تنش آبی T در سطح ۱ درصد بر ارتفاع خیار، وزن خیار، تعداد برگ و قطر ساقه اثر معنی‌دار داشت، اما تأثیر آن بر شاخص قطر خیار و ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. در این آزمایش، اثر متقابل بیوچار و تنش آبی B*I در سطح ۱ درصد بر ارتفاع خیار و وزن خیار و در سطح ۵ درصد بر قطر خیار و قطر ساقه اثر معنی‌دار داشت، ولی تأثیر آن بر ارتفاع بوته و تعداد برگ معنی‌دار نبود. طبق شکل ۱-a، کم‌ترین ارتفاع خیار در تیمارهایی که با تنش آبی ۵۰ درصد و عدم استفاده از

بیوچار اعمال شده، و بیش‌ترین ارتفاع خیار در تیمار عدم تنش آبی و بیوچار ۶ گرم در خاک مشاهده شد. هم‌چنین، براساس شکل ۱-b، در بررسی اثر متقابل تنش آبی و مصرف بیوچار، بیش‌ترین مقدار قطر خیار آبیاری کامل و بیوچار ۶ گرم در کیلوگرم با قطر ۳/۹۳ میلی‌متر و کم‌ترین آن تنش آبی ۵۰ درصد با عدم استفاده بیوچار با قطر ۲/۶۴ میلی‌متر است.

مطابق شکل ۱-c، کاهش وزن خیار در تیمارهایی که با تنش آبی ۵۰ درصد و عدم استفاده بیوچار بوده و بیش‌ترین وزن خیار در تیمار با سطوح کشت مختلف، بیوچار ۶ گرم در خاک و نیاز آبی ۱۰۰ درصد مشاهده شد و بیش‌ترین قطر ساقه مربوط به بیوچار ۶ گرم در کیلوگرم خاک و عدم تنش بوده و کم‌ترین آن مربوط به تنش آبی ۵۰ درصد و عدم استفاده از بیوچار بوده است (شکل ۱-d).

و با توجه به شکل ۱-e نیز می‌توان چنین استنباط نمود که کم‌ترین کارایی مصرف آب در تیمارهایی که با تنش آبی ۱۰۰ درصد و عدم استفاده بیوچار بوده و بیش‌ترین آن مربوط به تیمار با سطوح کشت مختلف، بیوچار ۶ گرم در خاک و نیاز آبی ۵۰ درصد دیده می‌شود.

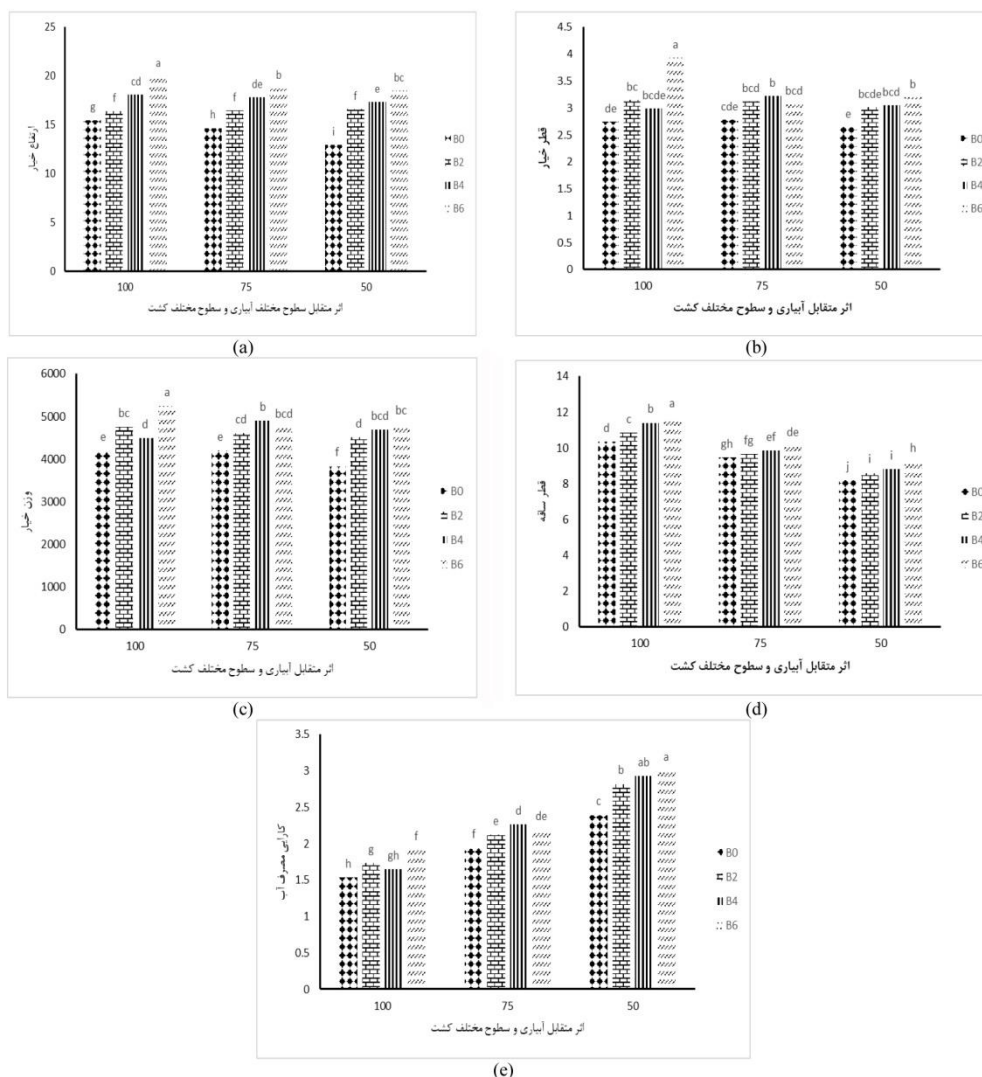
جدول ۱- تجزیه واریانس برخی صفات کمی و کیفی خیار گلخانه‌ای تحت تأثیر تنش آبی، مصرف بیوچار و اثر متقابل تنش آبی و مصرف بیوچار.

Table 1. Analysis of variance of some quantitative and qualitative traits of greenhouse cucumber under the influence of water stress (WS), biochar consumption (B), and the interaction of water stress and biochar consumption (WS*B).

منابع تغییرات	درجه آزادی	کارایی مصرف آب	ارتفاع خیار	قطر خیار	وزن خیار	ارتفاع بوته	تعداد برگ	قطر ساقه
Sources Change	Degrees of freedom	Water consumption efficiency (kg.m ⁻³)	Cucumber height (cm)	Cucumber diameter (mm)	Cucumber weight (ton*ha)	Bush height (cm)	Number of leaves	Stem diameter (mm)
R	2	5.83 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.07 ^{ns}	12.87 ^{ns}	3.69 ^{ns}	1.86 ^{ns}	0.06 ^{ns}
WS	2	3.55 ^{**}	3.93 ^{**}	0.16 ^{ns}	13.10 ^{**}	15.92 ^{ns}	12.19 ^{**}	16.85 ^{**}
B	3	0.28 ^{**}	35.72 ^{**}	0.68 ^{**}	11.20 ^{**}	18.71 ^{**}	11.62 ^{**}	1.71 ^{**}
WS*B	6	0.037 ^{**}	1.14 ^{**}	0.18 [*]	13.24 ^{**}	18.60 ^{ns}	1.71 ^{ns}	0.08 [*]
CV%		2.98	2.08	7.52	2.81	1.77	1.96	1.58

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

*, ** and ^{ns} are significant at the level of five percent, one percent and no significance, respectively



شکل ۱- اثر سطوح مختلف بیوجار و کم آبیاری بر (a) ارتفاع خیار (سانتی متر)، (b) وزن خیار (تن در هکتار)، (c) برگ (عدد)، (d) قطر ساقه (میلی متر) و (e) کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب).

Figure 1. The effects of different levels of biochar and water stress on high (cm), weight (ton/ha), leaf (number), Diameter (cm), and water use efficiency (kg/m³) off cucumber.

- بهترین عملکرد در شاخص‌های ارتفاع بوته، وزن خیار، تعداد برگ و قطر ساقه در سطح I100 است.
- مصرف ۶ گرم بیوجار در هر کیلوگرم خاک در سطح تنش آبی ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیش‌ترین عملکرد را روی شاخص‌های رشد (ارتفاع خیار، وزن خیار) داشته و در سطح ۵ درصد روی شاخص‌های قطر ساقه و قطر خیار داشته است.

نتیجه‌گیری

- پژوهش حاضر، اثرات بیوجار بر عملکرد و اجزای عملکردی خیار گلخانه‌ای در شرایط کم آبیاری را بررسی کرد. نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به‌طور مختصر در زیر جمع‌بندی نمود:
- تنش خشکی روی شاخص‌های ارتفاع خیار، وزن خیار، تعداد برگ و قطر ساقه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و روی شاخص‌های قطر خیار و ارتفاع بوته تأثیری نداشته است.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مربوط به پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول می‌باشد که با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی می‌باشند.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: دسترسی به داده‌ها و داده‌برداری، آماده‌سازی داده‌ها، مشارکت در آنالیزها. نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها. نویسنده سوم: نظارت تحقیق، بازبینی مقاله، مشارکت در آنالیزها. نویسنده چهارم: اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه بیرجند و در قالب یک پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صورت گرفته است.

- استفاده از بیوپچار بر شاخص‌های قطر ساقه، قطر خیار، وزن خیار، ارتفاع خیار، تعداد برگ و ارتفاع بوته مثبت و معنی‌دار بوده و استفاده ۶ گرم بیوپچار در هر کیلوگرم خاک در همه شاخص‌ها بیش‌ترین عملکرد را برای گیاه خیار حاصل کرده است.
- اثر متقابل تنش آبی و بیوپچار بر شاخص‌های ارتفاع خیار و وزن خیار در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و بر شاخص‌های قطر خیار و قطر ساقه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده ولی اثر متقابل تنش و بیوپچار بر شاخص‌های ارتفاع بوته و سطح برگ تأثیر معنی‌داری نداشته است.
- با مصرف ۶ گرم بیوپچار در هر کیلوگرم خاک بیش‌ترین وزن میوه، قطر خیار، قطر ساقه، ارتفاع بوته، تعداد برگ و ارتفاع بوته حاصل شد. با افزایش مقدار بیوپچار شاخص‌های رشد تأثیر داشته و باعث افزایش آن‌ها شده است.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه بیرجند صورت گرفته است و نویسندگان از دانشگاه مذکور که موجبات تسهیل انجام این پژوهش را فراهم نموده‌اند، تشکر می‌نمایند.

منابع

1. Albuquerque, J. A., Salazar, P., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. D. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2013). Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*, 33 (3), 475-484.
2. Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46 (5), 437-444.
3. Kammann, C. I., Schmidt, H. P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C., & Joseph, S. (2015). Plant growth improvement mediated by nitrate capture in composted biochar. *Scientific reports*, 5 (1), 11080.

4. Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*; Earthscan. London, Sterling.
5. Mao, X., Liu, M., Wang, X., Liu, C., Hou, Z., & Shi, J. (2003). Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse-grown cucumber in the North China Plain. *Journal of Agricultural Water Management*, 61, 219-228.
6. Moslehi, S., Najafi, P., Tabatabaei, S., & Nourmahnad, N. (2011). Effect of Soil Moisture Stress on Yield and Growth Indexes of Greenhouse Cucumber. *Water and Soil*, 25 (4).
7. Sharma, R. K., Agrawal, M., & Marshall, F. (2006). Heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Varanasi, India. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 77 (2), 312-318.
8. Solgi, M., Heidari, A. A., & Rezaei, S. (2012). Comparison of some vegetative traits and yield of different greenhouse cucumber cultivars under potting conditions. *7th Iranian Congress of Horticultural Sciences*, 14-17 September, Isfahan University of Technology, 1362-1359.
9. Uzoma, K., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil use and management*, 27 (2), 205-212.
10. Zhang, H., Voroney, R. P., & Price, G. W. (2015). Effects of temperature and processing conditions on biochar chemical properties and their influence on soil C and N transformations. *Soil Biology and Biochemistry*, 83, 19-28.

