J. Soil Plant Interact. 2025; 15(4): 65–77. https://doi.org/10.47176/jspi.15.4.12027

Journal of Soil and Plant Interactions

Journal homepage: https://jspi.iut.ac.ir/

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

The Effect of Wood Chip Compost and Potassium Sulfate on The Morpho-Physiological Characteristics of *Pelargonium × hortorum*

Zeynab Nasiri, Mahnaz Karimi* and Hossein Moradi

Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
* Corresponding author, Email: karimi@sanru.ac.ir

(Received: 4 October 2024; Revised: 30 December 2024; Accepted: 6 January 2025)

Abstract

In order to investigate the effect of wood chip compost and potassium sulfate on some morpho-physiological characteristics of geranium, Rocky Mountain Rock Red cultivar, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. The first factor was different percentages of wood chip compost (0, 5, 10, 15% replacing peat moss in the base growth medium) and the second factor was potassium sulfate (0, 1 and 2 mg/L). The composition of the base growth substrate (control) consisted of peat moss : perlite : garden soil (1:1:1 v/v). First, geranium seedlings were planted in pots containing different percentages of wood chip compost. After the adaptation of the plants to the growth media, fertilization with potassium sulfate was applied every 10 days. The results showed that the interactive effect of wood chip compost and potassium sulfate on plant height, and number of flowers, buds and leaves was significant at the probability level of 1%. The highest plant height was recorded in the treatment of 5% compost along with 2 mg/L of potassium sulfate. The highest number of inflorescences was observed in 10% compost in combination with 1 mg/L of potassium sulfate and 15% compost with 2 mg/L of potassium sulfate. The highest root fresh weight was recorded in 10% compost in combination with 2 mg/L of potassium sulfate. The amount of chlorophyll was maximum in 15% compost and 1 mg/L of potassium sulfate. The plants grown in 10% compost in combination with 2 mg/L of potassium sulfate had the highest amount of carotenoids. The effect of different percentages of compost used in combination with potassium sulfate on most of the examined traits was significant compared to the control. The 15% compost in combination with 2 mg/L of potassium sulfate performed better on stem height, and number of inflorescences and buds.

Keywords: Growth medium, Pigments, Ornamental plant, Fertilization.

Background and Objective: An important factor in the production of ornamental plants is the use of suitable growth media. In addition to appropriate physical and chemical properties, the growth media for plants should be cheap and easily available. Compost as an organic substance has a positive effect on the physical and chemical properties of the growth media. Fertilizers play an important role in improving the growth and development of plants. Potassium is effective in accelerating the growth and development of plants. This element plays an important role in the production of hydrocarbon materials, protein production, photosynthesis, and stomatal functioning (Tabatabaei, 2018; Nofa et al., 2024). The use of cheap and available organic materials, in addition to improving the plant vegetative and reproductive characteristics, can be important in reducing the cost of agricultural products. The purpose of this study was to investigate the effect of wood chip compost and potassium sulfate fertilizer on the morph-physiological characteristics of geranium plant.

Methods: A factorial experiment in a completely randomized design with two factors and four replications, was conducted in a greenhouse at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. The two factors were wood

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

chip compost (0, 5%, 10%, 15%) and potassium sulfate (0, 1 and 2 mg/L). Healthy and uniform geranium seedlings were planted and placed in the greenhouse temperature for two weeks to adapt to the environmental conditions. After two weeks, the seedlings were transferred to the growth media containing compost and placed inside the greenhouse with an average temperature of 22°C and a relative humidity of 60–70%. After the plant adaptation to the media, fertilization with the desired concentrations of potassium sulfate was applied every 10 days. Six months after applying the treatments, traits such as plant height, number of leaves, buds and inflorescences, root length, root volume, shoot fresh and dry weights, root fresh and dry weights, and chlorophyll, anthocyanin and potassium content were measured**.**

Results: The results showed that the highest plant height was measured in 5% compost with 2 mg/L of potassium. The highest number of inflorescences was observed in 10% compost combined with 1 mg/L of potassium, which was not significantly different from 15% compost treatment with 2 mg/L of potassium. The highest root fresh weight was measured in 10% compost in combination with 2 mg/L of potassium. The highest root dry weight was observed in 10% compost + 2 mg/L potassium. The plants grown in 10% compost in combination with 2 mg/L of potassium had the highest carotenoids content. The amount of anthocyanin was the highest in 2 mg/L potassium and in 15% compost. The highest total chlorophyll content was observed in the combined treatment of 15% wood chip compost and 1 mg/L of potassium.

Conclusions: The findings of the present study showed that most of the substrates containing compost and potassium sulfate fertilizer had a significant effect on improving the vegetative and flowering traits of geranium compared to the control. An increase in the number of inflorescences was observed in 10 and 15% compost in combination with potassium fertilizer. Anthocyanin pigment showed an increase in 15% compost and 2 mg/L potassium compared to the control. The number of leaves was the highest in the plants grown in 15% compost and 1 and 2 mg/L of potassium fertilizer. Therefore, the use of wood chip compost along with potassium sulfate fertilizer is recommended to improve the morphological and physiological characteristics of geranium.

References:

1. Nofal, E., Menesy, F.M., Abd El-Hady, W.G., Shehab, E., El-Ramady, H., Prokisch, J., 2024. Effect of Nano-NPK and Nano-Chitosan fertilizers on the growth and chemical constituents of *Philodendron sellum* plants. Egypt. J. Soil Sci. 64(3), 1193–1205. https://doi.org/10.21608/ejss.2024.289119.1769.
2. Tabatabaei, S.J., 2018. Principles of Plant Mineral Nutrition. First edition, Tabriz University Press, 562 p.

How to Cite: Nasiri, Z., Karimi, M., Moradi, H., 2025. The effect of wood chip compost and potassium sulfate on the morpho-physiological characteristics of *Pelargonium* × *hortorum*. J. Soil Plant Interact. 15(4), 65–77 (In Persian). https://doi.org/10.47176/jspi.15.4.12027

روابط خاک و گیاه ۱۴۰۳؛ (۴)۱۵: ۷۷-۶۵، https://doi.org/10.47176/jspi.15.4.12027

روابط خاک و گیاه

صفحه خانگی فصلنامه: https://jspi.iut.ac.ir/

شاپا: ۵۰۱۴-۲۷۸۳ شاپا الکترونیکی: ۵۲۸۶-۲۷۸۳

مقاله پژوهشی

بررسی اثر کمپوست تراشه چوب و سولفات پتاسیم در بهبود صفات مورفو-فیزیولوژیک گیاه شمعدانی

زینب نصیری، مهناز کریمی* و حسین مرادی

گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: karimi@sanru.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۱۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کمپوست تراشه چوب و سولفات پتاسیم بر برخی صفات مورفو-فیزیولوژیک شمعدانی رقم Rocky Mountain Rock Red آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتور اول درصدهای مختلف کمپوست تراشه چوب (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ درصد جایگزین پیت ماس در بستر پایه) و فاکتور دوم سولفات پتاسیم (صفر، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) بود. ترکیب بستر پایه (شاهد) شامل پیت ماس : پرلیت : خاک باغچه (با نسبت حجمی برابر) انتخاب شد. ابتدا گیاهچه‌های شمعدانی در بستر دارای درصدهای مختلف کمپوست تراشه چوب در گلدان کشت شدند. پس از سازگاری گیاهان به بستر کشت، کوددهی با سولفات پتاسیم هر ۱۰ روز یک‌بار در بستر کشت اعمال شد. براساس نتایج به‌دست آمده اثر برهمکنش کمپوست تراشه چوب و سولفات پتاسیم بر ارتفاع، تعداد گل‌آذین، تعداد غنچه و تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار کمپوست تراشه چوب ۵ درصد به همراه دو میلی گرم بر لیتر سولفات پتاسیم حاصل شد. بیش‌ترین تعداد گل‌آذین در تیمار کمپوست تراشه چوب ۱۰ درصد در ترکیب با یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم و کمپوست ۱۵ درصد به همراه دو میلی گرم بر لیتر سولفات پتاسیم مشاهده شد. بیش‌ترین وزن تازه ریشه در کمپوست ۱۰ درصد در ترکیب با دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم ثبت شد. میزان کلروفیل در کمپوست ۱۵ درصد و یک میلی گرم بر لیتر سولفات پتاسیم بیشینه بود. گیاهان پرورش‌یافته در کمپوست ۱۰ درصد در ترکیب با دو میلی گرم بر لیتر سولفات پتاسیم دارای بیش‌ترین میزان کاروتنوئید بودند. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تأثیر درصدهای مختلف کمپوست مورد استفاده در ترکیب با سولفات پتاسیم در مقایسه با تیمار شاهد بر بیش‌تر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. کمپوست ۱۵ درصد در ترکیب با دو میلی گرم بر لیتر سولفات پتاسیم بر ارتفاع ساقه، تعداد گل‌آذین و غنچه تاثیر بیش‌تری داشت.

واژه‌های کلیدی: بستر کشت، رنگیزه‌های گیاهی، گیاه زینتی، کوددهی.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

شمعدانی گیاهی چندساله با ساقه‌های نیمه‌چوبی است. *Pelargonium × hortorum* گونه دورگ شمعدانی با رقم‌های مختلف با تنوع در رنگ، اندازه گل و برگ است. شمعدانی‌ها جایگاه دوم را در صنعت بین‌المللی گل‌های گلدانی به خود اختصاص داده‌اند (Tzortzakis et al., 2020). یکی از عوامل مهم در تولید و پرورش گیاهان زینتی استفاده از بستر کشت مناسب است. بستر کشت علاوه بر داشتن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مناسب، باید ارزان و در دسترس باشد. صنایع چوب و کاغذ استان مازندران شهرستان ساری، هر ساله حدود ۱۷۵۰۰۰ تن کاغذ تولید می‌کند و از پسماندهای این کارخانه چندین تن کمپوست و کود آلی گرانوله به‌دست می‌آید. در دسترس و ارزان بودن این ماده آلی موجب استفاده آن در تولید محصولات کشاورزی و زراعی شده است (Shamsi and Watani, 2018). با توجه به هزینه‌های زیاد واردات موادی مانند کوکوپیت و پیت ماس، می‌توان با استفاده از پسماندهای کشاورزی موجود در کشور باعث کاهش واردات و هزینه تولید شد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بقایای آلی پس از فرایند صحیح کمپوست شدن می‌توانند به‌عنوان بستر کشت جایگزین پیت به‌کار روند. کمپوست نوعی کود آلی است که در تغذیه و بهبود شرایط خاک نقش دارد و از دیرباز به‌دلیل آثار اصلاح‌کنندگی که روی ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیک خاک و بهبود رشد گیاه دارد مورد توجه کشاورزان بوده است (Mirakalaei et al., 2013). در پژوهشی تأثیر درصدهای مختلف کمپوست ضایعات چوب (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) بر برخی صفات رشدی و گل‌دهی گیاه لیلیوم مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین تعداد غنچه در ۲۵ و ۷۵ درصد کمپوست به‌دست آمد. گیاهان در بستر کشت ۱۰۰ درصد کمپوست دارای کم‌ترین ارتفاع ساقه بودند (Rahmani et al., 2018). در پژوهشی روی گل آهار، بیش‌ترین تعداد گل و محتوای نیتروژن برگ در بستر دارای ۱۰۰ درصد کمپوست تراشه چوب حاصل شد (Akbarzadeh et al., 2023). کاربرد کمپوست ضایعات پسته، میزان غلظت عناصر روی، نیتروژن، منگنز و آهن را در برگ دانهال‌های پسته در مقایسه با شاهد افزایش داد (Sherafati et al., 2023). در پژوهشی بیش‌ترین ارتفاع ساقه در گیاه لیلیوم رقم نشویل، در بستر ۲۵ درصد کمپوست حاصل شد. همچنین غلظت عنصر نیتروژن در بستر دارای ۷۵ درصد کمپوست در بیشینه بود (Alami et al., 2021).

عناصر غذایی، نقش مهمی در بهبود عملکرد گیاهان دارند. پتاسیم در تسریع رشد و نمو، ساخت هیدروکربن‌ها، پروتئین، فتوسنتز و باز و بسته شدن روزنه‌ها نقش مهمی دارد (Tabatabaei, 2018; Nofa et al., 2024). در پژوهشی تأثیر سولفات پتاسیم بر صفات رویشی و زایشی گل شب بو مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد سولفات پتاسیم طول و قطر ساقه را بهبود بخشید (Salehi et al., 2018). اثر مثبت کوددهی پتاسیم بر رشد، گل‌دهی و کیفیت گیاهان زینتی مختلف از جمله آهار، کوکب، گلایل، ژربرا لیلیوم، میخک و داودی گزارش شده است (Gulser Cig., 2021).

از آنجایی‌که امروزه صنعت تولید گل در دنیا به یک کار تجاری بزرگ تبدیل شده و در کشور ما نیز گام‌های اساسی در زمینه گسترش این صنعت برداشته شده است، استفاده از منابع غیرآلاینده و سازگار با طبیعت برای تأمین بستر رشد گیاهان توجه بیش‌تر پژوهشگران را به خود جلب کرده است. استفاده از مواد آلی ارزان و در دسترس علاوه بر بهبود صفات رویشی و زایشی گیاه می‌تواند در کاهش هزینه تولید گل و گیاه زینتی نقش مهمی ایفا کند. هدف از پژوهش حاضر بررسی نقش کمپوست تراشه چوب و کود سولفات پتاسیم بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیک گیاه شمعدانی بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. فاکتور اول کمپوست

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های کمپوست و خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some characteristics of compost and soil used in the experiment

بستر کشت Growth medium	pH	رسانایی الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS/m)	کربن آلی (٪) Organic carbon (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در لیتر) Available phosphorus (mg/L)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در لیتر) Available potassium (mg/L)
خاک Soil	7.4	1.8	1.93	0.20	21.22	249
کمپوست Compost	8.1	2.5	10.53	0.34	76.2	670

تراشه چوب (با نسبت‌های صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ درصد حجمی) و فاکتور دوم سولفات پتاسیم (صفر، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) بود. ترکیب بستر پایه (شاهد) شامل پیت ماس : پرلیت : خاک باغچه با نسبت حجمی برابر بود. کمپوست تراشه چوب از صنایع چوب و کاغذ ساری خریداری شد. برای همه تیمارها ابتدا بستر پایه تهیه شد و سپس کمپوست با نسبت‌های ذکرشده جایگزین پیت ماس گردید. نسبت پرلیت و خاک باغچه در همه بسترهای کشت ثابت بود. در جدول (۱)، برخی از ویژگی‌های کمپوست تراشه چوب و خاک مورد استفاده در آزمایش ذکر شده است. غلظت پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر، نیتروژن با کجلدال و فسفر قابل جذب با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Wahing et al., 198; Olsen and Sommers., 1982). کربن آلی با روش Nelson and Sommers (1982) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فسفر قابل جذب خاک و کمپوست، مقدار ۵ گرم نمونه را وزن و درون ارلن ریخته و مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول بی‌کربنات سدیم به آن افزوده و به مدت نیم ساعت تکان داده شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از محلول جدا کرده و به آن ۲۵ میلی‌لیتر اسید افزوده شد. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه تکان داده شد و سپس عصاره با دستگاه اسپکتروفتومتر با افزودن استاندارد قرائت شد (Olsen and Sommers, 1982). برای اندازه‌گیری نیتروژن کل، یک گرم نمونه خاک و کمپوست هر کدام به‌طور جداگانه کوبیده و پس از الک کردن در بالن ژوژه ریخته شد. سپس ۱/۱ گرم مخلوط کاتالیست، ۲ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. نمونه‌ها روی اجاق برقی قرار گرفت و دما تا ۳۷۰ درجه سلسیوس به‌تدریج افزایش یافت. سپس مقدار ۲۵ میلی‌لیتر اسید بوریک و اندیکاتور در ارلن مایر ریخته شد. پس از شستشوی بالن، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر سود ۱۰ نرمال به آن افزوده شد. در نهایت پس از ۷ دقیقه، محتویات بالن با اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال تیتر شد.

گیاهچه‌های سالم و یکنواخت شمعدانی رقم Rocky Mountain Rock Red که از طریق قلمه ریشه‌دار شده و دو ماه از انتقال آن‌ها به گلدان با قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر گذشته بود، از گلخانه‌ای در پاکدشت ورامین خریداری شدند. گیاهان به‌مدت دو هفته در گلخانه (داخل گلخانه با میانگین دمای ۲۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد) قرار گرفتند تا با شرایط محیطی مکان آزمایش سازگار شوند. پس از دو هفته، گیاهچه‌ها به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر دارای بسترهای کشت مورد نظر منتقل شدند. دو هفته پس از سازگاری گیاهان، سولفات پتاسیم در غلظت‌های مورد نظر در آب مقطر حل شده و به میزان ۴۰۰ میلی‌لیتر هر ۱۰ روز یکبار در بستر کشت اعمال شد. گیاهان هر پنج روز با آب مقطر در فواصل کوددهی آبیاری شدند.

شش ماه پس از شروع تیمار، صفاتی چون ارتفاع، تعداد برگ، تعداد جوانه جانبی، تعداد غنچه، تعداد گل‌آذین، طول ریشه، حجم ریشه، وزن تازه و خشک شاخساره، وزن تازه و خشک ریشه، محتوای کلروفیل، آنتوسیانین، عنصر پتاسیم برگ مورد بررسی قرار گرفت. تعداد برگ، تعداد جوانه جانبی و

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر کمپوست و پتاسیم بر ارتفاع، تعداد گل‌آذین، غنچه و برگ شمعدانی

Table 2. Variance analysis of the effect of compost and potassium on height, number of inflorescence, buds and leaves of geranium.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	ارتفاع Height	تعداد گل‌آذین Number of inflorescence	تعداد غنچه Number of buds	تعداد برگ Number of leaves
کمپوست (A) Compost	3	7.99**	20.74**	16.74**	130.38**
پتاسیم (B) Potassium	2	0.75 ns	9.77**	3.14*	3.06 ns
A × B	6	3.81**	4.99**	8.86**	105.11**
خطا (Error)	36	0.99	0.38	0.75	20.75
ضریب تغییرات CV (%)		6.27	17.14	8.40	15.84

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر اثر غیرمعنی‌دار و آثار معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد است.

ns, * and ** stand for non-significant effect, and significant effects at 5 and 1% probability levels, respectively.

تعداد غنچه در هر بوته شمارش شد. ارتفاع و طول ریشه بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن تازه شاخساره به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تازه ریشه، ریشه را با آب شستشو داده تا باقی‌مانده خاک جدا شده و تمیز گردد و پس از آن‌که آب اضافی خارج شد به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای محاسبه وزن خشک شاخساره و ریشه پس از توزین وزن تازه، شاخساره و ریشه را به‌طور جداگانه در داخل پاکت کاغذی گذاشته و در آون ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند.

برای اندازه‌گیری کلروفیل و کارتنوئید، ۰/۵ گرم بافت تازه در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ ۶۰۰۰ دور در دقیقه، عصاره به‌وسیله اسپکتروفتومتر (UV-1800 pc) در طول موج ۴۷۰، ۶۵۲ و ۶۶۵ نانومتر قرائت شد (Carter and Knapp, 2001).

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین ابتدا ۰/۱ گرم از بافت گلبرگ با ۵ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول و اسید کلریدریک به نسبت حجمی ۱:۹۹) در هاون کوبیده شد. عصاره به‌دست آمده در فالکون‌های ۱۰ میلی‌لیتری به‌مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس در دستگاه سانترفیوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه و دور ۴۰۰۰ قرار گرفتند. عصاره به‌دست آمده با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد (Wanger, 1979). با رابطه A=Ɛbc (A= مقدار عددی جذب در طول موج ۵۵۰ نانومتر، Ɛ= ۳۳۰۰۰، b= ۱، c= آنتوسیانین) مقدار عددی آنتوسیانین به‌دست آمد.

برای اندازه‌گیری درصد پتاسیم، نمونه‌های برگ در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک و پودر شد. پس از تهیه خاکستر از مواد گیاهی و عصاره‌گیری، غلظت یون پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتری اندازه‌گیری شد (Wahing et al., 1989).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

براساس جدول تجزیه واریانس (۲)، اثر برهمکنش کمپوست تراشه چوب و سولفات پتاسیم بر ارتفاع، تعداد گل‌آذین، تعداد غنچه و تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار کمپوست تراشه چوب ۵ درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش کمپوست و کود پتاسیم بر ارتفاع، و تعداد گل‌آذین، غنچه و برگ در هر گلدان شمعدانی

Table 3. Mean comparisons of the interactive effect of compost and potassium on height, and number of inflorescence, buds and leaves per pot in geranium.

کمپوست (درصد) Compost (%)	پتاسیم (میلی‌گرم در لیتر) Potassium (mg/L)	ارتفاع Height	تعداد گل‌آذین Number of inflorescence	تعداد غنچه Number of buds	تعداد برگ Number of leaves
0	0	14.93^{ef}	1.00^{f}	9.00^{de}	21.00^{f}
	1	15.81^{b-e}	1.75^{ef}	8.00^{e}	22.25^{ef}
	2	16.37^{bcd}	2.25^{e}	9.00^{de}	28.75^{b-d}
5	0	14.25^{f}	3.25^{cd}	10.75^{bc}	24.50^{def}
	1	17.06^{ab}	4.75^{b}	9.50^{d}	26.25^{c-f}
	2	17.93^{a}	3.75^{c}	9.50^{d}	29.75^{b-d}
10	0	15.81^{b-e}	3.25^{cd}	11.00^{b}	28.50^{b-e}
	1	16.43^{bc}	6.25^{a}	11.50^{b}	33.25^{ab}
	2	15.00^{def}	4.00^{bc}	9.75^{cd}	38.50^{a}
15	0	15.00^{def}	2.50^{de}	11.00^{b}	30.75^{bcd}
	1	15.62^{c-f}	4.75^{b}	11.25^{b}	29.75^{bcd}
	2	16.75^{abc}	5.75^{a}	14.00^{a}	31.75^{bc}

در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% level of probability using LSD test.

به همراه دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم مشاهده شد. تیمار برتر نسبت به شاهد ۲۰/۰۹ درصد افزایش نشان داد که با تیمارهای کمپوست تراشه چوب ۵ درصد به همراه یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم و کمپوست تراشه چوب ۱۵ درصد در ترکیب با دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

بیش‌ترین تعداد گل‌آذین در تیمار کمپوست تراشه چوب ۱۰ درصد در ترکیب با یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم مشاهده شد که با تیمار کمپوست تراشه چوب ۱۵ درصد به همراه دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

بیش‌ترین تعداد غنچه در هر گل‌آذین با افزایش ۵۵/۵۵ درصدی نسبت به شاهد در کمپوست ۱۵ درصد به همراه دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم به وجود آمد. در تیمار کمپوست تراشه چوب ۱۰ درصد و دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم بیش‌ترین تعداد برگ ایجاد شد که با تیمار کمپوست تراشه چوب ۱۰ درصد در ترکیب با یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، برهمکنش غلظت‌های مختلف کمپوست و سولفات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد بر وزن تازه و خشک ساقه، وزن تازه و خشک ریشه و طول ریشه معنی‌دار بود.

بیش‌ترین طول ریشه در تیمار کمپوست تراشه چوب ۵ درصد در ترکیب با دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم ثبت شد که با تیمار کمپوست تراشه چوب ۱۰ درصد تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بیش‌ترین وزن تازه ریشه در تیمار کمپوست تراشه چوب ۱۰ درصد به همراه دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به کمپوست تراشه چوب ۱۰ درصد به همراه یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم بود که با تیمارهای کمپوست ۱۰ درصد و دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم، کمپوست ۱۵ درصد به همراه یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم، کمپوست ۵ درصد در ترکیب با ۰، یک و دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین وزن تازه ساقه در کمپوست

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر کمپوست و پتاسیم بر زیست‌توده در شمعدانی

Table 4. Variance analysis of the effect of compost and potassium on biomass in geranium

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	وزن تازه ساقه Stem fresh weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	طول ریشه Root length	وزن تازه ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
کمپوست (A) Compost	3	1440.94**	557.55**	412.52**	79.92**	3.93**
پتاسیم (B) Potassium	2	168.30*	72.96**	122.06**	1.01^{ns}	1.08**
A × B	6	386.21**	115.44**	119.64**	81.26**	1.50 **
خطا (Error)	36	55.81	4.58	3.27	1.36	0.09
ضریب تغییرات CV (%)		21.18	18.13	5.79	10.49	10.43

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر اثر غیرمعنی‌دار و آثار معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد است.

ns, * and ** stand for non-significant effect, and significant effects at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر برهمکنش کمپوست و پتاسیم بر زیست‌توده در هر گلدان شمعدانی

Table 5. Mean comparisons of the interactive effect of compost and potassium on biomass per pot in geranium

کمپوست (درصد) Compost (%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر لیتر) Potassium (mg/L)	وزن تازه ساقه (گرم) Stem fresh weight (g)	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	وزن تازه ریشه (گرم) Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)
0	0	20.90^{g}	4.40^{f}	20.25^{f}	6.79^{e}	1.45^{d}
	1	32.46^{cde}	5.20^{ef}	20.75^{f}	10.45^{d}	2.42^{c}
	2	23.87^{efg}	8.12^{de}	27.75^{d}	10.68^{d}	1.82^{d}
5	0	31.71^{def}	5.10^{ef}	25.00^{e}	10.06^{d}	3.35^{ab}
	1	21.65^{fg}	5.20^{ef}	26.50^{de}	9.88^{d}	3.25^{ab}
	2	34.30^{b-e}	9.75^{cd}	42.00^{a}	14.05^{bc}	3.20^{ab}
10	0	36.34^{bcd}	12.26^{c}	39.50^{a}	13.33^{c}	3.50^{ab}
	1	47.75^{a}	18.15^{b}	34.75^{bc}	15.34^{b}	3.60^{a}
	2	43.98^{b}	30.42^{a}	33.00^{c}	20.25^{a}	3.55^{a}
15	0	32.90^{cde}	11.10^{cd}	35.75^{b}	7.01^{e}	2.42^{c}
	1	34.18^{b-e}	16.27^{b}	36.00^{b}	9.96^{d}	3.50^{ab}
	2	43.16^{bc}	15.72^{b}	33.00^{c}	5.87^{e}	3.07^{b}

در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% level of probability using LSD test.

۱۰ درصد به همراه یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم ثبت شد. بیش‌ترین وزن خشک ریشه در کمپوست ۱۰ درصد در ترکیب با دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم مشاهده شد (جدول ۵).

بر طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) برهمکنش اثر غلظت‌های مختلف کمپوست و کود سولفات پتاسیم بر میزان

جدول ۶. تجزیه واریانس اثر کمپوست و کود سولفات پتاسیم بر محتوای کلروفیل، کارتنوئید، آنتوسیانین و عنصر پتاسیم در گیاه شمعدانی

Table 6. Variance analysis of the effect of compost and potassium sulfate on the contents of chlorophyll, carotenoid, anthocyanin and potassium in geranium

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid	آنتوسیانین Anthocyanin	پتاسیم Potassium
کمپوست (A) Compost	3	0.0021**	1.07**	27.42**	0.0183**
پتاسیم (B) Potassium	2	0.026**	0.54**	15.66**	0.0023**
A × B	6	0.010*	0.01*	0.19^{ns}	0.0052**
خطا (Error)	36	0.005	0.004	0.12	0.00001
ضریب تغییرات CV (%)		17.05	4.03	3.10	0.28

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر اثر غیرمعنی‌دار و آثار معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد است.

ns, * and ** stand for non-significant effect, and significant effects at 5 and 1% probability levels, respectively.

کلروفیل کل، کاروتنوئید و درصد عنصر پتاسیم برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر مستقل کمپوست و سولفات پتاسیم بر میزان رنگیزه آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

بیش‌ترین میزان کلروفیل کل تحت تیمار کمپوست تراشه چوب ۱۵ درصد به همراه یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم مشاهده شد. گیاهان پرورش‌یافته در کمپوست ۱۰ درصد و دو میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم دارای بیش‌ترین میزان کاروتنوئید بودند. در کمپوست ۱۰ درصد به همراه یک و دو میلی‌گرم بر لیتر کود پتاسیم بیش‌ترین میزان عنصر پتاسیم در برگ ثبت شد (جدول ۷). بیش‌ترین میزان آنتوسیانین در سولفات پتاسیم دو میلی‌گرم بر لیتر بود (شکل ۱). همچنین این رنگدانه در کمپوست ۱۵ درصد در بیشینه مقدار بود (شکل ۲).

بحث

نتایج پژوهش حاضر حاکی از تأثیر مثبت کمپوست تراشه چوب و سولفات پتاسیم بر برخی صفات گل‌دهی و فیزیولوژیک شمعدانی بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد گل‌آذین در تیمار کمپوست ۱۰ درصد در ترکیب با یک میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم و کمپوست ۱۵ درصد به همراه دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم ثبت شد. همچنین تعداد غنچه در هر گل‌آذین با افزایش ۵۵/۶ درصدی نسبت به شاهد در کمپوست ۱۵ درصد به همراه دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم مشاهده شد. مواد آلی موجود در بستر کشت نقش مهمی در بهبود صفات رویشی و زایشی گیاه دارند. در پژوهش حاضر، کمپوست تراشه چوب دارای مواد آلی بیش‌تری در مقایسه با خاک بود (جدول ۱). براساس یافته‌های پژوهش حاضر، کاربرد کمپوست تراشه چوب در بستر کشت گیاه لیلیوم سبب افزایش تعداد غنچه شد (Rahmani et al., 2018). فراهمی مواد غذایی نقش اساسی در تشکیل گل دارد. گزارش شده است کمپوست علاوه بر عناصر غذایی دارای مقادیر زیادی مواد هیومیکی است که این مواد از طریق بهبود زیست‌فراهمی عناصر غذایی باعث افزایش رشد و گل‌دهی می‌شوند (Chen et al., 2004). عنصر پتاسیم در شروع گل آغازی و تشکیل گل مؤثر است. کمبود پتاسیم می‌تواند منجر به انتقال ضعیف مواد مغذی و آب گردد که بر سلامت کلی گیاه و تولید اندام‌های زایشی اثر دارد

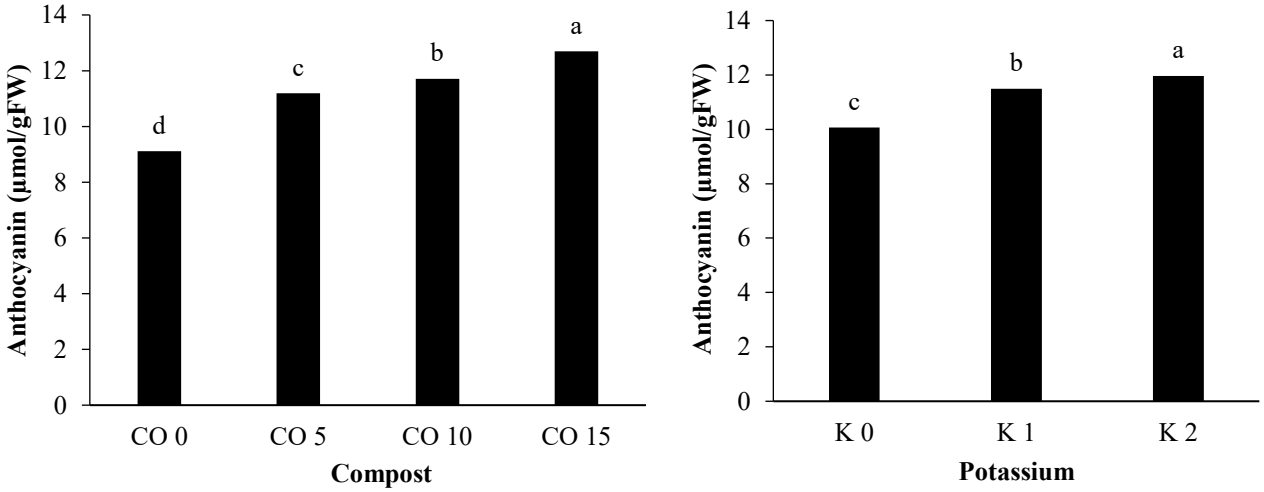
جدول ۷. مقایسه میانگین اثر برهمکنش کمپوست و سولفات پتاسیم بر محتوای کلروفیل، کارتنوئید، آنتوسیانین و عنصر پتاسیم در گیاه شمعدانی

Table 7. Mean comparisons of the interactive effect of compost and potassium sulfate on the contents of chlorophyll, carotenoid, anthocyanin and potassium in geranium

کمپوست (درصد) Compost (%)	پتاسیم (میلی‌گرم در لیتر) Potassium (mg/L)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) Total chlorophyll (mg/g FW)	کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) Carotenoid (mg/g FW)	پتاسیم (درصد) Potassium (٪)
0	0	0.18^{e}	0.92^{k}	1.201^{g}
	1	0.22^{de}	1.19^{j}	1.202^{g}
	2	0.23^{cde}	1.34^{i}	1.218^{f}
5	0	0.24^{b-e}	1.47^{h}	1.217^{f}
	1	0.25^{bcd}	1.66^{ef}	1.219^{f}
	2	0.28^{bcd}	1.71^{de}	1.237^{e}
10	0	0.27^{bcd}	1.53^{gh}	1.245^{d}
	1	0.29^{bc}	1.78^{cd}	1.323^{a}
	2	0.31^{b}	2.01^{a}	1.326^{a}
15	0	0.26^{bcd}	1.60^{gf}	1.247^{d}
	1	0.41^{a}	1.86^{bc}	1.272^{c}
	2	0.29^{bc}	1.90^{b}	1.283^{b}

در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% level of probability using LSD test.



شکل ۱. تأثیر غلظت‌های مختلف کود سولفات پتاسیم (۰، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ شمعدانی؛ حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD است.

Fig. 1. The effect of different concentrations of potassium sulfate (0, 1 and 2 mg) on the anthocyanin content of geranium petals; Bars with dissimilar letter are significantly different at 5% level of probability using LSD test.

شکل ۲. تأثیر درصدهای مختلف کمپوست (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ شمعدانی؛ حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD است.

Fig. 2. The effect of different percentages of compost (0, 5, 10 and 15%) on anthocyanin content of geranium petals; Bars with dissimilar letter are significantly different at 5% level of probability using LSD test.

(Taiz and Zeiger, 2006; Shilpa et al., 2022). با توجه به اینکه در گونه‌های مختف گیاهان زینتی، نیاز آبی و نیاز تغذیه‌ای (به‌ویژه pH) برای رشد و گل‌دهی متفاوت است، بنابراین گونه‌های مختلف در پاسخ به درصدهای مختلف کمپوست و غلظت‌های متفاوت کودی واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند (Kumar and Singh, 2018). در پژوهش حاضر شمعدانی‌های کشت‌شده در کمپوست ۵ درصد که با غلظت دو میلی‌گرم در لیتر سولفات پتاسیم تیمار شده بودند دارای بیش‌ترین ارتفاع ساقه بودند. همچنین در همه تیمارهایی که سولفات پتاسیم استفاده شد در مقایسه با تیمارهای بدون کاربرد کود، افزایش ارتفاع ساقه معنی‌دار بود. احتمالاً با توجه به اینکه پتاسیم در افزایش فتوسنتز، انتقال نشاسته و کربوهیدرات‌ها مؤثر است، بنابراین سبب افزایش ارتفاع گیاهان شمعدانی گردید (Taiz and Zeiger, 2006). هماهنگ با یافته‌های پژوهش حاضر، کاربرد سولفات پتاسیم در گیاه کوکب سبب افزایش ارتفاع ساقه در مقایسه با تیمار شاهد شد (Hamayl et al., 2016). گزارش شده است کودهای پتاسیمی در افزایش فعالیت مریستمی و تولید آنزیم‌های کربن‌ساز و هورمون‌های گیاهی مؤثر بوده و باعث افزایش ارتفاع، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد برگ، سطح برگ و ساخت کلروفیل و در نهایت افزایش عملکرد در گیاهان می‌شوند (Al-Tamimi et al., 2023).

کمپوست باعث افزایش میزان عنصر روی در گیاه می‌شود؛ این عنصر با تأثیرگذاری بر سنتز هورمون‌ها از جمله اکسین سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌گردد (Calvo et al., 2014). گزارش‌ها نشان می‌دهد رشد رویشی گونه‌های مختلف در درصدهای مختلف کمپوست تراشه چوب، متفاوت است، به‌طوری‌که در پژوهشی روی گیاهان آهار و لیلیوم بیش‌ترین طول ساقه به‌ترتیب در گیاهان پرورش‌یافته در بستر دارای کمپوست تراشه چوب ۷۵ درصد و ۲۵ درصد به‌دست آمد (Rahmani et al., 2018; Akbarzadeh et al., 2023).

در پژوهش حاضر، بیش‌ترین وزن تازه و خشک ریشه به‌ترتیب در کمپوست ۱۰ درصد به همراه دو میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و کمپوست ۱۰ درصد به همراه یک و دو میلی‌گرم در لیتر پتاسیم به‌دست آمد. بیش‌ترین وزن تازه و خشک ساقه نیز به‌ترتیب در کمپوست ۱۰ درصد به همراه یک میلی‌گرم در لیتر پتاسیم و کمپوست ۱۰ درصد در ترکیب با دو میلی‌گرم در لیتر پتاسیم مشاهده شد. گزارش شده است عنصر پتاسیم در افزایش رشد ریشه مؤثر است. در پژوهشی روی گیاه کوکب، کاربرد ۲۰ گرم سولفات پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار رشد ریشه در مقایسه با تیمار شاهد شد. یکی از مزایای استفاده از کمپوست افزایش فعالیت ریزجانداران بستر کشت است. ریزجانداران سبب تبدیل نیتروژن آمونیومی به نیتراتی می‌شوند که در گسترش ریشه‌ها موثرند (Huerta et al., 2010). رشد ریشه در گونه‌های مختلف گیاهی در درصدهای مختلف کمپوست تراشه چوب، متفاوت بوده است. به‌طوری‌که در گیاه آهار بیش‌ترین وزن تازه و خشک ریشه به‌ترتیب در ۵۰ و ۱۰۰ درصد کمپوست تراشه چوب حاصل شد (Akbarzadeh et al., 2023). در پژوهشی بیش‌ترین وزن تازه ریشه در گیاه لیلیوم در ۲۵ درصد کمپوست حاصل شد (Alami et al., 2021). نتایج پژوهشی نشان داد کاربرد کود پتاسیم اثر معنی‌داری بر افزایش زیست‌توده گل رز داشته است (Moussa and Khalil, 2024).

کمپوست به واسطه فراهمی عناصر مغذی از جمله نیتروژن و تأمین آب در دسترس گیاه باعث افزایش میزان کلروفیل می‌شود (Zaghloul et al., 2016; Sonter et al., 2018) که می‌تواند دلیلی بر افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان شمعدانی در بستر کمپوست تراشه چوب در پژوهش حاضر باشد. گزارش شده است محتوای کلروفیل گیاه آهار کاشته‌شده در بستر کمپوست چوب نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌داری یافت (Akbarzadeh et al., 2023). بیان شده است غلظت نیتروژن ممکن است ارتباط نزدیکی با سنتز آنتوسیانین داشته باشد، که با تنظیم سنتز پروتئین‌های مربوطه از جمله گلوتامین سنتتاز، آلانین آمینوترانسفراز و آسپارتات- آلدئید دهیدروژناز، در سنتز آنتوسیانین نقش دارد (Fongfon et al., 2021; Chen et al., 2016). کمپوست در هنگام تجزیه‌شدن بر

میزان عناصر غذایی در خاک می‌افزاید؛ بدین ترتیب در پژوهش حاضر عنصر پتاسیم برگ گیاهان شمعدانی کشت‌شده در کمپوست نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. در پژوهشی، کود پتاسیم باعث بهبود صفات رشدی، غلظت کلروفیل و غلظت پتاسیم شاخساره در آفتابگردان زینتی شد (Upadhyay et al., 2023). در پژوهشی، محلول‌پاشی پتاسیم روی گیاهان فیلودندرون منجر به افزایش قابل توجه در تمام صفات رشدی و افزایش درصد عنصر پتاسیم در گیاه شد (Nofal et al., 2024).

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد بیش‌تر بسترهای دارای کمپوست و کود سولفات پتاسیم تأثیر معنی‌داری در بهبود بیش‌تر صفات رویشی و گلدهی گیاه شمعدانی در مقایسه با تیمار شاهد داشتند. تعداد غنچه در هر گل‌آذین، در کمپوست ۱۵ درصد به همراه دو میلی‌گرم بر لیتر سولفات پتاسیم مشاهده شد. کمپوست ۱۰ و ۱۵ درصد در ترکیب با کود سولفات پتاسیم سبب افزایش تعداد گل‌آذین شد. رنگدانه آنتوسیانین گلبرگ در کمپوست ۱۵ درصد و دو میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم در مقایسه با تیمار شاهد افزایش نشان داد. تعداد برگ در گیاهان پرورش‌یافته در کمپوست ۱۵ درصد و کود پتاسیم یک و دو میلی‌گرم بر لیتر بیش‌ترین بود.

تشکر و سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری که با فراهم آوردن امکانات گلخانه و آزمایشگاهی، زمینه انجام این پژوهش را مهیا نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنیم.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

References

1. Akbarzadeh, S., Karimi, M., Chalavi, V., 2023. Investigating the effect of wood waste compost and humic acid on the morphological and physiological characteristics of *Zinnia elegans*. Plant Proc. Func. 12(56), 379–392.
2. Alami, E., Karimi, M., Chalavi, V., 2021. Investigation of compost and vermicompost of water hyacinth as growing media for Lily (*Longiflorum×Asiatic)*. Int. J. Hort. Sci. Tech. 8(3), 271–280.
3. Al-Tamimi, H., Lateef, S., Ahmood, O., 2023. Effect of foliar spraying with Nano-NPK fertilizer in some growth characteristics and chemical content of some citrus rootstocks. Revista Bionatura. 8(3), 116. https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.03.116.
4. Calvo, P., Nalson, L., Klopper, J.W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil 383(1-2), 391–411. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8.
5. Carter, G.A., Knapp A.K., 2001. Leaf optical properties in highest plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. Am. J. Bot. 88(4), 677–684.
6. Chen, Y., De Nobili, M., Aviad, T., 2004. Stimulatory effects of humic substances on plant growth. In: Magdoff, F., Weil, R.R. (Eds.), Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 103–129.
7. Chen, L.H., Huang, Y.N., Cheng, Z.X., Zhang, D.S., Zheng, J.G., 2016. Itraq-based quantitative proteomics analysis of black rice grain development reveals metabolic pathways associated with anthocyanin biosynthesis. PLOS One 11(7), 1–25. https://doi.org//10.1371/journal.pone.0159238.
8. Fongfon, S., Promuthai, C., Pusadee, T., Jamjod, S., 2021. Responses of purple rice genotypes to nitrogen and zinc fertilizer application on grain yield, nitrogen, zinc, and anthocyanin concentration. Plants 10(8), 1717. https://doi.org/10.3390/ PLANTS10081717
9. Hamayl, A.F., EL-Saka, M., El-Boraie1, E.A.H., Gad, A.E.A., 2016. Effect of potassium sulfate and calcium borate on improving quality and production of dahlia flowers. J. Plant Product. 7(12), 1281–1286.
10. Haydar, M.S., Ghosh, D., Roy, S., 2024. Slow and controlled release nanofertilizers as an efficient tool for sustainable agriculture: Recent understanding and concerns. Plant Nano Bio. 7, 100058. https://doi.org//10.1016/j.plana.2024.100058.
11. Huerta, E., Vidal, O., Jarquin, A., Geissen, V., Gomez, R., 2010. Effect of vermicompost on the growth and

production of *Amashito Pepper*, Interactions with earthworms and rhizobacteria. Compost Sci. Util. 18(4), 282–288. https://doi.org//10.1080/1065657X.2010.10736967
12. Gallaher, R.N., Weldon, C.O., Boswell, F.C., 1976. A semiautomated procedure for total nitrogen in plant and soil samples. Soil Sci. Soc. Am. J. 40(6), 887–889.
13. Gulser, F., Çig, A., 2021. Relationships between potassium nutrition and flower quality in ornamental plants. In: 3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary 19–20 June, Izmir-Turkey.
14. Mirakalaei, S.M., Ardebill, Z.O., Mostafavi, M., 2013. The effects of different organic fertilizers on the growth of lilies (*Lillium longiflorum*). Int. Res. J. App. Basic Sci. 4(1), 181–186.
15. Moussa Jawad, R.H., Khalil, N., 2024. Role of magnesium spray and soil NPK and potassium silicates application in growth and flowering characteristics in Rose plants. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1371. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1371/4/042023.
16. Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA Monograph, Madison, WI, pp. 539–579.
17. Nofal, E., Menesy, F.M., Abd El-Hady, W.G. Shehab, E., El-Ramady, H., Prokisch, J., 2024. Effect of Nano-NPK and Nano-Chitosan fertilizers on the growth and chemical constituents of *Philodendron sellum* plants. Egypt. J. Soil Sci. 64(3), 1193–1205. https://doi.org/10.21608/ejss.2024.289119.1769.
18. Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analyses: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA Monograph, Madison, WI, pp. 403–430.
19. Rahmani, F., Karimi, M., Moradi, H., 2018. Investigating the effect of wood chips compost and humic acid on the growth, flowering and seedling life of lilium (*Longiflorum* × *Asiatic*) cultivar Nashville. Agri. Sci. Sustain. Product. 30(3), 185–202. https://doi.org/20.1001.1.24764310.1399.30.3.11.6
20. Salehi, L., Chehrazi, M., Sedighi Dehkordi, F., Moezzi, A., 2018. The effect of organic (humi potas) and chemical potassium fertilizer (potassium sulfate) on growth indices of stockflower (*Matthiola incana* var. annua). Iran. J. Hort. Sci. Tech. 19(2), 201–212. https://doi.org/20.1001.1.16807154.1397.19.2.1.3.
21. Sherafati, A.H., Eskandari Torbaghan, M., Heidari Salehabadi, M., 2023. Effect of pistachio waste compost and mycorrhizal fungi on vegetative growth and nutritional status of Pistachio seedlings in a saline-sodic soil. J. Soil Plant Interact. 13(4), 41–70. https://doi.org/10.47176/jspi.13.4.20621.
22. Shilpa, A., Singh, R., Kant, C., Prashar, N. 2022. Role of nanofertilizers in horticulture: A review. J. Pharm. Innov. 11(6): 831–836. https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i1i.481
23. Sonter, S.H., Pattar, R.V., Ramalingappa, A., 2018. Effect of *Eichornia crasipes* (Mart) sloms compost on morphological parameters of black gram (*Vinga mungo* Hepper). Int. J. Health Sci. and Res, 3(4), 20–26.
24. Shamsi, S., Watani, L., 2018. Production of compost fertilizer using wood waste: A step toward sustainable development. In: Proceedings of the Second National Conference on Natural Resources and Sustainable Development in Zagros, Shahrekord, Iran.
25. Tabatabaei, S.J., 2018. Principles of Plant Mineral Nutrition. First edition, Tabriz University Press, 562 p.
26. Taiz, L., Zeiger, E., 2006. Plant Physiology (4th ed.), Sinauer Associates, Sunderland (Massachusetts).
27. Tzortzakis, N., Nicola, S., Savvas, D., Voogt, W., 2020. Editorial: Soilless cultivation through an intensive crop production scheme. Management strategies, challenges and future directions. Fron. Plant Sci. 11, 1–3. https://doi.org/10.3389/fpls. 2020. 00363.
28. Upadhyay, P.K., Dey, A., Singh, V.K., Dwivedi, B.S., Singh, T., Babu, S., Rathore, S.S., Singh, R.K., Shekhawat, K., 2023. Conjoint application of nano-urea with conventional fertilizers: An energy efficient and environmentally robust approach for sustainable crop production. PLOS One. 1–21. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284009
29. Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiol. 64, 88–93.
30. Wahing, I.W., Van, V.J.G., Houba, J.J., Van der, L., 1989. Soil and Plant Analysis, A Series of Syllabi. Part 7, Plant Analysis Procedure. Wageningen Agricultural University.
31. Zaghloul, R.A., Mohamed Y.F.Y., Rasha M., El-Meihy. 2016. Influential cooperation between zeolite and PGPR on yield and antimicrobial activity of thyme essential oil. Int. J. Plant Soil Sci. 13(1), 1–18. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/28688