J. Soil and Plant Interactions, Vol. 15, No. 2, Summer 2024, pp. 1-18. **Research Article**

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.15.2.21162

Effect of Mealworm Frass (Yellow Larvae) as a Potential Biofertilizer on Vegetative Growth Indices in Philodendron (*Philodendron pedatum*)

M. Baranimotlagh*, M. Bazi Abdoli and T. Nazari

(Received: 20 November 2023; Accepted: 6 March 2024)

Abstract

Due to the fast mineralization and supply of NPK elements, insect frass has a very high potential for complete or partial replacement with mineral fertilizers. This research was conducted to investigate the effect of different levels of organic fertilizer of mealworm (yellow *Tenebrio molitor* larvae) as a growth substrate on the morphological indices and leaf greenness index of the ornamental plant Philodendron. To achieve the objectives of this research, an experiment was conducted in the form of a completely randomized design with three replications and 9 treatments (i.e., 27 pots in total). The treatments consisted of different proportions of mealworm fertilizer in combination with a conventional growing medium for philodendron plants in greenhouses. The results showed that the highest values of vegetative growth indices and leaf greenness index were obtained from the application of 40% perlite, 30% cocopeat, 10% mealworm, 10% vermiculite and 10% coal soil. However, an increase of more than 10% in mealworm fertilizer could not make a significant change in the investigated traits. In fact, it can be stated that when the replacement amount of mealworm fertilizer with cocopeat in the conventional substrate in greenhouse crops was 10 percent by volume, the highest values of vegetative growth and leaf greenness index were obtained, whereas a reduction in plant growth was observed at 15, 20 and 25 percent by volume and plants were found to be dead at volumes exceeding 30 percent. Due to the high salinity (10.3 dS m^{-1}) and pH (8.55) of this frass, as well as the fact that changing the mealworm substrate might alter the type of produced frass, it is recommended to use substrates that reduce the salinity and pH of the final substrate.

Keywords: Mealworm frass, Philodendron Florida ghost, Leaf greenness index, Vegetative growth index.

Background and Objectives: Many insects are capable of processing organic by-products because they are naturally able to use natural products as food, which reduces the amount of these substances in the environment and allows them to be used as fertilizers. Due to rapid mineralization and the provision of plant elements such as N, P and K, insect frass has a very high potential for complete or partial replacement with NPK mineral fertilizers (Poveda et al., 2019; Watson et al, 2021). The aim of this study was to investigate the effects of different levels of mealworm organic fertilizer (yellow *Tenebrio molitor* larvae) as a growth medium on the morphological indices and leaf greenness index of *Philodendron pedatum* as an ornamental plant.

1- Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
* Corresponding author, Email: mbarani@gau.ac.ir

Methods: A suitable volume percentage of wheat bran, pulp from potatoes, and carrots was used as the initial substrate for mealworm. The experiment was carried out in the form of a completely randomized design with three replications and nine treatments. The treatments included different ratios of mealworm fertilizer (%v/v) in combination with the conventional *Philodendron pedatum* growing medium in greenhouses as following: 1) 40% perlite, 40% cocopeat, 10% vermiculite, and 10% coal soil, 2) replacing 5% of mealworm with cocopeat, 3) replacing 10% of mealworm with cocopeat, 4) replacing 15% of mealworm with cocopeat, 5) replacing 20% of mealworm with cocopeat, 6) replacing 25% of mealworm with cocopeat, 7) replacing 30% of mealworm with cocopeat, 8) replacing 35% of mealworm with cocopeat, and 9) 40% perlite, 40% mealworm, 10% vermiculite, and 10% coal soil. At the end of the growth period (6 months), vegetative growth indices such as plant height, leaf length and width, number of leaves, petiole length, stem diameter and length, as well as leaf greenness index were measured. The data were analyzed using SAS software (v. 9.4) and the means were compared based on the LSD test ($p < 0.05$).

Results: The highest values of vegetative growth indices and leaf greenness index were obtained due to the application of 40% perlite, 30% cocopeat, 10% mealworm, 10% vermiculite, and 10% coal soil. However, an increase of more than 10% in mealworm fertilizer could not make a significant change in the studied traits. In fact, it can be stated that when the replacement amount of mealworm fertilizer with cocopeat in the conventional substrate in greenhouse crops was 10% by volume, the highest values of vegetative growth and leaf greenness index were obtained. Whereas a reduction in the plant growth was observed at 15, 20 and 25 percents by volume of mealworm fertilizer, and the plants were found to be dead at volumes exceeding 30 percent. Examining the chemical characteristics of some insect frass, such as that from mealworms, reveals that it contains significant levels of N, P and K that can rival other animal manures, especially chicken manures, in their potential to enhance plant growth. But unlike mineral fertilizers, insect frass contains a lower concentration of micronutrients (i.e., Cu and Zn). Therefore, mealworms can be used as organic fertilizers due to their nutritional content (Houben et al., 2021).

Conclusions: Although insect frass is increasingly considered a potential fertilizer, the dynamics of nutrient supply by this frass are still poorly understood. Due to the high salinity (10.3 dS m^{-1}) and pH (8.55) of this frass, as well as the fact that the fertilizer produced varies as the bed of mealworm larvae changes, it is recommended to use substrates that reduce the salinity and pH of the final substrate.

References:

1. Houben, D., Daoulas, G., Dulaurent, A.M., 2021. Assessment of the short-term fertilizer potential of mealworm frass using a pot experiment. Front. Sustain. Food Syst. 28, 5.714596.
2. Poveda, J., Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Usategui-Martín, R., Rivas García-Fraile, R.P., 2019. Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance inductor in plants. Appl. Soil Ecol. 142, 110–122.
3. Watson, C., Preißing, T., Wichern, F., 2021. Plant nitrogen uptake from insect frass is affected by the nitrification rate as revealed by urease and nitrification inhibitors. Front. Sustain. Food Syst. 27, 5.721840.

روابط خاک و گیاه/ سال پانزدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۳ / صفحات ۱۸-۱
مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.47176/jspi.15.2.21162 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

تأثیر فضولات لارو سوسک زرد آرد به‌عنوان یک کود زیستی بالقوه بر شاخص‌های رشدی گیاه فیلودندرون (*Philodendron pedatum*)

مجتبی بارانی مطلق[1*]، مهری بزی عبدلی و طالب نظری

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶)

چکیده

فضولات حشرات به‌دلیل معدنی‌شدن سریع و تأمین عناصر غذایی از پتانسیل بسیار خوبی برای جایگزینی کامل یا جزئی با کودهای معدنی برخوردارند. این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف فضولات (Frass) میل‌ورم (لارو سوسک زرد آرد) به‌عنوان بستر رشد بر شاخص‌های مورفولوژیک و شاخص سبزینگی برگ گیاه زینتی فیلودندرون روح فلوریدا انجام شد. برای دستیابی به اهداف این پژوهش، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با ۹ تیمار (در مجموع با ۲۷ گلدان) اجرا شد. تیمارها شامل نسبت‌های مختلف کود میل‌ورم (درصد حجمی) در ترکیب با بستر مرسوم کشت گیاه فیلودندرون در گلخانه‌ها بود. نتایج نشان داد بیش‌ترین مقادیر شاخص رشد رویشی و شاخص سبزینگی برگ از کاربرد سطوح ۴۰٪ پرلیت، ۳۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال به‌دست آمد. با این‌حال، افزایش بیش از ۱۰٪ کود میل‌ورم نتوانست تغییر معنی‌داری در شاخص‌های مورد بررسی ایجاد نماید. در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد زمانی که مقدار جایگزینی کود میل‌ورم با کوکوپیت در بستر متعارف در کشت‌های گلخانه‌ای ۱۰ درصد حجمی بود بیش‌ترین مقادیر رشد رویشی و شاخص سبزینگی برگ به‌دست آمد، این درحالی است که در مقادیر ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد حجمی روند کاهشی داشته و در مقادیر بیش از ۳۰ درصد حجمی گیاهان به‌طور کامل از بین رفتند. با توجه به شوری زیاد (۱۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر) و pH قلیایی (۸/۵۵) این فضولات و همچنین این نکته که با تغییر بستر لارو میل‌ورم، نوع کود تولیدشده تغییر می‌کند، پیشنهاد می‌شود از بسترهای استفاده شود که باعث کاهش شوری و pH بستر نهایی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های رشد رویشی، شاخص سبزینگی برگ، فیلوندرون روح فلوریدا، میل‌ورم.

مقدمه

هر ساله تقریباً یک سوم کل مواد غذایی تولیدشده برای مصرف انسان در جهان از بین می‌رود (FAO., 2013). این پسماندهای مواد غذایی ممکن است نشان‌دهنده یک فرصت، نه تنها برای بهبود امنیت غذایی جهانی، بلکه برای کاهش پیامدهای زیست-محیطی و بهبود استفاده از این منابع در زنجیره‌های غذایی باشد. بنابراین، استفاده از محصولات جانبی می‌تواند باعث افزایش کارایی تولید مواد مغذی شود (Menino et al., 2021).

۱- گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mbarani@gau.ac.ir

در همین راستا گزارش شده است که حشرات زیادی وجود دارند که می‌توان از آن‌ها برای فرآوری محصولات جانبی ارگانیک استفاده کرد. زیرا این حشرات می‌توانند به‌طور طبیعی از محصولات ارگانیک به‌عنوان غذا استفاده کرده، در عین‌حال میزان این مواد را در محیط کاهش داده و آن‌ها را به کودهای آلی با ارزش (احتمالاً جایگزین کودهای شیمیایی مورد استفاده در حال حاضر) تبدیل کنند (Čičková et al., 2015). در واقع این حشرات نقش بسیار مهمی در بازیافت مواد آلی در طبیعت دارند. حشرات حدود یک میلیون گونه از ۱/۴ میلیون گونه جانوری بر روی زمین را تشکیل می‌دهند. بر خلاف باور عمومی، از یک میلیون گونه حشره، تنها حدود ۵۰۰۰ گونه از آن‌ها برای کشاورزی، دام و انسان مضر هستند (van Lenteren, 2006). حشرات فراوان‌ترین جانداران مرتبط با گیاهان و خاک می‌باشند. رشد و تولیدمثل حشرات به‌سادگی رخ می‌دهد و به‌دلیل خونسردبودن، ضریب تبدیل غذایی مناسبی داشته و قادرند پسماند صنایع کشاورزی را به زیست‌توده‌ای با ارزش و پروتئین مناسب تبدیل نمایند (Collavo et al., 2005). آن‌ها همانند سایر جانداران بخشی از غذای هضم‌نشده خود را به‌صورت فضولات دفع می‌کنند. فضولات حشرات از نظر فیزیکی دانه‌ای، بی‌بو، دارای رنگ‌های متنوع (از زرد روشن تا قهوه‌ای تیره) و اندازه‌های متغیر می‌باشند (Arbab, 2021). از نظر شیمیایی نیز این فضولات از ترکیبات متنوعی مانند مواد نیتروژن‌دار (NH_2) تا انواع عناصر معدنی مانند کلسیم، فسفر، پتاسیم و منیزیم تشکیل شده‌اند (Kagata and Ohgushi, 2012).

میل‌ورم لارو گونه‌ای سوسک شب‌زی با نام علمی (*Tenebrio molitor*) از خانواده *Tenebrionidae* است که در سراسر جهان یافت شده و چون آفت غلات، آرد و غذای انباری به‌شمار می‌رود به کرم آراد یا میل‌ورم زرد[1] نیز معروف است (Ramos-Elorduy et al., 2002). تعداد واحدهای پرورش‌دهنده حشرات در ایران در طی ۱۵ سال گذشته به بیش از ۳۰ واحد رسیده است. فضولات حشرات یکی از مهم‌ترین محصولات جانبی این صنعت است. بررسی‌ها نشان می‌دهد لاروهای سوسک زرد آرد به‌ازای تغذیه هر کیلوگرم سبوس گندم، ۶۸۰ گرم فضولات تولید می‌کنند. مقدار تولید سالانه فضولات سوسک زرد آرد که تجاری‌ترین حشره صنعتی ایران است سالانه بیش از ۲۰۰ تن گزارش شده است. با توجه به سیستم پرورش این حشره، هزینه جمع‌آوری و بسته‌بندی هر تن کود میل‌ورم در سال بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار تومان تخمین زده می‌شود (Arbab, 2021). در حال حاضر بیش‌ترین مصرف کود مذکور در تولید محصولات گلخانه‌ای به‌ویژه پرورش کاکتوس ساکولنت‌ها است.

بررسی‌های مختلف درباره استفاده از فضولات حشرات به‌عنوان اصلاح‌کننده و تقویت‌کننده خاک نشان می‌دهد که این زیست‌توده آلی می‌تواند اثر مثبتی بر رشد و نمو گیاهان مختلف و همچنین حاصلخیزی و اصلاح خاک داشته باشد (Zahn and Quilliam, 2017; Beesigamukama et al., 2020). فضولات حشرات دارای مقادیر زیادی نیتروژن (۷-۲ درصد) و کربن (۳۰-۴۵ درصد) است که مقدار آن‌ها بیش‌تر از مقادیر موجود در خاک برگ گزارش شده است (Kagata and Ohgushi, 2012). در همین راستا اثر خاک شنی غنی‌شده با کود سوسک زرد آرد به نسبت ۴۰:۱ بر رشد گیاه ماش بررسی شده است. نتایج نشان داد که گیاهان دریافت‌کننده کود نسبت به گیاهان شاهد ۱۷/۹ درصد وزن بیش‌تری داشتند (Liu et al., 2003). Poveda et al. (2019) نقش تغذیه‌ای فضولات سوسک زرد آرد (نسبت دو درصد) را بر گیاهچه‌های چغندر مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که میزان شاخص سبزینگی برگ، وزن تازه، شاخساره و قطر طوقه تمامی گیاهچه‌های چغندرقند دریافت‌کننده فضولات سوسک زرد آرد در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت. گزارش شده است که فضولات لارو سوسک زرد آرد تأثیر همسانی با کودهای معدنی بر رشد و نمو جو داشت (Houben et al., 2020). حشرات از پتانسیل بسیار خوبی برای جایگزینی کامل یا جزئی با کودهای معدنی NPK برخوردارند. در واقع فضولات حشرات به دلیل معدنی-

1. Yellow mealworm

شدن سریع و تأمین عناصر پرمصرف گیاهان مانند N، P و K شباهت زیادی با کودهای NPK دارند ولی از جنبه تولید زیست‌توده پایدار، سازگاری با کشاورزی زیستی و نداشتن فلزات سنگین نسبت به آن‌ها برتری دارند. هرچند وجود عوامل بیماری‌زا، حشرات، نماتدها، بذر علف‌های هرز، داشتن بوی نامطبوع و امکان انتقال بیماری‌های مشترک بین انسان و دام از معایب کودهای آلی با منشأ دامی محسوب می‌شود (Rezaei, 2013). ولی فضولات حشرات هیچ کدام از معایب ذکرشده را ندارند (Arbab, 2021). از طرف دیگر میزان رطوبت فضولات حشرات کم و حدود ۱۰ درصد است که در مقایسه با فضولات بسیاری از جانوران کم‌تر در معرض آلودگی قارچی قرار می‌گیرد. در نهایت فضولات حشرات علاوه بر آن‌که به‌عنوان یک منبع پایدار برای مدیریت تغذیه گیاهان محسوب می‌شوند، می‌توانند جایگزینی امیدوارکننده برای کودهای متعارف به‌شمار آیند (Arbab, 2021).

با توجه به سیستم پرورش این حشره، هزینه جمع‌آوری و بسته‌بندی هر تن کود میل‌ورم، توانایی رقابت اقتصادی در مقایسه با کودهای آلی و شیمیایی دارد. از طرف دیگر فیلودندرون دومین جنس بزرگ از خانواده تک لپه‌ای آراسیه[1] با ۴۸۳ گونه است (Haigh et al., 2011). فیلودندرون، یک گیاه هیبرید همیشه سبز و بالارونده است. بسیاری از گونه‌ها فیلودندرون در دکوراسیون داخلی و خانگی استفاده می‌شوند، بنابراین ارزش اقتصادی و باغبانی زیادی دارند (Correia-da-Silva et al., 2014). از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر کود طبیعی میل‌ورم[2] (کود حاصل از لارو سوسک زرد آرد) به‌عنوان بستر رشد[3] بر شاخص‌های مورفولوژیک و شاخص سبزینگی گیاه زینتی فیلودندرون روح فلوریدا[4] انجام شد.

مواد و روش‌ها

ترکیبات تشکیل‌دهنده کود میل‌ورم (فضولات لارو سوسک زرد آرد) در جدول (۱) ارائه شده است. بستر اولیه لارو سوسک زرد، درصد حجمی مناسب از سبوس گندم، تفاله صیفی‌جات مانند سیب‌زمینی و هویج به مدت یک ماه در شرایط رطوبتی و گرمایی بهینه بود. رسانایی الکتریکی (EC) و pH در نسبت ۱:۵ آب:کود، درصد رطوبت، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر کل، پتاسیم کل و عناصر کم‌مصرف با استفاده از روش‌های مرسوم نمونه‌برداری تجزیه کودهای آلی اندازه‌گیری شدند (Davoudi et al., 2014).

برای دستیابی به اهداف این پژوهش، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با ۹ تیمار و در مجموع با ۲۷ گلدان در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۵ شروع شد. تیمارها شامل نسبت‌های مختلف (درصد حجمی) کود میل‌ورم در ترکیب با بستر مرسوم کشت گیاه فیلودندرون در گلخانه‌ها بود که عبارت بودند از: ۱) (۴۰٪ پرلیت، ۴۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) بستر مرسوم مورد استفاده در گلخانه‌ها، ۲) (۴۰٪ پرلیت، ۳۵٪ کوکوپیت، ۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین کوکوپیت، ۳) (۴۰٪ پرلیت، ۳۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین کوکوپیت، ۴) (۴۰٪ پرلیت، ۲۵٪ کوکوپیت، ۱۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) ۱۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین کوکوپیت، ۵) (۴۰٪ پرلیت، ۲۰٪ کوکوپیت، ۲۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) ۲۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین کوکوپیت، ۶) (۴۰٪ پرلیت، ۱۵٪ کوکوپیت، ۲۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) ۲۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین کوکوپیت، ۷) (۴۰٪ پرلیت، ۱۰٪ کوکوپیت، ۳۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) ۳۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین کوکوپیت، ۸) (۴۰٪ پرلیت، ۵٪ کوکوپیت، ۳۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) ۳۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین کوکوپیت، و ۹) (۴۰٪ پرلیت، ۰٪ کوکوپیت،

1. Araceae
2. Mealworm
3. Growing medium
4. *Philodendron pedatum*

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی فضولات میل‌ورم (لارو سوسک زرد آرد) در مقایسه با پژوهش‌های پیشین

Table 1. Some physical and chemical characteristics of mealworm frass as compared with previous studies.

میل‌ورم استفاده‌شده در این پژوهش Mealworm used in this study	Zim et al (2022)	Watson et al (2021)	Poveda et al (2020)	Houben (2020)	ویژگی‌های شیمیایی Chemical characteristics
2.8	1.16	4.13	2.67–2.92	5	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)
2.5	-	1.486	1.02–1.53	1.7	فسفر کل (درصد) Total P (%)
2.4	0.35	2.966	1.15–1.97	2	پتاسیم کل (درصد) Total K (%)
157	15.77	340	129.03–140.68	-	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg/kg)
111.1	10.34	-	-	-	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg/kg)
27.1	1.05	-	-	-	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu (mg/kg)
68.6	1.87	-	83.40–171.89	-	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn (mg/kg)
31.13	4.45	37.36	38.80–42.44	39.3	کربن آلی (درصد) Organic carbon, OC (%)
11.11	3.84	9.15	5.48–13.32	-	نسبت کربن به نیتروژن C/N
8.55	5.97	6.61	-	8.5	واکنش pH
10.7	6.47	4.3	-	-	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity, EC (dS/m)

٪۴۰ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال) جایگزینی کامل میل‌ورم با کوکوپیت بود. گیاهان ابتدا در سینی‌هایی کشت حاوی مخلوط ۴۰٪ پرلیت، ۴۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال تکثیر شدند.

سپس گیاهان ریشه‌دارشده از ظروف نشایی خارج شده و پس از شست‌وشوی ریشه با آب در گلدان‌های ۲ کیلوگرمی حاوی بسترهای کشت مذکور در هر گلدان یک گیاهچه کشت شد. لازم به‌ذکر است که برای یکنواختی گلدان‌ها، گیاهانی با قطر، ارتفاع و حجم سرشاخه یکسان انتخاب شدند. عملیات آبیاری به روش تجربی و دوبار در هفته و وجین علف‌های هرز با دست انجام گرفت. همچنین برای کاهش آثار محیطی گلدان‌ها هر هفته یک‌بار جابه‌جا شدند. سپس تا پایان دوره رشد (۶ ماه) در دو نوبت اول و دوم به‌ترتیب در تاریخ‌های ۱۴۰۱/۰۵/۰۷ و ۱۴۰۱/۰۷/۱۰ شاخص‌های رشد رویشی مانند ارتفاع گیاه، طول و عرض برگ، تعداد برگ، طول دمبرگ، قطر و طول ساقه و همچنین شاخص سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل ccm - 200، ساخت Opti - sciences امریکا) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی فضولات لارو سوسک زرد آرد (جدول ۱) نشان می‌دهد که میزان کربن آلی در کود میل‌ورم مورد استفاده برابر ۳۱/۱۳ درصد بوده که می‌تواند نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت داشته باشد و به طبع آن باعث رشد بیش‌تر گیاه شود. همچنین غلظت‌های قابل استخراج زیاد عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم با نسبت متعادل ۲/۸-۲/۵-۲/۴ درصد و عناصر کم‌مصرف آهن، روی، مس و منگنز با نسبت متعادل ۱۵۷، ۱۱۱/۱، ۲۷/۱ و ۸۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کود میل‌ورم می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک و همچنین رشد گیاهان داشته باشد (جدول ۱). مقادیر pH و EC کود میل‌ورم حاصل از کرم زرد آرد به ترتیب برابر ۸/۵۵ و ۱۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد سطوح مختلف فضولات لارو سوسک زرد آرد (کود میل‌ورم) بر شاخص‌های رشد رویشی و شاخص سبزینگی برگ گیاه فیلودندرون روح فلوریدا در تاریخ نمونه‌برداری اول (۱۴۰۱/۰۵/۰۷) در جدول (۲) ارائه شده است.

تعداد برگ: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف فضولات لارو سوسک زرد آرد تعداد برگ را به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) افزایش داد (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد برگ با میانیگن ۳/۶۶ عدد مربوط به تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم بود هر چند با تیمارهای ۱۵ و ۵ درصد حجمی میل‌ورم و تیمار شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کم‌ترین تعداد برگ با میانیگن ۲ عدد مربوط به تیمار ۴۰ درصد حجمی جایگزینی میل‌ورم با کوکوپیت بود (جدول ۳).

طول برگ: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر تیمارها بر طول برگ بالا معنی‌دار شد ($p < ۰/۰۱$) معنی‌دار شد این درحالی است که اثر آن‌ها بر طول برگ پایین معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین طول برگ بالا با میانگین ۱۰/۶۶ سانتی‌متر (در اثر کاربرد تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین با کوکوپیت) به‌دست آمد که نسبت به کم‌ترین مقدار آن (با میانگین ۸/۰۶ سانتی‌متر از کاربرد تیمار ۴۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین با کوکوپیت) افزایشی برابر با ۲۴/۳۹ درصد داشت (جدول ۳).

طول دمبرگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر طول دمبرگ بالا و طول دمبرگ پایین معنی‌دار نشدند (جدول ۳).

عرض برگ: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف فضولات لارو سوسک زرد آرد عرض برگ پایین را به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) افزایش داد این درحالی است که اثر بر عرض برگ بالا معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین عرض برگ پایین با میانگین ۴/۳۰ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت بود هرچند با تیمارهای ۵ درصد حجمی میل‌ورم با میانگین ۴/۱۰ سانتی‌متر و تیمار شاهد با میانگین ۳/۹۳ سانتی‌متر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

ارتفاع گیاه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) شد (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار ارتفاع گیاه با میانگین ۷/۲۳ سانتی‌متر (در اثر کاربرد تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت) به‌دست آمد که نسبت به کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۵/۵۰ سانتی‌متر (در اثر کاربرد تیمار ۴۰ درصد حجمی میل‌ورم) افزایشی برابر ۲۳/۹۲ درصد داشت (جدول ۳).

شاخص سبزینگی برگ (SPAD): بر اساس نتایج تجزیه واریانس، کاربرد سطوح مختلف فضولات لارو سوسک زرد آرد شاخص سبزینگی برگ را به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) افزایش داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارهای فضولات میل‌ورم بر شاخص‌های رشد رویشی گیاه و شاخص سبزینگی برگ در نوبت اول نمونه‌برداری

Table 2. Analysis of variance of the effect of mealworm frass treatments on plant vegetative growth indices and leaf greenness index in the first sampling time

		میانگین مربعات Mean Squares								
منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	تعداد برگ Number of leaf	طول برگ بالا Top leaf length	طول برگ پایین Bottom leaf length	طول دمبرگ برگ بالا Top leaf petiole length	طول دمبرگ برگ پایین Bottom leaf petiole length	عرض برگ بالا Top leaf width	عرض برگ پایین Bottom leaf width	ارتفاع گیاه Plant height	شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index
تیمار Treatment	8	1.083*	1.097**	0.491ns	1.670ns	0.491ns	0.091ns	0.352*	1.93**	59.58**
خطا Error	18	0.333	0.118	0.716	0.692	0.716	0.055	0.124	0.247	9.54
ضریب تغییرات CV (%)		20.8	3.5	8.9	14.9	8.9	6.0	10.3	7.7	5.3

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

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

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای فضولات میل‌ورم بر شاخص‌های رشد رویشی گیاه و شاخص سبزینگی برگ در نوبت اول نمونه‌برداری

Table 3. Means' comparison of the effect of mealworm frass treatments on plant vegetative growth indices and leaf greenness index in in the first sampling time

شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	عرض برگ پایین Bottom leaf width (cm)	طول برگ بالا Top leaf length (cm)	تعداد برگ Number of leaf	Treatment
48.86^{d}	6.50^{cde}	3.46^{abcd}	10.16^{abc}	3.00^{ab}	۴۰٪ پرلیت، ۴۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_4V_1S_1$)
62.90^{ab}	7.23^{ab}	3.86^{ab}	10.53^{ab}	3.66^{a}	۴۰٪ پرلیت، ۳۵٪ کوکوپیت، ۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_{3.5}M_{0.5}V_1S_1$)
63.43^{a}	7.96^{a}	3.93^{a}	10.66^{a}	3.66^{a}	۴۰٪ پرلیت، ۳۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_3M_1V_1S_1$)
62.06^{ab}	7.13^{abc}	3.53^{abc}	10.16^{abc}	3.00^{ab}	۴۰٪ پرلیت، ۲۵٪ کوکوپیت، ۱۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_{2.5}M_{1.5}V_1S_1$)
59.63^{abc}	6.30^{cde}	3.33^{abcd}	9.96^{bc}	2.33^{bc}	۴۰٪ پرلیت، ۲۰٪ کوکوپیت، ۲۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_2M_2V_1S_1$)
59.63^{abc}	6.26^{de}	3.36^{abcd}	9.83^{c}	2.66^{bc}	۴۰٪ پرلیت، ۱۵٪ کوکوپیت، ۲۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_{1.5}M_{2.5}V_1S_1$)
58.16^{abc}	5.83^{de}	3.30^{bcd}	9.73^{c}	2.33^{bc}	۴۰٪ پرلیت، ۱۰٪ کوکوپیت، ۳۰٪ میلورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_1 M_3V_1S_1$)
57.63bc	5.76^{de}	3.03^{cd}	9.10^{d}	2.33^{bc}	۴۰٪ پرلیت، ۵٪ کوکوپیت، ۳۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_{0.5}M_{3.5}V_1S_1$)
55.93c	5.50^{e}	2.86^{d}	8.06^{e}	2.00^{c}	۴۰٪ پرلیت، ۴۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4M_4V_1S_1$)

حروف P، C، M، V و S، و زیرنویس‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب بیانگر پرلیت، کوکوپیت، میل‌ورم، ورمیکولیت و خاک زغال و ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد است. در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Letters P, C, M, V and S, and subscripts 1, 2, 3 and 4 denote perlite, cocopit, mealworm, vermicolite and coal soil, and 10, 20, 30 and 40%, respectively. In each column, means followed with at least one similar letter are not significantly different at $p < 0.05$ by the LSD test.

بیش‌ترین شاخص سبزینگی برگ با میانگین ۶۳/۴۳ از کاربرد تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت به‌دست آمد که نسبت به کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۴۸/۸۶ از کاربرد تیمار شاهد افزایشی معادل با ۲۲/۹۷ درصد داشت (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد سطوح مختلف فضولات لارو سوسک زرد آرد بر شاخص‌های رشد رویشی و شاخص سبزینگی برگ (SPAD) گیاه فیلودندرون روح فلوریدا در مرحله دوم (تاریخ نمونه‌برداری ۱۴۰۱/۰۷/۱۰) در جدول (۴) ارائه شده است.

تعداد برگ: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف فضولات لارو سوسک زرد آرد تعداد برگ را به‌طور معنی‌داری در سطح آماری ($p < ۰/۰۱$) افزایش داد (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد برگ با میانگین ۶/۶۶ عدد مربوط به تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت بود هر چند با تیمار ۵ درصد حجمی میل‌ورم و تیمار شاهد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۱ عدد مربوط به تیمار ۲۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت بود (جدول ۵). میل‌ورم به دلیل داشتن کربن ناپایدار با مقاومت کم پس از ادغام با خاک به سرعت معدنی شده و عناصر غذایی آن در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (Dulaurent et al., 2020; Houben et al., 2021). مقدار نیتروژن آزادشده توسط کودهای آلی بستگی به ترکیب شیمیایی آن‌ها از جمله محتوای نیتروژن، محتوای کربن، نسبت کربن به نیتروژن، همی‌سلولز، سلولز و لیگنین دارد (Mohanty et al., 2011). مقدار عناصر اصلی مورد نیاز گیاهان در فضولات لارو سوسک زرد آرد از بسیاری از کودهای دام‌های مختلف بیش‌تر است. از طرف دیگر نسبت کربن به نیتروژن (C/N) آن نیز از همه کودهای دامی رایج کم‌تر (۹/۸۶) است. یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده ماده آلی خاک، نسبت کربن به نیتروژن است. این نسبت در خاک رویین در دامنه ۱۰ تا ۱۲ متغیر است. برای نمونه بررسی‌ها نشان می‌دهد ۳۷ درصد کربن کل فضولات سوسک زرد آرد در مدت هفت روز معدنی می‌شود، سپس سرعت معدنی‌شدن کاهش یافته و پس از ۹۰ روز ۵۶ درصد باقی‌مانده آن معدنی می‌شود. معدنی‌شدن نیتروژن نیز از الگوی مشابهی پیروی می‌کند. ۳۷ درصد آن در مدت ۱۴ روز و ۵۵ درصد آن به‌آرامی در مدت ۹۰ روز صورت می‌گیرد (Houben et al., 2020). از آنجایی‌که کود میل‌ورم مورد استفاده در این پژوهش دارای مقدار کربن آلی و مقدار نیتروژن به‌ترتیب برابر با ۳۱/۱۳ و ۲/۸ درصد و دارای نسبت کربن به نیتروژن ۱۱/۱۱ بود، بلافاصله پس از قرارگرفتن در بستر کشت فرآیند معدنی‌شدن آن آغاز شده و عناصر موجود در آن در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. در پژوهشی به منظور بررسی پتانسیل کودی میل‌ورم (فضولات کرم زرد آرد) در کشت گلدانی ری‌گراس (ryegrass)[1]، مشاهده شد که صرف‌نظر از میزان کاربرد، زیست‌توده گیاه ری‌گراس در حضور میل‌ورم به‌طور قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. افزایش زیست‌توده گیاه به تأمین نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه پس از استفاده از این فضولات نسبت داده شد (Houben et al., 2021). در همین راستا Menino et al. (2021) با بررسی ارزش کشاورزی لارو مگس سرباز سیاه به‌عنوان کود آلی بر روی گیاه ری‌گراس، گزارش کردند که فضولات این حشره غنی از مواد آلی و عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده و افزودن این مواد به خاک باعث افزایش قابل توجه ماده آلی و عناصر کم‌مصرف و پرمصرف خاک می‌شود. همچنین در یک آزمایش گلدانی، اثر مقادیر مختلف فضولات سوسک زرد آرد بر میزان رشد و نمو و کیفیت کلزا بررسی شد. فضولات به نسبت‌های ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد با خاک مخلوط شد. نتایج نشان داد که گیاهانی که ۱/۵ درصد فضولات سوسک زرد آرد را دریافت کرده بودند بیش‌ترین عملکرد را داشتند (Luo et al, 2011). که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

۱. علوفه‌ای است از خانواده گندمیان که به‌عنوان یک گیاه چمنی در طراحی فضاهای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر تیمارهای فضولات میل‌ورم بر شاخص‌های رشد رویشی گیاه و شاخص سبزینگی برگ در نوبت دوم نمونه‌برداری

Table 4. Analysis of variance of the effect of mealworm frass treatments on plant vegetative growth indices and leaf greenness index in the second sampling time

		میانگین مربعات Mean Squares								
منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	تعداد برگ Number of leaf	طول برگ بالا Top leaf length	طول برگ پایین Bottom leaf length	طول دمبرگ برگ بالا Top leaf petiole length	طول دمبرگ برگ پایین Bottom leaf petiole length	عرض برگ بالا Top leaf width	عرض برگ پایین Bottom leaf width	ارتفاع گیاه Plant height	شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index
تیمار Treatment	8	15.82**	13.73**	8.147**	10.50**	3.88**	1.62**	1.23**	17.34**	131.01**
خطا Error	18	0.611	0.492	0.277	0.416	0.280	0.087	0.036	0.916	4.016
ضریب تغییرات C.V (%)		17.58	7.05	6.75	10.19	11.87	8.54	6.18	11.22	4.61

** نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطوح احتمال یک درصد است.

** indicates significant effect at probability level of 1 percent.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر تیمارهای میل‌ورم بر شاخص‌های رشد رویشی گیاه و شاخص سبزینگی برگ در نوبت دوم نمونه‌برداری

Table 5. Means' comparison of the effect of mealworm frass treatments on plant vegetative growth indices and leaf greenness index in the second sampling time

Treatment	تعداد برگ Number of leaf	طول برگ بالا Top leaf length (cm)	طول برگ پایین Bottom leaf length (cm)	عرض برگ بالا Top leaf width (cm)	طول دمبرگ برگ بالا Top leaf petiole length (cm)	طول دمبرگ برگ پایین Bottom leaf petiole length (cm)	عرض برگ پایین Bottom leaf width (cm)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index
۴۰٪ پرلیت، ۴۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_4V_1S_1$)	5.66^{ab}	9.16^{b}	8.66^{b}	7.33^{a}	5.33^{a}	3.33^{c}	2.90^{b}	8.66^{b}	42.96^{c}
۴۰٪ پرلیت، ۳۵٪ کوکوپیت، ۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_{3.5}M_{0.5}V_1S_1$)	6.33^{a}	12.33^{a}	9.50^{ab}	7.66^{a}	5.33^{a}	3.93^{ab}	3.40^{a}	10.66^{a}	45.83^{bc}
۴۰٪ پرلیت، ۳۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_3M_1V_1S_1$)	6.66^{a}	13^{a}	9.66^{a}	8.33^{a}	5.66^{a}	4.23^{a}	3.40^{a}	12^{a}	52.81^{a}
۴۰٪ پرلیت، ۲۵٪ کوکوپیت، ۱۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_{2.5}M_{1.5}V_1S_1$)	4.66^{b}	8.53^{b}	6.33^{c}	5.66^{b}	4.06^{b}	3.60^{bc}	2.16^{c}	7.5^{bc}	46.93^{b}
۴۰٪ پرلیت، ۲۰٪ کوکوپیت، ۲۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_2M_2V_1S_1$)	2.33^{c}	8.50^{b}	6.33^{bc}	5.83^{b}	3.16^{b}	3.53^{bc}	2.10^{c}	6.33^{c}	36.93^{d}
۴۰٪ پرلیت، ۱۵٪ کوکوپیت، ۲۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_{1.5}M_{2.5}V_1S_1$)	1^{c}	8.16^{bc}	6.33^{c}	3.16^{c}	3.16^{b}	2.10^{d}	2.06^{c}	6^{c}	35.13^{d}
۴۰٪ پرلیت، ۱۰٪ کوکوپیت، ۳۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_1 M_3V_1S_1$)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۴۰٪ پرلیت، ۵٪ کوکوپیت، ۳۵٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمیکولیت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4C_{0.5}M_{3.5}V_1S_1$)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۴۰٪ پرلیت، ۴۰٪ میل‌ورم، ۱۰٪ ورمی کولایت و ۱۰٪ خاک زغال ($P_4M_4V_1S_1$)	–	–	–	–	–	–	–	–	–

حروف P، C، M، V و S، و زیرنویس‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب بیانگر پرلیت، کوکوپیت، میل‌ورم، ورمیکولیت و خاک زغال و ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد است. در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Letters P, C, M, V and S, and subscripts 1, 2, 3 and 4 denote perlite, cocopit, mealworm, vermicolite and coal soil, and 10, 20, 30 and 40%, respectively. In each column, means followed with at least one similar letter are not significantly different at $p < 0.05$ by the LSD test.

طول برگ: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر تیمارها بر طول برگ‌های بالا و پایین معنی‌دار (p < ۰/۰۱) شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین طول برگ بالا با میانیگن ۱۳ سانتی‌متر مربوط به ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت بود هرچند با تیمار ۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۸/۱۶ سانتی‌متر در اثر کاربرد تیمار ۲۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین طول برگ پایین با میانگین ۹/۶۶ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت بود هرچند با تیمار ۵ درصد حجمی میل‌ورم با میانگین ۹/۵۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد زمانی که مقدار جایگزینی میل‌ورم با کوکوپیت در بستر متعارف در کشت‌های گلخانه‌ای ۵ تا ۱۰ درصد حجمی باشد بیش‌ترین طول برگ به‌دست می‌آید ولی زمانی که این مقدار بیش از ۳۰ درصد حجمی میل‌ورم باشد گیاهان کامل از بین خواهند رفت (جدول ۵). مشابه نتایج پژوهش حاضر، جلوگیری از جوانه‌زنی اسفناج ژاپنی در خاک اصلاح‌شده با مقادیر بیش‌تر از ۱۰ درصد لارو مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) به دلیل شوری زیاد گزارش شده است (Kawasaki et al., 2020). همچنین Watson et al. (2021) نشان دادند که کاربرد ۱/۵ درصد وزنی فضولات سوسک زرد آرد غنی از مواد غذایی باعث افزایش زیست‌توده گیاه چچم نسبت به تیمار شاهد شد. ولی کاربرد ۳ درصد وزنی این فضولات تقریباً به‌طور کامل از جوانه‌زنی گیاه چچم جلوگیری کرد که آن‌ها دلیل این یافته را EC و غلظت سدیم زیاد گزارش کردند. آن‌ها همچنین پیشنهاد کردند بررسی‌های بیش‌تری در مورد پیامد منفی مقادیر زیاد فضولات حشرات بر جوانه‌زنی گیاه انجام شود تا بتوان آثار منفی فضولات به‌عنوان کود بر رشد گیاه را کاهش داد.

طول دمبرگ: براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر تیمارها بر طول دمبرگ برگ‌های بالا و پایین معنی‌دار (p < ۰/۰۱) شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین طول دمبرگ برگ بالا با میانگین ۸/۳۳ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت بود هرچند با تیمار ۵ درصد حجمی میل‌ورم با میانگین ۷/۶۶ و تیمار شاهد با میانگین ۷/۳۳ تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۳/۱۶ سانتی‌متر از کاربرد تیمار ۲۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیش‌ترین طول دمبرگ برگ پایین با میانگین ۵/۶۶ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت بود هرچند با تیمارهای ۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). فضولات حشرات دارای کربن ناپایدار بیش‌تری نسبت به کمپوست بوده (Lovett et al., 2002) که می‌تواند رشد میکروبی را تحریک کند (Frost et al., 2004) و تنفس خاک، سرعت تجزیه، کانی‌سازی یا تثبیت نیتروژن (N) را افزایش دهد (Frost et al., 2007). Dulaurent et al. (2020) با بررسی تأثیر کرم‌های خاکی (*Lumbricus terrestris* L.) و فضولات سوسک زرد آرد بر رشد گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) نشان دادند بیش‌ترین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره جو از تیمار مخلوط کرم‌های خاکی و فضولات سوسک زرد آرد به‌دست آمد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که در حضور کرم‌های خاکی، معدنی‌شدن عناصر غذایی موجود در فضولات بیش‌تر انجام شده و این عناصر به‌آسانی در دسترس گیاه قرار می‌گیرند (Dulaurent et al., 2020).

عرض برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد سطوح مختلف فضولات سوسک زرد آرد عرض برگ‌های بالا و پایین را به‌طور معنی‌داری (p < ۰/۰۱) افزایش داد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین عرض برگ بالا با میانگین ۴/۲۳ سانتی‌متر از کاربرد تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت به‌دست آمد هرچند با تیمار

۵ درصد حجمی میل‌ورم با میانگین ۳/۹۳ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت و نسبت به تیمار ۲۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت با میانگین ۲/۱۰ سانتی‌متر افزایشی برابر ۵۰/۴ درصد داشت (جدول ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین عرض برگ پایین با میانگین ۳/۴۰ سانتی‌متر در اثر کاربرد تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم به‌دست آمد هرچند با تیمار ۵ درصد حجمی میل‌ورم با میانگین ۳/۴۰ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت و نسبت به تیمار ۲۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت با میانگین ۲/۰۶ سانتی‌متر افزایشی برابر ۳۹/۴ درصد داشت (جدول ۵). فضولات حشرات پس از افزودن به خاک مواد مغذی را به‌آسانی در اختیار ریشه گیاهان قرار می‌دهند. گاهی اوقات، بافت‌های گیاهی که حشرات از آن تغذیه می‌کنند، مقادیر زیادی از مواد مغذی مانند نیتروژن یا فسفر را در اختیار حشرات قرار می‌دهند این بدان مفهوم است که حشرات به روشی بسیار کنترل‌شده دفع این نوع مواد مغذی را تنظیم کرده و باعث افزایش غلظت این عناصر در فضولاتشان می‌شوند (Zhang et al., 2014). فضولات حشرات می‌توانند تأمین‌کننده انرژی و مواد مغذی ریزجانداران خاک و همچنین به‌طور بالقوه منبع مهمی برای تأمین عناصر موجود در خاک باشند (Scott et al., 2013). بررسی ویژگی‌های شیمیایی فضولات برخی حشرات مانند سوسک زرد آرد نشان می‌دهد که آن‌ها از نظر غلظت عناصر پرمصرفی مانند نیتروژن، پتاسیم و فسفر با سایر کودهای دامی به‌ویژه کود مرغی که از پتانسیل زیادی برای تقویت گیاهان برخوردار می‌باشند، قابل رقابت هستند. ولی بر خلاف کودهای معدنی، فضولات حشرات دارای غلظت کم‌تری از عناصر ریزمغذی (مانند مس و روی) می‌باشند (Houben et al., 2020). بنابراین، انتظار می‌رود فضولات حشرات بر فرآیند تجزیه و فراهمی مواد مغذی خاک تأثیر بگذارد. نیتروژن و فسفر آلی در اکثر فضولات حشرات به‌فراوانی یافت می‌شوند (Kagata and Ohgushi, 2012). این فضولات با افزایش ماده آلی، فسفر و نیتروژن در خاک بر رشد گیاهان تأثیر مثبت می‌گذارند (Frost and Hunter, 2007). در همین راستا، در بررسی تأثیر فضولات سوسک زرد آرد به‌عنوان یک کود زیستی بالقوه در تحمل به تنش غیرزیستی در گیاه چغندر (*Beta vulgaris var. cicla*) گزارش شده است که فضولات حاصل از کرم زرد آرد با بسترهای مختلف باعث افزایش طول شاخساره و عرض ساقه چغندر شد (Poveda et al, 2019).

ارتفاع: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد سطوح مختلف فضولات لارو سوسک زرد آرد ارتفاع گیاه را به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) افزایش داد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین ارتفاع گیاه با میانگین ۱۲ سانتی‌متر از کاربرد تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت به‌دست آمد هرچند با تیمار ۵ درصد حجمی میل‌ورم با میانگین ۱۰/۶۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری نداشت و نسبت به کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۲/۱۰ سانتی‌متر از کاربرد تیمار ۲۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت افزایشی برابر ۵۰/۴ درصد داشت (شکل ۱، جدول ۵). در پژوهشی تأثیر چهار اصلاح‌کننده آلی کود دامی، ورمی کمپوست، فضولات کرم زرد آرد و مگس سرباز سیاه بر شاخص‌های رشد گیاه کدو سبز (*Cucurbita pepo L*) بررسی شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه با میانگین ۱۱۴/۴ سانتی‌متر در اثر کاربرد فضولات کرم زرد آرد به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۱۰۲/۷) افزایشی برابر ۱۰/۲ درصد داشت. این افزایش ارتفاع گیاه به فراهمی عناصر غذایی که به‌آسانی توسط گیاه جذب می‌شود نسبت داده شد (Zim et al., 2022). در همین راستا Przemieniecki et al. (2021) با بررسی تأثیر فضولات کرم زرد آرد (*Tenebrio molitor L.*) بر ارزیابی بیومتریک، شیمیایی و میکروبیولوژیک گیاه گندم (*Triticum aestivum L.*) نشان دادند که فضولات کرم زرد آرد می‌تواند به‌طور قابل توجهی ارتفاع گیاه گندم را نسبت به تیمار شاهد (تقریباً ۱۰ درصد، قابل مقایسه با کود معدنی نیتروژن) افزایش دهد. در پژوهش دیگری به‌منظور بررسی اثر ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار فضولات حشرات (*Hermetia illusions*) بر حاصلخیزی

شکل ۱. تأثیر کاربرد سطوح مختلف فضولات میل‌ورم بر ارتفاع گیاه فیلودندرون

Fig. 1. The effect of application of different mealworm frass on Philodendron height

خاک و رشد پیاز بهاره گزارش شد که ارتفاع بوته پیاز به‌طور مثبت تحت تأثیر بیش‌تر تیمارهای فضولات حشرات نسبت به گیاهان شاهد قرار گرفت به‌گونه‌ای‌که بیش‌ترین ارتفاع گیاه با میانگین ۱۸۰ میلی‌متر در تیمار ۵ تن در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایشی برابر با ۱۶/۷ درصد داشت. ولی بیش‌ترین میزان مصرف فضولات (۲۰ تن در هکتار) باعث کاهش ارتفاع گیاه شد (Zahn and Quilliam, 2017). در همین راستا Green and Popa (2012) گزارش کردند شیرابه‌های فرآوری‌شده توسط لارو مگس سرباز دارای ۵ تا ۶ برابر آمونیوم بیش‌تر نسبت به نوع فرآوری‌نشده آن‌ها بودند. آن‌ها این‌گونه بیان کردند که سطوح بالای نیتروژن در شیرابه فضولات فرآوری‌شده توسط لارو مگس سرباز باعث تجزیه متوالی اسید اوریک (ترکیب اصلی ذخیره نیتروژن در فضولات) به آلانتوئین، اوره و در نهایت به آمونیوم می‌شود که احتمالاً باعث سمیّت آمونیوم شده و رشد گیاه را مختل می‌کنند. این واقعیت که نرخ‌های نسبتاً کم کاربرد اصلاح‌کننده آلی باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود، با پژوهش Ouédraogo (2001) هماهنگ است. وی گزارش کرد که در اثر کاربرد ۵ تن در هکتار اصلاح‌کننده آلی، عملکرد سورگوم تا ۴۵ درصد افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف کود میل‌ورم (جدول ۵)، می‌توان گفت زمانی که مقدار جایگزینی کود میل‌ورم با کوکوپیت در بستر متعارف در کشت‌های گلخانه‌ای ۵ تا ۱۰ درصد حجمی باشد بیش‌ترین ارتفاع گیاه به‌دست می‌آید ولی اگر این مقدار بیش از ۳۰ درصد حجمی کود میل‌ورم باشد گیاهان به‌طور کامل از بین خواهند رفت (جدول ۵). نوع و میزان کاربرد سطوح فضولات به‌طور قابل توجهی با حاصلخیزی خاک در ارتباط است، بدین مفهوم که کاربرد مقادیر زیاد فضولات باعث افزایش شوری خاک می‌شود (Zahn and Quilliam, 2017).

شاخص سبزینگی برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد سطوح مختلف فضولات لارو سوسک زرد آرد شاخص سبزینگی برگ را به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) افزایش داد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین شاخص سبزینگی برگ با میانگین ۵۲/۸۶ در اثر کاربرد تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت به‌دست آمد و نسبت به تیمار ۲۵ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت با میانگین ۳۵/۱۳ افزایشی برابر ۳۳/۵ درصد داشت

(جدول ۵). در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد که هنگامی که مقدار جایگزینی میل‌ورم با کوکوپیت در بسترهای متعارف در کشت‌های گلخانه‌ای ۵ تا ۱۰ درصد حجمی باشد بیش‌ترین شاخص سبزینگی برگ به‌دست می‌آید ولی اگر این مقدار بیش از ۳۰ درصد حجمی کود میل‌ورم باشد گیاهان کامل از بین خواهند رفت (جدول ۵). فضولات حشرات به‌طور معمول از نسبت‌هایی از مواد آلی خام، پروتئین خام، نیتروژن، فسفر و پتاسیم تشکیل شده‌اند. Przemieniecki et al. (2021) با بررسی تأثیر فضولات کرم زرد آرد (*Tenebrio molitor L.*) بر ارزیابی بیومتریک، شیمیایی و میکروبیولوژیک گیاه گندم (*Triticum aestivum L.*) نشان دادند که فضولات کرم زرد آرد می‌تواند مقدار شاخص سبزینگی برگ را نسبت به تیمار شاهد تقریباً ۶ درصد افزایش دهد. پژوهش‌های انجام‌شده توسط Kovářcik at al. (2010) نشان داد که استفاده از فضولات لارو مگس خانگی بر عرض ساقه و شاخص سبزینگی برگ گیاه آفتابگردان (*Helianthus annulus L.*) تأثیر مثبتی داشت. به‌گونه‌ای‌که تیمار ۸ تن در هکتار با میانگین ۱۶/۲۴ گرم بر مترمربع بیش‌ترین شاخص سبزینگی برگ را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد (با میانگین ۱۵/۴۲ گرم بر مترمربع) افزایشی برابر ۵/۱ درصد داشت. Poveda et al. (2019) با بررسی تأثیر فضولات سوسک زرد آرد به‌عنوان یک کود زیستی بالقوه برای افزایش تحمل به تنش غیرزیستی در گیاه چغندر (*Beta vulgaris var. cicla*) گزارش کردند که این فضولات با بسترهای مختلف باعث افزایش شاخص سبزینگی برگ چغندر شد. در پژوهش دیگری با هدف بررسی آثار منفی و مثبت فضولات حشرات بر فراهمی نیتروژن خاک و رشد گیاه کلم راپا (*Brassica rapa*)، گزارش شد که این فضولات به‌سرعت در خاک تجزیه شده و باعث افزایش غلظت نیتروژن در برگ‌ها می‌شوند. همچنین مشاهده شد که زیست‌توده گیاه راپا با افزودن ۲ گرم فضولات افزایش یافت، اما با افزودن ۰/۵ گرم فضولات تغییری نکرد که نشان می‌دهد این آثار بسته به کیفیت و کمیّت فضولات متغیر است (Kagata and Ohgushi, 2012).

در همین رابطه نتایج حاصل از پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که فضولات حشرات پتاسیل زیادی در فراهم‌نمودن عناصر غذایی برای رشد گیاهان در بسترهای با باروری کم دارند. این فضولات همچنین به‌عنوان یک کود آلی در اصلاح زیست‌توده میکروبی خاک مفیدند (Watson et al., 2021). با این وجود، سه جنبه اصلاح خاک‌ها با فضولات حشرات باید پیش از تبدیل‌شدن به یک هنجار پذیرفته‌شده به‌طور سیستماتیک ارزیابی شود: ۱) مقدار و فراهمی عناصر غذایی فضولات حشرات برای گیاهان به‌شدت به عوامل مختلفی از جمله گونه‌های لارو، رژیم غذایی، فراوانی و نگهداری بستگی دارد؛ پیش‌بینی پاسخ گیاه به انواع فضولات با درک کامل این عوامل آسان‌تر خواهد شد، ۲) زمان‌بندی و میزان کاربرد بهینه فضولات در رابطه با تقاضای محصولات مختلف باید بررسی شود، و ۳) تولید پروتئین از حشرات به‌شکلی سازگارتر با محیط زیست انجام شود. از فضولات حشرات به شکلی بهینه استفاده شود تا از هدررفت مواد مغذی (به‌ویژه کربن و نیتروژن) جلوگیری شود (Watson et al., 2021).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی کاربرد سطوح مختلف فضولات سوسک زرد آرد (کود میل‌ورم) باعث افزایش شاخص‌های رشد رویشی و شاخص سبزینگی برگ در گیاه فیلودندرون روح فلوریدا شد. بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های رشد رویشی و شاخص سبزینگی برگ در اثر کاربرد تیمار ۱۰ درصد حجمی میل‌ورم جایگزین‌شده با کوکوپیت به‌دست آمد. با این‌حال، افزایش بیش از ۱۰٪ کود میل‌ورم نتوانست تغییر معنی‌داری در صفات مورد بررسی ایجاد نماید. در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد که هنگامی که مقدار جایگزینی کود میل‌ورم با کوکوپیت در بستر متعارف در کشت‌های گلخانه‌ای، ۱۰ درصد حجمی باشد بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های رشد رویشی و شاخص سبزینگی برگ به‌دست می‌آید. در مقادیر ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد حجمی این کود، کاهش شاخص‌های رشد رویشی و شاخص سیزینگی گیاه مشاهده شد

و چنانچه مقدار مورد استفاده کود میل‌ورم بیش از ۳۰ درصد حجمی باشد گیاهان کامل از بین خواهند رفت. این نتیجه به دلیل شوری زیاد ناشی از کاربرد میل‌ورم در مقادیر بیش‌تر از ۳۰ درصد حجمی می‌تواند باشد. با توجه زیادبودن شوری (۱۰/۳ dS/m) و pH (۸/۵۵) این فضولات و همچنین این نکته که با تغییر بستر لارو میل‌ورم نوع کود تولیدشده تغییر می‌کند، پیشنهاد می‌شود از بسترهای استفاده شود که باعث کاهش شوری و pH بستر نهایی می‌شوند.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از نتایج طرح پژوهشی سفارشی مشترک فی‌مابین دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و شرکت زیست‌فناوری ورجاوند هیرکان است. هزینه‌های این طرح توسط شرکت زیست‌فناوری ورجاوند هیرکان تأمین شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع

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

منابع مورد استفاده

1. Arbab, A., 2021. Feasibility of using insect frass to improve soil fertility. Land Manage. J. 9(1), 127–139. doi: 10.22092/lmj.2021.342729.234. (In Persian with English abstract)
2. Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N., Musyoka, M.W., Fiaboe, K.K. M., Nakimbugwe, D., Khamis, F.M., Subramanian, S., Dubois, T., Ekesi, S., Tanga, C. M., 2020. Nitrogen fertilizer equivalence of Black Soldier Fly frass fertilizer and synchrony of nitrogen mineralization for maize production. Agronomy 10, 1395.
3. Čičková, H., Newton, G.L., Lacy, R.C., Kozánek, M., 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. Waste Manage. 35, 68–80.
4. Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.S., Chuang, L.T., Bosse, R., Paoletti, M.G., 2005. House cricket small-scale farming. In: Paoletti, M.G. (Ed.), Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails, CRC Press, pp., 515–540.
5. Correia-da-Silva, M., Vasconcelos, S., Soares, M.D.L.D.C., Mayo, S.J., Benko-Iseppon, A.M., 2014. Chromosomal diversity in Philodendron (*Araceae*): taxonomic significance and a critical review. Plant Syst. Evol. 300(5), 1111–1122.
6. Davoudi, M.H., Shahbazi, K., Faizullahzadeh Ardabili, M., Rezaei, H., 2014. Decomposition Methods of Organic Fertilizers. Soil and Water Research Institute. P. 154.
7. Dulaurent, A.M., Daoulas, G., Faucon, M.P., Houben, D., 2020. Earthworms (*Lumbricus terrestris L.*) mediate the fertilizing effect of frass. Agronomy 10(6), 783.
8. FAO, 2013. Food Wastage Footprint-Impacts on Natural Resources: Summary Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
9. Frost, C.J., Hunter, M.D., 2004. Insect canopy herbivory and frass deposition affect soil nutrient dynamics and export in oak mesocosms. Ecology 85, 3335–3347.
10. Frost, C.J., Hunter, M.D., 2007. Recycling of nitrogen in herbivore feces: plant recovery, herbivore assimilation, soil retention, and leaching losses. Oecologia, 151, 42–53.
11. Green, T.R., Popa, R., 2012. Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae. Appl. Biochem. Biotechnol. 166(6), 1381–1387.
12. Haigh, A., Clark, B., Reynolds, L., Mayo, S.J., Croat, T.B., Lay, L., Boyce, P.C., Mora, M., Bogner, J., Sellaro, M., Wong, S.Y., 2011. CATE Araceae. CATE Araceae. Retrieved October. 6: 2020. 331172–2.
13. Houben, D., Daoulas, G., Dulaurent, A.M., 2021. Assessment of the short-term fertilizer potential of mealworm frass using a pot experiment. Front. Sustain. Food Syst. 5, 714596.
14. Houben, D., Daoulas, G., Faucon, M., Dulaurent, A.M., 2020. Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. Sci. Rep. 10, 4659.
15. Kagata, H., Ohgushi, T., 2012. Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth. Popul. Ecol. 54(1), 75–82.
16. Kawasaki, K., Kawasaki, T., Hirayasu, H., Matsumoto, Y., Fujitani, Y., 2020. Evaluation of fertilizer value of residues obtained after processing household organic waste with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*).

Sustainability 12, 4920.
17. Kováˇcik, P., M. Kozánek, P., Takáˇc, Galliková, M., Varga L., 2010. The effect of pig manure fermented by larvae of house flies on the yield parameters of sunflowers (*Helianthus annus L.*) In: Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis 58(2), 147–154.
18. Liu, H.R., Yang, Z.F., Tan, D.F., Wu, Z.S., 2003. Study on the fertilizer efficiency of the frass of *Tenebrio molitor* L. J. Quanzhou Normal Univ. 21, 68–70.
19. Lovett, G.M., Christenson, L.M., Groffman, P.M., Jones, C.G., Hart, J.E., Mitchell, M.J., 2002. Insect defoliation and nitrogen cycling in forests: laboratory, plot, and watershed studies indicate that most of the nitrogen released from forest foliage as a result of defoliation by insects is redistributed within the ecosystem, whereas only a small fraction of nitrogen is lost by leaching. BioScience 52(4), 335–341.
20. Luo, H.Y., Wang, H., Wang, Q., 2011. Effects of different application amount of yellow mealworm excrement on growth and quality of rape. Shandong Agric. Sci. 8, 75–77.
21. Menino, R., Felizes, F., Castelo-Branco, M.A., Fareleira, P., Moreira, O., Nunes, R. and Murta, D., 2021. Agricultural value of Black Soldier Fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass. Heliyon 7(1), e05855.
22. Mohanty, M., Reddy, K. S., Probert, M. E., Dalal, R. C., Rao, A. S., Menzies, N.W., 2011. Modelling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study. Ecol. Model. 222, 719–726.
23. Ouédraogo, E., 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. Agric. Ecosys. Environ. 84(3), 259–266.
24. Poveda, J., Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Usategui-Martín, R., Rivas García-Fraile, R.P., 2019. Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance inductor in plants. Appl. Soil Ecol. 142, 110–122.
25. Przemieniecki, S.W., Kosewska, A., Purwin, C., Zapałowska, A., Mastalerz, J., Kotlarz, K., Kolaczek, K., 2021. Biometric, chemical, and microbiological evaluation of common wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings fertilized with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal. Appl. Soil Ecol. 167, 104037.
26. Ramos-Elorduy, J., Avila Gonzalez, E., Rocha Hernandez, A., Pino, J.M., 2002. Use of Tenebrio molitor (*Coleoptera: Tenebrionidae*) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. J. Econ. Entomol. 95, 214–220.
27. Rezaei, H., 2013. A review of research on application of livestock manure in agricultural land of Iran. Land Manage. J. 1(1), 55–68. doi: 10.22092/lmj.2013.100076.
28. Scott, W., Behie, M., Bidochka, J., 2013. Insects as a nitrogen source for plants. Insects 4, 413–424.
29. van Lenteren, J.C., 2006. Ecosystem services to biological control of pests: why are they ignored? Prok. Neth. Entomo. Soc. Meet. 17, 103–111.
30. Watson, C., Preißing, T., Wichern, F., 2021. Plant nitrogen uptake from insect frass is affected by the nitrification rate as revealed by urease and nitrification inhibitors. Front. Sustain. Food Syst. 27, 5.721840.
31. Zahn, N.H., Quilliam, R., 2017. The effects of insect frass created by *Hermetia illucens* on spring onion growth and soil fertility. Univ. Stirling, pp.1–65.
32. Zhang, Z., Elser, J.J., Cease, A.J., Zhang, X., Yu, Q., Han, X., Zhang, G., 2014. Grasshoppers regulate N:P stoichiometric homeostasis by changing phosphorus contents in their frass. PLoS One 9(8), e103697.
33. Zim, J., Aitikkou, A., EL Omari, M.H., EL Malahi, S., Azim, K., Hirich, A., Nilahyane, A., Oumouloud, A., 2022. A new organic amendment based on insect frass for zucchini (*Cucurbita pepo L.*) cultivation. Environ. Sci. Proc., 16(1), 28.