

The Effect of Using Mealworm Frass and Spraying of Zinc Lignosulfonate on the Yield and Some Properties of Green Mung Bean (*Vigna radiata*) Seeds

N. Mirzababaei¹, A. Hassani^{1*}, M. Babaakbari Sari¹, A. Golchin¹

1- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanzan, Zanzan, Iran

(*- Corresponding Author Email: akbar.hassani@znu.ac.ir)

Received: 10 June 2025

Revised: 08 September 2025

Accepted: 09 February 2026

Available Online: 09 February 2026

How to cite this article:

Mirzababaei, N., Hassani, A., Babaakbari Sari, M., & Golchin, A. (2026). The effect of using mealworm frass and spraying zinc lignosulfonate on the yield and some properties of green mung bean (*Vigna radiata*) seeds. *Journal of Soil and Water*, 39(5), 449-464. (In Persian with English abstract).

<https://doi.org/10.22067/jsw.2026.93966.1486>

Introduction

Increasing the quality of food grains is one of the goals of sustainable agriculture. Mung bean (*Vigna radiata* L.) is one of the most important legume crops cultivated on more than 6 million hectares worldwide. There are few studies on the effect of mealworm frass application and its effectiveness on plant growth and yield. On the other hand, given the soil and climatic conditions of Iran, its high potential in legume production, and its economic justification, it seems necessary to pay attention to feeding mung beans with organic fertilizers. The cultivation of mung bean is increasingly developing in Iran, and its use for food and medicinal purposes is also increasing. Therefore, considering the possible positive effect of mealworm frass and zinc fertilizer on the growth of this plant, the present study was conducted to investigate the effect of these fertilizers on growth, yield indices, and the molar ratio of phytic acid to zinc in the seeds.

Materials and Methods

In this study, an experiment was conducted as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications. The aim was to investigate the effect of different levels of mealworm frass and zinc lignosulfonate foliar application on growth characteristics, yield, zinc concentration, the molar ratio of phytic acid to zinc, and some biochemical factors of mung bean seeds. The treatments included four levels of mealworm frass (0, 500, 1000 and 1500 kg ha⁻¹) and three levels of zinc foliar application during the flowering period (foliar application with irrigation water as a control and foliar application with concentrations of 2.5 and 5 g L⁻¹ of zinc lignosulfonate). Growth and yield indices including plant height, number of secondary stems, number of pods per plant, number of seeds per pod, pod length, and seed yield were measured. Also, some biochemical properties such as molar ratio of phytic acid to zinc, flavones, total flavonoids, total phenols, tannin concentration and percentage of antioxidant activity were measured. Nitrogen, phosphorus and potassium of mung bean seeds were also measured.

Results and Discussion

The results showed that the simple effect of mealworm frass was significant for all measured traits except the number of secondary stems, pod length, and number of seeds per pod. The simple effect of zinc lignosulfonate was significant for all measured traits except the number of secondary stems, pod length, number of seeds per pod and total phenol concentration, and seed tannin. The interaction effect of mealworm frass and zinc lignosulfonate for all measured traits except pod length and number of seeds per pod was significant. The highest grain yield (115.2 g m⁻²) was related to the treatment of 1500 kg of mealworm frass and 5 ppt zinc lignosulfonate foliar spray, which was in the same group as the treatment of 1500 kg mealworm frass with 0 and 2.5 g L⁻¹ zinc foliar spray, and the treatment of 1000 kg mealworm frass and 5 g L⁻¹ zinc foliar spray. While the lowest amount (80.1 g m⁻²)



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jsw.2026.93966.1486>

was observed in the control treatment. The highest plant height (37.05 cm) was measured in the treatment of 500 kg mealworm frass with zero zinc application, and the lowest stem length (24.68 cm) was observed in the treatment of 500 kg of mealworm frass with the application of 5 g L⁻¹ zinc. The highest molar ratio of phytic acid to zinc (30.8) was observed in the treatment of 500 kg of mealworm frass and no foliar application of zinc lignosulfonate, which was not significantly different from the treatments of 0 kg of mealworm frass and 0 and 2.5 g L⁻¹ of zinc lignosulfonate application. While the lowest ratio (24.1) was observed in the treatment of 0 kg of mealworm frass and 5 g L⁻¹ zinc lignosulfonate application, which was not significantly different compared to the treatment of 1500 kg of mealworm frass and 2.5 and 5 g L⁻¹ of zinc lignosulfonate application. Foliar application of zinc reduced the molar ratio of phytic acid to zinc in the grain (maximum 21%), and application of mealworm frass increased this ratio up to 500 kg and then decreased it. Based on the results of this study, the application of 1000 kg of mealworm frass without zinc application was more effective in increasing the concentration of flavonoids and antioxidant activity. However, zinc foliar application was effective in increasing the concentration of phenolic compounds and tannin. The highest antioxidant activity (72.44%) was observed in the treatment of 1000 kg of mealworm frass without foliar application of zinc, and the lowest (58.18%) was measured in the treatment of 1500 kg of mealworm frass and application of 2.5 g L⁻¹ zinc lignosulfonate, followed by treatments of 500 kg of mealworm frass without foliar application of zinc lignosulfonate and foliar application of 2.5 g L⁻¹ zinc lignosulfonate. Zinc foliar spraying was effective in increasing the concentration of phenolic compounds and tannin content. Foliar application of zinc lignosulfonate increased the zinc and nitrogen content of the grain but had no effect on the phosphorus and potassium concentrations. Application of mealworm frass increased the nitrogen, phosphorus, and potassium content of the mung bean grain but simultaneously reduced the zinc concentration.

Conclusion

In general, the results of this study showed that the use of mealworm frass increased mung bean grain yield, and foliar spraying of zinc lignosulfonate increased the grain zinc concentration and reduced the molar ratio of phytic acid to zinc. Overall, the use of mealworm frass increased the yield, and the use of zinc lignosulfonate improved the grain quality.

Keywords: Antioxidant activity, Flavonoids, Molar ratio of phytic acid to zinc, Tannin, Total phenol

تأثیر کاربرد کود میلورم و محلول پاشی لیگنوسولفونات روی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های دانه گیاه ماش سبز (*Vigna radiata*)

نیلوفر میرزابابایی^۱ - اکبر حسینی^{۱*} - محمد بابا اکبری ساری^۱ - احمد گلچین^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۰

چکیده

افزایش کیفیت دانه‌های غذایی یکی از اهداف کشاورزی پایدار می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کود میلورم و محلول پاشی لیگنوسولفونات روی بر ویژگی‌های رشد، عملکرد، غلظت روی و نسبت مولی اسید فیتیک به روی و همچنین برخی فاکتورهای بیوشیمیایی دانه گیاه ماش (*Vigna radiata*) رقم پرتو آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح کود میلورم (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار) و دو سطح محلول پاشی لیگنوسولفونات روی در دوره گل‌دهی (محلول پاشی با آب آبیاری به عنوان شاهد، محلول پاشی با غلظت‌های ۲/۵ و ۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی) بودند. شاخص‌های رشد و عملکرد شامل ارتفاع گیاه، تعداد ساقه‌های فرعی، تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف، طول غلاف و محصول دانه اندازه‌گیری شدند. همچنین برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی مانند نسبت مولی اسید فیتیک به روی، فلاون، فلاونوئید کل، فنل کل، غلظت تانن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه ماش مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کاربرد کود میلورم به تنهایی در افزایش تعداد ساقه، طول ساقه اصلی، میزان فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بذر ماش مؤثرتر از کاربرد تلفیقی کود میلورم و روی بود. همچنین، محلول پاشی لیگنوسولفونات روی به تنهایی و همچنین همراه با کود میلورم سبب افزایش غلظت روی (حداکثر ۴۵ درصد) در بذر ماش شد. بیشترین محصول دانه (۱۱۵/۲ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم و کمترین میزان (۸۰/۱ گرم در متر مربع) در تیمار صفر کیلوگرم کود میلورم و محلول پاشی صفر روی دیده شد. محلول پاشی با روی نسبت مولی اسید فیتیک به روی دانه را کاهش داد (حداکثر ۲۱ درصد) و کاربرد کود میلورم تا ۵۰۰ کیلوگرم این نسبت را افزایش و پس از آن کاهش داد. بر اساس نتایج این پژوهش کاربرد هزار کیلوگرم کود میلورم بدون کاربرد روی، در افزایش میزان فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مؤثرتر بود. با این حال محلول پاشی روی در افزایش میزان ترکیبات فنلی و میزان تانن مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: تانن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدها، فنل کل، نسبت مولی اسید فیتیک به روی

مقدمه

چین، هند، بنگلادش، پاکستان و برخی کشورهای جنوب شرقی آسیا و همچنین در مناطق خشک جنوب اروپا و بخش‌های گرم‌تر کانادا و ایالات متحده به طور گسترده کشت می‌شود (Dahiya et al, 2015). در رژیم‌های غذایی عمدتاً غلات محور ایران، ماش به عنوان یک غذای رایج برای قرن‌ها مصرف شده است. ماش حاوی مواد غذایی متعادل شامل پروتئین، فیبر، مواد معدنی، ویتامین‌ها و مقادیر قابل توجهی از ترکیبات مغذی مفید است (Gan et al., 2017). برای افرادی که نمی‌توانند پروتئین‌های حیوانی را تهیه کنند یا گیاه‌خوار هستند، ماش

ماش سبز (*Vigna radiata* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات خوراکی حبوبات است که در بیش از ۶ میلیون هکتار در سراسر جهان کشت می‌شود (حدود ۸/۵ درصد از مساحت جهانی حبوبات) و توسط اکثر خانوارها در آسیا مصرف می‌شود. به دلیل ویژگی‌های آن از جمله تحمل نسبتاً بالا به خشکی، نیاز کم به نهاده‌های کشاورزی و دوره رشد کوتاه (حدود ۷۰ روز)، ماش در بسیاری از کشورهای آسیایی (عمدتاً در

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: akbar.hassani@znu.ac.ir)

باعث افزایش غلظت روی در دانه‌های ماش شده است (Hussain et al., 2021). مواد غذایی غنی ماش سبز، از جمله مواد معدنی، روی، فیبر رژیمی و مقادیر قابل توجهی از ترکیبات بیولوژیکی فعال نیز آن را به یک غذای عملکردی خوب تبدیل می‌کند. به علاوه، پلی‌فنول‌ها، پلی‌ساکاریدها و پپتیدهای موجود در ماش خواص آنتی‌اکسیدانی دارند که می‌تواند به پیشگیری از بیماری‌ها کمک کند. تا به امروز، ماش و عصاره‌های آن نشان‌دهنده اثرات قابل توجه سلامت، مانند فعالیت‌های ضد فشار خون، ضد سرطان، حفاظت کبدی و تنظیم ایمنی بوده‌اند (Liyana et al., 2018; Ali et al., 2014).

در سال‌های اخیر پرورش و تولید حشرات به‌منظور خوراک دام و طیور در ایران افزایش یافته است. در حال حاضر چندین مرکز پرورش میلورم^۱ در ایران در حال فعالیت هستند. میلورم در بستر سبوس پرورش داده می‌شود و پس از اتمام دوره رشد، بستر میلورم محتوی بقایای جسم کرم میلورم، مدفوع آن و اندکی سبوس می‌باشد که از آن به‌عنوان کود میلورم در مزارع کشاورزی استفاده می‌شود. خصوصیات شیمیایی کود میلورم نشان می‌دهد که غلظت نیتروژن (۵ درصد)، پتاسیم (۱/۷ درصد)، فسفر (۲ درصد) و کربن آلی (۳۹ درصد) در آن به اندازه غلظت‌های موجود در کود دامی و به‌ویژه کود مرغی است که پتانسیل بالای تغذیه‌ای آن را تأیید می‌کند (Houben et al., 2020). همچنین گزارش شده است که مقدار کربن محلول آن زیاد و مقدار کربن شبه سلولز و شبه لیگنین در آن کمتر بوده و از این نظر تشابه زیادی با کود مرغی دارد (Li et al., 2013). گزارش شده است که کود میلورم به دلیل معدنی شدن سریع آن و وجود مواد مغذی به شکلی که به راحتی در دسترس است، به اندازه کود کامل NPK برای بهبود زیست‌توده و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط جو قابل استفاده است (Houben et al., 2020). استفاده از این کود می‌تواند نتایج قابل قبولی در مزارع و باغات داشته باشد.

روی یک عنصر غذایی ضروری برای رشد مطلوب گیاه در تشکیل و فعالیت هورمون‌های رشد، طویل شدن فاصله گره‌ها، تشکیل کلروپلاست، سنتز نوکلئوتیدها، تنظیم آب گیاه و نشاسته دانه غلات نقش دارد. روی به‌عنوان فعال‌کننده و کوفاکتور برخی آنزیم‌های حیاتی گیاه از جمله کربونیک انیدرازها، دهیدروژنازها، آلکالین فسفاتازها، فسفولیپازها و RNA پلیمرازها در متابولیسم قندها، پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک، فتوسنتز گیاه و بیوسنتز اکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد ایفای نقش می‌کند. درحالی‌که همین عنصر در غلظت‌های بالا به‌عنوان یک فلز سنگین، موجب اختلالات متابولیکی و در نهایت بازدارندگی رشد در اکثر گونه‌های گیاهی می‌شود (Broadley et al., 2007). کمبود روی مهم‌ترین مشکل گیاهان سراسر دنیا از نظر مواد غذایی کم‌مصرف به‌خصوص در کشورهایی که

منبع پروتئینی با هزینه نسبتاً پایین و خوبی برای آنان است. علاوه بر این، پروتئین ماش در مقایسه با پروتئین سایر حبوبات به راحتی قابل هضم است (Mubarak, 2005). مصرف ماش همراه با غلات برای افزایش قابل توجه کیفیت پروتئین توصیه شده است، زیرا غلات غنی از آمینواسیدهای حاوی گوگرد و دارای کمبود لیزین هستند (Boye et al., 2010). ترکیب نمودن ماش سبز با برنج سبب افزایش کیفیت و تنوع آمینواسید پروتئین این دو محصول شده و این ترکیب به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای مصرف غذایی پیشنهاد شده است (Dahiya et al., 2015). مشخص شده است که قابلیت هضم پروتئین رژیم غذایی ترکیب برنج و ماش ۸۴/۴ درصد از آنچه برای رژیم غذایی ترکیب برنج و گوشت در نوزادان مشاهده شده است، می‌باشد که تقریباً نیازهای انسان به پروتئین را برآورده می‌کند (Hussain et al., 1983). علاوه بر این، پروتئین‌های گیاهی می‌توانند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با پروتئین‌های حیوانی کمک کنند و تعادل بهتری بین عادات غذایی و حفاظت از محیط‌زیست ایجاد کنند (Di Paola et al., 2017). ماش باعث نفخ کمتری شده و به خوبی توسط کودکان تحمل می‌شود. در بسیاری از مطالعات، ماش به‌عنوان مکملی برای تهیه غذای کمکی نوزادان به‌دلیل محتوای بالای پروتئین آن توصیه شده است (Kumar Dahiya et al., 2014). در پاکستان، تقریباً ۲۵ درصد از تمام آهن موجود در رژیم غذایی توسط حبوبات تأمین می‌شود و ماش توسط تمام خانوارها مصرف می‌شود (Nair et al., 2013). با این حال، وجود عوامل نامطلوب در ماش ممکن است ارزش بیولوژیکی مواد غذایی آن را محدود کند. به‌عنوان مثال، اسید فیتیک می‌تواند با چندین کاتیون دو ظرفیتی مهم مانند آهن، روی، کلسیم و منیزیم پیوند برقرار کند و جذب و استفاده از مواد معدنی در روده کوچک را محدود کند (Sandberg, 2007). با این حال، می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف فرآوری، مانند تخمیر، جوانه‌زنی، پوست‌کنی و پخت، عامل ضد تغذیه را کاهش یا حذف کرد (Barakoti & Bains, 2007; Tajoddin et al., 2011). گزارش شده است پس از جوانه‌زنی، محتوای اسید فیتیک در ماش به میزان ۷۶ درصد کاهش یافت و مقادیر زیستی روی و آهن به‌ترتیب ۳ و ۲/۴ برابر بیشتر از ماش خام افزایش یافت. بنابراین، برخی ویژگی‌های نامطلوب مانع از استفاده از ماش نمی‌شود (Wang et al., 2015). همچنین غنی‌سازی این محصول با کاربرد کودهای محتوی آهن و روی تأثیر قابل توجهی بر کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن در این محصول خواهد داشت (Hummel et al., 2020). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که استراتژی‌های غنی‌سازی زراعی، به‌صورت کاربرد کودهای خاکی و یا محلول‌پاشی، پیشرفت‌های زیادی در افزایش غلظت روی در دانه‌های غلات و حبوبات داشته‌اند. مشخص شد که کاربرد محلول‌پاشی روی

خاک های آن ها دارای روی قابل دسترس کمی هستند، می باشد (Alloway, 2008). کمبود این عنصر، تشکیل دانه و قدرت حیات آن را کاهش می دهد. آسیب به ساختمان گرده و تشکیل میوه حتی تا زمانی که گیاهان در زمان گل دهی از دریافت روی محروم شوند نیز مشاهده می شود، اما این میزان کمتر از حالتی که گیاهان از ابتدا عنصر روی کمتر دریافت می کنند، می باشد. رفع کمبود روی در شروع گل دهی، شدت اثرات کمبود روی را بر باروری دانه گرده و تولید دانه کاهش می دهد و باعث افزایش تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و قدرت حیات بذر می شود (Pandey et al., 2006). در این میان کمپلکس های ارگانیک طبیعی روی مانند لیگنوسولفونات روی، گروهی از کودهای روی را تشکیل می دهند که از کلات های سنتزی مانند روی-ادتا^۱ تجزیه پذیرتر و ارزان تر هستند زیرا از محصولات جانبی تولید خمیر کاغذ از طریق فرآیند سولفیت به دست می آیند. پلیمرهای لیگنین به دلیل داشتن گروه های عاملی سولفونیک اسید به ترکیبات محلول در آب تبدیل می شوند. در سال های اخیر کاربرد این کودهای لیگنوسولفونات در کشورهای اتحادیه اروپا به ویژه کشور اسپانیا افزایش چشمگیری داشته است به نحوی که بیش از ۲۵ درصد از کودهای روی فروخته شده در بازار اسپانیا از لیگنوسولفونات به عنوان عامل کمپلکس کننده استفاده کرده اند (Sánchez Jiménez & Lucena, 2015). قوانین اتحادیه اروپا کاربرد این ترکیب را در کوددهی، به شکل محلول پاشی و اخیراً کاربرد مستقیم در خاک مجاز می داند (EFSA, 2015). برخی محققان کارایی این کمپلکس ها را در شرایط کشت هیدروپونیک، در خاک یا محلول پاشی برگی مورد بررسی قرار داده اند (Álvarez-Fernández et al., 2007; Gonzalez et al., 2008; Martin-Ortiz et al., 2009; Benedicto et al., 2011) و در اغلب موارد اثربخشی این کود قابل توجه بوده است.

با توجه به مطالعات اندک در زمینه تأثیر کاربرد کود میلورم و اثربخشی آن بر رشد و عملکرد گیاهان و همچنین با در نظر گرفتن شرایط خاکی و اقلیمی کشور ایران و پتانسیل بالای آن در تولید حبوبات و توجیه اقتصادی آن، توجه به تغذیه گیاه ماش با کودهای آلی ضروری به نظر می رسد. با توجه به توسعه روزافزون کشت گیاه ماش در ایران و افزایش کاربرد آن جهت مصارف غذایی و دارویی و همچنین تأثیر مثبت احتمالی کود میلورم و روی بر رشد این گیاه، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر این کودها بر رشد، شاخص های عملکرد و نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه این گیاه انجام شد.

مواد و روش ها

به منظور ارزیابی پاسخ گیاه ماش به سطوح مختلف کود میلورم و

لیگنوسولفونات روی، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در فضای باز انجام شد. فاکتور اول شامل ۴ سطح کود میلورم (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار کود میلورم) و فاکتور دوم شامل محلول پاشی عنصر لیگنوسولفونات روی در سه سطح (محلول پاشی آب آبیاری به عنوان شاهد، محلول پاشی لیگنوسولفونات روی با غلظت ۲/۵ گرم در لیتر و محلول پاشی با غلظت ۵ گرم لیتر) بود. کود میلورم از یک مزرعه تولید کرم میلورم با نام مزرعه ورمیکا تهیه شد. لیگنوسولفونات روی نیز از شرکت تولیدکننده کود اینترجیتال^۲ اسپانیا تهیه شد. در مجموع تعداد ۳۶ کرت آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت. طول هر کرت ۴ متر و عرض آن ۳ متر بود. کود میلورم به صورت کود پایه قبل از کشت بذرها به زمین اضافه شد و با خاک تا عمق ۲۰ سانتی متری مخلوط شد. محلول پاشی روی از زمان قبل از گل دهی تا زمان تشکیل غلاف بوته ها (حدود یک ماه) در مجموع چهار مرتبه انجام شد. این پژوهش در بخش کهریزک شهرستان ری واقع در استان تهران به اجرا درآمد. برخی ویژگی های خاک منطقه مورد کشت در جدول ۱ ارائه شده است. بذر مورد استفاده، ماش سبز رقم پرتو (*Vigna radiata*) بود و کشت گیاهان در نیمه اول تیر ماه انجام شد. بذر مورد استفاده از شرکت بذر مهردشت اصفهان تهیه شد. در طی رشد گیاهان، انجام عملیات داشت مانند مبارزه با علف های هرز، آبیاری (به روش قطره ای و با هدایت الکتریکی ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر) و غیره برای کلیه تیمارها به صورت یکسان صورت گرفت. برداشت بوته ها در مرحله رسیدگی نیامها (قهوه ای شدن رنگ آنها) که مصادف با نیمه دوم شهریور ماه بود انجام شد. در هر کرت ۸ بوته انتخاب شدند (هر کدام به عنوان یک قرائت) و مهم ترین شاخص های رشد و عملکرد شامل تعداد ساقه، طول ساقه، تعداد کل غلاف در هر بوته، تعداد بذر در هر غلاف، طول غلاف و محصول دانه اندازه گیری شد. پس از برداشت، غلاف های بوته ها به دقت به صورت جداگانه برداشت و در دمای محیط خشک گردید و تمیز کردن و جداسازی بذرها به صورت دستی انجام شد. با توجه به اینکه از دانه این گیاه به عنوان بخش دارویی و غذایی استفاده می گردد مهم ترین ویژگی های بیوشیمیایی عصاره بذر (فلاون و فلاونول، فلاونوئید کل، ترکیبات فنلی کل، میزان تانن و فعالیت آنتی اکسیدانی)، مورد سنجش قرار گرفت.

به منظور اندازه گیری فاکتورهای بیوشیمیایی بذر، عصاره گیری از نمونه های بذر با استفاده از حلال متانولی ۷۰ درصد به نسبت ۵ به ۱ (حجمی - وزنی) به روش خیساندن^۳ انجام شد (Wojdylo et al., 2007). برای تمامی تیمارها میزان ۵ گرم نمونه بذر، کاملاً آسیاب گردید و به لوله فالکون انتقال یافت و سپس میزان ۲۵ میلی لیتر حلال

از تهیه نمونه‌های مناسب و آسیاب کردن آنها ابتدا به روش اکسایش خشک و تر، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر به روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفوتومتر، پتاسیم به روش شعله‌سنجی با دستگاه فلیم فتومتر و آهن و روی به روش اسپکتروفوتومتری جذب اتمی با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Karla, 1997). آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excell و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر کود میلورم و روی بر همه صفات اندازه‌گیری شده به‌جز تعداد بذر در غلاف، طول غلاف و غلظت آهن دانه معنی‌دار بود (جدول ۲) که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد:

ویژگی‌های مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر متقابل کود میلورم و روی بر تعداد ساقه فرعی بود. در حالی که اثر ساده کود میلورم و محلول‌پاشی روی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین تعداد ساقه (۶/۴۹) در تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم بدون کاربرد روی و بعد از آن (۵/۶۸) در تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم کود میلورم و محلول-پاشی ۲/۵ گرم در لیتر روی، مشاهده شد. در حالی که کمترین تعداد ساقه (۴/۱۲) در تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم کود میلورم بدون کاربرد روی یافت شد که با سایر تیمارها در یک گروه قرار داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده و متقابل تیمارها بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). بدون در نظر گرفتن اثر ساده تیمارها، بیشترین طول ساقه (۳۷/۰۵ سانتی‌متر) در تیمار ۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم بدون کاربرد روی دیده شد که با تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم بدون کاربرد روی در یک گروه قرار داشتند و کمترین طول ساقه نیز (۲۴/۶۸ سانتی-متر) در تیمار ۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم با کاربرد ۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی، مشاهده شد (جدول ۳). بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل روی و کود میلورم بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). در بررسی اثرات متقابل کود میلورم و محلول-پاشی روی، بیشترین تعداد غلاف در بوته (۴۱) در تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم و محلول‌پاشی ۵ گرم در لیتر روی، دیده شد. در حالی که کمترین میزان (۱۱) مربوط به تیمار صفر کیلوگرم کود میلورم و صفر روی بود (جدول ۳).

به آنها اضافه شد و مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با دور ۲۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و قسمت روشن‌آور صاف گردید و به‌عنوان عصاره جهت انجام آزمایش‌های بعدی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. میزان فلاون و فلاونول به روش پاپوا و همکاران (Popova et al., 2004) اندازه‌گیری شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم اکی‌والانت کوئرستین در گرم وزن خشک بیان شد. در ادامه برای رسم منحنی استاندارد، از غلظت‌های مختلف کوئرستین استفاده شد. اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل با استفاده از معرف کلرید آلومینیوم انجام شد. تبدیل داده‌های حاصل از جذب به غلظت‌های مختلف کوئرستین با رسم منحنی استاندارد کوئرستین (غلظت‌های ۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) انجام شد و نتایج بر اساس میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن خشک بیان شد (Menichini et al., 2009). محاسبه میزان تانن موجود در عصاره بذرها بر اساس روش اسیدکلریدریک-وانیلین در طول موج ۵۰۰ نانومتر انجام شد و از ترکیب کاتکین^۱ به‌عنوان استاندارد استفاده شد (Broadhurst & Jones, 1978). ترکیبات فنلی کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتو^۲ در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت‌های مختلف گالیک اسید به‌عنوان استاندارد مورد استفاده قرار گرفت و داده‌ها به‌صورت میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک بیان شد (Wojdylo et al., 2007). اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها بر اساس آزمون DPPH^۳ با اعمال تغییرات جزئی بر اساس روش اوکه و همکاران (Oke et al., 2009) انجام شد.

اندازه‌گیری اسید فیتیک به روش هاگ و لانتسچ (Haug & Lantzsch, 1984) انجام شد. اساس این روش بر مبنای رسوب فیتات آهن و اندازه‌گیری آهن باقیمانده در محلول رویی (محلول باقیمانده) می‌باشد. بدین‌منظور نیم گرم بذر آسیاب شده ماش با ۲۵۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک (pH=3) به مدت سه ساعت عصاره‌گیری شد و با استفاده از آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس یک میلی‌لیتر از این عصاره به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل شده و یک میلی‌لیتر از محلول آهن فریک به آن افزوده شد. لوله‌های مورد آزمایش روی پایه ای مناسب روی حمام بن‌ماری ثابت شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش نگهداری شدند. پس از اتمام این دوره و سرد شدن لوله‌ها و رسیدن به دمای اتاق، محتوای لوله‌ها مخلوط و در دور ۳۰۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. در ادامه یک میلی‌لیتر از محلول روشن‌آور به لوله دیگری منتقل شده و با افزودن ۱/۵ میلی‌لیتر محلول بی‌پیریدین، جذب در طول موج ۵۱۹ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج خوانده شد. نسبت مولی اسید فیتیک به روی از تقسیم میلی‌مول اسید فیتیک به میلی‌مول روی محاسبه شد. برای اندازه‌گیری عناصر غذایی دانه پس

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و برخی عناصر غذایی موجود در خاک مورد کشت گیاه ماش سبز

Table 1- Physicochemical characteristics and some nutritional elements in the soil cultivated with mung bean plant

اسیدیته	هدایت الکتریکی	رطوبت اشباع خاک	نیترژن کل	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده
Soil pH	EC dS m ⁻¹	Saturated soil moisture %	N %	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹
7.62	0.85	32	0.038	8.24	227
شن	سیلت	رس	بافت خاک	مواد آلی	کربنات کلسیم معادل
Sand %	Silt %	Clay %	Soil texture	OM %	CaCO ₃ %
52	30	18	loam	0.42	23

جدول ۲- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سطوح مختلف کود میلورم و محلول پاشی روی بر شاخص‌های رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه ماش

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of the effect of different mealworm frass content and zinc foliar application on growth and yield characteristics of mung bean (*Vigna radiata*)

منبع تغییر	درجه آزادی	تعداد ساقه	طول ساقه	تعداد غلاف	طول غلاف	تعداد بذر در غلاف	محصول دانه
Source of variance	Df	Shoot number	Shoot length	Pod number	Pod length	Number of seed per pod	Seed yield
بلوک	2	0.16	2.44	121.69	0.66	0.83	420.36
کود میلورم	3	0.06ns	16.52*	746.32**	0.12ns	0.12ns	2421.48**
روی	2	0.44ns	23.41**	914.03**	0.17ns	0.34ns	1362.93*
کود میلورم*روی	6	1.93**	76.28**	2934.59**	0.29ns	0.94ns	5310.22**
منبع تغییرات	فلانون و فلاونول	فلانونوئید کل	فنل کل	میزان تانن	فعالیت آنتی اکسیدانی	روی	نسبت مولی
Source of variance	Flavone and flavonol	Total flavonoid	Total phenol	Tannin content	Antioxidant activity	Zinc	Phy acid/Zn
بلوک	0.01	0.07	4.21	0.47	3.478	3.74	97.23
کود میلورم	2.15**	1.98**	23.42**	4.74**	110.20**	18.93*	475.21**
روی	0.54**	1.23**	1.98ns	1.18ns	60.34**	28.31**	884.73**
کود میلورم*روی	0.52**	1.76**	23.14**	4.32**	57.23**	56.48**	1624.59**
منبع تغییرات	نیترژن	فسفر	پتاسیم				
Source of variance	Nitrogen	Phosphorous	Potassium				
بلوک	0.18	0.02	0.01				
کود میلورم	1.92**	1.81**	1.52**				
روی	0.48**	0.71**	0.98ns				
کود میلورم*روی	0.59**	0.76**	0.44**				

ns و ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری.

*, ** ns: Significant at 5% and 1% probability level and no significant, respectively.

عملکرد دانه

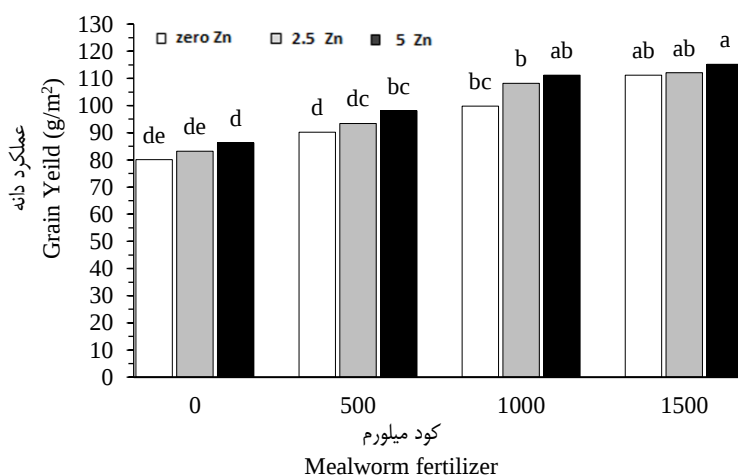
محصول دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین محصول دانه (۱۱۵/۲ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده و متقابل تیمارها بر

فلاون‌ها و فلاونول‌ها

نتایج نشان‌دهنده اثرات معنی‌دار ساده و متقابل تیمارها بر این صفت بود (جدول ۲) در بررسی اثرات متقابل کود میلورم و روی، بیشترین میزان (۰/۸۲ میلی گرم) در تیمار شاهد (عدم کاربرد کود میلورم و روی) و کمترین میزان (۰/۰۵ میلی گرم) در تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم کود میلورم بدون کاربرد روی مشاهده شد که با سایر تیمارهای کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم میلورم در یک گروه قرار داشت (جدول ۳).

کود میلورم و ۵ گرم در لیتر محلول‌پاشی لیگنوسولفونات روی بود که با سایر تیمارهای ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم در یک گروه قرار داشتند. کمترین میزان (۸۰/۱ گرم) در تیمار صفر کیلوگرم کود میلورم و محلول‌پاشی صفر روی، مشاهده شد (شکل ۱). لازم به ذکر است که بین این تیمار و تیمار بدون کود میلورم و محلول‌پاشی ۲/۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی، اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت (شکل ۱).



شکل ۱- اثر متقابل مقادیر مختلف کود میلورم و محلول‌پاشی روی بر محصول دانه گیاه ماش سبز (*Vigna radiata*)

Figure 1- Interaction effect of different mealworm level and zinc spraying on grain yeild of Mung bean seed (*Vigna radiata*)

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف کود میلورم و محلول‌پاشی روی بر برخی شاخصه‌های رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی بذر گیاه ماش سبز (*Vigna radiata*)

Table 3- Mean comparison of interaction effect of different mealworm level and zinc spraying on some growth and biochemical factors properties of Mung bean plant (*Vigna radiata*)

فاکتور اول Factor A	فاکتور دوم Factor B	تعداد ساقه فرعی Shoot number	طول ساقه اصلی Length of main shoot (cm)	تعداد غلاف در هر بوته Pod number per plant	فلاون و فلاونول Flavone and flavanol (mg quercetin g ⁻¹ DW)	فلاونوئید کل Total flavonoid	میزان تانن Tannin content (mg catechin g ⁻¹ DW)
Ck	CK	4.22bc	30.19b-e	11de	0.82a	2.59ab	7.44abc
	2.5	5.30abc	28.01de	26bc	0.66b	0.91e	6.31bcd
	5	5.43abc	30.80abc	24bcd	0.65b	1.03e	9.05a
500	CK	4.80bc	37.05a	32ab	0.55bc	1.64cde	5.46cd
	2.5	5.63ab	34.03a-d	21a	0.64b	2.72ab	5.73bcd
	5	4.37bc	24.68e	18de	0.66b	2.63ab	7.17a-d
1000	CK	4.12c	26.37e	31ab	0.63b	3.28a	7.78ab
	2.5	5.68abc	27.13e	15b-e	0.15cd	2.25bcd	7.57ab
	5	5.45abc	34.73abc	31b	0.05d	2.25bcd	6.21bcd
1500	CK	6.49a	36.20ab	33ab	0.09d	2.29bc	6.11bcd
	2.5	4.60bc	29.69cde	13cd	0.16cd	2.62ab	5.34cd
	5	4.79bc	30.18b-e	41a	0.07d	1.38de	5.16d

فاکتور اول: کود میلورم (کیلوگرم بر هکتار)، فاکتور دوم: محلول‌پاشی روی (گرم بر لیتر)، CK: شاهد

حروف متفاوت در داده‌های مرتبط با هر صفت، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین میانگین مقادیر با توجه به آزمون دانکن ($P < 0.05$) هستند.

Factor A: Mealworm fertilizer (kg⁻¹ ha), Factor B: zinc foliar application (per thousand), CK: Control, DW: dry weight

Means followed by the different letters in each column and row in relation each factor is significantly different at 5% probability level using Duncan test.

جدول ۴- تأثیر سطوح مختلف کود میلورم و محلول پاشی لیگنوسولفونات روی بر برخی ویژگی های بیوشیمیایی و غلظت عناصر غذایی دانه گیاه ماش سبز (*Vigna radiata*)

Table 4- The effect of different mealworm concentration and zinc spraying on some biochemical factors and nutrient elements of Mung bean

فاکتور اول Factor A	فاکتور دوم Factor B	ترکیبات فنلی کل Total phenol (mg gallic acid g ⁻¹ DW)	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity (%)	روی دانه Zinc	نیتروژن دانه Nitrogen (mg kg ⁻¹ DW)	فسفر دانه Phosphorous	پتاسیم دانه Potassium
Ck	CK	15.01cd	66.63a-d	27.44bc	3120cd	379c	579bc
	2.5	12.36d	69.11abc	26.41bc	3322bcd	382bc	582bc
	5	15.62bcd	71.24ab	39.85a	3365bcd	388bc	588bc
500	CK	12.41d	59.99d	25.46bcd	3502abcd	384bc	594bc
	2.5	19.91a	58.59d	25.73bcd	3685abc	390b	590bc
	5	20.72a	65.17a-d	36.47ab	3553abc	391b	591bc
1000	CK	19.31ab	72.44a	22.71cd	3712abc	394b	604ab
	2.5	17.98abc	62.44bcd	27.57bc	3822ab	392b	632a
	5	16.50a-d	60.81cd	32.31ab	3771abc	410ab	611ab
1500	CK	18.81abc	64.65a-d	20.22cd	3721abc	410ab	610ab
	2.5	18.44abc	58.18d	25.34bcd	3862ab	408ab	601ab
	5	13.88cd	64.50a-d	31.26bc	3832ab	412a	612ab

فاکتور اول: کود میلورم (کیلوگرم بر هکتار)، فاکتور دوم: محلول پاشی روی (در هزار)، CK: (شاهد)

حروف متفاوت در داده های مرتبط با هر صفت، نشان دهنده تفاوت معنی دار بین میانگین مقادیر با توجه به آزمون دانکن ($P < 0.05$) هستند.

Factor A: Mealworm fertilizer (kg⁻¹ he), Factor B: zinc foliar application (per thousand), CK: Control, DW: dry weight

Means followed by the different letters in each column and row in relation each factor is significantly different at 5% probability level using Duncan test.

میزان فلاونوئید کل

نتایج نشان داد که با افزایش کاربرد کود میلورم تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم میزان فلاونوئیدها افزایش و سپس تا حدودی کاهش داشت. در بررسی اثر متقابل کود میلورم و روی مشاهده می گردد که بیشترین میزان فلاونوئید کل (۳/۲۸ میلی گرم) در تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم کود میلورم بدون محلول پاشی روی، یافت شد. در حالی که کمترین میزان (۰/۹۱ و ۱/۰۳ میلی گرم) به ترتیب در تیمارهای بدون کود میلورم (محلول پاشی ۲/۵ و ۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی) دیده شد (جدول ۳).

میزان تانن

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده کود میلورم و اثر متقابل کود میلورم و روی بر میزان تانن بذر گیاه ماش سبز معنی دار بود اما اثر ساده محلول پاشی کود لیگنوسولفونات روی معنی دار نگردید (جدول ۲). بیشترین غلظت تانن (۹/۰۵ میلی گرم) در تیمار محلول پاشی ۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی بدون کاربرد کود میلورم مشاهده شد. در حالی که کمترین میزان (۵/۱۶ میلی گرم) در تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم و محلول پاشی ۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی، به دست آمد (جدول ۳).

ترکیبات فنلی کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده کود میلورم و اثر متقابل کود میلورم و محلول پاشی لیگنوسولفونات روی معنی دار بود. اثر ساده

محلول پاشی لیگنوسولفونات روی، معنی دار نبود (جدول ۲). در بررسی اثر متقابل کود میلورم و محلول پاشی لیگنوسولفونات روی، بالاترین غلظت ترکیبات فنلی (۲۰/۷۲ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک) در تیمارهای ۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم و محلول پاشی ۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی دیده شد. پایین ترین غلظت ترکیبات فنلی (۱۲/۳۶ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک) در تیمار صفر کیلوگرم کود میلورم محلول پاشی ۲/۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی، مشاهده شد (جدول ۴). مشاهده می گردد که در تیمارهای ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم، افزایش غلظت محلول پاشی روی باعث کاهش میزان ترکیبات فنلی در بذر ماش سبز شده است ولی این کاهش از نظر آماری معنی دار نبود.

فعالیت آنتی اکسیدانی

اثرات ساده و متقابل کود میلورم و روی، بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره بذر ماش سبز معنی دار بود (جدول ۲). مشاهده می شود که بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (۷۲/۴۴ درصد) در تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم کود میلورم بدون محلول پاشی روی مشاهده شد و کمترین میزان (۵۸/۱۸ درصد) در تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم و کاربرد ۲/۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی و بعد از آن تیمارهای ۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم بدون محلول پاشی لیگنوسولفونات روی و محلول پاشی ۲/۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی اندازه گیری شد (جدول ۴). در تیمارهای شاهد، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم، افزایش غلظت محلول پاشی لیگنوسولفونات روی تأثیری بر تغییر فعالیت آنتی اکسیدانی آن نداشت در حالی که در تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم کود میلورم، افزایش

غلظت محلول پاشی لیگنوسولفونات روی باعث کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره بذر گیاه ماش سبز شد.

غلظت روی

اثرات ساده و متقابل کود میلورم و روی، بر میزان غلظت روی در بذر ماش سبز معنی دار بود (جدول ۲). در بررسی اثرات متقابل تیمارها مشاهده می شود که بیشترین غلظت روی ($39/85$ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار صفر کیلوگرم کود میلورم با محلول پاشی 5 گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی مشاهده شد و کمترین میزان ($20/22$ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار 1500 کیلوگرم کود میلورم و محلول پاشی صفر لیگنوسولفونات روی و بعد از آن تیمار 1000 کیلوگرم کود میلورم بدون محلول پاشی لیگنوسولفونات روی اندازه گیری شد (جدول ۴). با افزایش کاربرد کود میلورم غلظت روی در بذر ماش سبز کاهش یافت در حالی که با افزایش غلظت محلول پاشی با لیگنوسولفونات روی غلظت روی در بذر افزایش یافت.

نسبت مولی اسید فیتیک به روی

در رابطه با این صفت، نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی دار بودن اثر ساده محلول پاشی لیگنوسولفونات روی و کاربرد کود میلورم و اثرات متقابل کود میلورم و روی بود (جدول ۲).

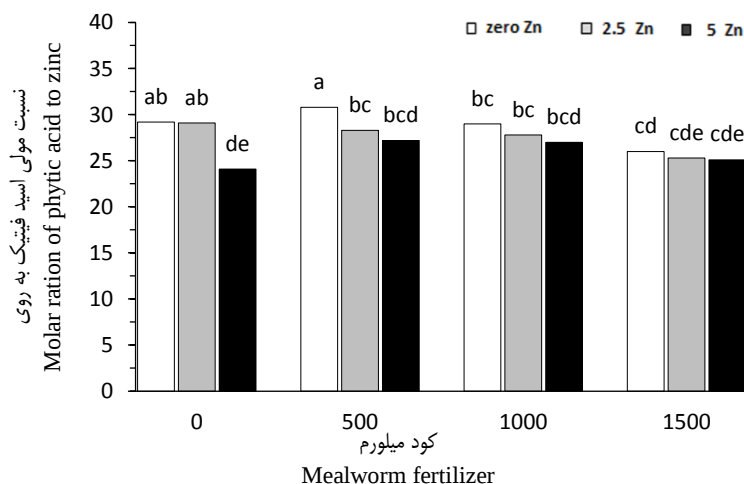
نتایج نشان داد که بیشترین نسبت ($30/8$) در تیمار 500 کیلوگرم کود میلورم و بدون محلول پاشی لیگنوسولفونات روی بود که با تیمارهای کاربرد صفر کیلوگرم میلورم و محلول پاشی صفر و $2/5$ گرم

در لیتر لیگنوسولفونات روی نیز اختلاف معنی داری نداشت. در حالی که کمترین نسبت ($24/1$) در تیمار صفر کیلوگرم کود میلورم و محلول پاشی 5 گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی، مشاهده شد که البته با تیمارهای 1500 کیلوگرم میلورم و محلول پاشی $2/5$ و 5 گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی اختلاف معنی دار نداشت (شکل ۲).

عناصر غذایی دانه

نتایج مربوط به اثرات متقابل تیمارها در ارتباط با غلظت نیتروژن دانه ماش نشان داد که بیشترین غلظت (3862 میلی گرم در 100 گرم) در تیمار 1500 کیلوگرم کود میلورم و محلول پاشی $2/5$ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی بود که با سایر تیمارهای کاربرد 1500 کیلوگرم کود میلورم اختلاف معنی داری نداشت. در حالی که کمترین غلظت (3120 میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار صفر کیلوگرم کود میلورم و بدون محلول پاشی لیگنوسولفونات روی، مشاهده شد که البته با تیمارهای صفر کیلوگرم میلورم و همچنین تیمارهای بدون محلول پاشی لیگنوسولفونات روی اختلاف معنی دار نداشت (جدول ۴). با افزایش کاربرد کود میلورم غلظت نیتروژن دانه ماش افزایش یافت.

نتایج مربوط به اثرات متقابل تیمارها در ارتباط با غلظت پتاسیم نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم دانه (623 میلی گرم بر 100 گرم) در تیمار 1000 کیلوگرم کود میلورم و محلول پاشی $2/5$ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی بود که با تیمارهای کاربرد 1500 کیلوگرم میلورم اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۴).



شکل ۲- اثر متقابل مقادیر مختلف کود میلورم و محلول پاشی روی بر نسبت مولی اسید فیتیک به روی دانه ماش سبز (*Vigna radiata*)

Figure 2- Interaction effect of different mealworm level and zinc spraying on molar ration of phytic acid to zinc in mung bean (*Vigna radiata*) seed

نتایج مربوط به اثرات متقابل تیمارها در ارتباط با غلظت فسفر نیز

نتایج مربوط به اثرات متقابل تیمارها در ارتباط با غلظت فسفر نیز

در تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم کود میلورم و محلول پاشی ۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی بود که با سایر تیمارهای کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم میلورم اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۴). بیشترین غلظت آهن در دانه ماش ۹۷/۲۲ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم میلورم و ۵ گرم در لیتر محلول پاشی روی دیده شد و کمترین غلظت آهن ۹۳/۴۱ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار صفر کیلوگرم میلورم و صفر محلول پاشی روی دیده شد که البته بین همه تیمارها اختلاف معنی دار آماری وجود نداشت.

بحث و نتیجه گیری

اثرات متقابل دو فاکتور محرک رشد گیاهان می تواند مثبت یا منفی باشد. بیشترین عملکرد زمانی بدست می آید که تعادل مناسبی بین عناصر غذایی و سایر عوامل مؤثر در رشد برقرار باشد. کود میلورم محتوی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان و همچنین برخی ترکیبات محرک رشد می باشد و لیگنوسولفونات روی محتوی دو عنصر ضروری روی و گوگرد می باشد. انتظار می رود کاربرد توأم این دو ماده سبب هم افزایی آنها و افزایش عملکرد گردد که این موضوع در نتایج این پژوهش هم دیده شد. نتایج نشان داد که افزودن کود میلورم و پاشش برگی لیگنوسولفونات تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات رشد، عملکرد و برخی شاخص های بیوشیمیایی دانه ماش داشت. اثر ساده میلورم بر بیشتر صفات سنجش شده و اثر پاشش روی بر غلظت روی و ترکیبات فنولی و تانن چشمگیر بود. همچنین اثر تعامل این دو کود در اغلب صفات (از جمله عملکرد بذری و برخی ترکیبات بیوشیمیایی) معنی دار بود. محلول پاشی لیگنوسولفونات روی، تأثیر کود میلورم را در افزایش عملکرد، طول ساقه اصلی و تعداد غلاف در هر بوته را بهبود بخشیده است. با توجه به غلظت اندک عنصر روی در کود میلورم، به نظر می رسد این هم افزایی منطقی باشد. اگرچه با افزایش عملکرد، غلظت روی در دانه ماش سبز کاهش یافت ولی تأثیر مثبت آن بر عملکرد دانه معنی دار بود. غلظت روی در شاخساره گیاهان با اثر واکنش رشد القایی کاهش می یابد (اثر رقیق سازی). به این معنی که با افزایش رشد گیاه، میزان جذب روی در گیاه افزایش می یابد اما غلظت آن در بافت های گیاه کاهش می یابد، به عبارت دیگر آن عنصر در بافت های گیاهی رقیق می شود.

افزایش قابل توجه عملکرد بذری در بالاترین سطح کود میلورم (۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) به ویژه همراه با محلول پاشی لیگنوسولفونات روی مشاهده شد. این افزایش احتمالاً ناشی از چند مکانیزم هم زمان است: بهبود خصوصیات فیزیوشیمیایی خاک (افزایش ماده آلی، نگهداری رطوبت و قابلیت تبادل کاتیون)، افزودن عناصر غذایی و تحریک رشد ریشه و میکروارگانیسم های مفید خاک که جذب عناصر را تسهیل می کنند؛ که این مکانیسم ها با گزارش های قبلی درباره

اثربخشی کود میلورم در افزایش رشد و ویژگی های خاک همخوانی دارد. تأثیر مثبت روی و کود میلورم در افزایش عملکرد گیاهان مختلف از جمله سویا (Mehdiniya Afra & Manavi Amri, 2015)، سیب زمینی (Motalebifard, 2017)، گندم (Feiziasl & Valizadeh, 2004) گزارش شده است. گزارش داده شده است که کود میلورم با تأمین عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم سبب افزایش رشد شلغم (Poveda et al., 2019)، جو (Houben et al., 2020)، علف راجا (Houben et al., 2021) و کدو سبز (Zim et al., 2022) شده است. همچنین گزارش شده است که افزایش رشد گیاه ممکن است به دلیل تحریک فعالیت های میکروبی خاک باشد (Houben et al., 2020). به نظر می رسد میکروارگانیسم های مفید موجود در کود میلورم در افزایش تحمل به تنش های شوری، خشکی و غرقابی در گیاهان لوبیا مؤثر بوده اند (Poveda et al., 2019). در پژوهشی (Blakstad et al., 2023) گزارش شد که اثربخشی کاربرد کود میلورم در رشد بوته های گوجه فرنگی به اندازه کود مرغی غنی شده با نیتروژن (۶ درصد)، فسفر (۴/۵ درصد) و پتاسیم (۵ درصد) بود. آنان این افزایش رشد را به وجود میکروارگانیسم های محرک رشد موجود در کود میلورم نسبت دادند. در این پژوهش تأثیر کاربرد کود میلورم بر عملکرد دانه و کاه گندم بیشتر از محلول پاشی با لیگنوسولفونات روی بود. به نظر می رسد کود میلورم به دلیل داشتن انواع مختلف عناصر غذایی و همچنین مواد آلی محرک رشد مؤثرتر عمل کرده است. در پژوهش های اخیر بر نقش کود میلورم به عنوان یک محرک رشد و همچنین تقویت کننده گیاهان در برابر تنش های زیستی و غیر زیستی تأکید زیادی شده است (Zunzunegui et al., 2024). در مورد اثرات تقویتی، مشخص شده که تأثیر کود میلورم به طور چشمگیری بستگی به مقدار مصرف و نوع محصول دارد و در بسیاری از آزمایش ها نتایج بسیار مطلوبی به دست آمده است (Verardi, 2025).

محلول پاشی با لیگنوسولفونات روی نیز بر رشد و عملکرد ماش سبز در این پژوهش به تنهایی و توأم با کود میلورم مؤثر بود. روی از جمله عناصر ضروری برای رشد گیاه است که در تشکیل هورمون اکسین نقش داشته و رشد گیاه را تنظیم می کند. همچنین، روی باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم ها می شود، به طوری که برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات ها ضروری است. از آنجایی که روی عنصری است که در داخل گیاه قادر به توزیع مجدد نیست، لذا محلول پاشی آن گزینه مناسبی برای غنی سازی دانه حبوبات می باشد (Vitosh et al., 1994). جلیلیان و همکاران (Jaliliain et al., 2014) گزارش نمودند که محلول پاشی روی در گیاه ماش سبز باعث افزایش ۴۷/۱۲ درصدی ارتفاع بوته و افزایش ۱۰/۲۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین گزارش شده است که محلول پاشی با سولفات روی ۰/۵ درصد در گیاه ماش سبز سبب افزایش عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف نسبت به تیمار شاهد شد و همچنین این

تیمار محلول‌پاشی با کاربرد مصرف خاکی ۲۵ کیلوگرم سولفات روی تفاوت معنی‌دار نداشت. در یک گزارش (Martin-Ortiz et al, 2009) آزمایش‌های اتاقک رشد نشان دادند که گیاهان ذرت تحت تیمار با لیگنوسولفونات روی بالاترین وزن خشک و غلظت‌های روی در ساقه‌ها را داشتند. همچنین در آزمایش‌های میدانی، غلظت روی در ساقه‌ها به طور قابل توجهی در گیاهانی که تحت تیمار با کود لیگنوسولفونات روی + کود NPK بودند، بالاتر از شاهد بود. بر اساس تحقیقات انجام شده، غلظت‌های ۲۰۰ میکرومولار و بالاتر عنصر روی، سبب کاهش وزن تر، سطح برگ و سایر شاخص‌های رشد در ماش شده است (Vassilev et al., 2011). بررسی تأثیر روی بر رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی دو گیاه *Abelmoschus esculentus* و *Cyamopsis tetragonolobus* نشان داد، روی تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به صورت ماده غذایی عمل و رشد را تحریک می‌کند ولی در غلظت‌های بالاتر به‌طور معکوس عمل می‌کند و رشد را کاهش می‌دهد (Mangal et al., 2013). با توجه به اینکه غلظت روی در خاک‌های آهکی ایران معمولاً خیلی کمتر از این مقدار است، همواره با کاربرد کودهای محتوی روی شاهد افزایش رشد گیاهان خواهیم بود.

کاربرد لیگنوسولفونات روی در این پژوهش بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت فلاونوئیدها خنثی و یا منفی بود. کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در دانه ماش پس از محلول‌پاشی با لیگنوسولفونات می‌تواند نتیجه اختلالات در مسیرهای بیوشیمیایی، تداخل در تولید یا فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، و یا تعاملات منفی با عناصر موجود در کود میلووم باشد. لیگنوسولفونات ممکن است به‌عنوان یک ترکیب شیمیایی، فعالیت آنزیم‌های مرتبط با آنتی‌اکسیدان‌ها مانند پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، و کاتالاز را مهار کند یا در مسیرهای بیوشیمیایی تأثیر منفی بگذارد، که منجر به کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. این نتیجه در پژوهش‌های محققان پیشین وجود ندارد اما گزارش شده است که برخی ترکیبات شیمیایی ممکن است فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی را کاهش دهند (Dangles, 2012). همچنین کود میلووم ممکن است حاوی عناصر یا مواد مغذی باشد که در تعامل با لیگنوسولفونات، اثر منفی بر مسیرهای آنتی‌اکسیدانی را تشدید کند. مثلاً، ممکن است برخی عناصر اثر مهاری بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان داشته باشند یا فرایندهای متابولیسمی مرتبط را مختل کنند. برای فهم دقیق‌تر، نیاز است بررسی‌هایی مانند اندازه‌گیری مستقیم فعالیت‌های آنزیم‌ها، سطح ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، و بررسی تعاملات فیتوهورمونی انجام گیرد. همچنین در اغلب پژوهش‌های پیشین، تأثیر عنصر روی معمولاً همراه با یک تنش بوده است و محلول‌پاشی با روی سبب افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی شده است در صورتی که در این پژوهش تیمار تنش وجود نداشته است. زمانی که گیاهان در شرایط غیر تنش باشند، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی نیز کاهش خواهد یافت (Fujita & Hasanuzzaman, 2022). بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش

زارع ده‌آبادی و اسرار (Zare Dehabadi & Asrar, 2009) محتوای ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌های برگ، مقدار پروتئین کل و میزان مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون پروتئین-های غشایی در برگ‌ها با افزایش غلظت روی در محلول غذایی نسبت به گیاه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین در پژوهشی گزارش شده است که غلظت ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان ریحان تیمار شده با روی افزایش یافت و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌عنوان غلظت بهینه انتخاب شد (Azizian-Shermeh et al., 2018). افزایش غلظت ترکیبات فنلی بر اثر بیش‌بود عنصر روی، در برگ‌های گونه‌های مختلف گیاهان بید و چای نیز مشاهده شده است (Mukhopadhyay et al., 2013; Borowiak et al., 2015). به-رغم نقش حیاتی روی در ساختار و راه‌اندازی بسیاری از فرایندهای متابولیسمی گیاه، تجمع بالای فلز روی در سیتوزول سلول‌ها از طریق اختلال در عملکرد طبیعی سلول‌ها و مهار فرآیند تنفس و واکنش‌های انرژی‌خواه مرتبط با رشد سلول می‌تواند سبب کاهش رشد و نمو ایده‌آل گیاهان شود. گزارش‌هایی وجود دارد که یون‌های فلزی سنگین پس از ورود به گیاه تا زمان القای تشکیل فیتوکلاتین‌ها در اثر فیتوکلاتین-سنتز در سیتوزول سلول‌ها باقی می‌مانند و این تجمع بالای فلز در سیتوزول باعث مهار برخی از فرایندهای متابولیسمی می‌شود (Bonnet et al., 2000). برخی از پژوهش‌گران معتقدند، فلز روی از طریق تأثیر بر میزان جذب و جابجایی عناصر ضروری و نیز اثر بر میزان فعالیت برخی از آنزیم‌ها در جایگاه عملکردشان موجب اختلال در متابولیسم گیاه می‌شود (Zare Dehabadi & Asrar, 2009).

در بذر ماش، تانن‌ها معمولاً در پوست و قسمت‌های خارجی بذر یافت می‌شوند و باعث طعمی تلخ و گس می‌شوند. این ترکیبات علاوه بر اثرات طعمی، در فرایندهای هضم و جذب مواد غذایی نیز تأثیر دارند. در برخی موارد، وجود مقدار زیاد تانن می‌تواند جذب پروتئین‌ها و مواد مغذی را کاهش دهد، بنابراین در فرایندهای فرآوری و مصرف، کاهش میزان تانن‌ها اهمیت دارد (Ojo, 2022). محلول‌پاشی با لیگنوسولفونات روی و کاربرد خاکی کود میلووم در ماش سبب شده است که در مقادیر پایین کود میلووم اثر محلول‌پاشی با لیگنوسولفونات روی سبب افزایش تانن دانه ماش شده است اما در مقایسه با کود میلووم محلول‌پاشی با لیگنوسولفونات روی غلظت تانن بذر را کم کرده است. این نتایج نشان می‌دهد که تعامل بین میزان کود میلووم و محلول‌پاشی با لیگنوسولفونات روی بر میزان تانن در دانه‌های ماش تأثیرگذار است. سطوح بالای کود میلووم ممکن است اثراتی همچون تنظیم هورمون‌های گیاهی یا مهار فعالیت آنزیم‌هایی که در مسیر سنتز تانن نقش دارند، داشته باشند. همین امر می‌تواند منجر به کاهش سطح تانن در دانه‌ها شود. همچنین کود میلووم در مقادیر بالا ممکن است متابولیسم گیاه را به سمت تولید ترکیبات دیگر سوق دهد و تولید تانن را کاهش دهد، یا از تجمع این ترکیبات در دانه ماش جلوگیری کند.

کود میلورم در غلظت‌های بالا بر مقدار عددی این نسبت مؤثر بوده است. کود میلورم به دلیل دارا بودن عنصر فسفر، ممکن است بر غلظت فسفر دانه مؤثر باشد و محلول پاشی با روی، این نسبت را متعادل نگاه می‌دارد. با افزایش کاربرد کود میلورم در سطوح بالای ۵۰۰ کیلوگرم، این نسبت بدون محلول پاشی روی نیز متعادل می‌شود و این ممکن است به دلیل اثرات اشیاع شدن گیاه از نظر فسفر و یا همچنین ممکن است به دلیل بهبود شرایط خاکی و جذب بیشتر روی از خاک زراعی باشد که سبب شده است این نسبت بدون محلول پاشی با روی نیز بهبود یابد. به هر روی، تأثیر متقابل این دو کود در سطوح بالا سبب کاهش نسبت مولی فیتات به روی خواهد شد.

به طور کلی نتایج نشان داد که کاربرد کود میلورم به ویژه در سطح ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ماش شد و محلول پاشی برگی لیگنوسولفونات روی در سطح ۵ گرم در لیتر باعث افزایش غلظت روی در دانه و کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی گردید. ترکیب بهینه برای افزایش عملکرد و بهبود محتوای روی دانه، استفاده از ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود میلورم همراه با محلول پاشی ۵ گرم در لیتر لیگنوسولفونات روی بود اگرچه این ممکن است سبب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی و غلظت فلاونوئیدهای بذور شود. برای افزایش عملکرد ماش و ارتقای محتوای روی بذور (با هدف بهبود ارزش تغذیه‌ای)، پیشنهاد می‌شود کود میلورم همراه با حداقل یک پاشش برگی لیگنوسولفونات روی در دوره گل‌دهی به کار برده شود. به طور کل نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کود میلورم یک منبع آلی برای افزایش عملکرد در ماش است و هنگامی که با محلول پاشی برگی روی همراه شود، می‌تواند کیفیت تغذیه‌ای دانه‌ها را از منظر غلظت روی و نسبت فیتات به روی بهبود بخشد. با این وجود برای توصیه‌های کاربردی گسترده و تضمین ایمنی-اثر بخشی اقتصادی لازم است مطالعات بیشتری انجام شود.

نسبت مولی فیتات به عناصر معدنی به عنوان یک معیار کیفی ساده شده برای دسترسی زیستی عناصر غذایی معدنی در رژیم غذایی انسان استفاده می‌شود (Weaver & Kannan, 2002). بنابراین از نسبت مولی اسید فیتیک به روی به طور گسترده‌ای به عنوان شاخصی از دسترسی زیستی روی استفاده می‌شود. به طور کلی، جذب روی در بدن انسان هنگامی که نسبت مولی اسید فیتیک به روی بیشتر از ۱۵ باشد، به شدت کاهش می‌یابد (Gargari et al., 2007) و دسترسی زیستی روی معمولاً در صورتی که این نسبت کمتر از ۱۵ باشد، تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد (Ryan et al., 2008)؛ اگرچه سازمان بهداشت جهانی اعلام نمود برای آنکه عناصر موجود در ماده غذایی به وسیله سیستم گوارشی بدن قابل جذب باشد باید نسبت مولی اسید فیتیک به روی کمتر از ۲۵ باشد (WHO, 1996). نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر کاهش معنی‌دار و چشم‌گیر نسبت مولی اسید فیتیک به روی بر اثر محلول پاشی با لیگنوسولفونات روی بود. تأثیر کوددهی روی در خاک های دارای کمبود روی سبب کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی می‌شود (Malakouti, 2011). در تحقیق حاضر نیز محلول پاشی روی سبب کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی شد. که نشان می‌دهد کاربرد کود میلورم در واقع یک رابطه منفی بین غلظت روی و میزان اسید فیتیک در این تحقیق مشاهده شد. این نتیجه با نتایج تحقیقات ملکوتی (Malakouti, 2011)، متشعرزاده و ثواقبی (Motesarezadeh & Savaghebi, 2012) و کایا و همکاران (Kaya et al., 2009) مطابقت دارد. روی به دلیل داشتن اثر آنتاگونیسمی با فسفر در جذب، انتقال و جابجایی فسفر در داخل گیاه اختلالاتی ایجاد می‌کند که باعث کاهش جذب فسفر و متعاقب آن کاهش میزان اسید فیتیک می‌شود. بیشترین کاهش در این نسبت در تیمار صفر کود میلورم و تیمار ۵ در هزار روی بود. همچنین کاربرد کود میلورم تا ۵۰۰ کیلوگرم سبب افزایش این نسبت و پس از آن سبب کاهش آن شد. به نظر می‌رسد وجود برخی عوامل زیستی موجود در

References

1. Ali, N.M., Mohd Yusof, H., Yeap, S.K., Ho, W.Y., Beh, B.K., Long, K., & Alitheen, N.B. (2014). Anti-inflammatory and antinociceptive activities of untreated, germinated, and fermented mung bean aqueous extract. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, (1), 350507.
2. Alloway, B.J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition (2th ed.). Brussels: international zinc association (IZA), 136p.
3. Álvarez-Fernández, A., Orera, I., Abadía, J., & Abadía, A. (2007). Determination of synthetic ferric chelates used as fertilizers by liquid chromatography-electrospray/mass spectrometry in agricultural matrices. *Journal of American Society of Mass Spectrom*, 18, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.jasms.2006.08.018>
4. Azizian-Shermeh, O., Einali A., & Valizadeh, J. (2018). Physiological and biochemical responses of basil (*Ocimum basilicum*) seedlings to different concentrations of zinc. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10(2), 35-56. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/IJPB.2018.105679.1043>
5. Barakoti, L., & Bains, K. (2007). Effect of household processing on the in vitro bioavailability of iron in mungbean (*Vigna radiata*). *Food and Nutrition Bulletin*, 28(1), 18-22. <https://doi.org/10.1177/156482650702800102>
6. Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43(2), 414-431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>

7. Benedicto, A., Hernández-Apaolaza, L., Rivas, I., & Lucena, J.J. (2011). Determination of ^{67}Zn distribution in navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after foliar application of ^{67}Zn -lignosulfonates using isotope pattern deconvolution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(16), 8829-8838.
8. Blakstad, J.I., Strimbeck, R., Poveda, J., Bones, A.M., & Kissen, R. (2023). Frass from yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) as plant fertilizer and defense priming agent. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 53, 102862.
9. Bonnet, M., Camares, O., & Veisseire, P. (2000). Effect of zinc and influence of *Acremonium lolli* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity of ryegrass. *Experimental Botany*, 51(346), 945-953. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.346.945>
10. Borowiak, K., Gasecka, M., Mleczek, M., Dabrowski, J., Chadzinikolau, T., Magdziak, Z., Golinski, P., Rutkowski, P., & Kozubik, T. (2015). Photosynthetic activity in relation to chlorophylls, carbohydrates, phenolics and growth of a hybrid *Salix purpurea* × *triandra* × *viminalis* 2 at various Zn concentrations. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(8), 155. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1904-x>
11. Broadhurst, R.B., & Jones, W.T. (1978). Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29(9), 788-794. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740290908>
12. Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4), 677-702. <https://doi.org/abs/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>
13. Dahiya, P.K., Linnemann, A.R., Van Boekel, M.A.J.S., Khetarpaul, N., Grewal, R.B., & Nout, M.J.R. (2015). Mung bean: Technological and nutritional potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(5), 670-688. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.671202>
14. Dangles, O. (2012). Antioxidant activity of plant phenols: chemical mechanisms and biological significance. *Current Organic Chemistry*, 16(6), 692-714. <https://doi.org/10.2174/138527212799957995>
15. Di Paola, A., Rulli, M.C., & Santini, M. (2017). Human food vs. animal feed debate. A thorough analysis of environmental footprints. *Land Use Policy*, 67, 652-659. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.017>
16. EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). (2015). Scientific Opinion on the safety and efficacy of lignosulphonate as a feed additive for all animal species. *EFSA Journal*, 13(7), 4160. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4160>
17. Feiziasl, V., & Valizadeh, Gh. (2004). Effects of phosphorus and zinc fertilizer applications on nutrient concentrations in plant and grain yield in cv. Sardari "*Triticum aestivum*" under dryland conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 6(3), 223- 235. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.15625540.1383.6.3.5.4>
18. Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2022). Approaches to enhancing antioxidant defense in plants. *Antioxidants*, 11(5), 925. <https://doi.org/10.3390/antiox11050925>
19. Gan, R.Y., Lui, W.Y., Wu, K., Chan, C.L., Dai, S.H., Sui, Z.Q., & Corke, H. (2017). Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.010>
20. Gargari, B.P., Mahboob, S., & Razavieh, S.V. (2007). Content of phytic acid and its mole ratio to zinc in flour and breads consumed in Tabriz, Iran. *Food Chemistry*, 100(3), 1115-1119. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.018>
21. Gonzalez, D., Obrador, A., López Valdivia, L.M., & Álvarez, J.M. (2008). Effect of zinc source applied to soils on its availability to navy bean. *Soil Science Society of America*, 72, 641-649. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0099>
22. Haug, W., & Lantzs, H.J. (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(12), 1423-1426. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740341217>
23. Houben, D., Daoulas, G., Faucon, M.P., & Dulaurent, A.M. (2020). Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. *Scientific Reports*, 10(1), 4659. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61765-x>
24. 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 Article 714596, <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.714596>
25. Hussain, M., Shahid, M.Z., Mehboob, N., Minhas, W.A., & Akram, M. (2021). Zinc application improves growth, yield and grain zinc concentration of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Semina: Ciências Agrárias*, 42(2), 487-500.
26. Hussain, T., Tontisirin, K., & Chaowanakarnkit, L. (1983). Protein digestibility of weaning foods prepared from rice-minced meat and rice-mungbean [*Vigna radiata*] combination in infants using a short term nitrogen balance method. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology (Japan)*, 29(4). <https://doi.org/10.3177/jnsv.29.497>
27. Hummel, M., Talsma, E.F., Taleon, V., Londoño, L., Brychkova, G., Gallego, S., & Spillane, C. (2020). Iron, zinc and phytic acid retention of biofortified, low phytic acid, and conventional bean varieties when preparing common household recipes. *Nutrients*, 12(3), 658. <https://doi.org/10.3390/nu12030658>
28. Jalilian, J., Khade, A., & Pirzad, A. (2014). Effect of Fe and Zn spraying on some characteristics of mungbean using chemical and organic fertilization. *Journal of Crops Improvement*, 16(3), 725-732.

- <https://doi.org/10.22059/jci.2014.53272>
29. Kalra, Y. (Ed.). (1997). *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC press.
30. Kaya, M., Küçükyumuk, Z., & Erdal, I. (2009). Phytase activity, phytic acid, zinc, phosphorus and protein contents in different chickpea genotypes in relation to nitrogen and zinc fertilization. *African Journal of Biotechnology*, 8, 4508-4513.
31. Kumar Dahiya, P., Nout, M.J.R., A. van Boekel, M., Khetarpaul, N., Bala Grewal, R., & Linnemann, A. (2014). Nutritional characteristics of mung bean foods. *British Food Journal*, 116(6), 1031-1046. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2012-0280>
32. Li, L., Zhao, Z., & Liu, H. (2013). Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautica*, 92(1), 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.03.012>
33. Liyanage, R., Kiramage, C., Visvanathan, R., Jayathilake, C., Weththasinghe, P., Bangamuwage, R., & Vidanarachchi, J. (2018). Hypolipidemic and hypoglycemic potential of raw, boiled, and sprouted mung beans (*Vigna radiata* L. Wilczek) in rats. *Journal of Food Biochemistry*, 42(1), e12457.
34. Malakouti, M.J. (2011). Towards improving the quality of consumed breads in Iran, a review. *Journal of Food Science and Technology*, 8(32), 11-21. (In Persian with English abstract). <https://fsc.tmodares.ac.ir/article-7-1738-en.html>
35. Mangal, M., Agarwal, M., & Bhargava, D. (2013). Effect of cadmium and zinc on growth and biochemical parameters of selected vegetables. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2, 106-114. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087582>
36. Martin-Ortiz, D., Hernandez-Apaolaza, L., & Garate, A. (2009). Efficiency of a NPK fertilizer with adhered zinc lignosulfonate as a zinc source for maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(19), 9071-9078.
37. Mehdiniya Afra, J., & Manavi Amri, SS. (2015). The effects of interaction between the elements phosphorous and zinc are some traits of soybean cultivars of Sari. *Iranian Journal of Dynamic Agriculture*, 11(4), 309-315. (In Persian with English abstract)
38. Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M.R., Conforti, F., Statti G., Di Cindi, B., Houghton, P.J., & Menichini, F. (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. Habanero. *Food Chemistry*, 114, 553-560. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.086>
39. Motalebifard, R. (2017). Effects of zinc and phosphorus levels on yield, nutrients uptake and zinc recovery and agronomic efficiency in potato. *Journal of Water and Soil*, 31(3), 886-899. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JSW.V31I3.54513>
40. Motesarezadeh, B., & Savaghebi, Gh.R. (2012). The effect of balanced fertilization on nutrients' concentration and phytic acid to zinc molar ratio in Iranian red been (*Phaseolus calcaratus* L.) cultivars at different stages of seed development. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3(1), 73-84. (In Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1391.3.1.6.4>
41. Mubarak, A.E. (2005). Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. *Food Chemistry*, 89(4), 489-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.007>
42. Mukhopadhyay, M.S., Das, A., Subba, P., Bantawa, P., Sarkar, B., Ghosh, P. & Mondal, TK. (2013). Structural, physiological, and biochemical profiling of tea plants under zinc stress. *Biologia Plantarum*, 57, 474-480. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0300-2>
43. Nair, R.M., Yang, R.Y., Easdown, W.J., Thavarajah, D., Thavarajah, P., Hughes, J.D.A., & Keatinge, J.D.H. (2013). Biofortification of mungbean (*Vigna radiata*) as a whole food to enhance human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(8), 1805-1813. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6110>
44. Oke, F., Aslim, B., Ozturk, S., & Altundag, S. (2009). Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Satureja cuneifolia* ten. *Food Chemistry*, 112, 874-879. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.061>
45. Ojo, M.A. (2022). Tannins in foods: nutritional implications and processing effects of hydrothermal techniques on underutilized hard-to-cook legume seeds—a review. *Preventive Nutrition and Food Science*, 27(1), 14. <https://doi.org/10.3746/pnf.2022.27.1.14>
46. Pandey, N., Pathak, G.C., & Sharma, C.P. (2006). Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.09.006>
47. Popova, M., Bankova, V., Butovska, D., Petkov, V., Nikolova-Damyanova, B., Sabatini, A.G., Marcazzan, G.L., & Bogdanov, S. (2004). Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar-type propolis. *Phytochemistry Analysis*, 15, 235-240. <https://doi.org/10.1002/pca.777>
48. Poveda, J., Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Usategui-Martín, R., Rivas, R., & García-Fraile, P. (2019). Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. *Applied Soil*

- Ecology*, 142, 110-122. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.016>
49. Ryan, M.H., McInerney, J.K., Record, I.R., & Angus, J.F. (2008). Zinc bioavailability in wheat grain in relation to phosphorus fertiliser, crop sequence and mycorrhizal fungi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(7), 1208-1216. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3200>
50. Sánchez Jiménez, S., & Lucena, J.J. (2015). Characterization of zinc fertilizers. adjustment to the European and Spanish regulations (in Spanish). *Phytoma*, 272, 47-52.
51. Sandberg, A.S. (2002). Bioavailability of minerals in legumes. *British Journal of Nutrition*, 88(S3), 281-285.
52. Tajoddin, M.D., Shinde, M., & Lalitha, J. (2011). In vivo reduction the phytic acid content of mung bean (*Phaseolus aureus* L.) cultivars during germination. *Am.-Eurasian Journal of Agriculture Environment Science*, 10, 127-132. [http://www.idosi.org/aejaes/jaes10\(1\)/20.pdf](http://www.idosi.org/aejaes/jaes10(1)/20.pdf)
53. Vassilev, A., Nikolova, A., Koleva, L., & Lidon, F. (2011). Effect of excess zinc on growth and photosynthetic performance of young bean plants. *Journal of Phytology*, 3, 58-62.
54. Verardi, A., Sangiorgio, P., Della Mura, B., Moliterni, S., Spagnoletta, A., Dimatteo, S., & Errico, S. (2025). *Tenebrio molitor* Frass: A cutting-edge biofertilizer for sustainable agriculture and advanced adsorbent precursor for environmental remediation. *Agronomy*, 15(3), 758. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030758>
55. Vitosh, M.L., Warncke, D.D., & Lucas, R.E. (1994). Secondary and micronutrients for vegetable and field crops. extension bulletin E-486, Michigan State University Extension Service, 18 p.
56. Wang, X., Yang, R., Jin, X., Chen, Z., Zhou, Y., & Gu, Z. (2015). Effect of germination and incubation on Zn, Fe, and Ca bioavailability values of soybeans (*Glycine max* L.) and mung beans (*Vigna radiate* L.). *Food Science and Biotechnology*, 24, 1829-1835. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0239-0>
57. Weaver, C.M., & Kannan, S. (2001). Phytate and mineral bioavailability. In *Food phytates* (pp. 227-240). CRC Press.
58. World Health Organization. (1996). Trace elements in human nutrition and health. *WHO Library Cataloguing in Publication Data*, 105-122.
59. Wojdylo, A., Oszmianski, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compound in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 1005: 940-949. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038>
60. Zare Dehabadi, S., & Asrar, Z. (2009). Effect of excess zinc on the concentration of some mineral element and antioxidant responses of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24(4), 530-540. (In Persian with English abstract)
61. Zim, J., Aitikkou, A., EL Omari, M.H., EL Malahi, S., Azim, K., Hirich, A., & Oumouloud, A. (2022). A new organic amendment based on insect frass for zucchini (*Cucurbita pepo* L.) cultivation. *Environmental Sciences Proceedings*, 16(1), 28.
62. Zunzunegui, I., Martín-García, J., Santamaría, Ó., & Poveda, J. (2024). Analysis of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) frass as a resource for a sustainable agriculture in the current context of insect farming industry growth. *Journal of Cleaner Production*, 460, 142608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142608>