Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 1, 2025, p. 91-107

The Effect of Different Levels of Vermicompost and Chemical Fertilizer on some Quantitative and Qualitative Traits of Three Maize (*Zea mays* L.) Cultivars

Mohammad Akbari[1], Gholamreza Heidari[2*], Shiva Khalesro[2] and Mohammad Majidi[3]

1- M.Sc. Graduated, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandajm, Iran
2- Associate Professor, Department of Engineering of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
3- Assistant professor, Agricultural Jihad Organization of Kurdistan Province, Sanandaj, Iran
(*- Corresponding author's Email: g.heidari@uok.ac.ir)

Received: 03-08-2024
Revised: 25-11-2024
Accepted: 26-44-2024
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:
Akbari, M., Heidari, G., Khalesro, S., & Majidi, M. (2025). The effect of different levels of vermicompost and chemical fertilizer on some quantitative and qualitative traits of three maize (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Agroecology, 17*(1), 91-107. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2024.89207.1205

Introduction

Maize is a primary source of food for humans, livestock and industrial purposes. Silage maize is a crucial feed crop on livestock farms worldwide, primarily used to enhance livestock productivity and performance. The high utilization of maize for silage is attributed to its substantial green fodder mass production, high energy content in dry matter, quality biomass, low buffering capacity, and high soluble carbohydrate levels. However, improper use of chemical fertilizers in maize cultivation has led to soil and environment pollution and soil quality degradation. Continuous use of these fertilizers can result in soil toxicity and deficiencies in essential macro and micronutrients. Sustainable agriculture aims to reduce chemical fertilizer usage and enhance soil nutrient cycling by substituting chemical inputs with organic fertilizers, thereby increasing yield per unit area and improving agricultural product quality. Vermicompost, an organic fertilizer, enhances elements absorption by crops by increasing root cell membrane permeability, stimulating root growth, and promoting root hair proliferation. This experiment aimed to investigate the response of maize cultivars to different levels of vermicompost and chemical fertilizers to optimize crop nutrition management and reduce chemical fertilizers consumption, supporting sustainable agriculture.

Materials and Methods

This research was conducted at the Grizeh Agricultural Jihad Organization farm in Kurdistan Province during the 2022 cropping season. The experiment was designed as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications. The main factor included different fertilizer levels: Control (no fertilizer), vermicompost at 5 ton.ha^{-1}, vermicompost at 3.75 ton.ha^{-1} + 25% recommended chemical fertilizer, vermicompost at 2.5 ton.ha^{-1} + 50% recommended chemical fertilizer, and 100% recommended chemical fertilizer (150 kg.ha^{-1} of urea + 200 kg.ha^{-1} of superphosphate + 50 kg.ha^{-1} of potassium sulfate). The subfactor

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/agry.2024.89207.1205

included three maize cultivars: SC 704 (120 days, mid-ripe), ZP 600 (110-120 days, mid-ripe) and Album (90-95 days, early). Data were analyzed using SAS 9.1 software, and mean comparisons were made using the LSD test. Graphs were created using Excel software.

Results and Discussion

Results showed that the highest contents of grain nitrogen, phosphorus, oil and starch were observed in the treatment of 2.5 tons of vermicompost per hectare + 50% of the recommended chemical fertilizer. The highest grain yield (8.85 ton.ha^{-1}) and dry forage yield (20.24 ton.ha^{-1}) were also observed in this treatment. The highest amount of silage fodder protein content was obtained from the treatment of 100% recommended chemical fertilizer. The highest forage protein yield was observed in the treatment with 100% of the recommended chemical fertilizer which did not show a significant difference compared to the treatment with a combined application of 2.5 tons of vermicompost per hectare + 50% of the recommended chemical fertilizer. Additionally, the highest percentage of silage fodder ash and neutral detergent fibers were found in the treatment of 2.5 tons of vermicompost per hectare + 50% of the recommended chemical fertilizer. No significant difference was observed between the studied cultivars in terms of grain and forage yield; however, the grain oil and starch content in the SC 704 cultivar was higher than in the other cultivars studied. Among the reasons for the increase in grain and forage yield in the integrated treatments of chemical fertilizer and vermicompost, we can mention the greater compatibility between available soil nitrogen and plant needs in integrated levels. So that at the beginning of growth, when the nutritional requirement is low, the amount of inorganic nitrogen in organic fertilizers is lower than that of chemical fertilizers, but in the stages of reproductive growth, due to the continuation of the mineralization process, absorption continues for a longer period of time.

Conclusion

The combined fertilizer treatment of 2.5 tons of vermicompost per hectare + 50% of the recommended chemical fertilizer was superior to other fertilizer treatments concerning most traits related to the quality and yield of maize grain and forage. In general, the use of organic manures such as vermicompost, while significantly reducing the consumption of chemical fertilizers, can reduce the harmful environmental effects caused by their use.

Keywords: Crude protein, Grain starch, Neutral insoluble fibers, Organic matter

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱٤۰٤، ص ۱۰۷-۹۱

اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر برخی صفات کمّی و کیفی سه رقم ذرت (*Zea mays* L.)

محمد اکبری[۱]، غلامرضا حیدری[۲*]، شیوا خالص‌رو[۲] و محمد مجیدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مقادیر کودهای ورمی‌کمپوست و شیمیایی بر برخی صفات کمّی و کیفی سه رقم ذرت، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه سنندج اجرا شد. پنج سطح مختلف کود شامل شاهد (عدم مصرف کود)، ۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) به کرت‌های اصلی و سه رقم ذرت شامل SC 704، ZP 600 و والبوم به کرت‌های فرعی اختصاص یافتند. بیشترین مقادیر نیتروژن، فسفر، روغن، نشاسته و عملکرد دانه در تیمار ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده مشاهده گردید. در بین ارقام مورد مطالعه، از نظر عملکرد دانه و علوفه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی میزان روغن و نشاسته دانه در رقم SC 704 بیشتر از سایر ارقام بود. بیشترین درصد و عملکرد پروتئین علوفه سیلویی در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده به‌دست آمد. علاوه‌براین، بالاترین درصد خاکستر علوفه سیلویی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمار ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده حاصل گردید. نتایج آزمایش نشان داد که تیمار ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده از لحاظ اکثر صفات مرتبط با کیفیت و عملکرد دانه و علوفه نسبت به سایر تیمارهای کودی برتری داشت.

واژه‌های کلیدی: الیاف نامحلول در شوینده خنثی، پروتئین خام، کود آلی، نشاسته دانه

مقدمه

ذرت در سطح جهانی به‌عنوان یکی از سه محصول اصلی زراعی به همراه گندم (*Triticum aestivum* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.) شناخته می‌شود. این محصول در بسیاری از کشورها به‌عنوان منبع اصلی کالری برای انسان‌ها و همچنین خوراک دام مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایالات متحده، چین و برزیل از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان ذرت در جهان هستند. این محصول همچنین به‌عنوان ماده اولیه در تولید سوخت‌های زیستی و محصولات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Erenstein et al., 2022). در ایران نیز، ذرت به‌عنوان محصولی با قدرت رشد زیاد و مقاوم در برابر تنش‌های محیطی مورد توجه بسیاری از کشاورزان و کارشناسان کشاورزی قرار گرفته است. کشت ذرت در ایران به‌منظور تولید دانه، علوفه و مواد غذایی دیگر

۱- دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۳- استادیار، سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، سنندج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: g.heidari@uok.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2024.89207.1205

(مانند ذرت شیرین) به‌کار می‌رود. در حال حاضر، نزدیک به ۱۱۶۳/۳ میلیون تن ذرت توسط بیش از ۱۷۰ کشور جهان در مساحت حدود ۲۰۳/۴ میلیون هکتار با میانگین عملکرد ۵/۷۱ تن در هکتار تولید می شود (FAOSTAT, 2022). سطح زیر کشت ذرت در ایران ۱۵۹۱۰۶ هکتار به‌صورت دانه‌ای و ۳۸۵۸۸۲ هکتار به‌صورت علوفه می‌باشد و متوسط عملکرد دانه و علوفه به‌ترتیب ۷۱۳۹ و ۴۸۱۹۱ کیلوگرم در هکتار است (Anonymous, 2022). ذرت در غرب ایران به‌عنوان مهم‌ترین محصول بعد از غلات زمستانه مانند گندم و جو (*Hordeum vulgare* L.) کشت می‌شود (Sadeghi & Mahrokh, 2020). سطح زیر کشت آن در استان کردستان ۲۸۵۱ هکتار با میانگین عملکرد دانه ۶۴۴۲ کیلوگرم در هکتار و میانگین علوفه تر ۵۶۵۱۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Anonymous, 2022).

ویژگی‌هایی نظیر کیفیت قابل قبول علوفه، عملکرد بالای علوفه در واحد سطح و قابلیت هضم بالا توسط دام‌ها در ذرت (*Zea mays* L.) موجب شده است که این گیاه به‌عنوان یکی از مطلوب‌ترین گیاهان علوفه‌ای مورد کشت‌وکار قرار گیرد (Mahmud & Rahouma, 2021). خوش‌خوراکی و ارزش غذایی گیاهان و گوارش‌پذیری از جمله فاکتورهای مورد بررسی در کیفیت علوفه می‌باشند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های تعیین کیفیت علوفه، خوش خوراکی آن است که میزان مصرف علوفه توسط دام را تحت تأثیر قرار می‌دهد، علاوه‌براین ارتباط مستقیم با ترکیبات شیمیایی علوفه دارد. به عبارت دیگر، مجموع عواملی که موجب می‌شود یک علوفه در مقابل علوفه دیگر برای دام قابل قبول‌تر باشد، خوش‌خوراکی علوفه نامیده می‌شود (Mohammadi et al., 2020). یکی از راهکارهای کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و آثار مخرب آن‌ها بر چرخه‌های حیات و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی، استفاده از کودهای آلی می‌باشد (Akintoye et al., 2008; Kannayan, 2020). در طی دوره گذار از کشاورزی متداول به کشاورزی پایدار، کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی، به‌عنوان روشی برای کشاورزی جایگزین، در راستای حفظ عملکرد محصول در سطح قابل قبول و حداقل آثار مخرب زیست‌محیطی مطرح گردیده است. در واقع، کودهای آلی و استفاده تلفیقی از کودهای معدنی و آلی از جمله فناوری‌های اصلی جایگزین در مدیریت حاصلخیزی خاک هستند که برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی استفاده می‌شوند (Sharma, 2015). ورمی‌کمپوست متشکل از ورمی (کرم‌های خاکی) و کمپوست (کود آلی حاصل از ضایعات صنعتی، شهری و کشاورزی) بوده و یک کود آلی زیستی محسوب می شود. بهبود ساختمان خاک و افزایش تهویه، همچنین جذب رطوبت و نگهداری آب از جمله مزایای استفاده از ورمی‌کمپوست می‌باشد. کربن آلی موجود در ورمی‌کمپوست، موجب آزادسازی آرام و یکنواخت عناصر غذایی در حوزه گسترش ریشه گیاه می‌شود و ازاین‌رو، قابلیت دسترسی گیاه به این عناصر افزایش می‌یابد (Laegreid et al., 2008).

استفاده از مواد آلی در ترکیب با کودهای معدنی، مفیدتر از کاربرد آن به‌تنهایی است و گنجاندن آن‌ها در سیستم‌های تولید محصولات زراعی اثرات منفی تنش‌های خشکی و شوری را کاهش می‌دهد. این نوع مدیریت تغذیه‌ای، مواد آلی خاک را افزایش و pH خاک را کاهش می‌دهد، دسترسی به مواد مغذی خاک را بهبود می‌بخشد، سطح ریزمغذی‌ها را در خاک افزایش داده و سبب افزایش عملکرد محصول می‌شود (Silva et al., 2017). کود ورمی‌کمپوست حاصلخیزی خاک، خواص فیزیکوشیمیایی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) را افزایش می‌دهد. علاوه‌براین، ورمی‌کمپوست به‌طور قابل‌توجهی ساختار خاک، تخلخل، دمای خاک، هوادهی و حفظ آب را بهبود می بخشد (Sigaye, 2022). استفاده ترکیبی از کودهای آلی (مانند ورمی کمپوست) با کودهای معدنی اهمیت قابل توجهی در مدیریت حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد گیاهان زراعی دارد (Ahmed et al., 2007). مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف، نتایج مثبت مدیریت یکپارچه مواد مغذی را در بسیاری از زمینه‌ها نشان می‌دهد (Laekemariam & Gidago, 2012). در یک مطالعه، کاربرد تلفیقی کود ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه در تیمار تلفیقی ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی توصیه‌شده (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) حاصل شد (Karimi et al., 2012). در مطالعه‌ای دیگر روی ذرت، استفاده تلفیقی از کود شیمیایی نیتروژن و فسفر و کود دامی منجر به تولید عملکرد دانه بالاتری نسبت به کاربرد منفرد کود شیمیایی و یا کود دامی گردید (Negassa et al., 2005). فرانسیس و همکاران (Francis et al., 2021) گزارش کردند که کارآیی دریافت نیتروژن و عملکرد در گیاهان زراعی، درصورتی‌که

ترکیب مناسبی از کود شیمیایی و آلی دریافت کرده باشند، بیشتر از زمانی است که هر یک از آن‌ها به‌صورت منفرد و در مقادیر بالا مصرف شوند و دلیل این امر را به نقش مؤثر کود شیمیایی در تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در مراحل ابتدایی و کود آلی در دوره‌های بعدی نسبت دادند. در پژوهشی، کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی سبب بهبود شاخص‌های کیفی علوفه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) از لحاظ پروتئین خام و فیبر نامحلول در شوینده‌های خنثی و اسیدی گردید (Sher et al., 2022). در آزمایش قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2018)، منابع مختلف کود اثر معنی‌داری بر درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه ذرت داشتند. این محققان گزارش کردند که در تیمارهای کودی تلفیقی، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در وضعیت بهتری در مقایسه با شاهد یا کاربرد جداگانه کودها بوده و استفاده توأم کودهای شیمیایی و آلی باعث بهبود کیفیت علوفه ذرت شده است. هدف از اجرای این آزمایش، بررسی واکنش ارقام ذرت علوفه‌ای به مصرف همزمان ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی به‌منظور مدیریت صحیح تغذیه‌ای گیاه و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی سازمان جهاد کشاورزی گریزه واقع در استان کردستان (با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۰۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا شد. میانگین درجه حرارت ماهیانه و مجموع بارندگی ماهیانه در سال اجرای تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. پنج سطح مختلف کود به‌عنوان عامل اصلی و سه رقم ذرت به‌عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، ۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده براساس آزمایش خاک، ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده براساس آزمایش خاک و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده براساس آزمایش خاک (۱۵۰ کیلوگرم اوره معادل ۶۹ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار + ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات معادل ۹۲ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم معادل ۲۵ کیلوگرم پتاسیم خالص و ۹ کیلوگرم گوگرد خالص در هکتار) بودند. مقادیر کود ورمی‌کمپوست انتخاب شده در تیمارهای کودی براساس درصد عناصر غذایی موجود در آن و معادل کود شیمیایی توصیه‌شده بود. ارقام ذرت نیز شامل سینگل کراس SC 704 (۱۳۰ روزه، دیررس)، ZP 600 (۱۱۰–۱۲۰ روزه، میان‌رس) و والبوم (۹۵–۹۰ روزه، زودرس) بودند. نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش قبل از اجرای پژوهش و ورمی‌کمپوست مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. مساحت هر واحد آزمایشی فرعی ۱۵ مترمربع به‌طول پنج متر و عرض سه متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر منظور شد. در هر کرت، پنج ردیف کاشت به‌طول پنج متر در نظر گرفته شد. فاصله بین بلوک‌ها نیز دو متر بود. تیمارهای کودی آزمایش قبل از کاشت اعمال شدند. کاشت گیاه در تاریخ ۱۴ خرداد سال ۱۴۰۱ به‌صورت مسطح انجام گردید. فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر منظور گردید. آبیاری به‌صورت بارانی انجام شد. دور آبیاری معادل هفت روز یک‌بار بود. در طول فصل رشد، مراقبت‌های لازم برای گیاه مانند وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری کیفیت علوفه ذرت در هر یک از تیمارها، از هر کرت سه بوته کامل شامل شاخ و برگ و بلال در مرحله شیری شدن دانه (رقم سینگل کراس SC 704 ۹۵ روز، رقم ZP 600 ۸۵ روز و رقم والبوم ۷۵ روز پس از کاشت) از محل طوقه در سطح خاک قطع گردید و پس از اینکه به قطعات کوچک خرد شد، در سیلوی آزمایشی سیلو گردید. بعد از سپری شدن ۴۰ روز از زمان ذخیره‌سازی، سیلوهای آزمایش باز شد و از سیلاژ هر تیمار، نمونه‌ای برای بررسی اثر تیمارهای آزمایشی برداشت گردید. در مرحله بعد، نمونه‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. بعد از خشک شدن نمونه‌ها به‌وسیله آسیاب دارای الک دو میلی‌متری الک گردید و صفات مربوط به کیفیت علوفه اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های کیفی علوفه شامل درصد پروتئین خام علوفه[1] با استفاده از دستگاه کجلدال (Nelson & Sommers, 1973)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی[2] به‌روش ون سوست و همکاران (Van Soest et al., 1991) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی[3] به‌روش استاندارد انجمن شیمی

1- CP (Crude protein)
2- NDF (Neutral detergent fiber)
3- ADF (Acid detergent fiber)

دانان کشاورزی (AOAC, 1999) اندازه‌گیری شدند. همچنین برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک در هکتار، مساحتی معادل دو مترمربع برداشت و بر حسب تن در هکتار ثبت گردید.

برای تعیین تأثیر مصرف کودهای اعمال شده بر عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی موجود در دانه، در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه (رقم سینگل کراس SC 704 ۱۳۰ روز، رقم ZP 600 ۱۲۰ روز و رقم والبوم ۱۰۵ روز پس از کاشت) از هر کرت آزمایشی به مساحت یک مترمربع نمونه‌برداری انجام شد. استخراج نشاسته دانه به‌روش مک‌کریدی (McCready et al., 1950) انجام شد. در این روش، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاوی نشاسته با نه میلی‌لیتر از معرف آنترون مخلوط و به‌مدت ۵۰ دقیقه در دمای ۱۲ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از سرد شدن لوله‌ها، جذب نور آن‌ها در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت شد. نیتروژن دانه به‌روش نلسون و سامرس (Nelson & Sommers, 1973) به‌وسیله دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فسفر دانه به‌روش ریان و همکاران (Ryan et al., 2007) انجام شد. به این منظور، نمونه‌های بذری ۵۰ گرمی از هر کرت انتخاب گردید و با آب مقطر شستشو داده شد. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. در ادامه، نمونه‌های خشک‌شده به‌وسیله آسیاب برقی پودر گردیدند و یک گرم از پودر آن‌ها در کروزه ریخته شد. کروزه‌ها به‌مدت پنج ساعت در کوره با دمای ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از سردشدن، محتوای هر کروزه به ارلن ۱۰۰ سی‌سی منتقل و ۲۰ سی‌سی اسید هیدروکلریدریک یک درصد به آن اضافه شد. ارلن به‌مدت ۲۰ دقیقه، به‌طور غیرمستقیم حرارت داده و در پایان، محتوای آن از کاغذ صافی عبور داده شد. سپس عصاره نمونه‌ها توسط هضم به‌روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریک تهیه گردید. میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای استخراج روغن از روش سوکسله استفاده شد. به این منظور، از هر کرت مقدار ۲۰ گرم بذر به‌طور تصادفی انتخاب و جهت خشک کردن کامل در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. نمونه‌های خشک‌شده در آسیاب به‌طور جداگانه و یکنواخت خرد شدند و از هر نمونه، ۱۰ گرم با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. پس از آن، نمونه‌ها در کارتوش‌های صافی مخصوص استخراج روغن ریخته و کارتوش با یک تکه پنبه مسدود گردید. لوله‌های مخصوص دستگاه سوکسله در حرارت ۲±۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و پس از یک ساعت، توزین لوله‌های خشک‌شده با دقت ۰/۰۰۱ گرم صورت گرفت. صافی‌های کارتوش حاوی ۱۰ گرم نمونه، درون لوله قرار داده شدند. پس از آن، نمونه‌ها به داخل لوله‌های حلال (اتیل اتر) ریخته شد و در دستگاه با دمای ۱۰۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت سه ساعت قرار گرفتند. پس از اتمام مدت زمان تصفیه شده، لوله‌ها از دستگاه آون خارج شدند و مجددا در آون با دمای ۲±۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند تا حلال باقی‌مانده آن خارج گردد. سپس لوله‌های سردشده حاوی روغن با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم توزین گردیدند و از تفاضل وزن لوله‌های حاوی روغن و لوله‌های خالی که قبلاً توزین شده بودند، وزن روغن محاسبه و از معادله زیر درصد روغن نمونه‌ها مشخص گردید (Pomeranz & Clifton, 1994):

درصد روغن نمونه= (وزن نمونه برداشت شده/مقدار روغن نمونه)×۱۰۰

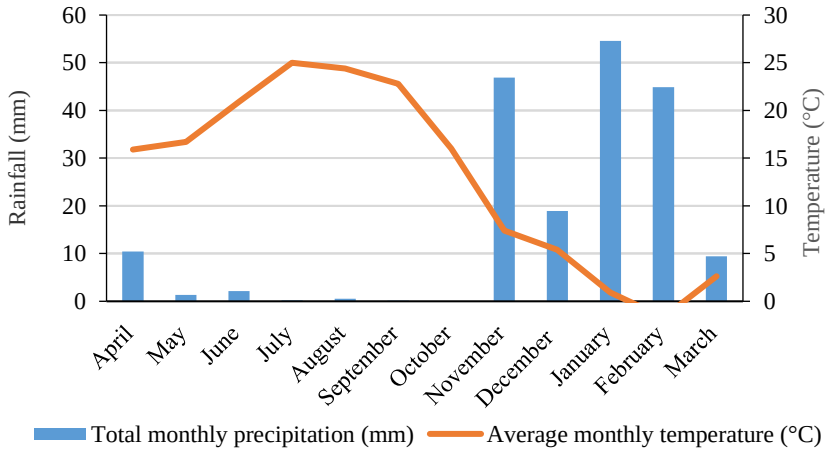
تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین تیمارها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

عملکرد و صفات کیفی دانه

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل کود و رقم از لحاظ این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۸/۸۵ تن در هکتار) در تیمار کاربرد ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و کمترین میزان آن (۵/۱۴ تن در هکتار) در شاهد مشاهده شد (جدول ۳).



شکل ۱- میانگین دما و مجموع بارندگی ماهیانه در سال ۱۴۰۱ در محل اجرای آزمایش

Fig. 1- Mean temperature and total monthly rainfall in 2022 at the site of the experiment

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه تحقیقاتی و ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Characteristics of the soil of the research farm and vermicompost used in the experiment

ویژگی Characteristic	خاک Soil (0-30)	ورمی‌کمپوست Vermicompost
بافت Texture	لومی رسی Clay loam	-
شاخص واکنش عصاره اشباع pH	8.1	7
هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)	0.582	1.55
ماده آلی Organic matter (%)	1.53	27.39
نیتروژن کل Total N (%)	0.08	1.37
پتاسیم قابل دسترس Available K ($mg.kg^{-1}$)	421	13300
فسفر قابل دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	4.6	8200

از جمله دلایل افزایش عملکرد دانه در تیمارهای مصرف تلفیقی کود شیمیایی و کود ورمی‌کمپوست می‌توان به مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه در سطوح تلفیقی اشاره کرد، به‌طوری‌که در اوایل رشد که نیاز غذایی کم است، میزان نیتروژن معدنی کودهای آلی کمتر از کود شیمیایی است، ولی در مراحل رشد زایشی به‌علت تداوم فرآیند معدنی شدن، جذب تا مدت زمان طولانی‌تری ادامه پیدا می‌کند (Curran & Posch, 2010). علاوه‌براین، کود ورمی‌کمپوست حاوی مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه مانند اسیدهای هیومیک، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها می باشد. این تنظیم‌کننده‌ها در اثر فعالیت کرم‌های خاکی و ریزجانداران مانند قارچ‌ها و باکتری‌های اکتینومیست تولید می‌شوند که باعث افزایش رشد گیاه و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی می‌شوند (Arancon et al., 2005; Singh et al., 2008). همچنین، افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک و به دنبال آن بهبود رشد رویشی و توسعه بیشتر سطح برگ جهت تولید و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه از جمله

دلایل افزایش عملکرد در سطوح کودی تلفیقی می‌باشد (Cheema et al., 2010). توفا (Tufa, 2023) طی آزمایشی افزایش عملکرد دانه ذرت در تیمار تلفیقی مصرف کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست را به جذب بهتر مواد مغذی، به‌ویژه نیتروژن، از منابع معدنی و ورمی کمپوست نسبت داد. نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که استفاده تلفیقی از ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و گوگرد به‌طور معنی‌داری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت هیبرید اراضی مرتفع تأثیر گذاشت، به‌طوری‌که کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و گوگرد به نسبت ۳۰/۶۹/۹۲ کیلوگرم در هکتار همراه با مصرف کود ورمی‌کمپوست به‌میزان ۵۱۹۳ کیلوگرم در هکتار (براساس هم‌ارزی نیتروژن و میزان کودهای نیتروژن، فسفر و گوگرد) سبب حصول بیشترین عملکرد دانه (۶۱۸۷ کیلوگرم در هکتار) گردید (Abera et al., 2019). افزایش عملکرد دانه ذرت در تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست در پژوهش‌های رفیعی و کانونی (Rafie & Koonani, 2018) و شیرخوانی و همکاران (Shirkhani et al., 2019) گزارش شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مصرف منفرد و تلفیقی ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی دانه سه رقم ذرت

Table 2- Analysis of variance for the effects of individual and combined application of vermicompost and chemical fertilizer on the yield and quality characteristics of seed in three maize varieties

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	محتوای روغن دانه Grain oil content	عملکرد روغن دانه Grain oil yield	محتوای نیتروژن دانه Grain N content	محتوای فسفر دانه Grain P content	محتوای نشاسته دانه Grain starch content
تکرار Replication	2	7.47^{ns}	0.139^{ns}	4.36^{ns}	0.03^{ns}	0.0007^{ns}	19.30^{ns}
کود Fertilizer	4	77.83**	18.59**	231407.14**	2.07**	0.0184**	168.8**
خطا ۱ Error 1	8	3.89	0.25	196.97	0.02	0.0002	24.83
رقم Cultivar	2	5.02^{ns}	1.96**	2398.51*	0.016^{ns}	0.0001^{ns}	130.97**
کود× رقم Fertilizer× cultivar	8	1.94^{ns}	0.15^{ns}	249.26^{ns}	0.020^{ns}	0.0001^{ns}	29.23^{ns}
خطا ۲ Error 2	20	2.53	0.06	676.19	0.024	0.0003	20.11
ضریب تغییرات CV%		21.3	6.2	8.3	12.4	10.8	7.0

** و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌داری می‌باشد.

non-significant, *: significant at $P\leq0.05$, **: significant at $P\leq0.01$, respectively. ns:

روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود و رقم بر درصد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۲). کاربرد سطوح مختلف کودی موجب افزایش معنی‌دار درصد روغن دانه در مقایسه با شاهد شد، به‌نحوی که بالاترین درصد روغن در تیمار کاربرد تلفیقی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (معادل ۵/۸۳ درصد) بود. درصد روغن در تیمارهای تلفیقی بیشتر از کاربرد غیر تلفیقی کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست بود. کمترین درصد روغن (۲/۲۸ درصد) نیز در شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که در صورت استفاده تلفیقی از کودهای ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی، رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای و اندام‌های گیاهی در مقایسه با کاربرد جداگانه این کودها بیشتر می‌باشد که نتیجه آن بهبود وضعیت جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت، افزایش درصد روغن در دانه ذرت می‌باشد (Cheema et al., 2010).

بیشترین (۴/۴۲ درصد) محتوای روغن به‌ترتیب در رقم دیررس SC 704 و کمترین (۳/۷۱ درصد) مقدار آن در رقم ZP 600 مشاهده

شد (جدول ۳). درصد روغن از جمله ویژگی‌های ژنتیکی رقم است، امّا با توجه به اینکه ترکیباتی که طی فرآیند فتوسنتز تولید می‌شود، منشأ تولید روغن می‌باشند، بهبود شرایط رشد گیاه، و قابلیت دسترسی به عناصر غذایی می‌تواند باعث افزایش درصد روغن دانه شود (Cheema et al., 2010). ارقام دیررس معمولاً دوره رشد طولانی تری دارند که امکان فتوسنتز و جذب کربوهیدرات‌ها را طولانی‌تر می کند و در نهایت، منجر به تجمع بیشتر روغن می‌شود. قرارگیری طولانی در معرض نور خورشید و شرایط محیطی مطلوب می‌تواند رشد بافت‌های ذخیره‌کننده روغن را افزایش دهد (Fengshan et al., 2017).

عملکرد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف تلفیقی و منفرد منابع کودی در سطح احتمال یک درصد و اثر رقم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۲).

بیشترین عملکرد روغن دانه (۵۱۲/۰۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ترکیبی ۲/۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده بود و کمترین مقدار آن (۱۱۴/۲۷ کیلوگرم در هکتار) به شاهد تعلق داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که ادغام کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند یک اثر هم‌افزایی با ارائه طیف گسترده‌ای از مواد مغذی در یک دوره طولانی ایجاد کند، که برای تولید عملکرد روغن بالا در ذرت ضروری است (Doan et al., 2015). کاربرد سطوح متوسط کودهای شیمیایی همراه با نهاده‌های آلی می‌تواند عدم تعادل عناصر غذایی بالقوه را جبران کند و عملکرد دانه و به تبع آن، عملکرد روغن دانه ذرت را افزایش دهد (Emamu & Wakgari, 2021). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که مصرف کودهای آلی، از جمله ورمی‌کمپوست، از طریق بهبود قابلیت دسترسی مواد مغذی و ساختار خاک، بر سلامت خاک و عملکرد محصول تأثیر مثبت دارد (Oyege & Balaji Bhaskar, 2023).

نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر عملکرد روغن دانه نشان داد که بیشترین مقدار این صفت به رقم SC 704 مربوط بود (جدول ۳). بیشتر بودن عملکرد روغن رقم SC 704 را می‌توان به بیشتر بودن درصد روغن آن نسبت داد، زیرا از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه وجود نداشت (جدول ۳).

نیتروژن دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی کود بر درصد نیتروژن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر رقم و برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر کود بر محتوای نیتروژن دانه نشان داد که مصرفی تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی و نیز کاربرد منفرد کود شیمیایی موجب افزایش درصد نیتروژن دانه ذرت شد، امّا کاربرد پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار نتوانست نیتروژن دانه ذرت را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش دهد. بیشترین مقدار نیتروژن دانه (معادل ۱/۸۷ درصد) در تیمار مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و کمترین مقدار آن (معادل ۰/۷۲ درصد) در تیمار عدم کاربرد کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۳).

در ارتباط با افزایش مقدار نیتروژن دانه در تیمارهای کاربرد ترکیبی منابع کودی چنین اظهار نظر شده است که کاربرد معقول و تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی از طریق تقویت ریشه‌های گیاه جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن انباشته‌شده در پروفایل‌های خاک را افزایش می‌دهد که یک راه مؤثر برای افزایش کارآیی مصرف نیتروژن، کاهش آب‌شویی آن و افزایش درصد نیتروژن دانه است. علاوه‌براین، کودهای آلی حاوی مواد فعال زیستی هستند که می‌تواند دسترسی به مواد مغذی را افزایش داده و جذب مواد مغذی را تحریک کند (Demelash et al., 2014). عدم افزایش نیتروژن در تیمار کاربرد منفرد ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد ممکن است به مصرف نیتروژن جهت تبدیل کود آلی به هوموس مربوط باشد، زیرا ریشه گیاه و ریزجانداران برای دریافت نیتروژن با هم رقابت می‌کنند، در نتیجه مقدار نیتروژن خاک کاهش یافته و مقدار کمتری جذب گیاه می‌شود (Thind et al., 2021). نتایج به‌دست آمده از تحقیقات نیرانزا و همکاران (Nyiraneza et al., 2009) نشان داد که جذب نیتروژن توسط گیاه ذرت در صورت کاربرد کود اوره، ۹۷/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت و کاربرد همزمان کود اوره و کود گاوی منجر به افزایش ۱۱۰ درصدی جذب نیتروژن نسبت به شاهد شد.

فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مصرف منابع کودی بر درصد فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر

رقم و اثر متقابل دو فاکتور از لحاظ این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیشترین درصد فسفر دانه (۰/۲۱۸ درصد) در تیمار مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده مشاهده شد. درصد فسفر دانه در تیمارهای کاربرد منفرد پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و مصرف تلفیقی ۳/۷۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده در سطوح مشابه آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین درصد فسفر دانه در شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که وجود نیتروژن، فسفر و پتاسیم کافی در کودهای شیمیایی به همراه مواد مغذی حاصل از ورمی‌کمپوست، محیط غذایی مطلوبی را برای گیاهان ایجاد می‌کند که منجر به بهبود رشد، عملکرد و کیفیت گیاه شده و به تبع آن، افزایش تجمع فسفر در دانه‌ها را سبب می‌شود (Fereidooni et al., 2017). کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی می‌تواند شسته شدن فسفر محلول را کاهش دهد که یک نگرانی قابل توجه در کشاورزی رایج است. حفظ فسفر در خاک به‌دلیل ظرفیت بافری مواد آلی مانند ورمی‌کمپوست نیز می‌تواند تأمین پایدارتر و مداوم این ماده غذایی ضروری را برای گیاهان زراعی تضمین کند (Terefe et al., 2024). پژوهشگران دیگری نیز نشان دادند که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و کودهای زیستی باعث افزایش مقدار فسفر در دانه گیاهان نخود (*Cicer arietinum* L.) و خردل (*Brassica carinata*) شد (Arya et al., 2007).

نشاسته دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی مصرف منابع کودی بر درصد نشاسته دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر رقم و برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۲). درصد نشاسته دانه در تیمارهای شاهد (عدم مصرف کود)، پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار ، ۳/۷۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده در یک سطح مشابه آماری قرار داشتند. بیشترین درصد نشاسته معادل ۶۶/۳ درصد در رقم SC 704 و کمترین مقدار آن معادل ۶۰/۵ درصد در رقم والبوم مشاهده شد. درصد نشاسته دانه در ارقام SC 704 و ZP 600 از لحاظ آماری در سطح مشابه قرار گرفتند (جدول ۳). ماهیت غنی از مواد مغذی کودهای ورمی‌کمپوست و شیمیایی (NPK) در سیستم‌های تلفیقی حاصلخیزی خاک، از سلامت و رشد کلی گیاه حمایت می‌کند و منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی آن می‌شود. نرخ بالاتر فتوسنتز می‌تواند منجر به تولید و ذخیره بیشتر کربوهیدرات‌ها از جمله نشاسته شود (Blouin et al., 2019). علاوه‌براین، کاربرد کودهای آلی می‌تواند تعادل هورمونی به‌ویژه اکسین‌ها و جیبرلین‌ها را که در رشدونمو گیاه نقش دارند، تغییر دهد. این اثر تنظیمی ممکن است مسیرهای آنزیمی درگیر در سنتز نشاسته را افزایش دهد (Wei et al., 2016). در آزمایشی، کاربرد تلفیقی کود گاوی و کود شیمیایی (NPK)، درصد نشاسته دانه ذرت را افزایش داد (Nyiraneza et al., 2009). همچنین در مطالعه دیگری در ذرت، نتایج مشابهی در خصوص افزایش درصد نشاسته در اثر کاربرد تلفیقی کود مرغی و کود شیمیایی حاوی نیتروژن و فسفر در مقایسه با شاهد به‌دست آمد (Hirzel et al., 2017).

عملکرد و صفات کیفی علوفه ذرت

عملکرد علوفه خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مصرف تلفیقی و منفرد منابع کودی بر عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر رقم و برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۴). عملکرد علوفه خشک ذرت در تیمارهای مصرف توأم کود شیمیایی و کود ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای کود شیمیایی خالص و ورمی کمپوست خالص بود. بیشترین و کمترین عملکرد خشک علوفه به‌ترتیب معادل ۲۰/۲۴ و ۱۳/۱۲ تن در هکتار به تیمار کاربرد ۲/۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و و شاهد مربوط بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد علوفه خشک در تیمار تلفیقی کود آلی با کود شیمیایی به‌دلیل فراهمی عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر باشد. از سوی دیگر، کود ورمی‌کمپوست از طریق افزایش عناصر غذایی و میزان هورمون‌های تحریک‌کننده رشد و فعالیت ریزجانداران خاک، باعث افزایش عملکرد علوفه خشک می‌شود (Sher et al., 2022). صبوری‌فرد و همکاران (Sabourifard et al., 2023) طی آزمایشی روی ذرت گزارش کردند که کاربرد کود ورمی‌کمپوست از طریق افزایش توانایی گیاه در دسترسی به نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی گیاه و در نتیجه، افزایش ماده خشک آن می‌شود.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کود و رقم بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی دانه ذرت

Table 3- Mean comparison of the effects of fertilizer and cultivar on grain yield and quality characteristics of maize

تیمارها Treatments	سطوح Levels	عملکرد دانه Grain yield (ton.ha^{-1})	روغن دانه Grain oil (%)	عملکرد روغن دانه Grain oil yield (kg.ha^{-1})	نیتروژن دانه Grain N (%)	فسفر دانه Grain P (%)	نشاسته دانه Grain starch (%)
کود Fertilizer	a_1	5.14^{c}	2.28^{e}	114.27^{e}	0.72^{d}	0.106^{d}	59.4^{b}
	a_2	6.97^{b}	2.99^{d}	202.51^{d}	0.88^{d}	0.124^{c}	62.0^{b}
	a_3	8.33^{a}	4.96^{b}	411.26^{b}	1.17^{c}	0.139^{c}	62.7^{b}
	a_4	8.85^{a}	5.83^{a}	512.05^{a}	1.87^{a}	0.218^{a}	70.9^{a}
	a_5	8.10^{a}	4.10^{c}	327.36^{c}	1.58^{b}	0.180^{b}	63.9^{b}
LSD 5%		0.97	0.54	25.29	0.17	0.016	3.83
رقم Cultivar	SC 704	7.73^{a}	4.42^{a}	353.24^{a}	1.26^{a}	0.154^{a}	66.30^{a}
	ZP 600	7.52^{a}	3.71^{b}	289.31^{b}	1.25^{a}	0.153^{a}	60.50^{b}
	والبوم Valbom	7.20^{a}	3.96^{ab}	298.01^{b}	1.20^{a}	0.152^{a}	64.59^{a}
LSD 5%		0.74	0.48	21.85	0.13	0.014	3.77

a_1: شاهد (عدم مصرف کود)، a_2: پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار، a_3: ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، a_4: ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، a_5: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده

a_1: Control (no fertilizer), a_2: 5 ton.ha^{-1} of vermicompost, a_3: 3.75 ton.ha^{-1} of vermicompost + 25% recommended chemical fertilizer, a_4: 2.5 ton.ha^{-1} vermicompost + 50% Recommended chemical fertilizer, a_5: 100% recommended chemical fertilizer

نتایج پژوهشی نشان داد که مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کود ورمی‌کمپوست (۲۵ تن در هکتار) با ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن توصیه‌شده (۹۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با مصرف جداگانه و ۱۰۰ درصد آن‌ها باعث افزایش عملکرد علوفه خشک ذرت گردید (Pourjamshid et al., 2023).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف کود بر عملکرد و کیفیت علوفه سه رقم ذرت

Table 4- Analysis of variance for the effect of different levels of fertilizer on yield and quality of three maize cultivars

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پروتئین خام Crude protein	خاکستر علوفه ASH	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	عملکرد پروتئین Protein yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield
تکرار Replication	2	3.00^{ns}	0.55^{ns}	7.00^{ns}	5.13^{ns}	63453.09 ^{ns}	12.73^{ns}
کود Fertilizer	4	78.89**	10.76*	413.55**	242.67**	4403856.67**	96.85**
خطا ۱ Error 1	8	3.04	1.95	14.34	7.55	45813.72	14.89
رقم Cultivar	2	1.32^{ns}	0.68^{ns}	41.54^{ns}	130.39**	778.93 ^{ns}	10.54^{ns}
کود× رقم Fertilizer × cultivar	8	2.61^{ns}	1.59^{ns}	10.41^{ns}	4.31^{ns}	631.33 ^{ns}	4.97^{ns}
خطا ۲ Error 2	20	3.01	1.43	13.68	6.32	34350.08	7.83
ضریب تغییرات CV (%)		20.9	29.3	10.0	8.1	12.35	16

*، ** و ^{ns}: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌داری می‌باشد.

non-significant, *: significant at $P\leq0.05$, **: significant at $P\leq0.01$, respectively. ^{ns}:

درصد پروتئین خام علوفه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مدیریت تغذیه‌ای بر محتوای پروتئین خام علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه از لحاظ این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین محتوای پروتئین خام علوفه (۱۲/۱۷ درصد) در تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مشاهده شد. درصد پروتئین خام علوفه در تیمارهای پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار و ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده در سطح مشابه آماری قرار گرفتند، ولی اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار کاربرد منفرد کود شیمیایی داشتند (شکل ۲ الف). درصد پروتئین علوفه زمانی افزایش پیدا می‌کند که نیتروژن قابل دسترس گیاه، بیشتر از نیاز آن برای تولید باشد. زمانی‌که مقدار نیتروژن کمتر از این حد باشد، تنها عملکرد، افزایش یافته و تغییر معنی‌داری در میزان پروتئین علوفه مشاهده نمی‌شود (Greene et al., 2018). بالاتر بودن درصد پروتئین در تیمار کود شیمیایی در مقایسه با تیمارهای کود تلفیقی، نکته قابل توجه در این آزمایش بود که دلیل این نتیجه را می‌توان ناشی از بالاتر بودن درصد نیتروژن در کود شیمیایی در مقایسه با کود ورمی‌کمپوست دانست که نتیجه این امر، کاهش توان گیاه در ساخت پروتئین می‌باشد. ایوب و همکاران (Ayub et al., 2002) نیز در آزمایش خود گزارش کردند که درصد پروتئین خام علوفه در تیمارهای کاربرد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمار عدم کاربرد کود بودند.

عملکرد پروتئین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف منابع کودی بر عملکرد پروتئین علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه از لحاظ این صفت معنی دار نبود (جدول ۴). بیشترین عملکرد پروتئین علوفه در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۲۲۷۲/۲۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که با تیمار مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۱۹۲۲/۸۳ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی اختلاف آن با سایر تیمارهای کودی معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشتر بودن عملکرد پروتئین در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده را می‌توان به درصد بالای پروتئین در این تیمار نسبت داد (شکل ۲ الف) زیرا از لحاظ عملکرد علوفه با تیمارهای ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

با توجه به اینکه کودهای شیمیایی، عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را به‌آسانی فراهم می‌کنند، می‌توانند منجر به بهبود قابل مشاهده و سریع در زیست‌توده و عملکرد پروتئین گیاه شوند (Rai et al., 2014). از طرف دیگر، تیمار ترکیبی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار با ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، از لحاظ آماری مقدار پروتئین علوفه برابری با تیمار کود شیمیایی توصیه‌شده تولید کرد. این امر نشان می‌دهد که یک رویکرد ترکیبی با استفاده از کودهای آلی و معدنی ممکن است یک استراتژی مناسب برای بهینه‌سازی عملکرد در سیستم‌های تولید علوفه ارائه دهد. اثر هم‌افزایی این تیمار ترکیبی را می‌توان به آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از ورمی‌کمپوست نسبت داد، که ممکن است حاصلخیزی خاک و فعالیت میکروبی را افزایش دهد و همراه با کودهای شیمیایی سهل‌الوصول عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را فراهم کند (Sher et al., 2022).

درصد خاکستر علوفه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر مصرف منابع کودی بر درصد خاکستر علوفه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه از لحاظ این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین درصد خاکستر علوفه در تیمارهای مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۵/۴۷ درصد) و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۴/۷۶ درصد) مشاهده شد. درصد خاکستر علوفه سیلویی در شاهد (عدم مصرف کود) و تیمار کاربرد پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست در یک سطح آماری مشابه قرار گرفتند (شکل ۲ ب). خاکستر، نماینده کل مواد معدنی و غیر آلی می‌باشد. محتوای خاکستر علوفه، تشکیل شده از مواد کانی می‌باشد. این ترکیبات نقش مهمی در ساخت ویتامین‌ها، سنتز آنزیم‌ها، تولید هورمون‌ها، ساخت بافت و بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک وابسته به رشد دارند (Greene et al., 2018). در آزمایش حاضر از لحاظ خاکستر علوفه، تفاوتی بین ارقام مورد مطالعه مشاهده نشد (جدول ۴). نتایج پژوهش ایوب و

همکاران (Ayub et al., 2002) نشان داد که درصد خاکستر علوفه ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری نداشتند که این نتیجه منطبق بر نتیجه حاصل از این آزمایش می‌باشد.

الیاف نامحلول در شوینده خنثی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مصرف منابع کودی بر محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل کود در رقم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۴۶/۱ درصد) به شاهد (بدون مصرف کود) مربوط بود و کمترین مقدار آن (۲۹/۷ درصد) در تیمار ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده مشاهده گردید که با تیمار کابرد منفرد کود شیمیایی به‌میزان ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده، اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲ ج). نتایج پژوهشی در خصوص تأثیر تیمارهای کودی بر درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نشان داد که کاربرد سطوح مختلف کود موجب افزایش رشد رویشی، افزایش تقسیم سلولی و نازک شدن دیواره سلولی شده که این امر باعث کاهش درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود شده است (Greene et al., 2018).

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات کاربرد منابع کودی و رقم بر مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها از نظر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۳۵/۲ درصد) به شاهد (عدم مصرف کود) تعلق داشت. تیمارهای پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده نیز در سطح مشابه آماری با شاهد قرار گرفتند. کمترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از تیمار ترکیبی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار و ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده حاصل گردید (جدول ۵). نتایج یک بررسی نشان داد که در تیمارهای تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی، مقدار ADF کاهش پیدا می‌کند که ناشی از اثر افزایشی نیتروژن بر رشد رویشی و انبساط سلولی بوده و در نتیجه، کیفیت علوفه افزایش می‌یابد (Sher et al., 2019). کونتارس‌گوا و همکاران (Contreras-Govea et al., 2019) در تحقیق خود بیان کردند با افزایش کود نیتروژن درصد فیبر قابل حل در شوینده اسیدی کاهش یافت که این امر باعث افزایش قابلیت هضم و خوش‌خوراکی علوفه گردید.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کود و رقم بر عملکرد علوفه خشک و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ذرت

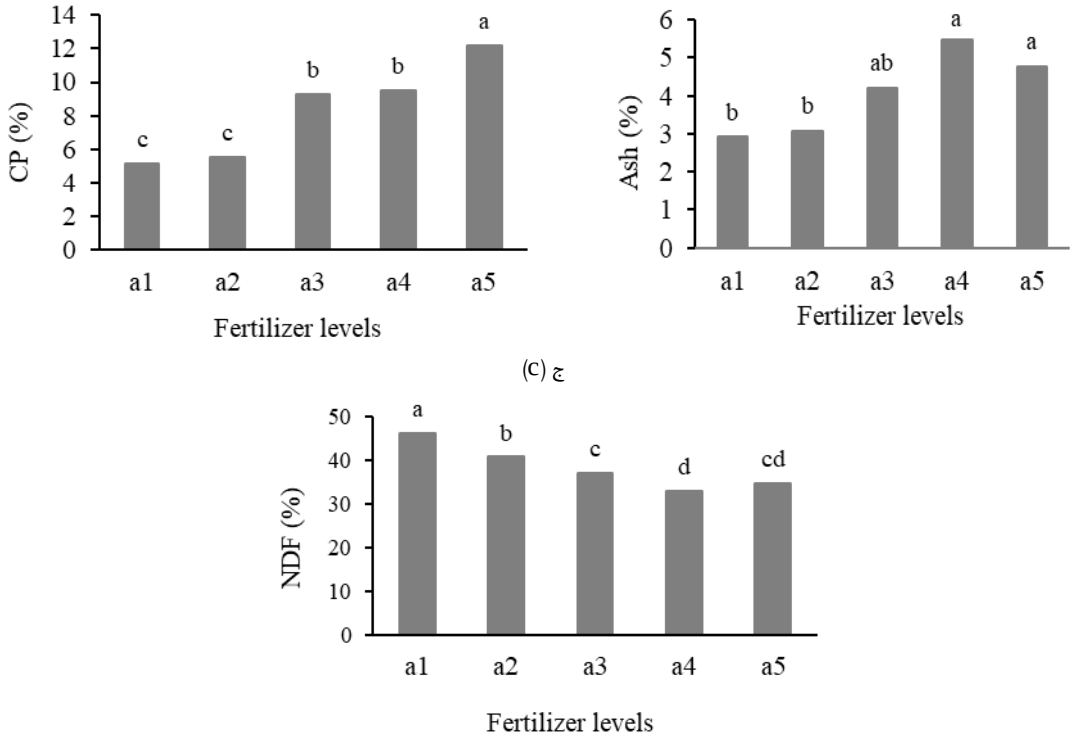
Table 5- Mean comparison of different levels of fertilizer and cultivar effects on dry forage yield and quality

تیمارها Treatments		سطوح Levels	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (%)	عملکرد پروتئین Protein yield (kg.ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (ton.ha^{-1})
کود Fertilizer		a_1	35.2^{a}	674.37^{c}	13.12^{d}
		a_2	34.3^{a}	861.25^{c}	15.63^{c}
		a_3	29.0^{b}	1804.85^{b}	19.51^{a}
		a_4	24.6^{c}	1922.83^{ab}	20.24^{a}
		a_5	26.4^{bc}	2272.25^{a}	18.67^{ab}
LSD 5%			2.98	367.27	2.19
رقم Cultivar		SC 704	33.9^{a}	1513.16^{a}	17.65^{a}
		ZP 600	28.9^{b}	1499.05^{a}	17.26^{a}
		والبوم Valbom	26.6^{c}	1508.94^{a}	17.49^{a}
LSD 5%			2.11	221.65	1.86

a_1: شاهد (عدم مصرف کود)، a_2: پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار، a_3: ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، a_4: ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، a_5: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده

a_1: Control (no fertilizer), a_2: 5 ton.ha^{-1} of vermicompost, a_3: 3.75 ton.ha^{-1} of vermicompost + 25% recommended chemical fertilizer, a_4: 2.5 ton.ha^{-1} vermicompost + 50% Recommended chemical fertilizer, a_5: 100% recommended chemical fertilizer

الف (a) ب (b)



شکل ۲- اثر سطوح کودی بر پروتئین خام (الف)، خاکستر (ب) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (ج) علوفه ذرت

Fig. 2- The effect of fertilizer levels on crude protein (a), ash (b) and neutral detergent fiber (c) of maize silage fodder

a_1: شاهد (عدم مصرف کود) ، a_2: پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست، a_3: ۳/۷۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، a_4: ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، a_5: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده

a_1: Control (no use of fertilizer), a_2: 5 t. h^{-1} of vermicompost, a_3: 3.75 t. h^{-1} of vermicompost + 25% recommended chemical fertilizer, a_4: 2.5 t. h^{-1} vermicompost + 50% Recommended chemical fertilizer, a_5: 100% recommended chemical fertilizer

علاوه‌براین، بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2017) نیز در آزمایشی که با هدف بررسی تأثیر تیمارهای آلی و شیمیایی حاوی نیتروژن بر خصوصیات کیفی و کمّی ذرت سیلویی هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد، گزارش کردند که درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تیمار کود آلی کمتر از سایر تیمارهای اعمال شده در آزمایش بود. مقایسه میانگین اثر رقم بر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نیز نشان داد که بیشترین مقدار این صفت به رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ مربوط بود و کمترین مقدار آن به رقم والبوم تعلق داشت (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

در آزمایش حاضر سعی گردید که از طریق کاربرد تلفیقی کود ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی و انتخاب رقم مناسب، عملکرد و کیفیت علوفه ذرت افزایش پیدا کند و به تبع آن، مصرف کودهای شیمیایی و اثرات مخرب زیست‌محیطی آن‌ها کاهش یابد. نتایج آزمایش نشان داد که تیمار مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده از لحاظ اکثر صفات مرتبط با کیفیت و عملکرد دانه و علوفه نسبت به سایر تیمارهای کودی برتری داشت. بین ارقام مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه و علوفه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی میزان روغن و نشاسته دانه در رقم SC 704 بیشتر از سایر ارقام مورد مطالعه در این پژوهش بود. به نظر می‌رسد که ارقام مورد مطالعه در این آزمایش، با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه اجرای آزمایش (سرد و کوهستانی و فصل رشد نسبتاً کوتاه) از لحاظ صفات عملکردی واکنش مشابهی نسبت به سطوح کودی نشان داده‌اند. با توجه به نتایج این تحقیق، کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و ۲/۵ تن در هکتار کود

ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد دانه و روغن و عملکـرد علوفـه خشک ذرت گردید و شاخص‌های کیفی دانه و علوفه را بهبود بخشید. ازاین‌رو، استفاده از کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوسـت، ضمن کـاهش قابل‌توجه در مصرف کودهـای شـیمیایی می‌توانـد اثـرات مخـرب زیست‌محیطی ناشی از کاربرد آن‌ها را کاهش دهد.

سپاسگزاری

بدین‌وسـیله از دانشـگاه کردسـتان و مـدیریت محتـرم مزرعـه تحقیقاتی دانشگاه کردستان جهت همکـاری در بخـش‌هـای مختلـف انجام پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Abera, T., Tufa, T., Tola, B., & Kumbi, H. (2019). Effects of vermicompost and NPS fertilizer rate on yield and yield components of highland maize in vertisol ambo. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, *10*(1), 1–15.
2. Ahmed, A.U.H., Qadir, I., & Mahmood, N. (2007). Effect of integrated use of organic and inorganic fertilizers on fodder yield of sorghum (*Sorghum bicolar* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Science*, *44*, 415-421.
3. Akintoye, H.A., Lucas, E.O., & Kling, J.G. (2008). Effects of density of planting and time of nitrogen application on maize varieties in different ecological zones of West Africa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *28*, 1163-1175. https://doi.org/10.1080/00103629709369863
4. Anonymous. (2022). Agricultural statistics: Crops, farming year of 2021-2022 (Vol. 1). Tehran: Ministry of Agriculture – Jahad, Iran.
5. AOAC. (1999). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.1380
6. Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D., & Lucht, C. (2005). Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiolgia*, *49*, 297–306. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.02.001
7. Arya, R.L., Varshney, J.G., & Kumar, L. (2007). Effect of integrated nutrient application in chickpea + mustard intercropping system in the semi- arid tropics of North India. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *38*, 229-240. https://doi.org/10.1080/00103620601094189
8. Ayub, M., Nadeem, M.A., Sharar, M.S., & Mahmood, N. (2002). Response of maize (*Zea mays* L.) fodder to different levels of nitrogen and phosphorus. *Asian Journal of Plant Sciences*, *1*, 352-354. https://doi.org/10.3923/ajps.2002.352.354
9. Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., & Golzardi, F. (2017). Effects of pre-sowing treatments and nitrogen rates on quantitative and qualitative characteristics of silage maize SC 704. *Crop Production*, *9*, 103-120. (In Persian). https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.10508.1823
10. Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, *39*(34), 1-15. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x
11. Cheema, M.A., Farhad, W., Saleem, M.F., Khan, H.Z., Vahid, M.A., Rasul, F., & Hammad, H.M. (2010). Nitrogen management strategies for sustainable maize production. *Crop and Environment*, *1*, 49-52.
12. Contreras-Govea, F.E., Muck, R.E., Armstrong, K.L., & Albrecht, K.A. (2019). Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology*, *150*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.07.001
13. Curran, B., & Posch, J. (2010). Agronomic management of silage for yield and quality: Silage cutting height. *Crop Insights*, *10*(2), 145-155.
14. Demelash, N., Bayu, W., Tesfaye, S., Ziadat, F., & Sommer, R. (2014). Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *100*, 357–367. https://doi.org/10.1007/s10705-014-9654-5
15. Doan, T.T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J.L., & Jouquet, P. (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three-year mesocosm experiment. *Science of The Total Environment*, *514*, 147–54.
16. Emamu, T., & Wakgari, T. (2021) The effect of integrated application of vermicompost and NPS fertilizer on soil physicochemical properties and yield of maize (*Zea May* L.) crop at Toke Kutaye district, Western Ethiopia. *Stechnolock Plant Biology and Research*, *1*, 1-16. https://doi.org/10.11648/j.ijaas.20210705.16

17. Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B.M. (2022). Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security, 14,* 1295-1319. https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7
18. FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL. https://doi.org/10.32614/cran.package.faostat
19. Fengshan, L., Ying, C., Wenjiao, S., Shuai, Z., Fulu, T., & Quansheng, G.E. (2017). Influences of agricultural phenology dynamic on land surface biophysical process and climate feedback. *Journal of Geographical Sciences, 27*(9), 1085-1099. https://doi.org/10.1007/s11442-017-1423-3
20. Fereidooni, M., Maghsoudi, E., Behzadi, Y., & Mojab Ghasroddashti, A. (2017). The effects of different nitrogen sources on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L. saccharata). *Journal of Agroecology, 9,* 171-184. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.52309
21. Francis, H.R., Ma, T.F., & Rurak, M.D. (2021). Toward a standardized statistical methodology comparing optimum nitrogen rates among management practices: A bootstrapping approach. *Agricultural and Environmental Letters, 6*(2), e20045. https://doi.org/10.1002/ael2.20045
22. Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B.A., & Fanaie, H.R. (2018). Effect of different tillage management on maize forage and grain quality and quantity under the influence of different sources of organic and chemical fertilizers. *Journal of Agroecology, 10,* 490-503. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.59988
23. Greene, W.L., Johnson, A.B., Paterson, J., & Ansotegui, R. (2018). Role of trace minerals in cow-calf cycle examined. *In: Feedstuffs Newspaper, 70,* 12-27.
24. Hirzel, J., Matus, I., Novoa, F., & Walter, I. (2017). Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) production and nutrient uptake. *Spanish Journal of Agricultural Research, 5,* 102-109. https://doi.org/10.5424/sjar/2007051-226
25. Nyiraneza, J., Chantigny, M.H., N'Dayegamiye, A., & Laverdière, M.R. (2009). Dairy cattle manure improves soil productivity in low. *Agronomy Journal, 101,* 207–214. https://doi.org/10.2134/agronj2008.0142
26. Kannayan, S. (2020). Biofertilizers for Sustainable Crop Production, pp. 9-49. In: Biotechnology of biofertilizers. Ed., Kannayan, Narosa Publishing House, New Delhi, India.
27. Karimi, H., Mazaheri, D., Peyghambariand, S.A., & Mirabzadeh Ardakani, M. (2012). Effect of organic and chemical fertilizers application on grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) SC704. *Iranian Journal of Crop* Sciences, *13(4),* 611-626. (in Persian with English abstract)
28. Laegreid, M., Bockman, O.C., & Kaarstad, E.O. (1999). Agriculture, Fertilizer and Environment. CABI publishing. Porsgrunn, Norway. 294 pp.
29. Laekemariam, F., & Gidago, G. (2012). Response of maize (*Zea mays* L.) to integrated fertilizer application in Wolaita, South Ethiopia. *Advances in Life Science and Technology, 5,* 21-30.
30. Mahmud, A. & Rahouma, A. (2021). Effect of plant density on silage yield and quality of some maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Alexandria Science Exchange Journal, 42,* 89-94. https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2021.151909
31. McCready, R.M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H.S. (1950). Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytical Chemistry, 22,* 1156–1158. https://doi.org/10.1021/ac60045a016
32. Mohammadi, H., Heidari, G.R., & Sohrabi, Y. (2020). The effects of biological and chemical nitrogen fertilizers and iron micronutrient on forge quality and yield of maize (*Zea mays* L.). *Plant Production, 43,* 185-198. (In Persian). https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27736.1678
33. Negassa W., Gebrekidan, H., &Friesen, D.K. (2005). Integrated use of farmyard manure and NP fertilizers for maize on farmers' fields. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics, 106(2),* 31–141.
34. Nelson, D., & Sommers, L. (1973). Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal, 65,* 109-112. https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010033x
35. Oyege, I., & Balaji Bhaskar, M.S. (2023). Effects of vermicompost on soil and plant health and promoting sustainable agriculture. *Soil Systems, 7*(4), 101. https://doi.org/10.3390/soilsystems7040101
36. Pomeranz, Y., & Clifton, E. (1994) Food Analysis: Theory and Practice, 3rd Ed. Chapman and Hall.
37. Pourjamshid, S.A., Moshatati, A., Siadat, S.A., Moradi Telavat, M.R., & Khodaei Joghan, A. (2023). Effect of drought stress, integrated application of chemical and organic fertilizers and seed sowing method on forage yield of silage maize (*Zea mays* L. cv. SC704). *Iranian Journal of Crop Sciences, 25,* 170-189. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

38. Rafie, M., & Koonani, A.R. (2018). Effect of vermicompost and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative yield of corn (*Zea Mays* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science, 50*, 151-159. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.249682.654431
39- Rai, N., Ashiya, P., & Rathore, D.S. (2014). Comparative study of the effect of chemical fertilizers and organic fertilizers on *Eisenia foetida*. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology, 2*, 12991-12998.
40. Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2007). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Second Edition. Beirut, Lebanon: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). 350 p.
41. Sabourifard, H., Estakhr, A., Bagheri, M., & Hosseini, S.J. (2023). The quality and quantity response of maize (*Zea mays* L.) yield to planting date and fertilizers management. *Food Chemistry Advances*, *2*, 100196. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100196
42. Sadeghi, A., & Mahrokh, F. (2020). Effect of transplanting and seed hydropriming on grain yield of maize (*Zea mays* L.) as second crop in temperate region of Kermanshah, Iran. *Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences*, *22*(1), 50–65. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/abj.22.1.50
43. Sharma, A.K. (2015). Biofertilizers for sustainable agriculture. Agronomy Biosystem, India, 407 pp.
44. Sher, A., Adnan, M., Sattar, A., Ul-Allah, S., Ijaz, M., Hassan, M.U., Manaf, A., Qayyum, A., Elesawy, B.H., Ismail, K.A., Gharib, A.F., & El-Askari, A. (2022). Combined application of organic and inorganic amendments improved the yield and nutritional quality of forage sorghum. *Agronomy*, *12(4)*, 896. https://doi.org/10.3390/agronomy12040896
45. Shirkhani, A., Nasrolahzadeh, S., & Zehtab Salmasi, S. (2019). Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on yield and seed quality of corn under normal irrigation and drought stress conditions. *Enviromental Stresses in Crop Sciences, 12*, 781-791. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2018.542.1332
46. Sigaye, M.H. (2022). Effects of using different organic sources in combination with mineral nitrogen fertilizer on soil fertility, grain yield, and maize quality. *Advances in Life Science and Technology*, *92*, 1–9. https://doi.org/10.7176/ALST/92-02
47. Silva, S.L.E., Silva, P.I.B.E., Oliveira, V.R.D., Oliveira, F.H.T.D., & Costa, L.R.D. (2017). Vermicompost application improving semiarid-grown corn green ear and grain yields. *Revista Caatinga*, *30*(3), 551–558. https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n302rc
48. Singh, R., Sharma, R.R, Kumar, S., Gupta, R.K., & Patil, R. (2008). Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresource Technology*, *99*, 8507–8511. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.034
49. Stanton, D., Grombacher, A.W., Pinnisch, R., Mason, H., & Spaner, D. (2020). Hybrid and population density affect yield and quality of silage maize in central Alberta. *Canadian Journal of Plant Science, 87*, 867-871. https://doi.org/10.4141/CJPS06024
50. Terefe, Z., Feyisa, T., Molla, E., & Ejigu, W. (2024). Effects of vermicompost and mineral fertilizers on soil properties, malt barley (*Hordeum distichum* L.) yield, and economic benefits. *Agrosystems, Geosciences & Environment, 7*(3), e20550. https://doi.org/10.1002/agg2.20550
51. Thind, S.S., Sing, M., Sidhu, A.S., & Chhibba, I.M. (2021). Influence of continuous application of organic manures and nitrogen fertilizer on crop yield, N uptake and nutrient status under maize-wheat rotation. *Journal of Research Punjab Agricultural University*, *39*, 357-361.
52. Tufa, A. (2023). Vermicompost and NPSZnB fertilizer levels on maize (*Zea mays* L.) growth, yield component, and yield at Guto Gida, Western Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, *23(1)*, 1–11. https://doi.org/10.1155/2023/7123826
53. Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science, 74*, 3583-3596. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
54. Wei, W., Yan, Y., Cao, J., Christie, P., Zhang, F., & Fan, M. (2016). Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 225*, 86–92. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.004