

نشریه پژوهشی:

اثر غنی سازی کمپوست ضایعات کشاورزی با عنصر روی، بر عملکرد و برخی صفات کیفی کاهو در کشت گلخانه‌ای (*Lactuca sativa* L.)

سمیه افسری یگانه^۱، احمد گلچین^۲، مجتبی دلشاد^{۳*} و وحید عبدوسی^۴

۱ و ۴. دانشجوی دکتری و استادیار، گروه علوم باغبانی و زراعی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳. دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۲۲)

چکیده

استفاده از ضایعات آلی کشاورزی در راستای تولید ورمی کمپوست و کمپوست روشی پایدار برای بهره‌گیری مجدد از این ضایعات است. به منظور بررسی اثر انواع مختلف ورمی کمپوست و کمپوست غنی شده با روی بر عملکرد، کیفیت و محتوای عناصر غذایی کاهو آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام گرفت. عامل اول بقایای مواد آلی در سه سطح (ورمی کمپوست ضایعات هویج و چغندر قند و کمپوست خرما)، عامل دوم غنی‌سازی با روی در سه سطح (صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و عامل سوم اختلاط با خاک ضعیف در چهار سطح (صفر، ۲، ۴ و ۶ درصد به صورت وزنی) بودند. نتایج نشان داد اثر غنی‌سازی بقایای مواد آلی بر رشد و عملکرد کاهو مثبت بود و گیاهان رشد یافته در ورمی کمپوست حاصل از ضایعات هویج نتایج بهتری نسبت به ضایعات چغندر و کمپوست خرما داشتند. ضایعات هویج بیشترین میزان عناصر کم مصرف (Fe, Mn, Zn, Cu) را در بین سه ضایعات استفاده شده داشتند و بالاترین غلظت این عناصر در حالت غنی‌سازی این ضایعات با روی در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد. بیشترین میزان فسفر (۰/۸۲ درصد) و سطح برگ (۱۵۷ سانتی‌متر مربع) در ضایعات هویج غنی شده با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. بین مقادیر مختلف بقایای آلی نیز، مقادیر ۴ و ۶ درصد بیشترین تأثیر را در رشد و عملکرد کاهو داشتند. به طور کلی غنی‌سازی بقایای مواد آلی با عناصر معدنی می‌تواند نیاز غذایی کاهو را در شرایط گلخانه‌ای تامین کند.

واژه‌های کلیدی: کاهو، محتوای عناصر غذایی، ورمی کمپوست.

Effect of zinc enrichment of agricultural waste compost on yield and some qualitative characteristics of lettuce in greenhouse cultivation (*Lactuca sativa* L.)

Somaieh Afsari Yeganeh¹, Ahmad Golchin², Mojtaba Delshad^{3*} and Vahid Abdossi⁴

1, 4. Ph.D. Candidate and Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Agronomy, Faculty of Agricultural Science and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3. Associate Professor, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Jan. 15, 2020- Accepted: Nov. 15, 2021)

ABSTRACT

Using organic agricultural wastes to produce vermicompost and compost is a sustainable way in order to reuse these wastes. In order to investigate the effects of different zinc-enriched vermicompost and compost on yield, quality, and nutrient content of lettuce, an experiment as factorial based on completely randomized design was carried out. The first factor was organic residues at three levels (carrot, sugar beet and date wastes), the second factor was zinc enrichment at three levels (zero, 1000, and 2000 mg / kg), and the third factor was mixing with weak soil at four levels of (zero, 2, 4 and 6% by weight). Results showed that effect of organic residues enrichment on the growth and yield of lettuce plants was the positive and plants grown in vermicompost produced from carrot waste, had better results than those, which grown in vermicompost produced from beet or date waste. Carrot wastes had the highest amount of microelements (Fe, Mn, Zn, Cu) among the three wastes used, and enriched with 2000 mg/kg zinc had the highest amount of these microelements. The highest amount of phosphorus (0.82%) and leaf area (157 cm²) were obtained in carrot wastes enriched with 2000 mg / kg. Among different levels of organic residues, 4 and 6% had the greatest effect on lettuce growth and yield. Overall, enrichment of organic residues with minerals can meet the nutritional needs of lettuce grown under greenhouse conditions.

Keywords: Lettuce, nutrient content, vermicompost.

* Corresponding author E-mail: Delshad@ut.ac.ir

مقدمه

کاهو (*Lactuca sativa* L.) یک سبزی یکساله از خانواده Compositae می‌باشد که از محصولات پرمصرف بوده و تحت شرایط دمایی متنوع رشد می‌کند (Manolopoulou & Varzakas, 2016). این گیاه سالادی کم کالری منبع نسبتاً خوبی از فیبرهای رژیمی، فولات و ویتامین‌های (A, C, K) برای بدن انسان می‌باشد (Hasan *et al.*, 2017). کاهو خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد که به دلیل سطح بالای کارتنوئیدها و ترکیبات فنولی موجود در آن می‌باشد. پرورش این سبزی در مزرعه‌ها و گلخانه‌ها به صورت هیدروپونیک با استفاده از محلول‌های غذایی حاوی عناصر ماکرو و میکرو و عصاره‌های آلی صورت می‌گیرد (Rosik-Dulewska & Grabda, 2002).

تغذیه گیاهان با کودهای معدنی و آلی منجر به افزایش نرخ رشد و عملکرد می‌شود، اما مصرف‌کنندگان می‌خواهند محصولاتی را بخرند که آلوده به مواد شیمیایی خطرناک یا سمی در نتیجه‌ی تغذیه غیرارگانیک نباشد. بنابراین استفاده از کودهای آلی در پرورش گیاهان در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. استفاده از ضایعات حیوانی و گیاهی از منابع اصلی مورد استفاده در بسیاری از کشورها به منظور تولید محصولات زراعی می‌باشد (Ravindran *et al.*, 2015)، به همین دلیل فناوری‌های سازگار با محیط زیست برای مدیریت ضایعات جامد حیوانی و گیاهی مثل ورمی‌کمپوست گسترش یافته است (Mupambwa & Mnkeni, 2018; Febrisiantosa, 2019; Ravindran *et al.*, 2018; *et al.*, 2019). مقرون به صرفه بودن و سرعت عمل در تجزیه، ورمی‌کمپوست را به عنوان یک روش مناسب برای مدیریت ضایعات جامد تبدیل کرده است (Ravindran *et al.*, 2014). علاوه بر این، اگرچه استفاده از کودهای معدنی سبب افزایش عملکرد محصول می‌شود، ولی اثرات منفی طولانی مدتی بر خاک تحمیل می‌کنند (Mupambwa & Mnkeni, 2018). استفاده از منابع غذایی آلی مثل ورمی‌کمپوست و کمپوست به دلیل پتانسیل بالایی که در افزایش کیفیت خاک دارند، جایگزین کودهای

معدنی شده است. این موارد فرصت‌هایی را ایجاد کرده است تا با استفاده از ضایعات گیاهی مثل ضایعات چغندرقد، هویج و خرما به عنوان روشی برای استفاده از این ضایعات به عنوان منابع غذایی در کشاورزی ایجاد شود. علاوه بر این، کودهای آلی مزایای فراوانی مثل بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، انتشار آهسته مواد مغذی، کاهش اختلالات فیزیولوژیکی در سبزیجات و به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی نقش مهمی در حفاظت از محیط زیست دارند (Bhattacharya *et al.*, 2011; Das *et al.*, 2012). Erdal & Ekinici (2020) نشان دادند که کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش وزن خشک گیاه و جذب مواد غذایی توسط ریشه شد. علاوه بر این، مطالعات زیادی در مورد تأثیر کودهای ورمی‌کمپوست و کمپوست بر افزایش عملکرد و شاخص‌های رشد گیاهان و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گزارش شده است که نشان از اهمیت این کود آلی دارد (Eo & Park, 2019; Blouin *et al.*, 2019; Van, 2020; Heerden & Hardie, 2020). با این حال، غلظت کم مواد مغذی ماکرو و میکرو در کودهای آلی نسبت به کودهای معدنی یکی از عمده‌ترین محدودیت‌ها برای استفاده مداوم از کودهایی مثل ورمی‌کمپوست در کشاورزی می‌باشد (Arancon *et al.*, 2008). گزارش شده است که گاهی با وجود گوارش کامل ضایعات در بدن کرم‌ها، ورمی‌کمپوست حاصله عناصر کافی را در خود نداشته و بیشتر در اصلاح ساختمان خاک به منزله اسفنجی برای جذب و نگهداری آب برای گیاه عمل می‌کند؛ لذا تکنیکی که پاسخگوی نیاز گیاه به عناصر معدنی باشد و بتوان آن را روی ضایعات، قبل تغذیه کرم‌ها یا پس از آن روی ورمی‌کمپوست‌های ساده اعمال کرد ارزشمند خواهد بود (Kumar & Singh, 2001).

عناصر ریزمغذی در طیف وسیعی از کارکردهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارند که برای رشد و نمو گیاه ضروری می‌باشند. خاک‌های زارعی به خصوص در مناطق نیمه‌خشک دارای ساختار ضعیف، حجم کربن آلی کم، pH بالا، تبادل کاتیونی کم و مشکلات شوری

کمپوست، ضایعات هویج، چغندر قند و خرما تهیه شده و سپس هر یک از ضایعات در سبدهایی به ابعاد $20 \times 30 \times 40$ به مقدار ۵ کیلوگرم ماده خشک از ضایعات ریخته شد. بعد از یک هفته که پوسیدگی اولیه انجام شد سولفات روی در مقادیر صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک به تدریج به هر سبد اسپری و به آرامی مخلوط شد. پس از یک هفته به هر سبد ۵۰ عدد کرم اضافه شد، سپس طی دوره تولید ورمی‌کمپوست که ۶ ماه طول کشید عملیات لازم از قبیل تامین رطوبت به میزان ۵۰ درصد وزنی بستر و دمای ۱۸ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد تأمین شد. در این آزمایش ضایعات خرما قابلیت ورمی‌کمپوست شدن را نداشتند و از کمپوست آنها استفاده شد. پس از ۶ ماه خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست‌ها (ضایعات هویج و چغندر قند) و کمپوست خرما از قبیل عناصر ماکرو و میکرو در آزمایشگاه تعیین گردید. سپس اختلاط هر کدام از ورمی‌کمپوست‌ها و کمپوست با خاک ضعیف در نسبت‌های صفر، ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی بستر صورت گرفت، و در گلدان‌هایی با ظرفیت ۳ کیلوگرم ریخته و کاشت نشاء ۲۲ روزه کاهوی رومن رقم رسمی ایرانی در گلدان‌ها در گلخانه انجام شد. پس از کاشت نشاء‌ها، برای استقرار کامل نشاء هر ۳ روز یکبار آبیاری انجام شد. در طول آزمایش رطوبت نسبی فضای گلخانه در میزان ۶۰ درصد تقریباً ثابت نگه داشته شد و دمای گلخانه هم 2 ± 22 بود. عملیات سله‌شکنی و وجین علف‌های هرز نیز در چند مرحله به صورت دستی بوسیله چنگک کوچک طوریکه به گیاه آزمایشی آسیبی نرسد صورت گرفت.

اندازه‌گیری پارامترهای عملکرد و صفات مرفولوژیک

پس از اتمام دوره رشد و رسیدن گیاهان به مرحله برداشت، شش گیاه به صورت تصادفی از هر واحد آزمایشی به صورت کفبر برداشت شد. صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده شامل وزن تر تک بوته، وزن خشک تک بوته، وزن عملکرد کاهو، ارتفاع گیاه، سطح برگ و رطوبت برگ بود. وزن تر تک بوته، و وزن عملکرد کاهو با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت 0.1

و قلبیایی دچار کمبود عناصر ریزمغذی هستند (Marschner & Rengel, 2012). در مورد غنی‌سازی کودهای ورمی‌کمپوست با کودهای معدنی، به خصوص استفاده از عناصر ماکرو مثل نیتروژن و فسفر گزارشات متنوعی وجود دارد (Unuofin *et al.*, 2016; Bernal *et al.*, 2009). در مورد غنی‌سازی کودهای آلی با عناصر میکرو، Geiklooi & Shirmohammadi (2013) اظهار نمودند که غنی‌سازی کود ورمی‌کمپوست با آهن و روی سبب افزایش میزان آهن، روی و کلروفیل برگ‌های هلو شد. Sengupta *et al.* (2019) نشان دادند که غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با آهن و روی می‌تواند سبب حفظ سلامت و کیفیت خاک شود و مقادیر کافی آهن و روی به آهستگی در اختیار گیاه قرار دهد. Chaudhary *et al.* (2020) گزارش دادند که در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست غنی‌شده با آهن و روی در کشت سیب‌زمینی، میزان نشاسته غده‌ها و میزان کلروفیل برگ‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. بطور معمول کودهای آلی غنی شده عناصر بیشتری در اختیار گیاهان قرار می‌دهند (DM Solanki, *et al.*, 2021; Zubair *et al.*, 2021; Sudip *et al.*, 2020).

با توجه به موارد ذکر شده، استفاده‌ی بهینه از ضایعات کشاورزی و کاربرد کودهای آلی غنی شده با مواد معدنی، با رویکرد حذف کودهای شیمیایی و همچنین در راستای افزایش و پایداری تولید ارگانیک و حفظ محیط زیست این پژوهش با دو هدف: الف) بررسی اثر غنی‌سازی با روی بر محتوای عناصر غذایی ورمی‌کمپوست و کمپوست استفاده شده، ب) بررسی تأثیر کودهای ورمی‌کمپوست و کمپوست غنی شده با عنصر روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی و محتوای عناصر غذایی گیاه کاهو به مرحله اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و تیمارهای آزمایشی

به منظور بررسی تأثیر بقایای آلی غنی شده با عنصر روی، آزمایشی در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان در سال ۱۳۹۸ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. جهت تولید ورمی‌کمپوست و

ورمی‌کمپوست و کمپوست به آب) و عناصر ماکرو و میکرو هم طبق روش‌های ذکر شده برای گیاه کاهو تعیین شد.

محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید

محاسبه میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها در برگ‌های کاهو به ترتیب با استفاده از روش Arnon (1949) و Lichtenthaler (1987) انجام شد. مطابق با این روش، ۰/۱ گرم از بافت تر برگ وزن شده و رنگیزه‌ها با استون ۸۰٪ استخراج شد. پس از صاف کردن عصاره حاصل با کاغذ صافی، جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۴۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با اسپکتروفتومتر (مدل 6300 JENWAY) خوانده و مطابق با رابطه‌های زیر میزان رنگیزه‌های ذکر شده بر حسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه شد.

Chlorophyll a= 15.56 A666 – 7.340 A653.

Chlorophyll b= 27.05 A653 – 11.21 A666.

Carotenoid=(1000A470–2.860 Ca–129.2 Cb) 245.

در خاتمه آنالیز داده‌های حاصل از اندازه‌گیری کلیه صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عناصر غذایی ضایعات غنی شده با روی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل غنی‌سازی ضایعات هویج، چغندر و خرما با کود روی بر مقدار آهن، منگنز، پتاسیم، فسفر، نیتروژن و مس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ($P < 0.01$)، در حالی که اثر متقابل ضایعات و غنی‌سازی با روی بر میزان روی، pH و EC معنی‌دار نشد (جدول ۱). همانطور که در جدول یک نشان داده شده است، ضایعات هویج بیشترین میزان عناصر میکرو (Fe, Mn, Zn, Cu) را در بین سه ضایعات هویج، چغندر و خرما داشتند، و غنی‌سازی این ضایعات با روی در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، توانست بیشترین میزان از این عناصر میکرو را ایجاد نماید، بطوری که بیشترین

گرم توزین شد. پنج بوته‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی به عنوان عملکرد کاهو در نظر گرفته شدند (گرم بر متر مربع). جهت اندازه‌گیری وزن خشک تک بوته و رطوبت برگ، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد، تا نمونه‌ها خشک شوند، سپس وزن خشک نمونه‌ها توزین شد. ارتفاع بوته از طوقه‌ی گیاه تا رأس برگ‌های کاهو با استفاده از خط‌کش میلی‌متری و بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج صورت گرفت.

تعیین عناصر ماکرو و میکرو در برگ کاهو و ورمی‌کمپوست

جهت اندازه‌گیری عناصر غذایی N, P, K, Fe, Zn, Cu و Mn در برگ کاهو، ۰/۵ گرم از نمونه خشک شده و آسیاب شده را وزن کرده و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شوند و سپس با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال، ۵ میلی‌لیتر به ازای هر نمونه اضافه گردید و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. این عصاره به طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عناصر ذکر شده به کار رفت. اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش کلدال (Jones, 1991)، فسفر به روش زرد مولیبدات و انادات (Chapman & Pratt, 2013)، عناصر کم‌مصرف به روش خشک سوزانی، حل خاکستر در اسید کلریدریک دو مولار و اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA670 (Chapman & Pratt, 2013) و پتاسیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Papathanasiou *et al.*, 2013) انجام شد.

به منظور تعیین خواص شیمیایی ورمی‌کمپوست‌ها و کمپوست، پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، ماده آلی به روش اکسیداسیون با بی‌کرومات پتاسیم و سپس تیتراژ کردن با فروآمونوم سولفات (Nicolaeva *et al.*, 2010)، pH و قابلیت هدایت الکتریکی (Rodriguez & Fraga, 1999) در نمونه‌های ورمی‌کمپوست و کمپوست با نسبت ۱ به ۵

عنوان کودهای تجاری در کشاورزی به دلیل غلظت کم مواد غذایی ماکرو و میکرو نسبت به کودهای معدنی محدود شده است (Singh *et al.*, 2011). همچنین علی‌رغم گوارش کامل ضایعات در بدن کرم‌ها، ورمی‌کمپوست حاصله عناصر کافی را در خود نداشته است. به عنوان مثال، کودهای معدنی تجاری بیشتر از ۴۶ درصد نیتروژن و ۴۸ درصد فسفر دارند، در حالی که گزارش شده است که ورمی‌کمپوست‌های حاصل از ضایعات موز و کدو گای ۰/۹۶ درصد نیتروژن و ۰/۲۱ درصد فسفر دارند (Padmavathiamma *et al.*, 2008). بنابراین، برای بدست آوردن سطح مواد مغذی همسان با کودهای معدنی در کودهای آلی، یا باید کودهای ورمی‌کمپوست و کمپوست در حجم بالا در مزرعه استفاده شوند، یا اینکه با کودهای معدنی غنی‌سازی شوند که توسط Singh *et al.* (2011) پیشنهاد شده است. با این حال، کاربرد ورمی‌کمپوست و کمپوست موجب بهبود صفات مورفولوژیکی و غلظت عناصر ماکرو و میکرو در گیاهان می‌شود و این افزایش متناسب با افزایش مقادیر اختلاط آن با خاک است. گزارش‌های متعددی نشان می‌دهد که کودهای آلی از نظر بعضی از عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، آهن و روی فقیر بوده و غنی‌سازی این کودها با ترکیبات معدنی حاوی این عناصر باعث غنی‌شدن کود و رشد و نمو بهتر و بهبود تغذیه گیاه می‌شود (Unuofin *et al.*, 2016; Yadav & Garg, 2016).

میزان آهن، منگنز، روی و مس به ترتیب به میزان ۵۴۹۳، ۴۵۵/۹۴، ۲۱۰/۰۹ و ۳۸/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ضایعات هویج غنی‌شده با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. در بین عناصر ماکرو، بیشترین میزان فسفر به مقدار ۰/۸۲ درصد در ضایعات هویج غنی‌شده با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد، در حالی که بیشترین میزان عنصر نیتروژن به مقدار ۲/۵۷ درصد در ضایعات چغندر غنی‌شده با روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم حاصل شد (جدول ۱). ضایعات هویج بیشترین میزان EC و pH را در بین ضایعات مورد بررسی نشان دادند، طوری که بیشترین میزان EC به مقدار ۹/۱۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در ضایعات هویج بدون غنی‌سازی شده و بیشترین میزان pH به مقدار ۸/۷۸ در ضایعات هویج غنی‌سازی شده با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نداشت (جدول ۱).

نتایج حاصل نشان داد که غنی‌سازی روی اثر مثبتی بر افزایش درصد و غلظت عناصر در ضایعات آلی مورد بررسی داشت و این افزایش به‌طور ویژه برای عناصر ازت، پتاسیم، آهن، منگنز و مس بارزتر بوده است. در این بین، سطح غنی‌سازی ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین تأثیر را در افزایش میانگین این صفات داشت. در واقع با اینکه ورمی‌کمپوست و کمپوست‌ها به عنوان کودهای آلی توسعه یافته‌اند، ولی پذیرش آن‌ها به

جدول ۱. پارامترهای شیمیایی نمونه‌های مختلف بقایای آلی غنی شده با روی.

Table 1. Chemical parameters of the different enriched organic residues samples with Zn.

Treatments	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	K (%)	P (%)	N (%)	EC (μs ⁻¹ cm)	pH	
O 1	E 1	4650.7 ^{b-d}	321.55 ^{dc}	162.21 ^{bc}	29.56 ^{bc}	3.09 ^a	0.68 ^c	1.90 ^{dc}	9.15 ^a	8.41 ^b
	E 2	4890.7 ^{bc}	385.50 ^{bc}	160.50 ^{bc}	26.60 ^{cd}	2.39 ^{bc}	0.75 ^b	1.63 ^{lg}	7.52 ^b	8.50 ^{ab}
	E 3	5493 ^{ab}	455.94 ^a	210.09 ^a	38.53 ^a	2.67 ^b	0.82 ^a	1.49 ^g	6.99 ^a	8.78 ^a
O 2	E 1	5964.3 ^a	420.55 ^{ab}	114.80 ^d	30.46 ^{bc}	1.43 ⁱ	0.54 ^{cd}	2.23 ^{bc}	5.80 ^{cd}	7.37 ^c
	E 2	4477.1 ^{cd}	385.33 ^{bc}	138.14 ^{dc}	34.30 ^{ab}	1.4 ^t	0.57 ^c	2.57 ^a	6.07 ^{cb}	7.27 ^c
	E 3	2417.9 ^t	275 ^d	132.30 ^{dc}	21.54 ^{dc}	1.83 ^{dc}	0.74 ^b	2.05 ^{cd}	7.44 ^d	7.48 ^c
O 3	E 1	3738.5 ^{de}	308.80 ^d	151.94 ^{dc}	35.65 ^{ab}	2.02 ^{cd}	0.53 ^{cd}	2.03 ^{cd}	5.72 ^{cd}	7.36 ^c
	E 2	3254.5 ^{b-d}	276.50 ^d	127.50 ^{dc}	29.24 ^{bc}	2.13 ^{cd}	0.47 ^{dc}	2.30 ^b	5.57 ^{cd}	7.33 ^c
	E 3	4668.8 ^{b-d}	302.56 ^d	199.78 ^{ab}	19.05 ^c	1.79 ^c	0.43 ^c	1.71 ^{ct}	4.39 ^d	7.26 ^g
O	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	
E	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	
O × E	**	**	ns	**	**	**	**	ns	ns	

O1 (ضایعات هویج)، O2 (ضایعات چغندر) و O3 (ضایعات خرما) نشان دهنده ضایعات آلی می‌باشند؛ E1 (صفر میلی‌گرم در کیلوگرم)، E2 (۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و E3 (۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقادیر روی را نشان می‌دهند M1 (صفر درصد)، M2 (۲ درصد)، M3 (۴ درصد) و M4 (۶ درصد) نشان دهنده درصد مخلوط شدن ضایعات آلی با خاک است. در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. O1 (Carrot waste), O2 (Beet waste), and O3 (Date waste) indicates the types of organic residues; E1 (0 mg kg⁻¹), E2 (1000 mg kg⁻¹), and E3 (2000 mg kg⁻¹) indicate the Zn doses. M1(0%), M2(2%), M3 (4%) and M4 (6%) are the mount of organic waste mixed with soil. In each column, means with similar letters are not significantly difference at 5% probability level.

داشتند طوری که بیشترین میانگین ارتفاع گیاهان کاهو در تیمار کمپوست خرما غنی‌سازی شده با روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و درصد اختلاط ۶ به میزان ۶۱/۴۴ سانتی‌متر بدست آمد (جدول ۲). رطوبت برگ در گیاهان کشت شده در کمپوست خرما نسبت به گیاهان دیگر بیشتر بود، طوری که بیشترین میزان رطوبت برگ به میزان ۵۵/۸۹ درصد در گیاهان کشت شده در کمپوست خرما که با روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم غنی‌سازی و ۶ درصد با خاک اختلاط شده بود بدست آمد.

نتایج تحقیق Younis *et al.* (2010) نشان داد که استفاده از کود بیولوژیک حاوی ریز موجودات و جایگزینی آن‌ها با تنظیم‌کننده‌های رشد مصنوعی در بهبود ویژگی‌های رشدی از جمله وزن تر و خشک کارایی بالایی دارد. Eidyazadeh *et al.* (2010) گزارش کردند اثرات کودهای بیولوژیک شامل نیتروکسین از منابع (*Pseudomonas*, *Azotobacter chroococcum* و *Azospirillum brasiliense fluorescens* و *lipiform*) و کود میکروبی فسفات *coagulans* (*Bacillus*) در ترکیب با کود شیمیایی بر رشد ذرت انجام شد و ارتفاع ساقه در حضور کودهای بیولوژیک در ترکیب با کودهای شیمیایی در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش یافت. کاربرد مناسب اصلاح‌کننده‌های خاک، به دلیل بهبود فعالیت‌های بیولوژیک خاک و همچنین تامین و جذب مطلوب عناصر غذایی توسط گیاه از طریق بهبود اجزای عملکرد می‌توانند موجب افزایش عملکرد گردند. کاربرد ورمی‌کمپوست نیز از طریق تأثیر بر قدرت جذب، نگهداری و فراهمی بالای رطوبت و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر روی افزایش اجزای عملکرد تأثیر گذاشته و عملکرد کاهو را بهبود بخشیده است. بر اساس پژوهشی که روی فلفل انجام شده است تأثیر تیمارهای ورمی‌کمپوست در بهبود عملکرد را تأیید کردند (Arancon *et al.*, 2005).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل بقایای آلی، غنی‌سازی با روی و درصد اختلاط بقایای آلی با خاک در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کارتنوئید، کلروفیل a و b و SPAD معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.05$) (جدول ۳).

همچنین اضافه کردن کود آلی در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک سبب افزایش pH خاک می‌شود که احتمالاً تا حدودی مانع قابلیت دسترسی عناصر غذایی از جمله آهن می‌شود (Jokar & Ronaghi, 2015)، لذا در مواقع کمبود یک عنصر، غنی‌سازی کودهای آلی با تمامی عناصر و یا حداقل تمامی عناصر میکرو می‌تواند عامل مهمی در جهت افزایش قابلیت دسترسی آن عنصر برای گیاه بالاخص در خاک‌های ضعیف شود.

مورفولوژی گیاه کاهو و محتوای کلروفیل a, b و کارتنوئید

نتایج نشان داد که اثر متقابل روی، نوع و مقدار مواد آلی بر صفات مورفولوژیکی کاهو شامل وزن تر تک بوته، وزن خشک تک بوته و سطح برگ در سطح احتمال یک درصد و وزن عملکرد کاهو و وزن خشک بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند ($P < 0.05$)، در حالی که ماده خشک و ارتفاع بوته معنی‌دار نشدند (جدول ۲). بیشترین وزن عملکرد کاهو در تیمار ورمی‌کمپوست هویج غنی‌سازی شده با روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و درصد اختلاط ۶ درصد به میزان ۴۳۵/۳۴ گرم بدست آمد. کمترین میزان عملکرد کاهو هم در تیمار ورمی‌کمپوست چغندر قند غنی‌سازی نشده با روی و درصد اختلاط ۲ درصد به میزان ۱۸/۹۸ گرم بدست آمد. بیشترین وزن تر و وزن خشک تک بوته در تیمار ورمی‌کمپوست هویج غنی‌سازی شده با روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و درصد اختلاط ۴ درصد به ترتیب به میزان ۱۰۴/۶۶ و ۱۰/۲۷ گرم بدست آمد، اما اختلاف معنی‌داری با ورمی‌کمپوست هویج بدون غنی‌سازی با درصد اختلاط ۴ درصد نداشت (جدول ۲). همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است بیشترین سطح برگ در تیمار ورمی‌کمپوست هویج غنی‌سازی شده با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با درصد اختلاط صفر درصد به میزان ۱۵۷/۰۸ سانتی‌متر مربع بدست آمد. گیاهان کشت شده در کمپوست خرما نسبت به گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست چغندر قند و هویج ارتفاع بیشتری

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر بقایای آلی غنی شده با روی بر برخی صفات کاهو.

Table 2. Mean comparison effect of enriched organic residues with Zn on some traits of lettuce.

Treatments		yield of head (g/m ²)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Leaf area (cm ²)	Leaf moisture (% dry matter)	Plant height (cm)	
O1	E1	M1	134.96 ^{kl}	24.03 ^{m-l}	1.73 ^{j-l}	57.55 ^{lm}	9.51 ^{j-l}	25.30 ^{o-r}
		M2	202.24 ^{h-k}	88.33 ^{ab}	9.10 ^{ab}	81.34 ^{+k}	21.23 ^{g-i}	29.11 ^{l-q}
		M3	360.33 ^{a-f}	76.94 ^{bc}	7.60 ^{a-c}	112.41 ^{b-c}	36.47 ^{b-c}	28.25 ^{m-q}
		M4	318.34 ^{b-g}	56.51 ^{c-j}	6.06 ^{b-h}	105.28 ^{c-h}	34.12 ^{b-f}	26.86 ^{m-r}
	E2	M1	293.75 ^s	64.13 ^{c-h}	5.53 ^{c-h}	100.24 ^{d-i}	25.16 ^{c-h}	21.05 ^{qf}
		M2	373.77 ^{a-c}	74.75 ^{b-d}	7.63 ^{a-c}	128.66 ^b	38.15 ^{b-d}	25 ^{o-r}
		M3	406.23 ^{ab}	104.66 ^a	10.27 ^a	128.02 ^b	39.62 ^{bc}	25.17 ^{o-r}
		M4	435.34 ^a	87.07 ^{ab}	8.25 ^{a-c}	53.87 ^m	41.24 ^b	27.67 ^{m-q}
	E3	M1	96.45 ^{lm}	42.65 ^{i-l}	7.91 ^{a-d}	157.08 ^a	12.55 ^{i-l}	38.30 ^{f-k}
		M2	203.55 ^{h-k}	38.16 ^{j-m}	3.89 ^{g-l}	97.24 ^{c-i}	20.75 ^{g-j}	42.55 ^{d-i}
		M3	248.77 ^{g-j}	48.92 ^{f-k}	4.72 ^{c-j}	90.23 ^{g-j}	23.58 ^{f-i}	37 ^{g-l}
		M4	375.61 ^{a-c}	62.60 ^{c-i}	5.92 ^{c-h}	110.92 ^{b-f}	35.51 ^{b-c}	38.22 ^{f-k}
O2	E1	M1	386.82 ^{a-d}	64.47 ^{c-h}	5.90 ^{c-h}	85.47 ^{h-k}	35.42 ^{b-c}	26.42 ^{n-r}
		M2	394.49 ^{a-c}	65.65 ^{c-g}	6.22 ^{b-h}	111.05 ^{b-f}	37.40 ^{b-d}	31.50 ^{k-o}
		M3	392.59 ^{a-c}	68.42 ^{b-f}	6.86 ^{b-g}	95.59 ^{c-i}	39.31 ^{bc}	30.50 ^{k-p}
		M4	274.48 ^{c-i}	48.23 ^{fk}	6.58 ^{b-g}	66.93 ^{k-m}	37.51 ^{b-d}	35.17 ^{h-m}
	E2	M1	250.68 ^{g-j}	49.34 ^{l-g}	4.63 ^{c-k}	67.20 ^{k-m}	23.06 ^{f-i}	18.83 ^f
		M2	340.04 ^{a-g}	59.23 ^{c-i}	6.01 ^{b-h}	109.94 ^{b-g}	34.28 ^{b-f}	27.83 ^{m-q}
		M3	187.97 ^{i-l}	42.29 ^{i-l}	6.23 ^{b-h}	91.52 ^{f-j}	27.48 ^{d-g}	40.11 ^{c-j}
		M4	359 ^{a-f}	59.83 ^{c-i}	6.31 ^{b-g}	113.95 ^{b-c}	37.88 ^{b-d}	42.89 ^{d-h}
	E3	M1	250.53 ^{g-j}	41.75 ^{i-l}	3.85 ^{h-l}	85.19 ^{h-k}	23.13 ^{f-i}	27.61 ^{m-q}
		M2	323.29 ^{b-g}	53.88 ^{d-j}	4.49 ^{f-k}	86.63 ^{h-k}	26.95 ^{d-g}	34.28 ⁱ⁻ⁿ
		M3	286.90 ^{d-i}	47.81 ^{fk}	4.86 ^{d-i}	91.64 ^{f-j}	29.14 ^{c-g}	55.44 ^{ab}
		M4	235.93 ^{g-k}	46.29 ^{g-k}	4.64 ^{c-k}	95.85 ^{c-i}	23.47 ^{f-i}	53.61 ^{a-c}
O3	E1	M1	86.18 ^{lm}	27.93 ^{k-n}	2.18 ^{i-l}	73.71 ^{j-m}	6.91 ^{kl}	46 ^{c-l}
		M2	18.98 ^m	19.13 ^{mn}	1.56 ^{k-l}	69.93 ^{k-m}	1.55 ^l	48 ^{b-c}
		M3	28.94 ^m	12.27 ⁿ	1.13 ^l	68.75 ^{k-m}	2.75 ^l	44.94 ^{d-g}
		M4	184.53 ^{+l}	55.02 ^{d-j}	4.47 ^{fk}	121.22 ^{bc}	14.40 ^{h-k}	49.17 ^{b-d}
	E2	M1	256.60 ^{f-j}	43.04 ^{i-l}	3.46 ^{h-l}	83.77 ^{+k}	20.60 ^{g-j}	32.94 ^{j-o}
		M2	297.92 ^{c-h}	49.65 ^{f-j}	5.08 ^{d-i}	91.64 ^{f-j}	30.49 ^{b-g}	44.61 ^{d-g}
		M3	160.26 ^{j-l}	46.07 ^{g-k}	7.25 ^{a-f}	80.05 ^{+k}	27.76 ^{d-g}	49.89 ^{b-d}
		M4	405.52 ^{ab}	71.52 ^{b-c}	9.97 ^a	121.09 ^{bc}	55.89 ^a	61.44 ^a
	E3	M1	262.45 ^{f-j}	43.74 ^{h-l}	4.71 ^{c-j}	68.06 ^{k-m}	28.28 ^{c-g}	22.28 ^{p-r}
		M2	252.79 ^{g-j}	42.13 ^{i-l}	4.70 ^{c-j}	74.89 ^{j-l}	28.19 ^{c-g}	30.14 ^{k-p}
		M3	316.96 ^{b-g}	52.82 ^{c-j}	5.75 ^{c-h}	120.37 ^{b-d}	34.53 ^{b-f}	36.89 ^{g-l}
		M4	292.56 ^{c-h}	48.76 ^{fk}	5.74 ^{c-h}	122.16 ^{bc}	34.46 ^{b-f}	37.75 ^{fk}
O	**	**	**	**	**	**		
E	**	**	**	**	**	*		
M	**	**	**	**	**	**		
O × E	**	**	**	*	**	**		
O × M	**	**	ns	**	**	**		
E × M	**	ns	*	**	ns	**		
O × E × M	*	**	*	**	ns	ns		

O1 (ضایعات هویج)، O2 (ضایعات چغندر) و O3 (ضایعات خرما) نشان دهنده ضایعات آلی می‌باشند؛ E1 (صفر میلی‌گرم در کیلوگرم)، E2 (۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و E3 (۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقادیر روی را نشان می‌دهند M1 (صفر درصد)، M2 (۲ درصد)، M3 (۴ درصد) و M4 (۶ درصد) نشان دهنده درصد مخلوط شدن ضایعات آلی با خاک است. در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. O1 (Carrot waste), O2 (Beet waste), and O3 (Date waste) indicates the types of organic residues; E1 (0 mg kg⁻¹), E2 (1000 mg kg⁻¹), and E3 (2000 mg kg⁻¹) indicate the Zn doses; M1 (0 %), M2 (2 %), M3 (4 %), and M4 (6 %) indicate the percentage of mixing organic residues with soil. In each column, means with similar letters are not significantly difference at 5% probability level.

چغندر قند اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان کلروفیل b هم در گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست چغندر قند که با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر گرم غنی‌سازی شده بودند و به نسبت ۲ درصد با خاک اختلاط یافته بود، به مقدار ۰/۹۴ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد (جدول ۳). بیشترین میزان کارتنوئید

بیشترین میزان کلروفیل a به مقدار ۱/۰۵ میلی‌گرم بر گرم در گیاهان کاهوی کشت شده در ورمی‌کمپوست هویج که با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم غنی‌سازی شده و به نسبت ۴ درصد با خاک اختلاط یافته بود، بدست آمد (جدول ۳)، ولی با میزان کلروفیل a گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست

بیشترین میزان شاخص SPAD به ترتیب در گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست هویج و چغندر قند که به نسبت ۶ و ۴ درصد با خاک مخلوط شده بود، بدست آمد (جدول ۳).

به میزان ۰/۵۰ میلی‌گرم بر گرم در گیاهان کشت در ورمی‌کمپوست چغندر قند که با ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی غنی‌سازی شده بود و به نسبت ۲ درصد با خاک مخلوط شده بود، بدست آمد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر بقایای آلی غنی شده با روی بر میزان کاروتنوئید، کلروفیل a و b و SPAD برگ‌های کاهو.
Table 3. Mean comparison effect of enriched organic residues with Zn on carotenoid, chlorophyll a and b and SPAD in lettuce leaves.

Treatments		Carotenoids (mg g ⁻¹ FW)	Chlorophyll a (mg g ⁻¹ FW)	Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)	SPAD	
O1	E1	M1	0.36 ^p	0.91 ⁱ	0.47 ^{k-n}	36.67 ^{jk}
		M2	0.42 ^{i-m}	1.03 ^{a-d}	0.40 ^{l-n}	36.75 ^{i-k}
		M3	0.40 ^{k-p}	0.97 ^{c-h}	0.49 ^{k-n}	35.58 ^k
		M4	0.43 ^{e-k}	1.01 ^{a-f}	0.57 ^{h-l}	42.22 ^{a-c}
	E2	M1	0.39 ^{l-p}	0.95 ^{g-i}	0.47 ^{k-n}	36.99 ^{h-k}
		M2	0.38 ^{m-p}	0.94 ^{g-i}	0.33 ⁿ	41.09 ^{a-g}
		M3	0.37 ^{op}	0.74 ^j	0.36 ^{mn}	41.14 ^{a-g}
		M4	0.42 ^{i-k}	1.02 ^{a-d}	0.54 ^{h-l}	44.57 ^a
	E3	M1	0.43 ^{fi}	0.99 ^{b-g}	0.55 ^{h-k}	37.09 ^{h-k}
		M2	0.47 ^{a-f}	1.01 ^{a-f}	0.54 ^{i-l}	37.93 ^{fk}
		M3	0.43 ^{c-k}	1.05 ^a	0.75 ^{b-g}	37.06 ^{h-k}
		M4	0.46 ^{a-f}	1.03 ^{a-c}	0.88 ^{ab}	42.39 ^{a-c}
O2	E1	M1	0.37 ^{n-p}	0.78 ^j	0.37 ⁿ	37.43 ^{g-k}
		M2	0.47 ^{a-f}	1.02 ^{a-d}	0.70 ^{c-gl}	43.52 ^{a-c}
		M3	0.46 ^{a-h}	1.01 ^{a-f}	0.58 ^{g-k}	44.28 ^{ab}
		M4	0.49 ^a	1.01 ^{a-f}	0.70 ^{c-g}	38.27 ^{fk}
	E2	M1	0.40 ^{jo}	0.97 ^{c-h}	0.55 ^{h-l}	37.31 ^{g-k}
		M2	0.47 ^{a-d}	1.02 ^{a-c}	0.66 ^{c-i}	40.32 ^{c-j}
		M3	0.42 ^{i-m}	0.95 ^{g-i}	0.51 ^{j-m}	42.89 ^{a-d}
		M4	0.47 ^{a-c}	1.03 ^{ab}	0.82 ^{a-c}	42.85 ^{a-d}
	E3	M1	0.46 ^{a-g}	1.02 ^{a-c}	0.62 ^{e-kl}	39.11 ^{d-k}
		M2	0.50 ^a	1.02 ^{a-d}	0.94 ^a	38.24 ^{fk}
		M3	0.48 ^{ab}	1.01 ^{a-f}	0.82 ^{a-c}	43.67 ^{a-j}
		M4	0.45 ^{b-i}	1.02 ^{a-c}	0.81 ^{a-c}	41.78 ^{a-f}
O3	E1	M1	0.43 ^{fk}	0.97 ^{e-h}	0.82 ^{a-c}	35.89 ^k
		M2	0.44 ^{c-j}	0.95 ^{g-i}	0.54 ^{h-l}	38.71 ^{e-k}
		M3	0.43 ^{e-k}	0.96 ^{fi}	0.78 ^{a-e}	36.89 ^{i-k}
		M4	0.44 ^{e-k}	0.98 ^{b-g}	0.77 ^{a-f}	40.62 ^{b-i}
	E2	M1	0.41 ^{l-m}	0.97 ^{d-g}	0.63 ^{e-k}	42.66 ^{a-d}
		M2	0.48 ^{a-c}	0.98 ^{b-g}	0.75 ^{b-f}	40.27 ^{c-j}
		M3	0.42 ^{g-l}	0.95 ^{g-i}	0.79 ^{a-d}	41.48 ^{a-f}
		M4	0.43 ^{e-k}	0.96 ^{fi}	0.82 ^{a-c}	40.87 ^{a-h}
	E3	M1	0.42 ^{h-l}	0.96 ^{fi}	0.61 ^{e-k}	35.66 ^k
		M2	0.43 ^{e-k}	0.97 ^{d-h}	0.55 ^{h-k}	35.83 ^k
		M3	0.41 ^{j-m}	0.92 ^{hi}	0.62 ^{e-k}	31.02 ^l
		M4	0.46 ^{a-f}	0.99 ^{b-g}	0.81 ^{a-c}	28.67 ^l
O		**	**	**	**	
E		**	**	**	**	
M		**	**	**	**	
O × E		**	**	**	**	
O × M		ns	**	**	**	
E × M		ns	**	ns	ns	
O × E × M		**	**	**	**	

O1 (ضایعات هویج)، O2 (ضایعات چغندر) و O3 (ضایعات خرما) نشان دهنده ضایعات آلی می‌باشند؛ E1 (صفر میلی‌گرم در کیلوگرم)، E2 (۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و E3 (۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقادیر روی را نشان می‌دهند M1 (صفر درصد)، M2 (۲ درصد)، M3 (۴ درصد) و M4 (۶ درصد) نشان دهنده درصد مخلوط شدن ضایعات آلی با خاک است. در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

O1 (Carrot waste), O2 (Beet waste), and O3 (Date waste) indicates the types of organic residues; E1 (0 mg kg⁻¹), E2 (1000 mg kg⁻¹), and E3 (2000 mg kg⁻¹) indicate the Zn doses; M1 (0 %), M2 (2 %), M3 (4 %), and M4 (6 %) indicate the percentage of mixing organic residues with soil. In each column, means with similar letters are not significantly difference at 5% probability level.

هیدرات‌های کربن در کمپوست خرما عمل هضم آن را برای کرم‌ها دشوار ساخته باشد. لذا، در این آزمایش کمپوست خرما نتوانسته است به‌تنهایی مواد غذایی مورد نیاز گیاه را تأمین کند. اما ورمی‌کمپوست‌های هویج و چغندر قند به‌دلیل این‌که گوارش نسبتاً کاملی روی آن انجام شده است منبع مناسبی از کود آلی تلقی می‌شوند و مطابق نتایج آزمایش حاضر، بالاترین میانگین گیاهان مورد آزمایش از لحاظ صفات ذکر شده در شرایط استفاده از ورمی‌کمپوست هویج حاصل شده است که در البته در برخی صفات تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد با ورمی‌کمپوست چغندر قند نداشت. بنابراین، هویج و پس از آن چغندر قند به‌عنوان بهترین مواد اولیه جهت تولید ورمی‌کمپوست ارزیابی شدند.

کاربرد کودهای آلی مثل ورمی‌کمپوست و کودهای معدنی حاوی عناصر مغذی در کشاورزی رواج دارد، ولی کاربرد ترکیبی این دو کود به صورت غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با عناصر مغذی نیز توسعه یافته است (Hashemimajd & Jamaati-e-Somarin, 2011; Sengupta et al., 2019). مواد مغذی ورمی‌کمپوست نسبت به کمپوست‌های تجاری باغبانی بسیار بالاتر است (Dickerson, 1999)، و جالب اینکه غنی‌سازی ورمی‌کمپوست‌ها بر نسبت کربن به نیتروژن تأثیر منفی ندارد و برای تخریب میکروبی حیاتی می‌باشد (Mao et al., 2019) و سبب افزایش در دسترس قرارگیری عناصر ریزمغذی مثل آهن و روی می‌شود (Hashemimajd & Jamaati-e-Somarin, 2011). استفاده از ورمی‌کمپوست علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک، بر خواص شیمیایی خاک مانند هدایت الکتریکی، pH، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، خواص فیزیکی خاک مانند ظرفیت زارعی، خلل و فرج، تخلخل تهویه‌ای و جرم ویژه ظاهری خاک تأثیر می‌گذارد (Matos & Arrunda, 2003). همچنین جمعیت میکروبی و بیوماس میکروبی به طور قابل ملاحظه‌ای در ورمی‌کمپوست بالاتر از کمپوست می‌باشد (Moore et al., 2000). مطالعات زیادی در مورد تأثیر ورمی‌کمپوست بر صفات رشدی سبزیجات انجام شده

نتایج بررسی صفات مختلف کاهو به‌خوبی نشان داد که غنی‌سازی روی اثر مثبتی بر افزایش میانگین صفات رشدی و درصد عناصر ماکرو و میکرو برگ کاهو داشت. سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی نسبت به سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آن در اکثر صفات مورد بررسی نتایج بهتری حاصل شد، هر چند که در برخی صفات، سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بهتر بود. در بین ضایعات آلی مورد مطالعه نیز، ورمی‌کمپوست هویج بیشترین تأثیر را در افزایش میانگین صفات مورد بررسی داشتند و ورمی‌کمپوست چغندر و خرما از این نظر اهمیت کمتری داشتند، که این موضوع نشان می‌دهد ورمی‌کمپوست هویج با اثر افزایشی در جذب عناصر غذایی برای گیاه کاهو، باعث افزایش رشد و نمو و بهبود صفات عملکردی گیاه می‌شود. بطور طبیعی ورمی‌کمپوست بدون غنی‌سازی دارای ریزمغذی‌هایی است، اما با غنی‌سازی یک عنصر قطعاً میزان آن در ورمی‌کمپوست تولید شده بالاتر می‌رود. لذا در اینجا غنی‌سازی با عنصر روی باعث شده کمبود روی نیز ایجاد نشود و عناصر در تعادل معینی با هم جذب بیشتر و رشد بهتری میسر شود. همچنین در مورد فسفر علی‌رغم این مطلب که در خاک‌هایی که فسفر زیاد مصرف می‌شود کمبود روی (بدلیل رسوب روی توسط فسفر) ایجاد می‌شود، در اینجا در ارتباط با ماده آلی مثل ورمی‌کمپوست، قابلیت فراهمی فسفر زیاد شده به این دلیل است که ماده آلی روی سطح رس را پوشانده و اجازه نمیدهد فسفر از طریق پل کاتیونی به رس متصل شود در نتیجه فراهمی فسفر در فاز محلول خاک افزایش می‌یابد و گیاه مقدار بیشتری فسفر جذب می‌کند، پس این اثر فقط مربوط به ماده آلی است و عنصر روی نقشی ندارد، چون روی کاتیون و فسفر انیون است و هیچ رقابتی باهم ندارند.

ورمی‌کمپوست با تأمین عناصر غذایی و تأثیر آن بر افزایش محتوای کلروفیل و در نتیجه بهبود فتوسنتز و یا به دلیل بر خورداری از برخی هورمون‌های رشد گیاهی نظیر اکسین و سیتوکینین منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود (Mupambwa & Mnkeni, 2018). همچنین، احتمال می‌رود که وجود مقادیر بالای

است که نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت این کود آلی می‌باشد به عنوان مثال، کاربرد ورمی‌کمپوست به طور معنی‌داری سبب افزایش وزن تر و خشک بوته، سیستم ریشه، حجم آب و همچنین عملکرد گیاه کاهو شد، در حالی که میزان نیترات را به طور معنی‌داری کاهش داد و علاوه بر این‌ها سبب حفظ کلروفیل شد (Mohammed *et al.*, 2019). همچنین بالاترین میزان سطح برگ، تعداد ساقه، وزن خشک ریشه و ساقه، عملکرد میوه و محتوای کلروفیل در کاربرد ۱۰ تا ۲۰ درصدی ورمی‌کمپوست در گیاه خیار بدست آمد (Esmailpour *et al.*, 2020). کاربرد ورمی‌کمپوست چه بصورت منفرد و چه بصورت غنی‌شده توانست میزان کلروفیل a و b را افزایش دهد. افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌های کاهو در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از افزایش در دسترس قرارگیری نیتروژن در اثر افزایش فعالیت میکروبی باشد، زیرا افزایش نیتروژن سبب افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌ها می‌شود (Koodi *et al.*, 2014). افزایش محتوای عناصر ریزمغذی به همراه عناصر ماکرو مثل فسفر در ورمی‌کمپوست غنی شده با روی، می‌تواند همبستگی مثبتی با افزایش میزان کلروفیل داشته باشد (Zarrouk *et al.*, 2005)، که می‌تواند راندمان فتوسنتز را بهبود بخشد، آسمیلاسیون بالا برده و رشد و عملکرد را افزایش دهد. ورمی‌کمپوست به تنهایی عناصر غذایی متعددی دارد که باعث افزایش غلظت آن‌ها در گیاه و نهایتاً رشد گیاه و شاخص‌های آن می‌شود بنابراین مصرف ورمی‌کمپوست می‌تواند باعث افزایش غلظت فسفر و سایر عناصر غذایی در گیاه شود که محققین مختلف در آن اتفاق نظر دارند. در اینجا نیز غنی‌سازی با روی غلظت روی را بیشتر از ورمی‌کمپوست معمولی افزایش می‌دهد و ناقص سایر اثرات نیست.

عناصر غذایی برگ کاهو

نتایج ما نشان داد که اثرات ساده و متقابل بقایای آلی، غنی‌سازی با روی و درصد اختلاط بقایای آلی با خاک بر میزان عناصر ماکرو و میکرو برگ کاهو معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.05$) (جدول ۴). بیشترین میزان عنصر

آهن در برگ‌های گیاهان کاهوی کشت شده در ورمی‌کمپوست چغندر قند غنی‌سازی‌نشده و غنی‌سازی‌شده با روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و درصد اختلاط ۴ بدست آمد، در حالی که کمترین میزان عنصر آهن به مقدار ۱۸/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گیاهان کشت شده در کمپوست خرما که با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غنی‌سازی شده و به میزان ۴ درصد با خاک اختلاط یافته بود، بدست آمد (جدول ۴). گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست هویج از نظر میزان روی در برگ‌های خود نتایج بهتری دادند، طوری که بیشترین میزان روی به ترتیب به مقدار ۱۲۸/۵۰ و ۱۲۷/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در برگ‌های گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست چغندر قند که با روی ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم غنی‌سازی شده بود و به میزان ۲ و ۴ درصد با خاک اختلاط یافته بود، بدست آمد (جدول ۴). بیشترین میزان مس در گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست هویج و چغندر قند بدست آمد، طوری که بیشترین مقدار این عنصر به میزان ۴۴/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در برگ‌های گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست هویج که با روی غنی‌سازی نشده و به میزان ۴ درصد و ۴۴/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در برگ گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست چغندر قند که با روی غنی‌سازی نشده به میزان ۴ درصد با خاک اختلاط یافته بود، بدست آمد، که نشان می‌دهد تحت تأثیر غنی‌سازی قرار نگرفته است (جدول ۴). برخلاف بقیه عناصر میکرو، منگنز تحت تأثیر غنی‌سازی با روی قرار نگرفت و بیشترین میزان آن در ورمی‌کمپوست هویج با صفر، ۲ و ۴ درصد با خاک اختلاط یافته بود، بدست آمد. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، پتاسیم تحت تأثیر غنی‌سازی با روی قرار نگرفت، طوری که بیشترین میزان عنصر پتاسیم به مقدار ۹/۴۸ درصد در برگ گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست هویج غنی‌سازی نشده با روی و درصد اختلاط ۶ درصد با خاک بدست آمد. بیشترین میزان فسفر به مقدار ۰/۵۶ درصد در برگ گیاهان کشت شده در ورمی‌کمپوست چغندر قند غنی‌شده با روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بدست آمد (جدول ۴). بیشترین

خارج می شود و بعد از آن دیگر بقایای گیاهی و ماده آلی فاقد پتاسیم می شود. بهمین دلیل هنگام کمپوست و ورمی کمپوست شدن مواد آلی، این مقدار پتاسیم جزئی خارج شده و در اثر آبشویی تلف می شود، لذا کمپوست و ورمی کمپوست فقیر از پتاسیم هستند. بهمین دلیل پتاسیم گیاه بالا نرفته است. عدم جذب منگنز نیز مربوط به رقابت این فلز با روی می شود. چون در اینجا ضایعات با روی غنی سازی شده احتمالا غلظت بالای روی از جذب منگنز جلوگیری کرده است.

میزان نیتروژن هم به میزان ۴/۶۷ درصد در برگ گیاهان کشت شده در کمپوست خرما که با روی ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم غنی سازی، و به مقدار صفر درصد با خاک اختلاط یافته بود، بدست آمد (جدول ۴). از آنجا که پتاسیم جز ساختار مواد آلی و بقایای گیاهی نیست و فقط مقدار کمی پتاسیم بصورت یون پتاسیم در سیتوپلاسم و واکوئول های سلول های گیاهی وجود دارد. بهمین دلیل زمانی که بقایای گیاهی شروع به پوسیدن می کند این پتاسیم از بقایای گیاهی تازه و پوسیده نشده

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر بقایای آلی غنی شده با روی بر پارامترهای شیمیایی برگ کاهو.

Table 4. Mean comparison effect of enriched organic residues with Zn on chemical parameters in lettuce leaves.

Treatments		Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	K (%)	P (%)	N (%)	
O1	E1	M1	47.69 ^{h-i}	87.74 ^a	66.10 ^{g-m}	9.41 ⁱ	5.98 ⁱ	0.25 ^{mn}	2.99 ^{hp}
		M2	28.40 ^{h-r}	87.97 ^a	65.50 ^{g-m}	9.58 ⁱ	8.02 ^{c-n}	0.31 ⁱ⁻ⁿ	3.67 ^{c-g}
		M3	66.48 ^{c-i}	85.13 ^{ab}	57.16 ^{j-n}	44.09 ^a	8.57 ^{a-c}	0.29 ⁱ⁻ⁿ	3.55 ^{d-i}
		M4	45.70 ^{h-o}	76.47 ^{b-c}	56.48 ^{j-n}	16.53 ^{c-i}	9.48 ^a	0.295 ^{k-n}	3.48 ^{c-j}
	E2	M1	13.93 ^{qf}	80.09 ^{a-c}	76.19 ^{d-j}	9.14 ⁱ	8.02 ^{c-h}	0.24 ⁿ	2.18 ^{rq}
		M2	28.22 ^{m-r}	72.42 ^{c-i}	60.59 ^{h-n}	24.79 ^{c-g}	8.20 ^{c-n}	0.26 ^{mn}	2.71 ^{n-p}
		M3	29.01 ^{k-r}	64.70 ^{h-m}	59.50 ⁱ⁻ⁿ	13.58 ^{g-i}	7.67 ^{c-i}	0.23 ⁿ	2.68 ^{op}
		M4	63.58 ^{d-g}	75.42 ^{b-i}	71.07 ⁱ⁻ⁱ	29.61 ^{bc}	8.37 ^{c-g}	0.28 ⁱ⁻ⁿ	3.05 ^{j-o}
	E3	M1	41.28 ^{h-p}	71.17 ^{c-i}	97.44 ^{b-c}	11.93 ^{hi}	6.97 ⁱ⁻ⁱ	0.31 ^{j-n}	2.98 ^{k-p}
		M2	44.71 ^{h-p}	74.51 ^{c-n}	128.50 ^a	22.52 ^{c-n}	7.5 ^{i-j}	0.41 ^{c-j}	3.67 ^{c-h}
		M3	93.44 ^{ab}	65.32 ^{g-i}	127.14 ^a	38.25 ^{ab}	8.44 ^{b-i}	0.48 ^{d-i}	3.76 ^{b-i}
		M4	66.83 ^{c-i}	63.39 ⁱ⁻ⁿ	81.31 ^{c-i}	26.30 ^{c-c}	8.79 ^{a-d}	0.46 ^{c-g}	4.06 ^{bc}
O2	E1	M1	99.28 ^a	74.93 ^{c-g}	96.28 ^{b-d}	38.25 ^{ab}	8.26 ^{c-g}	0.42 ^{c-i}	3.09 ^{j-o}
		M2	67.71 ^{c-i}	59 ^{k-p}	95.34 ^{b-c}	23.07 ^{c-h}	9.33 ^a	0.35 ^{g-m}	3.42 ^{e-k}
		M3	55.34 ^{c-j}	59.60 ^{k-p}	73.79 ^{c-k}	44.03 ^a	7.92 ^{d-i}	0.41 ^{c-j}	3.63 ^{c-h}
		M4	66.81 ^{c-i}	54.74 ^{m-q}	83.38 ^{c-g}	18.22 ^{d-i}	7.74 ^{c-j}	0.43 ^{c-h}	3.40 ^{e-k}
	E2	M1	71.63 ^{c-c}	62.87 ^{i-o}	88.95 ^{c-i}	13.91 ^{g-i}	8.26 ^{c-g}	0.36 ^{g-m}	2.58 ^{pq}
		M2	65.31 ^{d-g}	66.36 ^{i-l}	86.21 ^{c-g}	28.48 ^{b-d}	8.44 ^{b-i}	0.30 ^{j-n}	2.77 ^{m-p}
		M3	98.49 ^a	64.66 ^{h-m}	70.99 ⁱ⁻ⁱ	17.72 ^{d-i}	6.06 ^{kl}	0.51 ^{c-c}	3.82 ^{c-c}
		M4	59.07 ^{d-i}	53.36 ^{n-q}	53.16 ^{k-n}	13.19 ^{hi}	6.73 ^{j-i}	0.40 ^{c-k}	3.72 ^{tc-g}
	E3	M1	56.40 ^{d-j}	77.25 ^{b-d}	81.83 ^{c-h}	27.14 ^{b-c}	7.77 ^{c-j}	0.49 ^{d-i}	2.94 ^{i-p}
		M2	49.43 ^{i-k}	62.62 ^{i-o}	50 ^{m-o}	16.90 ^{c-i}	7.91 ^{c-i}	0.34 ^{h-n}	3.17 ^{i-m}
		M3	61.53 ^{d-h}	60.44 ^{j-p}	41.55 ^{no}	13.29 ^{hi}	7.57 ^{c-j}	0.35 ^{h-m}	3.55 ^{d-i}
		M4	48.98 ^{i-k}	65.11 ^{g-i}	59.02 ^{j-n}	25.43 ^{c-i}	7.39 ^{h-j}	0.44 ^{c-h}	4.18 ^b
O3	E1	M1	47 ⁱ⁻ⁿ	68.82 ^{d-k}	100.96 ^{bc}	13.83 ^{g-i}	7.77 ^{c-j}	0.44 ^{c-h}	3.39 ^{e-k}
		M2	86.57 ^{a-c}	74.81 ^{c-g}	72.01 ^{i-k}	13.48 ^{g-i}	7.57 ^{c-j}	0.39 ⁱ⁻ⁱ	3.43 ^{e-k}
		M3	76.14 ^{b-d}	52.82 ^{o-q}	100.20 ^{bc}	13.46 ^{g-i}	8.80 ^{a-d}	0.43 ^{c-h}	3.30 ^{g-i}
		M4	71.84 ^{c-c}	59.71 ^{i-p}	49.59 ^{i-o}	9.91 ⁱ	8.14 ^{c-g}	0.43 ^{c-h}	3.95 ^{b-d}
	E2	M1	42.02 ^{h-p}	67.04 ^{c-k}	111.97 ^{ab}	14.21 ⁱ⁻ⁱ	7.60 ^{c-j}	0.70 ^a	4.67 ^a
		M2	47.38 ^{h-m}	51.68 ^{pq}	96.99 ^{b-d}	14.03 ^{g-i}	8.14 ^{c-g}	0.46 ^{c-g}	3.34 ⁱ⁻ⁱ
		M3	37.90 ^{j-r}	47.24 ^q	28.24 ^o	12.59 ^{hi}	7.07 ^{h-k}	0.42 ^{c-i}	3.22 ^{h-m}
		M4	25.38 ^{p-r}	56.63 ^{i-q}	47.50 ^{m-o}	13.15 ^{hi}	8.50 ^{a-i}	0.49 ^{d-i}	3.47 ^{c-j}
	E3	M1	24.62 ^{p-r}	70.38 ^{c-j}	82.08 ^{c-h}	10.04 ⁱ	7.61 ^{c-i}	0.65 ^{ab}	3.54 ^{d-i}
		M2	39.50 ^{i-qi}	58.95 ^{k-p}	77.65 ^{d-j}	9.97 ⁱ	8.32 ^{b-g}	0.41 ^{c-j}	2.06 ^r
		M3	18.68 ^r	62.58 ^{k-o}	67 ^{g-m}	13.08 ^{hi}	8.50 ^{a-i}	0.58 ^{b-d}	3.14 ⁱ⁻ⁿ
		M4	26.56 ^{h-r}	77.62 ^{b-d}	68.35 ^{i-m}	12.89 ^{hi}	9.05 ^{a-c}	0.62 ^{ac}	3.77 ^{b-i}
O	**	**	ns	**	ns	**	**		
E	**	**	*	*	*	**	**		
M	*	**	**	*	*	**	**		
O × E	**	**	**	**	*	**	**		
O × M	**	*	**	**	**	**	**		
E × M	ns	ns	*	**	**	ns	**		
O × E × M	**	**	**	**	ns	**	**		

O1 (ضایعات هویج)، O2 (ضایعات چغندر) و O3 (ضایعات خرما) نشان دهنده ضایعات آلی می باشد؛ E1 (صفر میلی گرم در کیلوگرم)، E2 (۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) و E3 (۲۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) مقادیر روی را نشان می دهند M1 (صفر درصد)، M2 (۲ درصد)، M3 (۴ درصد) و M4 (۶ درصد) نشان دهنده درصد مخلوط شدن ضایعات آلی با خاک است. در هر ستون میانگین های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

O1 (Carrot waste), O2 (Beet waste), and O3 (Date waste) indicates the types of organic residues; E1 (0 mg kg⁻¹), E2 (1000 mg kg⁻¹), and E3 (2000 mg kg⁻¹) indicate the Zn doses; M1 (0 %), M2 (2 %), M3 (4 %), and M4 (6 %) indicate the percentage of mixing organic residues with soil. In each column, means with similar letters are not significantly difference at 5% probability level.

نسبت به نسبت‌های ۲/۵ و صفر درصد شد. همچنین Kiran (2019) نیز نشان داد که با افزایش درصد اختلاط ورمی‌کمپوست با خاک به میزان ۵ درصد، صفات رشدی در گیاه کاهو مثل ارتفاع گیاه و وزن خشک گیاه، حجم آب برگ، هدایت روزنه‌ای، محتوای کلروفیل a و b و همچنین میزان کارتنوئید به طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج ما مشابه بود.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد که سطح غنی‌سازی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، اثر مثبت بیشتری بر افزایش صفات کودهای آلی و به دنبال آن گیاه کاهو داشته است. در این آزمایش ورمی‌کمپوست هویج به دلیل این‌که گوارش نسبتاً کاملی روی آن انجام شده بود، منبع مناسبی از کود آلی تلقی می‌شود و مطابق نتایج آزمایش حاضر، بالاترین میانگین در صفاتی نظیر عملکرد کاهو، سطح برگ، ارتفاع گیاه، کلروفیل a در شرایط استفاده از ورمی‌کمپوست هویج حاصل شد. بنابراین، هویج و پس از آن چغندر به‌عنوان بهترین مواد اولیه جهت تولید ورمی‌کمپوست ارزیابی شدند. همچنین، نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش مقدار ترکیب کود آلی بر میزان اثربخشی آن افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که در بین مقادیر مختلف کود آلی، مقادیر ۴ و ۶ درصد بیشترین تأثیر را در رشد و عملکرد کاهو داشتند.

تأثیر مطلوب ورمی‌کمپوست در تامین عناصر موردنیاز گیاه به این صورت می‌باشد که این کود به دلیل سطح ویژه بالا و دارا بودن ترکیبات مختلف آلی در سطح خود، با عناصر غذایی خاک، به ویژه عناصر فلزی، کمپلکس‌هایی را تشکیل می‌دهند که به راحتی برای گیاه قابل جذب می‌باشند (Gutierrez-Miceli, et al., 2008). از دیدگاه فیزیولوژیکی نیز، افزایش جذب عناصر مغذی توسط تیمار ورمی‌کمپوست، مربوط به فعال‌سازی سیستم‌های انتقال در غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه می‌باشد (Ievinsh, 2020). Alromian et al. (2020) نشان دادند که غلظت عناصر میکرو در بافت کاهو به طور معنی‌داری تحت تأثیر ورمی‌کمپوست و نوع آن قرار گرفت. همچنین تأثیر ورمی‌کمپوست در افزایش مواد مغذی اندام‌های رویشی کاهو توسط Besas et al. (2020) نیز گزارش شده است.

همچنین نتایج ما نشان داد که استفاده از مقادیر بالاتر ضایعات مورد استفاده، تأثیر بیشتری را در افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش میزان کلروفیل و در نهایت رشد و عملکرد کاهو دارد. به‌گونه‌ای که در همه صفات مورد بررسی، مقادیر ۴ و ۶ درصد ضایعات آلی-از بالاترین میزان و تیمار صفر درصد ضایعات از کمترین مقدار برخوردار شده است. Demir et al. (2019) گزارش دادند که افزایش درصد اختلاط ورمی‌کمپوست با خاک به نسبت ۵ درصد، سبب بهبود صفات فیزیولوژیکی خاک و افزایش عملکرد کاهو

REFERENCES

1. Alromian, F. M. (2020). Effect of type of compost and application rate on growth and quality of lettuce plant. *Journal of Plant Nutrition*, 43(3), 1-13.
2. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P. & Metzger, J. D. (2008). Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology*, 39, 91-99.
3. Arancon, N., Edwards, C. A., Bierman, P., Metzger, J. D. & Lucht, C. (2005). Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*, 49(4), 297-306.
- Arnon, D. (1949). Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
4. Bernal M. P, Albuquerque J. A. & Moral R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444-5453.
5. Besas, U., Aceres, L., & Caniones, S. (2020). Potential of vermicompost drippings and other vermicomposting products on the growth and yield of lettuce. *Southeastern Philippines Journal of Research and Development*, 25(1), 33-46.

6. Bhattacharya, u., Hackethal, A., Kaesler, S., Loos, B., & Meyer, S. (2011). Is unbiased financial advice to retail investors sufficient? answers from a large field study. *Review of Financial Studies*, 25(4), 975-1032
7. Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. *A meta-analysis. Agronomy for Sustainable Development*, 39 (34), 1-16.
8. Chaudhary, N., Patel, B. T., & Patel, S. A. (2020). Effect of iron and zinc enriched organics on quality of potato in loamy sand soil (*Typic Ustipsammments*) of Sardarkrushinagar. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(3), 966-969.
9. Das, M., Ganguly, A., & Haldar, P. (2012). Effect of food plants on nutritional ecology of two acridids (*Orthoptera: Acrididae*) to provide alternative protein supplement for poultry. *Turkish Journal of Zoology*, 36 (5), 699-718.
10. Demir, Z. (2019). Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa) yield in greenhouse under different soil water regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(17), 2151-2168.
11. DM Solanki, B.T. & Patel, N. C. (2021). Effect of iron and zinc enriched organics on nutrient content and uptake by wheat in loamy sand. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10 (1), 522-525.
12. Eidyazadeh, K h., Mahdawi Damghani, E. M., Sabahi, H. & Sufizadeh, S. (2010). Effects of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. *Journal of Agroecology*, 2(2), 292-301. (In Farsi).
13. Eo, J., & Park, K. C. (2019). Effect of vermicompost application on root growth and ginsenoside content of *Panax ginseng*. *Journal of environmental management*, 234, 458-463.
14. Erdal, İ., & Ekinçi, K. (2020). Effects of composts and vermicomposts obtained from forced aerated and mechanically turned composting method on growth, mineral nutrition and nutrient uptake of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 43(9), 1343-1355.
15. Esmailpour, B., Einizadeh, S. & Pourrahimi, G. (2020). Effects of vermicompost produced from cow manure on the growth, yield and nutrition contents of cucumber (*Cucumis sativus*). *Journal of Central European Agriculture*, 21(1), 104-112.
16. Febrisiantosa, A., Ravindran, B. & Choi, H. L. (2018). The effect of co-additives (Biochar and FGD gypsum) on ammonia volatilization during the composting of livestock waste. *Sustainability*, 10, 795.
17. Geiklooi, A., & Shirmohammadi, E. (2013). Effect of enriched vermicompost manure in improve of iron and zinc deficiencies and quality characteristics of peach trees. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(21), 930-4.
18. Gutiérrez-Miceli, F. A., García-Gómez, R. C., Rincón Rosales, R, Abud-Archila, M, María Angela, O. L., Cruz, M. J. & L. Dendooven. (2008). Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench using vermicompost leachate. *Bioresource Technology*, 99(14), 6174-6180.
19. Hansen, B., Alroe, H. F. & Kristensen, E.S. (2001). Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 83, 11-26.
20. Hashemimajd, K. & Jjamaati-e-Somarin, Sh. (2011). Contribution of organic bulking materials on chemical quality of sewage sludge vermicompost. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 1413-7054.
21. Ievinsh, G. (2020). Review on physiological effects of vermicomposts on plants. *Biology of Composts*, Springer.
22. Jokar, L. & Ronaghi, A. (2015). Effect of foliar application of different Fe levels and sources on growth and concentration of some nutrients in sorghum. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 6, 163-174.
23. Jones, J. B. (1883). *Kjeldahl method for nitrogen determination*, 1-79. Micro-Macro Publishing, Inc.
24. Kiran, S. (2019). Effects of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa* var. crispa) under drought stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2), 352-358.
25. Koodi S., Singh S. P., Rolaniya M. K., Gathala S. & Choudhary R. (2017). Effect of NPK, FYM and vermicompost on growth, yield and quality of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). *Chemical Science Review and Letters*, 6(21), 495-499.
26. Kumar, N., Ram, R. B. & Mishra, P. K. (2015). Effect of vermicompost and azotobacter on quality parameters of strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.) cv. Sweet Charlie. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 5, 269-276.
27. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
28. Manolopoulou, E. & Varzakas, T. (2016). Effect of temperature in color changes of green vegetables. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 4(2), 10-17.

29. Marschner, P. (2011). *Nutrient availability in soils, Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 315-330. (Third Edition).
30. Mohammed, O. O., Saleh, M. A. & Mandour, M. A. (2019). Effect of different sources of organic fertilizers on vegetative growth, yield and storability of lettuce plants. *Organic Agriculture*, 97(2), 685-704.
31. Mupambwa, H. A. & Mnkeni, P. N. S. (2018). Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 10577-10595.
32. Nicolaeva, M. K., Maevskaya, S. N., Shugaev, A. G. & Bukhov, N. G. (2010). Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Journal of Plant Physiology*, 57, 87-95.
33. Padmavathamma, P. K., Li, L. Y. & Kumari, U. R. (2008). An experimental study of vermicomposting for agricultural soil improvement. *Bioresource Technology*, 99, 1672-1681.
34. Papanthanasios, K., Papadopoulos, I., Tsakiris I. & Tamoutsidis, E. (2012). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(2), 677-682.
35. Ravindran, B., Contreras-Ramos, S. M., Wong, J. W. C., Selvam, A. & Sekaran, G. (2014). Nutrient and enzymatic changes of hydrolysed tannery solid waste treated with epigeic earthworm *Eudrilus eugeniae* and phytotoxicity assessment on selected commercial crops. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 641-651.
36. Ravindran, B., Nguyen, D. D., Chaudhary, D. K., Chang, S. W., Kim, J., Lee, S. R., Shin, J. D., Jeon, B., Chung, S. K. & Lee, J. J. (2019). Influence of biochar on physico-chemical and microbial community during swine manure composting process. *Journal of Environmental Management*, 232, 592-599.
37. Ravindran, B., Wong, J. W. C., Selvam, A., Murugesan, K., Mohanapriya, D. & Sekaran, G. (2015). Influence of fermented tannery solid waste on morphological, biochemical, yield and nutritional responses of tomato plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 4327-4335.
38. Rodriguez, H. & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. A review. *Biotechnology Advances*, 17, 319-339.
39. Rosik-Dulewska, C. & Grabda, M. (2002). Development and yield of vegetables cultivated on substrate heated by geothermal waters part I: Bell pepper, slicing cucumber, tomato. *Journal of Vegetable Crop Production*, 8(1), 133-144.
40. Sengupta, S., Mukherjee, S., Halder, S. & Bhattacharya, P. (2020). Enrichment of vermicompost for improving soil quality and ensuring Zn and Fe bioavailability through rice grain. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1), 246-254.
41. Singh, R. P., Singh, P., Araujo, A. S. F., Ibrahim, M. H. & Sulaiman, O. (2011). Management of urban solid waste: vermicomposting a sustainable option. *Resources, Conservation & Recycling*, 55(7), 719-729.
42. Sudip, S., Siddhartha, M., Sanjay, H., Parijat, B. (2020). Enrichment of vermicompost for improving soil quality and ensuring Zn and Fe bioavailability through rice grain . *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (1), 246-254.
43. Unuofin, F. O., Siswana, M. & Cisse, E. N. (2016). Enhancing rock phosphate integration rate for fast bio-transformation of cow-dung waste-paper mixtures to organic fertilizer. *Springer Plus*, 5(1), 1986.
44. Van Heerden, S. G. & Hardie, A. G. (2020). Effect of vermicompost tea on rooibos (*Aspalathus linearis*) growth and rhizosphere microbial diversity under field conditions. *South African Journal of Plant and Soil*, 37(1), 71-78.
45. Yadav, A. & Garg, V. K. (2016). Influence of stocking density on the vermicomposting of an effluent treatment plant sludge amended with cow dung. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 13317-13326.
46. Younis, A., Riaz, A., Waseem, M., Asifkhan, M. & Nadeem, M. (2010). Production of quality croton plants by using different growing media. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 2(7), 232-237.
47. Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Gómez-Aparisi, J., Betrán, J. A. & Moreno, M. A. (2005). Influence of almond x peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars. *Scientia Horticulturae*, 106(4), 502-514.
48. Zubair, A., Ali, A. & Korkmaz, B. (2021). Microbial enrichment of vermicompost through earthworm *Eisenia fetida* (savigny, 1926) for agricultural waste management and development of useful organic fertilizer. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 58 (3), 851-861.