Journal of Vegetables Sciences
Vol 4, No 7, Spring & Summer 2020, Pages (41-56)
DOI: 10.22034/iuvs.2020.125590.1093

دو فصلنامه علمی- پژوهشی علوم سبزی‌ها
سال ۴- شماره ۷- بهار و تابستان ۱۳۹۹- صفحات (۵۶-۴۱)

تغییرات کیفیت و عملکرد غده سیب‌زمینی در واکنش به کاربرد ورمی‌کمپوست و کود کامل نانو

علی برقی[1*] و عبدالقیوم قلی‌پوری[2]
۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
* نویسنده مسئول: a_barghi@uma.ac.ir
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۲)

چکیده

ورمی‌کمپوست از فرآوری ضایعات آلی نظیر کود دامی، بقایای گیاهی و غیره توسط کرم‌های خاکی حاصل می‌شود و با داراء بودن عناصر غذایی، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها، بهبود دهنده‌های رشد و مواد هیومیکی می‌تواند موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان شود. نانو کودها نیز محصولات فناوری نوینی هستند که با خاصیت رهاسازی آهسته عناصر غذایی به استفاده بهینه گیاه از این عناصر کمک قابل‌توجهی می‌کنند. پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی تأثیر مقادیر ورمی‌کمپوست (صفر، سه، شش و نُه تن در هکتار) و روش‌های مصرف کود کامل نانو (سوپرکود) (شاهد (بدون مصرف کود کامل نانو)، مصرف به‌صورت کود آبیاری به‌میزان پنج کیلوگرم در هکتار، محلول‌پاشی به نسبت دو در هزار و مصرف به‌صورت کود آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت توأم) بر کیفیت و عملکرد سیب‌زمینی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد که با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست بالاترین مقادیر نشاسته، کلسیم، آهن، فسفر و عملکرد غده و کمترین مقدار نیترات غده به‌دست آمد. همچنین استفاده توأم از دو روش مصرف به‌صورت کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو بیشترین تأثیر را بر روی این صفات نشان داد. به‌علاوه برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و کود کامل نانو بر درصد لیزین و متیونین غده، درصد پروتئین و میزان پتاسیم غده معنی‌دار بود. با افزایش سطح ورمی‌کمپوست مقادیر این صفات افزایش یافت و در تمام سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست، مصرف توأم کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو بهترین تأثیر را بر این صفات داشت.

واژه‌های کلیدی: آهن، پروتئین، سیب‌زمینی، نشاسته، ورمی‌کمپوست.

مقدمه

سیب‌زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* L. گیاهی است یک‌ساله از خانواده بادمجانیان (Solanaceae) و یکی از با ارزش‌ترین محصولات کشاورزی در جهان بوده و نقش مهمی در حل بحران غذا و رفع سوءتغذیه ایفا می‌کند و از نظر تولید مقام چهارم را پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) کسب کرده است (Zaman *et al.*, 2015). این محصول غذایی، منبعی سرشار از کربوهیدرات، پروتئین و اسیدآمینه‌های ضروری بدن انسان به‌حساب می‌آید و مهم‌ترین گیاه غده‌ای در

تأمین غذای انسان است (Mousavi, 2011). بر اساس آمار فائو در سال ۲۰۱۸ میلادی، سطح زیر کشت سیب‌زمینی در ایران در حدود ۱۶۴۰۰۰ هکتار و میزان تولید سیب‌زمینی در این سطح ۵/۳ میلیون تن گزارش شده است. متوسط عملکرد سیب‌زمینی نیز در این بازه زمانی حدود ۳۲ تن در هکتار است. سطح زیر کشت سیب‌زمینی در جهان بر اساس این آمار بیش از ۱۷ میلیون هکتار تخمین زده شده است (FAO, 2018).

مصرف کود موجب افزایش ۳۵ تا ۴۰ درصدی عملکرد محصولات زراعی می‌شود. کمبود عناصر غذایی در خاک ناشی از فرسایش، کم‌آبی و عوامل دیگر، از طریق استفاده از کودها قابل جبران است (Rameshaiah & Shabnam, 2015). نامناسب بودن زمان مصرف کود و سرعت آزادسازی آن با زمان نیاز گیاه از مهم‌ترین دلایل کارآیی پایین مصرف این کودهاست. کمبود عناصر غذایی و مواد آلی خاک موجب ضعف اقتصادی و عملکرد پایین در گیاهان است و نقش مهم کودها در افزایش تولید محصولات زراعی ثابت شده است (Veronica *et al*., 2015). از سوی دیگر کاربرد زیاد کودهای شیمیایی منجر به تجمع انواع رادیونوکلئوئیدها و فلزات سنگین می‌شود که ممکن است موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و آسیب جدی به رشد گیاهان شود. این ترکیبات سمی همچنین وارد زنجیره غذایی شده و موجوداتی را که از گیاهان تغذیه می‌کنند تحت تأثیر قرار می‌دهند (Savci, 2012). تولید ورمی‌کمپوست یک فرآیند زیستی است که طی آن بقایای مواد آلی با فعالیت کرم‌های خاکی به کودهای غنی از عناصر غذایی تبدیل می‌شوند. ویژگی‌های مشخصی از ورمی‌کمپوست مثل تخلخل بالا و قابلیت حفظ رطوبت، رشد گیاهان را همراه با ایجاد شرایط عاری از پاتوژن، افزایش می‌دهد (Yadav & Garg, 2019). از مهم‌ترین عوامل افزاینده رشد گیاه، وجود مقادیر زیادی از هورمون‌های محرک رشد گیاه و هیومیک اسید در ورمی‌کمپوست می‌باشد. رشد و عملکرد بالا در گیاهان به‌دنبال کاربرد ورمی‌کمپوست، ارزش تجاری آن و پایداری سیستم‌های کشاورزی را افزایش می‌دهد (Ananthavallia *et al*., 2019). Monaghash و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که با افزایش سطح کاربرد ورمی‌کمپوست، عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی افزایش قابل‌توجهی پیدا کرده است. این پژوهشگران بیان داشتند که ورمی‌کمپوست با رهاسازی تدریجی عناصر غذایی متناسب با رشد گیاه و جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی، موجب بهبود عملکرد گیاه می‌شود. در آزمایشی روی ذرت و نخود مشخص شد که مصرف ورمی‌کمپوست موجب افزایش عملکرد زیستی، درصد پروتئین دانه و افزایش تجمع عناصر کلسیم، آهن و پتاسیم می‌گردد (Jat & Ahlawat, 2006). Sahni و همکاران (۲۰۰۸) نیز مشاهده کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش عملکرد و افزایش تجمع فسفر، پتاسیم، کلسیم و آهن در گیاه نخود شد. همچنین بر اساس گزارش Majidian (۲۰۰۸) مصرف نیتروژن و تلفیق آن با ورمی‌کمپوست می‌تواند عملکرد و درصد پروتئین دانه ذرت را افزایش دهد.

جایگزینی کودهای شیمیایی مرسوم با نانو کودها اهمیت بسیاری دارد. زیرا در نانو کودها فرآیند رهاسازی عناصر غذایی در خاک به‌آرامی و به‌صورت کنترل شده بوده که به‌دنبال آن آبشویی و آلودگی آب‌ها به‌وسیله کودها کاهش می‌یابد (Naderi & Abedi, 2012). نانو کودها فناوری نوینی هستند که با کوچک کردن اندازه ذرات در مقیاس نانو، امکان جذب بسیار بیشتری را فراهم می‌آورند. قابلیت جذب و مصرف بالا هم از طریق خاک و هم از طریق محلول‌پاشی برگی از

ویژگی‌های این نوع کودها به‌شمار می‌رود. خاصیت رهاسازی آهسته عناصر غذایی در نانو کود به استفاده بهینه از این عناصر کمک شایانی می‌کند. از سوی دیگر نانو کمپلکس‌ها در بازه pH وسیعی قابل استفاده هستند (Mazaherinia *et al.*, 2010). محققان بر این باورند که بالا بودن کارآیی نانو کودها موجب افزایش کمی و کیفی محصولات و درآمد کشاورزان می‌شود (Baghaie *et al.*, 2011). بر اساس مطالعات Kole و همکاران (۲۰۱۳) کاربرد نانو ذرات در گیاهان موجب افزایش رشد گیاهچه، فعالیت‌های فیزیولوژیکی، بیان ژن و میزان پروتئین گردید که نشانگر توان بالقوه این کودها در بهبود کمی و کیفی رشد گیاه می‌باشد.

با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و معایب این کودها از نظر زیست‌محیطی و سلامت و همچنین با توجه به توصیه‌های فراوان در راستای استفاده از کودهای آلی، کاهش مقدار مصرف کودهای شیمیایی با حفظ کمیت و کیفیت مطلوب گیاهان زراعی ضروری به‌نظر می‌رسد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست در کنار روش‌های مختلف کاربرد کود کامل نانو بر افزایش کیفیت و کمیت سیب‌زمینی به‌عنوان یکی از منابع اصلی غذایی بشر، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل کود ورمی‌کمپوست در سطوح صفر، سه، شش و نُه تن در هکتار و فاکتور دوم شامل روش مصرف کود کامل نانو (سوپرکود) (شاهد بدون کود کامل، مصرف به‌صورت کود آبیاری، محلول‌پاشی و مصرف به‌صورت کود آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت توأم) می‌باشد. کود کامل نانو تهیه شده از شرکت خضرا، به شماره ثبت کودی ۳۶۶۴۲، به‌صورت پودری و کاملاً محلول در آب بوده و مصرف به‌صورت کود آبیاری آن به‌میزان پنج کیلوگرم در هکتار و محلول‌پاشی آن به نسبت دو در هزار انجام گرفت. ویژگی‌های کود ورمی‌کمپوست و خاک مزرعه در جدول ۱ و ویژگی‌های کود کامل نانو در جدول ۲ ارائه شده است. این کود حاصل فرآوری ملاس چغندرقند، کود گاوی و باکتری‌های محرک رشد می‌باشد که از گروه ورمی‌کمپوستینگ استان البرز تهیه شده و به‌مدت ۷۰ روز تحت فرآیند کمپوست شدن قرار گرفته است.

در این آزمایش از سیب‌زمینی رقم آگریا استفاده گردید که غده‌های بذری آن از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی اردبیل تهیه شد. عملیات کاشت در تاریخ ۲۱ فروردین انجام شد. در هر کرت پنج ردیف کشت گردید که طول هر ردیف چهار متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر لحاظ شد. وجین علف‌های‌هرز در دو مرحله به‌صورت دستی و آبیاری مزرعه بر اساس نیاز گیاه طی پنج مرحله در طول دوره رشد به‌صورت نشتی انجام گردید (دور آبیاری ۲۵ روز یک‌بار در نظر گرفته شد). سطوح مختلف ورمی‌کمپوست قبل از کاشت و در مرحله آماده‌سازی زمین استفاده گردید. مصرف به‌صورت کود آبیاری کود کامل نانو نیز به‌میزان پنج کیلوگرم در هکتار همراه با اولین آب آبیاری و یک مرحله محلول‌پاشی در ۳۵ روز پس از کاشت به‌میزان دو در هزار انجام شد. در مرحله برداشت، نمونه‌برداری از کرت‌ها پس از حذف ردیف‌های کناری و ۰/۵ متر از انتهای ردیف‌های باقیمانده از سطح ۶/۷۵ مترمربع در تاریخ ۲۷ شهریور سال ۱۳۹۷ انجام گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده و خاک مزرعه

صفات	نیتروژن (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	ماده آلی (٪)	pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت
ورمی‌کمپوست	۱/۶	۱/۷	۱/۳	۸/۷۴	۷/۹	۸/۵	-
خاک	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۸۴	۷/۳۹	۱/۵	رسی سیلتی

جدول ۲- ویژگی‌های کود کامل نانو

گوگرد (٪)	منیزیم (٪)	کلسیم (٪)	مولیبدن (٪)	بور (٪)	مس (٪)	منگنز (٪)	روی (٪)	آهن (٪)	پتاسیم (٪)	فسفر (٪)	نیتروژن (٪)
۶	۳	۱	۰/۱	۰/۵	۰/۵	۲	۴	۴	۱۷	۳	۶

برای اندازه‌گیری غلظت کلسیم و پتاسیم، غده‌های خشک پودر شده و یک گرم از پودر نمونه‌ها در کوره‌ی الکتریکی (مدل AHT10-17) در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت قرار گرفت تا خاکستر شوند. سپس ۱۰ میلی‌متر اسید کلریدریک دو نرمال به آن‌ها اضافه و تا شروع جوشیدن حرارت داده شد. محلول حاصل با آب مقطر جوشیده در داخل بالن‌های ۱۰۰ میلی‌متری عصاره‌گیری شده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس عصاره‌ی حاصل به نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر رقیق شد و غلظت کلسیم و پتاسیم نمونه‌ها با دستگاه فلیم‌فتومتر مدل ۴۱۰ ساخت شرکت کورنینگ انگلستان بر حسب ppm قرائت و با توجه به منحنی استاندارد، به درصد تبدیل شد (William, 2000).

برای اندازه‌گیری غلظت فسفر، ابتدا غده‌های خشک پودر شده و یک گرم از پودر نمونه‌ها در کوره‌ی الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت قرار داده شد تا خاکستر شوند. سپس ۱۰ میلی‌متر اسید کلریدریک دو نرمال به آن‌ها اضافه شده و تا شروع جوشش حرارت داده شد. محلول حاصل با آب مقطر جوشیده عصاره‌گیری و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس یک میلی‌لیتر از عصاره‌ی حاصل جداسازی و چهار میلی‌لیتر از مولیبدات آمونیوم، تارتارات آنتیمونی پتاسیم، اسید سولفوریک غلیظ و اسید آسکوربیک به آن اضافه شد و سپس حجم نهایی به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Analytikjena Spekol 1500، ساخت آلمان) بر حسب ppm در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت و با توجه به منحنی استاندارد، به درصد تبدیل شد (Jones, 2001).

برای اندازه‌گیری غلظت آهن، دو گرم از غده سیب‌زمینی در هشت میلی‌لیتر H_2SO_4 (سه مولار) حل شده و با آب مقطر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در ۲/۵ میلی‌لیتر از آن، ۰/۵ میلی‌لیتر $NH_2OH.HCL$ (۱۰ درصد)، پنج میلی‌لیتر محلول فنانترولین (۰/۲۵ درصد) و دو میلی‌لیتر محلول سدیم استات (۱۰ درصد) افزوده و در نهایت به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس سوپرناتانت نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت تا میزان جذب آن‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر به‌دست آید. مقادیر جذب در معادله قرار گرفت تا میلی‌گرم آهن به‌دست آید (Katyal & Sharma, 1984).

به‌منظور اندازه‌گیری نشاسته، نمونه‌های غده رنده شده و به‌میزان سه برابر آن آب افزوده شد سپس به‌وسیله‌ی پارچه‌ی توری صاف گردید. پس از

دو فاز شدن، محلول حاصل، توسط کاغذ صافی و قیف بوخنر صاف و نشاسته به‌دست آمده در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و میزان نشاسته در ۱۰۰ گرم نمونه محاسبه گردید (Yagbani & Mohamadzadeh, 2006).

برای تعیین میزان اسیدآمینه‌های لیزین و متیونین، ابتدا ۰/۲ گرم از نمونه تر غده سیب‌زمینی در نیتروژن مایع کاملاً له گردید. سپس ۱/۶ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال به آن اضافه شد و در داخل یخ قرار گرفت. سپس نمونه‌ها از داخل یخ خارج شده و در دستگاه سانتریفیوژ به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و در ۱۳۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. در ادامه از نمونه مورد نظر به‌ترتیب، ۴۰۰ میکرولیتر عصاره برای تعیین اسیدآمینه لیزین و ۴۰۰ میکرولیتر دیگر برای تعیین اسیدآمینه متیونین استفاده شد. در نمونه مربوط به اسیدآمینه لیزین، به‌ترتیب یک میلی‌لیتر گلیسرول ۵۰ درصد، ۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات و ۴۰۰ میکرولیتر محلول نین‌هیدرین اضافه گردید و در نمونه مربوط به اسیدآمینه متیونین به‌ترتیب ۳۰۰ میکرولیتر سدیم هیدروکسید، ۳۰۰ میکرولیتر گلیسرول ۵۰ درصد و ۳۰۰ میکرولیتر سدیم نیتروفری‌سیانید آبدار اضافه گردید. لازم به ذکر است که بعد از هر مرحله اضافه شدن مواد، نمونه‌ها ورتکس شدند. برای تعیین اسیدآمینه لیزین محلول حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در معرض دمای ۸۶ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری قرار گرفت. بعد از این مرحله نمونه‌ها بلافاصله و برای مدت پنج دقیقه در داخل یخ و پس از آن به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط قرار گرفتند. سپس نمونه مورد نظر که به رنگ بنفش در آمده بود به دستگاه اسپکتروفتومتر انتقال داده شد و در طول موج ۵۷۰ نانومتر، مقدار جذب آن قرائت گردید. پیش از این کار، دستگاه با محلول بلانک حاوی ۱۰۰ میکرولیتر اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال، یک میلی‌لیتر گلیسرول ۵۰ درصد، ۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات و ۴۰۰ میکرولیتر محلول نین‌هیدرین کالیبره شد. برای تعیین اسیدآمینه متیونین محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در معرض دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و پس از آن بلافاصله برای مدت پنج دقیقه در داخل یخ قرار گرفت. در مرحله بعدی نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط قرار گرفتند. مقدار جذب نمونه مورد نظر که به رنگ صورتی درآمده بود، در اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۰ نانومتر، ثبت گردید. پیش از این کار، دستگاه با محلول بلانک حاوی ۳۰۰ میکرولیتر اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال، ۶۰۰ میکرولیتر سدیم هیدروکسید، ۳۰۰ میکرولیتر گلیسرول ۵۰ درصد و ۳۰۰ میکرولیتر سدیم نیتروفری‌سیانید آبدار کالیبره شد. قبل از اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها، ابتدا همانند پروتئین، استانداردهای هر یک از اسیدآمینه‌های مذکور توسط دستگاه مورد نظر قرائت شد و نمودار استاندارد هر کدام رسم و در مرحله آخر با استفاده از نمودار استاندارد، اعداد قرائت شده به‌صورت درصد بیان گردید (Losak *et al*., 2010).

برای اندازه‌گیری نیترات ابتدا ۱۷/۱ گرم سولفات آلومینیوم را در یک بالن دو لیتری ریخته و حجم نهایی با آب مقطر به دو لیتر رسید. سپس ۴۰ میلی‌لیتر از محلول حاصل به ۰/۴ گرم از پودر هر یک از نمونه‌ها اضافه شد و به‌مدت ۱۵ دقیقه روی شیکر تکان داده شد. عصاره‌ی حاصل از کاغذ صافی رد شده و میزان نیترات توسط دستگاه PH/ion متر ساخت سوئیس بر حسب ppm قرائت گردید (Jones, 2001).

برای تعیین میزان پروتئین ۰/۵ گرم از نمونه تر غده سیب‌زمینی به همراه نیتروژن مایع له گردید. سپس مقدار ۵۰۰ میکرولیتر بافر استخراج به آن اضافه شد و خوب مخلوط گردید و داخل یخ

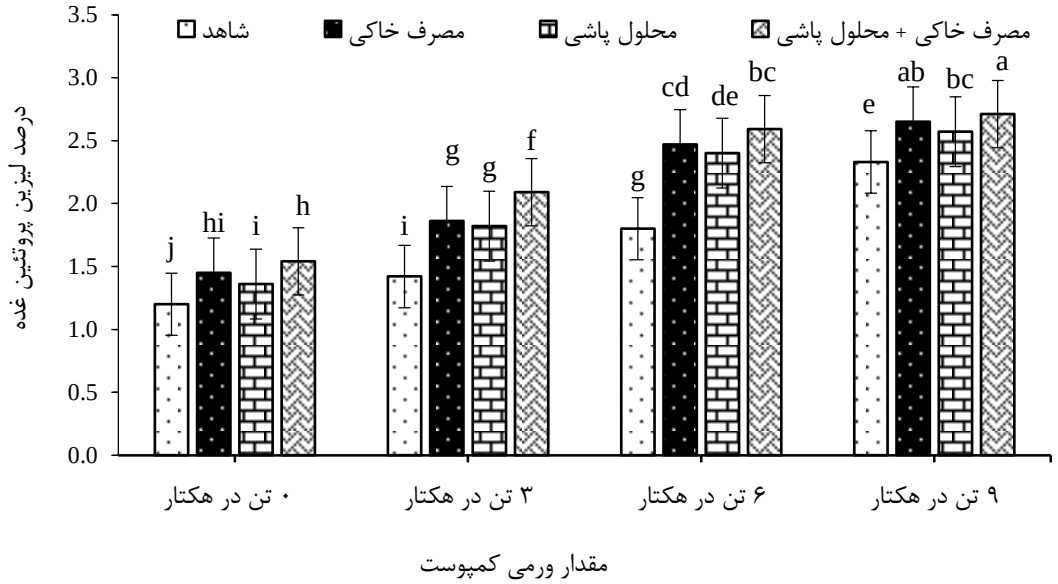
قرار گرفت. پس از این مرحله نمونه‌ها از داخل یخ خارج شده و در دستگاه سانتریفیوژ به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و در ۱۳۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند و بعد از آن مقدار ۱۰ میکرولیتر از عصاره شفاف رویی برداشته شده و درون لوله آزمایشی که قبلاً در داخل آن مقدار پنج میلی‌لیتر محلول برادفورد ریخته شده بود، قرار داده شد. بعد از تغییر رنگ دادن، مقدار جذب محلول حاصل در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر ثبت گردید. قبل از قرائت نیز توسط محلول بلانک که شامل پنج میلی‌لیتر محلول برادفورد و ۲۹۰ میکرولیتر بافر استخراج و ۱۰ میکرولیتر آب مقطر بود، دستگاه کالیبره گردید. قبل از اندازه‌گیری نمونه‌ها ابتدا استانداردهای پروتئین توسط دستگاه مورد نظر قرائت شد و نمودار استاندارد آن رسم و در مرحله آخر با استفاده از نمودار استاندارد اعداد قرائت شده به‌صورت درصد بیان گردید (Bradford, 1976).

برای تعیین عملکرد در هکتار، با در نظر گرفتن ۰/۵ متر حاشیه در هر کرت، از سه ردیف وسط برداشت غده‌ها انجام شد و غده‌ها با ترازوی دیجیتال توزین گردیدند.

برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel، جهت تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

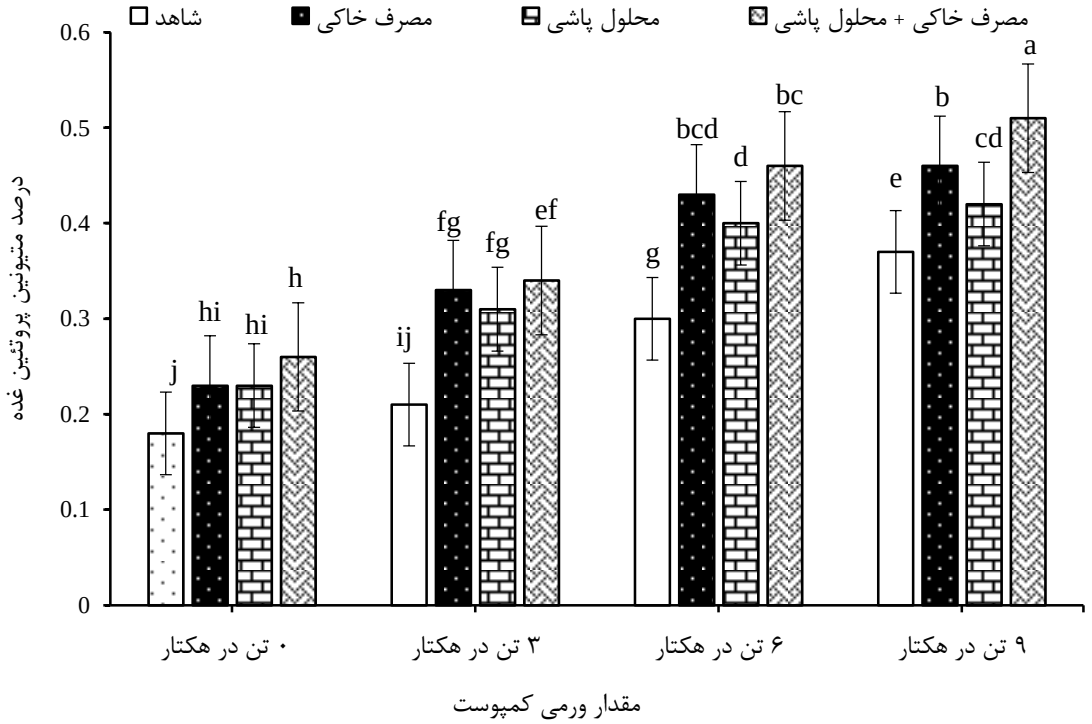
نتایج

با افزایش سطح کاربرد ورمی‌کمپوست درصد لیزین غده به‌طور معنی‌دار افزایش یافت به‌گونه‌ای که کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست بالاترین درصد لیزین غده را نشان داد. همچنین در تمام سطوح ورمی‌کمپوست، کاربرد کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو موجب افزایش معنی‌دار درصد لیزین گردید و بین دو روش کاربرد اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد ولی با کاربرد توأم دو روش کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو، با اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارها، بالاترین درصد لیزین غده حاصل گردید (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست و روش مصرف کود کامل نانو بر درصد لیزین غده سیب‌زمینی

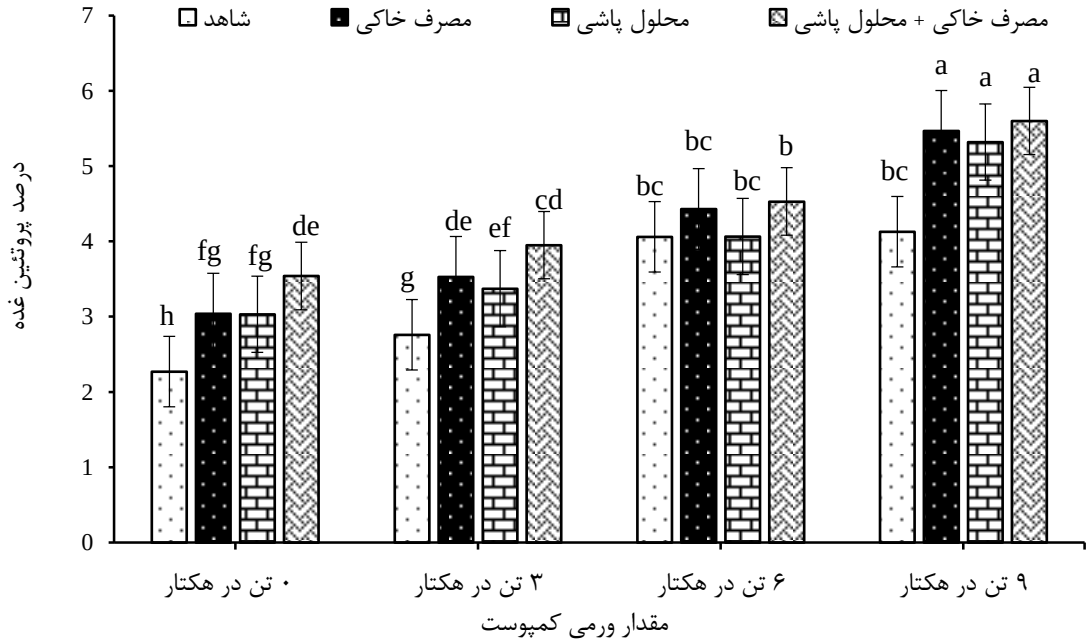
درصد متیونین پروتئین غده با افزایش سطح ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌داری را نشان داد و بالاترین درصد متیونین غده با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست حاصل شد. همچنین در تمام سطوح ورمی‌کمپوست کاربرد کود کامل نانو به‌صورت کود آبیاری و محلول‌پاشی درصد متیونین را به‌طور معنی‌دار افزایش داد و بین این دو روش مصرف، به غیر از سطح کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست که روش کود آبیاری نسبت به روش محلول‌پاشی برتری معنی‌داری را نشان داد، در بقیه سطوح اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. همچنین در تمام سطوح ورمی‌کمپوست، بالاترین درصد متیونین با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر سطوح روش کاربرد کود کامل نانو، مربوط به روش کود آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت توأم بود (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست و روش مصرف کود کامل نانو بر درصد متیونین پروتئین غده سیب‌زمینی

با کاربرد مقادیر بیشتر کود ورمی‌کمپوست، درصد پروتئین غده سیب‌زمینی به‌طور معنی‌دار افزایش یافت؛ به‌طوری‌که بالاترین درصد پروتئین غده با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده گردید. همچنین کاربرد کود کامل نانو در تمام سطوح ورمی‌کمپوست درصد پروتئین غده را نسبت به تیمار شاهد بدون کود به‌طور معنی‌دار افزایش داد. در تیمار شاهد و همچنین با کاربرد سه تن در هکتار ورمی‌کمپوست، بین دو روش کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ولی استفاده توأم از این دو روش درصد پروتئین غده را نسبت به استفاده از هر کدام از این روش‌ها به‌صورت منفرد و همچنین نسبت به تیمار شاهد بدون کود کامل نانو، به‌طور

معنی‌دار افزایش داد. در سطوح کاربرد شش و نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست، بین روش‌های کود آبیاری و محلول‌پاشی و کاربرد توأم این دو روش تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست و روش مصرف کود کامل نانو بر درصد پروتئین غده سیب‌زمینی

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد ورمی‌کمپوست (جدول ۳) نشان داد که با کاربرد ورمی‌کمپوست، درصد نشاسته غده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بالاترین درصد نشاسته غده (۱۸/۶۶ درصد) با ۷۰ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده شد. همچنین با توجه به مقایسات میانگین اثر اصلی روش کاربرد کود کامل نانو (جدول ۴) تیمار کاربرد توأم کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو با ۳۳ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بالاترین درصد نشاسته غده (۱۸/۶۶ درصد) را داشت. پس از آن مصرف به‌صورت کود آبیاری با اختلاف معنی‌دار نسبت به روش محلول‌پاشی برتری داشت.

جدول ۳- اثر مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی صفات کیفی و محصول غده سیب‌زمینی

تیمار	درصد نشاسته غده	محصول غده (تن در هکتار)	آهن غده (میکروگرم بر گرم وزن تر)	فسفر غده (صدم درصد)	کلسیم غده (صدم درصد)	نیترات غده (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)
ورمی‌کمپوست ۰ تن در هکتار	۱۱/۰۰^{d}	۳۱/۷۱^{b}	۴۱/۲۵^{d}	۳۵/۸۴^{d}	۰/۰۴۸^{d}	۲۰۶/۵۰^{a}
ورمی‌کمپوست ۳ تن در هکتار	۱۳/۴۱^{c}	۳۴/۰۱^{b}	۴۷/۵۰^{c}	۴۰/۶۱^{c}	۰/۰۵۵^{c}	۱۸۵/۹۱^{b}
ورمی‌کمپوست ۶ تن در هکتار	۱۶/۶۶^{b}	۳۸/۷۲^{a}	۵۶/۵۰^{b}	۵۰/۸۶^{b}	۰/۰۶۳^{b}	۱۵۲/۰۰^{c}
ورمی‌کمپوست ۹ تن در هکتار	۱۸/۶۶^{a}	۳۹/۸۶^{a}	۶۴/۵۰^{a}	۵۸/۳۰^{a}	۰/۰۷۰^{a}	۱۲۳/۷۵^{d}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال $P\leq 0.05$ می‌باشد.

جدول ۴- اثر روش مصرف کود کامل نانو بر برخی صفات کیفی و محصول غده سیب‌زمینی

تیمار	درصد نشاسته غده	محصول غده (تن در هکتار)	آهن غده (میکروگرم بر گرم وزن تر)	مقدار فسفر غده (درصد)	مقدار کلسیم غده (درصد)	نیترات غده (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)
شاهد	۱۲/۶۶^{d}	۳۱/۶۷^{c}	۴۵/۶۰^{b}	۴۲/۳۴^{c}	۰/۰۵۱^{c}	۱۸۲/۰۰^{a}
مصرف به‌صورت کود آبیاری	۱۵/۶۶^{b}	۳۶/۶۰^{b}	۵۴/۲۵^{a}	۴۶/۶۶^{b}	۰/۰۵۹^{b}	۱۶۴/۴۱^{b}
محلول‌پاشی	۱۴/۵۸^{c}	۳۵/۳۳^{b}	۵۳/۵۸^{a}	۴۶/۴۵^{b}	۰/۰۶۱^{b}	۱۶۹/۳۳^{b}
مصرف به‌صورت کود آبیاری+ محلول‌پاشی	۱۶/۸۳^{a}	۴۰/۷۲^{a}	۵۶/۳۳^{a}	۵۰/۱۶^{a}	۰/۰۶۶^{a}	۱۵۲/۴۱^{c}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال $P\leq 0.05$ می‌باشد.

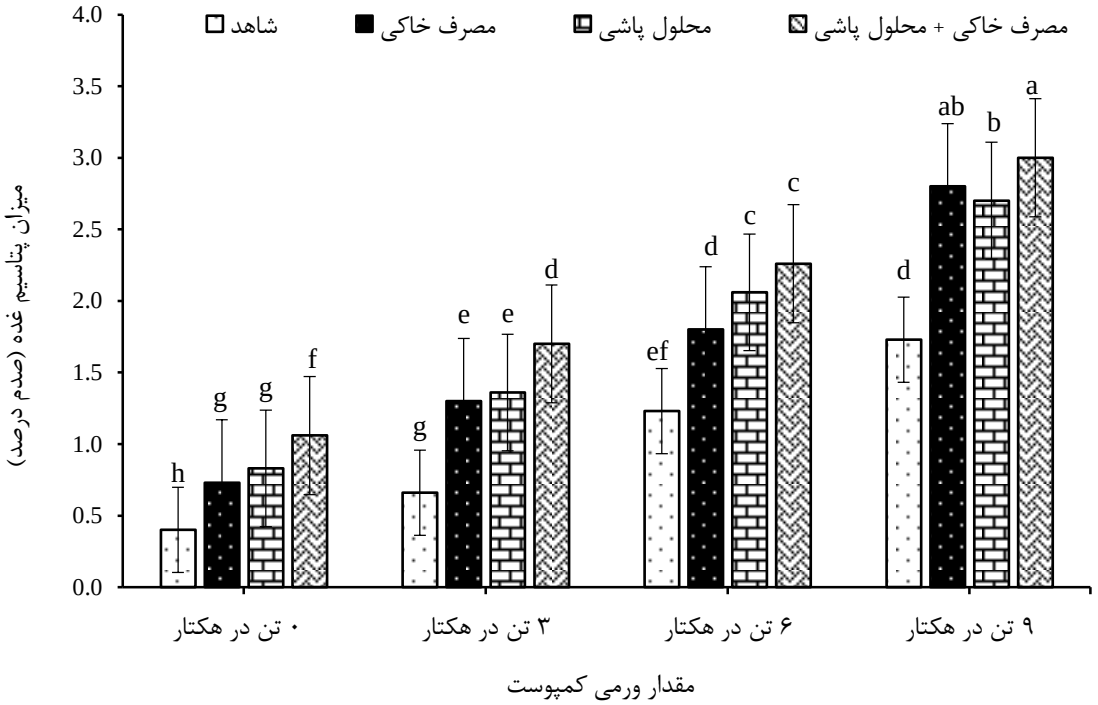
با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد ورمی‌کمپوست (جدول ۴) با کاربرد ورمی‌کمپوست محصول غده سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بالاترین محصول غده (۳۹/۸۶ تن در هکتار) با افزایش ۲۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد به‌دنبال کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده گردید که با تیمار کاربرد شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. مقایسات میانگین اثر اصلی روش کاربرد کود کامل نانو (جدول ۴) نیز نشان داد که در تیمار کاربرد توأم کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو با ۲۸/۵ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بالاترین محصول غده (۴۰/۸۷۲ تن در هکتار) به‌دست آمد. پس از آن مصرف به‌صورت کود آبیاری بدون اختلاف معنی‌دار با روش محلول‌پاشی در رتبه بعدی قرار داشت.

مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌تدریج مقدار آهن غده را افزایش داد به گونه‌ای که با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست مقدار آهن غده با ۵۶ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد به بالاترین مقدار خود یعنی ۶۴/۵ میکروگرم بر گرم رسید (جدول ۳). همچنین کاربرد کود کامل نانو مقدار آهن غده را نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد و استفاده توأم از دو روش کود آبیاری و محلول‌پاشی بالاترین درصد آهن غده را نشان داد ولی بین روش‌های مختلف مصرف آن‌چه به‌صورت کود آبیاری، چه محلول‌پاشی و چه استفاده توأم از هر دو روش، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۴).

کاربرد ورمی‌کمپوست مقدار فسفر غده سیب‌زمینی را به‌طور معنی‌دار افزایش داد و با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست مقدار فسفر غده با ۶۳ درصد افزایش به بالاترین میزان خود یعنی ۵۸/۳ صدم درصد رسید. کمترین مقدار فسفر با ۳۵/۸۴ صدم درصد در تیمار شاهد بدون ورمی‌کمپوست مشاهده گردید (جدول ۳). کاربرد کود کامل نانو نیز مقدار فسفر غده سیب‌زمینی را به‌طور معنی‌دار افزایش داد و با استفاده توأم از دو روش کود آبیاری و محلول‌پاشی، مقدار فسفر غده با ۱۸ درصد افزایش به بالاترین میزان خود یعنی ۵۰/۱۶ صدم درصد رسید. بین دو روش مصرف به‌صورت کود آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت منفرد از نظر میزان فسفر غده، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴).

با توجه به نمودار مقایسه میانگین این صفت (شکل ۴) با افزایش سطح کاربرد ورمی‌کمپوست مقدار پتاسیم غده سیب‌زمینی به‌طور معنی‌دار

افزایش یافت و همچنین در تمام سطوح ورمی‌کمپوست، کاربرد کود کامل نانو موجب افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم نسبت به تیمار شاهد گردید. در سطوح صفر و سه تن در هکتار ورمی‌کمپوست، بین دو روش مختلف مصرف کود تفاوت معنی‌داری وجود نداشت در حالی‌که استفاده توأم از دو روش منجر به افزایش معنی‌دار پتاسیم در هر دو سطح ورمی‌کمپوست گردید. با کاربرد شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست نیز مصرف به‌صورت کود آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت توأم بالاترین مقدار پتاسیم را داشت و تیمارهای محلول‌پاشی و مصرف به‌صورت کود آبیاری به‌ترتیب با اختلاف معنی‌دار در رتبه‌های بعدی بودند. بالاترین مقدار پتاسیم غده نیز با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست و استفاده توأم از دو روش مصرف کود کامل نانو حاصل شد که با مصرف به‌صورت کود آبیاری کود کامل نانو در این سطح از ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌دار نداشت. در حالت کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست، بین دو روش مصرف کود کامل نانو به‌صورت منفرد نیز تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نگردید.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست و روش مصرف کود کامل نانو بر مقدار پتاسیم غده سیب‌زمینی

کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار مقدار کلسیم غده سیب‌زمینی شد؛ به‌طوری‌که بالاترین میزان کلسیم (۰/۰۷ صدم درصد) با ۴۶ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۳).

به‌علاوه کاربرد کود کامل نانو مقدار کلسیم غده را به‌طور معنی‌دار افزایش داد و بالاترین مقدار کلسیم (۰/۰۶۶ صدم درصد) به‌میزان ۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد با استفاده توأم از دو روش کود آبیاری و محلول‌پاشی حاصل شد. همچنین بین دو

روش مصرف به‌صورت کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو از نظر مقدار کلسیم غده تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۴).

کاربرد ورمی‌کمپوست مقدار نیترات غده سیب‌زمینی را به‌طور معنی‌دار کاهش داد به گونه‌ای که با کاربرد نُه تن در هکتار ورمی‌کمپوست، مقدار نیترات غده با کاهش ۴۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد به ۱۲۳/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید و بالاترین میزان نیترات غده (۲۰۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد بدون ورمی‌کمپوست مشاهده گردید (جدول ۳). مصرف کود کامل نانو به روش‌های مختلف نیز موجب کاهش معنی‌دار مقدار نیترات غده شد و کمترین نیترات غده با کاربرد توأم دو روش کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو با ۱۶ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد به ۱۵۲/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. بالاترین نیترات غده در تیمار شاهد بدون کود کامل نانو به‌میزان ۱۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. بین دو روش مختلف مصرف به‌صورت کود آبیاری و محلول‌پاشی کود کامل نانو از نظر میزان نیترات غده تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴).

بحث

با توجه به این‌که ورمی‌کمپوست حاوی میکروارگانیسم‌های مفید بوده و از ظرفیت بالای تهویه، زهکشی مناسب و درصد قابل‌توجهی از عناصر غذایی برخوردار است، می‌تواند روی عملکرد و کیفیت محصول تأثیر گذارد (Atiyeh *et al.*, 2002). به‌نظر می‌رسد که وجود مقادیر بیشتر فسفر در کود ورمی‌کمپوست موجب افزایش رشد و حجم سامانه ریشه‌ای شده که به جذب بیشتر پتاسیم و در کنار آن جذب نیتروژن کمک می‌کند. علاوه بر این، مقادیر بالای عناصر غذایی و ماده آلی در این کود سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده که دسترسی گیاه را به عناصر غذایی افزایش می‌دهد و از سویی وجود هورمون‌های محرک رشد در این کود بر رشد و افزایش زیست‌توده گیاه تأثیر مطلوبی می‌گذارد (Maheshbabu *et al.*, 2008; Sujatha *et al.*, 2008). با توجه به نتایج آزمایش Monaghash و همکاران (۲۰۱۵) ورمی‌کمپوست معمولاً بر نیتروژن معدنی خاک اثر گذاشته و باعث افزایش عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌شود. این محققان گزارش کردند که افزایش مصرف ورمی‌کمپوست (۳/۵ تن در هکتار) موجب افزایش صفت عملکرد کل غده در بوته سیب‌زمینی شد. این نتیجه نشان می‌دهد از آن‌جا که ورمی‌کمپوست حاوی عناصر ماکرو و میکرو مورد نیاز گیاه سیب‌زمینی است، بنابراین با افزایش میزان مصرف آن، عناصر مورد نیاز گیاه به‌میزان بیشتری در دسترس گیاه قرار گرفته و تعداد غده بیشتری در بوته تولید می‌شود و به‌دنبال آن منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه زراعی سیب‌زمینی می‌گردد. ورمی‌کمپوست دارای مقادیر زیادی از مواد هیومیکی می‌باشد که موجب بهبود زیست‌فراهمی عناصر غذایی خاص، به‌ویژه آهن و روی می‌شود (Rashtbari & Alikhani, 2012). گزارش شده است که ورمی‌کمپوست به‌عنوان اصلاح‌کننده آلی خاک، در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان و نیز میزان جذب نیتروژن و فسفر مؤثر است (Raja Sekar & Karmegan, 2010). Gutierrez و همکاران (۲۰۰۷) اثر ورمی‌کمپوست را بر ویژگی‌های کمی و کیفی گوجه‌فرنگی بررسی و گزارش کردند که میزان جذب عناصر غذایی نیتروژن و فسفر در ۸۵ روز پس از نشاکاری به‌طور معنی‌داری در ورمی‌کمپوست بیشتر از شاهد بود. نقش ورمی‌کمپوست در بهبود جذب عناصر را می‌توان به بازچرخش عناصر غذایی و بهبود

ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک نسبت داد (Rodrigues *et al*., 2006; Seyyedi *et al*., 2015). Jahani و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست بر محصول ذرت دریافتند که بیشترین محصول در تیمارهای حاوی کود ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد به‌دست آمد. در آزمایشی که روی گیاه ذرت و نخود انجام شده است، مشخص گردید که مصرف ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد زیستی، عملکرد دانه و کیفیت محصول در مقایسه با شاهد گردید (Jat & Ahlawat, 2006). در آزمایش مصرف ترکیبات نیتروژن به‌صورت شیمیایی و تلفیق آن با کود ورمی‌کمپوست، عملکرد دانه ذرت و میزان پروتئین افزایش یافت (Thind *et al*., 2002; Mohammadi *et al*., 2015). Cavender و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی روی گیاه سورگوم دانه‌ای، مشاهده نمودند که کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش محسوس محصول گردید. همچنین Anwar و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که مصرف پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست همراه با کود شیمیایی برتری محسوسی از نظر عملکرد زیستی نسبت به شاهد داشت. گزارش شده است که هورمون سیتوکنین باعث افزایش جذب برخی عناصر مثل پتاسیم می‌شود و ورمی‌کمپوست دارای مقادیر زیادی هورمون سیتوکنین است. افزایش پروتئین نیز در تیمار با ورمی‌کمپوست شاید به‌دلیل تأمین مقدار قابل‌توجهی از عناصر پیش‌نیاز برای تولید پروتئین از کود ورمی‌کمپوست باشد (Arndt *et al*., 2001). در آزمایشی که روی ذرت و نخود انجام شد، مشخص گردید که مصرف ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکردهای زیستی، دانه و کیفیت آن در مقایسه با شاهد گردید (Jat & Ahlawat, 2006). تجمع نیترات کمتر با کاربرد ورمی‌کمپوست ممکن است در ارتباط با فعالیت زیستی بیشتر خاک باشد که باعث فرآیند تبدیل سریع‌تر نیترات به اسیدهای آمینه و پروتئین و تبدیل تدریجی نیتروژن آلی ورمی‌کمپوست به نیترات باشد که یک وضعیت همگام شده با نیازهای غذایی گیاهان است (Hansen *et al*., 2001). محتوی اسیدهای آمینه مهم و ترکیبات نیتروژن‌دار در غده سیب‌زمینی تحت تأثیر کودهای نیتروژن‌دار قرار می‌گیرد (Pavlik *et al*., 2010). کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست و کود کامل نانو از منابع مهم نیتروژن برای گیاهان می‌باشند. فراهمی این کودها برای گیاهان اغلب موجب افزایش غلظت آمینواسیدها ازجمله لیزین و متیونین می‌گردد (Atanasova, 2008) که در پژوهش حاضر نیز نتایج مشابهی حاصل شد.

برای دست‌یابی به عملکرد قابل‌قبول در سیب‌زمینی در حالت عادی باید عناصر غذایی مورد نیاز آن اضافه شود. این کودها هر چه در زمان‌های حداکثر رشد گیاه و مطابق با نیازهای گیاه افزوده شود، کارآیی آن افزایش می‌یابد. کود رایج نیتروژن بسیار متحرک است و به‌آسانی در ناحیه ریشه گیاه حرکت می‌کند؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد که تأمین نیتروژن به‌صورت کود نانو این مشکل را حل می‌کند. نانو کودها کارآیی مصرف عناصر غذایی را از طریق مکانیسم‌هایی مثل انتقال هدف‌دار، رهاسازی کنترل‌شده و آهسته بهبود می‌بخشند. این کودها همچنین می‌توانند دقیقاً اجزای فعال خود را در پاسخ به محرک‌های محیطی و نیازهای بیولوژیکی آزاد کنند (Solanki *et al*., 2015). نانو کودها در انتقال انرژی در گیاه، فعالیت‌های آنزیمی و فتوسنتز و نهایتاً در تنفس و سنتز پروتئین‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند که به بهبود رشد گیاه منجر می‌شود (Ali, 2012). برخی عناصر موجود در نانو کودها مثل روی، می‌توانند آنزیم‌هایی را فعال کنند که در برخی مسیرهای بیوشیمیایی مثل متابولیسم

پروتئین‌ها دخالت دارند (Alloway, 2008). این عناصر در ساخت نشاسته و همچنین افزایش مقدار قندهای محلول نیز نقش دارند (Sharifi *et al.*, 2016).

کودهای شیمیایی بیشترین مقدار نیترات را در گیاه ایجاد می‌کنند که ممکن است به‌دلیل اثر مستقیم بر آزادسازی سریع نیتروژن بیش از توانایی مورد نیاز گیاه باشد. نانو کودها با برخورداری از ویژگی رهاسازی کنترل‌شده و آهسته عناصر از جمله نیتروژن، مانع از تجمع نیترات در غده سیب‌زمینی می‌شوند (Fallah *et al.*, 2014). استفاده از نانو کودها که همه خصوصیات لازم مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تأثیرگذاری بالا و رهایش کنترل‌شده را دارند، سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌شوند (Naderi & Abedi, 2012). Jafarzadeh و همکاران (۲۰۱۳) نقش کود نانو کلرید پتاسیم را در افزایش عملکرد گندم مثبت ارزیابی کردند. در مطالعات پژوهشگران بسیاری نیز افزایش عملکرد دانه و برخی از اجزای عملکرد به‌وسیله استفاده از نانو کودهای ماکرو و میکرو گزارش شده است (Bakhtiari *et al.*, 2015). نانو کـودها به‌وسیله بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، افزایش راندمان و کیفیت مواد غذایی، عدم هدر روی به‌وسیله آبشویی و سرعت جذب بالاتر می‌توانند افزایش عملکرد گیاه را در پی داشته باشند. نانو کودهای چندکاره که ترکیبی از عناصر میکرو و ماکرو بوده و با فناوری نانو به شکل نانو ذرات تشکیل شده‌اند می‌توانند توان گیاه را درافزایش عملکرد محصول تقویت کنند (Jerefi *et al.*, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج این تحقیق کاربرد نانو کودها در کنار ورمی‌کمپوست می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی در گیاه سیب‌زمینی شود. با توجه به مضرات مصرف کودهای شیمیایی و معایب مصرف بی‌رویه آن جهت پیشگیری از آلودگی هر چه بیشتر منابع آبی و ممانعت از ایجاد بحران‌های زیست‌محیطی و حفاظت از امنیت غذایی می‌توان تا حد امکان نانو کودها را به سبب تأثیری که در بهبود کمیت و کیفیت غده سیب‌زمینی دارد جایگزین کودهای شیمیایی کرد و با کاربرد تلفیقی آن در کنار ورمی‌کمپوست به نتایج ایده‌آل دست یافت.

References

- Ali, E. A. (2012). Effect of iron nutrient care sprayed on foliage at different physiological growth stages on yield and quality of some durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties in sandy soil. *Asian Journal of Crop Science*, 4(4), 139-149.
- Alloway, D. (2008). *Zinc in soils and crop nutrition*. IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.
- Ananthavalli, R., Ramadas, V., Paul, J. A. J., Selvi, B. K. & Karmegam, N. (2019). Seaweeds as bioresources for vermicompost production using the earthworm, Perionyx excavatus (Perrier). *Bioresource Technology*, 275, 394-401.
- Anwar, M., Patra, D. D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A. A. & Khanuja, S. P. S. (2005). Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 1737-1746.
- Arndt, S. K., Clifford, S. C., Wanek, W., Jones, H. G. & Popp, M. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiology*, 21(11), 705-715.

- Atanasova, E. (2008). Effect of nitrogen sources on the nitrogenous forms and accumulation of amino acid in head cabbage. *Plant Soil and Environment*, 54(2), 66-71.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7-14.
- Baghaie, N., Keshavarz, N. & Nazaran, M. H. (2011). Effect of nano iron chelate fertilizer on yield and yield components of rice (Shiroudi cultivar). In: Proceedings of 1th *National Conference on New Concepts in Agriculture*, 14-17 Oct., Saveh, Iran, pp 453-458. (In Farsi)
- Bakhtiari, M., Moaveni, P. & Saani, B. (2015). Effect of iron nanoparticles spray on some morpho-physiological traits of wheat in Ghods region. *Journal of Crop Ecophysiology*, 7(2), 104-119. (In Farsi)
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Cavender, N. D., Atiyeh, R. M. & Knee, M. (2003). Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of Sorghum bicolor at the expense of plant growth. *Pedobiologia*, 47(1), 85-89.
- Fallah, M., Peyvast, G., Olfati, J. & Sammak, B. (2014). Effect of chemical and organic fertilizers on yield and nitrate accumulation of spinach (*Spinacea oleracea* L.). *Journal of Plant Production Research*, 21(1), 49-68. (In Farsi)
- Food and Agriculture Organization. (2018). International Year of the Potato 2018. In FAOSTAT, from http://www.fao.org/faostat.
- Gutierrez-Miceli, F. A., Santiago-Borraz, J., Molina, J. A. M., Nafate, C. C., Abud-Archila, M., Llaven, M. A. O. & Dendooven, L. (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology*, 98(15), 2781-2786.
- Hansen, B., Alrqe, H. F. & Kristensen, E. S. (2001). Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 83(1), 11-26.
- Jafarzadeh, R., Jami Moeini, M. & Hokmabadi, M. (2013). The reaction yield and yield components of wheat to use of soil and foliar application of potassium nanofertilizer. *Journal of Crop Production Research*, 2, 189-197. (In Farsi)
- Jahani, M., Besharati, H. & Golchin, A. (2011). Effect of application of fortified vermicompost on plantlet appearance percentage and dry weight of hybrid corn. *Journal of Soil Science Researches*, 25(1), 33-38.
- Jat, R. S. & Ahlawat, I. P. S. (2006). Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of Sustainable Agriculture*, 28(1), 41-54.
- Jerefi, A., Lak, S. & Mansouri, M. (2014). Nano fertilizer, tools for crop nutrition. *Journal of Agriculture and Sustainable Development*, 56, 13-10. (In Farsi)
- Jones, J. B. (2001). *Laboratory guide for conduction soil tests and plant analysis*. CRC press LLC, U.S.

- Katyal, J. C. & Sharma, B. D. (1984). Some modification in the assay of Fe 2+ in 1–10, o-phenanthroline extracts of fresh plant tissues. *Plant and Soil*, 79(3), 449-450.
- Kole, C., Kole, P., Randunu, K. M., Choudhary, P., Podila, R., Ke, P. C. & Marcus, R. K. (2013). Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*). *BMC Biotechnology*, 13(1), 1472-6750.
- Losak, T., Hlusek, J., Filipcik, R., Pospisilova, L., Manasek, J., Prokes, K., Bunka, F., Kramer, S., Martensson, A. & Orosz, F. (2010). Effect of nitrogen fertilization on metabolism of essential and non-essential amino acids yield-grown grain maize (*Zea mays* L.). *Plant Soil Environmental*, 56, 574-579.
- Maheshbabu, H. M., Hunje, R., Patil, N. B. & Babalad, H. B. (2008). Effect of organic manures on plant growth, seed yield and quality of soybean. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21(2), 219-221.
- Majidian, M. (2008). Effects of nitrogen fertilizer, manure, and water stress in agro systems during different growth stages on quantitative and qualitative agronomic characteristics of corn (Zea mays L.). Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture Tarbiat modares university, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A. & Monshi, A. (2010). Studying effect of iron oxide (ordinary and nano) together with sulfur granular compost on iron concentration and growth of Atyla cultivar of wheat. *Iranian Journal of Crop Research*, 8, 855-861. (In Farsi)
- Mohammadi, G. R., Safaripour, M., Eghbal Ghobadi, A. & Najafi, A. (2015). Effect of green manure and nitrogen on yield and growth indices of corn. *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production*, 25(2), 105-124. (In Farsi)
- Monaghash, F., Maleki, A. & Zolnorian, H. (2015). Effect of application methods of vermicompost and chemical fertilizers on tuber yield and some morphological traits of Potato (*Solanum tuberosum*). *Journal of Crop Ecophysiology*, 9, 417-428. (In Farsi)
- Mousavi, M. (2011). Weed Management, Principles and Methods. Marz-e- danesh Press. (In Farsi)
- Naderi, M. R. & Abedi, A. (2012). Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Journal of Nanotechnol*, 11(1), 18-26.
- Pavlik, M., Pavlikova, D., Balik, J. & Neuberg, M. (2010). The contents of amino acids and sterols in maize plants growing under different nitrogen conditions. *Plant, Soil and Environment*, 56(3), 125-132.
- Rameshaiah, G. N., Pallavi, J. & Shabnam, S. (2015). Nano fertilizers and nano sensors–an attempt for developing smart agriculture. *International of Journal Engineering Research and General Science*, 3(1), 314-320.
- Rashtbari, M. & Alikhani, H. A. (2012). Effect and efficiency of of municipal solid waste compost and vermincompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress. *Journal of Agriculture and Sustainable Production*, 22(2), 114-127. (In Farsi)
- Rodrigues, M. A., Pereira, A., Cabanas, J. E., Dias, L., Pires, J. & Arrobas, M. (2006). Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 328-335.

- Sahni, S., Sarma, B. K., Singh, D. P., Singh, H. B. & Singh, K. P. (2008). Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum* rhizosphere against *Sclerotium rolfsii*. *Crop Protection*, 27, 369-376.
- Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3, 73-81.
- Sekar, K. R. & Karmegam, N. (2010). Earthworm casts as an alternate carrier material for biofertilizers: Assessment of endurance and viability of *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium leguminosarum*. *Scientia Horticulturae*, 124(2), 286-289.
- Seyyedi, S. M., Khajeh-Hosseini, M., Moghaddam, P. R. & Shahandeh, H. (2015). Effects of phosphorus and seed priming on seed vigor, fatty acids composition and heterotrophic seedling growth of black seed (*Nigella sativa* L.) grown in a calcareous soil. *Industrial Crops and Products*, 74, 939-949.
- Sharifi, R., Mohammadi, K. & Rokhzadi, A. (2016). Effect of seed priming and foliar application with micronutrients on quality of forage corn (*Zea mays*). *Environmental and Experimental Biology*, 14, 151-156.
- Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N. & Panwar, J. (2015). Nano-fertilizers and their smart delivery system. In M. Rai., C. Ribeiro, L. Mattoso & N. Dura (Eds.), Nanotechnologies in Food and Agriculture. (pp. 81-101.) Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- Sujatha, M. G., Lingaraju, B. S., Palled, Y. B. & Ashalatha, K. V. (2008). Importance of integrated nutrient management practices in maize under rainfed condition. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21(3), 334-338.
- Thind, S. S., Singh, M., Sidhu, A. S. & Chhibba, I. M. (2002). Influence of continuous application of organic manures and nitrogen fertilizer on crop yield, N-uptake and nutrient status under maize-wheat rotation. *Journal of Research in Panjab Agricultural Culture*, 39(3), 357-361.
- Veronica, N., Guru, T., Thatikunta, R. & Reddy, S. N. (2015). Role of Nano fertilizers in agricultural farming. *International of Journal Environmental Science and Technology*, 1(1), 1-3.
- William, H. (2000). *Official methods of analysis of AOAC international*. (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists, INC.
- Yadav, A. & Garg, V. K. (2019). Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting. *Bioresource Technology*, 274, 512-517.
- Yaghbani, M. & Mohamadzadeh, J. (2006). Study on physico-chemical properties of strach from potato cultivars in Golestan province. *Iranian Journal of Nutritional Sciences and Food Technology*, 1(11), 69-79. (In Farsi)
- Zaman, M. S., Ali, G. M., Muhammad, A., Farooq, K. & Hussain, I. (2015). In vitro screening of salt tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Sarhad Journal of Agriculture*, 31(2), 106-113.

Variations of Potato Tuber Yield and Quality in Response to Vermicompost Application and Complete Nano-fertilizer

Ali Barghi[1*] and Abdolghayoum Gholipoori[2]

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

*Corresponding author: a_barghi@uma.ac.ir
(Received: April. 30, 2020, Accepted: June. 11, 2020)

Abstract

Vermi-compost is produced by earthworms via processing organic wastes such as manure, plant residues, etc., and contains nutrients, vitamins, enzymes, antibiotics, growth enhancers, and humic substances which can increase plant growth and yield. Nano-fertilizers are also results of a new technology that help the plants optimal use of nutrients with the properties of slow release of nutrients. This experiment was conducted in order to evaluate effect of vermin-compost values (0, 3, 6 and 9 tons per hectare) and different methods of complete Nano-fertilizer (Super fertilizer) application (control (with no Nano-fertilizer application), fertigation (five kg ha^{-1}), foliar application (in a ratio of two per thousand), fertigation and foliar application together) on quality and yield of potato at research field of University of Mohaghegh Ardabili during 2018 crop year as a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications. Results indicated that application of 9 tons per hectare vermin-compost had the most starch, calcium, iron, phosphorus and tuber yield and the least tuber nitrate content. Additionally, complete Nano fertilizer fertigation and foliar application together had the highest effect on these traits. Furthermore, the interaction of vermin-compost and complete Nano-fertilizer was significant on lysine and methionine percentage of protein, tuber protein percentage and potassium content. By increasing the amount of vermin-compost, the values of these traits increased and in all vermin-compost application levels, fertigation and foliar application of complete Nano-fertilizer together indicated the best effect.

Keywords: Iron, Potato, Protein, Starch, Vermi-compost.