Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

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

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The effect of the combined use of chemical and organic fertilizers on photosynthesis, growth and yield, in corn and fenugreek intercropping

Hamzeh Miri[1], Javad Hamzei[2*]

[1] PhD Student of Agrotechnology-Crop Ecology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: hamzemiri4@gmail.com
[2] Corresponding Author, Associted professor, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: j.hamzei@basu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2023-10-16
Accepted: 2024-4-17

Keywords:
Intercropping
Corn
Fenugreek
Relative yield
Yield

ABSTRACT

Background and objectives: The intercropping of corn and fenugreek is an important summer crop due to increase in the efficiency of using resources. Therefore, the aim of the present study was to investigate the effect of combined application of animal, biochar and chemical fertilizers on the growth, photosynthesis and performance of intercropping of corn and fenugreek.

Materials and methods: The experiment was conducted during the agricultural years of 2019 and 2020 at the Agricultural Research Center in Mehran city, located in Ilam province. It followed a factorial experiment and employed a randomized complete block design. The experiment consisted of different cultivation patterns at four levels: pure corn cultivation, pure fenugreek cultivation, and mixed crops with ratios of 2:1 and 6:3 (corn row: fenugreek row). Fertilizer application was also considered with six levels: no fertilizer used (control), animal manure, biochar, recommended NPK, 50% NPK + 50% animal manure, and 50% NPK + 50% biochar. The evaluated traits were the number of rows per ear, number of grains per row, thousand grain weight, grain yield, and biological yield of corn, as well as the number of pods per plant, thousand grain weight, grain yield, and biological yield of fenugreek. To evaluate the profitability of intercropping compared to pure cultivation, indicators such as relative yield, area time equation ratio, and land use efficiency were used. Variance analysis of data and mean comparison was conducted using SAS 9.4 statistical software. Graphs were generated using Excel 2013 software.

Results: The main and interaction effects of fertilizer application and intercropping on grain and biological yield, transpiration rate, carbon dioxide concentration under the stomata, and net photosynthesis rate of corn and fenugreek were significant at the 1% probability level. Although intercropping led to a reduction in crop yield and physiological characteristics, the application of biochar fertilizers and cattle manure had a positive impact on these traits, except for the carbon dioxide concentration under stomata, which remained unchanged. The highest grain yields of corn and fenugreek were achieved through sole cropping and with the use of chemical fertilizer and biochar, respectively (914 and 81.7 grams per square meter, respectively). Among the intercropping treatments, the highest grain

yields of corn and fenugreek (506 and 58.1 grams per square meter, respectively) were observed in the intercropping of one row of corn to two rows of fenugreek with the use of chemical fertilizers, and in the intercropping of three rows of corn to six rows of fenugreek with the use of biochar, respectively. The indices of relative yield, and the efficiency of land use confirmed the benefits of corn and fenugreek intercropping.

Conclusion: The results of the experiment showed that the intercropping of one row of corn: two rows of fenugreek and the use of 50% of chemical fertilizers along with 50% of cattle manure led to the improvement of the yield, and it had the highest indicses of the relative yield, and land use efficiency. Therefore, this cultivation pattern is recommended to farmers while improving the efficiency of resources and reducing the consumption of chemical fertilizers.

Cite this article: Miri, H., Hamzei, J. 2024. The effect of the combined use of chemical and organic fertilizers on photosynthesis, growth and yield, in corn and fenugreek intercropping. *Crop Production Journal*, 17 (2), 31-52.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.21508.2589
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳

اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی بر فتوسنتز، رشد و عملکرد در کشت مخلوط ذرت و شنبلیله

حمزه میری[۱]، جواد حمزه ئی[۲]*

[۱] دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی-اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران، رایانامه: hamzemiri4@gmail.com
[۲] دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران، رایانامه: j.hamzei@basu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۹

واژه‌های کلیدی:
کشت مخلوط
ذرت
شنبلیله
عملکرد
محصول نسبی

چکیده

سابقه و هدف: کشت مخلوط ذرت و شنبلیله به‌عنوان یکی از کشت‌های تابستانه، با توجه به افزایش کارایی استفاده از منابع از اهمیت بسیاری برخوردار است. از این رو، هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر کاربرد تلفیقی کودهای دامی، بیوچار و شیمیایی بر رشد، صفات مرتبط با فتوسنتز و عملکرد کشت مخلوط ذرت و شنبلیله بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان مهران واقع در استان ایلام اجرا شد. الگوهای مختلف کشت در چهار سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله، کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله) و کاربرد کود در شش سطح (عدم مصرف کود (شاهد)، کود دامی، بیوچار، NPK توصیه شده، ۵۰ درصد NPK + ۵۰ درصد کود دامی، ۵۰ درصد NPK + ۵۰ درصد بیوچار) فاکتورهای آزمایشی بودند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت و تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شنبلیله بودند. جهت ارزیابی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از شاخص‌های محصول نسبی، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان و کارایی استفاده از زمین محاسبه شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها توسط نرم افزار آماری SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح آماری پنج درصد توسط نرم افزار SAS انجام شد. رسم نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel 2013 انجام شد.

یافته‌ها: اثرات اصلی و متقابل کود و کشت مخلوط بر عملکرد دانه و بیولوژیک، سرعت تعرق، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه و سرعت فتوسنتز خالص ذرت و شنبلیله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با اینکه کشت مخلوط سبب کاهش عملکرد و صفات فیزیولوژیکی گیاهان زراعی گردید ولی کاربرد کودهای بیوچار و کود دامی به جز غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه موجب بهبود صفات زراعی و فیزیولوژیکی شد. بیشترین عملکرد دانه ذرت و

شنبلیله (به‌ترتیب ۹۱٤ و ۸۱/۷ گرم در مترمربع) از کشت خالص آن‌ها و به‌ترتیب با کاربرد کود دامی و بیوچار به‌دست آمد. در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیشترین عملکرد دانه ذرت و شنبلیله (به‌ترتیب ۵۰٦ و ۵۸/۱ گرم در مترمربع) به‌ترتیب از کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله با کاربرد کود شیمیایی و کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله با کاربرد بیوچار حاصل شد. شاخص‌های محصول نسبی و کارایی استفاده از زمین سودمندی کشت مخلوط ذرت با شنبلیله را تأیید کردند.

نتیجه‌گیری: نتایج آزمایش نشان داد که کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله و کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی به همراه ۵۰ درصد کود دامی موجب بهبود مجموع عملکرد گردید و بیشترین میزان شاخص‌های محصول نسبی و کارایی استفاده از زمین را داشت. از این رو این الگوی کشت ضمن بهبود کارایی استفاده از منابع و کاهش مصرف کود شیمیایی، قابل توصیه به کشاورزان است.

استناد: میری، حمزه؛ حمزه ئی، جواد. (۱٤۰۳). اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی بر فتوسنتز، رشد و عملکرد در کشت مخلوط ذرت و شنبلیله. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷ (۲)، ۵۲-۳۱.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.21508.2589

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

امروزه کمبود مواد غذایی به‌دلایل مختلف از جمله افزایش جمعیت، تخریب محیط زیست و پایین بودن راندمان تولید در واحد سطح خود را به‌طور روز افزون نشان می‌دهد. بنابراین، بازنگری در روش‌های متداول کشاورزی و راهکارهای مربوط به استفاده بیشتر و بهتر از زمین و افزایش تولید بیش از پیش باید مورد توجه قرار گیرد (۱). سیستم‌های کشاورزی پیشرفته و تک کشتی گرچه با بالا بردن راندمان محصول در واحد سطح توانسته‌اند تا حدی نیازهای جمعیت رو به افزایش را تأمین نمایند، ولی این سیستم‌ها به صرف هزینه و انرژی فراوان نیاز دارند. از نظر بوم شناختی و زیست محیطی نیز تک کشتی یک سری مشکلات جدی به وجود آورده است. استفاده بیش از حد از منابع و از بین رفتن سریع منابع طبیعی نمونه‌هایی از مشکلات فراوانی هستند که بشر در قرن حاضر با آن‌ها مواجه است (۲). کشاورزی زیستی با استفاده از کشت مخلوط به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر کشاورزی پایدار، ضمن افزایش تنوع بوم شناختی و اقتصادی، سبب افزایش عملکرد در واحد سطح، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب محیطی، افزایش کمیت محصول، افزایش راندمان مصرف آب، کنترل فرسایش خاک، کاهش مصرف سموم و آفت‌کش‌های شیمیایی و ثبات در اکوسیستم‌های زراعی شده است (۳). کشت مخلوط را می‌توان نوعی کشاورزی فشرده، در زمان و مکان به حساب آورد و زمانی موفقیت‌آمیز به حساب می‌آید که رقابت بین‌گونه‌ای برای کسب منابع از رقابت درون‌گونه‌ای کمتر باشد (۳). کشت مخلوط لگوم و غیر لگوم یکی از متداول‌ترین راه‌ها برای کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد کود شیمیایی نیتروژن می‌باشد (٤، ٥). این سیستم کشت سبب افزایش تنوع بر حسب ساختار کانوپی و گونه گیاهی شده و شبیه جوامع گیاهی طبیعی عمل می‌کند. از آن‌جا که تنوع زیستی ایجاد شده یکی از ضرورت‌های کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود، با وارد کردن گونه‌های زراعی مانند لگوم‌ها که کارکردهایی مشابه نهاده‌های برون مزرعه‌ای مثل کودهای شیمیایی دارند، می‌توان وابستگی بوم نظام را کاهش و خوداتکایی و پایداری آن را افزایش داد (٦). از طرفی در رویکرد کشاورزی زیستی، استفاده از کودهای آلی و مدیریت پایدار خاک از اهمیت بالایی برخوردار است. کودهای آلی با افزایش مواد آلی و هوموس خاک موجب افزایش میزان تخلخل خاک شده که این عوامل موجب توسعه و گسترش بیشتر رشد گیاهان در خاک و افزایش جذب آب و عناصر غذایی می‌شوند (۷). به دلیل گرایش کشاورزان به افزایش عملکرد در کشاورزی، استفاده زیاد از نهاده‌های شیمیایی همچون کودها رو به فزونی بوده است (۸، ۹). استفاده از کودهای آلی از جمله کودهای دامی و بیوچار همراه با مصرف کودهای شیمیایی می‌توانند ضمن کاهش مقدار مصرف این کودها، در بهبود عملکرد گیاهان زراعی و پایداری تولید آن‌ها مؤثر باشند (۸).

در بین گیاهان زراعی ذرت یکی از پرمحصول‌ترین غلات محسوب می‌شود و به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای دارای عملکرد و انرژی زیادی است (۱۰). لگوم‌ها تثبیت کننده نیتروژن بوده و از نظر پروتئین غنی هستند (۱۱) و کشت مخلوط آن‌ها با غلات سبب بهبود پروتئین غلات می‌شود. شنبلیله با نام علمی *Trigonella foenum-greacum* L. از تیره Fabaceae می‌باشد که ریشه، دانه و اندام هوایی آن از لحاظ میزان متابولیت‌های ثانویه از جمله فنل‌ها، تریگونلین و ساپونین‌های استروئیدی مختلف مانند دیوزژنین و تیکوژنین بسیار غنی است. بذر و قسمت‌های هوایی شنبلیله قرن‌ها به‌عنوان منبع

ارزشمندی از پروتئین در تغذیه انسان و دام مورد استفاده بوده است (۱۲).

آزمایشات بلند مدت نشان داده‌اند که استفاده نامتعادل از مواد مغذی (تنها نیتروژن یا نیتروژن به همراه فسفر) از طریق کودهای شیمیایی بدون افزودن کود آلی، موجب کاهش کیفیت خاک و کاهش تولید محصول در سیستم‌های فشرده شده است. همچین گزاشات نشان می‌دهند که استفاده مداوم از دز توصیه شده از کودهای NPK به تنهایی، باعث تخریب خاک و افزودن مواد آلاینده به خاک و آلودگی محیط زیست می‌شود که این امر موجب کاهش باروری خاک و در نهایت کاهش تولید محصول در سیستم‌های کشت فشرده می‌شود (۱۳). اثرات مثبت استفاده ترکیبی از کودهای شیمایی و آلی بر روی تولید محصول و سلامت خاک توسط محققین گزارش شده است (۱٤). تلفیق غلات با لگوم‌ها به‌صورت ترکیبی و تناوبی با افزودن کودهای آلی به همراه کود شیمیایی براساس مقادیر توصیه شده جهت تولید پایدار و حفظ سلامت خاک ضروری است (۱۳). به منظور بررسی تأثیر کاربرد تلفیقی کود شیمیایی به همراه کود آلی در سیستم کشت ذرت و نخود آزمایشی در هند طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ صورت گرفت در این پژوهش از ترکیبات تیماری کود شیمیایی توصیه شده براساس آزمون خاک، کود دامی، بقایای ذرت و مصرف کود براساس عملکرد هدف استفاده شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر کاربرد ۷۵ درصد NPK براساس عملکرد هدف به همراه ۵ تن در هکتار کود دامی قرار گرفت و عملکرد دانه ذرت و نخود به‌ترتیب به میزان ۲۰/۹ و ۱۳/۰۸ درصد افزایش یافت. همچنین مشخص شد که تعادل عناصر برای نیتروژن و پتاسیم بجز در تیمار ۲۰ تن در هکتار کود دامی برای تمامی تیمارها تأثیر منفی داشت اما برای مقدار فسفر خاک، استفاده ترکیبی از کود شیمیایی و آلی تأثیر مثبتی داشت. همچنین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در شرایط کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی (کود دامی، کود مرغی و کمپوست) بهبود یافتند (۱۵).

بنابراین، انجام پژوهش در زمینه کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی و مقایسه اثرات آن در کشت‌های خالص و مخلوط ضروری به‌نظر می‌رسد. از این رو، آزمایش حاضر با هدف ارزیابی کارایی استفاده از زمین، عملکرد و اجزای عملکرد و نیز امکان کاهش مصرف کود شیمیایی در کشت مخلوط ذرت و شنبلیله از طریق کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی انجام گرفت.

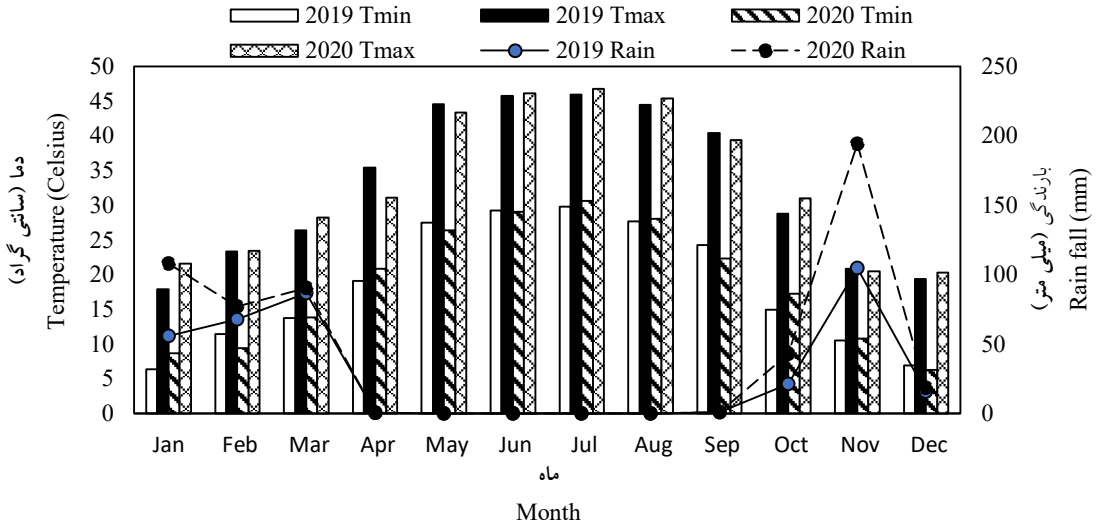
مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان مهران (ایلام) با مختصات جغرافیایی ٤٦ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی، ۳۳ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی و ۱۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا، اجرا شد. برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول یک ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

Table 1. Soil physico-chemical characteristics of experimental area in 2019 and 2020

عمق depth	بافت texture	چگالی ظاهری Bulk density (g/cm^3)	نیتروژن کل Total N (%)	هدایت الکتریکی EC (ds/m)	اسیدیته pH	ماده آلی Organic matter %)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P(ppm)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سال زراعی Year
0-30	لوم رسی Clay-loam	1.44	0.41	0.22	6.92	0.72	244	6.64	33	35	32	2019
0-30	لوم رسی Clay-loam	1.34	0.54	0.18	6.98	0.73	269	7.34	36	27	37	2020



شکل ۱- خصوصیات اقلیمی (میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه و مجموع بارندگی) منطقه مهران در دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Figure 1. Climatic characteristics (minimum and maximum monthly average temperature and total rainfall monthly) of Mehran region in the two years of the experiment (2018 and 2019)

زمین قبل از اجرای آزمایش به صورت آیش بود. آماده سازی زمین شامل شخم و دیسک زنی در تاریخ بیستم اسفندماه ۱۳۹۷ و ۱۳ اسفند ۱۳۹۸ انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خاک، کودهای سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب به میزان ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت به خاک اضافه شد. در هر دو سال اجرای آزمایش، نیتروژن به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بطور مساوی در سه مرحله (زمان کاشت، مرحله ۸ برگی و تاسل دهی ذرت) بنابر توصیه کودی آزمایشگاه مصرف شد. همچنین، براساس توصیه کودی از هر یک از کودهای دامی (کود گاوی) و بیوچار ۱۰ تن در هکتار و قبل از کشت استفاده شد. بر اساس آنالیز کودهای آلی، کود گاوی و بیوچار (تهیه شده از شرکت کوهنبان کرمان) به‌ترتیب دارای اسیدیته ۷/۳۱ و ٦/۵۰، هدایت الکتریکی ۱/۹ و ۱/۵ دسی زیمنس بر متر و مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و پتاس به‌ترتیب ۲/۲۵ و ۲/۰۵ درصد، ۰/۷ و ۰/۵۷ درصد و ۱/۹۸ و ۱/۲۵ درصد

بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. چهار الگوی کشت (کشت خالص ذرت، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله و کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله) در ترکیب با شش سطح کودی (عدم مصرف کود (شاهد)، کاربرد کود دامی، کاربرد بیوچار، کاربرد NPK توصیه شده، کاربرد ۵۰ درصد NPK + ۵۰ درصد کود دامی و کاربرد ۵۰ درصد NPK + ۵۰ درصد بیوچار) تیمارهای آزمایشی بودند. در اجرای کیت مخلوط از طرح جایگزینی استفاده شد. در کشت خالص ذرت (هیبرید ۷۰٤) و شنبلیله (تیپ پاکوتاه) به‌ترتیب ٦ و ۱۲ ردیف کاشت در هرکرت به طول ۸ متر و با فاصله بین ردیف ٦۰ و ۳۰ سانتی‌متر قرار داشتند. تراکم ذرت و شنبلیله به‌ترتیب ۸ و ۸۰ بوته در مترمربع بود. کاشت به صورت دستی و در کرت‌های مسطح به‌ترتیب در ۱ و ۳ تیرماه ۱۳۹۸و ۱۳۹۹ انجام گرفت.

آبیاری به صورت بارانی (کلاسیک ثابت) و اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و پس از سبز شدن به طور متوسط هر هفت روز یک بار آبیاری تکرار شد. میزان آب مصرفی در پلات‌های آزمایشی یکسان بود که از طریق تعیین دبی آبپاش‌ها و ثبت دقیق مدت آبیاری برآورد گردید. میزان مصرف آب در این آزمایش حدود ٦۰۰۰ متر مکعب در هکتار بود. مبارزه با علف‌های‌هرز در پلات‌های آزمایشی بطور پیوسته در طول فصل رشد و به صورت دستی انجام گردید.

آبیاری به صورت بارانی (کلاسیک ثابت) و اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و پس از سبز شدن به طور متوسط هر هفت روز یک بار آبیاری تکرار شد. میزان آب مصرفی در پلات‌های آزمایشی یکسان بود که از طریق تعیین دبی آبپاش‌ها و ثبت دقیق مدت آبیاری برآورد گردید. میزان مصرف آب در این آزمایش حدود ٦۰۰۰ متر مکعب در هکتار بود. مبارزه با علف‌های‌هرز در پلات‌های آزمایشی بطور پیوسته در طول فصل رشد و به صورت دستی انجام گردید.

ارزیابی پارامترهای فتوسنتزی: برای اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی و ویژگی‌های تبادل گازی برگ‌ها شامل: شدت تعرق، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز خالص در زمان گلدهی از دستگاه فتوسنتزمتر (IRGA)، مدل CI-340 (ساخت ایالات متحده آمریکا)، در ساعت ۹ تا ۱۱ صبح استفاده شد. برای این منظور سومین برگ رشد یافته و جوان از قسمت بالای هر دو گونه در مرحله گلدهی و به‌ترتیب در ۱۲ و ۱۵ مرداد ماه سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انتخاب و در داخل محفظه مخصوص اندازه‌گیری تبادل گاز گیاهان پهن برگ قرار داده شد، به گونه‌ای که کل محفظه را پوشانده و از نور خورشید استفاده کامل کند. در هر واحد آزمایشی از سه بوته برای اندازه‌گیری تبادل گاز استفاده شد. ویژگی‌های تبادل گاز برگ‌ها شامل سرعت تعرق ($mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$)، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای ($\mu mol\ mol^{-1}$) و سرعت فتوسنتز خالص ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$) بود (۱۵).

اندازه‌گیری اجزای عملکرد و عملکرد دانه: عملیات برداشت هر دو گونه گیاهی بطور همزمان به‌ترتیب در ۱۵ و ۱۹ مهر ماه سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام گرفت. بدین صورت که بعد از حذف دو ردیف از هر طرف و نیم متر از ابتدا و انتهای تمام ردیف‌ها، برای تعیین عملکرد دانه هر دو گونه گیاهی، سه مترمربع از هر کرت برداشت شد. در گیاه ذرت صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و در مورد شنبلیله نیز تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه

و عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. اجزای عملکرد ذرت و شنبلیله به‌ترتیب با برداشت پنج و ده بوته از هر واحد آزمایشی تعیین شد. جهت ارزیابی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از شاخص‌های محصول نسبی (RY)[1]، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER)[2] و کارایی استفاده از زمین (LUE)[3] استفاده شد.

شاخص محصول نسبی بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (۱۶، ۱۷).

رابطه (۱) $RY= (YAB/YAA) +(YBA/YBB)$

که در آن YAB و YAA به‌ترتیب عملکرد گونه A در کشت مخلوط و خالص و YBA و YBB به‌ترتیب عملکرد گونه B در کشت مخلوط و خالص است.

شاخص نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان براساس رابطه ۲ محاسبه شد (۱۶، ۱۷).

رابطه (۲)

$$ATER= [(TAA/TAB) \times [(YBA/YBB) + (YAB/YAA)] \times (TBB/TBA)]$$

که در آن YAB و YAA به‌ترتیب عملکرد گونه A در کشت مخلوط و خالص و YBA و YBB به‌ترتیب عملکرد گونه B در کشت مخلوط و خالص است. همچنین، TAB و TAA به‌ترتیب طول دوره رشد گونه A در کشت مخلوط و خالص و TBA و TBB نیز به‌ترتیب طول دوره رشد گونه B در کشت مخلوط و خالص است. شاخص کارایی استفاده از زمین بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد (۱۶، ۱۷).

رابطه (۳) $LUE (\%) =[(RY+ ATER)/2]*100$

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم افزار آماری SAS 9.4 صورت گرفت. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح آماری ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد ذرت: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، اثر سال بر صفات تعداد دانه در ردیف بلال و وزن هزار دانه معنی‌دار شد ولی بر سایر اجزای عملکرد تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر اصلی کشت مخلوط و کود بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت معنی‌دار بودند و تنها شاخص برداشت بود که غیر معنی‌دار بود. اثر متقابل کشت مخلوط در کود نیز بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کشت مخلوط در کود نشان داد که بیشترین مقادیر برای تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت به‌ترتیب با مقادیر ۱۷/۶، ۳۹/۳۲، ۲۸۰/۵۰ گرم، ۹۱۴ و ۲۹۸۳ گرم در مترمربع مربوط به کشت خالص ذرت و کاربرد کود دامی بود و کمترین مقادیر به‌ترتیب با ۱۳/۳، ۲۴/۳۳، ۱۸۶/۸ گرم، ۲۶۹ و ۸۴۳ گرم در مترمربع مربوط به تیمار شاهد کودی (عدم مصرف کود) و کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله بود (جدول ۳). در بین تیمارهای کشت مخلوط، از نظر بهبود اجزای عملکرد و عملکرد دانه ذرت، الگوی کشت یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله نقش بیشتری نسبت به کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله داشت. به‌نظر می‌رسد با همجواری ذرت و شنبلیله در کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله، به دلیل فراهمی بیشتر نیتروژن (با توجه به خاصیت تثبیت زیستی نیتروژن توسط ریشه‌های شنبلیله)، ذرت رشد بهتری داشته است.

1. Relative yield
2. Area time equivalent ratio
3. Land use efficiency

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کشت مخلوط و کود بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Table 2. Analysis of variance for the effect of intercropping and fertilizer on yield and yield components of corn in two years of the experiment (2019 and 2020)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد ردیف دانه در بلال Number of seed row per ear	تعداد دانه در ردیف Number of seed per row	وزن هزار دانه 1000-seeds weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year	1	96.33^{ns}	537.78**	21649.22**	103788.33^{ns}	304220.25^{ns}	71.24^{ns}
تکرار در سال Replication × Year	4	4.40	1.01	135.55	14191.21	91031.33	189.2
کشت مخلوط Intercropping	2	13.45**	419.36**	4162.54**	2935054.12*	23757552.26**	53.49^{ns}
کود Fertilizer	5	8.85**	45.01**	5408.28**	74818.11**	505814.33**	109.05^{ns}
سال در کشت مخلوط Year × Intercropping	2	0.02^{ns}	2.50^{ns}	13.37^{ns}	32795.23**	140028.75*	76.44^{ns}
سال در کود Year × Fertilizer	5	0.08^{ns}	0.27^{ns}	17.66^{ns}	1083.33^{ns}	17735.77^{ns}	26.02^{ns}
کشت مخلوط در کود Intercropping × Fertilizer	10	9.36**	32.06**	1435.53**	22940.67**	353352.12**	94.26^{ns}
سال در کشت مخلوط در کود Year × Intercropping × Fertilizer	10	0.11^{ns}	0.16^{ns}	4.93^{ns}	1298.15^{ns}	17370.05^{ns}	24.43^{ns}
خطای آزمایشی Error	68	1.97	3.59	409.14	5227.25	45562.12	51.75
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	9.04	12.02	14.08	14.22	14.09	21.17

**،*و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

**, * and ns are significant at 1 and 5% probability level and non-significant, respectively.

شاخص‌های فتوسنتزی ذرت: براساس نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ٤، کاربرد کود بر دی اکسید کربن زیر روزنه، سرعت تعرق و سرعت فتوسنتز خالص تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. هر سه پارامتر (دی اکسید کربن زیر روزنه، سرعت تعرق و سرعت فتوسنتز خالص) تحت تأثیر اثر متقابل کشت مخلوط در کود قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط در کود نشان داد که بیشترین غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه با میانگین ۸۰/۳ میکرومول CO_2 بر مول مربوط کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله و عدم مصرف کود بود و کمترین غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه نیز با میانگین ۱۸/۱۳ میکرومول CO_2 بر مول از کشت خالص ذرت و کاربرد NPK به‌دست آمد (جدول ۵). بیشترین سرعت تعرق با میانگین ۱۱/۸۸ میلی مول H_2O در مترمربع در ثانیه به کشت خالص ذرت و کاربرد کود دامی تعلق گرفت و کمترین سرعت تعرق نیز با میانگین ۲/۱٦ میلی مول H_2O در مترمربع در ثانیه مربوط به کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله و عدم مصرف کود بود (جدول ۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط با شنبلیله در کود بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (میانگین دو سال)

Table 3. Means comparison for the effect of intercropping × fertilizer interaction on yield and yield components of corn (average of two years)

کشت مخلوط (Intercropping)	کود (Fertilizer)	تعداد ردیف دانه در بلال Number of seed rows per ear	تعداد دانه در ردیف Number of seeds per row	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Grain yield ($g\ m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield ($g\ m^{-2}$)
کشت خالص ذرت Corn sole crop	کود دامی (Cattle manure)	17.6a	39.32a	280.5a	914.6a	2982.5a
	بیوچار (Biochar)	17.5ab	34.83b	267.1abc	893.0a	2585.6b
	کود شیمیایی (NPK)	14.5de	33.83bcd	274.4ab	903.1a	2488.7b
	50% NPK + 50% cattle manure	16.1abc	34.54bcd	258.9a-d	889.3a	2240.1c
	50% NPK + 50% biochar	17.2ab	33.83bcd	265.9a-d	769.0b	2418.2bc
	شاهد (Control)	14.5de	32.33cde	218.6f	604.2c	1781.0d
یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله one row corn: two rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	17.6ab	26.16hi	244.3cde	426.5de	1321.1ef
	بیوچار (Biochar)	17.5ab	25.16i	244.3cde	384.7ef	1216.5fg
	کود شیمیایی (NPK)	15.6bcd	32.32de	259.6a-d	506.7de	1534.3e
	50% NPK + 50% cattle manure	14.5de	31.52ef	258.6a-d	464.7de	1465.4e
	50% NPK + 50% biochar	14.5de	28.333gh	242.9de	400.3e	1146.5fgh
	شاهد (Control)	13.3e	24.33i	186.8g	269.5g	843.3ij
سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله three rows corn: six rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	15.1cd	33.83bcd	226.7ef	301.2fg	1032.3ghi
	بیوچار (Biochar)	15.6bcd	33.86b-e	249.5cde	300.0g	892.3ij
	کود شیمیایی (NPK)	16.6ab	31.83de	256.8bcd	304.5fg	668.7j
	50% NPK + 50% cattle manure	14.5de	31.16ef	265.5a-d	281.7g	901.0hij
	50% NPK + 50% biochar	14.5de	31.56ef	255.3bcd	265.1g	887.7ij
	شاهد (Control)	14.5de	29.33fg	245.3cde	270.0g	847.7ij

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using LSD test.

بیشترین سرعت فتوسنتز خالص نیز با میانگین ۴۸/۰۳ میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه مربوط به کشت خالص ذرت و کاربرد کود دامی بود. قابل ذکر است که این ترکیب تیماری با ترکیبات تیماری کشت خالص ذرت در شرایط کاربرد بیوچار خالص و NPK خالص و ۵۰ درصد NPK + کود دامی، از نظر سرعت فتوسنتز خالص تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین سرعت فتوسنتز خالص نیز با میانگین ۱۳/۱۳ میکرومول دی اکسید کربن در مترمربع در ثانیه به کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله و عدم مصرف کود تعلق گرفت (جدول ۵). دی اکسیدکربن زیر روزنه زمانی که

فتوسنتز در بالاترین میزان خود باشد کاهش می‌یابد. دلیل این امر مصرف دی اکسید کربن در مسیر فرآیند فتوسنتزی می‌باشد. بنابراین هر عاملی که منجر به کاهش فتوسنتز شود موجب تجمع دی اکسید کربن در زیر روزنه می‌گردد. از طرفی، سرعت تعرق با افزایش فتوسنتز افزایش می‌یابد و به ازای مقدار آبی که از سلول‌های گیاهی خارج می‌شود دی اکسید کربن وارد فضای داخل روزنه شده و موجب افزایش سرعت فتوسنتز می‌گردد (۱۸). این امر در شرایط کاربرد کود دامی، بیوچار و NPK مشاهده می‌شود ولی در تیمار شاهد که کود دریافت نکرده است به دلیل سرعت فتوسنتز کمتر، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه افزایش یافته است. در کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله نیز زمانی که ذرت بین ردیف‌های شنبلیله قرار گرفت به دلیل فراهمی بهتر نیتروژن، سرعت فتوسنتز و سرعت تعرق افزایش و غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه کاهش یافت.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر کشت مخلوط با شنبلیله و کود بر صفات فتوسنتزی ذرت در دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Table 4. Analysis of variance for the effect of intercropping and fertilizer on photosynthetic traits of corn in two years of the experiment (2019 and 2020)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	دی اکسید کربن زیر روزنه Sub-stomatal CO_2	سرعت تعرق Transpiration rate	سرعت فتوسنتز خالص Net photosynthesis rate
سال Year	1	690.74^{ns}	0.44^{ns}	40.48^{ns}
تکرار در سال Replication × Year	4	32.50	1.65	13.53
کشت مخلوط Intercropping	2	22597.96**	543.04**	8459.76**
کود Fertilizer	5	394.84**	10.60**	152.97**
سال در کشت مخلوط Year × Intercropping	2	72.39^{ns}	0.53^{ns}	51.93**
سال در کود Year × Fertilizer	5	1.26^{ns}	0.001^{ns}	0.93^{ns}
کشت مخلوط در کود Intercropping × Fertilizer	10	313.49**	5.80**	39.39**
سال در کشت مخلوط در کود Year × Intercropping × Fertilizer	10	1.00^{ns}	0.0005^{ns}	0.23^{ns}
خطای آزمایشی Error	68	32.18	1.00	9.82
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	12.69	15.45	11.64

**،*و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

**, * and ns are significant at 1 and 5% probability level and non-significant, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط با شنبلیله در کود بر شاخص‌های فتوسنتزی ذرت (میانگین دو سال)

Table 5. Means comparison for the effect of intercropping × fertilizer interaction on photosynthesis parameters of corn (average of two years)

کشت مخلوط (Intercropping)	کود (Fertilizer)	دی اکسید کربن زیر روزنه (میکرومول CO_2 بر مول) Sub-stomatal CO_2 ($\mu mol\ CO_2\ mol^{-1}$)	سرعت تعرق (میلی مول H_2O در مترمربع در ثانیه) Transpiration rate ($mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$)	سرعت فتوسنتز خالص (میکرومول CO_2 در مترمربع در ثانیه) Net photosynthesis rate ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)
کشت خالص ذرت Corn sole cropping	کود دامی (Cattle manure)	24.48hi	11.88a	48.03a
	بیوچار (Biochar)	29.49gh	11.62a	46.95a
	کود شیمیایی (NPK)	18.13i	11.74a	45.67ab
	50% NPK + 50% cattle manure	24.73hi	11.55a	46.72a
	50% NPK + 50% biochar	23.29hi	10.04b	42.24b
	شاهد (Control)	29.03gh	7.86c	35.43c
یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله one row corn: two rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	37.44ef	5.54de	22.39ef
	بیوچار (Biochar)	33.75fg	4.99ef	20.19fg
	کود شیمیایی (NPK)	44.44d	6.57d	26.58d
	50% NPK + 50% cattle manure	40.74de	6.02de	24.37de
	50% NPK + 50% biochar	35.18efg	5.23ef	21.04ef
	شاهد (Control)	26.5h	3.92fg	15.85hi
سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله three rows corn: six rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	53.14c	3.11gh	16.14hi
	بیوچار (Biochar)	78.5a	3.84g	17.33gh
	کود شیمیایی (NPK)	79.39a	3.25gh	13.79hi
	50% NPK + 50% cattle manure	78.11a	3.66g	14.79hi
	50% NPK + 50% biochar	67.6b	3.44g	13.93hi
	شاهد (Control)	80.3a	2.16h	13.13i

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using LSD test.

عملکرد و اجزای عملکرد شنبلیله: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال بر هیچ یک از اجزای عملکرد، عملکرد دانه و بیولوژیک شنبلیله معنی‌دار نشد، ولی کشت مخلوط و کاربرد کود بر این صفات تأثیر معنی‌دار داشتند. از بین اثرات متقابل نیز تنها اثر کشت مخلوط در کاربرد کود معنی‌دار شد و سایر اثرات معنی‌دار نبودند (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل برای صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف نشان داد که بیشترین مقادیر به‌ترتیب با ۲۸/٦٦، ٤/٩٥ مربوط به ۵۰ درصد NPK + ۵۰ درصد بیوچار و برای عملکرد دانه و بیولوژیک نیز بالاترین مقادیر با میانگین ۸۱/۷ و ۲۲٦/٦ گرم در مترمربع مربوط به کاربرد بیوچار در تک کشتی شنبلیله بود که البته اختلاف معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد NPK + بیوچار نداشت. همچنین، کمترین مقادیر برای این صفات با ۱۷/۵۵ غلاف در بوته و ۳/۰۳ دانه در غلاف از کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله در تیمار عدم مصرف کود و ۳۵/۹ و ۸۵/٦ گرم در مترمربع به‌ترتیب عملکرد دانه و بیولوژیک در تیمار عدم مصرف کود در کشت مخلوط یک ردیف

ذرت: دو ردیف شنبلیله مشاهده شد (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کشت مخلوط بر وزن هزار دانه شنبلیله نشان داد که بیشترین مقدار با میانگین ۱۳/۰٤ گرم مربوط به کشت خالص شنبلیله بود و کمترین مقدار نیز با میانگین ۱۱/۹۹ گرم مربوط به کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله بود. در مورد اثر اصلی کاربرد کود نیز بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۱۳/۱۸ گرم مربوط به کاربرد NPK بود و کمترین مقدار نیز با میانگین ۱۰/۸۵ گرم از تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۲). عملکرد دانه و ویژگی‌های بیولوژیکی ذرت و شنبلیله نسبت به سال اول بهبود یافته است. همچنین، در تیمارهای کشت مخلوط، کشت خالص ذرت به همراه کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله نسبت به تیمار کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله، عملکرد بهتری داشت. این نشان می‌دهد که شرایط رشدی برای رشد ذرت در سال دوم اجرای آزمایش بهتر از سال اول بوده است. همچنین، در تیمارهای کشت مخلوط، به دلیل خاصیت تثبیت نیتروژن شنبلیله و تامین نیتروژن برای ذرت در حضور این گیاه، هرچه همجواری بین دو گیاه بیشتر باشد، تأثیرگذاری آن‌ها بر یکدیگر بیشتر و بهتر خواهد بود. این مسئله به خوبی در کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله نشان داده شده است. اما در کشت مخلوط سه ردیف ذرت با شش ردیف شنبلیله، همجواری بین دو گیاه کمی کمتر شده و نتیجه واضح است. اما در مورد شنبلیله که از سایه اندازی توسط ذرت برخوردار است نسبت کشت ۳ ردیف ذرت و ٦ ردیف شنبلیله واکنش بهتری نشان داد یعنی اگر محصول اصلی ما ذرت در نظر گرفته شود بهترین نسبت کشت مخلوط به گونه ای باید باشد که ذرت بین دو ردیف شنبلیله قرار گیرد تا از مزایای تثبیت نیتروژن بهره‌مند گردد.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر کشت مخلوط و کود بر عملکرد و اجزای عملکرد شنبلیله در دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Table 6. Analysis of variance for the effect of intercropping and fertilizer on yield and yield components of fenugreek in two years of the experiment (2019 and 2020)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
سال Year	1	305.52^{ns}	2.13^{ns}	1.65^{ns}	2125.93^{ns}	3478.67^{ns}
تکرار در سال Replication × Year	4	56.05	0.70	1.85	116.33	3478.78
کشت مخلوط Intercropping	2	86.92**	2.58**	9.93**	6364.15**	86168.51**
کود Fertilizer	5	80.89**	2.36**	13.85**	950.10**	5879.89**
سال در کشت مخلوط Year × Intercropping	2	0.17^{ns}	0.052^{ns}	0.12^{ns}	34.93^{ns}	121.90^{ns}
سال در کود Year × Fertilizer	5	0.59^{ns}	0.02^{ns}	0.14^{ns}	521.65^{ns}	83.15^{ns}
کشت مخلوط در کود Intercropping × Fertilizer	10	23.18**	0.69*	3.30^{ns}	673.20**	2481.75**
سال در کشت مخلوط در کود Year × Intercropping × Fertilizer	10	0.58^{ns}	0.01^{ns}	0.088^{ns}	3.69^{ns}	35.09^{ns}
خطای آزمایشی Error	68	4.26	0.32	2.00	117.25	994.95
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	–	8.43	13.45	11.31	18.07	20.90

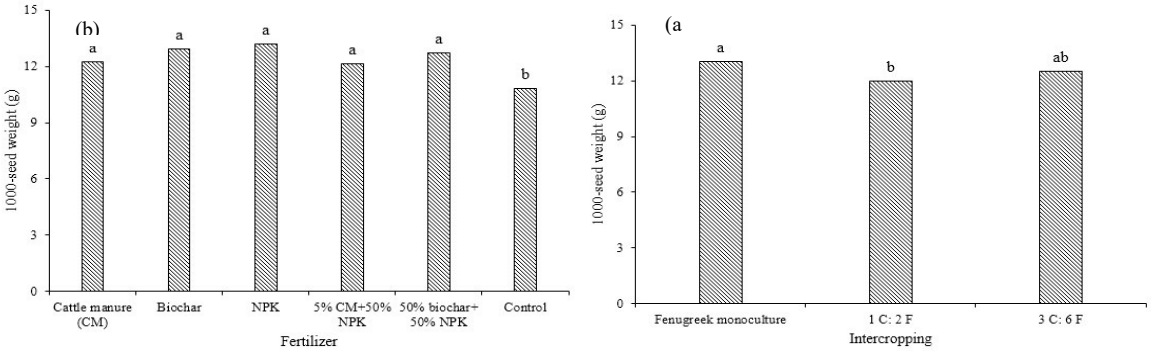
**،*و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

**, * and ns are significant at 1 and 5% probability level and non-significant, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط در کود بر عملکرد و اجزای عملکرد شنبلیله (میانگین دو سال)

Table 7. Means comparison for the effect of intercropping × fertilizer interaction on yield and yield components of fenugreek (average of two years).

کشت مخلوط (Intercropping)	کود (Fertilizer)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	عملکرد دانه (گرم درمترمربع) Grain yield ($g\ m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield ($g\ m^{-2}$)
کشت خالص شنبلیله Fenugreek sole cropping	کود دامی (Cattle manure)	26.51a-d	4.57abc	74.4ab	205.0ab
	بیوچار (Biochar)	25.07b-e	4.36a-d	81.7a	226.6a
	کود شیمیایی (NPK)	26.44a-d	4.57abc	81.0a	213.5ab
	50% NPK + 50% cattle manure	26.85abc	4.57abc	70.9abc	199.7ab
	50% NPK + 50% biochar	28.66a	4.95a	78.5a	214.4ab
	شاهد (Control)	23.29ef	4.02cde	57.7de	161.1cd
یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله one row corn: two rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	24.36def	4.23bcd	46.1ef	111.8efg
	بیوچار (Biochar)	22.21fg	3.84de	39.5f	89.2fg
	کود شیمیایی (NPK)	25.44b-e	4.39a-d	48.4ef	104.2efg
	50% NPK + 50% cattle manure	26.15cde	4.53abc	58.5cde	128.3de
	50% NPK + 50% biochar	27.23ab	4.71ab	57.6de	120.6efg
	شاهد (Control)	17.55h	3.03f	35.9f	85.6g
سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله three rows corn: six rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	25.44b-e	4.39a-d	57.9de	123.5ef
	بیوچار (Biochar)	25.44b-e	4.38a-d	581.de	182.2bc
	کود شیمیایی (NPK)	24.72cde	4.27bcd	55.6de	180.0bc
	50% NPK + 50% cattle manure	24.72cde	4.27bcd	53.7de	137.6de
	50% NPK + 50% biochar	20.42g	3.52ef	40.3f	126.7de
	شاهد (Control)	20.06g	3.47ef	41.4f	105.0efg



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی کشت مخلوط با ذرت (a) و کود (b) بر وزن ۱۰۰۰ دانه شنبلیله

Figure 2. Means comparison of the main effects of intercropping (a) and fertilizer (b) on fenugreek 1000-seed weight (1 C: 2F and 3 C: 6 F; intercropping of one row corn: two rows fenugreek and 3 rows corn: 6 rows fenugreek, respectively)

شاخص‌های فتوسنتزی شنبلیله: نتایج نشان داد که اثرات اصلی و متقابل کاربرد کود و کشت مخلوط بر غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه، سرعت تعرق و سرعت فتوسنتز معنی‌دار بود (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط در کاربرد کود نشان داد که بیشترین غلظت دی اکسیدکربن زیر روزنه با میانگین ۷۲/۵ میکرومول CO_2 بر مول از کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله در شرایط

عدم مصرف کود به‌دست آمد. این در حالی بود که در این نسبت کشت با کاربرد بیوچار دی اکسید کربن زیر روزنه به ۵۰/۵ میکرومول CO_2 بر مول رسید و کمترین میزان برای این صفت بدون تفاوت معنی دار از کشت خالص شنبلیله در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی و آلی (دامی و بیوچار) به‌دست آمد (جدول ۱۰). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط در کاربرد کود بر سرعت تعرق و فتوسنتز نیز نشان داد که بیشترین مقادیر به‌ترتیب با میانگین ۱۱/۳ میلی‌مول H_2O بر مترمربع در ثانیه و ٤١/٤ میکرومول دی‌اکسید کربن در مترمربع در ثانیه از کشت خالص شنبلیله به‌دست آمد و کمترین مقادیر برای سرعت تعرق و فتوسنتز نیز با میانگین ۷/۳ میلی مول H_2O بر مترمربع در ثانیه و ۱۷/۹ میکرومول دی اکسید کربن در مترمربع در ثانیه از کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله حاصل شد (جدول ۹).

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کشت مخلوط و کود بر صفات فتوسنتزی شنبلیله در دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Table 8. Analysis of variance for the effect of intercropping and fertilizer on photosynthetic traits of fenugreek in two years of the experiment (2019 and 2020)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	دی اکسید کربن زیر روزنه Sub-stomatal CO_2	سرعت تعرق Transpiration rate	سرعت فتوسنتز خالص Net photosynthesis rate
سال Year	1	9.91^{ns}	36.99^{ns}	187.29^{ns}
تکرار در سال Replication × Year	4	22.53	0.57	39.50
کشت مخلوط Intercropping	2	6510.44**	104.76**	1239.40**
کود Fertilizer	5	571.92**	11.13**	415.17**
سال در کشت مخلوط Year × Intercropping	2	20.87^{ns}	0.50^{ns}	2.29^{ns}
سال در کود Year × Fertilizer	5	1.83^{ns}	0.05^{ns}	0.77^{ns}
کشت مخلوط در کود Intercropping × Fertilizer	10	351.45**	15.59**	151.84**
سال در کشت مخلوط در کود Year × Intercropping × Fertilizer	10	1.12^{ns}	0.07^{ns}	0.09^{ns}
خطای آزمایشی Error	68	34.34	2.18	22.04
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	–	11.48	17.62	15.35

**،*و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

**, * and ns are significant at 1 and 5% probability level and non-significant, respectively.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط در کود بر شاخص‌های فتوسنتزی شنبلیله (میانگین دو سال)

Table 9. Means comparison for the effect of intercropping × fertilizer interaction on photosynthesis parameters of fenugreek (average of two years)

کشت مخلوط (Intercropping)	کود (Fertilizer)	دی اکسید کربن زیر روزنه (میکرومول CO_2 بر مول) Sub-stomatal CO_2 ($\mu mol\ mol^{-1}$)	سرعت تعرق (H_2O میلی مول بر مترمربع در ثانیه) Transpiration rate ($mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$)	سرعت فتوسنتز خالص (CO_2 میکرومول بر مترمربع در ثانیه) Net photosynthesis rate ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)
کشت خالص ذرت Corn sole cropping	کود دامی (Cattle manure)	34.8ij	10.3ab	37.7abc
	بیوچار (Biochar)	31.6j	11.3a	41.4a
	کود شیمیایی (NPK)	31.8j	11.2a	41.1ab
	50% NPK + 50% cattle manure	40.5ghi	9.8ab	35.9bcd
	50% NPK + 50% biochar	47.1efg	10.9a	36.3a-d
	شاهد (Control)	47.9def	7.9c-f	25.7gh
یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله one row corn: two rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	65.4b	6.4fgh	26.8gh
	بیوچار (Biochar)	50.6de	4.9h	28.7efg
	کود شیمیایی (NPK)	71.2ab	6.7efg	24.5ghi
	50% NPK + 50% cattle manure	65.8ab	8.1cde	29.6efg
	50% NPK + 50% biochar	71.8ab	7.9c-f	20.1ij
	شاهد (Control)	72.5a	7.3e-g	17.9j
سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله three rows corn: six rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	47.3ef	8.1c-f	29.3efg
	بیوچار (Biochar)	36.4hij	10.8a	39.5ab
	کود شیمیایی (NPK)	42.6fgh	9.1bc	33.2cde
	50% NPK + 50% cattle manure	48.9def	8.8bcd	32.2def
	50% NPK + 50% biochar	54.5cd	5.6gh	27.4fgh
	شاهد (Control)	57.6c	5.7gh	23.1hij

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using LSD test.

در مورد شاخص‌های فتوسنتزی نیز صفات غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه و سرعت تعرق نیز بستگی به فتوسنتز دارد. در فتوسنتز، دی‌اکسید کربن در چرخه کالوین مصرف شده و همزمان با آزادسازی آب، ماده آلی تولید می‌شود (۱۹). بنابراین، در شرایطی که فتوسنتز بهبود یابد، سرعت تعرق و مصرف دی‌اکسید کربن در سلول‌های مزوفیلی برگ گیاه افزایش می‌یابد. در این شرایط، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه نیز کاهش می‌یابد، زیرا سرعت فتوسنتز افزایش می‌یابد و مصرف دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد (۲۰). اما در شرایط نامساعد، مانند بسته شدن روزنه‌های گیاه، سرعت تعرق کاهش می‌یابد و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه افزایش می‌یابد. این به دلیل کاهش سرعت فتوسنتز است که منجر به کاهش مصرف دی‌اکسید کربن می‌شود (۲۱). در تحقیق مورد بررسی نیز نشان داده شده است که کود و کشت مخلوط تأثیر مثبتی بر سرعت تعرق و فتوسنتز هر دو گیاه ذرت و شنبلیله دارند (۲۲). با

استفاده از کود دامی، بیوچار و ترکیبی از آنها در تیمارها و با فراهمی عناصر غذایی، سرعت تعرق و فتوسنتز افزایش می‌یابد و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه کاهش می‌یابد. اما در شرایط بدون استفاده از کود، میزان تعرق کاهش می‌یابد و سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک نیز به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (۲۳).

یکی از مهم‌ترین دلایل حضور لگوم در سامانه‌های کشت مخلوط تثبیت زیستی نیتروژن اتمسفر است که موجب توسعه سودمندی سیستم‌های مخلوط می‌شود (۲٤). نیتروژنی که توسط فرآیند تثبیت زیستی تولید و دردسترس گیاه قرار می‌گیرد، به این دلیل که به طور تدریجی آزاد می‌شود و میزان دردسترس بودن آن نیز تا حد زیادی با نیاز گیاه غیر لگوم منطبق است، به مراتب تأثیر بسیار مطلوبی بر کارایی نیتروژن، افزایش تولید و بهبود سیستم‌های کشت مخلوط دارد (۲۵). لگوم‌های به خاطر همزیستی با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن در افزایش حاصلخیزی خاک و ترسیب کربن نقش مؤثری دارند، به همین خاطر در تناوب با گیاهان زراعی و نظام‌های کشت مخلوط جایگاه ویژه‌ای دارند و جزء مهمترین لگوم‌های دنیا می‌باشد (۲۰). تفاوت‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین لگوم و گیاه غیرلگوم در سیستم‌های کشت مخلوط یکی از دلایل اصلی بروز روابط همزیستی دوجانبه مثبت می‌باشد (۱٤). لگوم‌ها با ریشه‌های عمیق خود آب و مواد غذایی را از لایه‌های زیرین خاک تخلیه کرده و به سطح خاک آورده و باعث بازچرخ عناصر آبشویی شده می‌گردد همچنین باعث تسهیل روابط بین گونه‌ای نیز می‌شود. مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط بقولات در کشت مخلوط غلات-بقولات به گونه گیاهی، مورفولوژی، تراکم بقولات در مخلوط، نوع مدیریت و توانایی رقابتی دو گروه گیاهی بستگی دارد (۲۱).

در راستای تایید نتایج این تحقیق گزارشات علمی معتبری وجود دارد که در این بخش اشاره شده است. گزارش شده است کاربرد کود دامی و کمپوست باعث افزایش مواد آلی خاک و در نتیجه، اصلاح ساختمان خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تبادلات گازی و ظرفیت نگه‌دار آب خواهد شد (۲٦). با بکارگیری ۲۵ تن کمپوست زباله شهری و ۲۵ تن کود دامی در هکتار به این نتیجه دست یافتند که بیشترین افزایش رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی مربوط به تیمار کمپوست است که نسبت به شاهد افزایش ۱٦/٦ درصدی داشته است (۲۷). به کارگیری کود کمپوست و کود دامی موجب بهبود ساختار، نفوذپذیری و افزایش انتشار دی اکسید کربن خاک شد (۲۲). همچنین گزارش شده است که بکارگیری کودهای آلی در خاک، با افزایش درصد منافذ خاک، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌شود (۲۵).

شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط: نتایج مربوط به محصول نسبی (RY) و نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER) برای ذرت نشان داد که بیشترین مقادیر به‌ترتیب با میانگین ۰/٥٦ و ۰/٥٤ از کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله توام با کاربرد کود شیمیایی به دست آمد. همچنین، کمترین مقادیر برای شاخص‌های فوق به‌ترتیب با مقادیر ۰/۳۲ و ۰/۳۱ از کشت مخلوط سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله در شرایط عدم مصرف کود مشاهده شد. در گیاه شنبلیله نیز بیشترین محصول نسبی و نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان به‌ترتیب با میانگین ۰/۹٥ و ۰/۸٥ مربوط به کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله توام با مصرف بیوچار

بود و کمترین مقادیر نیـز بـا میـانگین ۰/٤٤ و ۰/٤٦ مربوط به تیمار شاهد کودی (عـدم مصـرف کـود) در همین نسبت کشت مخلوط بود.

جدول ۱۰- مقادیر محصول نسبی (RY)، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER) و کارایی استفاده از زمین (LUE) بـرای کشـت مخلوط ذرت با شنبلیله تحت سطوح مختلف کودی در دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Table 10. The values of relative yield (RY), area time equation ratio (ATER), and land use efficiency (LUE) for corn: fenugreek intercropping under different fertilizer levels in two years of the experiment (2019 and 2020).

کشت مخلوط (Intercropping)	کود (Fertilizer)	RY			ATER			LUE
		Corn	Fenugreek	Total	Corn	Fenugreek	Total	
یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله one row corn: two rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	0.35	0.72	1.07	0.38	0.69	1.07	112
	بیوچار (Biochar)	0.33	0.95	1.28	0.32	0.85	1.17	123
	کود شیمیایی (NPK)	0.56	0.61	1.17	0.54	0.53	1.07	111
	50% NPK + 50% cattle manure	0.52	0.82	1.34	0.5	0.73	1.23	129
	50% NPK + 50% biochar	0.52	0.73	1.25	0.45	0.52	0.97	120
	شاهد (Control)	0.43	0.51	0.94	0.44	0.5	0.94	83
سه ردیف ذرت: شش ردیف شنبلیله three rows corn: six rows fenugreek	کود دامی (Cattle manure)	0.47	0.62	1.09	0.45	0.55	1.01	104
	بیوچار (Biochar)	0.50	0.69	1.19	0.49	0.63	1.12	113
	کود شیمیایی (NPK)	0.34	0.81	1.15	0.33	0.72	1.05	110
	50% NPK + 50% cattle manure	0.34	0.89	1.23	0.30	0.80	1.1	115
	50% NPK + 50% biochar	0.45	0.72	1.17	0.43	0.64	1.07	112
	شاهد (Control)	0.32	0.44	0.76	0.31	0.46	0.77	81

اما در مجموع بالاترین مقادیر برای شـاخص‌هـای محصول نسبی و نسبت معـادل سـطح زیـر کشـت و زمـان و همچنـین کـارایی اسـتفاده از زمـین (LUE) به‌ترتیب با مقادیر ۱/۳٤، ۱/۲٤ و ۱۲۹ مربوط به کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله و کـاربرد ۵۰ درصد درصد کود دامی بود. کمترین مقادیر بـرای شاخص‌های فوق نیز به‌ترتیب با مقادیر ۰/۷٦، ۰/۷۷ و ۸۱ مربوط به کشت مخلوط سـه ردیـف ذرت: شـش ردیف شنبلیله در شرایط عدم مصرف کود بود (جدول ۱۰). به طورکلی می‌تـوان اظهـار داشـت کـه ذرت در کشت مخلوط با شنبلیله، سود بیشتری برده است؛ کـه این اتفاق را شاخص‌های ارزیـابی سـودمندی کشـت مخلـوط ماننـد محصـول نسـبی و شـاخص غالبیـت (داده‌ها ارائه نشده است) می‌کنند. در مورد سـودمندی کشت مخلوط لگوم‌ها با غلات گزارش شده است کـه کشت مخلوط نخـود و گنـدم دوروم مـی‌توانـد یـک راهبرد موثر برای افزایش دسترسی به مـواد مغـذی و کارایی استفاده در خاک‌های کم فسفر باشـد. سیسـتم کشت مخلوط همچنین منجر به عملکرد دانه و تولیـد زیست توده بالاتر در مقایسه بـا کشـت خـالص شـد. بنابراین، کشت مخلوط نخود و گندم دوروم می‌توانـد

یک رویکرد پایدار و کارآمد برای بهبود بهره وری محصول در خاک‌های کم فسفر باشد (۲۸).

محصول نسبی بزرگتر از یک نشانگر سودمندی عملکرد کشت مخلوط در مقابل با کشت خالص است که در نتیجه بهره‌برداری بهتر از زمین و استفاده مناسب از منابع محیطی در جهت رشد گیاهان حادث شده است (۲۹). کشته گر و همکاران (۳۰) در کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی اظهار داشتند که کشت مخلوط یکی از روش‌های بسیار موثر در افزایش کارایی استفاده از منابعی مانند زمین است. همچنین تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در گیاه لگوم و کاشت مخلوط گیاه غیر لگوم و لگوم با یکدیگر سبب افزایش عملکرد و در نتیجه آن افزایش میزان شاخص محصول نسبی خواهد شد (۳۱). نتایج دیگر تحقیقات نیز برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را گزارش شده است (۳۲ و ۳۳).

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق اثرات اصلی و متقابل کاربرد کود و کشت مخلوط بر صفات عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت و شنبلیله، سرعت تعرق و سرعت فتوسنتز، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه و درصد و عملکرد اسانس شنبلیله تأثیر معنی‌داری داشت. به طوری که، کاربرد بیوچار و کود دامی نسبت به سایر تیمارهای کودی منجر به افزایش تمامی صفات مذکور بجز غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه گردید و در بین تیمارهای کشت مخلوط نیز برای گیاه ذرت ابتدا کشت خالص و سپس کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله بهتر از کشت مخلوط سه ردیف ذرت با شش ردیف شنبلیله بود. ولی، در مورد گیاه شنبلیله این ترتیب اندکی متفاوت بود و ابتدا کشت خالص و سپس کشت مخلوط سه ردیف ذرت به همراه شش ردیف شنبلیله بهتر از کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله بودند. به طور کلی، با توجه به کاهش مصرف کود شیمیایی و بهبود کارایی استفاده از زمین و منابع، کشت مخلوط یک ردیف ذرت: دو ردیف شنبلیله توام با کاربرد کودهای آلی قابل توصیه به کشاورزان است.

References

1. Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., García-Arca, D., & López-Felices, B. (2020). Identification of opportunities for applying the circular economy to intensive agriculture in Almería (South-East Spain). *Agricultural Journal, 10*(10), 1499.
2. Debbarma, A., & Debbarma, A. (2018). Perspectives on Rubber Monoculture in Tripura, North-East India. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences, 44*(1), 27-31.
3. Liu, C. L. C., Kuchma, O., & Krutovsky, K. V. (2018). Mixed-species versus monocultures in plantation forestry: Development, benefits, ecosystem services and perspectives for the future. *Global Ecology and Conservation, 15*, e00419.
4. Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W. F., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P.D., & Li, L. (2015). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology, and ecology. *New Phytologist, 206*(1), 107-117.
5. Duchene, O., Vian, J. F., & Celette, F. (2017). Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 240*, 148-161.
6. Bedoussac, L., Journet, E. P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Justes, E. (2015). Ecological principles

underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development, 35*, 911–935.

7. Abera, T., Tufa, T., Midega, T., Kumbi, H., & Tola, B. (2018). Effect of Integrated Inorganic and Organic Fertilizers on Yield and Yield Components of Barley in Liben Jawi District. *International Journal of Agronomy, 97*(1), 1-6.
8. Agegnehu, G., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research, 160*, 1-13.
9. 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*, 147-154.
10. Veljković, V. B., Biberdžić, M. O., Banković-Ilić, I. B., Djalović, I. G., Tasić, M. B., Nježić, Z. B., & Stamenković, O.S. (2018). Biodiesel production from corn oil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91*, 531-548.
11. Costa, N. R., Crusciol, C. A., Trivelin, P. C., Pariz, C. M., Costa, C., Castilhos, A. M., Moretti, L. G. (2021). Recovery of 15N fertilizer in intercropped maize, grass, and legume and residual effect in black oat under tropical conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 310*, 107226.
12. Zaefarian, F., Mirnemati, H., & Akbarpour, V. (2021). Investigation biochemical characteristics and yield of savory (*Satureja hortensis* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in intercropping conditions with simultaneous weed competition. *Journal of Plant Production Research, 28*(4), 1-23.
13. Sharma, N. K., Singh, R. J., Mandal, D., Kumar, A., Alam, N. M., & Keesstra, S. (2017). Increasing farmer's income and reducing soil erosion using intercropping in rainfed maize-wheat rotation of Himalaya, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 247*, 43-53.
14. Choudhary, M., Panday, S. C., Meena, V. S., Singh, S., Yadav, R. P., Mahanta, D., Pattanayak, A. (2018). Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on sustainability and chemical soil quality indicators of soybean-wheat cropping system in the Indian mid-Himalayas. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 257*, 38-46.
15. Meena, B. P., Biswas, A. K., Singh, M., Chaudhary, R. S., Singh, A. B., Das, H., & Patra, A. K. (2019). Long-term sustaining crop productivity and soil health in maize–chickpea system through integrated nutrient management practices in Vertisols of central India. *Field Crops Research, 232*, 62-76.
16. Mansouri, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., Saba, J., & Mansouri, H. (2013). The effect of additive maize-bean intercropping on yield, yield components, and weeds control in Zanjan climate Conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research, 11*(3), 483- 492. (In Persian).
17. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B. K., & Ghose, S. S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy, 24*(4), 325- 332.
18. Huang, M., Zhai, P., & Piao, S. (2021). Divergent responses of ecosystem water use efficiency to drought timing over Northern Eurasia. *Environmental Research Letters, 16*(4), 045016.
19. Hasan, M.K., Xing, Q.F., Zhou, C.Y., Wang, K.X., Xu, T., Yang, P., Zhou, J. (2023). Melatonin mediates elevated carbon dioxide-induced photosynthesis and thermo tolerance in tomato. *Journal of Pineal Research, 74*(3), e12858.
20. Li, G., Xiao, W., Yang, T., & Lyu, T. (2023). Optimization and process effect for microalgae carbon dioxide fixation technology applications based on carbon capture: A comprehensive review. *Carbon, 9*(1), 35.

21. Moroney, J. V., Long, B. M., McCormick, A. J., & Raven, J. A. (2023). Special issue on inorganic carbon concentrating mechanisms. *Photosynthesis Research*, 156, 179-180.
22. Ramírez-Parra, E., & De la Rosa, L. (2023). Designing Novel Strategies for Improving Old Legumes: An Overview from Common Vetch. *Plants, 12*(6), 1275.
23. Ghaderimokri, L., Rezaei-Chiyaneh, E., Ghiyasi, M., Gheshlaghi, M., Battaglia, M. L., & Siddique, K. H. (2022). Application of humic acid and biofertilizers changes oil and phenolic compounds of fennel and fenugreek in intercropping systems. *Scientific Reports, 12*(1), 5946.
24. Bhattacharyya, R., Pandey, A. K., Gopinath, K. A., Mina, B. L., Bisht, J. K., & Bhatt, J. C. (2016). Fertilization and crop residue addition impacts on yield sustainability under a rainfed maize–wheat system in the Himalayas. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B: Biological Sciences, 86*(1), 21-32.
25. Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2016). *Soil Fertility and Fertilizers*. Pearson Education India.
26. Singh, J., & Kaur, A. (2015). Vermicompost as a strong buffer and natural adsorbent for reducing transition metals, BOD, COD from industrial effluent. *Ecological Engineering, 74*, 13-19.
27. Xin, X., Zhang, J., Zhu, A., & Zhang, C. (2016). Effects of long-term (23 years) mineral fertilizer and compost application on physical properties of fluvo-aquic soil in the North China Plain. *Soil and Tillage Research, 156*, 166-172.
28. Chaoui, R., Boudsocq, S., Taschen, E., Sentenac, H., Farissi, M., & Lazali, M. (2023). Intercropping durum wheat and chickpea increases nutrient availability and use efficiency under low phosphorus soils. *Journal of Plant Nutrition*, 46, 4125-4139.
29. Weih, M., Mínguez, M. I., & Tavoletti, S. (2022). Intercropping systems for sustainable agriculture. *Agricultural Journal, 12*(2), 291.
30. Kashtehgar, A., Dahmardeh, M., Galavi, M., & Khammari, E. (2015). Investigation of intercropping and sole cropping patterns of maize (*Zea mays* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) on weed characteristics. *Iranian Journal of Field Crop Science, 46*(4), 547-558.
31. Wang, W., Li, M. Y., Gong, D. S., Zhou, R., Khan, A., Zhu, Y., Song, C. (2022). Water use of intercropped species: Maize-soybean, soybean-wheat, and wheat-maize. *Agricultural Water Management, 269*, 107690.
32. Soratto, R. P., Perdoná, M. J., Parecido, R. J., Pinotti, R. N., & Gitari, H. I. (2022). Turning biennial into biannual harvest: Long-term assessment of Arabica coffee–macadamia intercropping and irrigation synergism by biological and economic indices. *Food and Energy Security, 11*(2), e365.
33. Erythrina, E., Susilawati, S., Slameto, S., Resiani, N. M. D., Arianti, F. D., Jumakir, J., Sembiring, H. (2022). Yield Advantage and Economic Performance of Rice–Maize, Rice–Soybean, and Maize–Soybean Intercropping in Rainfed Areas of Western Indonesia with a Wet Climate. *Agronomy, 12*(10), 2326.