

Soil-Based Application of Biochar and Foliar Use of Seaweed Algae Extract (*Ascophyllum nodosum*) and Growth and Some Physiological Traits of *Tanacetum balsamita* L.

Lamia Vojodi Mehrabani^{1*}, Mohammad Bagher Hassanpouraghdam², Farzad Rasouli²,
Mohammad Ali Aazami²

Received: 15 February 2023 Accepted: 01 June 2023

1-Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

2-Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

*Corresponding Author Email: vojodilamia@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Bio fertilizers are one of the prominent components of sustainable agricultural systems to reduce the inputs of chemical fertilizers. The aim of the current study was to evaluate the effects of biochar and foliar use of algae extract on the growth and some physiological traits of *Tanacetum balsamita* L.

Materials and Methods: The effects of biochar (zero, 10 and 20 tons per hectare) and foliar application of *Ascophyllum nodosum* extract (zero, 2 and 4 ml.L⁻¹) were assayed on the growth and physiological responses of *Tanacetum balsamita* as a factorial experiment based on the randomized complete block design with three replications during 2019-2020 under the field condition.

Results: The interactions of biochar × algae foliar application influenced the dry weight, leaf area, essential oil content and also the protein, phenolics, flavonoids, nitrogen, phosphorus and potassium content of plants. The utmost plant dry weight, leaf area, proteins, phenolics, flavonoids, nitrogen, phosphorus and potassium content was recorded in 20 ton/ ha of biochar × 2 and 4 ml L⁻¹ of algae extract and, 10 ton/he of biochar × 4 ml L⁻¹ algae treatment. The highest chlorophyll index belonged to the application of 10 and 20 ton/ha of biochar × 4 ml L⁻¹ of algae extract. 20 ton/ha biochar × 4 ml.L⁻¹ of algae extract enhanced plant height up to 76 cm which was 59% higher than the control. 20 ton/ ha biochar × 4 ml.L⁻¹ of foliar treatment increased the essential oil yield in plants.

Conclusion: The overall results revealed that 20 ton/ha biochar along with foliar spraying of 4 ml L⁻¹ algae extract had promising effects on essential oil yield of *Tanacetum balsamita*. The results with some more detailed studies would be advisable to the extension section.

Keywords: *Tanacetum balsamita*, Antioxidant Property, Elemental Content, Phenolics Content, Protein

کاربرد حاکی بیوچار و محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*)

و رشد و برخی صفات فیزیولوژیک شاهسپرم (*Tanacetum balsamita* L.)

لمیا وجودی مهربانی^{۱*}، محمد باقر حسن پور اقدم^۲، فرزاد رسولی^۲، محمدعلی اعظمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۱

۱-دانشیار 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 مکاتبه: Email: vojodilamia@gmail.com

چکیده

اهداف: یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد. هدف از بررسی حاضر ارزیابی تاثیر کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک شاهسپرم بود.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثرات کاربرد کود بیوچار (صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum* (صفر، ۲ و ۴ میلی‌لیتر بر لیتر)، بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک شاهسپرم، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه در طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد.

یافته‌ها: اثرات متقابل کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی، وزن خشک گیاه، سطح برگ، محتوای پروتئین، فنل، فلاونوئید، محتوای اسانس، نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه را تحت تاثیر قرار داد. بیشترین وزن خشک گیاه، سطح برگ، محتوای پروتئین، فنل، فلاونوئید، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۲ و ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک و کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک مشاهده شد. تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۴ لیترگرم در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش ارتفاع گیاه به ۷۶ سانتی‌متر شد که نشان‌دهنده افزایش ۵۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود. بالاترین شاخص کلروفیل در تیمار کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک مشاهده شد. ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش عملکرد اسانس گیاه شد.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک تأثیر مثبت بر عملکرد اسانس شاهسپرم داشته و قابل پیشنهاد به بخش ترویج کشاورزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاهسپرم، پروتئین، خاصیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، محتوای عناصر

مقدمه

محصولات با حداقل آسیب به محیط‌زیست شود جلب شود (مارتینز-گومز و همکاران ۲۰۲۲). در دهه‌های گذشته استفاده از کودهای شیمیایی به‌عنوان یکی از سریع‌ترین روش‌ها برای جبران کمبود

نیاز روزافزون به تأمین مواد غذایی مورد نیاز جمعیت روبه‌رشد جهان سبب شده‌است که امروزه توجه به روش‌هایی که موجب افزایش عملکرد

آنتی‌اکسیدانی گیاه از دیگر اثرات کاربرد عصاره جلبک است که به افزایش رشد و عملکرد گیاه کمک می‌کند (ترسوم ۲۰۲۲). افزایش در محتوای قند محلول در اثر محلول‌پاشی با عصاره جلبک در فلفل گزارش شده است که دلیل آن تحرک فتوسنتز توسط عصاره جلبک و افزایش تولید قند و نشاسته می‌باشد (طالبی النجارقی و همکاران ۲۰۲۲).

بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک یکی از روش‌های افزایش تولید در واحد سطح می‌باشد که امروزه بدین منظور از بقایای گیاهی، مواد پلیمری، کودهای آلی و سوپر جاذب‌ها اغلب استفاده می‌شود. کودهای آلی با بهبود ساختمان خاک، خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک، تأمین مواد غذایی و حفظ رطوبت مورد نیاز گیاه در خاک به رشد گیاه کمک می‌کند (گو و همکاران ۲۰۱۶ و فتحی گردلیدانی و میرسید ۲۰۱۵). حرارت بالای مواد آلی در نبود اکسیژن موجب تولید بیوچار می‌شود که ترکیبی غنی از کربن می‌باشد. بیوچار یکی از کودهای آلی تأثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بدلیل جرم مخصوص ظاهری کم و ساختار متخلخل آن می‌باشد کاهش اثرات گلخانه‌ای، بهبود رشد و عملکرد گیاه، بهبود کیفیت محصولات و محتوای آنتی‌اکسیدانی گیاه از اثرات کاربرد بیوچار در پرورش گیاه می‌باشد (گو و همکاران ۲۰۱۶). بیوچار به دلیل جرم مخصوص ظاهری کم، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، تخلخل زیاد، حفظ و نگهداری رطوبت موجب افزایش حاصلخیزی خاک شده و به این طریق به رشد گیاه کمک می‌کند (فتحی گردلیدانی و میرسید ۲۰۱۵). شاید یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد کود آلی مانند بیوچار مربوط به افزایش سطح برگ، تأخیر در پیری برگ باشد که با تداوم فتوسنتز به بقای گیاه کمک می‌کند (محکمی و همکاران ۲۰۲۳). در تحقیق انجام شده در گیاه کینوا مشخص شد که کاربرد کود بیوچار به همراه ورمی کمپوست موجب افزایش ارتفاع، عملکرد و وزن هزار دانه گیاه شد (محکمی و همکاران ۲۰۲۳). خصوصیات فیزیکی-شیمیایی بیوچار بستگی به منبع مورد استفاده و درجه حرارت مورد استفاده در تهیه آن را دارد (مارتینز-گومز و همکاران ۲۰۲۲). علاوه بر مزایای ذکر شده برای بیوچار، بیوچار نقش مهمی در کاهش

عناصر غذایی در خاک در نظر گرفته می‌شد، که در درازمدت موجب آلودگی محیط‌زیست، به خطر انداختن سلامت انسان و صدمات اکولوژیکی شده‌است. امروز با توجه به افزایش نیاز به تولید محصولات کشاورزی لازم است تا تدابیری در راستای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی اندیشیده شود. استفاده از کودهای آلی و عصاره جلبک علاوه بر تأمین نیازهای اصلی گیاه موجب حرکت به سمت سیستم کشاورزی پایدار می‌شود که با حاصلخیزی خاک، حفظ رطوبت خاک، کاهش فرسایش خاک و حفظ تنوع زیستی به بقای اکوسیستم کمک می‌کند (کوریکا و همکاران ۲۰۱۳). عصاره جلبک حاوی ترکیبات آلی، کربوهیدرات‌ها، هورمون‌های (اکسین، سیتوکینین و جیبرلین) است که با بهبود وضعیت تغذیه‌ای به رشد گیاه کمک می‌کند (امینی‌فرد و همکاران ۲۰۲۱). از اثرات مفید مصرف عصاره جلبک دریایی می‌توان به گسترش ریشه، جوانه‌زنی بهتر بذر، تأخیر در پیری برگ، افزایش عمر پس از برداشت محصولات و افزایش مقاومت آن‌ها در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی را اشاره نمود. در تحقیقی در زعفران مشخص شد که اندازه بنه و کاربرد عصاره جلبک به میزان ۳۰ لیتر در هکتار موجب افزایش عملکرد و محتوای کلروفیل گیاه شد (امینی‌فرد و همکاران ۲۰۲۱). نتایج بررسی انجام شده در فلفل نشان داد که استفاده از عصاره جلبک موجب افزایش اندازه و عملکرد میوه شد که دلیل آن حضور تنظیم‌کننده‌های رشدی مانند اسید سیتریک، جیبرلین، کینتن و زآتین در گیاه بود (ارتار و همکاران ۲۰۰۳). عصاره جلبک دریایی مجموعه متنوعی از کودها هست که به صورت مایع یا پودر شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. عصاره جلبک بدلیل دارا بودن هورمون‌های رشدی، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس، مولیبدن، کبالت و نیکل) نقش مهمی در بهبود رشد گیاه و افزایش مقاومت آن در برابر تنش‌های زیستی را دارد (اسماعیل پور و همکاران ۲۰۲۰). در تحقیق انجام شده در ریحان مشخص شد که کاربرد عصاره جلبک موجب افزایش عملکرد، سطح برگ ریحان، کلروفیل، کاروتنوئید و محتوای آب نسبی برگ شد (اسماعیل پور و همکاران ۲۰۲۰). تقویت سیستم

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تاثیر کاربرد کود بیوچار و عصاره جلبک دریایی بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک شاهسپرم آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه‌ای در آذرشهر (ارتفاع از سطح دریا، ۱۳۴۰ متر: ۳۷/۷۴ درجه شمالی و ۴۵/۹ درجه شرقی) انجام شد. براساس داده‌های حاصل از ایستگاه هواشناسی متوسط بارندگی در طی سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در بهار ۱۲۱ میلی‌متر و در تابستان حدود ۲۰ میلی‌متر بود. دمای گرمترین ماه سال ۲۵ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد بود قبل از کاشت گیاه، نمونه برداری از خاک (عمق ۳۰ سانتی‌متر) انجام شد. به مشخصات خاک و کود بیوچار مورد استفاده در بررسی حاضر در جدول یک اشاره شده است. در آزمایش حاضر، تأثیر سه نسبت کود بیوچار سیب (صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) (عباس‌پور و همکاران ۲۰۱۷) و عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) (صفر، ۲ و ۴ میلی‌لیتر بر لیتر) (وجودی مهربانی و ولیزاده کامران ۲۰۲۲) بر رشد و عملکرد گیاه تحت بررسی قرار گرفت. عصاره جلبک از شرکت آرمان سبز آدینه تهیه شد. به مشخصات عصاره جلبک دریایی در جدول ۲ اشاره شده است. زمین مورد استفاده، در ابتدای پاییز شخم عمیق زده شد و در بهار بعد از تسطیح زمین، کرت‌هایی به ابعاد یک‌ونیم در یک‌ونیم متر ایجاد شد. تیمار کودی بر اساس نقشه طرح در کرت‌های مورد نظر اعمال و با خاک مخلوط شد.

آلودگی‌های زیست‌محیطی مانند آلودگی‌های دارویی، حذف آلاینده‌های غیرآلی از آب‌و خاک، فلزات سنگین و کاهش اثرات گلخانه‌ای را دارد (جینبرا و همکاران ۲۰۲۲ و دیو و همکاران ۲۰۲۱).

شاهسپرم با نام علمی *Tanacetum balsamita* L. گیاه چندساله، علفی و ریزوم‌دار از خانواده Asteraceae می‌باشد. شاهسپرم به صورت گسترده در آسیا و اروپا رشد می‌کند و یکی از گیاهان دارویی مهم رشد یافته در شمال غرب ایران است. شاهسپرم حاوی ترکیبات متعدد شیمیایی مانند اسانس، مشتقات فنیل‌پروپان، فلاون‌ها، سزکویی ترپن‌ها تانن و الیگوالمنت‌ها می‌باشد (حسن-پور اقدم و همکاران ۲۰۰۹). از شاهسپرم به عنوان طعم‌دهنده برای غذا، کیک و نوشیدنی‌های مختلف استفاده می‌شود. اسانس حاصل از این گیاه کاربرد گسترده‌ای در طب سنتی ایران به دلیل اثرات ضد میکروبی، ضد آلرژی، ضد انگل، ضد سرطان، بهبود هضم غذا، کاهش نفخ و بهبود اسهال و استفراغ دارد (کوبو و کوبو ۱۹۹۵). با توجه به سازگاری این گیاه به شرایط اقلیمی آذربایجان (حسن‌پور اقدم و همکاران ۲۰۰۹) و اهمیت دارویی این گیاه لازم است تا تاثیر عوامل مختلف به-زراعی (کاربرد بیوچار و عصاره جلبک) بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه مورد بررسی قرار گیرد، تا در صورت حصول به نتیجه مطلوب، گامی مهم در راستای حرکت به سمت کشاورزی پایدار خواهد بود.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی-شیمیایی خاک و بیوچار مورد استفاده در بررسی حاضر

مشخصات	EC (dS/m)	pH	ماده آلی	فسفر (%)	پتاسیم	نیترژن (%)	بافت
بیوچار	۴/۲	۷/۴	۳	۰/۰۸	-	۰/۴	-
خاک	۱/۶	۷/۳	۰/۵۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۴	شنی لومی

جدول ۲- مشخصات فیزیکی-شیمیایی عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*)

مشخصات	سیتوکنین	اسید فسفریک	پتاسیم محلول	نیترژن	آهن	کلسیم	بر	منیزیم
%								
<i>Ascophyllum nodosum</i>	۰/۰۱	۰/۰۵	۴/۲	۰/۱	۲۵	۰/۰۶	۱۶	۰/۱

شد. از منحنی استاندارد کوئرستین برای تعیین محتوای فلاونوئید استفاده شد (چنگ و همکاران ۲۰۰۲).

سنجش آنتی‌اکسیدانت کل: ۵۰ میکرو لیتر از غلظت‌های مختلف عصاره با یک میلی‌لیتر از محلول متانول حاوی رادیکال‌های DPPH چهار درصد حجمی مخلوط شد. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از میکروپلیتری دی (BioTek, U.S.A) قرائت شد. میزان بازدارندگی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد

$$I\% = (A_{blank} - A_{sample} / A_{blank}) * 100$$

IC₅₀ نشان‌دهنده غلظتی از عصاره است که موجب ۵۰ درصد بازدارندگی رادیکال‌های آزاد می‌شود (تیپه و همکاران ۲۰۰۶).

محتوای پروتئین: یک گرم از بافت برگ، با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار، حاوی ۲ میلی‌مولار EDTA ۱/۴ میلی‌مولار بتامرکوپتواتانول و پلی‌وینیل پیرولیدین ۱ درصد مخلوط شد. محلول رویی در ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد. برای تعیین مقدار پروتئین از روش بردفورد (۱۹۷۷) استفاده شد. غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد.

اندازه‌گیری محتوای عناصر: محتوای نیتروژن به روش کجلدال (اوک ۱۹۹۰)، فسفر به روش رنگ‌سنجی کالریمتریک (رنگ زرد مولیبیدات و انادات) (چپمن و پرات ۱۹۶۱) و پتاسیم به وسیله دستگاه فلیم فتومتر (England, 410, Corning) اندازه‌گیری شد (اوک ۱۹۹۰).

آنالیز داده‌ها: آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات رشدی و وزن خشک گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک گیاه تحت تاثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۳). کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوجار همراه با

ریزوم‌ها در ۲۰ اردیبهشت ماه به زمین اصلی منتقل شدند. فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (۸ بوته در هر مترمربع). آبیاری گیاهان هر سه روز یکبار انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. محلول‌پاشی گیاهان در دو نوبت انجام شد. نوبت اول در مرحله ۳-۴ برگی و محلول‌پاشی دوم، ۱۵ روز بعد تکرار شد. سطح برگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (CI-203, U.S.A) اندازه‌گیری شد. بعد از رشد گیاهان در آغاز مرحله گل‌دهی، نمونه‌ها از خاک خارج شدند (۶۰ روز بعد از انتقال گیاهان به مزرعه) و برای اندازه‌گیری صفات مورد استفاده قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک، نمونه‌های برگي بلافاصله در فویل آلومینیومی قرار گرفته و داخل نیتروژن مایع به آزمایشگاه منتقل شدند. برای محاسبه وزن خشک گیاه، نمونه‌ها در آون در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن خشک نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (Germany, Boeco, BBI41) محاسبه شد. برای تهیه اسانس ۳۰ گرم از نمونه خشک‌شده (در آغاز مرحله گل‌دهی) در دستگاه کلونجر به روش تقطیر با آب به مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری شد. برای حذف آب اضافی اسانس‌ها از سولفات سدیم خشک استفاده شد. شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل-سنج دستی و بر مبنای عدد اسپاد محاسبه شد.

اندازه‌گیری محتوای فنل و فلاونوئید: برای اندازه‌گیری محتوای فنل و فلاونوئید برگ، ۰/۴ گرم از بافت گیاه همراه با ۱۵ میلی‌لیتر متانول اسیدی در هاون چینی ساییده شد. ۱۳ میلی‌لیتر از عصاره حاصل ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. برای تعیین محتوای فنل کل، از معرف فولن-سیوکالتو استفاده شد. محتوای فنل کل با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک محاسبه شد. برای اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید کل، از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم استفاده شد. جذب نمونه‌ها در ۴۲۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر (China+, T80) اندازه‌گیری

شد. چنین به نظر می‌رسد که بهبود خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی خاک، دسترسی بهتر به مواد غذایی، تامین رطوبت کافی در خاک در اثر کاربرد بیوچار موجب بهبود رشد گیاه شود. همچنین عصاره جلبک نیز با تامین مواد غذایی، هورمون‌ها و اسیدهای آمینه مورد نیاز گیاه موجب بهبود فتوسنتز و افزایش عملکرد گیاه شد. استفاده از کودهای آلی در پرورش گیاهان دارویی نقش مهمی در کاهش آلاینده‌های محیطی و تخریب خاک‌های زراعی داشته و با کاهش مصرف کودهای شیمیایی راه را برای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار فراهم می‌کند (پیرانی و همکاران ۲۰۲۰). با اتکا به نتایج به دست آمده و تاثیرات مثبتی که کاربرد تلفیقی هردوی تیمار روی صفات رشدی و عملکردی گیاه داشتند، به نظر می‌رسد که هم کاربرد بیوچار در محیط ریشه باعث افزایش بهره‌وری آب برای گیاه شده باشد و هم با کمک به جذب عناصر غذایی به رشد گیاه کمک کند. همچنین محلول‌پاشی با عصاره جلبک هم به دلیل دارا بودن عناصر غذایی و هورمونی مورد نیاز گیاه، در جهت بهبود شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاه عمل کرده است.

شاخص کلروفیل

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی شاخص کلروفیل برگ را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش شاخص کلروفیل گیاه شد. کمترین شاخص در تیمارهای شاهد و تیمار بدون کاربرد بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۲ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک مشاهده شد (جدول ۴). در پژوهشی در مرزه مشخص شد که کاربرد عصاره جلبک موجب افزایش شاخص سبزیگی گیاه شد (رضایی و همکاران ۲۰۲۰). در کینوا محتوای کلروفیل تحت تاثیر اثرات متقابل دور آبیاری و کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست به همراه بیوچار قرار گرفت (محکمی و همکاران ۲۰۲۳). افزایش در محتوای کلروفیل در اثر کاربرد بیوچار در نعنای گزارش شد (مومیوند و همکاران ۲۰۲۳). چنین به نظر می‌رسد بهبود وضعیت

محلول‌پاشی ۲ و ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک و تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش وزن خشک و سطح برگ گیاه شد. تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش ۷۶ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. کمترین وزن خشک و ارتفاع گیاه در تیمار بدون کاربرد کود و بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. محلول‌پاشی با ۲ و ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک همراه با ۲۰ تن در هکتار کود بیوچار موجب افزایش تعداد برگ گیاه شد (جدول ۴). در بررسی انجام شده در فلفل دلمه‌ای و قلمی مشخص شد که محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی و اسید فولیک تاثیر مثبت بر تعداد برگ، وزن خشک گیاه، رشد رویشی بخش هوایی و ریشه گیاه، عملکرد، محتوای کلروفیل، قند محلول و میزان DPPH گیاه داشت (طالبی النجاری و همکاران ۲۰۲۲). نتایج مشابهی در خصوص افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد عصاره جلبک در مرزه گزارش شد (رضایی و همکاران ۲۰۲۰). افزایش در عملکرد گیاه و سطح برگ در اثر محلول‌پاشی با عصاره جلبک در گیاه زوفا گزارش شد (پیرانی و همکاران ۲۰۲۰). افزایش بیوماس در شلغم روغنی بعد از مصرف بیوچار برنج ممکن است در نتیجه بهبود خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی خاک، pH، تبادل کاتیونی، افزایش فعالیت میکروبی خاک، دسترسی به مواد غذایی (کربن و نیتروژن) در خاک باشد (زو و همکاران ۲۰۱۴). شاید یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد عصاره جلبک مربوط به جذب بهتر آب، افزایش رشد ریشه و جذب مواد غذایی توسط گیاه باشد. استفاده توأم از بیوچار برنج همراه با کود آلی در کدوی خورشیدی نشان داد که استفاده توأم از کودها موجب افزایش ارتفاع، محتوای کلروفیل، وزن خشک گیاه بدلیل تغییر در خصوصیات خاک و دسترسی بهتر به مواد غذایی شد (فرید و همکاران ۲۰۲۲). نتایج مشابهی در خصوص افزایش عملکرد، تعداد گل و ارتفاع گیاه در اثر کاربرد بیوچار برنج در گوجه‌فرنگی (آداجو و همکاران ۲۰۲۲) و زنیان (خاشعی سیوکی و همکاران ۲۰۱۹) گزارش

فوق می‌باشد و نشان می‌دهد که تامین مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف برای گیاه در طی رشد رویشی و جلوگیری از ایجاد تنش آبی در اثر کاربرد بیوچار با فراهم‌سازی پیش‌سازهای مورد نیاز برای بیوسنتز کلروفیل، به افزایش شاخص کلروفیل کمک کرده و با افزایش رشد رویشی گیاه موجب افزایش عملکرد گیاه خواهد شد.

تغذیه گیاه، حفظ رطوبت کافی در خاک موجب کاهش تنش وارده به گیاه شده و با افزایش محتوای کلروفیل و بهبود فتوسنتز گیاه مانع پیری زودرس برگ شود (نصرالله‌زاده و همکاران ۲۰۱۷). نتایج مشابهی در خصوص افزایش محتوای کلروفیل گیاه در اثر کاربرد کودآلی و محلول‌پاشی با عصاره جلبک در کدو گزارش شد (وجودی مهربانی و ولیزاده کامران ۲۰۲۲). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز در تایید نتایج ذکر شده

جدول ۳- تجزیه واریانس کاربرد بیوچار و عصاره جلبک بر وزن صفات رشدی، محتوای کلروفیل، پروتئین و محتوا و عملکرد اسانس شاهسپرم

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک بخش هوایی	ارتفاع گیاه	تعداد برگ در بوته	سطح برگ	شاخص کلروفیل	محتوای اسانس	عملکرد اسانس	محتوای پروتئین
بلوک	۲	۵۴۱*	۱۳۶۱*	۱۸۷۴*	۰/۰۸*	۷۶*	۰/۰۷*	۵۸۹ ^{NS}	۹۱۸*
بیوچار	۲	۷۴۲*	۱۵۴۱**	۱۱۹۷۱*	۰/۱۲*	۱۸*	۰/۰۵*	۵۲۱۷*	۱۱۲۹**
عصاره جلبک	۲	۹۶۳**	۲۸۷۱*	۱۳۸۹۴۱**	۰/۰۹*	۹۶**	۰/۲۱**	۳۷۰۶**	۴۷*
بیوچار × عصاره جلبک	۴	۹۱**	۴۹**	۱۱۰۷**	۰/۲۱**	۱۸/۶*	۰/۰۱**	۵۴۰۸**	۹۷/۶*
خطا	۱۶	۶	۷۴	۱۰۰۱	۰/۰۱	۱/۰۱	۰/۰۰۴	۴۷۸	۱/۱
ضریب تغییرات (%)		۹/۳	۵/۱	۷/۳	۷/۱	۷	۳/۱	۷/۳	۹

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

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد بیوچار و عصاره جلبک بر صفات رشدی، وزن خشک، شاخص کلروفیل، محتوا و عملکرد اسانس و محتوای پروتئین شاهسپرم

کود بیوچار (تن در هکتار)	عصاره جلبک (ml L ⁻¹)	وزن خشک (g)	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد برگ در بوته	سطح برگ (cm ²)	شاخص کلروفیل (SPAD)	محتوای اسانس (plant ⁻¹)	عملکرد اسانس (ml)	محتوای پروتئین (mg g ⁻¹ FW)
صفر	۰	۳۰ ^d	۳۱ ^e	۲۹ ^d	۰/۵۷ ^{cd}	۲۱ ^c	۰/۳۴ ^d	۰/۱۰ ^e	۳/۱ ^c
صفر	۲	۳۸ ^c	۳۵ ^{de}	۳۴ ^c	۰/۶۱ ^c	۲۷ ^c	۰/۵۱ ^c	۰/۱۹ ^d	۳/۵ ^c
صفر	۴	۴۲ ^b	۳۶ ^c	۳۹ ^c	۰/۵۹ ^{cd}	۳۳ ^b	۰/۵۷ ^c	۰/۲۳ ^d	۳/۶ ^c
۱۰	۰	۳۷ ^c	۴۸ ^c	۴۲ ^b	۰/۶۳ ^c	۳۱ ^b	۰/۵۱ ^c	۰/۱۸ ^d	۳/۹ ^c
۱۰	۲	۴۷ ^b	۵۱ ^d	۴۸ ^b	۰/۷۱ ^b	۳۲ ^b	۰/۸۹ ^{ab}	۰/۴۱ ^c	۴/۶ ^b
۱۰	۴	۵۹ ^a	۵۸ ^b	۴۸ ^b	۰/۸۷ ^a	۳۵ ^{ab}	۰/۹۶ ^a	۰/۵۶ ^b	۵/۱ ^{ab}
۲۰	۰	۴۶ ^b	۵۷ ^b	۴۰ ^{bc}	۰/۶۴ ^c	۳۰ ^b	۰/۸۵ ^b	۰/۳۹ ^c	۳/۹ ^c
۲۰	۲	۵۷ ^a	۶۹ ^b	۵۳ ^a	۰/۸۹ ^a	۳۱ ^b	۰/۹۴ ^a	۰/۵۳ ^b	۵/۹ ^a
۲۰	۴	۶۹ ^a	۷۶ ^a	۶۰ ^a	۰/۸۴ ^a	۳۷ ^a	۱/۱ ^a	۰/۷۵ ^a	۶/۳ ^a

ستون‌ها با حرف مشابه نشان دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن ($P \leq 5\%$) می‌باشد

شد. کمترین محتوای اسانس در تیمار شاهد مشاهده شد. تفاوتی از نظر محتوای اسانس بین تیمارهای بدون کاربرد بیوچار با هر دو سطح محلول‌پاشی و تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار و بدون محلول‌پاشی

محتوا و عملکرد اسانس

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی محتوای اسانس و عملکرد اسانس گیاه را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با هر دو سطح محلول‌پاشی موجب افزایش محتوای اسانس گیاه

اسکلت‌های کربنی بیشتری در اختیار گیاه برای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه مخصوصاً اسانس قرار گرفته و سبب افزایش محتوا و عملکرد اسانس شد.

محتوای پروتئین

اثرات متقابل محلول‌پاشی با عصاره جلبک و کاربرد بیوچار محتوای پروتئین گیاه را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). از نظر آماری اختلافی بین تیمار شاهد، تیمارهای بدون کاربرد بیوچار همراه با هر سه محلول-پاشی و تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار و بدون محلول-پاشی از نظر محتوای پروتئین مشاهده نشد. کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با هر دو سطح محلول‌پاشی و تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش محتوای پروتئین گیاه شد (جدول ۴). کاربرد کود بیولوژیک به همراه ورمی کمپوست موجب افزایش پروتئین کینوا گیاه شد. به نظر می‌رسد تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه مخصوصاً نیتروژن موجب افزایش محتوای پروتئین در اثر کاربرد بیوچار شود (محکمی و همکاران ۲۰۲۳ و تورسوم ۲۰۲۲). محلول‌پاشی گشنین با عصاره جلبک موجب افزایش محتوای پروتئین گیاه شد (تورسوم ۲۰۲۲). کاربرد عصاره جلبک با تاثیر مثبت بر بیوسنتز پروتئین، پلی‌ساکاریدها و عصاره جلبک نقش مهمی متابولیسم گیاه ایفا می‌کنند و با افزایش تعداد غده‌های اسانس موجب افزایش تولید اسانس در گیاه می‌شوند (رضایی و همکاران ۲۰۲۰ و تورسوم ۲۰۲۲). چنین به نظر می‌رسد که کاربرد عصاره جلبک همراه با بیوچار موجب دسترسی بهتر گیاه به آب و مواد غذایی (مخصوصاً نیتروژن) شده و با بهبود شرایط متابولیسم اولیه گیاه، شرایط برای افزایش بیوسنتز پروتئین فراهم شده بود.

محتوای فنل، فلاونوئید و خاصیت آنتی‌اکسیدانی

(IC₅₀) گیاه

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی محتوای ترکیبات فنلی در گیاه را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۵). کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۲ و ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک و تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در

مشاهده نشد. کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار با محلول‌پاشی ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش عملکرد اسانس به میزان ۷ برابر نسبت به تیمار شاهد شد. کمترین عملکرد اسانس در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). کاربرد عصاره جلبک دریایی در مرزه (رضایی و همکاران ۲۰۲۰) و گشنین (تورسوم ۲۰۲۲) موجب افزایش محتوای اسانس گیاه شد. شاید یکی از دلایل افزایش رشد گیاه در اثر کاربرد عصاره جلبک مربوط به وجود هورمون‌های سیتوکین در عصاره‌ی جلبک باشد که با جلوگیری از تجزیه کلروفیل توسط آنزیم کلروفیل‌از به بهبود رشد و عملکرد گیاه کمک می‌کند (اسماعیل‌پور و همکاران ۲۰۲۰). با افزایش رشد گیاه در اثر کاربرد کودهای آلی، اسکلت‌های کربنی بیشتری جهت تولید متابولیت‌های ثانویه در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. تولید اسانس در گیاه تحت تاثیر عوامل محیطی (دما، رطوبت، تغذیه، مدت روشنایی و عوامل جغرافیایی)، درونی و ژنتیکی (گونه، رقم و مرحله نمو) می‌باشد. تغذیه گیاهی نقش مهمی در رشد، نمو و مسیرهای بیوشیمیایی گیاه دارد. کودهای آلی مانند بیوچار موجب افزایش محتوای اسانس از طریق افزایش دسترسی به نیتروژن و سایر عناصر غذایی را می‌شود (مومیوند و همکاران ۲۰۲۳). همچنین کربن موجود در بیوچار با توجه به نقشی که در فرایندهای زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک دارد موجب حاصل‌خیزی خاک می‌شود (حسین و همکاران ۲۰۲۰). افزایش در محتوای اسانس گیاه در اثر کاربرد بیوچار به دلیل اثرات تغذیه-ای این کود و بهبود خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک می‌باشد که با افزایش فتوسنتز، سبب افزایش محتوای اسانس گیاه می‌شود (مومیوند و همکاران ۲۰۲۳). از طرفی عصاره جلبک نیز با تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و هورمون‌های با بهبود رشد، افزایش فتوسنتز و تولید متابولیت‌های ثانویه به افزایش عملکرد گیاه کمک می‌کند (اسماعیل‌پور و همکاران ۲۰۲۰). افزایش وزن خشک و شاخص کلروفیل در اثر کاربرد عصاره جلبک و بیوچار موجب افزایش عملکرد اسانس در گیاه شد. به نظر می‌رسد با بهبود شرایط رشدی و فتوسنتزی گیاه،

نسبی برگ، افزایش مواد غذایی مانند فسفر، نیتروژن، پتاسیم و بهبود رشد گیاه شد و ماده اولیه بیشتری جهت تولید متابولیت‌های ثانویه در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (نهلا و همکاران ۲۰۲۱). در بررسی انجام شده در نعنا مشخص شد که کاربرد بیوچار موجب افزایش عملکرد، محتوای ترکیبات فنلی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی گیاه شد (مومیوند و همکاران ۲۰۲۳). بیوچار نقش مهم در حفظ و نگهداری رطوبت در خاک و کاهش اثرات تنش‌های محیطی را دارد (باسو و همکاران ۲۰۱۳) و همچنین از طریق تامین مواد غذایی مورد نیاز گیاه نقش مهمی در افزایش فتوسنتز و تامین منابع کربنی لازم برای تولید متابولیت‌های ثانویه را دارد (حسین و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به اینکه محتوای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخازن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در این پژوهش افزایش یافته است و ترکیبات فوق قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های موجود در گیاه است، لذا افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی همگام با افزایش این ترکیبات است.

لیتر عصاره جلبک موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید گیاه شد. از نظر آماری اختلافی بین تیمارهای شاهد و ۱۰ و ۲۰ تن بیوچار در شرایط بدون محلول-پاشی مشاهده نشد. اثرات متقابل کاربرد تیمارهای ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با هر دو سطح محلول-پاشی موجب بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه شد (جدول ۶). بالاترین نسبت DPPH در اثر کاربرد ۳ میلی‌لیتر بر لیتر عصاره جلبک در فلفل دلمه‌ای گزارش شد و کمترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده شد که دلیل آن افزایش محتوای فنل، ویتامین ث و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه بود (طالبی النجارقی و همکاران ۲۰۲۲). در بررسی انجام‌شده در فلفل دلمه‌ای مشخص شد که محلول‌پاشی با عصاره جلبک موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید گیاه شد (طالبی النجارقی و همکاران ۲۰۲۲). در تحقیقی در ذرت مشخص شد که کاربرد توأم بیوچار به‌همراه ریزوباکتری (*Azotobacter chroococcum*) موجب افزایش کلروفیل، کارتنوئید، محتوای قند محلول، محتوای آب

جدول ۵- تجزیه واریانس کاربرد بیوچار و عصاره جلبک بر محتوای ترکیبات فنلی، IC₅₀ و محتوای عناصر

شاهسپرم

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای فنل کل	محتوای فلاونوئید	IC ₅₀	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
بلوک	۲	۴/۳*	۳/۳*	۲/۰۶ ^{NS}	۱۱/۰۸*	۳/۸*	۳/۸*
بیوچار	۲	۲۹/۳*	۲۵/۷*	۲/۴۸*	۱۳/۹**	۱۸/۷*	۲/۵*
عصاره جلبک	۲	۷۴/۲*	۰/۰۳۹ ^{NS}	۲۵/۶*	۱۴/۷*	۲۹/۶**	۱/۰۱*
بیوچار × عصاره جلبک	۴	۱۹۴**	۲/۹*	۴۹/۷*	۲۶/۶**	۸۷**	۱۰/۲*
خطا	۱۶	۱۰/۶	۰/۰۵	۱/۰۹	۱/۸	۵/۴	۱/۵
ضریب تغییرات (%)		۱/۷	۱/۴	۲/۵	۴/۹	۱۱	۸

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

محتوای عناصر غذایی

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی محتوای عناصر گیاه را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۵). براساس نتایج حاصل کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با هر دو سطح محلول‌پاشی و کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه با ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش

محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه شد (جدول ۶). محلول‌پاشی با ۳ میلی‌لیتر بر لیتر عصاره جلبک موجب افزایش محتوای نیتروژن در فلفل شد. وجود هورمون‌های رشد گیاهی در عصاره جلبک نقش مهمی در افزایش رشد گیاه، ریشه و جذب نیتروژن توسط گیاه را دارد (طالبی النجارقی و همکاران ۲۰۲۲).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد بیوپچار و محلول پاشی با عصاره جلبک بر برخی صفات فیزیولوژیک و محتوای عناصر گیاه شاهسپرم

پتاسیم (% DW)	فسفر (% DW)	نیتروژن (% DW)	IC ₅₀ (mg ml ⁻¹)	محتوای فلاونوئید (mg g ⁻¹ FW)	محتوای فنل کل (mg g ⁻¹ FW)	عصاره جلبک	کود بیوپچار (تن در هکتار)
۲/۸ ^c	۰/۵ ^c	۲/۸ ^c	۵۵ ^a	۷ ^c	۲۰ ^c	۰	صفر
۳ ^{bc}	۰/۵ ^c	۲/۹ ^c	۴۶ ^b	۷ ^c	۲۴ ^b	۲	صفر
۲/۶ ^c	۰/۶ ^b	۳/۲ ^b	۴۱ ^b	۷/۹ ^c	۲۵/۱ ^b	۴	صفر
۳/۵ ^b	۰/۵۵ ^{bc}	۳/۴ ^b	۴۷ ^b	۷/۳ ^c	۲۱ ^c	۰	۱۰
۳/۴ ^b	۰/۶ ^b	۳/۹ ^b	۳۸ ^c	۱۰/۱ ^b	۲۸/۳ ^b	۲	۱۰
۳/۹ ^{ab}	۰/۸ ^a	۴/۱ ^a	۳۱ ^c	۱۱/۸ ^{ab}	۳۱ ^a	۴	۱۰
۲/۸ ^c	۰/۶ ^b	۳/۵ ^b	۳۷ ^c	۷/۸ ^c	۲۳ ^c	۰	۲۰
۴/۱ ^a	۰/۹ ^a	۴/۳ ^a	۳۱ ^c	۱۲/۱ ^a	۲۹/۳ ^a	۲	۲۰
۴/۵ ^a	۰/۸ ^a	۴/۷ ^a	۳۳ ^c	۱۳ ^a	۳۱/۱ ^a	۴	۲۰

ستون‌ها با حرف مشابه نشان دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن (P ≤ ۵٪) می‌باشد

عناصر غذایی مخصوصا پتاسیم متناقض (مثبت یا منفی) می‌باشد (حسین و همکاران ۲۰۲۰). بیوپچار با کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش pH خاک و افزایش نگهداری رطوبت در خاک به تحرک و جذب عناصر غذایی در خاک کمک می‌کند. افزایش فعالیت میکروبی خاک، افزایش فعالیت آنزیمی، تهویه خاک، و بیوماس میکروبی خاک نقش مهمی در فعال‌سازی و جذب عناصر غذایی از خاک را دارد (حسین و همکاران ۲۰۲۰). در کل چنین می‌توان گفت که شاید تامین رطوبت کافی در خاک در اثر کاربرد بیوپچار، با کمک به تحرک عناصر غذایی در خاک، موجب افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه شد. از طرفی محلول‌پاشی هم موجب دسترسی بیشتر گیاه به عناصر غذایی شده و با افزایش رشد گیاه، دسترسی به عملکرد اسانس بیشتری مقدور شد.

نتیجه‌گیری کلی

تولید ارگانیک گیاهان دارویی در اثر مدیریت تغذیه گیاه و حاصلخیزی خاک نقش مهمی در کاهش آلودگی محیط زیست و حفظ حاصلخیزی خاک را دارد. نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که کاربرد کود بیوپچار همراه با محلول‌پاشی عصاره جلبک تاثیر مثبت بر رشد و صفات فیزیولوژیک گیاه داشت. افزایش در

زی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد ۲ درصد (وزن به وزن) بیوپچار برنج با افزایش ازت و پتاسیم خاک موجب افزایش رشد برگ و ریشه کاهو شد. افزایش در محتوای کربن، نیتروژن، منیزیم و پتاسیم در اثر کاربرد بیوپچار در برنج (نان و همکاران ۲۰۲۰) و پتاسیم و ازت در کدو (وجودی مهربانی و ولیزاده کامران ۲۰۲۲) گزارش شد. افزایش در محتوای نیتروژن، منیزیم، منگنز، آهن و روی در اثر کاربرد بیوپچار در نعنا گزارش شد (مومیوند و همکاران ۲۰۲۳). افزایش فعالیت میکروبی خاک، بهبود چرخه عناصر غذایی در خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، افزایش محتوای ازت، فسفر و پتاسیم از اثرات مستقیم کاربرد بیوپچار بر گیاه می‌باشند (مارتینز-گومز و همکاران ۲۰۲۲). به نظر می‌رسد اثرات هم افزایی کاربرد بیوپچار و عصاره جلبک نقش مهمی در فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود فتوسنتز در گیاه را داشته باشد و به این طریق به افزایش عملکرد گیاه کمک می‌کند. بیوپچار نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی در خاک را دارد و موجب افزایش نیتروژن خاک از طریق جلوگیری از آبشویی آن و تصعید آن را دارد (حسین و همکاران ۲۰۲۰). افزایش محتوای فسفر در اثر کاهش آبشویی فسفر از خاک در اثر کاربرد بیوپچار مشاهده می‌شود اما تاثیر بیوپچار بر محتوای سایر

رسد که ترکیب تیماری مورد استفاده در بررسی (۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با ۴ میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک) حاضر با بهبود شرایط تغذیه‌ای و هورمونی گیاه موجب بهبود عملکرد اسانس به میزان هفت برابر نسبت به تیمار شاهد شد. لذا نتایج حاصل از بررسی حاضر قابل پیشنهاد به بخش ترویج کشاورزی در راستای تولید گیاهان دارویی عاری از بقایای کودهای شیمیایی است.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به‌خاطر تامین هزینه‌های پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی را داریم.

عملکرد گیاه، محتوای عناصر و ترکیبات فنلی گیاه در اثر کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول-پاشی ۲ و ۴ میلی گرم در لیتر عصاره جلبک و تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک مشاهده شد. کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار همراه با محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم برلیتر عصاره جلبک موجب افزایش عملکرد اسانس گیاه شد. سطح برگ یکی از شاخص‌های مهم تاثیرگذار در رشد و فتوسنتز گیاه می‌باشد که نقش مهمی در عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گیاه دارد. در بررسی حاضر افزایش سطح برگ همسو با تیمارهای برتر آزمایش بود که نشان‌دهنده‌ی کارایی تیمارهای مذکور در بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیک گیاه بود. چنین به‌نظر می‌-

منابع مورد استفاده

- Abbaspour F, Asghari HR, Moghaddam PR, Abbasdokht H, Shabahang J and Babaei B. 2017. Effects of biochar application on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.) under low irrigation condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33: 13-32. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.114596.2075>
- Adebajo SO, Oluwatobi F, Akintokun PO, Ojo AE, Akintokun AK and Gbodope IS. 2022. Impacts of rice-husk biochar on soil microbial biomass and agronomic performances of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientific Reports*, 12: 1787. doi: 10.1038/s41598-022-05757-z.
- Aminifard MH, Khandan Deh-Arbab S, Fallahi HR and Kaveh H. 2021. Effects of different levels of algae extract and mother corm weight on photosynthetic pigment content, growth and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*, 9: 296-309. <https://doi.org/10.22077/jsr.2018.1663.1063>
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC.
- Arthar GD, Stirk WA and Staden JV. 2003. Effect of a seaweed concentrate on the growth and yield of three varieties of *Capsicum annum*. *South African Journal of Botany*, 69: 207-211. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30348-3](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30348-3)
- Basso AS, Miguez FE, Laird DA, Horton R and Westgate M. 2013. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy*, 5: 132-143. doi: 10.1111/gcbb.12026
- Bradford MM. 1967. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of the principle of protein -dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-252. doi: 10.1006/abio.1976.9999.
- Chang CC, Yang MH, Wen HM and Cher JC. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug analysis*, 10: 178-182. Doi: 10.38212/2224-6614:2748
- Chapman HD and Pratt PF. 1961. Method of analysis for soils, plants and waters. University of California. Division of Agricultural Sciences. <https://doi.org/10.2136/sssaj1963.03615995002700010004x>
- Chojnacka K, Saeid A, Witkowska Z and Tuhy L. 2012. Biologically active compounds in seaweed extracts—the prospects for the application. In *The open Conference Proceedings Journal*, 3: 20-28.

- Du Y, Zhang X, Shu L, Feng Y, Lv C, Liu HQ, Xu F, Wang Q, Zhao CC and Kong Q. 2021. Safety evaluation and ibuprofen removal via an *Alternanthera philoxeroides*-based biochar. Environmental Science and Pollution Research International, 28: 40568–40586. doi: 10.1007/s11356-020-09714-z.
- Esmailpour B, Fatemi H and Moradi M. 2020. Effects of seaweed extract on physiological and biochemical characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under water-deficit stress conditions. Science and Technology of Greenhouse Culture, 11(1): 59-69. Doi: 10.47176/jspi.11.1.10288
- Farid IM, Siam HS, Abbas MH, Mohamed I, Mahmoud SA, Tolba M, Abbas HH, Yag X, Antoniadis V, Rinklebe J and Shaheen SM. 2022. Co-composted biochar derived from rice straw and sugarcane bagasse improved soil properties, carbon balance, and zucchini growth in a sandy soil: a trial for enhancing the health of low fertile arid soils. Chemosphere, 292:133389. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.133389
- Fathi Gerdelidani A and Mirseyed H. 2015. Different aspects of biocurrent effects in improving soil quality. International Conference on Applied Research in Agriculture, Tehran, 22 May: 1-12. (In Farsi)
- Ginebra M, Muñoz C, Calvelo-Pereira R, Doussoulin M and Zagal E. 2022. Biochar impacts on soil chemical properties, greenhouse gas emissions and forage productivity: a field experiment. Science of the Total Environment, 806: 150465. doi: 10.1016/j. scitotenv.2021.150465.
- Guo L, Wu G, Li Y, Li C, Liu W, Meng J, Liu H, Yu X and Jiang G. 2016. Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat-maize rotation system in Eastern China. Soil and Tillage Research, 156: 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.010>
- Hassanpouraghdam MB, Tabatabaie SJ, Nazemiyeh H, Vojodi L and Aazami MA. 2009. Volatile oil constituents of alecost [*Tanacetum balsamita* L. ssp. *Balsamitoides* (Schultz- bip.)] growing wild in north –West of Iran. Herba Polonica, 55(1): 53-59. <https://www.researchgate.net/publication/233842945>
- Hussain MZ, Bahar MM, Sarkar B, Donne SW, Ok YS, Palansooriya KN, Kirkham MB, Chowdhury S and Bolan N. 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. Biochar, 2: 379-420 <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>.
- KhasheiSiuki A, Shahidi A, Yaghoubzadeh M and Dastorani M. 2019. Effect of Biochar application and irrigation management on yield and yield components medicinal plant (*Trachyspermum ammi*.). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2: 319-328. Doi: 20.1001.1.20087942.1398.13.2.5.3
- Kocira A, Karnas R and Kocira S. 2013. Effects assessment of Kelpak sl on the bean yield. Journal of Central European Agriculture, 14(2): 67-76. Doi:<https://doi.org/10.5513/jcea.v14i2.2163>
- Kubo A and Kubo I. 1995. Antimicrobial agents from *Tanacetum balsamita*. Journal of Natural. Products, 58: 1565-1556. Doi:10.1021/np5012a013
- Martinez-Gomez A, Poveda J and Escobar C. 2022. Overview of the use of biochar from main cereals to stimulate plant growth. Frontiers in Plant Science. Doi: 10.3389/fpls.2022.912264.
- Mohkami A, Yazdanpanah N and Saeidnejad AH. 2023. The Effect of vermicompost and biochar application on morphophysiological characteristics of Quinoa under drought stress conditions. Iranian Journal of soil and water research, 53(1): 129-140. Doi: 10.22059/ijswr.2021.329540.669058
- Mumivand H, Izadi Z, Amirizadeh, Maggi F and Morshedloo R. 2023. Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha × peperita* L.) grown under wastewater and reduces environmental contamination from wastewater disposal. Journal of Hazardous Materials, Doi:10.1016/j.hazmat.2022.130674.epub.2022dec24.
- Nan Q, Wang C, Wang H, Yi Q, Liang B, Xu J and Wu W. 2020. Biochar drives microbially mediated rice production by increasing soil carbon. Journal of Hazardous Materials, 387, 121680. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121680

- Nasrolahzadeh S, Shirkhani A, Zehtab Salmasi S and Choukan R. 2017. Effects of biofertilizer and chemical fertilizer on maize yield and leaf characters in different irrigation conditions. *Journal of Applied Crop Research*, 29: 72- 86. Doi: 10.22092/aj.2017.109048.1111
- Nehela Y, Mazrou YS, Alshaal T, Rady A, El-Sherif A, Omara AED, El-Monem AMA and Hafez EM. 2021. The integrated amendment of sodic-saline soils using biochar and plant growth-promoting rhizobacteria enhances maize (*Zea mays* L.) resilience to water salinity. *Plants*, 10, 1960. doi: 10.3390/plants10091960.
- Pirani H, Ebadi MT and Rezaei A. 2020. Effect of seaweed fertilizer foliar application on growth parameters, yield, and essential oil content and composition of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36: 378-389. Doi: 10.22092/ijmapr.2020.128252.2660
- Rezaei R, Ebadi MT and Pirani H. 2020. Effect of different levels of seaweed fertilizer on growth parameters, yield and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.) *Journal of Horticultural Science*, 33 (4): 685-696. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i4.78699>
- Talebi Alengareghi S, Esmailpour B, Azarmi R, Pourbiramy-Hir Y, Saloimi G and Ahadzadeh M. 2022. The effects of foliar application of *Ascophyllum nodosum* and folic acid on the physiological growth of two (*Capsicum frutescens* var. *grossum*) and pen (*Capsicum frutescens* var. *conoides*). *Journal of Vegetable Science*, Doi: 10.22034/iuvs.2022.547778.1193. (in Farsi).
- Tursum AO. 2022. Effect of foliar application of seaweed (organic fertilizer) on yield, essential oil and chemical composition of coriander. *Plos One*. 17(6). Doi:10.1371/journal.pone.0269067.eCollection 2022.
- Tepe B, Sokmen M, Akpulat HA and Sdkmen A. 2006. Screening of the antioxidant potential of six saliva species from Turkey. *Food Chemistry*, 95: 200-204. doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.031.
- Vojodi Mehrabani L and Valizadeh Kamran R. 2022. In- soil organic fertilizer and foliar use salicylic acid and sea algae extract (*Ascophyllum nodosum*) on the growth and yield of two native pumpkin clones (*Cucurbita pepo*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 32: 115-132. Doi: 10.22034/saps.2021.46415.2688
- Xi J, Li H, Xi J, Tan S, Zheng J and Tan Z. 2020. Effect of returning biochar from different pyrolysis temperatures and atmospheres on the growth of leaf-used lettuce. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 35802–35813. doi: 10.1007/ s11356-020-09840-8
- Xu HJ, Wang XH, Li H, Yao HY, Su JQ and Zhu YG. 2014. Biochar impacts soil microbial community composition and nitrogen cycling in an acidic soil planted with rape. *Environmental Science and Technology*, 48: 9391–9399. doi: 10.1021/es5021058.