Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The application effect of leonardite, vermicompost and black soils on the yield, yield components and concentration of some nutrients in green pepper (*Capsicum Anuumm* L.)

Nazanin Salehi-Nasab[1*], Mohammad Ali Bahmanyar[2], Seyed Mostafa Emadi[3]

[1] M.Sc Graduated, Soil Science Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Email: nazaninsalehinsb@gmail.com

[2] Professor, Soil Science Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Email: mali.bahmanyar@gmail.com

[3]Associate Professor, Soil Science Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Email: mostafaemadi@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/04/22
Revised: 2022/10/23
Accepted: 2022/12/01

Keywords:
Chemical fertilizer
Humic acid
Nutrient elements
Organic fertilizer
Sustainable agriculture

ABSTRACT

Background and objectives: In order to increase the quantity and quality of plant production in sustainable agriculture system, the co-application of organic and inorganic (chemical) fertilizers are in great importance. The co-application of organic and chemical fertilizers could potentially increase both plant growth and crop yield by improving the soil quality properties and enhancing the uptake of plant nutrients. In this approach, a proportion of needed plant nutrients is supplied by the chemical fertilizers and the rest is provided by organic fertilizers. Meanwhile, in this study the co-application of the organic i.e leonardite, vermicompost and black soils and their extracted humic acid and the inorganic fertilizers were studied. The main objective of this study was to investigate the effect of co-application of some organic amendments and chemical fertilizer on yield, yield components and concentration of some nutrients in green pepper.

Materials and methods: To investigate the effect of co-application of some organic amendments on the yield and yield components of green pepper, a split-plot design over randomized completely design in three replications at pot-experiment level was conducted in 2019 growing season. In this experiment, the main factors include three types of organic amendments (leonardite, vermicompost and black soil) and sub-factors were 14 levels including (control, chemical fertilizer treatment (NPK) according to soil test, leonardite in three levels (2.6, 5.2 and 7.8 t ha^{-1}), extracted humic acid from leonardite in three levels (2.6, 5.2 and 7.8 Kg ha^{-1}), leonardite at the level of 2.6 t ha^{-1} with 75 % of needed chemical fertilizer (NPK), leonardite at the level 5.2 t ha^{-1} with 50 % of needed chemical fertilizer, leonardite at the level of 7.8 t ha^{-1} with 25 % of needed chemical fertilizer, extracted humic acid from leonardite at the level of 2.6 Kg ha^{-1} with 75 % of needed chemical fertilizer, humic acid extracted of leonardite at the level of 5.2 Kg ha^{-1} with 50 % of needed chemical fertilizer and the humic acid extracted of leonardite at the level of 7.8 Kg ha^{-1} with 25 % of needed chemical fertilizer were considered. Furthermore, all sub-surfaces for vermicompost and black soil

treatments were similar to those for leonardite treatment.

Results: The results indicated that co-application of organic amendments and chemical fertilizers and its interaction effect had significant effects on yield, yield components and concentration of nitrogen, phosphorous and potassium of green pepper fruit. Application of extracted humic acid from leonardite (2.6 Kg ha^{-1}) with 75 % of NPK was able to increase yield of pepper, plant height, leaf area and total leaf chlorophyll 6, 1.7, 2.3 and 2.7 time compared to the control. Also, the highest amount of nitrogen, phosphorus and potassium of green pepper fruit increased by 7, 2.8 and 2.9 times in the above treatments compared to the control, respectively.

Conclusion: The co-application of organic fertilizers and extracted humic acid with chemical fertilizer increase the concentration of high elements such as nitrogen, phosphorus and potassium in green pepper fruit as well as vegetative traits such as plant dry weight, plant height, chlorophyll content and leaf area in green pepper. In fact, leonardite and extracted humic acid due to the increased root uptake and the chelating ability of the element, will make these elements more available to the plant. In general, the combined application of humic acid and chemical fertilizers (NPK) due to the richness of nutrients required for plant growth of green pepper compared to the control treatment.

Cite this article: Salehi-Nasab, N., Bahmanyar, M.A., Emadi, S.M. 2022. The application effect of leonardite, vermicompost and black soils on the yield, yield components and concentration of some nutrients in green pepper (*Capsicum Anuumm* L.). *Crop Production Journal*, 15 (4), 101-118.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2023.19942.2490
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

تأثیر کاربرد لئوناردیت، ورمی‌کمپوست و خاک‌آب‌بندان بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در فلفل سبز (*Capsicum Anuumm* L.)

نازنین صالحی‌نسب[1*]، محمدعلی بهمنیار[2]، سیدمصطفی عمادی[3]

[1] دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، رایانامه: nazaninsalehinsb@gmail.com
[2] استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، رایانامه: mali.bahmanyar@gmail.com
[3] دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، رایانامه: mostafaemadi@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۰

واژه‌های کلیدی:
عناصر مغذی
کشاورزی پایدار
کود آلی
کود شیمیایی
هیومیک¬اسید

چکیده

سابقه و هدف: امروزه در سیستم کشاورزی پایدار، به منظور افزایش کمی و کیفی تولید در گیاهان از کودهای آلی در کنار کودهای شیمیایی استفاده می‌شود. کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند با بهبود ویژگی‌های کیفی خاک و جذب بیش‌تر عناصرغذایی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شود. در این نوع رویکرد از مدیریت زراعی، درصدی از نیاز گیاه به عناصرغذایی به‌وسیله کودهای شیمیایی و مابقی از طریق کودهای آلی تأمین می‌شود. بدین منظور در این مطالعه از اصلاح‌کننده‌های آلی نظیر لئوناردیت، ورمی‌کمپوست، خاک آب‌بندان و همچنین هیومیک‌اسید استخراج‌شده از آن‌ها به روش تلفیقی با کاربرد کود شیمیایی استفاده گردید. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر کاربرد برخی اصلاح‌کننده‌های آلی و هیومیک‌اسید استخراجی از آن‌ها بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصرغذایی در فلفل سبز است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و هیومیک‌اسیدهای استخراج‌شده از آن‌ها بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصرغذایی در فلفل سبز، آزمایشی گلدانی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در فصل زراعی سال ۱۳۹۸ انجام شد. در این آزمایش فاکتورهای اصلی شامل سه نوع اصلاح‌کننده آلی (لئوناردیت، ورمی‌کمپوست و خاک‌آب‌بندان) و فاکتورهای فرعی در ۱۴ سطح شامل شاهد، تیمار کود شیمیایی NPK طبق آزمون خاک، لئوناردیت در سه سطح (۲/۶، ۵/۲ و ۷/۸ تن در هکتار)، هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت در سه سطح (۲/۶، ۵/۲ و ۷/۸ کیلوگرم در هکتار)، ۲/۶ تن لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۷۵ درصد NPK، ۵/۲ تن لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۵۰ درصد NPK و ۷/۸ تن لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۲۵ درصد NPK، ۲/۶ کیلوگرم هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۷۵ درصد NPK، ۵/۲ کیلوگرم هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۵۰ درصد NPK و ۷/۸ کیلوگرم هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۲۵ درصد NPK درنظر گرفته شدند. همچنین تمامی فاکتورهای فرعی برای تیمار ورمی‌کمپوست و خاک آب‌بندان نیز مشابه لئوناردیت بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی، تیمارهای اصلاح‌کننده آلی به‌همراه کود شیمیایی و برهم‌کنش اصلاح‌کننده‌های آلی و تیمارهای کود شیمیایی اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه فلفل سبز داشت. کاربرد هیومیک‌اسید حاصل از لئوناردیت به میزان ۲/٦ کیلوگرم در هکتار به‌همراه ۷۵ درصد NPK توانست میزان عملکرد فلفل، ارتفاع بوته، سطح برگ و کلروفیل کل برگ را به‌ترتیب ٦، ۱/۷، ۲/۳ و ۲/۷ برابر نسبت به شاهد افزایش دهد. همچنین، میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه فلفل سبز در این تیمار نسبت به شاهد به‌ترتیب ۷، ۲/۸ و ۲/۹ برابر، افزایش داشت.

نتیجه‌گیری: کاربرد کودهای آلی و هیومیک‌اسید استخراج شده از آن‌ها موجب افزایش غلظت عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در میوه فلفل سبز و همچنین ارتقای صفات رویشی از قبیل وزن خشک گیاه، ارتفاع بوته، مقدار کلروفیل و سطح برگ در فلفل سبز شد. در واقع لئوناردیت و هیومیک‌اسید استخراج‌شده از آن، به دلیل افزایش سطح جذب ریشه، بهبود شرایط تهویه و رطوبت خاک و قابلیت کلات‌کنندگی عناصرغذایی، باعث افزایش دسترس‌پذیری این عناصر برای گیاه و بهبود رشد شدند. به‌طور کلی، کاربرد تلفیقی هیومیک‌اسید استخراجی از کودهای آلی و شیمیایی (NPK) به‌دلیل غنی بودن از عناصرغذایی مورد نیاز و بهبود خصوصیات کیفی خاک برای رشد ریشه، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نسبت به تیمار شاهد شدند.

استناد: صالحی‌نسب، ن.، بهمنیار، م.ع.، عمادی، س.م. (۱٤۰۱). تأثیر کاربرد لئوناردیت، ورمی کمپوست و خاک آب‌بندان بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در فلفل سبز (*Capsicum Anuumm* L.). *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (٤)، ۱۱۸-۱۰۱.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.19942.2490

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

امروزه در نظام‌های کشاورزی پایدار و ارگانیک، یکی از شیوه‌های مطرح برای افزایش کمی و کیفی تولید در گیاهان، استفاده از کودهای آلی در کنار استفاده از کودهای شیمیایی است که با شیوه‌های مختلف موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۱). اگرچه از کودهای شیمیایی می‌توان جهت افزایش محصول در واحد سطح استفاده کرد ولی کاربرد زیاد آن‌ها عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (۲) و استفاده بیش ازحد آن‌ها می‌تواند مشکلات زیست محیطی را ایجاد کند. درنتیجه برای رهایی از این مشکلات و مدیریت حاصلخیزی خاک، نیاز به مصرف کودهای آلی برای تغذیه گیاه افزایش پیدا می‌کند (۱). استفاده از مواد آلی به علت تأثیرات مفیدی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک دارد یکی از ارکان مهم باروری خاک به‌حساب می‌آید (۳). استفاده از ورمی‌کمپوست یکی از راه‌های ارتقای حاصلخیزی خاک می‌باشد و از ویژگی بارز آن فراهم کردن مواد غذایی مورد نیاز رشد گیاهان می‌باشد. یکی دیگر از کودهای با اهمیت و قابلیت بالا برای گیاهان، هیومیک‌اسید می‌باشد (٤). هیومیک‌اسید یک پلیمر طبیعی است که دارای عامل اسیدی کربوکسیل، بنزوئیک و فنلی (مکان‌های تبادل کاتیونی) می‌باشد. این اسید دارای وزن مولکولی نسبتاً بالا می‌باشد و ۵۰ درصد وزن مولکولی آنرا کربن تشکیل می‌دهد. همچنین، می‌تواند جذب عناصرغذایی توسط گیاه را بهبود بخشد. لئوناردیت ماده‌ای صد در صد ارگانیک است که دارای مقادیر بالایی از هیومیک‌اسید، فولویک‌اسید و عناصرغذایی پرمصرف (نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم) و کم‌مصرف (نظیر آهن و روی) می‌باشد. لئوناردیت درنتیجه انباشته شدن بقایای گیاهی و تحت تأثیر رطوبت، دما، فشار و اکسیده‌شدن به‌وجودآمده‌است (۵) و یکی از مواد اولیه اصلی برای استخراج هیومیک‌اسید در دنیاست. لئوناردیت به دلیل وجود ترکیبات هورمونی اثرات مفیدی در افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارد. از جمله خصوصیات لئوناردیت شامل pH اسیدی، حلالیت کم در آب و همچنین مدت زمان اثر گذاری طولانی مدت و تدریجی می‌باشد (٦). آب‌بندان‌ها عمدتا برای ذخیره آب در زمستان و استفاده از آن‌ها برای آبیاری محصولات زراعی و باغی در فصول گرم در طی سالیان متمادی در شمال کشور گسترش پیدا کرده‌اند و امروزه برای تولید آبزیان نیز استفاده می‌شوند. کف آب‌بندان‌ها هرچند سال یک‌بار برای لایروبی، خاک‌برداری می‌شوند و ماده اصلاحی با عنوان خاک آب‌بندان ایجاد می‌شود. خاک آببندان ترکیبی تیره رنگ است که از بقایای گیاهی و جانوری در کف آب‌بندان‌ها حاصل می‌گردد و حاوی مقدار زیادی کربن آلی است (۷). فلفل سبز از تیره *Solanaceae*، از جنس *Capsicum* و گونه خوراکی آن *C. Annuum* می‌باشد. فلفل سبز گیاهی علفی و تک پایه، دارای شاخه‌های کوتاه، برگ‌های ساده و متراکم است. این گیاه از اواخر بهار تا اوایل تابستان گل می‌دهد (۱).

بسیاری از محققان در پژوهش‌های خود استفاده از کودها و ترکیبات آلی، در کنار کودهای شیمیایی و همچنین، جایگزین‌سازی آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. جامیر و همکاران (۲۰۱۷) در مورد اثرات کودهای آلی و شیمیایی بر رشد و عملکرد گیاه فلفل سبز (*Capsicum Anuumm* L.) به این نتیجه رسیدند که کاربرد تلفیقی کود شیمیایی به‌همراه کود ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته، تعداد برگ گیاه، تعداد گل در گیاه، طول میوه، عملکرد گیاه و میانگین وزن میوه شد (۸). هیومیک اسید استخراج‌شده از اصلاح‌کننده‌های آلی می‌تواند به

صورت برگ‌پاشی و یا کاربرد خاکی برای گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا آرنکون و همکاران (۲۰۰٦) بیان داشتند که هیومیک‌اسید استخراج‌شده از ورمی‌کمپوست، تعداد گل، میوه، وزن خشک و عملکرد نهال فلفل سبز را افزایش داد (۹). یکی از اهداف اصلی کشاورزی پایدار استفاده از کودهای آلی در اکوسیستم‌های زراعی در جهت حذف و یا به حداقل رساندن کاربرد کودهای شیمیایی است (۱۰). اثر مواد اصلاح‌کننده آلی بر عملکرد گیاهان متفاوت است که علت اصلی آن‌ها عمدتاً وابسته به نوع خاک و شرایط کیفی کودهای آلی است. قیمت مناسب و دسترسی آسان برخی از اصلاح‌کننده‌های آلی مانند خاک آب‌بندان و لئوناردیت، این مواد را مستعد برای استفاده انبوه در کشاورزی قرار داده است. اما اطلاعات زیادی از اثرات کاربرد این مواد اصلاحی و هیومیک‌اسیدهای استخراج‌شده از آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد محصولات زراعی و باغی وجود ندارد. بدین منظور این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کاربرد برخی اصلاح‌کننده‌های آلی (لئوناردیت، ورمی-کمپوست و خاک آب‌بندان) و هیومیک‌اسید استخراج-شده از آن‌ها بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در فلفل سبز انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل و زمان انجام آزمایش: به منظور بررسی تأثیر کاربرد لئوناردیت، ورمی‌کمپوست و خاک آب‌بندان و همچنین هیومیک‌اسید استخراج‌شده از این اصلاح‌کننده‌ها بر رشد فلفل سبز قلمی (*Capsicum Anuumm* L.)، آزمایشی گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت اسپلیت پلات در سه تکرار در فصل زراعی سال ۱۳۹۸ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: ۱- بدون کود شیمیایی و کود آلی (شاهد)، ۲- تیمار کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK) طبق آزمون خاک، ۳- تیمار لئوناردیت در سطح ۲/٦ تن در هکتار، ٤- تیمار لئوناردیت در سطح ۵/۲ تن در هکتار، ۵- تیمار لئوناردیت در سطح ۷/۸ تن در هکتار، ٦- تیمار هیومیک‌اسید استخراج شده از لئوناردیت در سطح ۲/٦ کیلوگرم در هکتار، ۷- تیمار هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت در سطح ۵/۲ کیلوگرم در هکتار، ۸- تیمار هیومیک‌اسید استخراج شده از لئوناردیت در سطح ۷/۸ کیلوگرم در هکتار، ۹- تیمار ۲/٦ تن لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۷۵ درصد تیمار کود شیمیایی NPK، ۱۰- تیمار ۵/۲ تن لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی NPK، ۱۱- تیمار ۷/۸ تن لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۲۵ درصد کود شیمیایی NPK، ۱۲- تیمار ۲/٦ کیلوگرم هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی NPK، ۱۳- تیمار ۵/۲ کیلوگرم هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی NPK، ۱٤- ۷/۸ کیلوگرم هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت در هکتار به‌همراه ۲۵ درصد کود شیمیایی NPK بودند. همچنین، تمامی سطوح فرعی برای تیمار ورمی‌کمپوست و خاک آب‌بندان نیز مشابه لئوناردیت بودند.

عملیات آماده‌سازی قبل از اجرای طرح: خاک مورد استفاده برای اجرای این طرح از خاک سطحی (۲۵-۰ سانتی‌متر) مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری نمونه‌برداری شد و پس از آماده سازی، در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی قرار داده شد و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده اندازه‌گیری شد. برخی خصوصیات شیمیایی اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده در طرح نیز تعیین

گردید که نتایج اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده و خصوصیات خاک در جدول ۱ آمده است. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۱)، pH (گل اشباع) توسط pH متر (۱۲)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع توسط EC متر (۱۳)، کربن آلی به روش تیتراسیون (۱٤)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با کلریدریک‌اسید (۱۵)، نیتروژن کل به روش هضم و توسط دستگاه کجلدال (۱٦)، پتاسیم قابل جذب خاک به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ مولار (۱٦)، فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (۱۷) اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده.

Table 1- Some physical and chemical properties of the studid soils and the applied amendments.

خصوصیات Charachteristics	واحد Units	خاک Soil	لئوناردیت Leonardite	ورمی‌کمپوست Vermicompost	خاک آب‌بندان Black soil[1]
pH		7.2	3.36	7.4	7.3
EC	$\mu S\ cm^{-1}$ (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	812	447	489	1889
نیتروژن کل (Total Nitrogen)	% (درصد)	0.26	2	1	2
فسفر قابل جذب (Available Phosphorous)	$mg\ kg^{-1}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	10.75	159	60.32	191
پتاسیم قابل جذب (Available Potassium)	$mg\ kg^{-1}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	250	156.5	133.34	440.5
کربنات کلسیم معادل (Equivalant Calcium Carbonat)	% (درصد)	23.52	2.11	16.45	13.39
کربن آلی (Organic Carbon)	% (درصد)	2.63	21.06	12.48	23.81
آهن قابل جذب (Available Fe)	$mg\ kg^{-1}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	41	103.6	137.4	500.6
روی قابل جذب (Available Zn)	$mg\ kg^{-1}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	1.40	4.2	7.3	35.09
مس قابل جذب (Available Cu)	$mg\ kg^{-1}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	1.75	5.1	1.05	4.2
منگنز قابل جذب (Available Mn)	$mg\ kg^{-1}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	4.08	12.81	6.23	94.5
رس (Clay)	% (درصد)	34.8	-	-	-
سیلت (Silt)	% (درصد)	60.6	-	-	-
شن (Sand)	% (درصد)	4.6	-	-	-

1. Black soil: خاک سیاه یا خاک آب‌بندان؛ خاکی که از کف آب‌بندان تهیه می‌گردد

اجرای طرح: قبل از کشت نشای فلفل سبز، ابتدا تمامی کودهای حاوی فسفر، پتاسیم و یک سوم کود حاوی نیتروژن طبق آزمون خاک (مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم سولفات و ۷۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار) توزین و در خاک گلدان‌ها اعمال‌شدند. همچنین، مقادیر کودهای آلی نیز در سه سطح (۲/٦، ۵/۲ و ۷/۸ کیلوگرم در هکتار) اندازه‌گیری و به گلدان‌ها اضافه شدند. برای تیمارهای تلفیقی کودهای آلی به اضافه کودهای شیمیایی NPK در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از مقدار کل کودهای شیمیایی NPK، پس از اندازه‌گیری اعمال گردیدند. پس‌از اعمال تیمارها، تعداد ٤ بوته فلفل در گلدان نشا و پس از استقرار گیاه به ۲ بوته تنک گردید. ضمناً زمانی که میزان رطوبت خاک ۲۵ درصد حد ظرفیت زراعی کاهش یافت، مجدداً گلدان‌ها آبیاری شدند. در میانه فصل رشد، مرحله دوم و سوم کود حاوی نیتروژن، دقیقاً ۵ و ۱۰ هفته پس از کشت بوته فلفل سبز به گلدان‌ها اضافه گردید. همچنین، تیمارهای هیومیک‌اسید استخراج‌شده از اصلاح کننده‌های آلی (در دو حالت ترکیب با کود شیمیایی NPK و به تنهایی) توزین و دو هفته پس از کشت بوته فلفل در سه مرحله با فاصله ۱۵ روز به گلدان‌ها اضافه شدند. برای اندازه‌گیری کلروفیل کل برگ و سطح برگ در اواسط فصل رشد از برگ‌های جوان و تکامل یافته تعداد ۸ تا ۱۰ برگ نمونه‌برداری شد. کلروفیل کل برگ توسط روش لیچتنتالر اندازه‌گیری شد (۱۸). برای اندازه‌گیری سطح برگ فلفل نیز، از دستگاه اسکنر (Hp Laserjet m1522(2008)) برای اسکن برگ‌ها استفاده شد و داده‌ها به نرم‌افزار Digimizer داده و مورد آنالیز قرارگرفته و سطح برگ محاسبه گردید (۱۹). همچنین، در میانه فصل رشد، ارتفاع هر دو بوته فلفل موجود در گلدان توسط خط‌کش (از بخش انتهایی ساقه در سطح خاک تا انتهای بوته فلفل) اندازه‌گیری و از آن‌ها میانگین گرفته شد. میوه فلفل نیز در طول فصل رشد، در سه چین مختلف و متوالی از میوه‌های رسیده در هر گلدان برداشت شد و توسط ترازوی دیجیتالی توزین و ثبت شدند و در انتها، میزان عملکرد میوه‌ها محاسبه گردید. به منظور تعیین مقادیر عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در میوه، ابتدا میوه‌ها توسط آب معمولی شسته و سپس با آب مقطر آب‌کشی گردیدند. در آخر به پاکت‌های کاغذی منتقل و به مدت ٤۸ ساعت در آون در دمای ٦۵ درجه –سانتی‌گراد خشک و آماده‌سازی شدند. غلظت نیتروژن میوه به روش هضم با سولفوریک‌اسید با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد (۲۰). غلظت فسفر و پتاسیم میوه نیز به روش سوزاندن خشک تعیین گردید، بدین ترتیب غلظت فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر و غلظت پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد (۲۱). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix ورژن ۸ انجام گردید و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۳) استفاده شده است.

نتایج و بحث

اثر اصلاح‌کننده آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد

فلفل سبز: اثر تیمارهای اصلاح‌کننده (لئوناردیت، ورمی‌کمپوست و خاک سیاه آب‌بندان)، سطوح تیمارهای فرعی و برهم‌کنش تیمارها بر عملکرد، ارتفاع بوته، سطح برگ و میزان کلروفیل کل برگ در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر اصلاح‌کننده آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد فلفل سبز.

Table 2- Analysis of variance (mean squares) for the effect of organic amendments on yeild and yeild components of green pepper.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد Yeild	ارتفاع بوته Plant height	سطح برگ Leaf surface	کلروفیل کل برگ Total leaf chlorophyll
تکرار (Replication)	2	0.0012	0.626	0.597	0.006
تیمار (Treatment)	2	1089.11**	1967.05**	332.31**	36.53**
خطا (تکرار*تیمار) Error (Replication*Treatment)	4	0.0005	0.269	0.055	0.004
سطوح تیمار (Treatment levels)	13	365.20**	476.50**	400.13**	86.80**
تیمار * سطوح تیمار (Treatment*Treatment levels)	26	17.90**	28.11**	5.42**	0.67**
خطا (تکرار*تیمار*سطوح تیمار) Error(Replication*Treatment*Treatment levels)	78	0.0017	0.027	0.366	0.012
کل (Total)	125	7391.65	10883.65	6037.37	1220.15
درصد ضریب تغییرات C.V (%)		0.22	1.42	2.44	1.23

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at p≤0.01

مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۳) نشان داد در بین سطوح به کار برده شده در اصلاح‌کننده لئوناردیت، کاربرد ۲/٦ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی، نسبت به سایر سطوح، موثرتر بود و توانست عملکرد را به میزان ٦ برابر (از ٦ به ۳٦ گرم در هر بوته) نسبت به شاهد افزایش دهد. به همین ترتیب در بین سطوح به کاربرده شده در دو تیمار ورمی‌کمپوست و خاک آب‌بندان، سطح کاربردی ۲/٦ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراج‌شده از آن‌ها همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی، نسبت به سایر سطوح کاربردی از این دو تیمار موفق‌تر عمل کرد و توانست ارتفاع بوته را به میزان معنی‌داری افزایش دهد. کاربرد ۲/٦ کیلوگرم در هکتار تیمار هیومیک‌اسید استخراجی از لئوناردیت همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی، میزان ارتفاع بوته‌ها در گیاه را از ۲۰ سانتی‌متر به ۵۵ سانتی‌متر افزایش داد، درحالی‌که در تیمار ۷/۸ تن در هکتار تیمار ورمی‌کمپوست، کم‌ترین تأثیر، اما معنی‌دار را نسبت به شاهد، در بین تیمارهای سه‌گانه به‌دست آمد (جدول ۳).

در بین سطوح به کار برده شده در دو تیمار لئوناردیت و خاک آب‌بندان، سطح کاربردی ۲/٦ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراج‌شده از آن‌ها همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی نسبت به سایر سطوح کاربردی از این دو تیمار موفق‌تر عمل کرد و توانست ارتفاع بوته را به میزان معنی‌داری افزایش دهد. کاربرد ۲/٦ کیلوگرم در هکتار تیمار هیومیک‌اسید استخراجی از لئوناردیت همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی، میزان ارتفاع بوته‌ها در گیاه را از ۲۰ سانتی‌متر به ۵۵ سانتی‌متر افزایش داد، درحالی‌که در تیمار ۷/۸ تن در هکتار تیمار ورمی‌کمپوست، کم‌ترین تأثیر، اما معنی‌دار را نسبت به شاهد، در بین تیمارهای سه‌گانه به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلاح‌کننده آلی بر عملکرد گیاه و ارتفاع بوته فلفل سبز.

Table 3- Mean comparison of organic amendments on plant yield and the height of green pepper.

اصلاح‌کننده آلی	تیمار	عملکرد (گرم در هر بوته)	ارتفاع بوته(سانتی‌متر)
Organic amendments	Treatment	Yeild (g per plant)	Plant height(cm)
G1 (Leonardite)	Blank	5.23 ^{N}	20.00 ^{L}
	NPK	18.20 ^{L}	40.66 ^{I}
	C1	20.93 ^{J}	40.00 ^{I}
	C2	18.63 ^{K}	38.33 ^{J}
	C3	16.40 ^{M}	35.33 ^{K}
	HA C1	25.50 ^{F}	44.66 ^{F}
	HA C2	23.06 ^{H}	42.33 ^{H}
	HA C3	21.80 ^{I}	40.33 ^{I}
	C1+0.75NPK	31.00 ^{D}	47.66 ^{D}
	C2+0.5NPK	28.46 ^{E}	46.00 ^{E}
	C3+0.25NPK	24.80 ^{G}	43.33 ^{G}
	HA C1+0.75NPK	36.66 ^{A}	54.66 ^{A}
	HA C2+0.5NPK	34.53 ^{B}	52.33 ^{B}
	HA C3+0.25NPK	31.40 ^{C}	50.33 ^{C}
G2 (Vermicompost)	Blank	5.20 ^{N}	20.00 ^{N}
	NPK	18.20 ^{D}	40.66 ^{A}
	C1	10.60 ^{K}	25.66 ^{J}
	C2	8.30 ^{L}	23.66 ^{L}
	C3	6.50 ^{M}	21.66 ^{M}
	HA C1	15.06 ^{F}	29.66 ^{G}
	HA C2	13.10 ^{H}	26.66 ^{I}
	HA C3	11.60 ^{J}	24.66 ^{K}
	C1+0.75NPK	19.20 ^{C}	33.66 ^{D}
	C2+0.5NPK	14.20 ^{G}	30.66 ^{F}
	C3+0.25NPK	12.70 ^{I}	28.66 ^{H}
	HA C1+0.75NPK	22.40 ^{A}	38.66 ^{B}
	HA C2+0.5NPK	20.60 ^{B}	35.00 ^{C}
	HA C3+0.5NPK	18.00 ^{E}	32.66 ^{E}
G3 (Black soils)	Blank	5.20 ^{N}	20.00 ^{L}
	NPK	18.20 ^{H}	40.66 ^{F}
	C1	15.90 ^{J}	35.33 ^{I}
	C2	12.50 ^{L}	33.33 ^{J}
	C3	9.10 ^{M}	30.33 ^{K}
	HA C1	18.90 ^{G}	39.66 ^{G}
	HA C2	16.40 ^{I}	37.33 ^{H}
	HA C3	13.90 ^{K}	35.66 ^{I}
	C1+0.75NPK	24.30 ^{B}	46.33 ^{C}
	C2+0.5NPK	21.00 ^{D}	44.33 ^{D}
	C3+0.25NPK	19.60 ^{F}	41.66 ^{E}
	HA C1+0.75NPK	28.06 ^{A}	50.66 ^{A}
	HA C2+0.5NPK	23.80 ^{C}	48.33 ^{B}
	HA C3+0.25NPK	20.53 ^{E}	46.66 ^{C}

Blank: شاهد، NPK: کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک، C_3, C_2, C_1: به‌ترتیب ۲/٦، ۵/۲ و ۷/۸ تن در هکتار از ترکیب اصلاح‌کننده، HAC_1، HAC_2 و HAC_3 به‌ترتیب هیومیک‌اسید استخراجی در سطح ۲/٦ ، ۵/۲ و ۷/۸ کیلوگرم در هکتار. در هر ستون، تیمارهایی با حرف مشابه، دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD برای هر ماده اصلاح‌کننده نیستند.

Blank: control, NPK: chemical fertilizer, C_1, C_2, C_3: 2.6, 5.2, and 7.8 tons per hectare of each soil organic amendments, HAC_1, HAC_2, and HAC_3, respectively, the extracted humic acid from each soil organic amendments at doses of 2.6, 5.2, and 7.8 kg per hectare. In each column, the treatments with similar letter, indicates no significant difference at the 5% level based on the LSD test for each soil amedments.

بهبود فراهمی و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در خاک یکی از دلایل اصلی افزایش عملکرد است. با کاربرد کودهای آلی حاوی مقدار زیاد کربن آلی محلول، فعالیت میکروبی خاک بهبود پیدا می‌کند و شرایط برای جذب بیشتر عناصر پرمصرف و کم‌مصرف توسط گیاه فراهم می‌شود که

این مورد حداقل در کاربرد منفرد کودهای شیمیایی فراهم نیست (۲۲، ۲۳). کودهای آلی، غنی از عناصرغذایی هستند که به آهستگی تجزیه و آزادسازی می‌شوند. در نتیجه کاربرد تلفیقی عناصر غذایی موجود در کودهای آلی در کنار کودهای شیمیایی و زیستی، سبب کاهش مصرف کودهای سنتزی می‌شوند و کمبود عناصرغذایی را جبران می‌کند و در نتیجه باعث حاصلخیزی خاک شده که تولید پایدار را به‌همراه دارد. براهیمی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد کودهای آلی منجر به افزایش غلظت عناصر پرمصرف در خاک و گیاه می‌شود و همچنین، استفاده از کودهای آلی به تنهایی نمی‌توانند نیاز گیاه را به عناصر پرمصرف فراهم کنند، لذا استفاده از کودهای شیمیایی همراه با کودهای آلی امری ضروری است (۲٤). لئوناردیت به علت اینکه می‌تواند عناصرغذایی را به آهستگی در خاک آزاد کند و از هدر رفت عناصرغذایی ناشی از شست و شو جلوگیری می‌کند (۲۵)، بسیار حائز اهمیت است. در خاک، مقدار زیادی از عناصر از قبیل پتاسیم، فسفر و عناصر کم‌مصرف وجود دارند که به شکل قابل جذب توسط ریشه گیاه نیستند. لئوناردیت، pH خاک اطراف ریشه را کاهش می‌دهد با بهبود شرایط برای چرخه عناصرغذایی توسط جانداران خاک‌زی، در تبدیل عناصرغذایی غیر قابل جذب، به اشکال قابل دسترس برای گیاه، کمک کننده است (۲٦). یافته‌های این تحقیق با نتایج فاضلی و همکاران (۲۰۱۹) تطابق دارند، به گونه‌ای که با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست همراه با کود شیمیایی، برخی شاخص‌های مورفولوژیکی و عملکردی از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی و میوه فلفل دلمه شیرین افزایش یافت (۲۷). کاربرد تلفیقی کود آلی مانند کود دامی به‌همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی عناصر پرمصرف، علاوه بر اینکه باعث افزایش عملکرد می‌شود، بلکه منجر به افزایش غلظت این عناصر در میوه نیز می‌گردد (٦)، اثرات مثبت کاربرد هیومیک‌اسید بر عملکرد و ارتفاع بوته، می‌تواند به علت اثرات متعددی از جمله؛ ارتقای خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداشت آب در خاک، کمپلکس کردن یون‌های فلزی، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش جذب عناصرغذایی و افزایش مقاومت گیاه به خشکی باشد که به طور مستقیم و غیر مستقیم می‌تواند بر رشد گیاه مؤثر باشد (۲۸، ۲۹). طبق جدول ٤، سطح برگ و کلروفیل کل برگ در فلفل سبز، تحت تأثیر هر سه تیمار اصلی بوده و اختلاف معنی‌داری وجود داشته است. تیمارهایی که هیومیک‌اسید استخراج‌شده از اصلاح‌کننده‌های خاک داشتند، سطح برگ و کلروفیل کل برگ معنی‌دار و بیش‌تری نسبت به شاهد داشتند. بعد از آن کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی خاک به تنهایی و بدون تلفیق با کود شیمیایی، بیش‌ترین مقدار سطح برگ و کلروفیل کل برگ را دارا بودند. سطح برگ و کلروفیل کل برگ در تیمار لئوناردیت نسبت به تیمارهای ورمی‌کمپوست و خاک آب‌بندان دارای مقادیر بیش‌تر و معنی‌داری بودند. تیمار هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت (۲/٦ کیلوگرم در هکتار) به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی، میزان سطح برگ فلفل را ٤ برابر (از حدود ۱۰ تا ٤۰ سانتی‌متر مربع در گلدان) افزایش داد. این در حالی است که سطح سوم تیمار ورمی‌کمپوست (۷/۸ تن در هکتار)، تنها موجب افزایش ۱۷ درصدی نسبت به شاهد شد (جدول ٤).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر اصلاح‌کننده آلی بر میزان سطح برگ و کلروفیل کل برگ فلفل سبز.

Table 4- Mean comparison of organic amendments on the amount of leaf surface and chlorophyll of the whole leaf of green pepper.

اصلاح‌کننده آلی Organic amendments	تیمار Treatment	سطح برگ (سانتی‌متر مربع در گلدان) Leaf surface (cm^2 in plot)	کلروفیل کل برگ (میلی‌گرم در گرم بافت تازه) Total leaf chlorophyll (mg/g fresh mass)
G1 (Leonardite)	Blank	11.66 M	4.46 N
	NPK	22.00 K	6.80 L
	C1	25.33 I	10.60 F
	C2	23.33 J	7.96 J
	C3	21.00 L	6.33 M
	HA C1	29.66 F	12.73 D
	HA C2	26.66 H	9.60 H
	HA C3	24.00 J	7.46 K
	C1+0.75NPK	34.66 C	14.60 B
	C2+0.5NPK	30.66 E	11.36 E
	C3+0.25NPK	28.66 G	8.76 I
	HA C1+0.75NPK	39.33 A	16.56 A
	HA C2+0.5NPK	36.33 B	13.36 C
	HA C3+0.25NPK	33.66 D	9.96 G
G2 (Vermicompost)	Blank	11.66 K	4.46 L
	NPK	22.00 F	6.80 I
	C1	19.33 G	9.53 F
	C2	15.66 I	7.26 H
	C3	13.66 J	5.40 K
	HA C1	24.33 E	11.53 D
	HA C2	20.33 G	8.03 G
	HA C3	17.33 H	6.36 J
	C1+0.75NPK	27.66 C	13.53 B
	C2+0.5NPK	24.66 E	10.76 E
	C3+0.25NPK	22.33 F	8.06 G
	HA C1+0.75NPK	32.66 A	15.16 A
	HA C2+0.5NPK	30.33 B	12.43 C
	HA C3+0.5NPK	26.33 D	9.56 F
G3 (Black soils)	Blank	11.66 K	4.46 J
	NPK	22.00 G	6.80 G
	C1	21.66 G	8.06 E
	C2	18.66 I	6.00 H
	C3	16.66 J	4.66 J
	HA C1	24.33 F	9.76 D
	HA C2	22.66 G	7.50 F
	HA C3	20.66 H	5.70 I
	C1+0.75NPK	32.00 C	11.86 B
	C2+0.5NPK	28.66 D	9.73 D
	C3+0.25NPK	26.33 E	6.86 G
	HA C1+0.75NPK	35.66 A	13.96 A
	HA C2+0.5NPK	33.66 B	10.83 C
	HA C3+0.25NPK	29.66 D	8.30 E

Blank: شاهد، NPK: کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک، C_1, C_2, C_3: به‌ترتیب ۲/٦، ۵/۲ و ۷/۸ تن در هکتار از ترکیب اصلاح‌کننده، HAC_1، HAC_2 و HAC_3 به‌ترتیب هیومیک‌اسید استخراجی در سطح ۲/٦، ۵/۲ و ۷/۸ کیلوگرم در هکتار. در هر ستون، تیمارهایی با حرف مشابه، دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD برای هر ماده اصلاح‌کننده نیستند.

Blank: control, NPK: chemical fertilizer, C_1, C_2, C_3: 2.6, 5.2, and 7.8 tons per hectare of each soil organic amendments, HAC_1, HAC_2, and HAC_3, respectively, the extracted humic acid from each soil organic amendments at doses of 2.6, 5.2, and 7.8 kg per hectare. In each column, the treatments with similar letter, indicates no significant difference at the 5% level based on the LSD test for each soil amedments.

سطح ۲/٦ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی، توانست میزان کلروفیل کل برگ را از ٤/٤ میلی‌گرم در گرم بافت تازه در تیمار شاهد به ١٦/٥٦ میلی‌گرم در گرم بافت تازه (افزایش حدود ۳/۸ برابر) برساند و همین پارامتر در سطح کاربرد ۷/۸ تن در هکتار خاک‌آب‌بندان، تنها ٤/٥ درصد افزایش را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ٤).

استفاده از ترکیباتی مانند هیومیک‌اسید و فولویک اسید استخراجی از لئوناردیت که نوعی محرک زیستی هستند، باعث بزرگ‌تر شدن میوه و باعث افزایش مقدار کلروفیل و سطح برگ می‌شوند (۳۰). برخی از محققین، بیش‌تر بودن میزان سطح برگ و کلروفیل در تیمار ورمی‌کمپوست و کوکوپیت را به وجود مقادیر بالای مواد مغذی در بستر کشت فلفل سبز، نسبت داده‌اند (۱). از طرفی دیگر، هیومیک‌اسید نقش مؤثری در افزایش نفوذپذیری غشای سلولی دارد و سبب نفوذ بیش‌تر عناصر از جمله؛ منیزیم و نیتروژن به درون سلول می‌شود (۳۱). بنابراین، می‌توان بیان داشت که افزایش میزان کلروفیل به علت نقش مؤثر هیومیک‌اسید در اصلاح‌کننده‌های آلی است. افزایش جذب عناصرغذایی توسط گیاه در اثر کاربرد هیومیک‌اسید، منجر به افزایش جذب نیتروژن می‌شود، در نتیجه با افزایش میزان جذب نیتروژن گیاه، میزان کلروفیل گیاه نیز افزایش می‌یابد (۳۲). اثر هیومیک اسید در افزایش کلروفیل، به نقش آن در پایین آوردن pH و افزایش رنگدانه کلروفیل نیز نسبت داده شد (۳۳). افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل در فلفل و لوبیا چشم بلبلی در پی کاربرد محلول‌پاشی هیومیک‌اسید، می‌تواند به علت تأمین عناصر کم‌مصرف و افزایش جذب عناصر از طریق افزایش حجم ریشه، سطح و تعداد برگ باشد (٣٤، ٣٥).

اثر ترکیبات مختلف اصلاح‌کننده آلی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در میوه فلفل سبز: در جدول ۵، نتایج تجزیه واریانس اثر معنی‌دار تیمارها، سطوح تیمار و برهم‌کنش تیمار بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد ($P<0/01$) نشان داده‌ها داده شده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر اصلاح‌کننده آلی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در میوه فلفل سبز.

Table 5- Analysis of variance (mean squares) for the effect of organic amendments on concentration of nitrogen, phosphorouse and potassium in green pepper.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorous	پتاسیم Potassium
تکرار (Replication)	2	0.010	0.000079	0.0098
تیمار (Treatment)	2	20.65**	0.18**	2.99**
خطا (تکرار*تیمار) Error (Replication* Treatment)	4	0.008	0.000079	0.0059
سطوح تیمار(Treatment levels)	13	23.90**	0.17**	11.05**
تیمار * سطوح تیمار (Treatment*Treatment levels)	26	0.50**	0.0058**	0.14**
خطا (تکرار*تیمار*سطوح تیمار) Error (Replication*Treatment*Treatment levels)	78	0.027	0.000592	0.0052
کل (Total)	125	367.36	2.78	153.86
درصد ضریب تغییرات C.V (%)		4.70	4.72	1.95

**معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

**: Significant at $p\leq0.01$

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر اصلاح‌کننده آلی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم (درصد) در میوه فلفل سبز.

Table 6- Mean comparison of organic amendments on concentration of nitrogen, phosphorous and potassium (%) in green pepper.

اصلاح‌کننده آلی Organic amendments	تیمار Treatment	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	فسفر (درصد) Phosphorous (%)	پتاسیم (درصد) Potassium (%)
G1 (Leonardite)	Blank	1.06 J	0.20 F	1.50 L
	NPK	1.53 I	0.33 E	2.20 K
	C1	3.36 G	0.60 C	3.90 H
	C2	2.76 H	0.50 D	3.40 I
	C3	2.46 H	0.50 D	2.80 J
	HA C1	4.93 E	0.70 B	4.30 F
	HA C2	3.90 F	0.60 C	4.16 G
	HA C3	3.30 G	0.50 D	3.30 I
	C1+0.75NPK	6.50 B	0.70 B	5.23 C
	C2+0.5NPK	5.46 D	0.66 B	4.93 D
	C3+0.25NPK	4.63 E	0.60 C	4.00 H
	HA C1+0.75NPK	7.70 A	0.80 A	5.90 A
	HA C2+0.5NPK	5.96 C	0.70 B	5.63 B
	HA C3+0.25NPK	5.53 D	0.60 C	4.63 E
G2 (Vermicompost)	Blank	1.06 I	0.20 F	1.50 K
	NPK	1.53 H	0.33 E	2.20 J
	C1	2.96 F	0.60 B	3.73 E
	C2	2.10 G	0.50 C	3.30 G
	C3	1.66 H	0.40 D	2.90 I
	HA C1	4.26 D	0.70 A	4.16 C
	HA C2	3.30 E	0.50 C	3.53 F
	HA C3	2.30 G	0.50 C	3.10 H
	C1+0.75NPK	5.50 B	0.70 A	4.90 B
	C2+0.5NPK	4.76 C	0.60 B	3.80 E
	C3+0.25NPK	3.20 F	0.50 C	3.43 F
	HA C1+0.75NPK	6.63 A	0.70 A	5.50 A
	HA C2+0.5NPK	5.70 B	0.60 B	4.86 B
	HA C3+0.5NPK	4.03 D	0.60 B	3.93 D
G3 (Black soils)	Blank	1.06 K	0.20 G	1.50 K
	NPK	1.53 I	0.33 F	2.20 J
	C1	2.23 G	0.40 E	3.56 FE
	C2	1.83 H	0.40 E	3.06 G
	C3	1.30 J	0.30 F	2.63 I
	HA C1	3.23 E	0.50 DC	3.96 D
	HA C2	2.60 F	0.46 D	3.46 F
	HA C3	1.93 H	0.40 E	2.80 H
	C1+0.75NPK	4.16 C	0.53 C	4.80 B
	C2+0.5NPK	3.63 D	0.50 DC	4.03 D
	C3+0.25NPK	2.46 F	0.40 E	3.16 G
	HA C1+0.75NPK	5.20 A	0.66 A	5.26 A
	HA C2+0.5NPK	4.56 B	0.60 B	4.50 C
	HA C3+0.25NPK	3.73 D	0.50 DC	3.63 E

Blank: شاهد، NPK: کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک، C_1, C_2, C_3: به‌ترتیب ۲/٦ ، ۵/۲ و ۷/۸ تن در هکتار از ترکیب اصلاح‌کننده، HAC_1،HAC_2 و HAC_3 به‌ترتیب هیومیک‌اسید استخراجی در سطح ۲/٦ ، ۵/۲ و ۷/۸ کیلوگرم در هکتار. در هر ستون، تیمارهایی با حرف مشابه، دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD برای هر ماده اصلاح‌کننده، نیستند.

Blank: control, NPK: chemical fertilizer, C_1, C_2, C_3: 2.6, 5.2, and 7.8 tons per hectare of each soil organic amendments, HAC_1, HAC_2, and HAC_3, respectively, the extracted humic acid from each soil organic amendments at doses of 2.6, 5.2, and 7.8 kg per hectare. In each column, the treatments with similar letter, indicates no significant difference at the 5% level based on the LSD test for each soil amedments.

مطابق با جدول ٦، کاربرد مقدار ۲/٦ کیلـوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراجی از هر یک از تیمارهای سه‌گانه، سبب افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم میـوه نسـبت بـه شـاهد شـد. بـا کـاربرد ۲/٦

کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی (NPK) مقدار عنصر نیتروژن از ۱/۰۷ به ۷/۷ درصد افزایش یافته است. این افزایش در سطوح ۵/۲ و ۷/۸ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراج‌شده از لئوناردیت به‌همراه ۵۰ و ۲۵ درصد کود شیمیایی (NPK) به‌ترتیب ٤/٥ و ٤/١ برابر بود. همچنین، با کاربرد ۷/۸ تن در هکتار خاک آب‌بندان، مقدار نیتروژن میوه ۳۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته است. تیمار ۲/٦ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراجی از لئوناردیت به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی توانسته غلظت فسفر میوه را از ۰/۲ به ۰/۷۷ درصد افزایش دهد، درحالی‌که تیمار ۲/٦ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید تولید شده از ورمی‌کمپوست به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی ٦ درصد نسبت به شاهد، افزایش معنی‌دار در غلظت فسفر را نشان داده است، همچنین، تیمار ۷/۸ تن در هکتار خاک آب‌بندان کم‌ترین تأثیر را نسبت به شاهد داشته است (جدول ٦). تیمار هیومیک‌اسید استخراجی از لئوناردیت در سطح ۲/٦ کیلوگرم در هکتار به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی، مقدار عنصر پتاسیم میوه را در فلفل سبز از ۱/٦۲ به ۵/۹۲ درصد افزایش معنی‌دار داده است. همچنین، تیمار ۲/٦ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید استخراجی از ورمی‌کمپوست به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی نسبت به تیمار شاهد توانسته غلظت پتاسیم را از ۱/٦۲ به ۵/٤۸ درصد افزایش دهد (جدول ٦).

میزان نیتروژن معدنی گاهی از اوقات به ویژه در اول فصل رشد در کم‌تر از حد بهینه است که منجر به محدودیت نیتروژن برای محصولات با نیاز بالا می‌شود. مصرف کودهای آلی علاوه بر افزایش مواد آلی خاک منجر به افزایش مقدار عناصرغذایی قابل جذب خاک به‌ویژه نیتروژن، می‌شود (۳٦). لئوناردیت و هیومیک‌اسید، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و نفوذ-پذیری ریشه را افزایش می‌دهند. بنابراین، باعث افزایش در دسترس بودن عناصرغذایی و در نتیجه تقویت رشد گیاه می‌شوند (۳۷، ۳۸). دمیر (۲۰۱۹)، گزارش کرد که کاربرد لئوناردیت باعث افزایش مقدار عناصرغذایی برگ و پارمترهای شیمیایی میوه (pH، مواد جامد محلول کل، محتوای فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدان) شد و با افزایش غلظت لئوناردیت مصرفی این صفات افزایش بیش‌تری داشتند (۳۹). نتایج این تحقیق با نتایج آرنکون و همکاران (۲۰۰٦) مطابقت داشت. این محققین بیان کردند که هیومیک‌اسید استخراجی از ورمی‌کمپوست، رشد ریشه گل همیشه بهار و فلفل سبز را افزایش داده است (۹). هیومیک‌اسید با کلات کردن عناصر ضروری سبب افزایش عناصرغذایی به خصوص عناصر مغذی شده و باروری خاک و عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد (۱). به علاوه هیومیک‌اسید با اسیدی کردن خاک سبب تسهیل در انحلال فسفر و پتاسیم گشته و میزان دسترسی به عناصرغذایی را افزایش می‌دهد. افزایش سطح ریشه در ریزوسفر سبب جذب بهتر برخی عناصر نظیر فسفر یا پتاسیم می‌گردد (٤۰). کاربرد تلفیقی عناصرغذایی موجود در کودهای آلی در کنار کودهای شیمیایی و زیستی سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود، و کمبود عناصرغذایی را جبران می‌کند در نتیجه حاصلخیزی خاک حفظ می‌شود که تولید پایدار را به‌همراه دارد (٤۱). همچنین، فعالیت آنزیم PM-ATPase ریشه را تحریک و انحلال و آزادسازی عناصرغذایی خصوصاً نیتروژن را آسان و جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد. هیومیک‌اسید با تغییرات مورفولوژیکی در ریشه، افزایش سطح جذب ریشه و افزایش انتقال مواد غذایی در گیاه را بالا برده و در نتیجه جذب فسفر افزایش می‌یابد (٤۲).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که کاربرد تلفیقی هیومیک‌اسید استخراجی از اصلاح‌کننده‌های لئوناردیت، ورمی‌کمپوست و خاک آب‌بندان همراه با کود شیمیایی (NPK) موجب افزایش میزان عملکرد در مقایسه با شاهد شده که در این میان اصلاح‌کننده لئوناردیت، بهتر از سایر موارد عمل کرده است. ارتفاع بوته در حدود ۱/۷ برابر، سطح برگ در حدود ۲/۳ برابر، کلروفیل کل برگ در حدود ۲/۷ برابر نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در این میان، کاربرد ۲/٦ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید استخراجی از لئوناردیت به‌همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه فلفل را به ترتیب ۷، ۲/۸ و ۲/۹ برابر در مقایسه با شاهد ارتقا بخشید. در این تحقیق، کاربرد توام کودهای آلی و شیمیایی توانسته‌اند به خوبی نیاز غذایی گیاه را تأمین کنند و صفات کمی و کیفی میوه را بهبود بخشند. لذا سیستم تغذیه‌ای تلفیقی (استفاده توأم کودهای آلی و شیمیایی) علاوه بر اینکه راهکاری برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی است، می‌تواند باعث عملکرد مطلوب گیاه نیز شود.

References

1. Gholamnejad, S., Arouiee, H. and Nemati, S.H. 2012. Effect of different ratios of coco peat and vermi compost as a cultural media on seed emergence and some qualitative and quantitative characteristics of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Transplants. J. Hortic. Sci. 25: 4. 369-375. (In persian)
2. Abbaszadeh, B. Asadisanam, S. and Layeghhaghiggi, M. 2019. Enhancement of phenoilc compounds of olive (Olea europaea L.) leaf with soil application of chemical and organic fertilizers. J. Plant Prod. 26: 3. 179-198. (In persian)
3. Veysi, H., Heydari, Gh. and Sohrabi, Y. 2016. The effect of mycorrhizal fungi and humic acid on yield and yield components of sunflower. J. Agroecol. 8: 4. 567-582. (In persian)
4. Safaee, M., Rahimi, A., Torabi, B. and Khoramghahfarokhi, A. 2016. Effect of vermi-compost fertilizer application and foliar spraying of compost tea and acid humic on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). J. Agroecol. 9: 3. 805-820. (In persian)
5. Samavat, S. and Malakuoti, M.J. 2005. The necessity of using organic acids (humic acid and fovic acid) to increase the quantity and quality of agriculture products. Soil Water Res. 46: 3. 1-13. (In persian)
6. Saneli, A., Karadogan, T. and Tonguc, M. 2013. Effect of leonardite applications on yeilde and some quality parameters of potatoes (*Solanum Tuberosum L.*). Turk. J. Field Crops. 18: 1. 20-26.
7. Abdollahi, K., Naeini, S.A. and Mashayekhi, K. 2007. The effect of organic matter in abbandansar sari wetland on some physical properties of the cultivation environment and evaporation in the pot. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 14: 4. 1-11. (In persian)
8. Jamir, T.V., Bahadur Rajwade, V., Prasad, M. and Lyngdoh, C. 2017. Effect of organic and manures and chemical fertilizers on growth and yield of sweet pepper (*Capsicum Annuum L.*) hybrid. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 6: 8. 1010-1019.
9. Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Lee, S. and Byrne, R. 2006. Effect of humic acids from vermicompost on plant growth. Eur. J. Soil Bio. 42: 65-69.
10. Nasiri, A., Makaryan, H., Varnaseri ghandali, V. and Salari, N. 2018. Investigate effect of humic acid and vermicompost application on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Appl. Field Crops Res. 31: 1. 93-109. (In Persian).
11. Gee, G.W. and Bauder, J. 1982. Particle size analysis. In method of soil analysis. Page A. L, miller, R. H. Keeney D.R (ed). Part 1. Madison, Wisconsin. Am. Soc. Agron. 384-412.

12. Mc-Lean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. In method of soil analysis. PageA. L (ed). Part 2. Chimical and Microbiological Properties. 2nd ed Madison, Wisconsin. Am. Soc. Agron. 99 -244.
13. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982, Total carbon, organic carbon and organic matter, In A. L Page (Ed), Method of soil analysis, Part2, Chemical and Microbiological Property, 2nd ed. Madison, Wisconsin. Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. 539-579.
14. Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of the degtareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-34.
15. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page AL (ed) Method of soil analysis, Part 2, 2nd edn. Agron Monogr. 9. Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am, Madison. 181-197.
16. Westerman, R.L(ED.). 1990. Soil testing and plant analysies. Soil Sci. Soc. Am, Madison, 96: 215-221.
17. Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1990. Phosphorus, In: Page A.L., Method of soil analysis, Partz, Znd agron monoger, ASA, Madison, WI. 403-431.
18. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chplorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomemberanes. Method Enzymol. 148: 350-382.
19. Hunt, R. 1997. Analysis of crop growth. Mashhad Univ. Jihad Publication. (In Persian)
20. Sparks, D.L. Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A. and Sumner, M.E. 1996. Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods. Soil Sci. Soc. Am. Inc.
21. Gupta, P.K. 2007. Soil, Plant, Water and fertilizer analisis. 2thd ed., Agrobios (India). PP: 366.
22. Yadav, R.L., Dwivedi, B.S. and Pandey, P.S. 2000. Rice–wheat cropping system: assessment of sustainability under green manuring and chemical fertilizer inputs. Field Crops Res. 65: 15-30.
23. Yadvinder, S.B., Ladha, S.J., Khind, K.C., Gupta, 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. Am. J. 68: 845-853.
24. Barahimi, N., Afyuni, M., Karami. M. and Rezaee Nejad, Y. 2009. Cumulative and residual effects of organic amendments on nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in soil and wheat. J. Water Soil Sci. 12: 46. 803-812. (In persian)
25. Sibanda, H.M. and Young S.D. 1989. Competitive adsorption of humus acids and P on goethite, gibbsite and two tropical soils. Eur. J. Soil Sci. 37: 197-204.
26. Vaughan, D.I. and MacDonald, R. 1976. Some effects of humic acid on cation uptake by parenchyma tissue. Soil Biol. Biochem. 8: 415-421.
27. Fazeli, S.F., Rezvani, H., Goldani, M. and Hemmati, N. 2019. Evaluation of the combined effect of organic and chemical fertilizers on some morphologhical and physiological characteristic, yield components and yield of green pepper in field conditions. J. Iranian Plant Ecophysiol. Res. 4: 55. 39-51. (In persian)
28. Hayes, M.H.B. and Clapp, C.E. 2001. Humic substances: Consideration of composition, aspect of structure and environmental influences. Soil Sci. 166: 723-737.
29. Liu, C. and Cooper, R.J. 2000. Humic substances influence creeping bentgrass growth. Golf Cours. Manag. 49-53.
30. Wadas, W. and Dziugieł, T. 2020. Changes in assimilation area and chlorophyll content of very early potato (*Solanum Tuberosum* L.) cultivars as influenced by biostimulants. Agron. 10: 387. 273-287.
31. Asri, F., Demirtas, E. and Ari, N. 2015. Changes in fruit yield, quality and nutrient concentrations in response to soil humic acid applications in processing tomato. Bulg. J. Agric. Sci. 21: 3. 585-591. (In persian).
32. Shadanpour, F., Mohammadi Torkashvand, A. and Hashemi Majd, K .2011. The effect of cow manure vermicompost as the planting medium on the growth of marigold. Ann. Biol. Res. 2: 6. 109-115.

33. Hossainian, Z., Kurihara, H. and Takahashi, K. 2003. Biochemical composition and lipid compositional properties of the brown alga Sargassum horneri. Pakistan Biol. Sci. J .6: 17. 1497-1500.
34. Karakurt, Y., Unlu, H. and Padem, H. 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. Acta Agri. Scand. Sec. B-Soil Plant. 59: 233-237.
35. Astaraei, A.R. and Ivani, R. 2008. Efect of organic souces as foliar spray and root madia on nutrition if cowpea plant. American–Eurasian Agric. Environ. Sci. J. 3: 3. 352-356.
36. Drinkwater, L.E., Letourneau, D.K., Worknesh, F., Van Bruggen, A.H.C. and Shennan, C. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. Ecol. Appl. 5: 4. 1098-1112.
37. O'Donnell, R.W. 1973. The auxin-like effects of humic preparations from leonardite. Soil Sci. 116: 106-112.
38. Malcolm, R. E. and Vaughan, D. 1979. Effects of humic acid on invertase activities in plant tissues and their interaction with an invertase inhibitor. Soil Biol. Biochem. 11: 65-72.
39. Demirer, T. 2019. Effect of leonardite application on leaf nutrient content and fruit chemical parameters of cherry (*Prunus avium* L.). J. Plant Nutr. 42: 19. 2532-2538.
40. Sanchez-Sanchez, A., Sanchez-Anderu, J., Juarez, M., Jorda, J. and Bermudez, D. 2002. Humic substances and amino acid improve effectiveness of chelate FeEDDHA in lemons trees. J. Plant Nutr. 25: 11. 2433-2442.
41. Javanmard, A., Sadeghian, M.A., Amani Machiani, M.A. and Abbasi, Fotoohi, K. 2019. The effect of separate and integrated application of vermicompost, biologic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). J. Crop Prod. Proc. 9: 1. 1-14.
42. Shookouhian, A.A., Asghari, A. and Mahmoodi, H. 2019. Investigation of the use of humic acid on nutrient uptake and quantitative and qualititative indicators of kiwi fruit. J. Hortic. Sci. 33: 2. 242-252. (In Persian)