مقاله پژوهشی
یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۱۱، شماره ۴، صفحات ۲۱ الی ۳۶ (۱۴۰۳)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Research Article
Nova Biologica Reperta 11(4): 21-36 (2025)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press;

تاثیر کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی با نانوذره روی بر صفات عملکردی و فیزیولوژیکی کدوی تخم‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.)

لمیا وجودی مهربانی[۱*]، کوثر جدیدی[۱]، محمدباقر حسن‌پور اقدم[۲]

[۱]گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران؛ [۲]دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

مسئول مکاتبات: لمیا وجودی مهربانی vojodilamia@gmail.com

چکیده. دانه‌ی کدوی تخم‌کاغذی به‌دلیل وجود مقادیر بالای روغن اهمیت زیادی در تغذیه و صنایع داروسازی دارد. به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد بیوچار (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و محلول‌پاشی با نانوذره روی (عدم محلول‌پاشی، ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر) آزمایش فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه اجرا شد. تعداد میوه در بوته و محتوای روی برگ در تیمارهای ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار با هر دو سطح محلول‌پاشی نانوذره روی افزایش یافت. تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی هر دو سطح نانوذره روی موجب افزایش تعداد دانه در میوه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، و عملکرد روغن شد. تیمار ۵ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره‌ی روی و تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی هردو غلظت نانوذره موجب افزایش وزن صددانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص کلروفیل گیاه شد. بیشترین محتوای فنل کل در تیمار ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی مشاهده شد. محتوای آب نسبی برگ و آنتوسیانین در تیمار۱۰ تن در هکتار بیوچار افزایش یافت. درکل نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که استفاده از ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی موجب افزایش صفات عملکردی و فیزیولوژیکی گیاه شد.

واژه‌های کلیدی. شاخص برداشت، عملکرد روغن، فنل، کلروفیل

The effects of biochar application and nano Zn foliar spray on yield and physiological characteristics of *Cucurbita pepo* L.

Lamia Vojodi Mehrabani[1*], Kosar Jadidi[1], Mohammad Bagher Hassanpouraghdam[2]

[1]Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University;
[2] Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh.
Corresponding author: Lamia Vojodi Mehrabani,vojodilamia@gmail.com

Abstract. *Cucurbita pepo* L. seeds are very important in the nutrition and pharmaceutical industries due to high amounts of oil . To investigate the effects of biochar (0, 5, and 10 tons per hectare) and foliar spraying with zinc nanoparticles (0, 2, and 4 milligrams per litter), an experiment was conducted as factorial based on randomized complete blocks design, in the Field. Fruit number and leaf Zn content were increased at 5 and 10 t/ha of biochar with both nano zinc foliar spray. Ten t/ha biochar treatments with both levels of nano Zn increased seed number per fruit, , biological yield, harvest index, and plant oil yield. Five t/ha biochar with 4 mg/L of nano zinc and 10 t/ha biochar with foliar spraying with both nanoparticle concentrations increased hundred seed yield, biological yield, and chlorophyll index in the plant. The top amounts of phenolic content were observed in 5 and 10 t/ha biochar with 4 mg/L of zinc nanoparticle spray. The relative water and anthocyanin content increased in 10 t/ha biochar. Overall, the results of this study showed that the use of 10 t/ha biochar and foliar spraying of 2 and 4 mg/L zinc nanoparticles increased the yield and physiological characteristics of the plant.

Key words. Chlorophyll, Harvesting index, Oil yield, Phenol
Received 29.04.2024/ Revised 29.01.2025/ Accepted 29.01.2025/ Published 15.03.2025
دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹/ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰/ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰/ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/11.4.21]

مقدمه

کدوی تخم کاغذی با نام علمی *Cucurbita pepo* L. گیاهی دولپه، یک‌پایه، یک‌ساله و علفی از خانواده‌ی کدوییان می‌باشد. کدو دارای گل‌های نر و ماده جدا بر روی یک بوته می‌باشد (Younis et al., 2000). دانه این گیاه حاوی ۴۰ تا ۶۰ درصد روغن می‌باشد. مهم‌ترین اجزای روغن گیاه اسید لینولئیک، اولئیک و پالمتیک است. روغن کدوی تخم کاغذی حاوی اسیدهای چرب غیراشباع، ویتامین‌های A و E (بیش‌از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، کاروتنوئید، فیتوسترول، و پروتوکلروفیل است (Hosseini et al., 2016; Khalili & Nejatzade, 2020). دانه‌های کدو دارای اثرات دارویی می‌باشند که از گذشته‌های دور برای درمان بیماری‌های مختلف مانند درمان تورم پروستات، بهبود سوزش مجاری ادراری، تنظیم دستگاه گوارش و تصلب شرایین استفاده می‌شود (Moazen et al., 2007). عملکرد این محصول بستگی زیادی به وضعیت تغذیه‌ای، رعایت تناوب زراعی، تامین رطوبت کافی و استفاده صحیح از کودهای آلی و معدنی را دارد. کدو برای رشد، خاک‌های زهکش‌دار با مواد آلی فراوان را ترجیح می‌دهد (Moradi Marjane et al., 2014). با توجه به افزایش تقاضا برای این محصول در سطح جهانی، امروزه تلاش‌های در راستای افزایش کمیت و کیفیت محصول در حال انجام می‌باشد.

استفاده از کودهای شیمیایی در پرورش محصولات کشاورزی روزبه‌روز در حال افزایش است. با افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای مواد غذایی، کاربرد گسترده کودهای شیمیایی باعث آلودگی محیط‌زیست و تخریب اکوسیستم شده و اثرات نگران‌کننده‌ای بر سلامت جوامع بشری را دارد. امروزه تلاش می‌شود تا با جایگزینی کودهای آلی به‌جای کودهای شیمیایی و یا کاربرد تلفیقی کودها از اثرات مضر کودهای شیمیایی بر اکوسیستم کاست. نتایج کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی در کدوی تخم کاغذی نشان داد که کاربرد ۱۵ تن در هکتار کود دامی به همراه کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی کدوی تخم کاغذی شد (Hosseini et al., 2016).

بیوچار ماده‌ی جامد غنی از کربن است که از تجزیه شیمیایی مواد آلی در اثر حرارت بالا و در شرایط بدون اکسیژن حاصل می‌شود. از بیوچار اغلب به‌منظور ساخت کودهای مختلف استفاده می‌شود که موجب افزایش باروری و بهبود کیفیت خاک می‌شود. استفاده از این ترکیب در دو دهه اخیر به‌دلیل اثرات مفید آن در کشاورزی پایدار و باروری خاک رو به افزایش می‌باشد. استفاده از بیوچار در سطح گسترده موجب کاهش ضایعات بخش کشاورزی، بهبود توالی کربن در خاک، کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب‌وهوایی شده‌است (Ngo Ndoung et al., 2021). نوع ماده مورد استفاده در تهیه بیوچار و شرایط تهیه آن روی کیفیت محصول تأثیر دارد. بیوچار براساس نوع ماده مورد استفاده در آن ممکن است حاوی عناصر غذایی بوده و همچنین توانایی جذب عناصر غذایی از خاک را داشته باشد. غلظت‌های بالای بیوچار در خاک به‌دلیل جذب آلاینده‌ها و فلزات سنگین از خاک برای رشد گیاه نامناسب می‌باشد. بیوچار یکی از بهترین کودهای آلی برای گیاه به‌دلیل پایداری آن در خاک، بهبود تهویه خاک، افزایش جمعیت میکروبی خاک، توانایی جذب و نگه‌داری مواد غذایی و کاهش آب‌شویی آن‌ها از خاک است (Ngo Ndoung et al., 2021). نتایج یک بررسی نشان داد که کاربرد بیوچار موجب افزایش بیوماس، وزن غده و طول ریشه در سیب‌زمینی تحت تنش شوری شد (Akhtar et al., 2015). بررسی دیگری در کدو نشان داد که استفاده از ورمی‌کمپوست و بیوچار باعث بهبود عملکرد دانه و نسبت وزن‌خشک دانه به میوه شد (Khajeh Haghverdi et al., 2018). افزایش عملکرد گیاه در اثر استفاده از بیوچار در گیاه کتان گزارش شد و همچنین مشخص شد که کاربرد بیوچار موجب کاهش مصرف کودهای پتاسه شد و به این طریق از آلودگی بیشتر محیط‌زیست در اثر کاربرد کودهای پتاسه کاست (Wu et al., 2019).

روی یکی از عناصر ریزمغذی ضروری مورد نیاز گیاه در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی می‌باشد. کاربرد روی موجب تحریک فعالیت آنزیم‌ها شده همچنین این کاتیون نقش مهمی در بیوسنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و کربوهیدرات‌ها در گیاه را دارد. روی نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، DNA و RNA را دارد (Song et al., 2015). اندازه کوچک نانوذرات و سطح زیاد آن‌ها

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

موجب افزایش نقش نانوذرات در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی در داخل گیاه شده است. استفاده از ریزمغذی‌ها به فرم نانوذره، یک روش ارزشمند برای تغذیه گیاه بوده و با کاهش مصرف کود، از آلودگی اکوسیستم جلوگیری کرده و موجب کاهش باقی‌مانده کود در محصول می‌شود. استفاده از نانوذره روی نقش مهمی در بقای گیاه در شرایط مختلف محیطی مخصوصاً شرایط تنش‌زا را دارد. غلظت بالای نانوذره روی (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌دلیل حلالیت بالای فرم اکسید روی اثر سمی بر گیاه را دارد (Rasouli et al., 2022). استفاده از نانوذره روی در گیاه شعمدانی عطری موجب افزایش بیوماس، محتوای ترکیبات آنتوسیانینی و فنلی در گیاه شد (Vojodi Mehrabani et al., 2016). از بین عوامل محیطی، تغذیه گیاه نقش مهمی در افزایش عملکرد محصول دارد. لذا هدف از بررسی حاضر ارزیابی تاثیر کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی با نانوذره روی بر رشد و عملکرد محصول می‌باشد تا در صورت حصول به نتیجه مطلوب از آن در بخش ترویج کشاورزی استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی تاثیر کاربرد کود بیوچار و محلول‌پاشی با نانوذره روی بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک کدوی تخم‌کاغذی در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان (ارتفاع از سطح دریا، ۱۳۴۰ متر: ۳۷/۷۴ درجه شمالی و ۴۵/۹ درجه شرقی) انجام شد. پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. قبل از کاشت گیاهان، نمونه‌برداری از خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. به مشخصات خاک و کود بیوچار مورد استفاده در بررسی حاضر در جدول یک اشاره شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکو-شیمیایی خاک و بیوچار مورد استفاده در آزمایش حاضر

Table 1. Physico-chemical characteristics of soil and biochar used in this experiment

Characteristics	Texture	N content (%)	K content (%)	P content (%)	Organic matter (%)	pH	EC (ds/m)
Biochar	-	0.79	0.17	۰/14	13	8.2	4.2
Soil	Silty loam	0.05	0.7	0.8	0.79	7.1	1.1

در بررسی حاضر، تأثیر سه نسبت کود بیوچار سیب (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و نانوذره روی (بدون محلول-پاشی، ۲ و ۴ میلی‌لیتر بر لیتر) بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه مورد بررسی قرار گرفت. نانوذره روی از شرکت US-Nano America تهیه شد. بعد از شخم و تسطیح زمین در اواخر فروردین‌ماه، کرت‌هایی به ابعاد سه متر در نه متر ایجاد شد. تیمار کود بیوچار بر اساس نقشه طرح، در کرت‌های مورد نظر اعمال و با خاک مخلوط شد، سپس پشته‌هایی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر با عرض دو متر ایجاد شد. طول هر ردیف کاشت سه متر بود و در هر کرت سه ردیف ایجاد شد. گیاهان با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم در دو طرف ردیف کشت شد. از بذر کدوی تخم‌کاغذی توده بومی اصفهان در بررسی حاضر استفاده شد. ابتدا بذور به-مدت دو روز در حوله مرطوب قرار داده شد و سپس در چاله‌هایی به عمق دو سانتی‌متر به‌صورت هرم‌کاری کشت شد. روی بذر با ماسه نرم پوشانده شد. در هر چاله سه بذر قرار گرفت که بعد از سبز شدن، قوی‌ترین گیاهچه نگهداری شد و مابقی حذف شد. آبیاری گیاهان به روش جوی و پشته‌ای هر پنج روز یکبار انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی در سه نوبت انجام شد. محلول‌پاشی گیاهان با سم‌پاش دستی در سه‌نوبت (مرحله سه برگی، شروع گلدهی و ۱۵ روز بعد از محلول‌پاشی مرحله دوم) انجام شد. در پایان فصل رشد (۱۵ مهرماه) با حذف اثر حاشیه سه بوته از هر کرت خارج شدند و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. برداشت گیاهان زمانی انجام شد که ۷۵ درصد میوه‌ها رسیده بودند و برگ‌ها شروع به زردشدن کردند. برای اندازه-گیری صفات فیزیولوژیک، نمونه‌های بلافاصله در فویل آلومینیومی قرار گرفته و داخل نیتروژن مایع به آزمایشگاه منتقل شدند. بعد از خارج کردن بذر از داخل میوه، دانه‌ها

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

در سایه خشک (تا زمان رسیدن رطوبت نسبی به ۱۴ درصد) شدند.

اندازه‌گیری وزن صددانه

برای محاسبه وزن صد دانه، چهار نمونه صدتایی از هر کرت انتخاب شد و وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال تعیین شد.

اندازه‌گیری وزن‌گیاه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

عملکرد بیولوژیک از طریق توزین وزن گیاهان برداشت شده از ردیف‌های میانی کرت در مرحله رسیدگی حاصل شد. شاخص برداشت با اعمال نسبت عملکرد اقتصادی (عملکرد میوه) به عملکرد بیولوژیک و ضرب در عدد ۱۰۰ حاصل شد (Khalili and Nejatzadeh, 2021). برای محاسبه وزن‌خشک، گیاهان بمدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. وزن‌خشک نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال (Germany, Boeco, BBI41) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای روغن

محتوای روغن نمونه با استفاده از دی‌اتیل اتر تعیین شد. برای استخراج روغن، روی یک گرم از بذر خشک‌شده (در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت) ۱۰ میلی لیتر دی‌اتیل اتر اضافه شد و برای به‌دست آوردن یک محلول همگن ورتکس شد. محلول حاصل به فالکون‌های ۵۰ میلی-لیتری منتقل و به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. مایع رویی یعنی دی‌اتیل اتر به‌همراه روغن-های چرب محلول، جمع آوری شد. ویال‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا حلال خارج شود. باقیمانده روغن خالص بود که از آن برای تعیین صفات مورد نظر استفاده شد. عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به‌دست آمد (Jahan et al., 2007).

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل

شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل-سنج دستی و بر مبنای عدد اسپاد محاسبه شد.

اندازه‌گیری محتوای مواد جامد محلول کل

محتوای مواد جامد محلول کل با استفاده از رفرکتومتر دستی (Erma, Tokyo, Japan) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری رطوبت نسبی برگ

برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی برگ یک قطعه از برگ به ابعاد دو در دو سانتی‌متر تهیه شد و وزن آن اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها در ظرف حاوی آب مقطر در دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد (اندازه-گیری وزن تورژسانس) سپس نمونه‌ها بلافاصله به آون در دمای ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد بمدت ۴۸ ساعت منتقل شد و وزن‌خشک نمونه تعیین شد. برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی برگ ازرابطه زیر استفاده شد (Ritchie et al., 1990).

[۱۰۰ × (وزن‌خشک - وزن تورژسانس) / (وزن‌خشک – وزن‌تر)] = درصد رطوبت نسبی برگ

اندازه‌گیری محتوای فنل کل، فلاونوئید و آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین کل، ۰/۵ گرم از دانه در متانول اسیدی هضم شد. محتوای آنتوسیانین به-روش ونگر (۱۹۷۹) در طول موج ۵۵۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر (T80, China) اندازه‌گیری شد. برای اندازه-گیری محتوای فلاونوئید، روی ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره متانولی، ۰/۳ میلی لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد افزوده شد. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد و بر مبنای استاندارد روتین هیدرات بیان گردید. از معرف فولن سیکالتو[1] برای اندازه-گیری محتوای فنل کل استفاده شد. از اسید گالیک به‌عنوان استاندارد برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی، در طول موج ۷۵۰ نانومتر استفاده گردید (Kim et al., 2006).

اندازه‌گیری محتوای روی

برای اندازه‌گیری غلظت روی، یک گرم از نمونه خشک-شده بذر در دمای ۴۰۰ درجه‌سانتی‌گراد به خاکستر تبدیل شده سپس با اسید نیتریک یک نرمال هضم شد. محتوای روی نمونه با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Corning, 410, England) به‌روش آواک ۱۹۹۰ تعیین شد (AOAC, 1990).

آنالیز آماری و مقایسه میانگین داده‌ها

1 – Folin Ciocalteu

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به‌کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

برآورد اجزای عملکرد (تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در میوه، عملکرد دانه و وزن صد دانه)

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در میوه، عملکرد دانه و وزن صددانه تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین تعداد میوه در هر دو سطح کاربرد بیوچار و غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره‌ی روی مشاهده شد (جدول ۳). کمترین تعداد میوه در تیمار بدون کاربرد بیوچار و بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. از نظر تعداد میوه تفاوتی بین شرایط بدون کاربرد بیوچار با محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی و تیمار ۵ تن در هکتار بیوچار در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده نشد. بیشترین تعداد دانه در میوه و عملکرد دانه در تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی حاصل گردید. کمترین میزان هردو صفت در شاهد مشاهده شد. ازنظر آماری تفاوتی بین تیمار محلول‌پاشی با ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره‌ی روی در شرایط بدون استفاده از بیوچار ازنظر تعداد دانه و عملکرد دانه مشاهده نشد. وزن صددانه تحت تأثیر تیمار ۵ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره و تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار با هر دو سطح محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۳). کمبود نیتروژن تولید ماده خشک، پروتئین و عملکرد گیاه مخصوصاً دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی انجام‌شده در کدوی تخم کاغذی نشان داد که استفاده از سطوح مناسب کود نیتروژن موجب افزایش وزن دانه در میوه شد (Moradi Marjane et al., 2014). رقابت برای جذب نیتروژن و مواد قندی همیشه بین برگ درحال رشد و دانه وجود دارد. در مطالعه‌ای بر کدوی تخم-کاغذی مشخص شد که کاربرد بیوچار موجب افزایش فسفر دانه شد (Khajeh Haghverdi et al. 2018). بیوچار بدلیل جرم مخصوص ظاهری کم، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و توانایی نگه‌داری رطوبت باعث افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش رشد و توسعه ریشه می‌شود. جذب عناصر غذایی توسط بیوچار، جلوگیری از آبشویی مواد غذایی از خاک، ، تقویت جمعیت میکروبی خاک و نیز آزادسازی تدریجی و غیرهم‌زمان عناصر مختلف برای گیاه می‌تواند نقش مهمی در افزایش رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Ardakani & Sharifi, 2017). در یک بررسی در خیار مشخص شد که محلول‌پاشی با نانوذره روی و آهن وزن دانه را افزایش داد (Gupta et al., 2022). نانوذره روی وزن هزار دانه در گندم (Adil et al., 2022) و عملکرد تلخون (Hassanpouraghdam et al., 2023) را افزایش داد. چنین به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با نانوذره روی با بهبود فرایندهای بیوشیمیایی موجب افزایش طول سلول و تکثیر آن (بدلیل تولید اکسین) (Doolette et al., 2020) شده، و با افزایش مقاومت گیاه در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن، به بهبود عملکرد گیاه کمک می‌کند (Jala et al., 2022). روی ماده‌ای ضروری برای بیوسنتز تریپتوفان می‌باشد. تریپتوفان پیش‌ماده بیوسنتز اکسین در گیاه است و افزایش محتوای روی در گیاه با بهبود متابولیسم گیاه و تولید هورمون اکسین، به رشد گیاه کمک می‌کند (Al Jabri et al., 2022). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز در تایید مطالعات انجام شده فوق در خصوص افزایش عملکرد گیاه تحت کاربرد نانوذره روی و بیوچار بود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

جدول ۲ – تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی کدوی تخم‌کاغذی تحت کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی با نانوذره روی

Table 2. Analysis of variance for the growth and yield characteristics of *C. pepo* under biochar application and foliar spraying with zinc nanoparticles.

Source of variation	df	Fruit number per plant	Seed number per plant	Seed yield	hundred seed weight	Seed yield	Harvest index	Biological Yield
Replication	2	0.16^{ns}	1464^{ns}	341225^{*}	81^{*}	12024^{*}	0.0036^{*}	432651^{*}
Biochar (A)	2	2.5^{*}	15784^{**}	4215587^{*}	239^{*}	325747^{*}	0.013^{*}	578945^{*}
Foliar spray (B)	2	0.6^{ns}	18542^{*}	5478318^{**}	2187^{**}	54821^{*}	0.078^{*}	1234758^{*}
B × A	4	2.9^{**}	24163^{*}	15254874^{*}	214541^{*}	785401^{*}	0.098^{**}	1789578^{*}
Error	16	1.3	1438	12451	88	4754	0.004	121521
CV.		8.4	11	11	8	12	7.7	10.5

^{ns}، *و **به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ns, * and ** refer to nonsignificant and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳– مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی با نانوذره روی بر صفات مورد مطالعه در گیاه کدوی تخم‌کاغذی

Table 3. Mean compression for the interaction effects of biochar application and foliar spray with nano Zn on physiological traits of *C. pepo*

Biochar (t/ ha)	Foliar spray (mg/L)	Fruit number per plant	Seed number per plant	Seed yield (Kg/ha)	hundred seed weight (g)	Biological yield (t/ha)	Harvest index (%)	Oil yield (Kg/ha)	Oil content (%)
0	0	0.88^{d}	242^{d}	651^{d}	19.2^{c}	1.5^{c}	21^{d}	187^{e}	15^{c}
0	2	0.97^{c}	274^{c}	721^{c}	28^{b}	1.7^{c}	23^{c}	224^{d}	21^{b}
0	4	1.0^{b}	264^{c}	753^{c}	29^{b}	2.4^{b}	25^{c}	247^{d}	20.5^{b}
5	0	0.94^{c}	253^{cd}	699^{d}	23^{b}	2.1^{b}	24^{c}	288^{d}	17^{c}
5	2	1.2^{ab}	354^{b}	875^{c}	24^{b}	2.5^{b}	27^{c}	313^{c}	23^{b}
5	4	1.3^{a}	386^{b}	902^{b}	32^{ab}	2.9^{a}	28^{c}	348^{b}	26^{b}
10	0	1.0^{b}	296^{c}	743^{c}	23^{b}	2.3^{b}	27^{c}	390^{b}	24^{b}
10	2	1.5^{a}	410^{a}	1061^{a}	33^{a}	2.9^{a}	38^{ab}	423^{a}	33^{a}
10	4	1.6^{a}	428^{a}	1086^{a}	35^{a}	2.9^{a}	40^{a}	477^{a}	30.9^{a}

تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت لاتین بر مبنای آزمون دانکن (۱ و ۵٪ $\geq P$) نشان داده شده است.

Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test ($P \leq 1$ and 5%).

شاخص برداشت

کمترین شاخص برداشت در تیمار شاهد مشاهده شد. تیمارهای ۵ تن در هکتار بیوچار با هر دو سطح محلول‌پاشی از نظر آماری در یک سطح قرار گرفتند، اما کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار در شرایط عدم محلول‌پاشی موجب بهبود شاخص برداشت نسبت به تیمارهای ذکرشده فوق شد. بیشترین میزان شاخص برداشت در تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره‌ی روی مشاهده شد (جدول ۳). در یک بررسی شاخص برداشت کدو با کاربرد کود نیتروژن افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد کاهش شاخص برداشت در تیمار شاهد مربوط به عدم تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه مخصوصاً نیتروژن برای گیاه باشد. کمبود نیتروژن موجب کاهش سطح برگ، تعداد دانه در میوه و کاهش عملکرد میوه شد (Moradi Marjane et al., 2014). در تحقیقی در ذرت (Minhasa et al., 2020)، خیار (Wang et al., 2021) و شنبلیله (Huang et al., 2024) مشخص شد که کاربرد بیوچار موجب افزایش شاخص برداشت و عملکرد گیاه شد. کاربرد بیوچار همراه با باکتری ریزوبیوم موجب افزایش اندازه آنتن‌های برداشت کننده نور و سطح کنوپی گیاه شده و به این طریق موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Ogola et al., 2021). کاربرد روی سبب افزایش محتوای کلروفیل، ارتفاع، عملکرد و شاخص برداشت در گندم شد (Adil et al., 2022). نتایج حاصل از مطالعات فوق در تایید نتایج بررسی حاضر در خصوص افزایش شاخص برداشت در گیاه بود و

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

نشان داد که کودهای مورد استفاده در تحقیق حاضر تاثیر مثبت بر صفت مورد مطالعه را داشت.

عملکرد بیولوژیک

شرایط بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با ۲ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی درشرایط بدون کاربرد بیوچار دارای کمترین عملکرد بیولوژیک در گیاه بود. کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی با ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی و تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی (۲/۹ تن در هکتار) موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه شد (جدول ۳). در یک مطالعه مشخص شد که استفاده از کود اوره (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه و میوه کدوی تخم‌کاغذی را افزایش داد (Moradi Marjane et al., 2014). در مطالعه‌ای در ذرت مشخص شد که ماده آلی بیوچار عملکرد بیولوژیک گیاه را افزایش داد (Minhasa et al., 2020). کاربرد بیوچار سبب افزایش رشد و عملکرد خیار به‌دلیل افزایش جذب فسفر، پتاسیم و یون نیترات توسط گیاه شد (Khan, 2023). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز نشان داد که ماده آلی بیوچار به‌دلیل تأمین مواد غذایی و رطوبت نقش مهمی در افزایش رشد و عملکرد گیاه داشته که همسو با نتایج تحقیقات انجام‌شده فوق می‌باشد. در گیاه اسطوخودوس (Vojodi Mehrabani et al., 2017) و انار (Davarpanah et al., 2016) محلول‌پاشی با نانوذره روی موجب افزایش عملکرد گیاه شد. تعامل بین فسفولیپیدها با خوشه‌های روی و سولفیدریل پروتئین‌های غشایی، پایداری غشای سلول را افزایش می‌دهد. پروتئین‌های حاوی روی در گیاهان شامل آنزیم‌هایی مختلفی (کربنات دهیدراتازها، آلدهید دهیدروژنازها، روی/مس (مس) سوپراکسید دیسموتاز) و پروتئین‌های متصل‌شونده به DNA می‌باشند (Sofo et al., 2018). رادیکال‌های سوپراکسید توسط آنزیم Zn-Cu-SOD خنثی می‌شوند که موجب محافظت از غشا در برابر اکسیداسیون می‌شود. روی نقش مهمی در تنظیم عملکرد سلول، فعالیت‌های آنزیمی، هورمونی (مخصوصا اکسین)، فتوسیستم II، تثبت دی‌اکسید کربن در مزوفیل، حفظ تمامیت غشای سلول و هموستازی یونی در گیاه را دارد. به‌طور همزمان، یون‌های روی می‌توانند با اتصال پروتئین‌ها به گروه‌های عملکردی آن‌ها یا جابجایی کاتیون‌ها موجب کاهش اثرات تنش‌های زیستی بر گیاه شوند. جذب، انتقال و توزیع مناسب کاتیون روی در بافت‌ها، سلول‌ها و اندام‌های درون سلولی برای گیاهان از نظر پایداری سلول و عملکرد مناسب گیاه بسیار مهم است (Zlobin 2021).با توجه به بهبود شرایط فیزیکی و بیوشیمایی خاک در اثر کاربرد بیوچار و همچنن با توجه به نقش روی در گیاه، چنین به‌نظر می‌رسد کاربرد تلفیقی هر دو ماده موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه شده و به افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه کمک کرد.

محتوا و عملکرد روغن

محتوا و عملکرد روغن در تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره‌ی روی افزایش یافت که نشان‌دهنده کارایی تیمارهای مورد استفاده در بررسی حاضر درخصوص افزایش عملکرد روغن در گیاه بود (جدول ۳). محلول‌پاشی با نانوذره روی در خیار موجب افزایش محتوای روغن در گیاه شد (Gupta et al., 2022). روی به‌عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های و پروتئین‌های درگیر در مسیرهای بیوشیمایی تولید روغن در گیاه عمل می‌کند (Ghani et al., 2022). بالاترین درصد روغن و شاخص برداشت کدو در تیمار تلفیقی کاربرد کود دامی و کود شیمیایی حاصل شد (Hosseini et al., 2016). در تحقیقی مشخص شد که استفاده از روی موجب فعال‌شدن ژن‌های AtYSL1 و AtYSL3 در گیاه می‌شود که نقش مهمی در انتقال روی از آوند آبکش به دانه را دارد (Waters et al., 2006). تحت تغذیه‌ای روی ژن‌های AtMTP1 موجب تجمع روی در واکوئل و AtMT4b موجب افزایش تجمع روی در جنین دانه‌ی درحال نمو شده و به‌زنده ماندن و افزایش ذخیره بذر کمک می‌کنند (Ren et al., 2012). بیان ژن ABP1 در اثر استفاده از بیوچار در برنج موجب تولید ترکیبات پروتئینی در گیاه شد که با اتصال به اکسین نقش مهمی در رویان‌زایی، رشد ریشه و ساقه در گیاه را داشت (Gelova et al., 2021). در تحقیقی در برنج مشخص شد که بیوچار برنج موجب افزایش نسبت کربن به نیتروژن، پتاسیم قابل تبادل و محتوای کلروفیل در گیاه شده و با

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

کمک به افزایش جذب مواد غذایی موجب افزایش عملکرد گیاه گردید (Win et al., 2019). بیوچار با بهبود خواص فیزیکو-شیمیایی خاک و افزایش جمعیت میکروبی خاک، شرایط را برای رشد بهتر ریشه و تولید ریشه‌های مویین در گیاه فراهم می‌کند. افزایش رشد ریشه، به افزایش جذب آب و مواد غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) از خاک منجر شده و با انتقال مواد غذایی و آب به برگ، به پایداری فتوسنتز کمک کرده و نهایتا منجربه افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Minhasa et al., 2020). اسیدهای چرب عمده‌ترین منابع تشکیل‌دهنده روغن کدوی تخم کاغذی می‌باشند. اسیدهای چرب برای بیوسنتز، نیازمند دسترسی به منابع کربنی کافی می‌باشد به‌نظر می‌رسد نیتروژن با افزایش سطح برگ و فتوسنتز گیاه موجب تأمین کافی کربن مورد نیاز گیاه برای بیوسنتز اسیدهای چرب شود (Ran et al., 2020).

شاخص کلروفیل

شاخص کلروفیل تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۴). محلول‌پاشی با ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی در تیمار ۵ تن در هکتار بیوچار و محلول‌پاشی با هر دو سطح روی در تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوجار موجب افزایش شاخص کلروفیل شد. در تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی افزایش ۱۰۰ درصدی در شاخص کلروفیل نسبت‌به شاهد مشاهده شد که نشان‌دهنده کارایی تیمارهای مورد استفاده در بررسی حاضر در خصوص افزایش شاخص کلروفیل گیاه بود (جدول ۵). نتایج مشابهی درخصوص افزایش محتوای کلروفیل در اثر محلول‌پاشی با نانوذره روی در شعمدانی عطری (Vojodi Mehrabani et al., 2016)، خیار (Gupta et al., 2022) و اسطوخودوس (Vojodi Mehrabani et al., 2017) گزارش شد. استفاده از نانوذرات روی در پرورش گیاه موجب افزایش ورود مواد غذایی به سلول مخصوصا غشای سلول شده و موجب کنترل متابولیسم پروتئین، قندها، اسیدهای آمینه و بهبود فتوسنتز گیاه شده، و با کاهش اثرات تنش‌های محیطی به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند (Kandil et al., 2022). در یک بررسی در خصوص کاربرد توام باکتری‌های محرک رشد و نانوذره روی بر گیاه مشخص شد که کاربرد توام هر دوی آن‌ها موجب افزایش تولید هورمون‌های گیاهی، تثبت نیتروژن و بهبود کارای فتوسیستم II در گیاه شد (Seyed Sharifi et al. 2020). روی نقش مهمی در پایداری گروه ۲-سولفیدریل داشته و به این طریق موجب افزایش کلروفیل می‌شود. پرفوبیلینوژن (Porphobilinogen) پیش‌ماده بیوسنتز کلروفیل است که تشکیل آن نیازمند روی و منیزیم است. روی نقش مهمی در تشکیل و حفظ تمامیت غشای سلول دارد (Powell, 2000). چنین به‌نظر می‌رسد افزایش جذب مواد غذایی و رطوبت کافی در اثر کاربرد بیوچار موجب دسترسی بهتر گیاه به مواد مورد نیاز برای فتوسنتز شده و به پایداری تولید در گیاه کمک می‌کند. روی در تقسیم میتوز و بیوسنتز اکسین نقش داشته و با افزایش تعداد برگ موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز (ضروری برای بیوسنتز کلروفیل) و بهبود عملکرد فتوسیستم‌های نوری، افزایش فعالیت فسفواینول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز فسفات کربوکسیلاز و افزایش جذب نیتروژن و فسفر از دیگر نقش-های روی در گیاه است که موجب افزایش فتوسنتز در گیاه می‌شود (Marschner, 2012). در تحقیقی در ذرت (Minhasa et al., 2020) و برنج (Ran et al., 2020) مشخص شد که کاربرد بیوچار موجب افزایش محتوای کلروفیل در گیاه شد. بیوچار با بهبود غلظت دی‌اکسید کربن در سلول، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز به افزایش عملکرد شنبلیله تحت شرایط تنش شوری کمک کرد (Huang et al., 2024). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز در تایید مطالعات انجام شده فوق در خصوص افزایش محتوای کلروفیل در گیاه بود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و محتوای روی کدوی تخم‌کاغذی تحت کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی با نانوذره روی

Table 4. Analysis of variance for the physiological traits, and Zn content of *C. pepo*. under biochar application and foliar spraying with zinc nanoparticles.

Source of variation	df	Oil content	Oil yield	Chlorophyll index	Total soluble solid content	Relative water content	Total phenolic content	Flavonoid content	Anthocyanin content	Zn content
Replication	2	99^{*}	0.13^{*}	17^{ns}	14.5^{ns}	35^{ns}	6.3^{ns}	0.9^{ns}	0.5^{ns}	20^{ns}
Biochar (A)	2	189^{*}	1.7^{*}	35^{*}	43^{*}	1418^{**}	70^{**}	1.7^{**}	2.4^{**}	76^{*}
Foliar spray (B)	2	364^{*}	2.3^{*}	88^{**}	8.8^{ns}	491^{ns}	56^{*}	0.33^{ns}	0.17^{ns}	19^{*}
B × A	4	152^{*}	4.9^{*}	29^{*}	49.2^{*}	377^{ns}	158^{*}	0.69^{ns}	0.24^{ns}	38^{*}
Error	16	12	0.11	2.3	12	154	5.1	0.12	0.13	10
CV.		10	7.9	10	8.2	9.4	12	2.8	2.1	7.0

^{ns}، *و **به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ns, * and ** refer to nonsignificant and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی با نانوذره روی بر صفات فیزیولوژیک و محتوای روی کدوی تخم‌کاغذی

Table 5. Mean compression for the interaction effects of biochar application and foliar spray with nano zn on physiologic traits and Zn content of *C. pepo*.

Biochar (t/ha)	Foliar spray (mg/L)	Chlorophyll index (Spad)	Total soluble solid content (°Brix)	Phenolic content (mg/g DW)	Zn content (mg/kg DW)
0	0	18^{d}	1.1^{d}	25^{c}	29.4^{c}
0	2	24^{c}	1.6^{b}	36^{b}	32.9^{b}
0	2	22^{c}	1.5^{c}	36^{b}	32.2^{b}
5	0	24^{c}	1.1^{d}	33^{b}	34.2^{b}
5	2	29^{b}	1.6^{b}	42^{b}	43.6^{a}
5	4	35^{a}	1.8^{b}	40^{ab}	44.8^{a}
10	0	22^{c}	1.5^{c}	28.9^{c}	31.1^{b}
10	2	36^{a}	2.3^{a}	44^{b}	44.2^{a}
10	4	35^{a}	2.6^{a}	46^{a}	42.1^{a}

تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت لاتین بر مبنای آزمون دانکن (۵٪ ≥P) نشان داده شده است.

Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤5%).

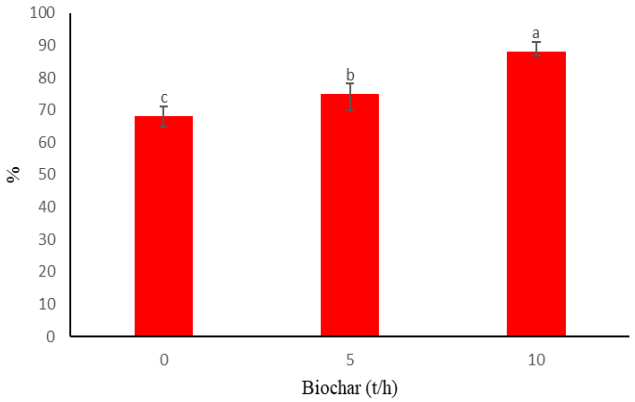
محتوای مواد جامد محلول و محتوای آب نسبی برگ

محلول‌پاشی با غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره‌ی روی در شرایط عدم کاربرد بیوچار موجب افزایش محتوای مواد جامد محلول نسبت‌به شاهد شد. ازنظر محتوای مواد جامد محلول تفاوتی در تیمار عدم کاربرد بیوچار با محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر نانوذره‌ی روی و تیمارهای ۵ تن در هکتار بیوچار با هر دو سطح محلول‌پاشی مشاهده نشد (جدول ۵). محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر اثر مستقل کاربرد بیوچار قرار گرفت (شکل ۱). کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش آب نسبی برگ به میزان ۲۹ درصد نسبت‌به شاهد شد (شکل ۱). بالاترین عملکرد روغن در تیمار کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در کدوی تخم کاغذی گزارش شد (Moradi Marjane et al., 2014). تنظیم بالادست ژن‌ها درگیر در فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و بهبود متابولیت‌های اولیه برگ موجب افزایش قند و پروتئین در گیاه شد (Ghani et al., 2022). کاربرد بیوچار در برنج موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ شد (Ran et al., 2020). بیوچار در خاک به‌عنوان منبع کربن عمل کرده و با آزادسازی تدریجی مواد غذایی به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند. بیوچار با افزایش کربن آلی به خاک و مواد آلی به خاک به افزایش ظرفیت نگهداری مواد غذایی در خاک کمک کرده و با افزایش ظرفیت نگهداری آب به افزایش رشد و عملکرد گیاه کمک می‌کند (Ramlow et al., 2019). در گیاه اسطوخودوس (Vojodi Mehrabani et al., 2017) و گشنیز (Vojodi Mehrabani and Kheirollahi, 2023) محلول‌پاشی با

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

نانوذره روی موجب افزایش محتوای مواد جامد محلول در گیاه شد. کاربرد نانوذره روی موجب افزایش محتوای مواد جامد محلول ذرت (Jala et al., 2022) و خیار (Ghani et al., 2022) شد. دسترسی بهتر گیاه به مواد غذایی و رطوبت کافی در اثر کاربرد بیوچار و نیز محلول‌پاشی با نانوذره روی به‌دلیل نقش آن در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه (تنفس، قتوسنتز، بیوسنتز ترکیبات هورمونی و آلی، بیوسنتز آنزیم‌ها و ...) نقش مهمی در افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی داشته و به این طریق سبب افزایش محتوای قند محلول و رطوبت نسبی گیاه شد.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر کاربرد بیوچار بر رطوبت نسبی برگ کدو

Figure 1. Mean compression for the effects of biochar application on leaf relative water content of *C. pepo*

تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت لاتین بر مبنای آزمون دانکن (۱ ٪ ≥P) نشان داده شده است.

Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤1%).

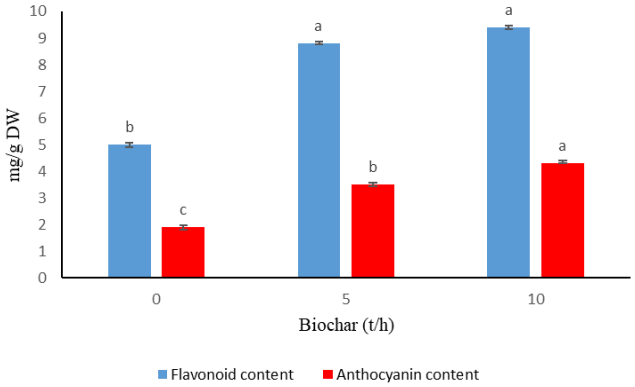
محتوای فنل کل، فلاونوئید و آنتوسیانین

محتوای فنل کل تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۴). بالاترین محتوای فنل کل در تیمارهای ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوذره روی مشاهده شد (جدول ۵). کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش محتوای فلاونوئید گیاه شد. کمترین محتوای فلاونوئید در شاهد مشاهده شد. کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش محتوای آنتوسیانین (۴/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌خشک) به میزان ۲۹ درصد نسبت‌به شاهد شد (شکل ۲). افزودن بیوچار به خاک با تعدیل pH خاک، بهبود هوادهی خاک، افزایش فعالیت میکروبی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری آب در خاک، به افزایش فتوسنتز و بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه کمک می‌کند (Hasnain et al., 2023). بیوچار نقش مهمی در بهبود محتوای یونی، نفوذپذیری غشای سلول و وضعیت آبی سلول داشته و به این طریق به کاهش اثرات تنش‌های محیطی در گیاه کمک می‌کند (Ran et al., 2020). بهبود دسترسی گیاه به مواد مورد نیاز موجب بهبود فتوسنتز و تولید متابولیت‌های لازم برای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه توسط گیاه می‌شود. افزایش در محتوای ترکیبات فنلی گیاه در اثر محلول‌پاشی با نانوذره روی در شعمدانی عطری (Vojodi Mehrabani et al., 2016) و ماش (Al-Zahrani et al., 2021) گزارش شد. محلول‌پاشی با نانوذره روی موجب افزایش محتوای فنل در گیاه اسطوخودوس (Vojodi Mehrabani et al., 2017)، تلخون (Hassanpouraghdam et al., 2023) و خیار (Ghani et al., 2022) شد. کوددهی روی به‌دلیل تاثیر در فعالت نیترات ردکتاز و مسیر آلی‌سازی نیتروژن موجب افزایش پروتئین و تقویت سیستم دفاعی در گیاه گردید. ترکیبات مذکور نقش مهمی در بیوسنتز ترکیبات فنلی در گیاه را دارد (Silva et al., 2021). در بررسی حاضر نیز محلول-

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

پاشی روی و ماده آلی بیوچار منحصرا یا در صورت کاربرد توام موجب افزایش ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و آنتوسیانینی در گیاه شد که نشان‌دهنده کارایی تیمارهای مورد استفاده در افزایش بیوسنتز ترکیبات مد نظر بود.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر کاربرد بیوچار بر محتوای آنتوسیانین و فلاونوئید کدو

Figure 2. Mean compression for the effects of biochar application on flavonoid and anthocyanin content of *C. pepo*

تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت لاتین بر مبنای آزمون دانکن (P≤ ۱ ٪) نشان داده شده است.

Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤ 1 %).

محتوای روی

محتوای روی گیاه تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۴). کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار در هر دو سطح محلول‌پاشی موجب افزایش محتوای روی گیاه شد. کمترین محتوای روی گیاه در شاهد مشاهده شد. از نظر محتوایی روی تفاوتی در شرایط بدون کاربرد بیوچار با محلول‌پاشی هر دو سطح نانوذره و همچنین تیمار ۵ تن در هکتار بیوچار با شرایط عدم محلول‌پاشی و تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار با شرایط عدم محلول‌پاشی مشاهده نشد (جدول ۵). در یک بررسی در کتان مشخص شد که کاربرد بیوچار تحت سطوح مختلف پتاسیم موجب بهبود جذب پتاسیم و عملکرد گیاه شد (Wu et al., 2019). کاربرد بیوچار موجب افزایش مواد غذایی قابل دسترس در ناحیه ریشه شده و با کاهش آبشویی مواد غذایی موجب بهبود عملکرد گیاه شد (Oram et al., 2014; Wu et al., 2019). بیوچار به‌دلیل داشتن جرم مخصوص کم، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، تخلخل زیاد و همچنین توانایی نگه‌داری رطوبت زیاد به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک مطرح است. بیوچار نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه در برابر بیماری‌های خاک، بهبود رشد ریشه به‌دلیل افزایش قدرت نگه‌داری مواد غذایی در خاک (آمونیوم و نیترات)، بهبود ساختار خاک، افزایش جمعیت میکروبی خاک، افزایش نفوذپذیری خاک و تعدیل اسیدیته خاک را دارد (Ardakani and Sharifi, 2017). در بررسی انجام شده در شعمدانی عطری (Vojodi Mehrabani et al., 2016)، خیار (Gupta et al. 2022)، تلخون (Hassanpouraghdam et al. 2023) و گشنیز (Vojodi Mehrabani and Kheirollahi, 2023) مشخص شد که محلول‌پاشی با نانوذره روی موجب افزایش محتوای روی گیاه شد. حد بهینه روی در گیاه بین ۲۰ تا ۶۰ میلی-گرم برکیلوگرم وزن‌خشک متغییر است (Natasha et al., 2022). روی یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه، فعالیت‌های فیزیولوژیکی، متابولیکی، بیوشیمیایی (بیوسنتز

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/11.4.21]

پروتئین، کلروفیل، لیپید، متابولیسم کربوهیدرات، فعالیت گیاه است (Zafar et al., 2022). امروزه استفاده از نانوکودهای روی به‌دلیل رهایش کنترل شده و جلوگیری از آبشویی آن نقش مهمی در کشاورزی دارد (Adil et al., 2022). کاربرد نانوذره روی موجب افزایش رشد گیاه و افزایش انتقال روی در بافت‌های خوراکی گیاه شده که نهایتا منجر به افزایش اسیدهای آمینه و پروتئین در گیاه می‌شود (Dimkpa et al., 2022).

نتیجه‌گیری کلی

جایگزینی کودهای شیمیایی با بیوچار و محلول‌پاشی گیاهان با نانوذره روی گامی مهم در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش کارآیی کود است. نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که کاربرد خاکی بیوچار و محلول-پاشی همزمان با نانوذره روی نقش مهمی در افزایش صفات آنزیمی و تولید انرژی) و تعدیل اثرات تنش‌های محیطی بر رشدی، عملکردی و فیزیولوژیکی گیاه داشت. محتوای آب نسبی برگ، فلاونوئید و آنتوسیانین تحت تاثیر کاربرد مستقل ماده آلی بیوچار قرار گرفت. بالاترین محتوا و عملکرد روغن دانه، وزن صددانه و عملکرد دانه در تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی هر دو سطح نانوذره روی حاصل شد. با توجه به افزایش تنش‌های محیطی (تنش خشکی و شوری) در منطقه و لزوم حفظ و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، نتایج حاصل از بررسی حاضر قابل پیشنهاد به بخش ترویج کشاورزی است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Adil, M., Bashir, S., Bashir, S., Aslam, Z., Ahmad, N., Younas, T., Asghar, R.M.A., Alkahtani, J., Dwiningsih, Y. & Elshikh, M.S. 2022. Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters and wheatyield under salt stress. Frontiers in Plant Science 13, https://doi.org/10.3389/fpls.2022.932861

Akhtar, S.S., Andersen, M.N. & Liu, F. 2015. Biochar mitigates salinity stress in potato. Journal of Agronomy and Crop Science 201 (5), 368-378. https://doi.org/10.1111/jac.12132

Al Jabri, H., Saleem, M.H., Rizwan, M., Hussain, I., Usman, K. & Alsafran, M. 2022. Zinc oxide nanoparticles and their biosynthesis: Overview. Life (Basel) 12(4), 594. doi: 10.3390/life12040594.

Al-Zahrani, H. S., Alharby, H.F., Hakeem, K.R. & Ul Rehman, R. 2021. Exogenous application of zinc to mitigate the salt stress in *Vigna radiata* (L.) Wilczek evaluation of physiological and biochemical processes. Plants 10(5), 1005. https://doi.org/10.3390/plants10051005.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. Washington, DC.: Association of Official Agricultural Chemists.

Ardakani, M.R. & Sharifi, M. 2017. Worm castingsbased growing media with biochar and arbuscular mycorrhizal fungi for producing organic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in greenhouse. Iranian Journal of Plant Physiology 7(3), 2083-2093.

Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, Gh., Abadia, J. & Khorassani, R. 2016. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. Scientia Horticulturae 210, 57-64. doi: 10.1016/j.scienta.2016.07.003

Dimkpa, C.O., Campos, M.G., Fugice, J., Glass, K., Ozcan, A., Huang, Z., Singh, U. & Santra, S. 2022. Synthesis and characterization of novel dual-capped zn–urea nanofertilizers and application in nutrient delivery in wheat. Environmental Science: Advances 1(1), 47–58. doi: 10.1039/D1VA00016K

Doolette, C.L., Read, T.L., Howell, N.R., Cresswell, T. & Lombi, E. 2020. Zinc from foliar-applied nanoparticle fertiliser is translocated to wheat grain: a 65Zn

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

radiolabelled translocation study comparing conventional and novel foliar fertilisers. Science of the Total Environment 749,: 142369. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142369

Gelová, Z., Gallei, M., Pernisová, M., Brunoud, G., Zhang, X., Glanc, M., Li, L., Micchalko, J., Pavlovcova, Z., Verstraeten, I., Han, H., Hajny, J., Hauschild, R., Covanora, M., Zwiewka, M., Hoermayer, L., Fendrych, M., Xu, T., Vernoux, T. & Friml, J. 2021. Developmental roles of auxin binding protein 1 in Arabidopsis thaliana. Plant Science 303,110750. doi: 10.1016/j.plantsci.2020.110750

Ghani, M.I., Saleem, S., Rather, S.A., Rehmani, M.S., Alamri, S., Rajput, V.D., Kalaji, H.M., Saleem, N., Sial, T.A. & Liu, M. 2022. Foliar application of zinc oxide nanoparticles: An effective strategy to mitigate drought stress in cucumber seedling by modulating antioxidant defense system and osmolytes accumulation. Chemosphere 289, 133202. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.133202.

Gupta, N., Ram, H. & Kumar, B. 2016. Mechanism of zinc absorption in plants: Uptake, transport, translocation and accumulation. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 15(1), 89–109. doi: 10.1007/s11157-016-9390-1

Gupta, N., Jain, S.K., Tomar, B.S., Anand, A., Singh, J., Sagar, V., Kumar, R., Singh, V., Chaubey, T., Abd-Elsalam, K.A. & Singh, A.K. 2022. Impact of foliar application of ZnO and Fe3O4 nanoparticles on seed yield and physio-biochemical parameters of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seed under open field and protected environment *vis a vis* during seed germination. Plants 11, 3211. https://doi.org/10.3390/plants11233211

Hasnain, M., Munir, N., Abideen, Z., Zulfiqar, F., Koyro, H.W., El-Naggar, A., Caçador. I., Duarte. B., Rinklebe, J. & Yong, J.W.H. 2023. Biochar-plant interaction and detoxification strategies under abiotic stresses for achieving agricultural resilience: A critical review. Ecotoxicology and Environmental Safety 249, https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114408

Hassanpouraghdam, M.B., Vojodi Mehrabani, L., Kheirollahi, N., Soltanbeigi, A. & Khoshmaram, L. 2023. Foliar application of graphene oxide, Fe, and Zn on *Artemisia dracunculus* L. under salinity. Agronomy 80, http://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0202

Hosseini, S,H., Yousefzadeh, S., Yeritsayan, S. & Hemmati, Kh**. 2016. Growth analysis and qualitative traits pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) affected by application of chemical and organic fertilizers. Journal of Plant Production Research 23:131-155. (In Persion).**

Huang, S., Huang, P., Hareem, M. ul-Hassan, M.T., Younis, U., Dawar, K., Fahad, S., Salmen, S.H.,Ansari, M.S. & Danish, S. **2024. Evaluating the hidden potential of deashed biochar in mitigating salinity stress for cultivation of fenugreek. Scientific Reports 14, 141. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49063-8**

Jahan, M., Koocheki,A., Nassiri, M. & Dehghanipour F. 2007. The effect of different manure levels and two branch management methods on organic production of *Cucurbita pepo* L. Iranian Journal of Field Crops 5(2), 281-289. (in Pesian)

Jala, A., Oliveira, C.E.S., Bastus, A.C., Fernandes, G.C., Lima, B.H., Junior, E.F., Carvalho, P.H.G., Galirdo, F.S., Gato, I.M.B. & Filho. M.C.M.T. **2022. Nanozinc and plant growth –promoting bacteria improved biochemical and metabolic atteibutes of maize in tropical cerrado. Frontiers in Plant Science 13: https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1046642**

Khalili, M. & Nejatzadeh, F. 2021. Effect of deficit irrigation and kaolin clay on yield and yield components of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). SN Applied Sciences 3: 559. https://doi.org/10.1007/s42452-021-04536-1

Kandil, E.E., El-Banna, A.A., Tabl, D.M., Mackled, M.I., Ghareeb, R.Y., Al-Huqail,

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

A.A., Ali, H.M., Jebril, J. & Andelsalam, N.R. 2022. Zinc nutrition responses to agronomic and yield traits, kernel quality, and pollen viability in rice (*Oryza sativa* l.). Frontiers in Plant Science 13, doi: 10.3389/fpls.2022.791066

Khajeh Haghverdi, M. Ardakani, M.R., Abbaszadeh, B. & Nejatkhah Manavi, P. 2018. Effect of vermicompost, biochar and mycorrhizal symbiosis on some qualitative and quantitative characteristics of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 34(1), 87-100. (In Persion)

Khalili, M. & Nejatzade, F. 2020. Effect of cut off irrigation and foliar application of Kaolin clay on yield and yield components of pumpkin seed (*Cucurbita pepo* L.). New Finding in Agriculture 15(1), 57-68. (In Persion)

Khan, M. 2023. Silica and biochar amendments improve cucumber growth under saline conditions. Soil System 7, doi:10.3390/soilsystems7010026.

Kim, K.H., Tsao, R., Yang, R. & Cui, S.W. 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the hydrolysis conditions. Food Chemistry 95, 466–473. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.032

Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Ed. Academic Press, London. 672 pp.

Minhasa, W.A., Hussaina, M., Mehbooba, N., Nawazc, A., UL-Allahc, S., Shahid Rizwand, M. & Hassanc, Z. 2020. Synergetic use of biochar and synthetic nitrogen and phosphorus fertilizers to improves maize productivity and nutrient retention in loamy soil. Journal of Plant Nutrition 43(9), 1356-1368. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1729804

Moazen, S.H., Daneshian, J., ValadAbadi, S.A.R. & Baghdadi, H. 2007. Study of plant population and phosphate fertilization on some agronomic characters and seed and fruit yield of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Iranian Journal of Medicinal and Agronomic Plants 22(4), 397-409. (In persian)

Moradi Marjane, E., Bannayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P. & Shabahang, J. 2014. Effects of different amounts of nitrogen and plant density on yield, yield components and seed oil percentage of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Agroecology 6, 21-30. doi: 10.22067/JAG.V6I1.35652. (In Persion)

Natasha, N., Shahid, M., Bibi, I., Iqbal, J., Khalid, S., Murtaza, B., Faiq Bakhat, H., Farooq, A.B.O., Amjad, Hammad, M.H.M., Niazi, N.K. & Arshad., M. 2022. Zinc in soil-plant-human system: A data-analysis review. Science of The Total Environment 808, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152024.

Ngo Ndoung, O.C., de Figueiredo, C.C. & Gerosa Ramos, M.L. 2021. A scoping review on biochar-based fertilizers: enrichment techniques and agro-environmental application. Heliyon 7(12), https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08473

Ogola, J.B.O., Macil, P.J. & Odhiambo, J.J.O. 2021. Biochar application and rhizobium inoculation increased intercepted radiation and yield of Chickpea in contrasting soil types. International Journal of Plant Production 15, 219–229. https://doi.org/10.1007/s42106-021-00141-9

Oram, N.J., van de Voorde, T.F.J., Ouwehand, G.J., Bezemer, T.M., Mommer, L., Jeffer, Y.S. & van Groenigen, J.W. 2014. Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. Agriculture, Ecosystems & Environment 191, 92-98. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.031

Powell, S.R. 2000. The antioxidant properties of zinc. Journal of Nutrition 130, 1447-1449. https://doi.org/10.1093/jn/130.5.1447S

Ramlow, M., Foster, E.J., del Grosso, S.J. & Cotrufo, MF. 2019. Broadcast woody biochar provides limited benefits to deficit irrigation maize in Colorado. Agricalture, Ecosystems & Environment 269, 71-81. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.09.017

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

Ran, C., Gulaqa, A., Zhu, J., Wang, X., Zhang, S., Geng, Y., Guo, L., Jin, F. & Shao, X. 2020. Benefits of biochar for improving ion contents, cell membrane permeability, leaf water status and yield of rice under saline–sodicpaddy field condition. Journal of Plant Growth Regulation 39(1): doi: 10.1007/s00344-019-09988-9

Rasouli, F., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M.B., Aazami, M.A., Ebrahimzadeh, A., Kakaei, K., Dokoupil, L. & Mlcek, J. 2022. Foliar application of ZnO-NPS influences chlorophyll fluorescence and antioxidants pool in *Capsicum annum* L. under salinity. Horticulturae 8, 908. https://doi.org/10.3390/horticulturae8100908

Ren, Y., Liu, Y., Chen, H., Li, G., Zhang, X. & Zhao, J. 2012. Type 4 metallothionein genes are involved in regulating Zn ion accumulation in late embryo and in controlling early seedling growth in *Arabidopsis*. Plant, Cell & Environment 35, 770-789

Ritchies, S.W., Nguyen, H.T. & Holaday, A.S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30:105-111 doi:10.2135/cropsci1990.0011183x003000010025x

Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., Pirzad, A. & Anwar, S. 2020. Effects of biofertilizers and nano zinc-iron oxide on yield and physicochemical properties of wheat under water deficit conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis 51 (19), 2511–2524. doi: 10.1080/00103624.2020.1845350

Silva, V.M., Nardeli, A.J., de Carvalho Mendes, N.A., de Moura Rocha, M., Wilson, L., Young, S.D., Broadley, M.R., White, P.J. & Reis, A.R. 2021. Agronomic biofortification of cowpea with zinc: Variation in primary metabolism responses and grain nutritional quality among 29 diverse genotypes. Plant Physiology and Biochemistry 162, 378–387. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.02.020

Sofo, A., Moreira, I., Gattullo, C.E., Martins, L.L. & Mourato, M. 2018. Antioxidant responses of edible and model plant species subjected to subtoxic zinc concentrations. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 49, 261-268. doi: 10.1016/j.jtemb.2018.02.010

Song, C., Liu, M.Y., Meng, J.F., Chi, M., Xi, Z.M. & Zhang, Z.W. 2015. Promoting effects of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. Molecules 20, 2536-2554. https://doi.org/10.3390/molecules20022536

Vojodi Mehrabani, L., Hassanpouraghdam, M.B., Ebrahimzadeh, A. & Valizadeh Kamran, R. 2016. Effects of $ZnSO_4$ foliar application on vegetative growth and phenolic and essential oil content of geranium (*Pelargonium odoratissimum* L.). Journal of Ornamental Plants 6(3): 193-199.

Vojodi Mehrabani, L., Valizadeh Kamran, R., Hassanpouraghdam, M.B. & Pessarakli, M. 2017. Zinc sulfate foliar application effects on some physiological characteristics and phenolic and essential oil contents of *Lavandula stoechas* L. under sodium chloride (NaCl) salinity conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis 48, 1860-1867. doi: 10.1080/00103624.2017.1406105

Vojodi Mehrabani, L. & Kheirollahi, N. 2023. Effects of salinity stress and foliar application of mineral elements and methanol on growth and some physiological traits of *Coriandrum sativum* L. Journal of Plant Process and Function 12, 55: 81-89.

Wang, F., Wang, X. & Song, N. 2021. Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years, Agriculture, Ecosystems & Environment 315, https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107425.

Wanger, G.J. 1979. Contact and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanin in protoplast. Plant Physiology 64, 88–93. doi: 10.1104/pp.64.1.88

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]

Waters, B.M., Chu, H.H., DiDonato, R.J., Roberts, L.A., Eisley, R.B., Lahner, B., Salt, D.E. & Walker, E.L. 2006. Mutations in *Arabidopsis* Yellow Stripe-Like1 and Yellow Stripe-Like3 reveal their roles in metal ion homeostasis and loading of metal ions in seeds. Plant Physiology 141, 1446-1458

Win, T., Okazaki, K., Ookawa, T., Yokoyama, T. & Ohwaki, Y. 2019. Influence of rice-husk biochar and *Bacillus pumilus* strain TUAT-1 on yield, biomass production, and nutrient uptake in two forage rice genotypes. PLoS One 14, e0220236. doi: 10.1371/journal.pone.0220236

Wu, X., Wang, D., Riaz, M., Zhang, L. & Jiang, C. 2019. Investigating the effect of biochar on the potential of increasing cotton yield, potassium efficiency and soil environment, Ecotoxicology and Environmental Safety 182, https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109451.

Younis, Y.M.H., Ghirmay, S. & Al-Shihry, S.S. 2000. African *Cucurbita pepo* L.: properties of seed and variability in fatty acid composition of seed oil. Phytochemistry 54, 71-75 https://doi.org/10.1016/S0031-9422(99)00610-X

Zafar, S., Perveen, S., Kamran, K.M., Shaheen, M.R., Hussain, R., Sarwar, N., Rashid, S., Nafees, M., Farid, G., Alamri, S., Shah, A.A., Javed, T., Irfan, M. & Siddiqui, M.H. 2022. Effect of zinc nanoparticles seed priming and foliar application on the growth and physio-biochemical indices of spinach (*Spinacia oleracea* l.) under salt stress. PloS One 17 (2), e0263194. doi: 10.1371/journal.pone.0263194

Zlobin, I.E. 2021. Current understanding of plant zinc homeostasis regulation mechanisms. Plant Physiology and Biochemistry 162, 327-35. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.03.003

*****

How to cite this article

Vojodi Mehrabani, L., Jadidi1, K. & Hassanpouraghdam M.B. 2024. The effects of biochar application and nano Zn foliar spray on yield and physiological characteristics of *Cucurbita pepo* L. Nova Biologica Reperta 11: 21-36. (In Persian).

وجودی مهربانی، ل.، جدیدی، ک. و حسن‌پوراقدم، م. ب. ۱۴۰۳. تاثیر کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی با نانوذره روی برصفات عملکردی و فیزیولوژیکی کدوی تخم‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.). یافته‌های نوین در علوم زیستی. ۱۱: ۲۱-۳۶.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/11.4.21]