

(OPEN ACCESS)

Insights into the Physiological Characteristics of Cow-Pea - Maize in Intercropping System Exploring the Role of Mycorrhiza and Phosphorus Fertilizer

Mohsen Ebrahimi¹, Hamid Abbasdokht^{*2}

1. Ph.D. of Student of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: mohsenebrahimi.6469@gmail.com
2. Corresponding Author, Dept. of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: habbasdokht@shahroodut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: The use of biofertilizers, such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), in intercropping systems has emerged as an innovative and sustainable approach to enhance crop growth and promote sustainable production. This study was conducted to investigate the effects of mycorrhizal biofertilizer and mineral phosphorus fertilizer on some physiological traits of cowpea (<i>Vigna unguiculata</i>) and maize (<i>Zea mays</i>) in an intercropping system using the replacement method.
Article history: Received: 05.10.2025 Revised: 06.08.2025 Accepted: 08.08.2025	
Keywords: Biofertilizer, Colonization, Cropping Ratio, Yield	Materials and Methods: The experiment was carried out at two locations (the research farms of Shahrood University of Technology located in the Faculty of Agriculture and the Tarud research farm) as a factorial experiment in a completely randomized block design with three replications. The treatments included different cropping arrangements (pure cowpea, 75% cowpea + 25% maize, 50% cowpea + 50% maize, 25% cowpea + 75% maize, and pure maize) as the first factor; phosphorus fertilizer at three levels (0, 50, and 100 kg/ha) as the second factor; and mycorrhiza at two levels (application and no application) as the third factor.
	Results: The results showed that the highest grain yield in cowpea plants (13.95 tons per hectare) and maize (6.2 tons per hectare) was observed in the treatment using mycorrhizal biofertilizer and 50 kilograms per hectare of phosphorus fertilizer in the Shahroud farm. The highest protein content, averaging 25.4%, in cowpea plants was achieved with the inoculation of mycorrhiza, 50 kilograms per hectare of phosphorus, and 100% cowpea planting in the Shahroud farm. All individual effects of the treatments significantly influenced the pigment content in cowpea. The highest chlorophyll content in cowpea (2.88 mg/g) and maize (3.8 mg/g) was observed in the 50% planting arrangement with the application of 50 kilograms per hectare phosphorus fertilizer. The highest carotenoid content in cowpea (3.56 mg/g) and maize (4.02 mg/g) was recorded at a 50% cowpea-maize planting ratio combined with 50 kilograms per hectare phosphorus application and the use of mycorrhiza in the Tarood region.

The highest leaf area index in both plants increased by about 27% in the 50% planting arrangement compared to pure cropping. The highest land equivalent ratio, averaging 1.72, was obtained in the 75% maize and 25% cowpea planting treatment with 50 kilograms per hectare phosphorus fertilizer and mycorrhizal fungus application.

Conclusion: According to the results of this study, the mixed cropping system with the use of phosphorus fertilizer and mycorrhiza positively affected the physiological traits of cowpea and maize and can be recommended as a cropping model for agricultural producers.

Cite this article: Ebrahimi, Mohsen, Abbasdokht, Hamid. 2026. Insights into the Physiological Characteristics of Cow-Pea - Maize in Intercropping System Exploring the Role of Mycorrhiza and Phosphorus Fertilizer. *Journal of Plant Production Research*, 33 (2), 191-215.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2025.23597.3253

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر مایکوریزا و فسفر بر خصوصیات فیزیولوژیکی لوبیا چشم‌بلبلی - ذرت در سیستم کشت مخلوط

محسن ابراهیمی^۱، حمید عباس‌دخت^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
رایانامه: mohsenebrahimi.6469@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
رایانامه: habbasdokht@shahroodut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: استفاده از کودهای زیستی، مانند قارچ‌های مایکوریزای آربوسکولار (AMF)، در سیستم‌های کشت مخلوط به عنوان یک رویکرد نوآورانه و پایدار برای افزایش رشد محصول و ترویج تولید پایدار ظاهر شده است. این تحقیق به منظور بررسی کود زیستی مایکوریزا و کود معدنی فسفر روی برخی صفات فیزیولوژیکی لوبیا چشم‌بلبلی (<i>Vigna unguiculata</i>) و ذرت (<i>Zea mays</i>) در سیستم کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۷	مواد و روش‌ها: آزمایش در دو مکان (مزارع تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در دانشکده کشاورزی و مزرعه تحقیقاتی طرود) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل آرایش مختلف کشت (کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی، ۷۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی + ۲۵ درصد ذرت، ۵۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی + ۵۰ درصد ذرت، ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵ درصد ذرت و کشت خالص ذرت) به عنوان فاکتور اول و تیمار فسفر در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان فاکتور دوم و مایکوریزا در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) به عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شد.
واژه‌های کلیدی: عملکرد، کشت مخلوط، کلونیزاسیون، کود زیستی	یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی (۱۳/۹۵ تن در هکتار) و ذرت (۶/۲ تن در هکتار) در تیمار استفاده از کود زیستی مایکوریزا و کود فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار در مزرعه شاهرود مشاهده شد. بیش‌ترین میزان پروتئین با میانگین ۲۵/۴ درصد در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی با استفاده از تلقیح مایکوریزا، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و کشت ۱۰۰ درصد لوبیا در مزرعه شاهرود به دست آمد. تمام اثرات فردی تیمارها بر محتوای

رنگدانه در لوبیا چشم‌بلبلی تأثیر معنی‌داری داشت. بیش‌ترین میزان کلروفیل در لوبیا چشم‌بلبلی (۲/۸۸ میلی‌گرم در گرم) و ذرت (۸/۳ میلی‌گرم در گرم) در آرایش کشت ۵۰ درصد با استفاده از فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در لوبیا چشم‌بلبلی (۳/۵۶ میلی‌گرم در گرم) و ذرت (۴/۰۲ میلی‌گرم در گرم) در نسبت کشت ۵۰ درصد لوبیا - ذرت همراه با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و استفاده از مایکوریزا در منطقه طرود مشاهده شد. بالاترین شاخص سطح برگ در هر دو گیاه در آرایش کشت ۵۰ درصد در مقایسه با کشت خالص حدود ۲۷ درصد افزایش یافت. بالاترین نسبت برابری زمین با میانگین ۱/۷۲، در تیمار آرایش کشت ۷۵ درصد ذرت و ۲۵ درصد لوبیا با کاربرد کود فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار و استفاده از قارچ مایکوریزا به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، سیستم کشت مخلوط با استفاده از کود فسفر و مایکوریزا روی عملکرد و صفات فیزیولوژیکی لوبیا و ذرت تأثیر مثبت داشته است و می‌تواند به عنوان یک الگوی کشت برای بهره‌برداران بخش کشاورزی قابل توصیه باشد.

استناد: ابراهیمی، محسن، عباس‌دخت، حمید (۱۴۰۵). تأثیر مایکوریزا و فسفر بر خصوصیات فیزیولوژیکی لوبیا چشم‌بلبلی - ذرت در سیستم کشت مخلوط. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۳ (۲)، ۱۹۱-۲۱۵.

DOI: 10.22069/jopp.2025.23597.3253



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه اکثر خانواده‌های روستایی از نظر تامین مواد غذایی ناامن هستند و با توجه به رشد جمعیت در سال‌های آینده و کاهش کیفیت زمین‌های کشاورزی و تغییر الگوی مصرف مواد غذایی، انتظار می‌رود تقاضا برای مواد غذایی در دهه‌های آینده افزایش یابد. (۱). برنامه ۲۰۳۰ سازمان ملل برای توسعه پایدار، بر نیاز به سیستم‌های کشاورزی پایدار که تغذیه سالم را برای جمعیت در حال افزایش جهانی تضمین می‌کند، تأکید می‌کند. این امر مستلزم اولویت دادن به کشت‌هایی است که بهره‌وری منابع را افزایش داده و از یک رژیم غذایی سالم حمایت می‌کنند. برای تحقق این هدف، سیستم‌های کشت مختلف، به‌ویژه کشت مخلوط، توجه زیادی را جلب کرده‌اند. (۲). لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna sinensis* L.) محصولی یک‌ساله است که از خانواده Fabaceae است. بومی نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری آفریقا است که هزاران سال است در آنجا کشت می‌شود. لوبیا چشم‌بلبلی که معمولاً به آن لوبیا چشم سیاه یا نخود جنوبی نیز گفته می‌شود، نه تنها به دلیل مواد مغذی آن، که شامل پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی است، بلکه به دلیل سازگاری با انواع مختلف خاک و شرایط آب و هوایی نیز ارزشمند است (۳). این گیاه خانواده بقولات، به‌طور مؤثری نیتروژن را در خاک تثبیت می‌کند و حاصل‌خیزی را افزایش می‌دهد، در نتیجه وابستگی به کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد. لوبیا چشم‌بلبلی هم به‌عنوان یک محصول غذایی و هم علوفه مورد استفاده قرار می‌گیرد و این امر آن را برای کشاورزی پایدار ضروری می‌سازد. این گیاه هم‌چنین دارای اهمیت فرهنگی در بسیاری از جوامع است و در غذاهای سنتی به‌کار می‌رود. علاوه بر این، لوبیا چشم‌بلبلی به‌عنوان یک محصول نقدی برای کشاورزان خرده‌مالک عمل می‌کند و از

درآمد و امنیت غذایی آن‌ها حمایت می‌کند. مقاومت آن در برابر خشکی و آفات، آن را در مواجهه با تغییرات آب و هوایی حیاتی می‌سازد و نقش آن را در ترویج شیوه‌های کشاورزی پایدار برجسته می‌کند (۴). امروزه اجرای سیستم‌های چند کشتی به‌ویژه برای کشاورزان خرده پا در کشورهای در حال توسعه ضروری است. این روش ضمن کاهش آفات و بیماری‌ها، استفاده از زمین و منابع را بهینه می‌کند (۵). کشت مخلوط تولید را تحت شرایط اکولوژیکی خاص افزایش می‌دهد، به‌ویژه در مناطقی با زمین، نیروی کار و مکانیزاسیون محدود، زیرا از منابع موجود بهتر از کشت خالص استفاده می‌کند (۶). کود فسفر برای رشد گیاه و تولید محصول حیاتی است و نقش کلیدی در انتقال انرژی، فتوسنتز و سنتز اسید نوکلئیک دارد. اخیراً کمبود فسفر به یک مانع مهم برای بهره‌وری کشاورزی تبدیل شده است که عملکرد را محدود کرده و امنیت غذایی را تهدید می‌کند. مقابله با این موضوع برای کشاورزی پایدار و بهبود عملکرد محصول در سیستم‌های مختلف ضروری است (۷). تحقیقات روی ماش (*Vigna radiata* L.) نشان داد که کود فسفر فعالیت آنزیم‌های کلیدی مربوط به فتوسنتز و تثبیت نیتروژن را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. این بهبود با رشد بهتر گیاه، از جمله افزایش زیست توده اندام هوایی و ریشه مرتبط بود. این مطالعه نشان داد که سطوح کافی فسفر باعث افزایش جذب مواد مغذی و مقاومت گیاه در برابر عوامل استرس‌زا مانند خشکی و شوری می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد فسفر می‌تواند بهره‌وری ماش (*Vigna radiata*) را افزایش داده و از کشاورزی پایدار در مناطق در حال رشد آن‌ها حمایت کند. پایش مداوم عناصر غذایی خاک و واکنش گیاه برای به حداکثر رساندن عملکرد و حفظ تعادل اکولوژیکی بسیار مهم است (۸). میسلیوم نقش

مهمی در تقویت فسفاتاز خاک و فعالیت میکروبی ایفا می‌کند و به‌طور قابل توجهی در دسترس بودن فسفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در همزیستی با گیاهان، به‌ویژه محصولات زراعی، AMF رشد ریشه را تقویت می‌کند و تبدیل فسفر معدنی به اشکال آلی را تسهیل می‌کند (۹). قارچ میکوریزا آربوسکولار (AMF) میسلیم فسفاتاز و فعالیت میکروبی خاک را افزایش می‌دهد و در دسترس بودن فسفر را افزایش می‌دهد. در همزیستی با محصولات، AMF باعث رشد ریشه می‌شود و به تبدیل فسفر معدنی به اشکال آلی کمک می‌کند. این قارچ‌ها با گیاهان مختلف، ساکن در سطوح ریشه و اپیدرم سلول‌های ریشه، روابط هم‌زیستی برقرار می‌کنند. کشت مخلوط سویا و ذرت، همراه با تلقیح AMF، به‌طور قابل توجهی رشد هر دو محصول را افزایش می‌دهد و سطح نیتروژن و فسفر خاک را در مقایسه با سیستم‌های تک کشت افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مطالعات نشان می‌دهد که همبستگی مثبتی بین در دسترس بودن کود فسفر و زیست توده گیاهی وجود دارد (۱۰). امانی ماچانی و همکاران (۱۱) نشان دادند که قارچ‌های میکوریزا تولید متابولیت‌های ثانویه را در سویا و آویشن (*Thymus vulgaris*) کشت شده بهبود بخشیدند که منجر به عملکرد بالاتر و افزایش متابولیت‌های آویشن شد. این یافته‌ها اثر AMF و کشت مخلوط را برای

افزایش متابولیت‌های ثانویه، افزایش بهره‌وری و کیفیت محصول برجسته می‌کند. انتخاب گیاهان مناسب همراه با افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی موجب افزایش ثبات و پایداری سیستم‌های کشاورزی خواهد شد. از این رو، این مطالعه با هدف بررسی خصوصیات عملکردی و فیزیولوژیکی دو گیاه لوبیا چشم‌بلبلی و ذرت در سیستم کشت مخلوط با استفاده از کود زیستی میکوریزا و غلظت‌های مختلف کود فسفر جهت حصول به به مناسب‌ترین آرایش کشت و تعیین بهترین غلظت کود فسفر در دو مکان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف ارزیابی کاربرد میکوریزا و غلظت‌های مختلف فسفر بر کشت مخلوط دو گیاه ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی به روش جایگزینی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود در منطقه بسطام و طرود از توابع شهرستان شاهرود با شرایط اقلیمی و دمایی متفاوت در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. مشخصات خاک و هم‌چنین مشخصات جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک.

Table 1. Some physicochemical characteristics of the soil.

منطقه کاشت Region	بافت خاک Soil texture	pH	EC (ds/m)	کربن C (%)	پتاسیم K (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)
شاهرود Shahrood	لومی - سیلتی Loam-silty	8.30	0.41	0.4	149	0.04	19
طرود Torud	لومی - سیلتی Loam-silty	8.43	1.3	0.3	138	0.04	20

جدول ۲- مختصات جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه.

Table 2. Geographical and climatic characteristics of experiment locations.

منطقه Region	عرض جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی latitude	ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)	مینیمم دمای سالانه Minimum temperature (°C)	ماکسیمم دمای سالانه Maximum temperature (°C)
شاهرود Shahrood	35.36	54.58	1420	20.80	41.68
طرود Torud	35.42	55.01	781	24.12	45.36

تمام بذرها اطمینان حاصل شود. در نهایت، ۵۰ گرم تلقیح در هر کیلوگرم بذر استفاده شد و مخلوط به طور کامل ترکیب شد تا از توزیع مناسب قارچ اطمینان حاصل شود. بذره‌های تیمار شده سپس به مدت ۱۰ دقیقه در سایه خشک شدند. پس از این، عملیات کاشت به سرعت انجام شد (۱۲).

سنجش پروتئین بذر به روش کج‌دال انجام گرفت (۱۳). در این روش که شامل سه مرحله هضم نمونه، تقطیر و تیتراسیون است. ابتدا جهت اندازه‌گیری میزان نیتروژن نمونه بذر مقدار ۶ میلی‌گرم از نمونه را ابتدا وزن کرده و سپس درون لوله هضم ریخته شد. در ادامه میزان ۱/۱ گرم از کاتالیزور به همراه ۵ میلی‌لیتر از اسید سولفوریک غلیظ به لوله اضافه کرده و این محتویات را درون دستگاه هضم به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. در این مرحله حرارت ایجاد شده باعث سریع‌تر شدن عمل هضم می‌شود. و پس از سرد شدن این محتویات مقدار ۲۰ میلی‌لیتر از سود ۱۰ نرمال و ۳۰ میلی‌لیتر از محلول اسید بوریک را به لوله اضافه کرده و در نهایت با استفاده از دستگاه کج‌دال، میزان نیتروژن موجود در نمونه گیاهی استخراج شد. در نهایت با قرار دادن میزان اسید سولفوریک مصرفی و میلی‌گرم وزن نمونه، میزان نیتروژن موجود در نمونه تعیین شد.

تعداد کرت‌های آزمایشی ۹۰ کرت و ابعاد هر کرت آزمایشی ۲×۳ مترمربع با ۴ ردیف تعیین شد. فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و عمق کاشت در هر دو گیاه ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. الگوی کشت در پنج سطح کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی، ۷۵ درصد لوبیا + ۲۵ درصد ذرت، ۵۰ درصد لوبیا + ۵۰ درصد ذرت و ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵ درصد ذرت و کشت خالص ذرت انجام گرفت. کاشت بذرها در تاریخ ۲۰ و ۲۱ اردیبهشت‌ماه انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز مزرعه در سه نوبت تا قبل از شروع گلدهی به روش دستی صورت گرفت.

بذر لوبیا چشم‌بلبلی رقم مشهد و ذرت رقم ۷۰۴ از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و قارچ مایکوریزا حاوی قارچ‌های گونه *Glomus mosseae*، *Glomus etunicatum* و *Rhizophagus intraradices* از شرکت زیست فناور پیش‌تاز تهران تهیه شد. برای تلقیح قارچ مایکوریزا از صمغ عربی برای افزایش چسبندگی مایکوریزا به بذرها استفاده شد. سپس بذره‌های هر دو گیاه ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی پوشش داده شده در یک کیسه پلی اتیلن قرار داده شده و به مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده شدند تا از پوشش یکنواخت سطح

$$(۱) \quad (\text{میلی گرم وزن نمونه} \times ۱۰۰۰) / (۱۰۰۰ \times ۱۰۰ \times ۵۰ \times ۱۴ \times \text{نرمالیته اسید} \times \text{حجم اسید مصرفی}) = \text{درصد نیتروژن نمونه}$$

درصد پروتئین نمونه از حاصل ضرب ضریب تبیین نیتروژن به پروتئین (۶/۲۵) در درصد نیتروژن نمونه به دست آمد.

$$(۲) \quad \text{درصد نیتروژن نمونه} \times \text{ضریب تبیین نیتروژن به پروتئین} = \text{درصد پروتئین}$$

تجزیه و تحلیل محتوای کلروفیل (Chl): تجزیه و تحلیل کلروفیل a و b (Chl a و Chl b) طبق نظر Shin و همکاران انجام شد (۱۴). نمونه‌ای از ۲۰ میلی گرم از مواد منجمد و پودر شده با ۵ میلی لیتر متانول (MeOH) به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق استخراج شد. پس از سانتریفیوژ در ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه، جذب در طول موج‌های ۶۵۲ و ۶۶۵ نانومتر با استفاده از میکروپلیت‌ریدر (Bio Tek, USA) اندازه‌گیری شد. غلظت Chl a و Chl b با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد.

$$(۳) \quad \text{Chlorophyll a} = 19.3 A_{663} - 0.86 A_{646} / V = 100W$$

$$(۴) \quad \text{Chlorophyll b} = 19.3 A_{646} - 3.6 A_{663} / V = 100W$$

$$(۵) \quad \text{Total chlorophyll} = \text{Chl. a} + \text{Chl. b}$$

$$(۶) \quad \text{Carotenoid} = (1000 A_{470} - 1.82 C a - 85.02 C b) / 198 \times (v / (w \times 1000))$$

نسبت برابری زمین (LER): نسبت برابری زمین گیاهان لوبیا چشم‌بلبلی و ذرت به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۷، ۸ و ۹ در پایان فصل رشد و برداشت از سطحی معادل یک مترمربع، اندازه‌گیری شد. نسبت کل برابری زمین (LER) بیش‌تر از یک نشان می‌دهد که کشت مخلوط برتر از کشت خالص است، در حالی که LER کم‌تر از یک نشان می‌دهد که کشت مخلوط بر عملکرد و رشد گونه‌های گیاهی تأثیر منفی می‌گذارد (۱۵).

$$(۷) \quad LER_a = Y_{ab} / Y_{aa}$$

$$(۸) \quad LER_b = Y_{ba} / Y_{bb}$$

$$(۹) \quad LERT = Y_{ab} / Y_{aa} + Y_{ba} / Y_{bb}$$

که، Y_{ab} عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی در کشت مخلوط با ذرت، Y_{aa} عملکرد کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی، Y_{ba} عملکرد گیاه ذرت در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی، Y_{bb} عملکرد ذرت در کشت خالص.

نسخه ۹,۴ استفاده گردید و همچنین مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) انجام شد. رسم نمودارها در اکسل صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، بین تیمارهای مختلف مورد استفاده و اثر متقابل بین تیمارها، تأثیر معنی‌داری روی عملکرد هر دو گیاه لوبیا چشم‌بلبلی و ذرت مشاهده شد (جدول‌های ۳ و ۴). با در نظر گرفتن اثر متقابل آرایش کشت، مایکوریزا، کود فسفر و مکان‌ها، بیش‌ترین عملکرد ذرت (۶/۲ تن در هکتار) در آرایش کشت ۷۵ درصد ذرت، مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفا ته و استفاده از مایکوریزا در منطقه شاهرود مشاهده شد. در حالی که در تیمارهای عدم مصرف مایکوریزا و کود فسفر با آرایش کشت ۲۵ درصد ذرت، کم‌ترین عملکرد (۲/۲ تن در هکتار) در منطقه طرود مشاهده شد (شکل ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۲)، بیش‌ترین عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی (۱۳/۹۵ تن در هکتار) در کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی، مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و استفاده از مایکوریزا در منطقه شاهرود مشاهده شد. در این مطالعه، استفاده از قارچ مایکوریزا همراه با ۵۰ کیلوگرم کود فسفر عملکرد دانه هر دو گیاه را افزایش داد. طبق نتایج مطالعات سایر محققین، استفاده از قارچ مایکوریزا، سیستم ریشه گیاهان را تقویت کرده و دسترسی آن‌ها به آب و مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را که برای رشد و نمو حیاتی هستند، بهبود می‌بخشد (۱۷). مقایسه تکنیک‌های تولید کشت مخلوط ذرت خالص و ذرت- لوبیا چشم‌بلبلی، میانگین عملکرد دانه بالاتری را برای ذرت خالص در مقایسه با کشت مخلوط نشان داد، که

کلونیزاسیون ریشه: برای ارزیابی درصد کلونیزاسیون ریشه، ریشه‌ها پس از جمع‌آوری به خوبی با آب شسته شدند به‌طوری‌که تمامی خاک و باقیمانده گیاهی از ریشه‌ها حذف گردید. بعد از نمونه‌برداری از ریشه‌های شسته شده، ریشه‌ها به داخل ظروف شیشه‌ای شفاف به حجم ۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده شدند. سپس محلول KOH ۱۰ درصد به ریشه‌ها اضافه شده و در درجه حرارت اتاق به مدت ۱۲ ساعت نگهداری شدند. جهت خشتی کردن محیط قلیائی ریشه‌های رنگ‌بری شده حاصل از روش قبل، ریشه‌ها با آب مقطر شسته شده و به مدت ۱-۲ دقیقه در محلول HCL ۱ مولار قرار داده شدند.

جهت رنگ‌آمیزی ریشه‌ها از روش تغییر یافته فیلیپس و هایمن، (۱۹۷۰) استفاده گردید (۱۶). در این روش ریشه‌های رنگ‌بری شده به مدت ۱۲-۶ ساعت در محلول رنگ‌آمیزی Trypan blue ۰/۰۱ درصد در درجه حرارت اتاق نگهداری شدند. ریشه‌ها پس از خارج کردن از محلول رنگ و شستشو با آب مقطر آماده تعیین میزان کلونیزاسیون شدند. برای نگهداری ریشه‌ها تا زمان اندازه‌گیری میزان کلونیزاسیون از محلول اسیدلاکتیک، گلیسرول و آب استفاده گردید. برای تعیین میزان کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با ریشه گیاهان مورد مورد مطالعه، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به قطعات یک‌سانتی‌متری تقسیم‌شده و در سطح یک پتری‌دیش مشبک پخش شدند. سپس با استفاده از میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی ۴۰، تعداد برخورد هر یک از اندام قارچی (شامل ریشه، ارباسکول، کوئل و وزیکل) با خطوط شبکه پتری‌دیش شمارش و برحسب درصد محاسبه گردید.

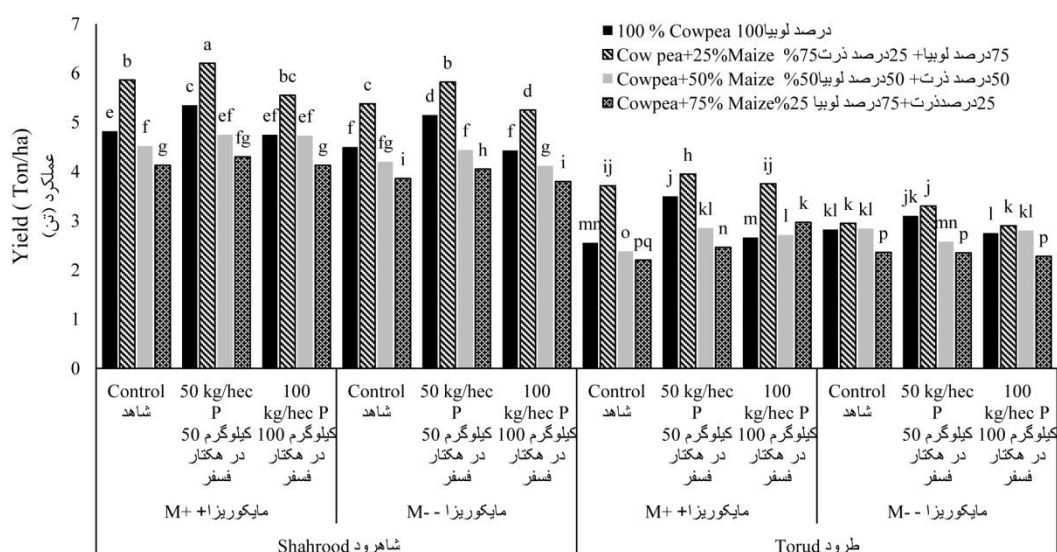
تحلیل آماری: جهت تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از داده‌ها (تجزیه واریانس مرکب) از نرم‌افزار SAS

نشان می‌دهد ذرت خالص پربارتر است. با این حال، کشت مخلوط ممکن است مزایایی مانند بهبود حاصلخیزی خاک، کاهش آفات و استفاده بهتر از منابع را ارائه دهد، که تحقیقات بیشتر برای ارزیابی مزایای کلی و ارائه توصیه‌های جامع برای کشاورزان محلی را ضروری می‌سازد (۳۷). سیستم‌های کشت مخلوط می‌توانند محیط رشد مطلوب‌تری ایجاد کنند و بر اجزای عملکرد ذرت تأثیر مثبت بگذارند. کشت مخلوط ذرت با لوبیا چشم‌بلبلی، در دسترس بودن مواد مغذی و حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد و منجر به بزرگ‌تر شدن بلال‌های ذرت می‌شود. منابع و تعاملات مشترک، جذب و استفاده بهینه از مواد مغذی را افزایش می‌دهد، وزن بلال، تعداد دانه در هر ردیف و وزن ۱۰۰ دانه را افزایش می‌دهد. کشت مخلوط هم‌چنین راندمان گرده‌افشانی را افزایش می‌دهد و اجزای عملکرد را بیش‌تر بهبود می‌بخشد. این اثرات ترکیبی به افزایش عملکرد دانه در سیستم کشت مخلوط کمک می‌کند و مزایای کشت مخلوط را برای به حداکثر رساندن بهره‌وری ذرت برجسته می‌کند. فاصله بوته نقش مهمی در سیستم‌های کشت مخلوط ایفا می‌کند و می‌تواند بر عملکرد و بهره‌وری گیاهان کشت مخلوط تأثیر بگذارد (۳۸). عملکرد بهینه محصول می‌تواند در سطوح مختلف کشت، تحت تأثیر رقابت قرار گیرد (۲۳). عملکرد دانه بالاتر در کشت خالص ذرت در مقایسه با کشت مخلوط احتمالاً به دلیل رقابت کم‌تر است. کاهش عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط ممکن است به کاهش دسترسی به مواد مغذی و آب ناشی از رقابت نسبت داده شود. خشکسالی هم‌چنین می‌تواند انحلال و جذب مواد مغذی را کاهش دهد، فتوسنتز، تقسیم‌بندی مواد فتوسنتزی و عملکرد کلی محصول را محدود کند. کشت مخلوط ذرت با بقولات می‌تواند رقابت بین محصولات را افزایش دهد (۳۹). نیازهای غذایی

ذرت ممکن است در سیستم کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص باشد. عملکرد ذرت بالاتر در کشت خالص در مقایسه با کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی و سویا گزارش شده است (۴۰). با این حال، در برخی مناطق، بهره‌وری بیش‌تر کشت مخلوط ذرت-بقولات دانه‌ای در همان ردیف در مقایسه با کشت‌های تک‌محصولی مشاهده شده است که احتمالاً به دلیل بهبود حاصلخیزی خاک، کنترل علف‌های هرز و حفظ رطوبت است (۴۱). کشت مخلوط ذرت با حبوبات هم‌چنین می‌تواند انعطاف‌پذیری در کاشت و مزایای حفاظت از خاک را فراهم کند و هم‌چنین ترسیب کربن خاک، کنترل فرسایش و استفاده کارآمد از منابع را ارتقا دهد (۲۳). به‌طورکلی، کشت‌های تک‌محصولی لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی با سایر محصولات، عملکرد بهتری داشته‌اند. به‌نظر می‌رسد که عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی هنگام کشت مخلوط با ذرت، صرف نظر از منطقه اکولوژیکی، به وضوح به خطر می‌افتد. مطالعات انجام شده در کشورهای جنوب صحرای آفریقا (SSA) در مورد کشت مخلوط ذرت-لوبیا چشم‌بلبلی، عملکرد پایین لوبیا چشم‌بلبلی را گزارش کرده‌اند که عمدتاً به سایه‌اندازی ذرت نسبت داده می‌شود، به ویژه هنگامی که لوبیا چشم‌بلبلی به طور هم‌زمان با ذرت کاشته شد. علاوه بر این، استفاده کارآمد از نور و فضا توسط گیاهان ذرت می‌تواند کاهش عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی به نفع ذرت در کشت مخلوط را توضیح دهد. این دو محصول ارتفاع رشد متفاوتی دارند که امکان استفاده کارآمدتر از نور خورشید موجود را فراهم می‌کند. ذرت، به‌عنوان محصول بلندتر، می‌تواند سایه ایجاد کند و رقابت برای نور را کاهش دهد، که این امر عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی را به خطر می‌اندازد و به نفع ذرت است. به‌طور مشابه، در یک سیستم کشت مخلوط ذرت-

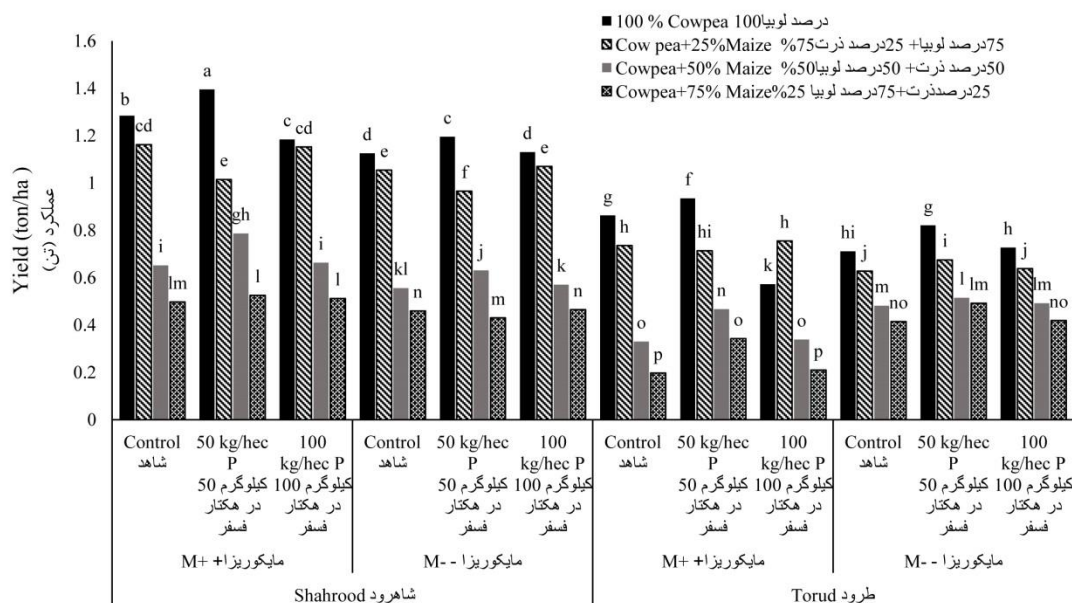
لوبیا چشم‌بلبلی در زیمبابوه، نتایج مشابهی گزارش شد. این نویسندگان، عملکرد پایین لوبیا چشم‌بلبلی را به عدم تمایز در جایگاه‌های زیرزمینی در رابطه با توزیع ریشه بین ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی نسبت می‌دهند. ذرت، با تراکم بالای ریشه خود، حجم خاک بیش‌تری را کاوش کرده و در نتیجه منابع بیش‌تری را برای رشد محصول به‌دست می‌آورد که منجر به عملکرد کم‌تر لوبیا چشم‌بلبلی شد. این کاهش عملکرد ذرت در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌تواند به دلیل سطح بالاتر رقابت بین‌گونه‌ای در توده‌های مخلوط و عدم وجود رقابت بین‌گونه‌ای در کشت‌های خالص باشد. همان‌طور که نشان داده شد، تاخیر در پیری مشاهده شده در کشت‌های خالص، دوره پر شدن دانه را طولانی‌تر کرد و منجر به افزایش اندازه دانه شد و در نتیجه به عملکرد بالاتر ذرت کمک کرد. عملکرد بالای ذرت در کشت مخلوط را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که گیاهان ذرت از نیتروژن تثبیت شده توسط حبوبات در این کشت بهره بردند (۴۲). سیستم‌های کشت مخلوط تأثیر معنی‌داری بر تمام ویژگی‌های فیزیولوژیکی در هر دو مکان و داده‌های ترکیبی داشتند. در مورد اجزای عملکرد، بالاترین مقادیر در سیستم کشت مخلوط یافت شد. این ممکن است به دلیل بهبود راندمان استفاده از نور توسط گیاهان ذرت باشد که تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی را افزایش می‌دهد و در نتیجه تجمع ماده خشک را افزایش می‌دهد (۴۳). ذرت (*Zea mays* L.) یک محصول همه‌کاره است که برای غذا، خوراک دام، علوفه و مواد خام صنعتی کشت می‌شود. به‌عنوان یک محصول با فاصله زیاد، امکان کشت مخلوط را برای بهینه‌سازی نهاده‌های کشاورزی

و سودآوری فراهم می‌کند. لوبیا چشم‌بلبلی به‌عنوان یک کشت مخلوط می‌تواند به تولید درآمد، بهبود سلامت خاک از طریق تثبیت نیتروژن و سرکوب علف‌های هرز کمک کند و نیاز به علف‌کش‌ها را کاهش دهد. مدیریت مواد مغذی در سیستم کشت مخلوط ذرت-لوبیا چشم‌بلبلی برای پایداری اکوسیستم، بازیابی سلامت خاک، افزایش عملکرد و به حداکثر رساندن سود بسیار مهم است. این مقاله تحقیقاتی را در مورد اثرات مواد مغذی مختلف گیاهی بر عملکرد محصول در این سیستم کشت مخلوط گردآوری می‌کند. استفاده از مواد مغذی بالاتر از دوز توصیه شده به دلیل نیاز بیش‌تر مواد مغذی دو محصول در مقایسه با یک محصول واحد، تأثیر مثبتی بر سیستم کشت مخلوط دارد. مدیریت مناسب مواد مغذی می‌تواند با حفظ منابع، به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی و تقویت تاب‌آوری در سیستم‌های کشاورزی، پایداری کشاورزی را افزایش دهد. اتخاذ رویکردهای مدیریت یکپارچه مواد مغذی، پتانسیل بهبود بهره‌وری، تاب‌آوری و پایداری کشت مخلوط ذرت-لوبیا چشم‌بلبلی را دارد که منجر به کارایی بهتر استفاده از منابع و افزایش عملکرد محصول می‌شود (۴۴). یک آزمایش مزرعه‌ای در دانشگاه آریزونا مینچ برای ارزیابی اثرات کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna Unguiculata* L.) بر عملکرد زراعی، عملکرد و ارزش‌های غذایی انجام شد. کشت مخلوط ۱:۱ ذرت-لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با کشت خالص، تولید کل ماده خشک بیش‌تر و نسبت معادل خاک بهتر و هم‌چنین نرخ بازده نهایی عالی‌تری داشت (۴۵).



شکل ۱- اثر مکان، نسبت کشت، فسفر و مایکوریزا بر عملکرد دانه ذرت.

Fig. 1. The interaction effects of cropping ratio $\times$ phosphorus $\times$ mycorrhiza $\times$ location on yield of Maize.
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد
In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5% level



شکل ۲- اثر مکان، نسبت کشت، فسفر و مایکوریزا بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی.

Fig. 2. The interaction effects of cropping ratio $\times$ phosphorus $\times$ mycorrhiza $\times$ location on green yield of Cow-Pea.
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد
In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5% level

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت.

Table 3. Results of analysis of variance (mean squared) of physio-morphological traits in maize.

Source	DF	Yield	Protein	T Chl	Carotenoid	LAI	Colonization	LER
Location (L)	1	24257.20*	5.2485**	1.7865**	2.5241**	2.0584**	1341.214**	0.0354*
Error ₁	4	24077	0.0358	0.00426	0.0018	0.2541	35.224	0.00684
Intercropping (I)	3	251411*	2.654**	1.05178**	11.417**	50.246**	463.182**	0.0254*
Phosphorus (P)	2	163254**	8.0841**	1.02541**	2.1782**	1.2517**	350.117**	0.0615*
Mycorrhizal (M)	1	1125711**	6.2245**	0.1608**	4.0241*	0.0264 ^{ns}	2137.28**	0.3518**
I*P	6	85416.5*	1.1731*	0.08719*	0.1634**	0.1748**	29.143*	0.1164**
I*M	3	11524.25 ^{ns}	2.4215**	0.1905**	0.3144**	0.1456**	20.348*	0.2841**
P*M	2	88741**	1.2876*	0.0524*	0.4517**	0.63142*	68.143*	0.3541**
I*P*M	6	2154.3 ^{ns}	0.6605 *	0.1275**	0.1124**	0.3541**	90.716**	0.2874**
L*I	3	30145.1*	0.3074 ^{ns}	0.10245**	0.0424*	0.0011 ^{ns}	110.274**	0.0164*
L*P	2	35142.8*	0.4284*	0.85031**	0.1047 *	0.0037 ^{ns}	60.389*	0.134**
L*M	1	19641 ^{ns}	1.2145*	0.10475**	0.0213*	0.0427*	715.241**	0.1647**
L*I*P	6	53214.2**	0.5241*	0.00141 ^{ns}	0.2414**	0.01426 ^{ns}	26.403*	0.1142**
L*I*M	3	11587.9 ^{ns}	0.2415*	0.01324**	0.1324**	0.00172 ^{ns}	256.418**	0.3418**
L*P*M	2	15624.3 ^{ns}	1.0554*	0.00134 ^{ns}	0.2874**	0.00031 ^{ns}	70.608*	0.6541**
L*I*P*M	6	88529.3**	2.6397**	0.001345 ^{ns}	0.1251**	0.0104 ^{ns}	40.976*	0.3741**
Error	92	20387.4	0.3451	0.00967	0.00134	0.0347	10.554	0.0034
CV		11.04	5.97	7.66	3.27	9.28	11.3	9.18

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، غیرمعنی دار*, ** and ^{ns} are significant at 5% and 1% probability level and non-significant, respectively

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات فیزیولوژیکی لوبیا چشم بلبلی.

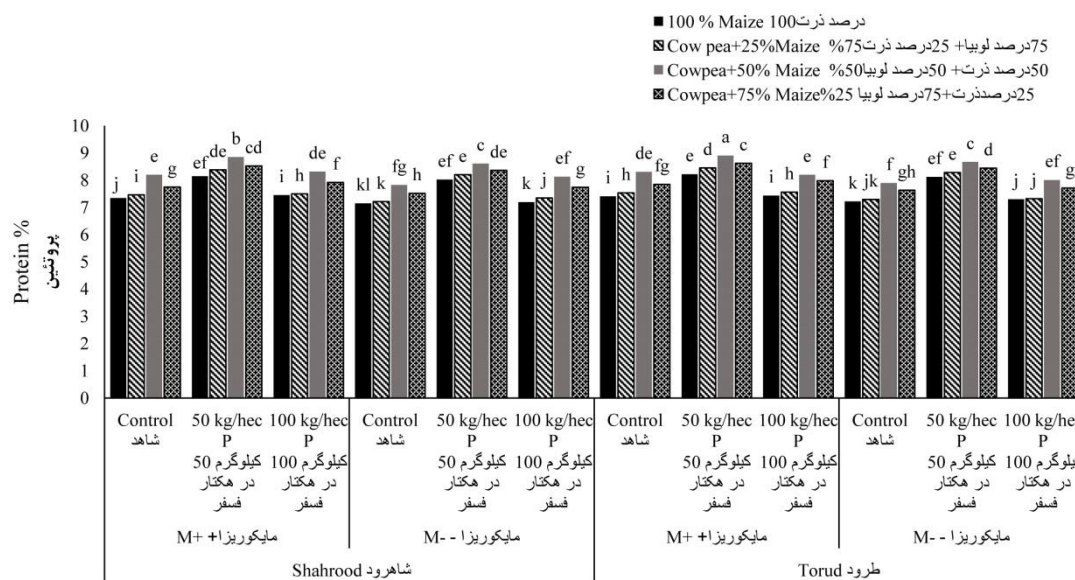
Table 4. Results of analysis of variance (mean squared) of physio-morphological traits in Cowpea.

Source	DF	Yield	Protein	T Chl	Carotenoid	LAI	Colonization
Location (L)	1	8591.7*	11.37**	2.1347**	3.145**	3.065**	1537.66**
Error ₁	4	4111	1.324	0.00614	0.0584	0.3526	28.557
Intercropping (I)	3	32414*	1.099**	1.4024**	18.528**	35.142**	418.33**
Phosphorus (P)	2	84215*	9.278**	0.6542**	4.02**	0.657*	150.78**
Mycorrhizal (M)	1	25414.11*	7.558**	0.01024*	5.114*	1.2611**	28546.74**
I*P	6	14214.2*	3.447*	0.0121*	1.375**	0.4164*	22.114*
I*M	3	9714.01 ^{ns}	6.557**	0.0342*	0.9194**	0.3516 ^{ns}	28.116*
P*M	2	56414*	5.654*	0.0214*	0.375**	1.347**	51.997*
I*P*M	6	10245.4*	1.635*	0.0133*	0.1765**	2.365**	37.31*
L*I	3	20564.1*	0.094 ^{ns}	0.1264*	0.247*	0.148 ^{ns}	78.447*
L*P	2	41112.1*	0.429*	0.0260*	0.2142*	0.357 ^{ns}	27.546*
L*M	1	41513.4 ^{ns}	2.324*	0.0141*	0.910*	0.153 ^{ns}	550.449**
L*I*P	6	24154.2**	1.63*	0.0230*	0.325**	0.124 ^{ns}	15.169 *
L*I*M	3	2112.2**	1.244*	0.0201*	0.1644**	0.136 ^{ns}	110.445**
L*P*M	2	11241**	2.185*	0.0007 ^{ns}	0.2574**	0.421*	48.225**
L*I*P*M	6	941.52*	3.96**	0.0254*	0.2592**	0.151 ^{ns}	37.664*
Error	92	5847.45	0.654	0.0014	0.00711	0.359	8.341
CV		10.25	8.9	9.5	9.15	8.65	10.11

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، غیرمعنی دار*, ** and ^{ns} are significant at 5% and 1% probability level and non-significant, respectively

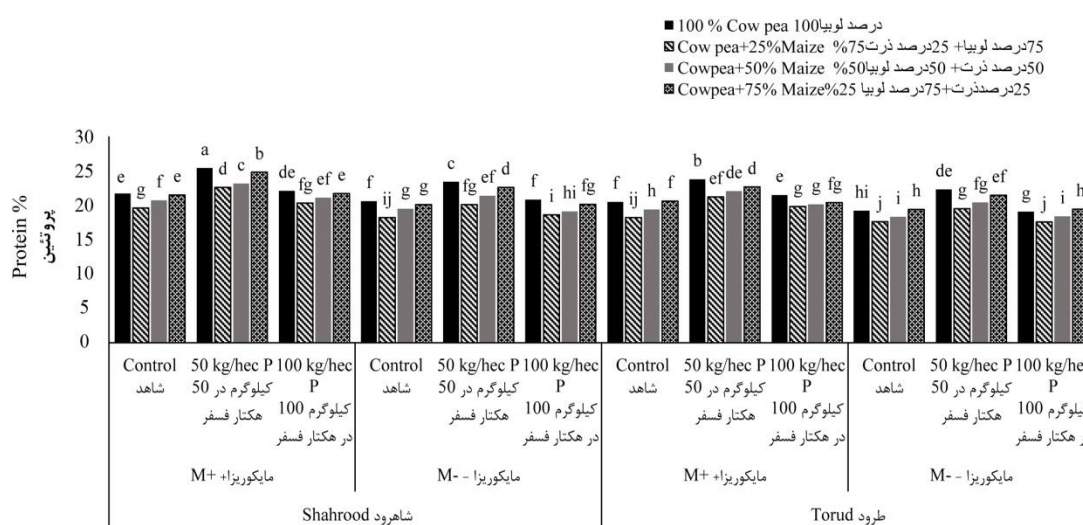
طرود به‌دست آمد (شکل ۴). فسفر نقش حیاتی در بیوستز ترکیبات بیوشیمیایی دارد و با نیتروژن هم‌افزایی می‌کند. قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار (AMF) منجر به افزایش سطح متابولیت‌های ثانویه در لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با گروه شاهد شدند، که احتمالاً به دلیل افزایش ترکیبات فیزیولوژیکی است (۱۸). در این تحقیق استفاده از قارچ میکوریزا و فسفر باعث افزایش مقدار پروتئین هر دو گیاه شد. مکمل فسفر همراه با AMF می‌تواند در دسترس بودن مواد مغذی را تغییر دهد و جذب و CO_2 را افزایش دهد. قارچ‌های میکوریزا می‌توانند با کاهش فعالیت پراکسیداز، خواص بیوشیمیایی، از جمله افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدها و فنل‌های کل را بهبود بخشند. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌توانند جذب آب و مواد مغذی را افزایش دهند و یک رابطه همزیستی با گیاهان برقرار کنند (۱۹). سیستم‌های کشت مخلوط در کشاورزی، بسته به شرایط خاص اکولوژیکی، اثربخشی قابل‌توجهی در افزایش تولید نشان داده‌اند (۲۱).

پروتئین: جدول‌های ۳ و ۴ تأثیر معنی‌دار همه تیمارها را بر میزان پروتئین ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس (جدول‌های ۳، ۴) نشان می‌دهد که نسبت کشت، مکان، کود فسفر و میکوریزا تأثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین داشتند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان پروتئین ذرت (۸/۹۱ درصد) در نسبت کشت ۵۰ درصد، استفاده از میکوریزا، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر در منطقه طرود به‌دست آمد. کم‌ترین میزان پروتئین (۷/۱۵ درصد) در عدم استفاده از فسفر، بدون تلقیح میکوریزا و نسبت کشت ۱۰۰ درصد ذرت در منطقه شاهرود به‌دست آمد (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین میزان پروتئین (۲۵/۴ درصد) در لوبیا چشم‌بلبلی در استفاده از تلقیح میکوریزا، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و نسبت کشت ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی در منطقه شاهرود به‌دست آمد. کم‌ترین میزان پروتئین (۱۷/۵۵ درصد) در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، عدم تلقیح میکوریزا و نسبت کشت ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی در منطقه



شکل ۳- اثر مکان، سطوح کشت، فسفر و میکوریزا بر پروتئین ذرت.

Fig. 3. The interaction effects of cropping ratio $\times$ phosphorus $\times$ mycorrhiza $\times$ location on protein content in Maize.
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد
In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5% level



شکل ۴- اثر مکان، سطوح کشت، فسفر و مایکوریزا بر پروتئین لوبیا چشم‌بلبلی.

Fig. 4. The interaction effects of cropping ratio $\times$ phosphorus $\times$ mycorrhiza $\times$ location on protein content in Cow-Pea.

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد
In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5% level

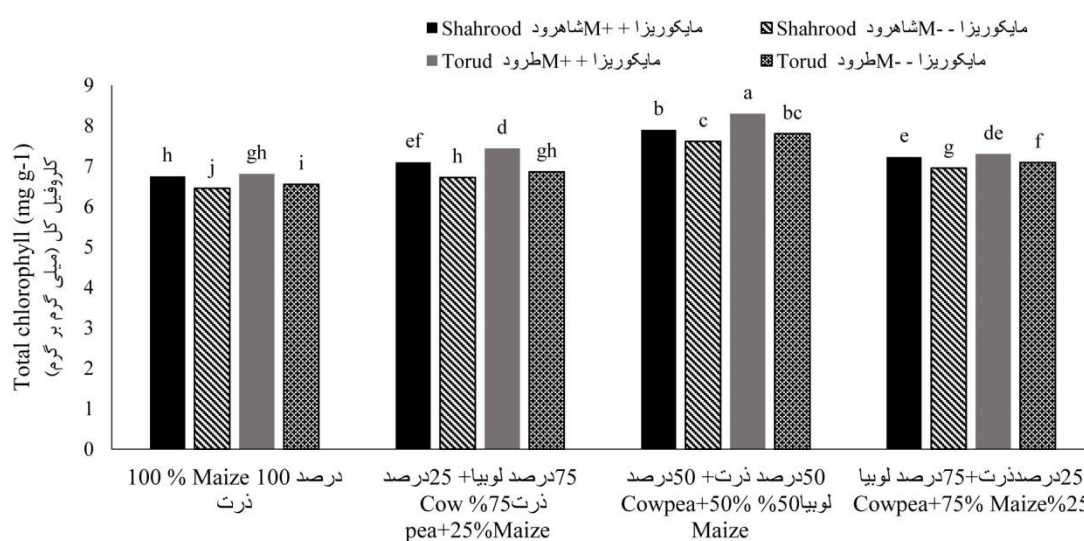
در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). تجزیه و تحلیل مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین میزان کاروتنوئیدها در لوبیا (۳/۵۶ میلی‌گرم در گرم) و ذرت (۴/۰۲ میلی‌گرم در گرم) در نسبت کشت مخلوط ۵۰ درصد لوبیا + ۵۰ درصد ذرت، همراه با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و تیمار مایکوریزا، در منطقه طرود مشاهده شد (شکل‌های ۷ و ۸).

در این مطالعه، استفاده از قارچ مایکوریزا همراه با ۵۰ کیلوگرم کود فسفر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را در هر دو گیاه را افزایش داد. بیش‌ترین میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای استفاده از قارچ مایکوریزا همراه با کود فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. طبق نتایج مطالعات سایر محققین، استفاده از قارچ مایکوریزا، سیستم ریشه گیاهان را تقویت کرده و دسترسی آن‌ها

کلروفیل کل و کاروتنوئیدها: تمام اثرات اصلی تیمارها به طور قابل‌توجهی بر محتوای رنگدانه در ذرت تأثیر گذاشت ($p < 0.001$). تیماری که بالاترین محتوای کلروفیل را در لوبیا (۲/۸۸ میلی‌گرم در گرم) و ذرت (۸/۳ میلی‌گرم در گرم) نشان داد، در ترکیب نسبت کشت ۵۰ درصد با کاربرد ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار یافت شد. در مقابل، کم‌ترین محتوای کلروفیل کل در لوبیا چشم‌بلبلی (۱/۵ میلی‌گرم در گرم) و ذرت (۶/۴۵ میلی‌گرم در گرم) در تیمار ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵ درصد ذرت، همراه با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، در منطقه طرود مشاهده شد (شکل‌های ۵ و ۶). تأثیر غلظت‌های مختلف کود فسفر، مکان‌ها و کشت مخلوط بر محتوای کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. علاوه بر این، تمام اثرات اصلی و متقابل نسبت کشت، مکان‌ها، کود فسفر و کاربرد مایکوریزا

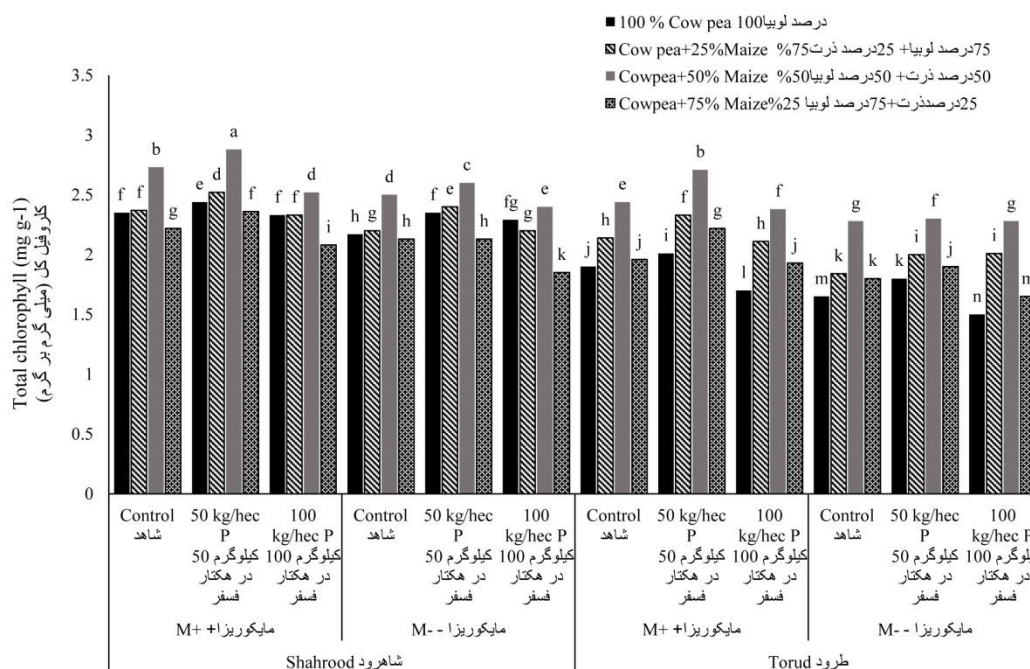
به آب و مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را که برای رشد و نمو حیاتی هستند، بهبود می‌بخشند (۱۷). آندرینو و همکاران (۲۶) وجود اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم را در محفظه‌های حاوی ارتوفسفات (OP) یا ارتوفسفات متصل به گوئیت (GOE-PA) و اسید فیتیک (PA) یا GOE-PA نشان دادند که نشان‌دهنده انحلال کاهشی و واکنش‌های تبادل/انحلال لیگاند است. ریشه‌های رشد یافته در گوئیت حاوی OP و PA، لیپیدهای غیراشباع بالایی را نشان دادند که نشان‌دهنده افزایش سیالیت غشا برای حفظ عملکرد ریشه و تسهیل ترکیب فسفر است. در حضور گیاهان، قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار (AMF) تنوع عملی از خود نشان می‌دهند و با تولید متابولیت‌ها، از جمله معدنی‌سازی فیتات، تولید سیدروفورها، انحلال فسفر و اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم، به عملکردهای محرک رشد کمک می‌کنند (۲۷). همان‌طور که سلواکومار و همکاران (۲۸) اشاره کرده‌اند، میسلیم ریزوبیوم در دریافت فسفر از اسید فیتیک نقش دارد. AMF به معدنی‌سازی فیتات کمک می‌کند و منجر به انتقال فسفر می‌شود. این مطالعات بر نقش قابل‌توجه AMF در افزایش رشد گیاه از طریق تسهیل معدنی شدن فیتات و افزایش دسترسی به فسفر تأکید دارند. در حالی که مطالعات قبلی بر مکانیسم‌های تعامل بین گیاهان و میکروب‌های مفید متمرکز بوده‌اند، تغییرات رونویسی و متابولیسم مرتبط ناشی از AMF برای کاهش اثرات شرایط نامساعد محیطی در گونه‌های

گیاهی غیر مدل به‌طور کامل روشن نشده است. ظرفیت فتوسنتزی و توانایی استفاده از مواد مغذی خاک از عوامل حیاتی هستند که بر رشد، توسعه، فعالیت‌های متابولیسمی و ترکیب اسیدهای چرب گیاهان تأثیر می‌گذارند (۲۹). لی و کای (۲۳) مشاهده کردند که افزایش حضور قارچ‌های مایکوریزا منجر به بهبود قابل‌توجه در ویژگی‌های مختلف ذرت، از جمله زیست‌توده، محتوای کلروفیل، ارتفاع گیاه و سطح برگ شده است که با نتایج ما مطابقت داشت. میسلیم قارچ‌های مایکوریزا در افزایش فعالیت فسفاتاز و فعالیت میکروبی در خاک بسیار مهم است. این قارچ‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر فراهمی فسفر در خاک دارند. قارچ‌های مایکوریزا از طریق رابطه همزیستی خود با گیاهان، به ویژه محصولات کشاورزی، رشد ریشه را افزایش داده و تبدیل فسفر معدنی به اشکال آلی را تسهیل می‌کنند. قارچ‌های مایکوریزا را می‌توان در همزیستی با طیف وسیعی از محصولات کشاورزی یافت که در سطح ریشه‌ها و درون اپیدرم سلول‌های ریشه ساکن هستند. هیف‌های قارچ‌های مایکوریزا از تارهای ریشه ظریف‌تر هستند و به آن‌ها اجازه می‌دهند تا به ریزمانافذ خاک نفوذ کرده و مواد معدنی خاصی مانند نیترات و فسفات را در ازای کربوهیدرات‌ها به گیاه میزبان خود منتقل کنند (۲۴). این با یافته‌های مطالعه حاضر همسو است. در نتیجه، گیاهان مرتبط با مایکوریزا عموماً تحمل خشکی بیش‌تری نسبت به گیاهان بدون همزیستی با مایکوریزا نشان می‌دهند (۲۵).



شکل ۵- اثر مکان، نسبت کشت و مایکوریزا بر میزان کلروفیل کل ذرت.

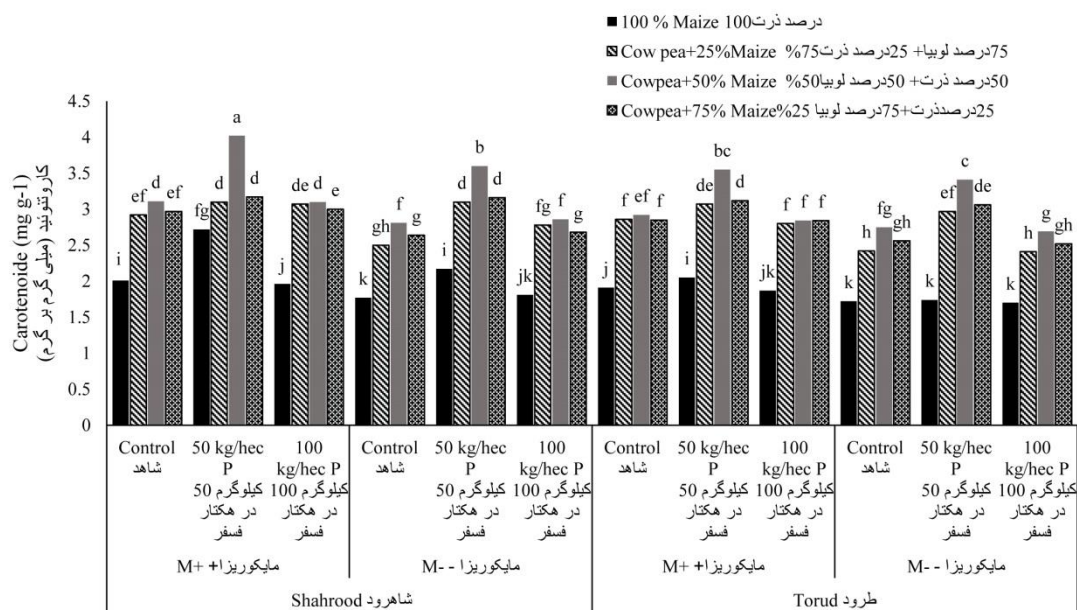
Fig. 5. The interaction effects of cropping ratio $\times$ location $\times$ mycorrhiza on total chlorophyll content in Maize.
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد
In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5% level



شکل ۶- اثر مکان، نسبت کشت، مایکوریزا و فسفر بر میزان کلروفیل کل لوبیا چشم‌بلبلی.

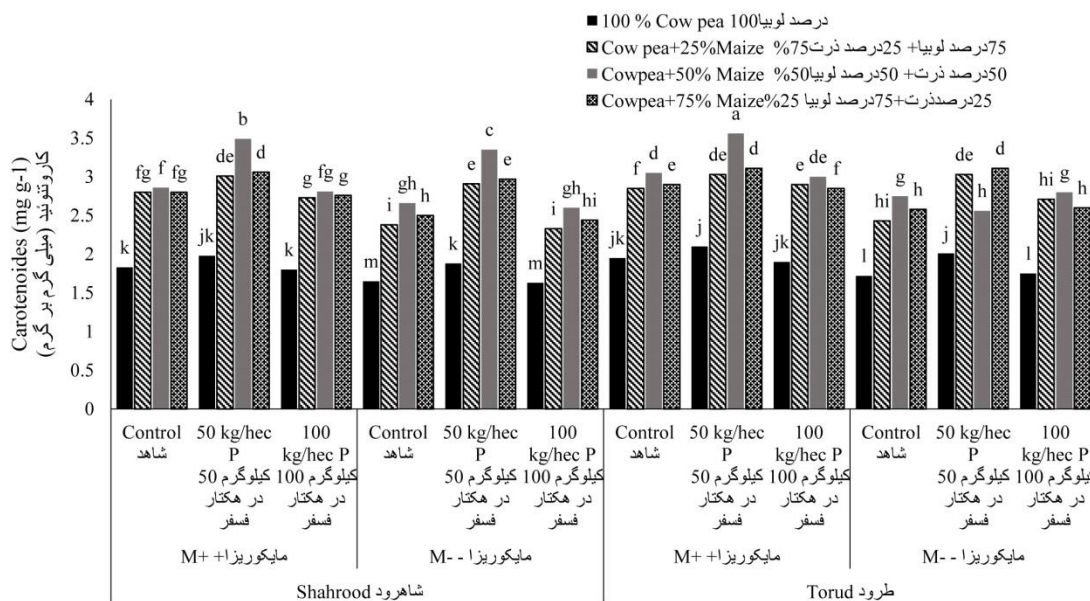
Fig. 6. The interaction effects of cropping ratio $\times$ location $\times$ mycorrhiza $\times$ phosphorus on total chlorophyll content in Cowpea.

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد
In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5% level



شکل ۷- اثر مکان، نسبت کشت، مایکوریزا و فسفر بر میزان کاروتنوئید ذرت.

Fig. 7. The interaction effects of cropping ratio $\times$ location $\times$ mycorrhiza $\times$ phosphorus on carotenoids content in Maize.
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد
In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5% level



شکل ۸- اثر مکان، نسبت کشت، مایکوریزا و فسفر بر میزان کاروتنوئید لوبیا چشم‌بلبلی.

Fig. 8. The interaction effects of cropping ratio $\times$ location $\times$ mycorrhiza $\times$ phosphorus on carotenoids content in Cowpea.
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد
In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5% level

شاخص سطح برگ (LAI): شاخص سطح برگ (LAI) در هر دو گیاه مورد مطالعه (لوبیا سبز و ذرت) در تمام تیمارهای آزمایش، ابتدا با سرعت کمی در مرحله اولیه رشد افزایش یافت و حدود ۲۵ تا ۳۰ روز پس از کاشت وارد فاز رشد خطی شد (شکل ۹). شاخص سطح برگ ۵۰ تا ۶۰ روز پس از کاشت به حداکثر خود رسید و سپس شروع به کاهش کرد، روندی که تا پایان فصل رشد ادامه یافت. نتایج نشان داد که در بین تیمارهای مختلف، بالاترین شاخص سطح برگ ذرت در تیمار نسبت کشت ۱۰۰ درصد ذرت و کمترین آن در تیمار نسبت کشت ۲۵ درصد ذرت و ۷۵ درصد لوبیا به دست آمد. در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی، بالاترین مقدار این صفت در نسبت کشت ۱۰۰ درصد لوبیا مشاهده شد. همان‌طور که نتایج نشان داد، اگرچه کاهش سطح برگ برای هر دو گیاه در آرایش‌های کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص آن‌ها مشاهده شد، اما شاخص سطح برگ حاصل از کانونی کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بود. حداکثر شاخص سطح برگ برای ذرت و لوبیا در تیمار کشت خالص به ترتیب تقریباً ۳ و ۱/۷ بود. بالاترین شاخص سطح برگ در هر دو گونه (کشت مخلوط) با ۳/۸ در نسبت کشت ۵۰ درصد مشاهده شد. شاخص سطح برگ در نسبت کشت ۵۰ درصد در مقایسه با کشت انفرادی حدود ۲۷ درصد افزایش یافت. به‌طور کلی، کشت‌های تک‌محصولی لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی با سایر محصولات، دارای شاخص سطح برگ بالاتری بودند. مطالعات انجام شده در کشورهای جنوب صحرای آفریقا (SSA) در مورد کشت مخلوط ذرت-لوبیا چشم‌بلبلی، شاخص سطح برگ پایین لوبیا چشم‌بلبلی را گزارش کرده‌اند که عمدتاً به سایه‌اندازی ذرت نسبت داده می‌شود، به ویژه هنگامی که لوبیا چشم‌بلبلی به طور هم‌زمان با ذرت کاشته شد.

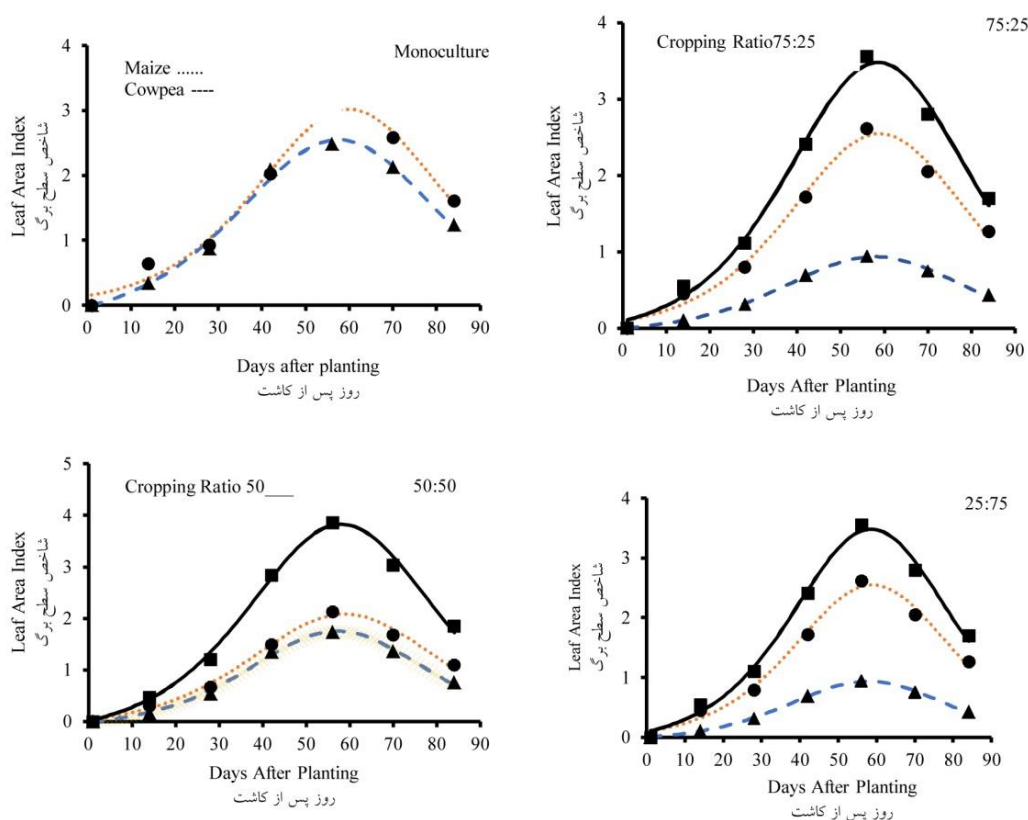
علاوه بر این، استفاده کارآمد از نور و فضا توسط گیاهان ذرت می‌تواند کاهش شاخص سطح برگ چشم‌بلبلی در کشت مخلوط را اعث شود. این دو محصول ارتفاع رشد متفاوتی دارند که امکان استفاده کارآمدتر از نور خورشید موجود را فراهم می‌کند. ذرت، به‌عنوان محصول بلندتر، می‌تواند سایه ایجاد کند و رقابت برای نور را کاهش دهد، که این امر عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی را به خطر می‌اندازد (۴۲).

نسبت برابری زمین (LER): تمام اثرات انفرادی تیمارها، شامل تلقیح مایکوریزا، کاربرد کود فسفر، نسبت کشت و مکان، تأثیر معنی‌داری ($p < 0.001$) بر نسبت برابری زمین در هر دو گیاه نشان دادند (جدول‌های ۳، ۴). تجزیه و تحلیل مقایسه میانگین نشان داد که بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۷۲) در نسبت کشت ۷۵ درصد ذرت و ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی با کاربرد فسفر (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و با استفاده از قارچ مایکوریزا آربوسکولار رخ داده است. در مقابل، کمترین نسبت برابری زمین (۰/۴۹) در نسبت کشت ۲۵ درصد ذرت / ۷۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی بدون کاربرد فسفر و قارچ مایکوریز آربوسکولار در مکان طرود مشاهده شد (شکل ۱۰).

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که نسبت برابری زمین (LER) در کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی با ذرت در دو مکان از یک بیش‌تر بود. بالاترین مقادیر LER در استفاده از مایکوریزا و تیمار کود فسفر در هر دو مکان به دست آمد. نسبت برابری زمین (LER) روشی برای ارزیابی اثربخشی سیستم‌های کشت مخلوط است و به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری مزایای این سیستم‌ها بر عملکرد ترکیبی محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. این نسبت به‌عنوان مساحت نسبی زمین تحت کشت خالص مورد نیاز برای دستیابی به عملکرد حاصل از کشت مخلوط تعریف می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر LER

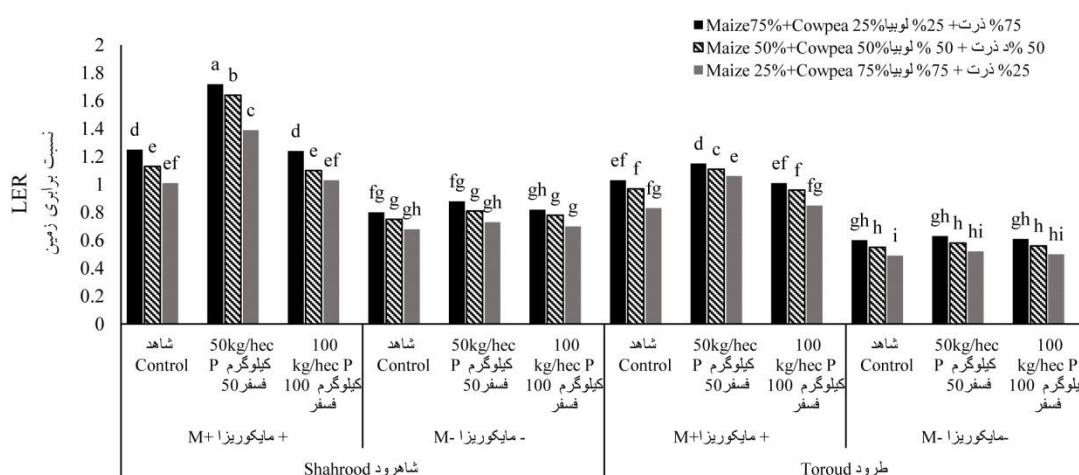
می‌شوند، نشان دادند که کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی عملکرد را در مقایسه با کشت خالص افزایش می‌دهد (۴۶). کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی منجر به رقابت برای نور، آب و مواد معدنی می‌شود. رشد ارتفاع ذرت و فتوستز کارآمد آن، به آن مزیت رقابتی نسبت به گیاه کوتاه‌تر لوبیا چشم‌بلبلی می‌دهد که در کشت مخلوط نور کم‌تری دریافت می‌کنند. این می‌تواند بهره‌وری لوبیا چشم‌بلبلی را در مقایسه با کشت خالص کاهش دهد. سیستم ریشه‌ای گسترده ذرت همچنین به آن کمک می‌کند تا آب و مواد مغذی را بهتر جذب کند و رشد لوبیا چشم‌بلبلی را بیش‌تر به چالش بکشد (۴۷).

در سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بالا است و الگوهای کاشت بر بازده ناخالص تأثیر می‌گذارند. این یافته‌ها با یافته‌های گزارش شده توسط ابو خضرا و همکاران (۴۸) و رحمان و همکاران (۴۹) که مزایای استفاده از زمین در کشت مخلوط ذرت-سویا را مطالعه کردند، مطابقت دارد. این یافته‌ها با مطالعات قبلی احمد و همکاران (۳۲)، دهمرده و همکاران (۳۳)، مهدی و همکاران (۳۴)، زن و همکاران (۳۵) و وزیری و همکاران (۳۶) همسو است. نسبت برابری زمین (LER) نشان‌دهنده بهبود عملکرد در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است. شاخص‌های رقابتی LER که براساس عملکرد دانه محاسبه



شکل ۹- اثر نسبت کشت روی شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی.

Fig. 9. The effect of cropping ratio, on LAI in Maize and Cowpea.



شکل ۱۰- اثر مکان، نسبت کشت، فسفر و مایکوریزا روی نسبت برابری زمین.

Fig. 10. The interaction effects of cropping ratio $\times$ phosphorus $\times$ mycorrhiza $\times$ location on LER.

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد

In each column, the averages with different letters indicate the presence of a significant difference using the LSD method at the 5 % level

مورفولوژیکی افزایش داد. قارچ مایکوریزا به‌طور قابل‌توجهی فعالیت میکروبی ریزوسفر، فعالیت فسفاتاز و فسفر موجود در خاک را افزایش داد و گیاهان را قادر به فعال کردن و جذب فسفر بیش‌تر کرد. نتایج نشان می‌دهد که قارچ مایکوریزا نقش‌های متنوعی در بهینه‌سازی استراتژی‌های گیاه برای جذب و استفاده کارآمد از فسفر ایفا می‌کند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج کلی، تلقیح قارچ مایکوریزا و کاربرد فسفر، صفات مورد ارزیابی را افزایش داد. تیمارهایی که ترکیبی از قارچ مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بودند، بیش‌ترین تأثیر را داشتند. کوددهی فسفر، رابطه همزیستی گیاه-قارچ مایکوریزا را بهینه کرد و تلقیح قارچ مایکوریزا را بهبود بخشید. این امر عملکرد رشد گیاه را از نظر فیزیولوژیکی و

منابع

- Haripo, T. T., Makuvaro, V., Madanzi, T., & Sakadzo, N. (2023). Effect of plant population and row orientation on crop yield under sorghum-cowpea intercropping systems in semi-arid Zimbabwe. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. 7(1), 41-48.
- Pernet, C. A., & Ribl Forclaz, A. (2019). Revisiting the Food and Agriculture Organization (FAO): international histories of agri-culture, nutrition, and development. *The International History Review*. 41(2), 345-350 .
- Panzeri, D., Guidi Nissim, W., Labra, M., & Grassi, F. (2022). Revisiting the Domestication Process of African Vigna Species (Fabaceae): Background, Perspectives and Challenges. *Plants (Basel)*. 16; 11(4):532.
- El-Shamy, M., Tamer, E. G., Sayed, M. R. S., & El-Sanasy, H. (2022). Evaluating the efficiency of intercropping systems for three maize hybrids with cowpea on yield productivity and net profit. *Middle East Journal of Agriculture Research*. 11(04), 1050-1063.

5. Mohamed Ahmed, I. A., Al Juhaimi, F., & Özcan, M. M. (2021). Insights into the nutritional value and bioactive properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*): Past, present and future prospective. *International Journal of Food Science & Technology*. 56(8), 3726-3741 .
6. Yin, X., Song, Z., Shi, S., Bai, Z., Jiang, Y., Zheng, A., ... & Chen, F. (2024). Developments and prospects of multiple cropping in China. *Farming System*. 2(2), 100083.
7. Kyei-Boahen, S., Savala, CEN., Chikoye, D ,& Abaidoo, R. (2017). Growth and Yield Responses of Cowpea to Inoculation and Phosphorus Fertilization in Different Environments. *Front. Plant Sci*. 8, 646.
8. Islam, M. R., Sarker, U., Azam, M. G., Hossain, J., Alam, M. A., Ullah, R., & Islam, M. S. (2024). Potassium augments growth, yield, nutrient content, and drought tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek.). *Scientific Reports*, 14(1), 9378.
9. Timofeeva, A., Galyamova, M., & Sedykh, S. (2022). Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture. *Plants*. 11(16), 2119.
10. Wei-ge, H. U. O., Xiao-fen, C. H. A. I., Xi-he, W. A. N. G., William-David, O. R., Arjun, K. A. F. L. E., & Gu, F. E. N. G. (2022). Indigenous arbuscular mycorrhizal fungi play a role in phosphorus depletion in organic manure amended high fertility soil. *Journal of Integrative Agriculture*. 21,(10), 3051-3066.
11. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Habibi Machiani, R., & Sadeghpour, A. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and changes in primary and secondary metabolites. *Plants*. 11(17), 2183.
12. El-Sawah, A. M., El-Keblawy, A., Ali, D. F. I., Ibrahim, H. M., El-Sheikh, M. A., Sharma, A., ... & Sheteiwy, M. S. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria enhance soil key enzymes, plant growth, seed yield, and qualitative attributes of guar. *Agriculture*. 11(3), 194.
13. Amonsou, E. O., Taylor, J. R., Beukes, M., & Minnaar, A. (2012). Composition of marama bean protein. *Food Chemistry*, 130(3), 638-643.
14. Shin, Y K., Bhandari, R. R., Jo, J. S., Song, J. W., Cho, M. C., Yang, E. Y., & Lee, J. G. (2020). Response to Salt Stress in Lettuce: Changes in Chlorophyll Fluorescence Parameters, Phytochemical Contents and Antioxidant Activities. *Agronomy*, 10(11), 1627.
15. Rezaei Chianeh, E., Khorramdel, S., & Garachali, P. (2015). Evaluation of relay intercropping of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) on their yield and land use efficiency. *Agriculture Crop Management*, 17(1), 183-196.
16. Philips, J., & Hayman, D. (1970). Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Journal of Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161.
17. Qin, Y., Yan, Y., Cheng, L., Lu, Y., Chen, J., Liu, F., & Tan, J. (2023). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobium Facilitate Nitrogen and Phosphate Availability in Soybean/Maize Intercropping Systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 2723-2731.
18. Etesami, H., Jeong, B. R., & Glick, B. R. (2021). Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Phosphate-Solubilizing Bacteria, and Silicon to P Uptake by Plant. *Front Plant Science*, 1,12, 699618.
19. Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Khizar, C., & Reddy, SPP. (2023). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. *Plants* (Basel), 12(17), 3102.

20. Kaur, H., Singh, S., & Kumar, P. (2023). Reconditioning of plant metabolism by arbuscular mycorrhizal networks in cadmium contaminated soils: Recent perspectives. *Microbiological Research*, 268, 127293.
21. Glaze-Corcoran, S., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Afshar, R. K., Liu, X., & Herbert, S. J. (2020). Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Advances in agronomy*, 162, 199-256.
22. Koca, Y. O. (2021). Determination of the forage yield and growth parameters of maize (*Zea mays* L.) with quinoa (*Chenopodium quinoa*) intercropping at different plant mixtures. *Turkish Journal of Field Crops*. 26(1), 44-53.
23. Li, M., & Cai, L. (2021). Biochar and arbuscular mycorrhizal fungi play different roles in enabling maize to uptake phosphorus. *Sustainability*, 13(6), 3244.
24. Ren, A. T., Zhu, Y., Chen, Y. L., Ren, H. X., Li, J. Y., Abbott, L. K., & Xiong, Y. C. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungus alters root-sourced signal (abscisic acid) for better drought acclimation in *Zea mays* L. seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 167, 103824.
25. Smith, S. E., Facelli, E., Pope, S., & Andrew Smith, F. (2010). Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil*, 326, 3-20.
26. Andrino, A., Guggenberger, G., Kernchen, S., Mikutta, R., Sauheitl, L., & Boy, J. (2021). Production of organic acids by arbuscular mycorrhizal fungi and their contribution in the mobilization of phosphorus bound to iron oxides. *Frontiers in Plant Science*, 12, 661842.
27. Battini, F., Cristani, C., Giovannetti, M., & Agnolucci, M. (2016). Multifunctionality and diversity of culturable bacterial communities strictly associated with spores of the plant beneficial symbiont *Rhizophagus intraradices*. *Microbiological Research*, 183, 68-79.
28. Selvakumar, G., Krishnamoorthy, R., Kim, K., & Sa, T. M. (2016). Genetic diversity and association characters of bacteria isolated from arbuscular mycorrhizal fungal spore walls. *PLoS One*, 11(8), e0160356.
29. Hara, S., & Saito, M. (2016). Isolation of inositol hexaphosphate (IHP)-degrading bacteria from arbuscular mycorrhizal fungal hyphal compartments using a modified baiting method involving alginate beads containing IHP. *Microbes and Environments*, 31(3), 234-243.
30. Kyei-Boahen, S., Savala, C. E., Chikoye, D., & Abaidoo, R. (2017). Growth and yield responses of cowpea to inoculation and phosphorus fertilization in different environments. *Frontiers in Plant Science*, 8, 646.
31. El-Shamy, M. A., El-Mansoury, M. A., El-Bialy, M. A., Helmy, M. H., & Hassan, A. F. (2021). Response of maize to different intercropping systems and different sowing dates of cowpea. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 36(1), 169-180.
32. Ghanbari, A., Dahmardeh, M., Siahars, B. A., & Ramroudi, M. (2010). Effect of maize (*Zea mays* L.)-cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping on light distribution. soil temperature and soil moisture in arid environment. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 8, 102-108.
33. Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syahsar, B. A., & Ramrodi, M. (2010). The role of intercropping maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. *African Journal of Agricultural Research*, 5(8), 631-636.
34. Mahdy, A. Y., & El-Said, M. A. A. (2017). Effect of intercropping and cutting date for guar on soybean yield.

- International Journal of Agriculture and Economic Development*, 5(2), 82-102.
35. Zen El-Dein, A. A., Koriem, M. H., Alsubeie, M. S., Alsalmi, R. A., Masrahi, A. S., Al-Harbi, N. A., ... & Hefny, Y. A. (2022). Effect of mycorrhiza fungi, preceding crops, mineral and bio fertilizers on maize intercropping with cowpea. *Agriculture*, 12(11), 1934.
 36. Vaziri, E., Dahmardeh, M., & Khammari, I. (2023). The Evaluation of Planting Direction on the Consumption of Resources and Soil Nutrients in Sunflower (*Helianthus annus* L.) and CowPea (*Phaseolus vulgaris* L.) *Intercropping*, 81.
 37. Brhane, G., Redae, M., Tekulu, N., Mokenen, D., Girmay, B., Fisseha, K., & Tekle, D. (2024). Enhancing the Production and Productivity of Irrigable Land through Pre-extension Demonstration of Intercropping of Cowpea with Maize in the Case of the Central Zone of Tigray, Ethiopia. *Asian Journal of Research and Review in Agriculture*, 586-592.
 38. Adebayo, A. K., Anjorin, F. B., Olanipekun, S. O., Aluko, O. A., & Adewumi, A. D. (2024). Performances of Maize Grown as Intercrop with Cowpea under Different Planting Patterns. *Journal of Applied Sciences and Environmental Managemen*, 28(7), 2033-2040.
 39. Khonde, P., Congo, R. D., Tshiabukole, K., Congo, R. D., Kankolongo, M., Congo, R. D., & Nkongolo, K. (2018). Evaluation of yield and competition indices for intercropped eight maize varieties, soybean and cowpea in the zone of savanna of South-West RD Congo. *Open Access Library Journal*, 5(01), 1.
 40. Arif, M., Kumar, A., & Pourouchottamane, R. (2024). Intercropping of maize and cowpea for enhancing productivity, profitability and land use efficiency. *Bangladesh Journal of Botany*, 53(2), 235-242.
 41. Kombat, R. K., Gyasi Santo, K., Atakora, K., & Khalid, A. A. (2024). Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)-maize (*Zea mays* L.) intercropping and fertilizer application affected maize yield and yield components in Guinea Savannah agro-ecological zone of Ghana. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 70(1), 1-19.
 42. Coulibaly, Y. N., Tondoh, E. J., Bonny, B. S., Neya, B. J., Koffi, K. K., & Bi, I. A. Z. (2024). Assessment of maize-cowpea intercropping response to row orientation in diverse agro-ecologies of Côte d'Ivoire. *Discover Agriculture*, 2(1), 23.
 43. El-Shamy, M., Tamer, E. G., Sayed, M. R. S., & El-Sanasy, H. (2022). Evaluating the efficiency of intercropping systems for three maize hybrids with cowpea on yield productivity and net profit. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 11(04), 1050-1063.
 44. Mohanty, M. (2024). Nutrient Management in Maize and Cowpea Intercropping System: A Review. *International Journal of Plant & Soil Scienc*, 36(8), 508-517.
 45. Kussie, B., Tadele, Y., & Asresie, A. (2024). Effect of maize (*zea mays* l.) and cowpea (*vigna unguiculata* l.) intercropping on agronomic performance, yield and nutritional values of maize and cowpea under supplementary irrigation. *Heliyon*, 10, 21, e39817.
 46. Dimande, P., Arrobas, M., & Rodrigues, M. Â. (2024). Intercropped maize and cowpea increased the land equivalent ratio and enhanced crop access to more nitrogen and phosphorus compared to cultivation as sole crops. *Sustainability*, 16(4), 1440.
 47. Justes, E., Bedoussac, L., Dordas, C., Frak, E., Louarn, G., Boudsocq, S., Journet, E.P., Lithourgidis, A., Pankou, C., & Zhang, C. (2021). The 4C approach as a way to understand species interactions determining intercropping

- productivity. *Fronties Agricultural Science Engineering*, 8, 387-399.
48. Abou Khadra, S. H., Shaimaa, A. E. B., Salah, E. A. T., & Dina, E. E. E. (2013). Effect of intercropping wheat with sugar beet on their productivity and land use. *Journal of Agricultural Research*, 39, 37-53 .
49. Rahman, T., Liu, X., Hussain, S., Ahmed, S., Chen, G., Yang, F., & Yang, W. (2017). Water use efficiency and evapotranspiration in maize-soybean relay strip intercrop systems as affected by planting geometries. *PloS one*, 12(6), e0178332.

