نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و ششم، شماره سوم، ۱۳۹۸
۱۳۷-۱۵۱
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2019.15263.2370

تأثیر کمپوست زباله شهری و کودهای شیمیایی بر غلظت عناصر غذایی در خاک، عملکرد و تجمع نیترات در کاهو (*Lectuca sativa* L.) رقم بابل

***جلال قادری[۱]، شاهرخ فاتحی[۱] و شهرام امیدواری[۲]**

[۱]استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، [۲]استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: بررسی امکان استفاده توأم یا جایگزینی بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای آلی در تغذیه کاهو به‌دلیل اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، اقدامی ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری به‌صورت جداگانه و تلفیقی با کودهای شیمیایی بر غلظت برخی از عناصر غذایی در خاک، عملکرد و تجمع نیترات در برگ کاهو اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایشی شامل چهار سطح کمپوست زباله شهری (بدون مصرف، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن بر هکتار) همراه با چهار سطح کود شیمیایی (بدون مصرف، عرف زارع، برابر آزمون خاک و ۲۵ درصد کم‌تر از آزمون خاک)، در سه تکرار و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر محصول کاهو در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در کرمانشاه اجرا شد. قبل از کاشت، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد آزمایش با روش‌های استاندارد تجزیه گردید و نسبت به اعمال تیمارهای کودی و سپس کاشت کاهو در کرت‌های آزمایشی اقدام شد. کنترل علف‌های هرز و آبیاری با روش بارانی در زمان مورد نیاز انجام شد. نمونه‌برداری از خاک پس از برداشت برای اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و هم‌چنین نسبت به برآورد عملکرد کاهو و اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی و میزان نیترات در برگ آن با روش‌های متداول اقدام گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بین اثرهای اصلی مقادیر مختلف کودهای شیمیائی و کمپوست بر عملکرد، نیترات، غلظت عناصر غذایی و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد کاهو و مقدار نیترات در برگ آن در سطح یک درصد ($P<۰/۰۱$) و بر غلظت نیتروژن، آهن و روی در سطح پنج درصد ($P<۰/۰۵$) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیش‌ترین عملکرد (۳۵/۶ تن درهکتار) و مقدار نیترات (۷۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در برگ کاهو به‌ترتیب با کاربرد ۱۰ تن بر هکتار کمپوست و مصرف کودهای شیمیائی بر اساس عرف زارع و کم‌ترین مقدار آن‌ها به‌ترتیب با ۲۲/۸ تن بر هکتار و ۱۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک با تیمار شاهد (عدم مصرف کود) به‌دست آمد. هم‌چنین بین اثرهای اصلی مقادیر مختلف کودهای شیمیائی و کمپوست بر غلظت بیش‌تر عناصر غذایی در خاک در سطح یک درصد ($P<۰/۰۱$) و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر درصد کربن آلی، غلظت روی، آهن و

* مسئول مکاتبه: ghaderij@yahoo.com

مس قابل‌استفاده خاک، در سطح پنج درصد ($P<0/05$) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیش‌ترین غلظت روی، آهن و مس قابل‌استفاده در خاک با مصرف ۳۰ تن بر هکتار کمپوست و مصرف کودهای شیمیائی بر اساس عرف زارع به‌دست آمد که اختلاف آن‌ها نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱/۲۸، ۳/۱۶ و ۱/۲٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده و در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی و مقدار نیترات در برگ کاهو، کاربرد توأم ۱۰ تن کمپوست بر هکتار و کودهای شیمیایی ۲۵ درصد کم‌تر از آزمون خاک پیشنهاد می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: آهن، روی، فسفر، نیترات، نیتروژن

مقدمه

قسمت عمده کشور ما دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و عدم وجود پوشش گیاهی کافی، سبب بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کمبود مواد آلی آن شده است، به‌طوری‌که اغلب خاک‌های زراعی کشور دارای کم‌تر از یک درصد کربن آلی هستند (۲۲). برای افزایش مقدار ماده آلی خاک، لازم است از همه منابع آلی مانند کودهای دامی، ضایعات کشاورزی و مواد زائد شهری استفاده شود، تا ضمن افزایش تولیدات زراعی، توسعه پایدار در کشاورزی ممکن شود (۲۲).

یکی از راه‌های دستیابی به کشاورزی پایدار، مصرف بهینه کودهای شیمیایی و استفاده از کودهای آلی است (۲۲). کاربرد کودهای آلی در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش فعالیت ریزجانداران مفید خاک، در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف عمل نموده و موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۲۰)، هم‌چنین با تولید هوموس عوارض نامطلوب کودهای شیمیایی را کاهش داده و کارآیی مصرف آن‌ها را افزایش می‌دهند (٤۰). یکی از کودهای آلی، کمپوست زباله شهری است که کاربرد آن باعث جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست، کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و بهبود خصوصیات خاک‌های زراعی می‌شود (۳۲). گزارش شده است که کاربرد توأم کودهای شیمیایی با کودهای آلی، باعث حفظ تعادل عناصر غذایی در خاک، افزایش ماده آلی، افزایش فابلیت دسترسی به عناصر غذایی در خاک برای گیاه و کاهش هدررفت کودها می‌شود و همچنین باعث افزایش عملکرد، تجمع ماده خشک و جذب عناصر غذایی در محصولات می‌شود (۹ و ٤۵).

یکی از معیارهای سلامت سبزی‌ها، عدم تجمع نیترات در آن‌ها می‌باشد. نیترات اغلب منبع اصلی نیتروژن قابل‌دسترس بیش‌تر گیاهان به‌خصوص سبزی‌ها است (۹). پژوهش‌ها نشان داده است مصرف مقادیر بیش از حد کودهای نیتروژنی، سبب افزایش انباشتگی نیترات در گیاه می‌شود (۲۳). به‌نظر می‌رسد زمانی‌که مقدار نیترات گیاه کم باشد، انتقال نیترات از ریشه به اندام هوایی گیاه کم است، ولی با افزایش مقدار نیترات، انتقال به ساقه و برگ‌ها تحریک می‌شود. بنابراین تحت شرایطی که مقدار زیادی کود نیتروژنی مصرف شود، ظرفیت احیای نیترات کاهش می‌یابد و در نهایت مقادیر مازاد نیترات به برگ‌ها انتقال می‌یابد (۲٤). نیترات به خودی خود غیرسمی است، ولی متابولیت‌ها و محصولات واکنش آن مانند نیتریت، اکسید نیتریک و ترکیبات نیتروز به‌دلیل اثرهای زیان‌باری که بر سلامتی دارند مانند مت- هموگلوبینمیا، سرطان‌زایی، برای کارشناسان تغذیه انسان و دام بسیار دارای اهمیت هستند (۷). مشخص‌ترین نشانه سمیت حاد نیترات، بیماری متهموگلوبینمیا می‌باشد که در آن

هموگلوبین به متهموگلوبین تبدیل می‌شود (۷ و ۲۳). تبدیل آهن دوظرفیتی به سه‌ظرفیتی سبب کاهش میل ترکیبی آهن با اکسیژن شده و انتقال اکسیژن در بدن را مختل می‌کند. هم‌چنین در اثر تداوم مصرف سبزیجات و یا آب آشامیدنی حاوی نیترات زیاد، نیتروز آمین در دستگاه گوارش تولید می‌شود که ماده‌ای سمی و خطرناک است و احتمال بروز سرطان‌های خون، تومور مغزی و حلق و بینی را در افراد بالغ افزایش می‌دهد (۲٤). طبق گزارش مشترک سازمان‌های بهداشت جهانی و خواربار و کشاورزی (فائو)، حد قابل‌قبول مصرف روزانه نیترات تا ۳/۷ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن انسان می‌باشد (٤۱). استفاده از کودهای آلی در تولید سبزی نشان داد که میزان اندکی نیترات در اندام‌های قابل مصرف گیاهان ذخیره می‌شود. به همین دلیل کشت‌های ارگانیک که بر پایه استفاده از کودهای آلی استوار است بر کشت‌های غیرارگانیک که معمولاً از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود، ترجیح داده می‌شوند (۳۵). گزارش شده است که کاربرد کود گاوی، کمپوست زباله شهری و ورمی‌کمپوست، تجمع نیترات در کلم چینی، اسفناج، سیر، کلم بروکلی و جعفری را کاهش می‌دهد (۳٤) و بیش‌ترین عملکرد، ویتامین ث، کم‌ترین تجمع نیترات در اسفناج با کاربرد کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی به‌دست آمد (۱٤).

مکابلا و وارمن (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که ماده خشک و عملکرد سیب‌زمینی و ذرت در تیمار کودهای شیمیایی (NPK) و تیمار مصرف تلفیقی (۵۰ درصد کودهای شیمیایی و ۵۰ درصد کمپوست زباله شهری) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار کمپوست زباله شهری به‌تنهایی بود (۲۸). کاسترو و همکاران (۲۰۰۹) نیز افزایش غلظت برخی عناصر کم‌مصرف از جمله آهن، روی و مس را در کاهو کشت شده در تیمارهای شاهد و کمپوست زباله شهری در مقایسه با لجن فاضلاب و کود شیمیایی گزارش نمودند و علت افزایش غلظت مس و روی در کاهو را، میزان بالای این عناصر در کمپوست زباله شهری بیان نمودند (٦). زمانی باب‌گهری و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی، سبب بهبود ویژگی های خاک از لحاظ مقدار ماده آلی، نیتروژن کل، جرم مخصوص ظاهری شد. همچنین با کاربرد پسماندهای آلی، شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، عملکرد زیست‌توده، وزن هزاردانه و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کردند (٤۵). حسین‌پور و قاجارسپانلو (۲۰۱۲) گزارش کردند که تیمارهای مختلف کود کمپوست زباله شهری و کودهای شیمیایی، باعث افزایش غلظت روی و مس قابل‌جذب خاک، آهن، روی و منگنز در ریشه و روی، مس و منگنز در برگ کاهو شدند (۱٤). گزارش شده است که در نتیجه کاربرد کمپوست زباله شهری و کود گاوی، عملکرد کاهو افزایش یافت و کمپوست زباله شهری، باعث جذب بیش‌تر روی و سرب در برگ آن شد (۱۷). فلاح و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که کاربرد توأم کودهای شیمیایی و کمپوست زباله شهری، بیش‌ترین تأثیر را بر خصوصیات کمی (وزن تر و خشک، ارتفاع، سطح برگ، طول دوره رشد و عملکرد) و میزان نیترات در برگ اسفناج داشت و برای دستیابی به عملکرد مناسب، کاربرد ۵۰ تن بر هکتارکمپوست زباله شهری به‌همراه نصف مقدار توصیه رایج کودهای شیمیایی را پیشنهاد کردند (۹). حد بحرانی نیترات برای محصولات سبزی مانند برگ کاهو، ریشه هویج و برگ اسفناج به‌ترتیب ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ٤۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر حسب وزن خشک گزارش شده است (۲۵). بنابراین با توجه به اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، دائماً بر اهمیت کشاورزی پایدار افزوده می‌شود و دست‌یابی به روشی که به‌تواند از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی به کاهد، ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف از

پژوهش حاضر بررسی تأثیر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری به‌صورت جداگانه و تلفیقی با کودهای شیمیایی بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک، عملکرد و میزان نیترات در برگ کاهو رقم بابل بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش شامل چهار سطح کمپوست زباله شهری (بدون مصرف، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن بر هکتار) همراه با چهار سطح کود شیمیائی (بدون مصرف، عرف زارع، برابر آزمون خاک و ۲۵ درصد کم‌تر از آزمون خاک)، در سه تکرار به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، از سال ۹۳ و به‌مدت یک سال زراعی در ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت مرکز تحقیقات، آموزش و کشاورزی کرمانشاه اجرا شد. قبل از آزمایش از محل اجرای طرح یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جهت اندازه‌گیری برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. در نمونه‌های خاک، بافت به روش هیدرومتری (۳)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (۳۹)، pH گل اشباع به‌وسیله الکترود شیشه‌ای (۲۶)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (٤)، فسفر قابل‌جذب با روش اولسن (۳۰)، آهن، روی، منگنز، مس، سرب و کادمیم با عصاره‌گیر DTPA (۳۱) و با دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elemer 3110 اندازه‌گیری شدند. در این آزمایش تمام اندازه‌گیری‌های خاک و گیاه در بخش تحقیقات آب و خاک مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه انجام شد.

مقدار کودهای مصرفی بر اساس عرف زارع و آزمون خاک (۲۳) در تیمارهای کود شیمیایی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Physical and chemical properties of experimental site soil.

*واکنش pH	**هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)	کربنات کلسیم کل (درصد) TNV (%)	نیتروژن کل (درصد) N (%)	کربن آلی (درصد) O.C (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ($mg\ kg^{-1}$)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg\ kg^{-1}$)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg\ kg^{-1}$)	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn ($mg\ kg^{-1}$)	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg\ kg^{-1}$)	***بافت خاک Soil Texture
7.8	0.6	27	0.08	0.84	7.2	270	5.2	0.7	6	1.2	Si-C

* گل اشباع (saturated paste)، ** عصاره گل اشباع (saturated paste extract) و *** سلیتی کلی (Silty Clay).

جدول ۲- میزان مصرف کودهای شیمیایی.

Table 2. The amount of applied chemical fertilizers.

مصرف کود Fertilizer application	اوره (کیلوگرم در هکتار) Urea ($kg\ ha^{-1}$)	سوپرفسفات تریبل (کیلوگرم در هکتار) Triple Super phosphate ($kg\ ha^{-1}$)	سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) K_2SO_4 ($kg\ ha^{-1}$)	سولفات روی خشک (کیلوگرم در هکتار) $ZnSO_4H_2O$ ($kg\ ha^{-1}$)
عرف زارع Conventional method	350	150	-	-
آزمون خاک Soil Test	250	100	50	40
۲۵ درصد کم‌تر از آزمون خاک 25% less than the soil test	187	75	37.5	30

نتایج تجزیه کود کمپوست زباله شهری در جدول ۳ نشان داده شده است. کمپوست استفاده شده محصول شرکت بازیافت شهرداری کرمانشاه است که در این شرکت روزانه حدود ۱۸۰ تن کمپوست تولید می‌شود.

جدول ۳- نتایج تجزیه برخی از ویژگی‌های کمپوست زباله شهری.

Table 3. Some characteristics of the municipal solid waste compost.

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن (درصد) N (%)	پتاسیم (درصد) K (%)	فسفر (درصد) P (%)	واکنش pH	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg\ kg^{-1}$)	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn ($mg\ kg^{-1}$)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg\ kg^{-1}$)	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg\ kg^{-1}$)	کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cd ($mg\ kg^{-1}$)	سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Pb ($mg\ kg^{-1}$)	نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Ni ($mg\ kg^{-1}$)
13.76	1.46	1.35	0.65	7.5	18013	511	1245	654	3.5	182	122

استاندارد کمپوست زباله شهری برای هدایت الکتریکی، ١٤ دسی‌زیمنس بر متر، نیتروژن، ١/٦٦ درصد، پتاسیم، ١/٨ درصد، pH خاک، ٨-٦، فسفر، ٣/٨-١ درصد و روی، مس، کادمیم، سرب و نیکل به‌ترتیب ١٣٠٠، ٦٥٠، ١٠، ٢٠٠، ١٢٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (١٩).

تمام کودهای شیمیایی از شرکت خدمات حمایتی کشاورزی کرمانشاه خریداری شدند. پس از آماده‌سازی زمین در اوایل اسفندماه ٩٢ و یک ماه قبل از کاشت، در تیمارهای آزمایشی نسبت به کاربرد کمپوست زباله شهری، کودهای سوپرفسفات تریبل (٤٦ درصد پنتا اکسیدفسفر، دانه‌ای)، سولفات پتاسیم (٤٠ درصد پتاسیم، پودری) و سولفات روی خشک (٣٤ درصد روی، پودری) به‌صورت پخش سطحی اقدام و با شخم با خاک مخلوط شدند و همچنین اولین مرحله کاربرد سرک کود اوره در مرحله ٥ برگی و بقیه در دو مرحله، به فاصله ٢٠ روز و متناسب با رشد گیاه مصرف شد.

در این آزمایش از کاهو پیچ بابلی با نام علمی *Lactuca sativa* Var. Longifolia استفاده شد که سطح زیر کشت آن در سال زراعی ٩٤-٩٣ برابر ٣٢٠ هکتار در مناطق معتدل کرمانشاه بود. فاصله هر کرت و تکرار از یکدیگر به‌ترتیب ١/٥ و ٢ متر و مساحت هر کرت ٣٦ مترمربع بود. فاصله ردیف‌های کاشت و بذرها از یکدیگر به‌ترتیب ٥٠ و ٢٠ سانتی‌متر بود. کشت کاهو در فروردین‌ماه سال ١٣٩٤ انجام شد. زمان جوانه‌زنی بذرهای کاهو به‌طور متوسط ٥ روز بود. در طول دوره رشد کاهو، عملیات وجین علف‌های هرز با دست انجام و در این آزمایش سموم آفت‌کش به‌کار نرفت.

آبیاری به روش بارانی (کلاسیک ثابت)، در طول ٩٠ روز دوره رشد این محصول در زمان‌های مورد نیاز، هر ٤ روز یک بار آبیاری انجام شد. میزان بارندگی در فروردین و اردیبهشت‌ماه ٩٤ به‌ترتیب ٣٨/٥ و ١٥ میلی‌متر بود. در مرحله برداشت با استفاده از روش نمونه‌گیری از هر کرت نسبت به تعیین عملکرد محصول در ٨ ردیف و به طول ٥ متر و سپس محاسبه آن به کیلوگرم بر هکتار و همچنین نسبت به تهیه نمونه خاک پس از برداشت محصول برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی قابل‌استفاده در خاک (کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز) اقدام گردید. از تیمارهای آزمایشی نمونه برگ کاهو (از برگ‌های درونی و بیرونی به‌طور مخلوط)، برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز) تهیه شد که پس از شستشو با آب مقطر، در دمای ٧٠ درجه سانتی‌گراد با آون خشک و توسط آسیاب برقی پودر شدند. سپس مقدار ٠/٥ گرم از

نمونه آسیاب‌شده به روش هضم مرطوب (اسید سولفوسالیسلیک) روی اجاق الکتریکی در دمای ۲۰۰ الی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و نیتروژن کل با دستگاه کجلدال (۵)، فسفر به روش کالریمتری (رنگ زرد با حضور آمونیم وانادات و هپتا آمونیم مولیبدات) وسترمن (٤۲) و با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Novaspec ۱۱ Visible در طول موج ٤۷۰ نانومتر، پتاسیم بر اساس نشر اتمی و با دستگاه فلیم‌فتومتر مدل Jenway، آهن، روی، منگنز و مس به روش خاکستر کردن خشک و با دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elemer 3110 (۳۱) و نیترات بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و به روش کالریمتری بعد از احیا دی آزو (۳۸) قرائت شدند. برای انجام تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری MSTAT-C استفاده و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد کاهو: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کاربرد مقادیر مختلف کودهای شیمیایی و کمپوست زباله شهری و همچنین اثر برهم‌کنش آن‌ها، اثر معنی‌داری بر عملکرد کاهو در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) داشت (جدول ٤). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با افزایش مقدار کود شیمیایی و کمپوست زباله شهری عملکرد کاهو افزایش یافت (جدول ۵). کاربرد توأم کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک و ۱۰ تن بر هکتار کمپوست، عملکرد بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها داشتند که اختلاف آن نسبت به تیمار شاهد ۱۲۷۷۷ کیلوگرم بر هکتار بود. اگرچه بین تیمارهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن کمپوست بر هکتار در تلفیق با کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ٦).

به‌نظر می‌رسد افزایش عملکرد دانه در تیمارهای کاربرد توأم کودهای شیمیایی و کمپوست زباله شهری و تیمارهایی که فقط کود آلی کمپوست زباله شهری دریافت کرده بودند، نسبت به تیمار شاهد، به‌علت بیش‌تر بودن غلظت کل و قابل‌جذب عناصر غذایی در کود آلی کمپوست نسبت به خاک می‌باشد. همچنین افزایش عملکرد دانه را در رابطه با استفاده از کمپوست می‌توان به بهبود ماده آلی خاک، افزایش قابلیت استفاده از نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کاهش pH خاک دانست (۱). کاهش عملکرد بر اثر کاربرد کمپوست نسبت به مصرف توأم کودهای شیمیایی و کمپوست را می‌توان به‌دلیل دوره رشد کوتاه کاهو و افزایش فعالیت ریزجانداران در خاک به‌واسطه افزایش کربن خاک و افزایش نسبت کربن به نیتروژن و در نتیجه مصرف نیتروژن معدنی و آزادسازی تدریجی نیتروژن نسبت داد. کم‌تر بودن عملکرد بر اثر مصرف کودهای شیمیایی نسبت به کاربرد توأم کودهای شیمیایی و کمپوست، به‌دلیل شستشوی نیتروژن معدنی از خاک و عدم کافی بودن عناصر غذایی است (۲). نتایج این پژوهش با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت داشت (۹ و ١٤).

مقدار نیترات در برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی کاربرد مقادیر مختلف کود شیمیایی و کود کمپوست در سطح یک درصد (P<۰/۰۱) و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر مقدار نیترات برگ کاهو در سطح احتمال پنج درصد (P<۰/۰۵) معنی‌دار بود (جدول ٤). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با افزایش مقدار کودهای شیمیایی و کمپوست مقدار نیترات در برگ کاهو نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود) افزایش یافت. کم‌ترین مقدار نیترات در تیمار شاهد با ۱۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و بیش‌ترین مقدار آن با کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس عرف زارع و ۳۰ تن بر هکتار کمپوست با ۷٤٦ میلی‌گرم بر

کیلوگرم ماده خشک به‌دست آمد (جدول ٦). مشخص گردید که در بین مقادیر مختلف کودهای شیمیایی و کمپوست زباله شهری، کم‌ترین مقدار نیترات با ۱۰ تن کمپوست بر هکتار بود که هماهنگی با نتیجه پیوست (۲۰۰۹) داشت که گزارش کرد در اثر استفاده از کودهای آلی، میزان اندکی نیترات در مقایسه با کودهای شیمیایی در اندام‌های قابل مصرف سبزی‌ها ذخیره می‌شود (۳۵). بیش‌ترین مقدار آن با کاربرد توأم ۳۰ تن کمپوست بر هکتار و مصرف کودهای شیمیایی بر اساس عرف زارع بود که عمدتاً ناشی از مصرف زیاد کودهای نیتروژنی است (٢٤). تجمع نیترات در گیاهان یک پدیده طبیعی بوده و هنگامی رخ می‌دهد که میزان تجمع نیترات در گیاه بیش‌تر از میزان لازم آن بر اثر جذب باشد. ظرفیت تجمع نیترات به‌وسیله توان توارثی گیاه تنظیم گردیده و توسط عوامل محیطی، مدیریت، کوددهی و عملیات زراعی تغییر می‌کند. اگر نیترات به مقدار زیاد به‌وسیله گیاه جذب شود، احیای آن به‌علت مصرف انرژی و مواد قندی زیاد، از رشد گیاه می‌کاهد. این یون از ریشه به طرف برگ‌ها فرستاده شده و در آن‌جا تجمع می‌یابد (۲۲ و ٢٤). وجود نیترات در مواد غذایی از نظر کارشناسان تغذیه انسان و حیوان موضوعی حیاتی است. تبدیل نیترات به نیتریت در دستگاه گوارش و سمیت نیتریت حاصل، به‌خصوص در حیوانات نشخوارکننده (گاو) و نوزادان، باعث ایجاد بیماری مانند متهموگلوبینمیا می‌گردد که در آن هموگلوبین به متهموگلوبین تبدیل می‌شود و در اثر این پدیده، آهن دو ظرفیتی به آهن سه‌ظرفیتی تبدیل و در نتیجه انتقال اکسیژن در بدن مختل شده و حالت خفگی به‌خصوص در نوزادان بروز می‌نماید و ممکن است منجر به مرگ انسان شود (۲۳). بنابراین مصرف بهینه کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی در خصوص مقدار نیترات باید مدنظر جدی قرار گیرد. که یکی از راه‌حل‌های آن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از کودهای آلی از جمله کمپوست می‌باشد که نتایج این آزمایش آن را تأیید می‌کند.

نتایج نشان داد که تجمع نیترات کم‌تر با کاربرد کمپوست در برگ کاهو نسبت به کودهای شیمیایی ممکن است در ارتباط با فعالیت زیستی بیش‌تر خاک باشد که باعث فرآیند تبدیل سریع‌تر نیترات به اسیدهای آمینه، پروتئین و تبدیل تدریجی نیتروژن آلی کمپوست به نیترات باشد که یک وضعیت همگام شده با نیازهای غذایی گیاهان است (۱۳). در حالی‌که کودهای شیمیایی بیش‌ترین مقدار نیترات را در گیاه ایجاد می‌کنند که ممکن است به‌دلیل اثر مستقیم آزادسازی سریع نیتروژن به واسطه کودهای شیمیایی بیش از توانایی مورد نیاز گیاه باشد این نتایج در موافقت با سایر فعالیت‌های تحقیقاتی است که گزارش کردند کاربرد کود گاوی، کمپوست زباله شهری و ورمی‌کمپوست، تجمع نیترات در کلم چینی، اسفناج، سیر، کلم بروکلی و جعفری را نسبت به کاربرد کودهای شیمیایی کاهش می‌دهند (٣٤) و وقتی که مقدار نیتروژن ورودی از نیازهای گیاه تجاوز می‌کند، میزان نیترات در گیاه افزایش می‌یابد (۲۹). همچنین با نتایج پژوهش‌های پیوست و همکاران (٢٠٠٦) مطابقت داشت که گزارش کردند بیش‌ترین عملکرد، ویتامین ث، کم‌ترین تجمع نیترات در اسفناج با کاربرد کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی به‌دست آمد (۳۳).

عناصر غذایی در برگ کاهو: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که مقدار عناصر غذایی در برگ کاهو تحت‌تأثیرکاربرد تیمارهای جداگانه کودهای شیمیایی و کمپوست قرار گرفتند و بین اثر اصلی مقادیر مختلف کودهای شیمیایی و کمپوست بر غلظت عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس) اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ($P<۰/۰۱$) وجود داشت، ولی اثر برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت نیتروژن، آهن، روی و منگنز در سطح پنج درصد ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد (جدول ٤). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین غلظت عناصر

غذایی با تیمار ترکیبی مصرف کودهای شیمیایی بر اساس عرف زارع و کاربرد ۳۰ تن بر هکتار کمپوست و کم‌ترین مقدار آن‌ها با تیمار شاهد (بدون مصرف کودهای شیمیایی و کمپوست) به‌دست آمد (جدول ٦). به‌طوری‌که غلظت نیتروژن، آهن، روی و منگنز به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد در برگ کاهو ۲/۱۵ درصد، ۱۳۰، ۱۵/۳ و ۱۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. همچنین در تیمار کودهای شیمیایی و کمپوست به‌طور جداگانه، بالاترین مقدار عناصر غذایی در برگ کاهو به‌ترتیب با مصرف کودهای شیمیایی بر اساس عرف زارع و کاربرد ۳۰ تن بر هکتار کمپوست حاصل شد (جدول ۵). معمولاً غلظت فلزات در بافت‌های گیاه تابعی از غلظت آن‌ها در محلول خاک است، اما این همبستگی مطابق با گونه و بافت گیاه متفاوت می‌باشد (١٦). کاسترو و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که با کاربرد انواع اصلاح‌کننده‌های آلی از جمله کمپوست زباله شهری در خاک، به‌دنبال افزایش میزان عناصر غذایی در خاک، غلظت این عناصر در بافت‌های گیاه کاهو نیز افزایش یافت (٦). در کنار اثرات مثبت کودهای آلی در ساختار خاک که سبب توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای برای جذب عناصر غذایی می‌شود، کودهای آلی می‌توانند علاوه بر آزادسازی عناصر غذایی خود، با اتصال به عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی از دنیتریفیکاسیون، تبخیر و آبشویی نیز جلوگیری کرده و مواد غذایی را به مرور آزاد سازد. از طرفی ماده آلی و کربن آلی خاک با مصرف تلفیقی کمپوست و کودهای شیمیایی افزایش می‌یابد و از سوی دیگر مواد آلی خاک به‌عنوان یک انبار ذخیره عناصر غذایی با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا عمل کرده و مانع از دست رفتن عناصر غذایی به‌واسطه کلاته کردن عناصر، برای یک دوره بلندمدت می‌شوند (۱۵)، گزارش شده است اسید هومیک و فالویک موجود در مواد آلی با عناصر کم‌مصرف، کمپلکس ایجاد کرده و موجب افزایش قابلیت استفاده آن‌ها توسط گیاهان می‌شود (۱۰). نتایج این پژوهش با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت داشت (۹، ۱۰، ١٤ و ١٨).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر کمپوست و کودهای شیمیایی بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در برگ کاهو.

Table 4. Analysis of variance for effect of compost and chemical fertilizers on yield and nutrients concentration in Lettuce leaf.

منبع source	درجه آزادی df	عملکرد Yield	نیتروژن N	نیترات NO_3	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
		میانگین مربعات Mean Square								
بلوک Block	2	32156.4^{ns}	0.30^{ns}	1870.15^{ns}	0.03^{ns}	0.23^{ns}	21.52^{ns}	1.69^{ns}	2.02^{ns}	10.94^{ns}
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers	3	109537756.2**	2.66**	185204.74**	0.01**	1.34**	5355.14**	46.47**	134.70**	6.80**
کمپوست Compost	3	50817404.6**	2.21**	238705.58**	0.20**	1.81**	982.25**	133.64**	184.47**	12.30**
کمپوست * کودهای شیمیایی Chemical fertilizers & Compost	9	7269772.7**	0.02*	6917.13*	0.001^{ns}	0.02^{ns}	462.27**	0.55*	2.42*	0.21^{ns}
خطای آزمایش Error	30	1235476.3	0.03	737.70	0.001	0.04	77.54	1.49	2.95	0.26
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		3.53	6.70	6.25	8.54	3.50	2.88	2.83	4.10	6.0

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی کمپوست و کودهای شیمیایی بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در برگ کاهو.

Table 5. Mean comparison results for effect of compost and and chemical fertilizers on yield and nutrients concentration in Lettuce leaf.

مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu (mg kg^{-1})	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1})	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn (mg kg^{-1})	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg kg^{-1})	پتاسیم (درصد) K (%)	فسفر (درصد) P (%)	نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NO_3	نیتروژن (درصد) N (%)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) yield (kg ha^{-1})	منبع source
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers									
7.60^{c}	37.33^{c}	41.00c	278.58^{c}	5.67^{c}	0.31^{b}	253.5^{c}	2.16^{d}	27472^{c}	شاهد Control
9.35^{a}	44.05^{a}	45.58a	323.25^{a}	5.90^{b}	0.36^{a}	534.0^{a}	3.28^{a}	31750^{b}	عرف زارع Conventional method
9.00^{ab}	44.78^{a}	43.67b	321.67^{a}	6.40^{a}	0.35^{ab}	486.3^{b}	2.95^{b}	34805^{a}	آزمون خاک Soil Test
8.75^{b}	42.00^{b}	42.25c	299.33^{b}	6.25^{a}	0.33^{ab}	466.0^{b}	2.73^{c}	31917^{b}	۲۵ درصد کم‌تر از آزمون خاک 25% less than the soil test
کمپوست (تن در هکتار) Compost (t ha^{-1})									
7.39^{d}	37.33^{d}	39.25^{d}	271.25^{d}	5.57^{d}	0.29^{c}	272.5^{d}	2.28^{d}	28750^{c}	0
8.30^{c}	40.67^{c}	41.75^{c}	294.25^{c}	5.96^{c}	0.32^{bc}	376.6^{c}	2.62^{c}	31056^{b}	10
9.10^{b}	43.75^{b}	44.58^{b}	320.83^{b}	6.22^{b}	0.34^{b}	462.6^{b}	2.94^{b}	32972^{a}	20
9.74^{a}	46.42^{a}	46.92^{a}	336.50^{a}	6.49^{a}	0.39^{a}	598.0^{a}	2.28^{a}	33169^{a}	30

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Means followed by the common letters in each column not significant at 5% level of probability, according to the Duncan's Multiple Range Test.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش کمپوست و کودهای شیمیایی بر عملکرد کمی و غلظت عناصر غذایی در برگ کاهو.

Table 6. Mean comparison results for effect of compost and chemical fertilizers on yield and nutrients concentration in Lettuce leaf.

روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1})	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn (mg kg^{-1})	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg kg^{-1})	نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NO_3 (mg kg^{-1})	نیتروژن (درصد) N (%)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) yield (kg ha^{-1})	کمپوست (تن بر هکتار) Compost (t ha^{-1})	کودهای شیمیایی Chemical fertilizers
34.0^{c}	37.3^{d}	218.7^{h}	170.0^{h}	1.70^{c}	22778^{h}	0	شاهد control
36.3^{c}	39.7^{cd}	271.0^{g}	222.0^{h}	2.03^{c}	25556^{g}	10	
38.3^{bc}	42.3^{c}	302.0^{def}	286.3^{g}	2.30^{bc}	30666^{def}	20	
40.7^{bc}	44.7^{bc}	322.7^{bcd}	332.7^{g}	2.61^{b}	30889^{def}	30	
39.0^{bc}	42.0^{c}	297.0^{ef}	336.7^{g}	2.65^{b}	30444^{ef}	0	عرف زارع Conventional method
42.0^{b}	44.7^{bc}	311.0^{cde}	466.7^{de}	3.12^{ab}	31000^{cdef}	10	
46.0^{ab}	46.3^{b}	336.3^{ab}	586.0^{c}	3.50^{a}	33111^{abcde}	20	
49.3^{a}	48.4^{a}	348.7^{a}	746.0^{a}	3.85^{a}	32445^{bcde}	30	
39.3^{bc}	39.3^{cd}	302.3^{def}	297.3^{g}	2.44^{bc}	33444^{abcd}	0	آزمون خاک Soil Test
43.0^{b}	42.0^{c}	310.0^{cde}	417.7^{ef}	2.78^{b}	35556^{ab}	10	
47.3^{ab}	45.7^{bc}	327.3^{abc}	570.3^{c}	3.07^{ab}	35222^{ab}	20	
49.3^{a}	47.7^{ab}	347.0^{a}	660.0^{b}	3.51^{a}	35000^{a}	30	
37.0^{c}	38.3^{cd}	267.0^{g}	289.0^{g}	2.31^{bc}	28333^{f}	0	۲۵ درصد کم‌تر از آزمون خاک 25% less than the soil test
41.3^{b}	40.7^{cd}	285.0f^{g}	400.0^{f}	2.55^{bc}	32667^{bcde}	10	
43.3^{b}	44.0^{bc}	317.7^{bcde}	524.7^{cd}	2.90^{b}	32889^{abcde}	20	
46.3^{ab}	46.0^{b}	327.7^{abc}	653.0^{b}	3.14^{ab}	33778^{abc}	30	

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Means followed by the common letters in each column not significant at 5% level of probability, according to the Duncan's Multiple Range Test.

عناصر غذایی در خاک: نتایج نشان داد که افزودن کمپوست زباله شهری چه به شکل جداگانه و چه به‌صورت تلفیقی با کودهای شیمیایی به خاک، باعث افزایش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل‌استفاده در خاک شد (جدول‌های ۸ و ۹). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که مقدار کربن آلی، پتاسیم، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس قابل‌جذب در خاک تحت‌تأثیر کاربرد تیمارهای جداگانه کودهای شیمیایی و کمپوست قرار گرفتند و بین تأثیر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ($P<۰/۰۱$) وجود داشت. ولی اثر برهم‌کنش آن‌ها بر درصد کربن آلی خاک و غلظت روی، آهن و مس قابل‌استفاده در خاک در سطح پنج درصد ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد (جدول ۷). مقایسه میانگین داده نشان داد که بیش‌ترین غلظت روی، آهن و مس با تیمار ترکیبی مصرف کودهای شیمیایی بر اساس عرف زارع و کاربرد ۳۰ تن بر هکتار کمپوست به‌دست آمد که اختلاف آن‌ها نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱/۲۸، ۳/۱۶ و ۱/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. همچنین در بین تیمار کودهای شیمیایی و کمپوست به‌طور جداگانه، بالاترین مقدار عناصر غذایی در خاک به‌ترتیب با مصرف کودهای شیمیایی بر اساس عرف زارع و کاربرد ۳۰ تن بر هکتار کمپوست حاصل شد (جدول ۷). افزایش مقدار کربن آلی، پتاسیم، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس بر اثر کاربرد توأم آن‌ها نسبت به‌مصرف جداگانه غالباً بیش‌تر بود. افزایش غلظت عناصر غذایی در تیمارهایی که کمپوست زباله شهری را به‌عنوان عرضه‌کننده اصلی عناصر غذایی در مزرعه دریافت کرده بودند می‌تواند، به‌علت افزایش دسترسی این عناصر در تیمارهای کودی آلی باشد، زیرا با توجه به محتوی بالای مواد آلی و نیتروژن موجود در کودهای آلی فعالیت‌های میکروبی در خاک بهبود یافته و میزان عناصر غذایی در خاک در تیمارهای آلی در مقایسه با تیمار شاهد و کود شیمیایی افزایش زیادی داشته است. (۴۰). تجزیه مواد آلی، موجب افزایش غلظت گاز کربنیک و به‌دنبال آن، موجب کاهش pH خاک شده (به‌دلیل تولید اسید آمینه، گلیسین، سیستئین، اسید هومیک در طی معدنی شدن) و در نتیجه آن غلظت عناصر غذایی به‌خصوص عناصر کم‌مصرف را در خاک افزایش می‌دهد (۱۱). همچنین بالا بودن میزان عناصر مورد نیاز گیاه در کمپوست زباله شهری یکی دیگر از دلایل افزایش غلظت این عناصر در خاک می‌باشد. نتایج پژوهش‌های مفتون و همکاران (۲۱)، معماری (۲۷)، وارمان و همکاران (۴۰)، نیز افزایش غلظت عناصر روی، مس، منگنز و آهن قابل‌استفاده در خاک را به دنبال کاربرد مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری تأیید می‌کنند. از دلایل افزایش حلالیت عناصر غذایی مانند فسفر در نتیجه افزودن کمپوست، وجود مقادیر بالای فسفر در کمپوست و ایجاد پیوندهای فسفو هیومیک در خاک و کند شدن روند تثبیت فسفر در خاک است (۱۲). شریفی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری در مقایسه با شاهد، سبب افزایش معنی‌دار آهن و منگنز قابل‌استفاده در خاک شد (۳۶). مطالعات نشان داد که ماده آلی اضافه شده به خاک با تشکیل کمپلکس با فسفر، روی، آهن، منگنز و مس، باعث افزایش حلالیت این عناصر و از رسوب آن‌ها جلوگیری می‌نماید. همچنین گزارش شده است کمپوست زباله شهری تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA داشته است (۱۰ و ۱۸).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر کمپوست و کودهای شیمیایی بر غلظت عناصر غذایی در خاک.

Table 7. Analysis of variance for effect of compost and chemical fertilizers on nutrients concentration in soil.

منبع source	درجه آزادی df	کربن آلی O.C	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
		میانگین مربعات Mean Square						
بلوک Block	2	0.474 ns	45.629 ns	236.021 ns	0.862 ns	0.131 ns	0.002 ns	0.112 ns
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers	3	0.041*	3.577 ns	8360.083**	0.374 ns	0.276 ns	0.151**	0.181*
کمپوست Compost	3	0.767**	21.520**	27875.028**	12.646**	9.317**	1.791**	1.847**
کمپوست * کودهای شیمیایی Chemical fertilizers & Compost	9	0.004*	1.113 ns	650.435 ns	0.241*	0.814*	0.019*	0.025ns
خطای آزمایش Error	30	0.010	1.905	634.888	0.242	0.100	0.017	0.049
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		8.1	14.52	5.77	6.94	4.32	9.40	11.63

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر اصلی کمپوست و کودهای شیمیایی بر غلظت عناصر غذایی در خاک.

Table 8. Mean comparison results for effect of compost and chemical fertilizers on nutrients concentration in soil.

منبع source	کربن آلی (درصد) O.C (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg kg^{-1})	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg kg^{-1})	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg kg^{-1})	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn (mg kg^{-1})	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1})	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu (mg kg^{-1})
	کودهای شیمیایی Chemical fertilizers						
شاهد Control	1.15^{b}	8.78	405^{b}	6.86	7.18	1.24^{c}	1.76^{b}
عرف زارع Conventional method	1.26^{a}	10.06	456^{a}	7.05	7.45	1.51^{a}	2.06^{a}
آزمون خاک Soil Test	1.27^{a}	9.77	461^{a}	7.28	7.44	1.42^{ab}	1.92^{ab}
۲۵ درصد کم‌تر از آزمون خاک 25% less than the soil test	1.16^{b}	9.45	426^{b}	7.15	7.18	1.35^{bc}	1.88^{ab}
	کمپوست (تن درهکتار) Compost (t ha^{-1})						
0	0.91^{c}	7.77^{b}	376^{d}	5.84^{d}	6.20^{c}	0.89^{d}	1.38^{c}
10	1.12^{bc}	9.13^{ab}	425^{c}	6.72^{c}	7.10^{b}	1.27^{c}	1.85^{a}
20	1.31^{b}	10.40^{a}	458^{b}	7.57^{b}	7.83^{a}	1.57^{b}	2.08^{ab}
30	1.50^{a}	10.71^{a}	488^{a}	8.20^{a}	8.16^{a}	1.79^{a}	2.30^{a}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Means followed by the common letters in each column not significant at 5% level of probability, according to the Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش کمپوست و کودهای شیمیایی بر غلظت عناصر غذایی در خاک.

Table 9. Mean comparison results for effect of compost and chemical fertilizers on nutrients concentration in soil.

کودهای شیمیایی Chemical fertilizers	کمپوست (تن بر هکتار) Compost (t ha^{-1})	کربن آلی (درصد) O.C (%)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg kg^{-1})	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1})	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu (mg kg^{-1})
شاهد control	0	0.86^{c}	5.2^{d}	0.76^{d}	1.3^{d}
	10	1.12^{bc}	6.2^{c}	1.2^{c}	1.6^{cd}
	20	1.24^{bc}	7.6^{b}	1.5^{bc}	2.0^{b}
	30	1.41^{b}	8.1^{a}	1.6^{bc}	2.3^{ab}
عرف زارع Conventional method	0	0.93^{c}	6.0^{c}	1.0^{cd}	1.5^{cd}
	10	1.16^{bc}	6.7^{b}	1.4^{bc}	2.0^{b}
	20	1.35^{b}	7.5^{b}	1.6^{bc}	2.2^{ab}
	30	1.57^{a}	8.4^{ab}	2.1^{a}	2.5^{a}
آزمون خاک Soil Test	0	0.94^{c}	6.0^{c}	0.9^{d}	1.4^{cd}
	10	1.14^{bc}	7.0^{bc}	1.3^{c}	2.0^{b}
	20	1.38^{ab}	7.8^{ab}	1.6^{bc}	2.0^{b}
	30	1.59^{a}	8.3^{ab}	1.9^{ab}	2.2^{ab}
۲۵ درصد کم‌تر از آزمون خاک 25% less than the soil test	0	0.90^{c}	6.2^{c}	0.9^{d}	1.4^{cd}
	10	1.07^{bc}	7.0^{bc}	1.2^{c}	1.8^{c}
	20	1.27^{b}	7.5^{b}	1.6^{bc}	2.1^{ab}
	30	1.41^{ab}	8.0^{ab}	1.7^{bc}	2.3^{ab}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Means followed by the common letters in each column not significant at 5% level of probability, according to the Duncan's Multiple Range Test.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد کاربرد تلفیقی کودها با هم کیفیت بهتری را نسبت به کاربرد هر کدام از کودها به تنهایی ایجاد کردند و می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با کاربرد کمپوست زباله شهری ضمن دست‌یابی به عملکرد مناسب و کاهش نیترات در برگ کاهو، مصرف کودهای شیمیایی در بوم‌نظام کشاورزی نیز کاهش می‌یابد. در این آزمایش با توجه به عملکرد، غلظت عناصر غذایی و به‌ویژه در نظر گرفتن کم‌ترین مقدار نیترات در برگ کاهو، مناسب‌ترین تیمار، کاربرد توأم ۱۰ تن بر هکتار کمپوست زباله شهری به‌همراه ۲۵ درصد کودهای شیمیایی کم‌تر از آزمون خاک بود. اما کاربرد متوالی کودهای آلی از جمله کمپوست در سال‌های طولانی باید با بررسی‌ها و تحقیقات تکمیلی جهت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه صورت گیرد.

منابع

1. Aggelides, S.M. and Londra, P.A. 2006. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. J. Bioresour. Technol. 71: 253-259.
2. Bhattacharyya, P., Chakrabarti, K. and Chakraborty, A. 2008. Effect of MSW compost on microbiological and biochemical soil quality indicators. Compost Sci. 11: 3. 220-227.
3. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agron. J. 54: 5. 464-465.
4. Black, C.A., Evans, D.D. and Dinauer, R.C. 1965. Methods of Soil Analysis. Amer. Soc. Agron. Madison, WI, Pp: 653-708.
5. Buresh, R.J., Austin, E.R. and Craswell, E.T. 1982. Analytical methods in N-15 research. Fert. Res. 3: 37-62.
6. Castro, E., Manas, P. and De las Heras, J. 2009. A comparision of the applications of different waste products to a lettuce crop. Sci. Hort. 123: 148-155.
7. Chemical Summary Form. 2006. Nitrates and nitrites. U.S. EPA and ATSDR resources and the TEACH Database. Environmental Protection Agency, U.S, 15p. *https://archive.opa.gov/region5/teach/web/pdf/nitrates_summary.pdf*.
8. Conacher, J. and Conacher, A. 1998. Organic `farming and the environment, with. particular reference to Australia. Bio. Agric. Hort. 16: 145-171.
9. Fallah, M., Peyvast, G.A., Olfati, J.A. and Sammak, B. 2014. Effects of chemical and organic fetilizers on yield and nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.). J. Plant Prod. Res. 21: 1. 49-68. (In Persian)
10. Falahi, M. and Bostani, A.A. 2016. Effect of municipal waste compost on iron and manganese concentration in soil and corn. Iran. J. Soil Sci. 28: 2. 313-328. (In Persian)
11. Fernandez-Luqueno, F., Reyes-Varela, V., Martinez-Suarez, C., Salomon-Hernandez, G., Yanez-Meneses, J., Ceballos-Ramerez, J.M. and Dendooven, L. 2010. Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Bioresour. Technol. 101: 396-403.
12. Giusquiani, P.L., Arcchini, C.M. and Businelli, M. 1998. Chemical properties of soils amended with compost of urban waste. J. Plant. Soil. 109: 73-73.
13. Hanc, A., Tlustoš, P., Szakova, J. and Balik, J. 2008. The influence of organic fertilizers application on phosphorus and potassium bioavailability. Plant. Soil Environ. 54: 6. 247-254.
14. Hosseinpour, R. and Ghajar Sepanlou, M. 2012. Evaluating the effects of integrate municipal waste compost and chemical fertilizers on micronutrient avaiability in soil and lettuce (*Lactuca sativa* L.). J. Water. Soil Cons. 19: 3. 123-140. (In Persian)
15. Javanmard, A., Nazari, B., Jalilian, A. and Dashti, S. 2015. Response of Wheat to Vermicompost and Chemical Fertilizers Residual in Soil. J. Agric. Sci. Sust. Prod. 25: 4. 88-102. (In Persian)
16. Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 2001. Trace element in soil and plants.CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A, 403p.
17. Kazemi, F. 2012. Effect of cow manure and municipal waste compost on heavy metal uptake and activity some antioxidant enzymes in lettuce in an infected soil. Ms in Soil Science. Isfahan University of Technology, 142p. (In Persian)
18. Li, B.Y., Zhou, D.M., Cang, L., Zhang, H.L., Fan, X.H. and Qin, S.W. 2007. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. J. Soil. Till. Res. 96: 166-173.
19. Institute of standard and Industrial Research of Iran. 2011. Compost-physical and chemical specifications. 1st ed. N. 10716. *www.isiri.org*.
20. Madrid, F., Lopez, R. and Cabera, F. 2007. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming condition. J. Agric. Ecosy. Environ. 119: 249-256.
21. Maftoun, M., Moshiri, F., Karimian, N. and Ronaghi, A. 2004. Effects of two organic wastes in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach and soil properties. J. Plant Nutr. 24: 9: 1635-1651.

22. Malakouti, M.J., Keshavarz, P. and Karimian, N.J. 2008. Comprehensive method of detection and the proper use of fertilizers for sustainable agriculture. Press of Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran, 550p. (In Persian)
23. Malakouti, M.J., Bybordi, A. and Tabatabaei, S.J. 2004. Balanced Fertilization of Vegetable Crops: An Approach to Enhance the Yield and Quality of Vegetables, Reduce Contaminants and Improve Human Health. Ministry of Jihad-e-Agriculture Press, Tehran, Iran, 338p. (In Persian)
24. Malakouti, M.J., Ladan, S. and Tabatabaee, S.J. 2013. Nitrate in leafy vegetables: Toxicity and safety measures. In: Umar Sh., Anjum N.A., and Khan N.A. (Ed.), Content in the edible parts of vegetables: Origin, safety, toxicity limits and the prevalence of cancer in Iran. International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi, India. Pp: 93-122.
25. Maynard, D.N. and Barker, A.V. 1971. Criticles nitrate levels for leaf leuttce, rasish and spinach plants. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 2: 16. 461-470.
26. McLean, E. 1982. Soil pH and lime requirement. Methods of Soil Analysis-Part2. Chemical and Microbiological properties. Agron Monograph, 9.2, Pp: 199-224.
27. Memari, A. 2004. The effect different levels of municipal solid waste compost on yield, growth and mineral nutrition of some important crop plants and soil in Tehran region. M.Sc. Thesis Faculty of Agriculture, Abourihan University, Tehran, Iran. 120p. (In Persian)
28. Mkhabela, M. and Warman, P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops, grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agric. Ecosy. Environ. 106: 57-67.
29. Nosengo, N. 2003. Fertilized to death. Nature. 425: 894-895.
30. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture Circular, 939p.
31. Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A. 2007. Soil and Plant Aanalysis Laboratory Manual, Icarda, 172p.
32. Perez, D.V., Alcantara, S., Ribeiro, C.C., Pereira, R.E., Fontes, G.C., Wasserman, M.A., Venezuela, T.C., Meneguelli, N.A. De Macedo, J.R. and Barradas, C.A.A. 2007. Composted municipal waste effects on chemical properties of a Brazilian soil. J. Bioresour. Technol. 98: 525-533.
33. Peyvast, G. and Abbassi, M. 2006. Effect of commercial compost on yield and nitrate content of Chinese cabbage. Hort. Environ. Biotech. 47: 3. 123-125.
34. Peyvast, G.H., Olfati, J.A., Ramezani-Kharazi, P., Tahernia, S. and Shabani, H. 2009. Effect of organic fertilizers on nitrate accumulation by vegetable. Korean Soc. Hort. Sci. 1: 58-62.
35. Peyvast, Gh. 2009. Vegetable Production. Danesh Pazir Press. 579p. (In Persian)
36. Sharifi, M., Afyuni, M. and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2011. Effects of sewage sludge, compost and cow manure on availability of soil Fe and Zn and their uptake by corn, alfalfa and tagetes flower. J. Soil Water Sci. 15: 56. 141-154. (In Persian)
37. Shata, S.M., Mahmoud, A. and Siam, S. 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. Res. J. Agric. Biol. Sci. 3: 6. 733-739.
38. Singh, J.P. 1988. A rapid method for determination of nitrate in soil and plant extract. J. Plant. Soil. 110: 137-139.
39. Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 1. 29-38.
40. Warman, P.R., Burnham, J.C. and Eaton, L.J. 2009. Effect of repeated applications ofmunicipal solid waste compost and fertilizers to three lowbush blueberry fields. Sci. Hort. 122: 393-398.
41. Welch, R.M. 2003. Farming for nutritious foods: Agricultural technologies for improved human health. IFA-FAO Agricultural Conference on Global Food

Security and the Role of Sustainable Fertilization. Rome, Italy, 27p. *https://www.researchgate.net/publication/237729379*.

42. Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
43. Yadvinder, S., Ladha, B.S., Khind, J.K., Gupta, C.S., Meelu, R.K. and Pasuquin, O.P. 2004. Long-term effects of organic inputs on yield and soil fertility in rice-wheat rotation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 68: 3. 845-853.
44. Yang, C.M., Yang, L.Z., Yang, Y.X. and Zhu, O.Y. 2004. Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. Agric. Water Manag. 70: 67-81.
45. Zemani Bob Gohari, J., Afyuni, M., Khoshgoftar Manesh, A.H. and Eshghi Zadeh, H.R. 2011. Effect of polyacryl sewage sludge, municipal compost and cow manure on soil properties and maize yield. J. Sci. Technol. Agric. Natur Resour. 14: 54. 153-166. (In Persian)