Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 51, No 1, Spring 2020 (177-188)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.286003.1686

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹ (ص ۱۸۸-۱۷۷)

تأثیرکاربرد بیوچار و تغذیه آلی و شیمیایی بر عملکرد، برخی ویژگی‌های مورفو- فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی رقم ازمیر (*Solanum lycopersicum* Mill cv. Izmir)

سید مهدی نبئی[۱]، محمدرضا حسندخت[۲]، وحید عبدوسی[۳*] و محمدرضا اردکانی[٤]
۱ و ۳. دانشجوی دکتری و استادیار، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
٤. دانشیار، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳)

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر بیوچار در ترکیب با کود تازه مرغی و سطوح مختلف چای کمپوست کود مرغی بر واکنش‌های تغذیه‌ای و صفات رشدی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای صورت گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل بیوچار در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) و تغذیه آلی و شیمیایی در شش سطح (کود مرغی تازه به میزان ۳۰ تن در هکتار، چای کمپوست مرغی شامل سه سطح ۱/٤، ۱/۸ و ۱/۱۲ حجم کود به حجم آب و کود شیمیایی ماکرومیکس و پلی‌میکرو به میزان ۱ لیتر در هکتار و آب به عنوان شاهد) بود. نتایج نشان داد بین تیمارهای مختلف از لحاظ میزان نیتروژن کل، آهن، منگنز، مس و روی خاک تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بیشترین غلظت نیتروژن برگ، وزن خشک بوته و عملکرد میوه مربوط به تیمار T_1B_1 (بیوچار + کود شیمیایی) و بیشترین میزان غلظت منگنز، روی، مس و آهن برگ به‌ترتیب مربوط به تیمار T_3B_1 (چای کمپوست ۱/٤ و بیوچار) و T_4B_1 (چای کمپوست ۱/۸ و بیوچار) به‌دست آمد. در تیمار T_3B_1 (چای کمپوست ۱/٤ و بیوچار)، بیشترین ظرفیت پاداکسنده (IC50= ۳/۷۵) و میزان ویتامین ث (۲۹/۰۳ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم میوه تازه) نسبت به شاهد حاصل شد، ولی در بین تیمارهای بیوچار و بیوچار توام با تغذیه از نظر میزان مواد جامد محلول و اسید قابل عیارسنجی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: **بیوچارچوب، خصوصیات خاک، عناصر میکرو، کیفیت میوه.**

Effects of biochar application under organic and chemical nutrition on yield, some morpho-physiological and nutritional traits of tomato cv. Ismir (*Solanum lycopersicum* Mill cv. Izmir)

Seyed Mahdi Nabaei[1], Mohammad Reza Hassandokht[2], Vahid Abdossi[3*] and Mohammad Reza Ardakani[3]
1, 3. Ph.D. Candidate and Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Professor, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
(Received: Jul. 24, 2019 - Accepted: Jan. 13, 2020)

ABSTRACT

In order to study the effects of biochar and chicken manure tea compost on the nutrition responses and growth characteristics of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*), a greenhouse experiment was carried out. The experiment was designed as factorial based on randomized complete block design with three replications. Factors included biochar in two levels (including 0 and 10 t/ha) and organic and chemical nutrition in six levels (including fresh chicken manure 30 t/ha, three levels of chicken manure compost tea 1:4, 1:8, and 1:12 chicken manure-to-water ratio by w/w, Macromix and Polymicro chemical fertilizer 1 lit/ha and water as control). The results showed there were significant differences among different treatments in regard to soil total N, Fe, Mn, Zn and Cu. The highest leaf N, shoot dry weight and yield were obtained in T_1B_1 treatment (biochar and chemical ferlilizer) and the maximum manganese, zinc, copper and iron were obtained in T_3B_1 (compost tea 1:4 and biochar) and T_4B_1 (compost tea 1:8 and biochar) treatments. T_3B_1 (compost tea 1:8 and biochar) treatment contained the highest value of DPPH IC50 (3.75 mg), vitamin C (29.03 mg/100g), however, no significant differences were observed between biochar and biochar plus nutrition on soluble solids and titratable acidity compared with control.

Keywords: Fruit quality, microelements, soil properties, wood biochar.

* Corresponding author E-mail: abdossi@srbiau.ac.ir

مقدمه

یکی از چالش‌های اصلی در تولید سبزی‌های ارگانیک گلخانه‌ای دستیابی به ترکیب غذایی آلی است که بتواند با اضافه شدن به خاک سبب آزادسازی و جذب به موقع عناصر، عملکرد بالا، محدودیت آبشویی عناصر و تخریب محیط زیست شود. استفاده از کود غیرآلی به تنهایی راه حل مناسبی برای بهبود حاصلخیزی و حفظ عملکرد خاک نیست (Agegnehu *et al*., 2016). همچنین فقر ماده آلی در خاک‌هایی که به طور دائم زیر کشت بوده و میزان بالایی از محصول در واحد سطح تولید می‌کنند وجود دارد، استفاده از بیوچار در خاک یک راهکار عملی است (Paneque *et al*., 2016). در سال‌های اخیر افزودن بیوچار به عنوان راهکاری مناسب در جهت حفظ کربن و افزایش کیفیت خاک مؤثر بوده است (Vaccari *et al*., 2011). بیوچار یک فرآورده غنی از کربن که با حرارت دادن بیوماس (مانند چوب و پسماند های گیاهی و حیوانی) در غیاب اکسیژن تولید می‌شود (Lehmann & Joseph, 2009). عملکرد بیوچار در خاک بسته به نوع ماده آلی، دمای آتشکافت (پیرولیز)، و میزان گرم شدن آن متفاوت است (Enders, 2012). دلایلی وجود دارد که استفاده از بیوچار می‌تواند نقش معنی‌داری در بهبود کربن آلی خاک، ظرفیت نگهداری آب، تهویه خاک، نگهداری و دسترسی به عناصر خاک، کاهش نیاز کودی و آبشویی عناصر، تحریک میکرب‌های خاک، افزایش جمعیت و فعالیت میکربی خاک داشته باشد (Agegnehu *et al*., 2016). افزودن بیوچار به خاک موجب افزایش رشد و عملکرد شده و اثرات مثبتی بر کیفیت و شاخص‌های تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزی‌ها دارد (Petruccellii *et al*., 2015). همچنین بیوچار به طور مستقیم به عنوان شرکت کننده در رشد گیاهی با مقدار عناصر غذایی خاک و ویژگی رهاسازی عنصرمرتبط می‌باشد (Silber *et al*., 2010). یافته‌های Vaccari *et al*. (2015)، نشان می‌دهد وجود مکان‌های قابل تبادل روی سطح بیوچار و آزاد شدن عناصر از بیوچار می‌تواند یکی از مکانیسم‌های ممکن به‌منظور بهبود جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه باشد و با تحریک رشد میکروارگانیسم‌های مفید روی سطح بیوچار می‌تواند موجب افزایش دسترسی عنصر گردد. اگرچه بیوچار در دامنه وسیعی از واکنش های شیمیایی و بیولوژیک احیاکننده در خاک شرکت می‌کند و در عین حال بر فرآیندهای پیوسته مهم بین خاک، عوامل زیستی خاک و گیاه شامل جابجایی الکترون، چرخه عناصر، تشکیل ساختارهای غیر زنده هیومیک و جذب عناصر غذایی توسط ریشه تأثیر می‌گذارد (Bartlett & James, 1993). بررسی‌های Lin *et al*. (2011) مشخص نمود، بیوچارهای حاصل ازآتشکافت مواد آلی شامل گروه‌های کربوکسیل، فنل، الکل یا انول متعددی هستند که به‌منظور تشکیل کمپلکس‌های آلی- فلز پایدار و قابل حل در آب موجب افزایش غلظت فلزات در محلول خاک می‌شوند و دسترسی ریشه گیاه را فراهم می‌سازند. تفاوت اساسی بین سیستم‌های تولید تجاری و آلی به ویژه در مدیریت حاصلخیزی خاک است (Warman & Cooper, 2000). بررسی‌های Petruccellii *et al*. (2015)، نشان می‌دهد مواد شیمیایی بزرگی از ترکیبات آلی مانند فنل‌ها، آمیدها و اسیدبنزوئیک از افزودن بیوچار به خاک اضافه می‌شود که در افزایش متابولیت های ثانویه مؤثر است. گوجه‌فرنگی‌هایی که در شرایط تنش، با مواد آلی تغذیه آلی شوند، در مقایسه با تولید تجاری (تغذیه با کودهای شیمیایی)، با تولید ترکیبات فعال زیستی بیشتر (مانند اسید آسکوربیک و پلی‌فنل‌ها) از ظرفیت پاداکسنده بالاتری برخوردارند (Vinha *et al*., 2014). Toor *et al*. (2006) گزارش نمودند ترکیبات پاداکسنده گوجه‌فرنگی بسته به رقم، شرایط و فصل رشد، مرحله برداشت و رسیدگی میوه تغییر می‌کند. بررسی‌های Vallverdu-Queralt *et al*. (2012)، نیز دلالت بر میزان بیشتری از ویتامین ث در فرآورده‌های آلی در مقایسه با تولید تجاری دارد. نتایج مطالعات Michell *et al*. (2007)، نشان می‌دهد محصولات ارگانیک از میزان ویتامین ث بیشتری در مقایسه با گیاهانی که به‌روش تغذیه شیمیایی تولید شدند برخوردارند. همچنین Doaris *et al*. (2008)، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین افزایش عناصر منگنز، روی و مس بافت برگ و افزایش میزان ویتامین ث میوه گوجه‌فرنگی گزارش نمودند. به‌طور معمول بیوچار حاصل از پسماندهای گیاهی مثل چوب، به‌علت میزان خاکستر اولیه پایین، حاوی مقادیر کمی از عناصر بوده (Lehmann *et al*., 2011) و به تنهایی جهت

استفاده به عنوان کود در تأمین نیاز غذایی گیاه کارایی مناسبی ندارند (Cantrell *et al*., 2012). از مزایای تغذیه گیاهی توسط کود آلی و کمپوست علاوه بر تهیه عناصر پرمصرف، تأمین عناصر کم‌مصرف می‌باشد. فلزاتی مانند آهن، منگنز، روی و مس به شکل‌های متفاوتی شامل یون‌های قابل تبادل، ترکیبات فلزی آلی، اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات‌ها در کود آلی و کمپوست وجود دارند. با توجه به اثرات مفید بیوچار و کودهای آلی، اجماع عمومی روی فواید ترکیب بیوچار با کود ها وجود ندارد (Schultz & Glaser 2012) و اطلاعات موجود بر تأثیر بیوچار بر عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی نادر است (Vaccari *et al*., 2015). این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد بیوچار چوب و سطوح مختلف تغذیه آلی و شیمیایی به‌منظور بهبود برخی صفات فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای میوه گوجه‌فرنگی رقم ازمیر انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در پاییز و زمستان ۱۳۹۶ در یکی از گلخانه‌های واقع در شهرک گلخانه‌ای امان‌آباد، در نزدیکی شهر اراک با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۷۰۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. بافت خاک محل آزمایش لوم، شنی و رسی با ۷/۲۴ =pH و ماده آلی ۰/۰۳ درصد بود. به‌منظور تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام شد. بافت خاک به‌روش آب‌سنجی (هیدرومتری)، نیتروژن کل خاک به‌روش کجلدال، فسفر قابل جذب خاک به‌روش اولسن، پتاسیم قابل‌جذب خاک به‌روش استات آمونیوم نرمال، pH و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع خاک، کربن آلی به‌روش والکلی-بلک، آهن، روی، منگنز و مس به‌روش DTPA اندازه‌گیری شد (Ali-Ehyaee & Behbahanizadeh 1994) (جدول۱). بیوچار از یک شرکت خصوصی در شمال ایران که از درختان جنگلی (راش، افرا، بلوط و نارون) استان مازندران در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد آتشکافت (پیرولیز) شده بود، تهیه شد (Hossain *et al*., 2010). بیوچار یک هفته قبل از نشاکاری بر اساس ۱۰ تن در هکتار در عمق ۳۰ سانتی‌متری چاله‌های کشت اضافه شده و با خاک مخلوط گردید (Hossain *et al*., 2010; Jeffery *et al*., 2011) (جدول ۱).

کود تازه مرغی از ایستگاه تحقیقات علوم دامی دانشگاه تهران تهیه شد، در قدم اول مدت زمان شش روز، بهترین طول دوره زمانی عصاره‌گیری از کود مرغی تازه، از بین زمان های دو، چهار و شش روز تعیین گردید و سپس به‌منظور تهیه چای کمپوست، کود مرغی تازه درون کیسه نخی ریخته شد و درون بشکه‌هایی با حجم مشخص آب ولرم در سه سطح (۱/۴، ۱/۸ و ۱/۱۲ حجم کود به حجم آب) معلق گردید. در طول این دوره عمل هوادهی برای فعالیت بیشتر باکتری‌های هوازی به‌منظور انجام عمل تخمیر صورت گرفت (Ghorbani *et al*., 2008) و فرآورده‌های نهایی به عنوان چای کمپوست به میزان ۱۰ تن در هکتار بعد از انتقال نشا به خاک داده شد (Gamliel & Stapleton 1993) (جدول ۲).

طرح آزمایشی متشکل از ۱۰ کرت و مساحت هر کرت ۳ متر مربع و به طول ۴ متر و با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها تعیین شد و در هر کرت یک ردیف شامل ۹ بوته کشت گردید. آزمایش بصورت فاکتوریل شامل ۱۲ تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل بیوچار چوب در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) و تغذیه آلی و شیمیایی در شش سطح (کود مرغی تازه به میزان ۳۰ تن در هکتار، چای کمپوست مرغی شامل سه سطح ۱/۴، ۱/۸ و ۱/۱۲ حجم کود به حجم آب و کود شیمیایی ماکرومیکس و پلی‌میکرو (جدول ۳) طبق توصیه کاربرد خاکی شرکت وکسال به میزان ۱ لیتر در هکتار و شاهد) در نظر گرفته شدند.

جدول ۱. نتایج تجزیه برخی ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک و بیوچار مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Analysis results of some important chemical and physical characteristics of soil and biochar used in the experiment

	EC (ds/m)	pH	OM (%)	N (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	CEC (cmol/kg)	Soil Texture	O.C (%)
Soil	1.04	7.24	0.3	0.26	6.1	3.2	2.1	0.9	10.12	S.C.L	-
Biochar	0.84	7.51	-	0.86	8000	390	62	11	18.9	-	16.08

CEC: cation exchange capacity; EC: electrical conductivity; OM: organic matter; S.C.L: sandy clay loam

جدول ۲. نتایج تجزیه برخی ویژگی‌های مهم شیمیایی کود تازه مرغی و سطوح مختلف چای کمپوست (نسبت وزن کود مرغی به حجم آب) عصاره‌گیری‌شده درطول دوره شش روزه قبل از استفاده در گلخانه

Table 2. Analysis results of some important chemical characteristics of fresh chicken manure and different levels of compost tea (chicken manure-to-water ratio by v/v) was extracted siz days before applying in the greenhouse

	NO3 (%)	NH4 (%)	Fe (PPm)	Mn (PPm)	Zn (PPm)	Cu (PPm)	O.C (%)	EC (ds/m)
Fresh chicken manure	2.65	-	1400	235	90	33.5	29.77	10.74
Chicken manure compost tea (1/4)	-	0.48	16	2.1	2.8	0.7	1.9	0.53
Chicken manure compost tea (1/8)	-	0.28	7.5	0.8	1.2	0.3	0.67	0.3
Chicken manure compost tea (1/12)	-	0.15	6.5	0.5	0.9	0.2	0.38	0.18

جدول ۳. مشخصات کود شیمیایی ماکرومیکس و پلی‌میکرو (واکسال) مورد استفاده

Table 3. Characteristics of chemical fertilizers Macromix and Polymicro (WUXAL) used in the experiment

WUXAL	W/W%										
	N	P2O5	K2O	MgO	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	SO3
Macromix	16	16	12	-	0.02	0.05	0.1	0.05	0.05	0.001	-
Polymicro	10	-	10	3	0.02	0.5	0.5	1	0.05	0.001	7.5

قبل از کشت، کود تازه مرغی بر اساس مصرف کشاورزان محلی به میزان ۳۰ تن در هکتار، با خاک کاملا مخلوط و با آب اشباع گردید. بعد از نشاکاری هر هفته کودهای شیمیایی ماکرومیکس و پلی‌میکرو طبق توصیه کاربرد خاکی به میزان ۱ لیتر در هکتار در مجموع به مدت ۱۲ هفته به زمین داده شد. بذر گوجه فرنگی رقم ازمیر (Ismir) در اواخر تابستان درون سینی‌های کاشت حاوی ۸۰٪ کوکوپیت و ۲۰٪ پرلیت در گلخانه با دمای ۳۰ و ۲۴ درجه سلسیوس در طول روز و شب کشت شدند و بعد از گذشت چهار هفته در مرحله ۲ تا ۳ برگی در کرت‌های آزمایشی به تعداد ۳ بوته در هر مترمربع نشاکاری شدند. در طول دوره رشد، آبیاری به صورت قطره‌ای و به‌روش نواری و هرس و تربیت بوته‌ها نیز به صورت تک ساقه با حذف جوانه‌های اضافی انجام شد. هشتاد روز پس از نشاکاری برای اندازه‌گیری نیتروژن‌کل، آهن، منگنز، روی و مس، برگ‌ها و ساقه‌های خشک‌شده در آون به طور کامل پودر شدند و در ادامه ۰/۵ گرم از نمونه‌ها وزن و برای تعیین نیتروژن‌کل از روش کجلدال (Brmner, 1965) و عناصر آهن، منگنز، روی و مس به‌روش جذب اتمی (Emami, 1996)، استفاده گردید. برداشت میوه‌های سه بوته از هر واحد آزمایشی از دهه سوم آذرماه ۱۳۹۶ یعنی حدود ۲/۵ ماه پس از انتقال نشاها آغاز و تا ۱۰ اسفند ماه ادامه داشت. عملیات برداشت میوه دو بار در هفته در ماه‌های پاییز و زمستان انجام شد. وزن خشک شاخساره با استفاده از آون (دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت) پس از آخرین برداشت، دو بوته به‌طور تصادفی از هر تیمار اندازه‌گیری گردید. میوه‌های رسیده- قرمز از شش بوته از هرکرت آزمایش به‌منظور اندازه‌گیری صفات کیفی شامل مواد جامد محلول (TSS) بر حسب درجه بریکس با استفاده از شکست‌سنج (رفراکتومتر) دیجیتال (مدل DR-101, Kruss, Germany)، اسیدیته قابل عیارسنجی (TA) و ویتامین ث بر اساس روش‌های استاندارد (AOAC, 1999) و ظرفیت پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) با استفاده از روش DPPH (Brandwilliams, 1995)، برداشت و اندازه‌گیری شد. نتایج بررسی حاصل بر اساس IC50 (غلظتی از عصاره بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر که برای احیای رادیکال DPPH به میزان ۵۰ درصد اولیه نیاز است)، گزارش گردید. نتایج IC50 کمتر نشان دهنده‌ی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر است (Medic-pap *et al*., 2015). به‌منظور تعیین ظرفیت پاداکسنده، گوجه‌فرنگی‌های تازه برداشت شده برش داده و خرد شدند و تا قبل از عمل خشک‌کردن انجمادی (فریز درایینگ) در ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند (Martinez-Valverde, 2002). نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین داده‌ها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نیتروژن کل

بر حسب نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل بیوچار و کود در سطح ۱ درصد بر میزان نیتروژن کل خاک و برگ معنی‌دار بود (جدول های ۴ و ۵). کاربرد بیوچار در سطح ۱ درصد، سبب بهبود و افزایش میزان نیتروژن کل خاک و برگ در مقایسه با عدم کاربرد بیوچار شد (جدول‌های ۶ و ۷). در بین کودهای مصرفی، بیشترین میزان نیتروژن کل خاک و برگ در تیمار کود شیمیایی و کمترین میزان با عدم کاربرد کود حاصل شد (جدول‌های ۶ و ۷). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل، بیشترین غلظت نیتروژن خاک و برگ در تیمار T_1B_1 (بیوچار+ کود شیمیایی) وجود داشت و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد بیوچار و کود) بود (شکل‌های ۱ و ۲). افزایش غلظت نیتروژن در برگ می‌تواند به‌علت افزایش غلظت نیتروژن در محیط ریشه باشد، که به‌طور محتمل به‌دلیل کاهش میزان آبشویی نیترات و آمونیوم توسط بیوچار (Ying Yao *et al.*, 2012) و همچنین وجود مکان‌های قابل تبادل روی سطح بیوچار و جذب بهتر نیتروژن است (Vaccari *et al.*, 2015).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده خاک

Table 4. The results of variance analysis of soil measured traits

Sources of variation	df	MS				
		Total N	Soil Fe	Soil Mn	Soil Zn	Soil Cu
Block	2	0.01^{ns}	4.56^{ns}	19.47^{ns}	0.06^{ns}	1.52^{ns}
Organic and chemical nutrition	5	0.05**	110.62**	122.19**	0.97**	3.95**
Biochar	1	0.07**	192.74**	45.33**	0.73**	6.15**
Biochar × Organic and chemical nutrition	5	0.001**	3.15**	0.99**	0.01**	0.35**
Error	22	0.0002	0.03	0.09	0.001	0.05
C.V.	-	8.06	1.33	2.40	2.97	13.43

**: Significant difference at 1% probability level. **: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در شاخساره و میوه گوجه‌فرنگی

Table 5. The results of variance analysis of measured traits in shoot and fruit of tomato

Sources of variations	df	MS					
		Leaf Fe	Leaf Mn	Leaf Zn	Leaf Cu	TSS	TA
Block	2	98.13^{ns}	147.93^{ns}	70.35^{ns}	10.37^{ns}	0.006^{ns}	0.001^{ns}
Organic and chemical nutrition	5	1752.81**	1430.31**	141.29**	47.28**	0.01**	0.006**
Biochar	1	422.98**	17902.44**	1919.90**	911.03**	0.0001^{ns}	0.00001^{ns}
Biochar × Organic and chemical nutrition	5	1.56*	12.23*	7.78**	0.97**	0.0001^{ns}	0.00009^{ns}
Error	22	0.54	3.65	1.63	0.07	0.00009	0.00004
C.V.	-	0.63	2.16	4.50	1.38	0.20	2.18

ns، * و **: به‌ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: No significant difference and significant difference at 5 and 1% of probability levels, respectively.

ادامه جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در شاخساره و میوه گوجه‌فرنگی

Continued Table 5. The results of variance analysis of measured traits in shoot and fruit of tomato

Sources of variation	df	MS				
		Leaf N	Shoot dry weight	Yield	DPPH	Ascorbic acid
Block	2	0.05^{ns}	8092^{ns}	7.10^{ns}	0.58^{ns}	2.55^{ns}
Organic and chemical nutrition	5	0.94**	65068.31**	76.42**	4.64**	120.13**
Biochar	1	0.37**	16002.25**	5.44**	36.68**	110.91**
Biochar × Organic and chemical nutrition	5	0.0005**	238.18**	0.19*	0.19**	3.41**
Error	22	0.0001	40.36	0.05	0.03	0.03
C.V.	-	0.38	2.18	2.68	3.26	0.75

* و **: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*, **: significant difference at 5 and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بر خصوصیات شیمیایی خاک

Table 6. Means comparison effect of biochar and fertilizer (organic and chemical) on soil chemical properties

Treatment	Total N (%)	Soil Fe (mg/kg)	Soil Mn (mg/kg)	Soil Zn (mg/kg)	Soil Cu (mg/kg)
Biochar (t/ha)					
10	0.23^{a}	15.74^{a}	14.25^{a}	1.27^{a}	2.08^{a}
0	0.14^{b}	11.11^{b}	12.00^{b}	0.98^{b}	1.25^{b}
Organic and chemical nutrition					
Chemical fertilizer (1 lit/ha)	0.34^{a}	10.03^{e}	9.51^{e}	o.84^{e}	0.90^{a}
Chicken manure (30t/ha)	0.19^{c}	16.40^{b}	16.66^{b}	1.38^{b}	2.30^{b}
Chicken tea compost (1/4) 10 t/ha	0.22^{b}	17.36^{a}	18.95^{a}	1.48^{a}	2.66^{a}
Chicken tea compost (1/8) 10 t/ha	0.16^{a}	15.45^{c}	14.65^{c}	1.32^{c}	1.91^{c}
Chicken tea compost (1/12) 10 t/ha	0.15^{d}	14.96d	12.10^{d}	1.28^{d}	1.69^{c}
Control	0.05^{e}	6.36^{i}	6.88^{i}	0.44^{i}	0.54^{e}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Columns with at least one same letter do not differ significantly at 1% probability level.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بر صفات مورفو-فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی

Table 7. Means comparison effect of biochar and fertilizer (organic and chemical) on morpho-physiological and nutritional traits of tomato

Treatment	Leaf N (%)	Leaf Fe (mg/kg)	Leaf Mn (mg/kg)	Leaf Zn (mg/kg)	Leaf Cu (mg/kg)	Shoot D. W. (g)	Yield (Kg//plant)
Biochar (t/ha)							
10	3.05^{a}	119.67^{a}	110.61^{a}	35.67^{a}	24.56^{a}	312.00^{a}	9.37^{a}
0	2.84^{b}	112.82^{b}	66.01^{b}	21.06^{b}	14.50^{b}	269.83^{b}	8.60^{b}
Organic and chemical nutrition							
Chemical fertilizer 1lit/ha	3.44^{a}	106.38^{e}	78.71^{e}	25.06^{d}	17.61^{e}	432.33^{a}	13.23^{a}
Chicken manure 30 t/ha	2.62^{e}	114.75^{d}	83.75^{d}	32.20^{b}	21.18^{b}	224.83^{e}	7.48^{e}
Chicken tea compost(1/4) 10 t/ha	2.89^{d}	121.35^{c}	109.50^{a}	35.46^{a}	23.25^{a}	281.66^{d}	8.91^{d}
Chicken tea compost (1/8) 10 t/ha	3.20^{b}	137.10^{a}	99.31^{b}	28.76^{c}	20.45^{c}	353.50^{b}	11.03^{b}
Chicken tea compost (1/12) 10 t/ha	3.14^{c}	128.88^{b}	92.45^{c}	26.53^{d}	19.43^{d}	320.33^{c}	10.38^{c}
Control	2.37^{f}	89.03^{f}	66.13^{f}	22.18^{e}	15.25^{f}	132.83^{f}	2.88^{f}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Columns with at least one same letter do not differ significantly at 1% probability level .

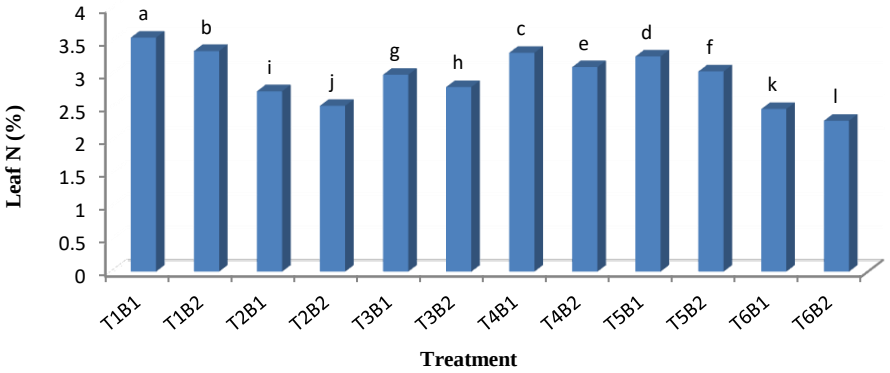
ادامه جدول ۷. مقایسه میانگین اثر بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بر صفات مورفو- فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی

Continued Table 7. Means comparison effect of biochar and fertilizer (organic and chemical) on morpho-physiological and nutritional traits of tomato

Treatment	TSS Brix°	TA g citric acid/100g fresh fruit	IC50 mg	Ascorbic acid mg/100g fresh fruit
Biochar t/ha				
10	4.83^{a}	0.31^{a}	4.68^{b}	25.32^{a}
0	4.84^{a}	0.31^{a}	6.70^{a}	21.81^{b}
Organic and chemical nutrition				
Chemical fertilizer 1lit/ha	4.81^{c}	0.29^{b}	6.54^{a}	21.06^{e}
Chicken manure 30 t/ha	4.87^{a}	0.33^{a}	5.02^{d}	26.42^{b}
Chicken tea compost(1/4) 10 t/ha	4.87^{a}	0.33^{a}	4.43^{e}	26.85^{a}
Chicken tea compost (1/8) 10 t/ha	4.85^{b}	0.32^{a}	5.55^{c}	25.97^{c}
Chicken tea compost (1/12) 10 t/ha	4.85^{b}	0.3^{3a}	5.90^{b}	25.64^{d}
Control	4.76^{d}	0.25^{c}	6.71^{a}	15.53^{f}

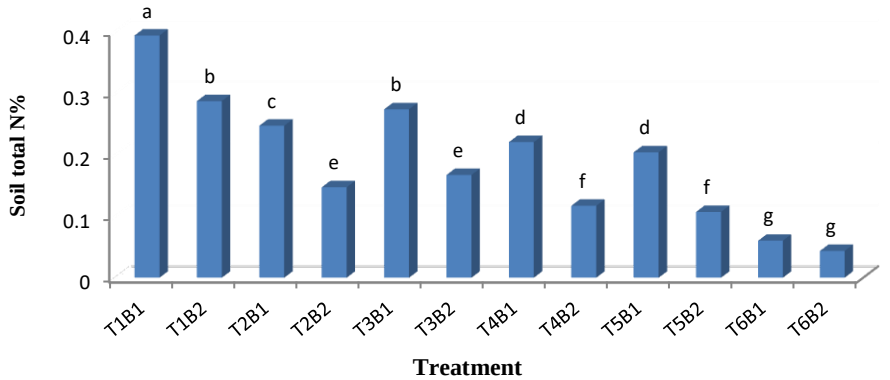
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Columns with at least one same letter do not differ significantly at 1% probability level.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بر میزان نیتروژن برگ گوجه فرنگی

Figure 1. Mean comparison interaction effect of biochar and fertilizer (organic and chemical) on tomato leaf N



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بر میزان نیتروژن‌کل خاک

Figure 2. Mean comparison interaction effect of biochar and fertilizer (organic and chemical) on soil total N

آهن، منگنز، روی و مس خاک

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد اثر بیوچار، کودهای آلی و شیمیایی و اثر متقابل بیوچار و کودهای آلی و شیمیایی بر میزان آهن، منگنز. روی و مس خاک معنی‌دار بود. طبق نتایج مقایسه میانگین کاربرد بیوچار منجر به افزایش معنی‌داری در میزان عناصر آهن، منگنز، روی و مس در خاک گردید (جدول ۶). استفاده از کود در مقایسه با عدم مصرف منجر به افزایش معنی‌دار این صفات شد (جدول ۶). بیشترین میزان در تیمار چای کمپوست ۱/۴ و کمترین میزان در تیمار عدم مصرف کود مشاهده شد (جدول ۶). اثر متقابل بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن، منگنز، روی و مس خاک داشت، به‌طوری‌که بیشترین غلظت این عناصر مربوط به تیمار T_3B_1 (بیوچار+ چای کمپوست ۱/۴) و کمترین میزان غلظت مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد بیوچار و کود) بود. میزان مس در بین تیمارهای T_2B_1 و T_3B_1 تفاوت معنی‌دار نشان نداد (جدول ۸). با نتایج پژوهش Mendez *et al.* (2012)، مشخص شد که استفاده از مخلوط بیوچار و کمپوست کود بوفالو، کیفیت خاک بهبود یافت و موجب کاهش خطر آبشویی عناصر مس و روی خاک شد. در پژوهشی دیگر Agegnehu *et al.* (2017)، با بررسی تأثیر بیوچار و بیوچار همراه با کمپوست (مخلوطی از مواد آلی) نتیجه گرفتند بیوچار در ترکیب با کمپوست اثرات بیشتری در بهبود خصوصیات خاک و گیاهان زراعی و باغی نسبت به بیوچار به تنهایی داشته است. بیوچار مقادیر بسیار زیادی از کاتیون‌های قابل تبادل را جذب نموده و به‌دلیل تخلخل و نسبت سطح به حجم بالایی که دارد موجب بهبود دسترسی و جذب عناصر می‌شود و همچنین با تولید گروه‌های کربوکسیلیک، افزایش نسبت اکسیژن به کربن و ظرفیت تبادل کاتیونی، بر اثر اکسیداسیون آهسته آن در خاک در نهایت منجر به افزایش عناصر غذایی قابل دسترس می‌گردد (Vaccari *et al.*, 2011).

آهن، منگنز، روی و مس بافت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر بیوچار، کودهای آلی و شیمیایی و اثر متقابل بیوچار و کودهای آلی و شیمیایی بر میزان آهن، منگنز، مس و روی بافت گیاه معنی‌دار بود. استفاده از بیوچار سبب افزایش معنی‌دار عناصر مورد ارزیابی درمقایسه با عدم کاربرد بیوچار شد (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین تیمار کود (آلی و شیمیایی) بیانگر افزایش معنی‌دار این عناصر بود، به نحوی که بیشترین میزان منگنز، روی، مس و آهن به‌ترتیب در تیمار چای کمپوست ۱/۴ و تیمار چای کمپوست ۱/۸ وکمترین میزان غلظت با عدم کاربرد کود حاصل شد (جدول ۷). اثر متقابل بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بر غلظت منگنز، مس، روی و آهن بافت معنی‌دار شد، به طوری که بیشترین غلظت منگنز، مس، روی و آهن به‌ترتیب مربوط به تیمار T_3B_1 (بیوچار+ چای کمپوست ۱/۴) و تیمار T_4B_1 (بیوچار+ چای کمپوست ۱/۸) و کمترین میزان غلظت مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد کود و بیوچار) بود (جدول ۹).

جدول ۸. مقایسه میانگین غلظت عناصر کم‌مصرف خاک تحت تیمارهای مختلف بیوچار و کود (آلی و شیمیایی)

Table 8. Mean comparison of microelements concentrations of soil under different biochar and fertilizer (organic and chemical) treatments

Treatment	Soil Fe (mg/kg)	Soil Mn (mg/kg)	Soil Zn (mg/kg)	Soil Cu (mg/kg)
Biochar + chemical fertilizers	12.13^{h}	10.46^{f}	1.01^{g}	1.10^{e}
Chemical fertilizer only	7.93^{i}	8.56^{g}	0.68^{h}	0.71^{f}
Biochar + fresh chicken manure	19.20^{b}	18.03^{b}	1.54^{b}	2.93^{a}
Fresh chicken manure only	13.60^{f}	15.30^{d}	1.23^{e}	1.66^{d}
Biochar + compost tea (1/4)	20.10^{a}	20.13^{a}	1.67^{a}	3.26^{a}
Compost tea only ((1/4)	14.63^{e}	17.76^{b}	1.30^{d}	2.06^{c}
Biochar + compost tea (1/8)	18.23^{c}	16.13^{c}	1.46^{c}	2.46^{b}
Compost tea only (1/8)	12.66^{g}	13.16^{e}	1.19^{e}	1.37d^{e}
Biochar + compost tea (1/12)	17.50^{d}	13.46^{e}	1.44^{c}	2.16b^{c}
Compost tea only (1/12)	12.43g^{h}	10.73^{f}	1.12^{f}	1.22^{e}
Biochar only	7.30^{j}	7.26^{h}	0.50^{i}	0.58^{f}
Control	5.43^{k}	6.50^{i}	0.39^{j}	0.51^{f}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Columns with at least one same letter do not differ significantly at 1% probability level.

در نتایج پژوهش Awad *et al.* (2017)، مشخص شد، استفاده از بیوچار برنج به عنوان بستر چند سبزی برگی در کشت هیدروپونیک موجب جذب ۱/۲ تا ۳/۵ برابری عناصر روی، منگنز و آهن در مقایسه با بستر پرلیت گردید. این محققین گزارش نمودند آزاد شدن عناصر و بهبود رشد میکروارگانیسم‌های مفید روی سطح بیوچار می‌تواند یکی از مکانیسم‌های بهبود جذب این عناصر توسط ریشه گیاه باشد.

وزن خشک شاخساره

بنابر نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر بیوچار، کودهای آلی و شیمیایی و اثر متقابل بیوچار و کودهای آلی و شیمیایی بر وزن خشک شاخساره در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد استفاده از بیوچار در مقایسه با عدم مصرف موجب افزایش وزن خشک شد. در بین نوع کود (آلی و شیمیایی)، نیز بیشترین میزان این صفت در تیمار کود شیمیایی بود (جدول ۷). همچنین اثر متقابل بیوچار و کود در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه تیمارها نشان داد بیشترین میزان وزن خشک در تیمار T_1B_1 (بیوچار + کود شیمیایی) به‌دست آمد و کمترین تولید مربوط به تیمار شاهد T_6B_2 بود، به صورتی که تیمار T_1B_1 نسبت به تیمار شیمیایی T_1B_2 سبب افزایش ۱۵ درصدی وزن خشک شاخساره شد (شکل ۳). افزایش وزن خشک به طور محتمل می‌تواند به‌علت افزایش جذب نیتروژن و تقویت پروتئین‌سازی در گیاه باشد. همچنین با نتایج پژوهش Paneque *et al.* (2016)، مشخص شد با استفاده از بیوچار چوب انگور به میزان ۱۵ تن در هکتار در خاک لوم شنی رشد و عملکرد آفتابگردان به طور معنی‌داری افزایش یافت، آنان گزارش نمودند، بیوچار موجب افزایش راندمان فتوسیستم II به عنوان شاخص تنش خشکی گیاهان در نتیجه بهبود وضعیت آب گیاه می‌شود.

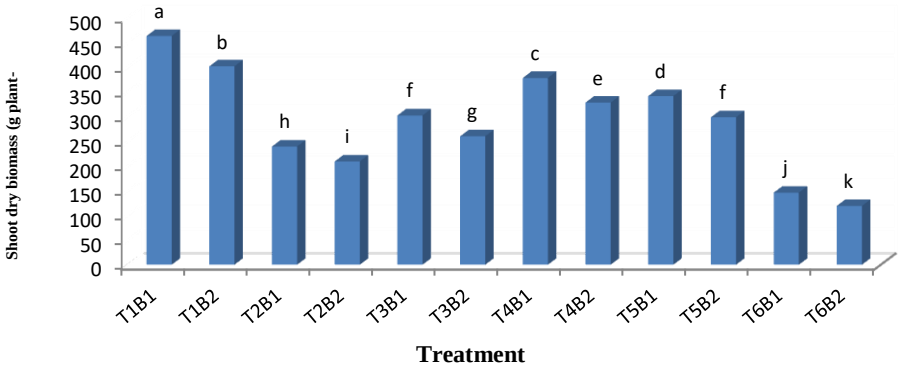
جدول ۹. مقایسه میانگین غلظت عناصر کم‌مصرف گوجه‌فرنگی تحت تیمارهای مختلف بیوچار و کود (آلی و شیمیایی)

Table 9. Mean comparison of microelements concentrations of tomato under different biochar and fertilizer (organic and chemical) treatments

Treatment	Leaf Fe (mg/kg)	Leaf Mn (mg/kg)	Leaf Zn (mg/kg)	Leaf Cu (mg/kg)
Biochar + chemical fertilizers	110.53^{h}	99.03^{e}	31.43^{d}	22.06^{e}
Chemical fertilizer only	102.23^{i}	58.40^{k}	18.70^{h}	13.1^{b}
Biochar + fresh chicken manure	117.53^{t}	105.13^{d}	40.10^{b}	26.36^{b}
Fresh chicken manure only	111.96^{g}	62.36^{j}	24.30^{f}	16^{h}
Biochar + compost tea (1/4)	124.40^{e}	134^{a}	44.50^{a}	28.13^{a}
Compost tea only ((1/4)	118.30^{f}	85^{g}	26.43e^{f}	18.36^{g}
Biochar + compost tea (1/8)	140.70^{a}	122.20^{b}	36.43^{c}	25.43^{c}
Compost tea only (1/8)	133.50^{b}	76.43^{h}	21.10^{g}	15.46^{i}
Biochar + compost tea (1/12)	132.06^{c}	114.46^{c}	33.50^{d}	24.43^{d}
Compost tea only (1/12)	125.70^{d}	70.43^{i}	19.56g^{h}	14.43^{j}
Biochar only	92.83^{j}	88.83^{t}	28.06^{e}	20.93^{t}
Control	85.23^{k}	43.43^{i}	16.30^{i}	9.56^{l}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Columns with at least one same letter do not differ significantly at 1% probability level.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کود (آلی وشیمیایی) بر میزان وزن خشک شاخساره گوجه فرنگی

Figure 3. Mean comparison interaction effect of biochar and fertilizer (organic and chemical) on tomato shoot dry weight.

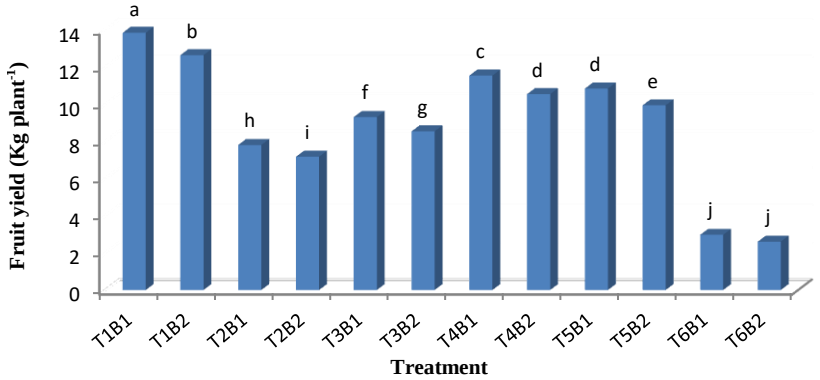
عملکرد

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد اثر بیوچار، کودهای آلی و شیمیایی و اثر متقابل بیوچار و کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیوچار منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بوته شد، به طوری که کاربرد بیوچار موجب افزایش ۹ درصدی این صفت در مقایسه با عدم مصرف شد. اثر کود نیز بر عملکرد میوه معنی‌دار بود، به نحوی که استفاده از کود شیمیایی سبب افزایش ۳۵۹ درصدی عملکرد در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۷). با توجه به اینکه کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی عناصر غذایی را خیلی کندتر رهاسازی می‌کنند، می تواند منجر به کاهش غلظت عنصر برگ و موجب نقصان رشد و عملکرد شوند (Ghorbani *et al.*, 2008). براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل بیوچار و کود بر میزان عملکرد معنی‌دار بود (جدول ۵). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کود (آلی و شیمیایی)، بیشترین عملکرد مربوط به تیمار T_1B_1 (بیوچار+ کود شیمیایی) و کمترین مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد بیوچار و کود) بود (شکل ۴)، که در مقایسه با تیمار کود شیمیایی ۹/۵ درصد افزایش نشان داد. نیتروژن موجب پروتئین سازی درگیاه می‌شود و این عامل سبب افزایش محصول می گردد. این نتایج با نتایج بررسی‌های Jeffrey *et al.* (2011)، همخوانی داشت. آنان دریافتند با افزودن همزمان بیوچار چوب و کود غیرآلی افزایش ۱۰ درصدی عملکرد در مقایسه با کود شیمیایی به‌تنهایی حاصل شد. همچنین Doan *et al.* (2015)، گزارش کردند با افزودن مخلوط بیوچار چوب بامبو به میزان ۷ تن بر هکتار و ورمی‌کمپوست کود بوفالو به میزان ۲۰ تن بر هکتار به کشت ذرت افزایش رشد و عملکرد بیشتری در مقایسه با کاربرد بیوچار به‌تنهایی به‌دست آوردند.

شاخص های کیفی میوه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد اثر کودهای آلی و شیمیایی بر مواد جامد محلول و اسید قابل عیارسنجی میوه معنی‌داری بود. مقایسه میانگین مصرف کود بیانگر افزایش معنی‌دار این صفات با کاربرد کود آلی بود. بین تیمارهای تغذیه بیشترین میزان مواد جامد محلول و اسید قابل عیارسنجی در تیمار چای کمپوست ۱/۴ و کمترین میزان در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۷).

همچنین برای صفت مواد جامد محلول بین تیمار چای کمپوست ۱/۴ با تیمار کود تازه مرغی و برای صفت اسید قابل عیارسنجی با سایر تیمارهای کود آلی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد بین تیمارهای بیوچار و بیوچار توأم با کود از لحاظ میزان مواد جامد محلول (بریکس) و اسیدیته قابل عیارسنجی تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت که با نتایج Petruccellii *et al.* (2015)، همخوانی دارد. آنان در پرورش گوجه‌فرنگی با استفاده از انواع بیوچار کاه گندم، ضایعات زیتون و چوب درخت سپیدار نشان دادند بیوچار روی مواد جامد محلول و اسیدیته قابل عیارسنجی اثری نداشت.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بر عملکرد گوجه فرنگی

Figure 4. Mean comparison interaction effect of biochar and fertilizer (organic and chemical) on tomato yield.

ظرفیت پاداکسنده (آنتی‌اکسیدانی)

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر بیوچار، کودهای آلی و شیمیایی و اثر متقابل بیوچار و کودهای آلی و شیمیایی بر ظرفیت پاداکسنده میوه معنی‌دار بود، به نحوی که اضافه نمودن بیوچار به‌تنهایی و یا همراه با کود به خاک کیفیت میوه را از نظر ظرفیت پاداکسنده در مقایسه با عدم مصرف بهبود بخشید. بررسی نتایج مقایسه میانگین تیمار کود (آلی و شیمیایی) بیانگر افزایش معنی‌دار این صفت بود، به طوری که میزان ظرفیت پاداکسنده با افزایش سطوح چای کمپوست به صورت معنی‌داری افزایش نشان داد و تیمار چای کمپوست ۱/۴ بالاترین میزان این صفت را نشان داد (جدول ۷). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بیشترین ظرفیت پاداکسنده مربوط به تیمار T_3B_1 (بیوچار+ چای کمپوست ۱/۴) بود، که منجر به افزایش۵۰ درصدی در مقایسه با تیمار T_1B_2 (مصرف کود شیمیایی به تنهایی) شد و همچنین بین T_1B_2 و تیمار شاهد (بدون کاربرد کود شیمیایی و بیوچار) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱۰). بیوچار با افزایش دسترسی عناصر به‌طور محتمل می‌تواند کارایی سیستم پاداکسندگی گیاه را که به‌ویژه در بخش آنزیمی وابسته به کوفاکتورهای معدنی می‌باشد، بهبود بخشد (Awad *et al*., 2017). در نتایج پژوهش Petruccellii *et al*. (2015) مشخص شد، در میوه‌های گوجه‌فرنگی پرورش‌یافته در کشت بدون خاک حاوی ترکیب تجاری استاندارد (پیت، پامیس، شن و دو گرم در لیترکود NPK) و بیوچار کاه گندم و یا ضایعات زیتون (۲۰ درصد حجم)، بیشترین ظرفیت پاداکسنده به میزان ۱۳ درصد در مقایسه با بستر تجاری حاصل شد. همچنین افزودن بیوچار به خاک، مواد شیمیایی بزرگی از ترکیبات آلی فراهم نموده که در افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه مؤثر است. این ترکیبات آلی نقش مهمی در توسعه و تنظیم رشد گیاهان به سازگاری به محیط و چیره‌شدن به شرایط تنش دارند و به عنوان پاداکسنده های طبیعی در پدیده‌های ضد اکسایشی گیاهان حضور دارند (Petruccellii *et al*., 2015).

ویتامین ث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر بیوچار، کودهای آلی و شیمیایی و اثر متقابل بیوچار و کودهای آلی و شیمیایی بر میزان ویتامین ث معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد میزان ویتامین ث از ۲۱/۸۱ mg/100g با عدم مصرف بیوچار به ۲۵/۳۲ mg/100g با مصرف بیوچار رسید (جدول ۷). اثر کود (آلی و شیمیایی) نیز بر میزان ویتامین ث معنی‌دار بود (جدول ۷). تیمار چای کمپوست ۱/۴ ویتامین ث را به میزان ۲۷٪ نسبت به تیمار کود شیمیایی (۲۱/۰۶ mg/100g) افزایش داد. کمترین میزان ویتامین ث (۱۵/۲۸ mg/100g) درتیمار T_6B_2 (بدون کاربرد کود شیمیایی و بیوچار) و بیشترین میزان آن در تیمار T_3B_1 (بیوچار+ چای کمپوست ۱/۴) مشاهده شد (جدول ۱۰)، که در مقایسه با کود شیمیایی ۵۰/۸ درصد افزایش نشان داد. این مشاهده‌ها با نتایج Toor *et al* (2006)، همخوانی دارد.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کود (آلی و شیمیایی) بر ظرفیت پاداکسنده و اسید آسکوربیک گوجه‌فرنگی

Table 10. Mean comparison interaction effect of biochar and fertilizer (organic and chemical) on antioxidant capacity and ascorbic acid of tomato

Treatment	Ascorbic acid (mg/100g fresh fruit)	IC50 (mg)
Biochar + chemical fertilizers	22.77^{n}	5.47^{e}
Chemical fertilizer only	19.25^{i}	7.61^{a}
Biochar + fresh chicken manure	28.57^{b}	4.08^{m}
Fresh chicken manure only	24.26^{f}	5.95^{a}
Biochar + compost tea (1/4)	29.03^{a}	3.75^{i}
Compost tea only ((1/4)	24.68^{e}	5.10^{f}
Biochar + compost tea (1/8)	28.13^{c}	4.44^{g}
Compost tea only (1/8)	23.80^{g}	6.66^{c}
Biochar + compost tea (1/12)	27.67^{d}	4.75^{g}
Compost tea only (1/12)	23.61^{g}	7.05^{b}
Biochar only	15.78^{j}	5.59^{e}
Control	15.28^{k}	7.83^{a}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Columns with at least one same letter do not differ significantly at 1% probability level.

آنان گزارش کردند گوجه‌فرنگی‌هایی که در بستر حاوی کود مرغی و خاک پوش رشد کردند ۲۹ درصد میزان ویتامین ث بیشتری نسبت به تیمار کود شیمیایی داشتند. در پژوهشی دیگر Chunxue *et al*. (2015)، نتیجه گرفتند، استفاده از بیوچار کاه گندم به‌همراه کود شیمیایی میزان ویتامین ث فلفل سبز را ۲۳۶/۹۹ به ۲۷۸/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با کود شیمیایی افزایش داد. این محققین گزارش کردند بیوچار با بهبود افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی خاک و دسترسی بیشتر عناصر غذایی منجر به بهبود تولید متابولیت‌های ثانویه شد. به نظر می‌رسد با افزایش عناصر کم‌مصرف به ویژه عنصر روی که در تولید اکسین نقش مهمی دارد و افزایش این هورمون نیز باعث افزایش میزان اسید آسکوربیک می‌شود (Askari Sarcheshmeh *et al*., 2019).

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از بیوچار و کود آلی و غیرآلی به‌تنهایی و یا در ترکیب با یکدیگر خصوصیات شیمیایی خاک را بهبود بخشید، به‌طوری که مصرف توام بیوچار و کود شیمیایی و بیوچار و سطوح متفاوت چای کمپوست اثرات مثبت بیشتری به‌ترتیب در افزایش میزان نیتروژن و سطوح آهن، منگنز، مس و روی خاک و بافت گیاه در مقایسه با کود شیمیایی داشتند.

REFERENCES

1. Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N. & Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, 295-306.
2. Agegnehu, G., Srivastava, A. K. & Bird, M. I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119, 156-170.
3. Ali-Ehyaee, M. & Behbahanizadeh, A.A. (1994). *Soil Analysis Methods*. *Technical Bulletin* No. 893.Taat, Tehran, Iran. (in Farsi)
4. AOAC. (1990). *Official methods of analysis*, 15th ed. *Association of Official Analytical Chemists*, Washington, DC, USA.
5. Askari Sarcheshmeh, M. A., Karbasi M., Talaei, A., Babalar, M. & Aghajani, S. (2019). Effect of foliar application of iron and zink on some quantitative and qualitative attributes of apple fruit Delbar estival. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50 (2), 265-274. (In Farsi)
6. Awad, Y. M., Lee, S. E., Ahmed, M. B. M., Vu, N. T., Farooq, M., Kim, S., Kim, H. S., Vithanage, M., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M., Kwon, E. E. & Ok, Y. S. (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 156, 581-588.
7. Bartlett, R.J. & James, B.R. (1993). Redox chemistry of soils. *Advances in Agronomy*, 50, 151–208.
8. Brand-Williams, W., Cuvelier M.E. & Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28 (1), 25-30.
9. Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. In: C. A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbial properties. Number 9 in series Agronomy, American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison USA. pp: 1049-1178.
10. Cantrell, K. B., Hunt P. G., Uchimiya M., Novak, J. M. & Ro, K. S. (2012). Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology* 107, 419-428.
11. Chunxue, Y., Joseph, S., Lianqing, L., Genxing, P., Lin, Y., Munroe, P., Taherymoosavi, S., Van Zwieten, L., Thomas, T., Nielsen, S. & Donne, S. (2015). Developing more effective enhanced biochar fertilisers for improvement of pepper yield and quality. *Pedosphere*, 25(5), 703-712.
12. Doan, T. T., Tureaux, T. H. D., Rumpe, C., Janeau, J. L. & Jouque, P. (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, 514, 147-15 4.
13. Dorais, M., Ehret, D. L. & Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7, 231-250.
14. Emami, A. (1996). *Description of plant analysis method*. Soil and Water Institute, Tehran. Iran. (in Farsi)
15. Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S. & Lehmann, J. (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*, 114, 644-653.

16. Gamliel, A. & Stapleton, J. J. (1993). Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. *Plant Disease*, 77, 886-891.
17. Ghorbani, R., Koocheki, A., Jahan, M. & Asadi, G. A. (2008). Impact of organic amendments and compost extracts on tomato production and storability in agroecological systems. *Agronomy Sustainable Development*, 28, 307-311.
18. Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y. & Nelson, P. F. (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, 78, 1167-1171.
19. Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M. & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144, 175-187.
20. Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: Science and Technology*. First ed. Earthscan, London & Sterling, VA. 416P.
21. Lehmann, J., Matthias C.R., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - *A review. Soil Biology & Biochemistry*, 43, 1812-1836.
22. Lin, Y., Munroe, P., Joseph, S., Henderson, R. & Ziolkowski, A. (2011). Water extractable organic carbon in untreated and chemical treated biochars. *Chemosphere*, 87, 151-157.
23. Marti´nez-Valverde, I., Periago, M. J., Provan, G. & Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 323-330.
24. Medic-Pap, S., Prvulovic, D., Takac, A., Vlajic, S., Danojevic, D., Takac, A. & Masirevic, S. (2015**).** Influence of tomato genotype to phenolic compounds content and antioxidant activity as reaction to early blight. *Genetika*, 47 (3), 1099-1110.
25. Méndez, A., Gómez, A., Paz-Ferreiro, J. & Gascó, G. (2012). Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere* 89, 1354-1359.
26. Mitchell A. E., Hong Y. J., Koh E., Barrett D. M., Bryant D. E., Denison R. F. & Kaffka, S. (2007). Ten-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 6154-6159.
27. Paneque, M., De la Rosa, J. M., Franco-Navarro, J. D., Colmenero-Flores, J. M. & Knicker, H. (2016). Effect of biochar amendment on morphology, productivity and water relations of sunflower plants under non-irrigation conditions. *Catena*, 147, 280-287.
28. Petruccelli, R., Bonetti, A., Traversi, M. L., Faraloni, C., Valagussa, M. & Pozzi, A. (2015). Influence of biochar application on nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Crop & Pasture Science*, 66, 747-755.
29. Schulz, H. & Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, *175*, 410-422.
30. Silber, A., Levkovitch, I. & Graber, E.R. (2010). pH-dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar: agronomic implications. *Environmental Science & Technology*, 44, 9318-9323.
31. Toor, R. K., Savage, G. P. & Heeb, A. (2006). Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 20-27.
32. Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F. & Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34, 231-238.
33. Vaccari, F. P., Maienza, A., Miglietta, F., Baronti, S., Lonardo, S. Di., Giagnoni, L., Lagomarsino, A., Pozzi, A., Pusceddu, E., Ranieri, R., Valboa, G. & Genesio, L. (2015). Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 207, 163-170.
34. Vallverdú-Queralt, A., Medina-Remón, A., Casals-Ribes, I. & Lamuela-Raventos, R. M. (2012). Is there any difference between the phenolic content of organic and conventional tomato juices? *Food Chemistry*, 130, 222-227.
35. Vinha, A. F., Barreira, S. V.P., Costa, A. S. G., Alves, R. C. & Oliveira, M. B. P.P. (2014). Organic versus conventional tomatoes: Influence on physicochemical parameters, bioactive compounds and sensorial attributes. *Food and Chemical Toxicology*, 67, 139-144.
36. Warman, P. R. & Cooper, J. M. (2000). Fertilization of a mixed forage crop with fresh and composted chicken manure and NPK fertilizer: Effects on soil and tissue Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. *Canadian Journal of Soil Science*, 80, 345-352.
37. Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. & Zimmerman, A. R. (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemospher*, 89, 1467-1471.