

The Effect of Mixed Cropping of Pinto Bean and Buckwheat on Nutrient Uptake, Beneficial Indices, and Weed Suppression under Mycorrhizal Inoculation Conditions

Marzieh Taheri¹, Alireza Yadavi^{2*}, Mohsen Movahhedi Dehnavi³,
Hamidreza Balouchi⁴, Hamid Alahdadi⁵

¹ M.Sc. Graduate in Agrotechnology – Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Marziyeh_12@yahoo.com

² (Corresponding author) Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Yadavi@yu.ac.ir

³ Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Movahhedi1354@yu.ac.ir

⁴ Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Balouchi@yu.ac.ir

⁵ M.Sc. Graduate in Agrotechnology – Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: hamid.alahdadi@gmail.com

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Full Paper

Article history:
2025-10-25
2025-12-26

Keywords:
Weed biomass
Harvest index
Beneficial indices
Additive
intercropping
Biofertilizer

Background and Objectives: Modern agriculture faces challenges such as soil fertility depletion and limited water resources. Therefore, the adoption of sustainable cropping systems is essential. Mixed cropping, by enhancing biodiversity, optimizes resource use and reduces weed pressure. The mixed cropping of pinto bean (with nitrogen-fixing ability) and buckwheat (with rapid growth and high competitive ability) can improve productivity, quality, and agricultural sustainability. Furthermore, mycorrhizal fungi, as a biological fertilizer, enhance nutrient uptake and increase plant tolerance. The present study was conducted to evaluate the impact of mixed cropping of pinto bean–buckwheat and mycorrhizal inoculation on crop performance, plant nutrition, and biological weed control.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a 2-factorial experiment in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in 2023. The first factor consisted of cropping patterns (pure pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) without weed control, pure pinto bean with weed control, pure buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) without weed control, and mixed pinto bean with 30%, 60%, and 90% buckwheat density without weed control). The second factor was the application of mycorrhizal inoculant versus no inoculant. Nutrient uptake, yield of both crops, weed biomass, land equivalent ratio (LER), and the increase or decrease in actual yield were then assessed.

Results: The results showed that the highest nutrient uptake and the greatest pinto bean yield were obtained from the pure pinto bean crop with weed control. Among the mixed cropping treatments, the combination of pinto bean with 60% buckwheat density without weed control had higher yield than the other treatments. For buckwheat, the highest yield was achieved from the pure buckwheat crop without weed

control, followed by the mixed cropping of pinto bean with 90% buckwheat density. Increasing the buckwheat density in the mixed cropping system significantly reduced weed biomass, indicating the high competitive ability of buckwheat in weed suppression. The application of mycorrhizal fungi also had a positive effect on nutrient uptake, improved pinto bean and buckwheat yields, and reduced weed biomass. The land equivalent ratio (LER) in all mixed cropping patterns evaluated in this study was greater than one, indicating the superiority of mixed cropping over pure cropping in terms of resource use efficiency and production sustainability.

Conclusion: This study demonstrated that mixed cropping of pinto bean with 60% buckwheat density, combined with mycorrhizal inoculation, can be an effective approach to reduce weed biomass, enhance nutrient uptake, improve yields, and increase beneficial indices. This cropping combination not only contributes to the sustainability of pinto bean production but also presents an environmentally friendly and sustainable solution for weed management and optimal resource utilization in sustainable agriculture.

Cite this article: Taheri, M., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., Blouchi, H., Alahdadi, H. The effect of mixed cropping of pinto bean and buckwheat on nutrient uptake, beneficial indices, and weed suppression under mycorrhizal inoculation conditions. *Crop Production Journal*, 19(1), 155-179.



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2026.24204.2721](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.24204.2721)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



اثر کشت مخلوط لوبیا چیتی و گندم سیاه بر جذب عناصر غذایی، شاخص‌های سودمندی و مهار علف‌های هرز در شرایط کاربرد مایکوریزا

مرضیه طاهری^۱، علیرضا یدوی^{۲*}، محسن موحدی دهنوی^۳، حمیدرضا بلوچی^۴، حمید اله‌دادی^۵

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

رایانامه: marziyeh_12@yahoo.com

^۲(نویسنده مسئول) استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: yadavi@yu.ac.ir

^۳استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: movahhedi1354@yu.ac.ir

^۴استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: balouchi@yu.ac.ir

^۵دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

رایانامه: hamid.alahdadi@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
سابقه و هدف: امروزه کشاورزی با چالش‌هایی مانند کاهش حاصلخیزی خاک و محدودیت منابع آب مواجه است، بنابراین بهره‌گیری از الگوهای کشت پایدار ضروری به نظر می‌رسد. کشت مخلوط با افزایش تنوع زیستی موجب بهره‌وری مطلوب از منابع و کاهش فشار علف‌های هرز می‌شود. کشت مخلوط لوبیا چیتی (با توان تثبیت نیتروژن) و گندم سیاه (با رشد سریع و قدرت رقابتی بالا) می‌تواند عملکرد، کیفیت و پایداری زراعی را ارتقا دهد. همچنین، قارچ مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی، باعث بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش تحمل گیاه می‌شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر کشت مخلوط لوبیا چیتی-گندم سیاه و تلقیح مایکوریزا بر عملکرد، تغذیه گیاه و کنترل زیستی علف‌های هرز انجام شد.	نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۶
مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. عامل اول آزمایش الگوهای کشت (کشت خالص لوبیا چیتی (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) بدون کنترل علف‌های هرز، کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف‌های هرز، کشت خالص گندم سیاه (<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench.) بدون کنترل علف‌های هرز، کشت مخلوط لوبیا چیتی با ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد تراکم گندم سیاه بدون کنترل علف‌های هرز) و عامل دوم شامل کاربرد و عدم کاربرد کود زیستی مایکوریزا بود. در ادامه میزان جذب عناصر غذایی، عملکرد هر دو گیاه، زیست‌توده علف‌های هرز، نسبت برابری زمین و کاهش یا افزایش عملکرد واقعی ارزیابی شد.	واژه‌های کلیدی: زیست‌توده‌ی علف‌های هرز شاخص برداشت شاخص سودمندی کشت مخلوط افزایشی کود زیستی
یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیشترین مقدار عناصر غذایی و بالاترین عملکرد لوبیا چیتی از کشت خالص این گیاه همراه با کنترل علف‌های هرز به دست آمد. در میان تیمارهای مخلوط، ترکیب لوبیا چیتی با ۶۰ درصد تراکم گندم سیاه بدون کنترل علف‌های هرز عملکرد بالاتری نسبت به سایر	

تیمارهای مخلوط داشت. در مورد گندم سیاه، کشت خالص بدون کنترل علف‌های هرز بیشترین عملکرد را ایجاد کرد و پس از آن کشت مخلوط لوبیا چیتی با ۹۰ درصد تراکم گندم سیاه در رتبه بعدی قرار گرفت. افزایش تراکم گندم سیاه در کشت مخلوط منجر به کاهش چشمگیر زیست‌توده علف‌های هرز گردید که این امر بیانگر توان رقابتی بالای گندم سیاه در کنترل علف‌های هرز است. کاربرد قارچ مایکوریزا نیز تأثیر مثبت بر افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود عملکرد لوبیا چیتی و گندم سیاه و کاهش زیست‌توده علف‌های هرز داشت. شاخص نسبت برابری زمین در تمامی الگوهای کشت مخلوط مورد ارزیابی در این آزمایش بیش از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از نظر کارایی استفاده از منابع و پایداری تولید است.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد که کشت مخلوط افزایشی لوبیا چیتی با تراکم ۶۰ درصد گندم سیاه همراه با کاربرد قارچ مایکوریزا می‌تواند رویکردی مؤثر برای کاهش زیست‌توده علف‌های هرز، افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود عملکرد و ارتقای شاخص‌های سودمندی باشد. این ترکیب زراعی نه تنها به افزایش پایداری تولید لوبیا چیتی کمک می‌کند، بلکه به‌عنوان راهکاری زیست‌سازگار و پایدار برای مدیریت علف‌های هرز و بهره‌برداری بهینه از منابع در کشاورزی پایدار پیشنهاد می‌شود.

استاد: طاهری، م.؛ یدوی، ع.؛ موحدی دهنوی، م.؛ بلوچی، ح.؛ اله دادی، ح. (۱۴۰۵). اثر کشت مخلوط لوبیا چیتی و گندم سیاه بر جذب عناصر غذایی، شاخص‌های سودمندی و مهار علف‌های هرز در شرایط کاربرد مایکوریزا. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۹ (۱)، ۱۷۹-۱۵۵.



10.22069/ejcp.2026.24204.2721

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

رقابت علف‌های هرز و ظهور علف‌های هرز مقاوم در برابر علف‌کش‌ها، چالش‌های عمده‌ای در کشاورزی مدرن ایجاد کرده‌اند و وابستگی به نهاده‌های شیمیایی را تشدید نموده است. این وضعیت، نیاز مبرم به توسعه رویکردهای بوم‌شناختی و پایدار برای مدیریت علف‌های هرز و ارتقاء کارایی جذب منابع را برجسته می‌سازد (۱). کشت مخلوط به‌عنوان یک راهبرد مؤثر بوم‌شناختی، با بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع (نور، آب و عناصر غذایی)، توان رقابت گیاهان زراعی را در مقابل علف‌های هرز افزایش می‌دهد (۲). کشت مخلوط باعث کاهش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز می‌شود، همچنین به واسطه پوشش گیاهی متراکم و توسعه ریشه‌ای گسترده‌تر، منجر به بهبود کارایی جذب عناصر غذایی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از اتلاف عناصر می‌شود (۳). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار به‌عنوان یک جایگزین کارآمد به‌جای کودهای شیمیایی هستند (۴). میکوریزا با گسترش میسلیوم، سطح جذب ریشه را افزایش داده و دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی، به‌ویژه در خاک‌های کم‌بازده را بهبود می‌بخشد (۵).

مطالعات پیشین، کارایی مؤثر کشت مخلوط در مدیریت رقابت با علف‌های هرز و استفاده بهینه از عناصر غذایی را تأیید می‌کنند. کاهش رقابت علف‌های هرز در کشت مخلوط منجر به افزایش جذب عناصر غذایی در کنگد و لوبیا قرمز شد (۶). افزایش تراکم در کشت مخلوط، موجب کاهش معنی‌دار زیست‌توده علف‌های هرز می‌شود (۷). همچنین، کشت مخلوط سودمندی‌های زراعی را با افزایش نسبت برابری زمین برای ریحان-لوبیا چشم‌بلبلی (۱۰۰:۲۵ و ۱۰۰:۵۰) نشان داده است (۸). الگوی ذرت شیرین با ۴۰ درصد ماش بالاترین

عملکرد دانه و کاهش زیست‌توده علف‌های هرز را موجب شد (۹). کاربرد مایکوریزا در کشت مخلوط نخود-کاسنی، جذب عناصر غذایی این گیاهان را بهبود بخشید و همزمان جذب عناصر توسط علف‌های هرز را کاهش داد (۱۰). قارچ *Funneliformis mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßlere در کشت مخلوط کتان روغنی و شنبلیله، منجر به بالاترین جذب آهن و روی شد (۱۱). این همزیستی، افزایش تجمع ماده خشک و عملکرد دانه نخود را فراهم کرد (۱۰). همچنین تلقیح نخود با مایکوریزا، غلظت نیتروژن برگ را به‌طور محسوسی افزایش داد (۱۲).

لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) از خانواده بقولات، به واسطه توانایی تثبیت نیتروژن هوا، نقشی کلیدی در افزایش پایداری کشت‌های مخلوط دارد (۱۳). گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum* L.) از خانواده Polygonaceae نیز به دلیل ارزش غذایی بالا و پتانسیل قوی برای رقابت با علف‌های هرز، در کشت‌های مخلوط مورد توجه است (۱۴). پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کشت مخلوط لوبیا چیتی-گندم سیاه و کاربرد قارچ مایکوریزا بر الگوی جذب عناصر غذایی، وزن خشک علف‌های هرز و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط، در منطقه آباده انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در خرداد ماه ۱۴۰۲ در شهرستان آباده، استان فارس، با مختصات ۳۸°۵۲' طول شرقی و ۳۹°۳۱' عرض شمالی با ارتفاع ۲۰۳۰ متر از سطح دریا، به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل دو عاملی و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل شش الگوی کشت بود: تک‌کشتی لوبیا چیتی (با و بدون وجین دستی)، کشت مخلوط افزایشی لوبیا

مربع (با فواصل بین ردیف ۳۰ سانتی متر و بین بوته ۵/۵ سانتی متر) تنظیم شد. در الگوی کشت مخلوط افزایشی، شش ردیف کامل لوبیا چیتی کشت و ردیف‌های گندم سیاه به صورت میانی جای‌گذاری شدند. فاصله بین بوته‌های گندم سیاه در تیمارهای افزایشی ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ به ترتیب ۱۸/۳۳، ۹/۱۷ و ۶/۱۱ سانتی متر تنظیم شد. مزرعه به صورت آبیاری قطره‌ای مدیریت گردید. عملیات وجین دستی علف‌های هرز تنها در تیمار کنترل (کشت خالص لوبیا چیتی) و مطابق با مراحل رشدی انجام شد، در حالی که در سایر تیمارهای فاقد وجین، علف‌های هرز در تمام طول فصل رشد به رقابت با گیاهان زراعی پرداختند. کود مایکوریزا با تراکم ۱۲۰ اسپور بر گرم، تهیه شده از شرکت زیست فناوریان سبز، در سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، به صورت نواری زیر بذر اعمال شد.

چیتی با سه نسبت تراکمی ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف‌های هرز) و تک‌کشت گندم سیاه (بدون کنترل علف‌های هرز). عامل دوم شامل کود زیستی مایکوریزایی *Funneliformis mosseae* در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک سبک پیش از کاشت انجام گرفت. مصرف کودهای پایه بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) انجام شد. فسفر و پتاسیم قبل از کاشت و نیتروژن به صورت سرک (نیمی قبل از کاشت و نیمی در مرحله گلدهی لوبیا) به کار رفتند. ابعاد کرت‌های آزمایش ۴×۱/۸ متر مربع بود. تراکم کشت برای لوبیا چیتی (رقم کوشا، تهیه شده از جهاد کشاورزی آباءه) در تک‌کشت برابر با ۴۱/۶ بوته در متر مربع (با فواصل بین ردیف ۳۰ سانتی متر و بین بوته ۸ سانتی متر) و برای گندم سیاه (تهیه شده از شرکت کشت گستر ۸۷ مرو دشت) ۶۰/۶ بوته در متر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of experimental soil

بافت خاک Soil texture	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم) K (mg kg ⁻¹)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم) P (mg kg ⁻¹)	نیتروژن (درصد) N (%)	pH
لوم سیلتی Silty loam	8.6	34.2	57.2	1.38	240	2.4	0.08	8.08

شدند. میزان آهن و روی با دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و زیستی هر دو گیاه زراعی، در زمان رسیدگی، ۱/۸ مترمربع از وسط هر کرت برداشت شد. برای تعیین زیست‌توده علف‌های هرز، در مرحله گلدهی لوبیا، با استفاده از کوادرات‌های ۲۵×۲۵ سانتی متری نمونه‌برداری تصادفی انجام گرفت. علف‌های هرز غالب مزرعه شامل تاج خروس (*Amaranthus retroflexus* L.)،

اندازه‌گیری عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی) در اندام‌های هوایی لوبیا چیتی، گندم سیاه و علف‌های هرز در زمان گلدهی لوبیا چیتی انجام شد. نیتروژن با دستگاه کج‌لدال (Gerhardt VAPOEST300)، فسفر با روش امامی (۱۹۹۶) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر (۱۵) و پتاسیم با روش پیترسون و همکاران (۱۹۸۴) توسط فلیم فتومتر (۱۶) اندازه‌گیری

اثر کشت مخلوط لوبیا چیتی و گندم سیاه بر جذب عناصر... / مرضیه طاهری و همکاران

AYL کل، جمع AYL جزئی گندم سیاه (AYLa) و لوبیا چیتی (AYLb) است. در این فرمول، Y نشان‌دهنده عملکرد گیاه در کشت‌های مخلوط (ab)، یا خالص (aa, bb) و Z سهم تراکم گونه در آن کشت است ($Z_{aa} = Z_{bb} = 1$) در تک‌کشت فرض می‌شود). تجزیه آماری طرح در محیط نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

درصد عناصر پر مصرف و کم مصرف اندام‌های هوایی و زیست‌توده در علف‌های هرز: اثر الگوی کشت و کاربرد مایکوریزا بر میزان عناصر پر مصرف (N, P, K) و کم مصرف (Fe, Zn) در علف‌های هرز و همچنین بر زیست‌توده علف‌های هرز در مرحله گلدهی لوبیا چیتی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

ارزن وحشی (*Panicum miliaceum* L.) و وحشی (*Hordeum murinum* L.) بودند. شاخص نسبت برابری زمین (LER) برای ارزیابی بهره‌وری زمین محاسبه شد (۱۷). با توجه به دو حالت کنترل علف هرز در کشت خالص لوبیا چیتی، LER به دو صورت (بر اساس عملکرد لوبیا خالص با کنترل و بدون کنترل علف هرز) تعریف گردید. LER کلی، مجموع نسبت‌های جزئی عملکرد هر گیاه در کشت مخلوط (Y_{vi} , Y_{ci}) به عملکرد آن در تک‌کشتی (Y_v , Y_c) می‌باشد (رابطه ۱). شاخص افزایش یا کاهش عملکرد واقعی (AYL) نیز به دو حالت با و بدون کنترل علف هرز بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی محاسبه شد (رابطه ۲) (۱۸).

$$\text{LER} = \text{LER}_v + \text{LER}_c = \left(\frac{Y_{vi}}{Y_v} \right) + \left(\frac{Y_{ci}}{Y_c} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{AYL} = \text{AYL}_a + \text{AYL}_b = \left(\frac{Y_{ab}/Z_{ab}}{Y_{aa}/Z_{aa}} - 1 \right) + \left(\frac{Y_{ba}/Z_{ba}}{Y_{bb}/Z_{bb}} - 1 \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوی کشت و مایکوریزا بر عناصر غذایی و زیست‌توده علف‌های هرز در مرحله گلدهی لوبیا چیتی.

Table 2. analysis of variance (mean squares) for the effect of sowing pattern and mycorrhiza on nutrient elements and weed biomass during flowering stage of pinto beans.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوی نیتروژن Nitrogen content	محتوی فسفر Phosphorus content	محتوی پتاسیم Potassium content	محتوی آهن Iron content	محتوی روی Zink content	زیست‌توده Biomass
تکرار Replication	2	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.01 ^{ns}	57.63	4.35 ^{ns}	19.20 ^{ns}
الگوی کشت (A) Sowing pattern (A)	4	3.30 ^{**}	0.31 ^{**}	0.38 ^{**}	791 ^{**}	292 ^{**}	42619 ^{**}
مایکوریزا (B) Mycorrhiza (B)	1	0.82 ^{**}	0.07 ^{**}	0.4 ^{**}	264 ^{**}	88.40 ^{**}	2613 ^{**}
A×B	4	0.04 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.006 ^{ns}	72.09 ^{ns}	8.80 ^{ns}	262 ^{ns}
خطا Error	18	0.14	0.009	0.02	24.89	11.52	285
ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)	-	22.35	5.01	9.08	8.41	8.73	19.54

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱٪ را نشان می‌دهد.

ns and ** indicate non-significant and significant differences at the 1% probability level, respectively.

بیشترین درصد نیتروژن علف‌های هرز (۲/۵۳ درصد) در تیمار تک‌کشتی لوبیا چیتی (بدون کنترل علف‌های هرز) مشاهده شد که با تیمار کشت مخلوط لوبیا چیتی + ۳۰٪ گندم سیاه اختلاف آماری معنی دار نداشت ($P < 0.01$). کمترین میزان نیتروژن (۰/۹۳ درصد) نیز در تیمار کشت مخلوط لوبیا چیتی + ۹۰٪ گندم سیاه ثبت شد (جدول ۳). همچنین، کاربرد مایکوریزا کاهش معنی‌دار ۲۴/۵ درصدی نیتروژن علف‌های هرز را به همراه داشت (جدول ۳). کشت مخلوط با اعمال رقابت بین‌گونه‌ای شدید، محتوای نیتروژن بافتی علف‌های هرز را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که از طریق برتری رقابتی گیاهان زراعی در جذب نیتروژن خاک منجر به کاهش رشد و تراکم علف هرز شد (۱۹). این نتایج نشان داد که افزایش تراکم گندم سیاه منجر به کاهش درصد نیتروژن علف‌های هرز می‌شود. حضور قارچ‌های مایکوریزا با بهبود جذب نیتروژن توسط گیاهان زراعی میزبان، نیتروژن قابل دسترس در ریزوسفر را برای علف‌های هرز محدود می‌سازد و منجر به برتری رقابتی گیاه زراعی و کاهش نیتروژن علف‌های هرز می‌شود (۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات الگوی کشت مخلوط و مایکوریزا بر درصد عناصر غذایی و زیست‌توده علف‌های هرز در مرحله گلدهی لوبیا چیتی.

Table 3. mean comparison of sowing pattern and mycorrhiza on percentage of nutrient elements and weed biomass during flowering stages of pinto beans.

عامل آزمایش Experimental factor	محتوی نیتروژن (درصد) Nitrogen content (%)	محتوی فسفر (درصد) Phosphorus content (%)	محتوی پتاسیم (درصد) Potassium content (%)	محتوی آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم) Iron content (mg kg ⁻¹)	محتوی روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zink content (mg kg ⁻¹)	زیست‌توده (گرم در متر مربع) biomass (g m ²)
لوبیاچیتی بدون کنترل علف هرز PB-W0	2.53 ^a	1.60 ^a	2.21 ^a	78.83 ^a	46.58 ^a	227.33 ^a
لوبیاچیتی + ۳۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+30%BW-W0	2.39 ^a	1.52 ^a	2.0 ^{ab}	53.41 ^c	44.83 ^a	97.33 ^b
لوبیاچیتی + ۶۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+60%BW-W0	1.40 ^b	1.36 ^b	1.67 ^c	50.33 ^c	38.83 ^b	32.00 ^d
لوبیاچیتی + ۹۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+90%BW-W0	0.93 ^c	1.11 ^c	1.65 ^c	53.75 ^c	30.08 ^c	18.66 ^d
گندم سیاه بدون کنترل علف هرز BW-W0	1.12 ^b	1.10 ^c	1.68 ^c	60.00 ^b	34.08 ^c	56.66 ^c
کاربرد Application	1.51 ^b	1.29 ^b	1.73 ^b	56.30 ^b	37.16 ^b	77.06 ^b
عدم کاربرد No-Application	1.88 ^a	1.39 ^a	1.96 ^a	62.23 ^a	40.60 ^a	95.73 ^a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least one common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD tes

بیشترین درصد فسفر علف‌های هرز در تیمار کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف‌های هرز مشاهده شد که با تیمار کشت مخلوط لوبیا چیتی + ۳۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) تفاوت

معنی داری نداشت. کمترین مقدار فسفر نیز در تیمار کشت خالص گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) به دست آمد (جدول ۳). تلقیح مایکوریزا منجر به کاهش ۱۹/۷ درصدی فسفر علف‌های هرز شد (جدول ۳). کشت مخلوط با تشدید رقابت برای جذب منابع، به‌ویژه فسفر، مقدار آن را در علف‌های هرز کاهش داد. این پدیده متأثر از افزایش تقاضای فسفر برای تشکیل دانه در گیاهان زراعی (۲۰) است. بهبود توان رقابتی لوبیا چیتی و گندم سیاه نسبت به علف‌های هرزی مانند تاج خروس، ارزن وحشی و جو وحشی موجب کاهش سهم فسفر در علف‌های هرز شد.

بیشترین درصد پتاسیم علف‌های هرز (۲/۲۱ درصد) در کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف هرز و کمترین میزان پتاسیم به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط با ۹۰٪ و ۶۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل) و کشت خالص گندم سیاه (که با هم اختلاف معنی داری نداشتند) بود (جدول ۳). کاربرد مایکوریزا سبب کاهش ۱۱/۷۳ درصدی پتاسیم علف‌های هرز نسبت به شرایط عدم کاربرد آن شد (جدول ۳). گندم سیاه با ایجاد پوشش کانوپی متراکم و سایه‌اندازی قوی، نرخ فتوسنتز و گسترش ریشه علف‌های هرز را تضعیف کرد. این سرکوب رقابتی، دسترسی گندم سیاه و لوبیا چیتی به عناصر غذایی، به‌ویژه پتاسیم، را در مرحله حساس گلدهی افزایش داد و موجب کاهش پتاسیم در علف‌های هرز در تیمارهای کشت خالص گندم سیاه و مخلوط لوبیاچیتی+۹۰٪ گندم سیاه شد. قارچ مایکوریزا با تقویت جذب پتاسیم در گیاهان زراعی، به‌طور غیرمستقیم سهم پتاسیم در دسترس علف‌های هرز تاج خروس و ارزن وحشی را محدود ساخت.

بالاترین محتوای آهن علف‌های هرز به میزان ۷۸/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کشت خالص لوبیا

چیتی بدون کنترل علف هرز به‌دست آمد. پایین‌ترین میزان آهن از تیمارهای کشت مخلوط حاصل گردید که با هم اختلاف آماری معنی‌دار نداشتند (جدول ۳). کاربرد مایکوریزا به کاهش قابل توجه ۵۲/۹ درصدی در محتوای آهن علف‌های هرز نسبت به شرایط عدم کاربرد مایکوریزا منجر شد (جدول ۳). افزایش سهم گندم سیاه منجر به کاهش شدیدتر جذب آهن توسط علف‌های هرز شد. همزیستی مایکوریزایی دسترسی گیاهان زراعی به آهن را تسهیل کرده و در نتیجه، محتوای آهن علف‌های هرز در شرایط کشت مخلوط به‌صورت غیرمستقیم تقلیل یافت (۵).

بالاترین و پایین‌ترین محتوای روی علف‌های هرز به‌ترتیب در تیمار کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف هرز (۵۸/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و الگوی کشت مخلوط لوبیا چیتی + ۹۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز (۳۰/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد مایکوریزا نیز منجر به کاهش ۸/۴۷ درصدی در محتوای روی علف‌های هرز نسبت به شرایط عدم کاربرد گردید (جدول ۳). با افزایش تراکم گندم سیاه از میزان عنصر روی علف‌های هرز به‌صورت معنی‌داری کاسته شد که می‌توان آن را با افزایش رقابت بین گیاهان زراعی مرتبط دانست. مایکوریزا نیز با افزایش سطح جذب در گیاهان زراعی سبب افزایش عنصر روی در دسترس گیاهان گردیده است و در نهایت میزان روی قابل جذب برای علف‌های هرز کاهش یافت (۵).

زیست‌توده علف‌های هرز: بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز با میانگین ۲۲۷/۳۳ گرم در مترمربع در تیمار کشت خالص لوبیا چیتی فاقد کنترل علف هرز به‌دست آمد. کمترین زیست‌توده (۱۸/۶۶ گرم در مترمربع) نیز در کشت مخلوط لوبیا چیتی + ۹۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل) بود که از نظر آماری با تیمار ۶۰٪ گندم سیاه اختلاف آماری معنی‌دار نداشت

با بهبود دسترسی گیاهان زراعی به عناصر غذایی توان رقابتی آنها را در برابر علف‌های هرز تقویت کرده و به‌طور غیرمستقیم منجر به سرکوب و کاهش زیست‌توده علف‌های هرز شد (۲۱).

درصد عناصر پر مصرف و کم مصرف اندام‌های هوایی و صفات عملکردی در لوبیا چیتی: اثر اصلی الگوی کشت و مایکوریزا بر نیتروژن، پتاسیم، فسفر و روی اندام‌های هوایی، عملکرد دانه و عملکرد زیستی لوبیاچیتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. آهن اندام‌های هوایی و شاخص برداشت لوبیا نیز تنها در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر الگوی کشت قرار گرفتند (جدول ۴).

(جدول ۳). کاربرد مایکوریزا به کاهش ۱۹/۵ درصدی زیست‌توده علف‌های هرز منجر شد (جدول ۳). در کشت خالص لوبیا چیتی، به‌دلیل رشد اولیه آهسته لوبیا چیتی و فقدان همپوشانی کانوپی در این گیاه لگوم، افزایش فضای در دسترس علف‌های هرز مشاهده شد. در مقابل، گندم سیاه به دلیل رشد بالقوه بالا و قدرت پنجه‌زنی زیاد، به‌عنوان یک رقابت‌کننده عالی و خفه‌کننده قوی برای علف‌های هرز بود. افزایش سهم گندم سیاه، رقابت را به نفع گیاهان زراعی تغییر داده و زیست‌توده علف‌های هرز را به‌شدت کاهش داد. مشابه این یافته‌ها را خوشنام و همکاران (۲۰۲۰) در افزایش تراکم مخلوط وسمه و چای ترش نیز گزارش کردند (۷). کاربرد مایکوریزا

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوی کشت و مایکوریزا بر درصد عناصر غذایی مختلف اندام هوایی و صفات عملکردی در لوبیاچیتی

Table 4. analysis of variance (mean squares) for the effect of sowing pattern and mycorrhiza on the percentage of nutrients in shoots and yield traits in pinto beans.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوی نیتروژن Nitrogen content	محتوی فسفر Phosphorus content	محتوی پتاسیم Potassium content	محتوی آهن Iron content	محتوی روی Zinc content	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.16 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	155 ^{ns}	1.23 ^{ns}	3038 ^{ns}	2902 ^{ns}	0.41 ^{ns}
الگوی کشت (A)	4	1.30 ^{**}	0.29 ^{**}	0.48 ^{**}	1088 ^{**}	452 ^{**}	2277939 ^{**}	15626727 ^{**}	10.85 ^{**}
مایکوریزا (B)	1	1.76 ^{**}	0.05 [*]	0.16 ^{**}	22.53 ^{ns}	66.00 ^{**}	375328 ^{**}	1533781 ^{**}	8.52 ^{ns}
A×B	4	0.04 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.01 ^{ns}	81.59 ^{ns}	13.55 ^{ns}	17899 ^{ns}	111029 ^{ns}	2.75 ^{ns}
خطا Error	18	0.08	0.009	0.02	103	7.48	30771	159674	3.90
ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)	-	9.35	9.91	9.01	14.85	7.31	6.04	4.49	6.07

ns, * and ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهد.
ns, * and ** indicate non-significant and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

سیاه بدون کنترل علف‌های هرز مشاهده شد که از نظر آماری با تیمار کشت مخلوط با ۹۰٪ گندم سیاه و

بیشترین درصد نیتروژن اندام‌های هوایی لوبیا (۳/۳۲٪) در تیمار کشت مخلوط لوبیا با ۶۰٪ گندم

اثر کشت مخلوط لوبیا چیتی و گندم سیاه بر جذب عناصر... / مرضیه طاهری و همکاران

مطابقت دارد که نقش تثبیت‌کنندگی نیتروژن توسط لگوم را عامل اصلی می‌داند (۲۲). همچنین رقابت علف‌های هرز برای عناصر غذایی نیز عامل دیگری بر کاهش غلظت نیتروژن در کشت خالص لوبیا چیتی است (۶). مایکوریزا از طریق اسیدی کردن محیط ریزوسفری و در نتیجه انحلال و افزایش دسترسی به عناصر معدنی (۲۳) و همچنین گسترش هیف‌ها، جذب نیتروژن را تقویت می‌کند. تلقیح با مایکوریزا در کشت مخلوط کتان روغنی-شنبلیله به‌طور معنی‌داری نیتروژن برگ را افزایش داد (۱۱) که همسو با یافته‌های تحقیق حاضر است.

کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف‌های هرز تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). کمترین درصد نیتروژن اندام هوایی نیز (۲/۳۱٪) مربوط به کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف‌های هرز بود. کاربرد مایکوریزا نسبت به عدم کاربرد موجب افزایش ۱۷/۱۴ درصدی نیتروژن شد (جدول ۵). با افزایش سهم گندم سیاه در کشت مخلوط از ۳۰٪ به ۹۰٪، درصد نیتروژن لوبیا چیتی افزایش یافت. درواقع لوبیا چیتی علاوه بر تأمین نیتروژن برای خود، توانسته است نیاز گندم سیاه را نیز تأمین نماید؛ این امر با نتایج مطالعات پیشین در کشت مخلوط نخود - جو

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت و مایکوریزا برای درصد عناصر غذایی اندام هوایی و صفات عملکرد در لوبیاچیتی
Table 5. mean comparison of the Sowing pattern and mycorrhiza on the percentage of nutrients in shoots and yield traits in pinto beans.

عامل آزمایش Experimental factor	محتوی نیتروژن (درصد) Nitrogen content (%)	محتوی فسفر (درصد) Phosphorus content (%)	محتوی پتاسیم (درصد) Potassium content (%)	محتوی آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم) Iron content (mg kg ⁻¹)	محتوی روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zink content (mg kg ⁻¹)	عملکرد زیستی عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد زیستی عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%) Harvest index (%)
لوبیاچیتی بدون کنترل علف هرز PB-W0	2.31 ^c	0.67 ^c	1.29 ^c	47.00 ^c	25.00 ^d	2080 ^d	6720 ^d	30.91 ^b
لوبیاچیتی با کنترل علف هرز PB+W0	3.31 ^a	1.22 ^a	1.91 ^a	82.83 ^a	48.50 ^a	3732 ^a	10815 ^a	34.49 ^a
لوبیاچیتی + ۳۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+30%BW-W0	2.84 ^b	0.98 ^b	1.44 ^b	72.41 ^{ab}	33.83 ^c	2998 ^b	9421 ^b	31.87 ^b
لوبیاچیتی + ۶۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+60%BW-W0	3.41 ^a	1.17 ^a	1.84 ^a	74.33 ^{ab}	39.16 ^b	3111 ^b	9654 ^a	32.27 ^{ab}
لوبیاچیتی + ۹۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+90%BW-W0	3.32 ^a	0.89 ^b	1.38 ^b	65.58 ^b	40.41 ^b	2586 ^c	7822 ^c	33.07 ^{ab}
مایکوریزا کاربرد Application	3.28 ^a	1.03 ^a	1.65 ^a	-	38.86 ^a	3013 ^a	9113 ^a	-
مایکوریزا عدم کاربرد No-Application	2.80 ^b	0.94 ^b	1.50 ^b	-	35.90 ^b	2790 ^b	8660 ^b	-

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least one common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

۶۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل) تعلق داشت. کم‌ترین مقدار نیز در کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل

بیشترین درصد فسفر اندام هوایی به کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف‌های هرز و کشت مخلوط

علف‌های هرز مشاهده شد (جدول ۵). کاربرد مایکوریزا افزایش ۹/۵۷ درصدی فسفر اندام هوایی لوبیا را موجب شد (جدول ۵). علف‌های هرز، گونه‌های فرصت طلب با توانایی بالا در استفاده از منابع هستند؛ به‌طوری که حذف آن‌ها در کشت خالص لوبیا چیتی، بر میزان فسفر اندام هوایی افزود. حقانی‌نیا و همکاران (۲۰۲۰) در کشت مخلوط خلر-جو دریافتند ریشه‌های خلر با تثبیت نیتروژن و تراوش H^+ باعث اسیدی شدن ریزوسفر و افزایش حلالیت و جذب فسفر می‌شوند (۲۴)؛ این حلالیت از طریق آزادسازی اسیدهای آلی، آنزیم فسفاتاز و متابولیت‌هایی نظیر سیدروفورها تسهیل می‌گردد (۲۵). در تأیید نقش گونه همراه بر وضعیت عناصر گیاه هدف، پژوهشگران گزارش داده‌اند که بیش‌ترین محتوای فسفر علوفه در ترکیب مخلوط افزایشی، از ۱۰۰٪ جو + ۱۶/۶٪ شنبلیله حاصل شد (۲۶). مایکوریزا از طریق سازوکارهای غیرمستقیم مانند تغییر pH و روابط بین ریشه‌ای ریزوسفری بر رشد گیاهان تأثیرگذار است (۲۷) و در افزایش جذب فسفر و تجمع ماده خشک در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبتی دارد (۱۲).

بیشترین پتاسیم اندام هوایی لوبیا در کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف هرز مشاهده شد، و کشت خالص لوبیا بدون کنترل علف هرز کم‌ترین میزان پتاسیم را دارا بود و اختلاف بین آن‌ها ۴۸٪ برآورد شد (جدول ۵). افزایش پتاسیم اندام هوایی لوبیا با کاربرد مایکوریزا به میزان ۱۰٪ نسبت به تیمار عدم کاربرد به‌دست آمد (جدول ۵). این نتایج نشان داد که حضور علف‌های هرز با ایجاد رقابت، موجب کاهش جذب پتاسیم در لوبیا شده است و در تیمارهای مخلوط به دلیل کاهش رشد علف‌های هرز، پتاسیم بیشتری به لوبیا اختصاص یافته است. به‌طور کلی در کشت‌های مخلوط، کارایی جذب عناصر غذایی افزایش یافت

زیرا تفاوت در عمق توسعه ریشه‌ها و دوره رشد گونه‌ها باعث می‌شود گیاهان از منابع غذایی در پروفایل خاک بهره‌برداری بهتری داشته باشند (۲۸). صلاحی و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند تلقیح با قارچ‌های مایکوریزایی *F. mosseae* و *Rhizophagus intraradices* موجب افزایش جذب پتاسیم در برگ کتان روغنی و شنبلیله می‌شود و تولید اسید تارتاریک توسط مایکوریزا را عامل کلیدی در آزادسازی پتاسیم تثبیت‌شده در خاک بیان کردند. ایشان همچنین اظهار داشتند این کود زیستی با افزایش رشد رویشی و توسعه ریشه، علاوه بر پتاسیم، فراهمی و جذب نیتروژن و فسفر را نیز بهبود بخشید (۱۱).

نتایج نشان داد که اندام‌های هوایی لوبیا در کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف هرز بیشترین محتوای آهن (۸۲/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص دادند که البته با کشت‌های مخلوط افزایشی ۳۰٪ و ۶۰٪ گندم سیاه در یک گروه آماری قرار گرفت. کم‌ترین محتوای آهن اندام هوایی لوبیا (۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف هرز حاصل شد (جدول ۵). جذب عناصر از مهم‌ترین عوامل شکل‌گیری رقابت بین گیاه زراعی و علف‌هرز بوده و در بیشتر موارد نیز علف‌های هرز منابع غذایی مشترک را آسان‌تر جذب می‌کنند (۲۹). از همین‌رو محتوای آهن اندام هوایی لوبیا چیتی در الگوی کشت خالص بدون کنترل علف‌های هرز در کم‌ترین میزان بود، در حالی که در تیمارهای کشت مخلوط محتوای آهن افزایش یافت. حقانی‌نیا و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان دادند در کشت مخلوط جو - خلر در محیط ریزوسفر، آزادسازی فیتوسیدروفور از ریشه جو و افزایش فعالیت آنزیم فریک ردوکتاز ریشه خلر سبب افزایش فراهمی آهن در خاک شد. همچنین افزایش جذب آهن در کشت مخلوط به ترشح اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی،

ترکیبات احیاکننده آهن و ترکیبات کلاته‌کننده توسط ریشه گیاهان نسبت داده شد (۲۴).

بیشترین و کم‌ترین محتوای روی اندام هوایی لوبیا نیز به ترتیب در کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف‌های هرز (۴۸/۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و بدون کنترل علف‌های هرز (۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم) حاصل شد (جدول ۵). کاربرد مایکوریزا نیز محتوای این عنصر را ۸/۲۴ درصد افزایش داد (جدول ۵). در تیمار کنترل علف‌های هرز به سبب کاهش رقابت بین گیاهان زراعی و علف‌های هرز، میزان عنصر روی بیشتری در اختیار لوبیا چیتی قرار گرفت. در کشت مخلوط، محتوای روی لوبیا چیتی با افزایش سهم گندم سیاه تا سطح ۹۰٪ روند افزایشی را نشان داد. این الگو در حالی بود که سایر عناصر از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن بیش‌ترین مقادیر را در نسبت ۶۰٪ گندم سیاه نشان دادند و با افزایش سهم آن به ۹۰٪ کاهش یافتند. به‌طور کلی، تغییرات عناصر غذایی در الگوی کشت را می‌توان به برهم‌کنش بین گونه‌ای و نقش گندم سیاه در کاهش فشار علف‌های هرز نسبت داد؛ به‌گونه‌ای که کاهش تراکم علف‌های هرز در اثر رشد سریع، سایه‌اندازی و توان رقابتی گندم سیاه، موجب بهبود شرایط جذب عناصر برای لوبیا چیتی شد. نتایج حاضر در برتری کشت مخلوط نسبت به شرایط بدون کنترل علف هرز، با پژوهش حسین‌زاده و همکاران (۲۰۲۱) در کشت مخلوط کنگد - لوبیا چشم‌بلبلی همسو بود (۳).

از جهت دیگر مایکوریزا به واسطه ترشح انواعی از موسیلاژها و کلاته کردن عناصر کم‌مصرف توانسته است غلظت و انتقال عنصر روی را افزایش دهد (۳۰). همچنین افزایش در میزان حلالیت و جذب عناصر غذایی گیاه توسط مایکوریزا توانست منجر به افزایش مواد معدنی در برگ و اندام‌های گیاه شود. مشابه یافته‌های حاضر، اظهار شده است مایکوریزا

باعث بهبود جذب ریزمغذی‌هایی مانند روی در کشت مخلوط شوید - لوبیا چیتی شد (۵).

عملکرد دانه لوبیا چیتی: بیشترین عملکرد دانه لوبیا چیتی در کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف‌های هرز (۳۷۳۲ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین آن در کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف‌های هرز (۲۰۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. در کشت مخلوط با افزایش سهم گندم سیاه تا ۶۰٪ به عملکرد دانه لوبیا افزوده شد اما در تراکم ۹۰٪ از این صفت کاسته شد (جدول ۵). کاربرد مایکوریزا نیز با افزایش ۸ درصدی عملکرد دانه لوبیا چیتی همراه بود (جدول ۵).

معمولاً عملکرد دانه گیاهان در کشت مخلوط (ناشی از رقابت بین گونه‌ای) نسبت به تک‌کشتی کاهش می‌یابد. پژوهشگران دیگر نیز اظهار داشتند تحت کنترل علف‌های هرز، عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی در کشت خالص بیشتر از تیمارهای مخلوط با ریحان بود (۸). از دیگر سو، انتخاب تراکم مناسب در کشت مخلوط بدلیل ایجاد حالت مکملی و استفاده بهتر از منابع، منجر به تداوم بهتر بوم‌نظام‌های زراعی می‌شود (۳۱). چنانچه گیاه مکمل از پتانسیل بیشتری در اشغال کانوپی برخوردار باشد، باید با تعداد ردیف‌های بیشتری کشت شود تا عملکرد مطلوبی داشته باشد (۳۲). از این‌رو کشت مخلوط تا سطح ۶۰٪ گندم سیاه، عملکرد لوبیا چیتی را افزایش داد. علت کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط ۹۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف‌های هرز نیز احتمالاً افزایش رقابت بین گونه‌ای بین لوبیا چیتی و گندم سیاه باشد. قابلیت حل‌شدن فسفات‌های نامحلول از طریق تولید اسیدهای آلی و کلات کردن اگزواسیدها از قندها، از جمله سازوکارهای مایکوریزا در افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه باشد (۲۳). عزیزاده و همکاران (۲۰۱۹) در کشت مخلوط بزرک - باقلا، بهبود رشد لگوم را به همزیستی

مایکوریزایی در افزایش تثبیت نیتروژن و بهبود جذب آمونیوم نسبت دادند که موجب ذخیره بیشتر مواد غذایی در دانه و افزایش عملکرد نهایی شد (۴).

عملکرد زیستی لوبیا چیتی: کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف‌های هرز بیشترین عملکرد زیستی را ایجاد نمود که با کشت مخلوط ۶۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف‌های هرز اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین عملکرد زیستی نیز در شرایط کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف‌های هرز حاصل شد (جدول ۵). تحت اثر مایکوریزای بیشترین عملکرد زیستی با میانگین ۹۱۱۳ کیلوگرم در هکتار از سطح کاربرد مایکوریزای به‌دست آمد (جدول ۵).

کنترل علف هرز در مقایسه با بدون کنترل، عملکرد زیستی را افزایش داد. این موضوع نشانگر اثرات سوء علف هرز بر رشد و عملکرد گونه‌های زراعی است. در نسبت‌های مختلف کاشت نیز عملکرد زیستی لوبیا چیتی کاملاً به تراکم گندم سیاه و علف‌های هرز وابسته بود. کاهش عملکرد زیستی لوبیا چیتی در کشت مخلوط + ۹۰٪ گندم سیاه نسبت به کشت خالص بیانگر رقابت برون‌گونه‌ای این دو گیاه زراعی است و کاهش آن در ترکیب با ۳۰٪ گندم سیاه نسبت به کشت خالص نیز به علت فراوانی جمعیت علف‌های هرز و وجود رقابت بالا می‌باشد (۳۱). بیگناه و همکاران (۲۰۱۴) اعلام نمودند عملکرد زیستی شنبلیله و گشنیز در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در هر دو گیاه با جابجایی از تراکم کم‌تر به سمت تراکم بیش‌تر، افزایش یافت (۳۳). کاربرد مایکوریزای نیز از طریق اثرگذاری بر ریزوسفر ناشی از تغییرات اسیدبسته، قابلیت تنظیم‌کنندگی رشد گیاهان زراعی را در برداشته است (۱۲)؛ زیرا به جذب بیشتر نیتروژن و فسفر توسط گیاه کمک کرد. از آنجا که این عناصر در ساختار ATP و تأمین انرژی و همچنین تثبیت نیتروژن نقش مهمی دارند، می‌توان دریافت که

تأمین عناصر پرمصرف از راهکارهای افزایش عملکرد زیستی و تشکیل گل و دانه‌بندی محسوب می‌شود (۲۱). گزارش شده است مایکوریزای در کشت مخلوط لوبیا قرمز - شوید باعث افزایش شدت فتوسنتز در واحد سطح برگ شد و دلیل این امر را افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن افزایش کلروفیل فتوسنتزی، افزایش راندمان فسفر فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سینتاز در گیاه میزبان نسبت دادند (۵).

شاخص برداشت لوبیا چیتی: بیشترین و کم‌ترین شاخص برداشت لوبیا چیتی با میانگین‌های ۳۴/۵٪ و ۳۰/۹٪ از کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف‌های هرز و بدون کنترل علف‌های هرز حاصل شد (جدول ۵). شاخص برداشت نتیجه نهایی تسهیم مواد پرورده است و بیانگر کارایی گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام اقتصادی می‌باشد (۲۴). این شاخص به‌نهایی معیار مطلوبی برای ارزیابی عملکرد نیست، زیرا افزایش آن ممکن است ناشی از کاهش هم‌زمان عملکرد زیستی و اقتصادی باشد (۴). از این‌رو ارزشمندی این شاخص زمانی بروز می‌نماید که همراه با عملکرد زیستی و عملکرد دانه تحلیل شود. در کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف‌های هرز، رقابت شدید با علف‌های هرز باعث کاهش فتوسنتز و اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به رشد رویشی می‌شود و در نتیجه سهم اندام‌های زایشی و شاخص برداشت کاهش می‌یابد (۳۱). در مقابل، کنترل علف‌های هرز موجب افزایش عملکرد دانه و به تبع آن افزایش شاخص برداشت شد. همچنین، در کشت‌های مخلوط لوبیا چیتی با گندم سیاه، کاهش سهم گندم سیاه منجر به کاهش شاخص برداشت لوبیا چیتی شد که احتمالاً به دلیل افزایش رقابت علف‌های هرز و کاهش دسترسی لوبیا چیتی به عناصر غذایی و کاهش رشد رویشی و زایشی آن است.

اثر کشت مخلوط لوبیا چیتی و گندم سیاه بر جذب عناصر... / مرضیه طاهری و همکاران

درصد عناصر پر مصرف و کم مصرف اندام‌های هوایی و صفات عملکردی در گندم سیاه: اثر اصلی الگوی کشت و مایکوریزا بر نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام‌های هوایی گندم سیاه به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). همچنین اثر این دو عامل بر

آهن و روی اندام‌های هوایی، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت گندم سیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶).

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوی کشت و مایکوریزا بر درصد عناصر غذایی اندام‌های هوایی و صفات عملکردی گندم سیاه.

Table 6. analysis of variance (mean squares) for the effect of sowing pattern and mycorrhiza on the percentage of nutrients in shoots and yield traits in buckwheat.

شاخص برداشت	عملکرد زیستی	عملکرد دانه	محتوی روی	محتوی آهن	محتوی پتاسیم	محتوی فسفر	محتوی نیتروژن	درجه آزادی	منابع تغییرات
Harvest index	Biological yield	Seed yield	Zinc content	Iron content	Potassium content	Phosphorus content	Nitrogen content	df	S.O.V
1.07 ^{ns}	8030 ^{ns}	2547 ^{ns}	12.87 ⁿ _s	12.88 ⁿ _s	0.06 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.07 ^{ns}	2	تکرار Replication
58.82 [*]	5650591 [*]	1477313 [*]	702 ^{**}	486 ^{**}	0.46 ^{**}	0.49 ^{**}	1.11 ^{**}	3	الگوی کشت (A)
12.48 [*]	723384 ^{**}	211979 ^{**}	341 ^{**}	195 ^{**}	0.73 [*]	0.08 [*]	1.02 [*]	1	مایکوریزا (B)
6.34 ^{ns}	25879 ^{ns}	36043 ^{ns}	40.81 ⁿ _s	6.42 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.06 ^{ns}	3	میانگین (A×B)
23.94	22933	11639	25.24	15.74	0.02	0.009	0.17	14	خطا Error
5.69	2.75	5.50	12.78	5.97	7.40	8.62	13.50	-	ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)

ns, * and ** indicate non-significant and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

بالاترین درصد نیتروژن اندام‌های هوایی (۳/۵۸٪) به کشت مخلوط ۹۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) تعلق داشت، که از نظر آماری با کشت خالص گندم سیاه اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان (۲/۷۰٪) نیز در کشت مخلوط ۳۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) ثبت شد که با تیمار ۶۰٪ گندم سیاه، تفاوت آماری نداشت (جدول ۷). کاربرد مایکوریزا نیز منجر به افزایش ۱۴/۲۸٪ نیتروژن اندام‌های هوایی گندم سیاه نسبت به تیمار عدم کاربرد گردید (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت و میکوریزا برای درصد عناصر غذایی اندام هوایی و صفات عملکرد در گندم سیاه.

Table 7. mean comparison of the sowing pattern and mycorrhiza on the percentage of nutrients in shoots and yield traits in buckwheat.

عامل آزمایش Experimental factor	محتوی نیتروژن (%) Nitrogen content (%)	محتوی فسفر (%) Phosphorus content (%)	محتوی پتاسیم (%) Potassium content (%)	محتوی آهن (میلی گرم در کیلوگرم) Iron content (mg kg ⁻¹)	محتوی روی (میلی گرم در کیلوگرم) Zink content (mg kg ⁻¹)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%) Harvest index (%)
گندم سیاه بدون								
کنترل علف هرز	3.29 ^a	1.52 ^a	2.24 ^a	57.75 ^b	40.75 ^b	2621 ^a	6577 ^a	39.82 ^a
BW-W0								
لویباجیتی +۳۰٪ گندم سیاه								
بدون کنترل علف هرز	2.70 ^b	0.84 ^c	1.77 ^b	59.50 ^b	24.50 ^c	1462 ^d	4257 ^d	34.17 ^{bc}
PB+30%BW-W0								
لویباجیتی +۶۰٪ گندم سیاه								
بدون کنترل علف هرز	2.73 ^b	1.04 ^b	1.88 ^b	72.91 ^a	41.50 ^b	1735 ^c	5325 ^c	32.56 ^c
PB+60%BW-W0								
لویباجیتی +۹۰٪ گندم سیاه								
بدون کنترل علف هرز	3.58 ^a	1.15 ^b	2.34 ^a	75.25 ^a	50.50 ^a	2021 ^b	5799 ^b	34.86 ^b
PB+90%BW-W0								
میکوریزا								
کاربرد	3.28 ^a	1.20 ^a	2.23 ^a	69.20 ^a	43.08 ^a	2054 ^a	5663 ^a	36.08 ^a
Application								
عدم کاربرد	2.87 ^b	1.08 ^b	1.88 ^b	63.50 ^b	35.54 ^b	1866 ^b	5316 ^b	34.64 ^b
No-Application								

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least one common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

و ۶۰٪، احتمالاً نشان‌دهنده افزایش رقابت بین‌گونه‌ای و سهم کم‌تر نیتروژن برای گندم سیاه است. میکوریزا با فعالیت‌های آنزیمی، نیتروژن آلی خاک را به فرم معدنی قابل جذب تبدیل می‌کند (۳۵). در پژوهشی در کشت مخلوط کنجد - لویباجیتی چشم‌پللی، پژوهشگران افزایش کلونیزاسیون ریشه در هر دو گیاه را به پتانسیل میکوریزا در بهبود جمعیت و فعالیت میکروبی ریزوسفر نسبت دادند که ناشی از تجزیه مواد آلی و آزادسازی نیتروژن بوده است (۲۱). بالاترین درصد فسفر اندام هوایی گندم سیاه

بالا بودن درصد نیتروژن اندام هوایی گندم سیاه در کشت خالص گندم سیاه و کشت مخلوط لویباجیتی + ۹۰٪ گندم سیاه، ناشی از بهره‌گیری مؤثر از سرکوب رقابت علف‌های هرز و تنوع گونه‌ای است. در کشت خالص گندم سیاه، توانایی کنترل علف‌های هرز جذب حداکثری نیتروژن خاک را تضمین کرد (۳۴). در کشت مخلوط لویباجیتی + ۹۰٪ گندم سیاه نیز این گیاه با حذف علف‌های هرز، ترکیبات نیتروژن قابل جذب آزاد شده توسط لگوم را به نفع خود جذب کرد. کاهش نیتروژن در نسبت‌های پایین‌تر گندم سیاه (۳۰٪

(۱/۵۲ درصد) به کشت خالص گندم سیاه بدون کنترل علف هرز اختصاص یافت و کمترین میزان (۰/۸۴ درصد) در کشت مخلوط لوبیا + ۳۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز مشاهده شد (جدول ۷). کاربرد مایکوریزا نیز منجر به افزایش ۱۱/۱۱ درصد فسفر اندام هوایی نسبت به شرایط عدم کاربرد آن گردید (جدول ۷).

در کشت مخلوط لوبیا + ۹۰٪ گندم سیاه، ساختار ریشه‌ای متنوع با کاهش فشار رقابتی ناشی از علف‌های هرز، منجر به بهبود کارایی جذب مواد غذایی شدند (۳۶). حضور لگوم (لوبیا چیتی) می‌تواند با تثبیت زیستی نیتروژن و ترشح H^+ ، باعث اسیدی شدن ریزوسفر و افزایش حلالیت فسفر و تقویت جذب آن گردد (۲۱). در کشت خالص گندم سیاه، به دلیل تراکم بالا، خاصیت پوشانندگی مؤثر و کاهش شدید رشد علف‌های هرز، تقریباً تمام منابع غذایی از جمله فسفر، بدون رقابت توسط گندم سیاه جذب شد. گزارش شده است که در کشت خالص، گسترش بهینه و گسترده ریشه‌ها، دسترسی بیشتر به فسفر در عمق و سطح خاک را بهبود می‌بخشد (۳۷). جذب بالای فسفر توسط گندم سیاه در این پژوهش، با الگوی افزایش فسفر در ترکیب‌های مخلوط جایگزینی و افزایشی جو - شنبلیله هم خوانی دارد (۲۶). همچنین مایکوریزا با ترشح آنزیم‌ها و اسیدهای آلی، فسفر نامحلول خاک را به فرم محلول و قابل دسترس تبدیل می‌کند (۲۱). به‌طور مشابه بیشترین فسفر در کشت خالص خلر تلقیح‌شده با مایکوریزا و کمترین آن در جو تلقیح‌نشده مشاهده شد (۳۸).

بالاترین درصد پتاسیم اندام هوایی گندم سیاه (۲/۲۴ درصد) در کشت مخلوط لوبیا + ۹۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) ثبت شد که با سایر کشت‌های مخلوط تفاوت آماری معنی‌داری داشت. کمترین میزان پتاسیم نیز (۱/۷۷ درصد) به کشت

مخلوط لوبیا + ۳۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) اختصاص یافت. کاربرد مایکوریزا نیز منجر به افزایش ۱۸/۶۱ درصد این عنصر گردید (جدول ۷). بالاترین تجمع پتاسیم در اندام هوایی گندم سیاه، در تراکم‌های بالا در کشت مخلوط حاصل شد که مؤید اثر کنترلی گندم سیاه بر علف‌های هرز و در نتیجه، کاهش رقابت و افزایش جذب پتاسیم است. این پدیده همچنین به تنوع ساختار ریشه‌ای در کشت مخلوط مرتبط است؛ جایی که گونه‌ها با بهره‌برداری از لایه‌های مختلف خاک، رقابت بین‌گیاهی را کاهش و جذب پتاسیم را بهینه‌سازی می‌کنند (۳۷). یافته‌های حاضر با گزارش قنبری و همکاران (۲۰۱۷) در افزایش پتاسیم شنبلیله تحت کشت مخلوط با جو مطابقت دارد (۲). کاربرد مایکوریزا نیز با افزایش رشد رویشی و توسعه ریشه (۲۱)، فراهمی پتاسیم را بهبود بخشید. مایکوریزاها همچنین با ترشح پروتون‌ها و سیدروفورها و تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های فلزی، در رهاسازی پتاسیم از کانی‌ها مؤثر است (۲۱). این اثر مثبت با نتایج صلاحی و همکاران (۲۰۲۳) در افزایش پتاسیم برگ کتان روغنی و شنبلیله تحت تلقیح با مایکوریزا همسو می‌باشد (۱۲).

بالاترین محتوای آهن اندام هوایی گندم سیاه در کشت مخلوط لوبیا چیتی + ۹۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) ثبت شد که با تیمار ۶۰٪ گندم سیاه اختلاف آماری معنی‌دار نداشت. کمترین میزان آهن نیز به کشت خالص گندم سیاه (بدون کنترل) اختصاص داشت که با تیمار کشت مخلوط لوبیا + ۳۰٪ گندم سیاه اختلاف آماری معنی‌دار نداشت (جدول ۷). کاربرد مایکوریزا با افزایش ۸/۹۷ درصد این صفت همراه شد (جدول ۷). افزایش محتوای آهن در تراکم‌های بالا به موفقیت گندم سیاه در حذف علف‌های هرز نسبت داده می‌شود؛ این حذف رقابت، سهم گندم سیاه از منابع غذایی را افزایش داده و

محتوای آهن را به تبع آن بالا برده است. در کشت مخلوط، تفاوت در حجم و ساختار ریشه گونه‌ها می‌تواند به جذب مکمل عناصر و افزایش کارایی جذب کلی منجر شود، یافته‌ای که با نتایج قنبری و همکاران (۱۳۹۶) در مورد تأثیر نسبت‌های مخلوط جو - شنبلیله بر محتوای آهن علوفه همسو است (۲۱). همچنین کاربرد مایکوریزا با بهبود شرایط و فرآیند جذب عناصر که تابعی از عوامل محیطی مانند غلظت و رطوبت خاک است، موجب آزادسازی و جذب بیشتر آهن از کمپلکس‌های موجود در خاک شده و غلظت آهن اندام هوایی را افزایش داده است (۱۲).

بیشترین محتوای روی اندام هوایی (۵۰/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار کشت مخلوط لوبیا + ۹۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) ثبت شد. کمترین میزان (۲۴/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز به کشت مخلوط لوبیا + ۳۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) اختصاص یافت (جدول ۷). همچنین کاربرد مایکوریزا باعث افزایش ۲۱/۲۱ درصد روی اندام هوایی گندم سیاه گردید (جدول ۷). افزایش محتوای روی در گندم سیاه در تراکم‌های بالا، ناشی از بهبود شرایط رشد و کاهش رقابت علف‌های هرز است. این تراکم بالا، شرایط جذب مطلوب عناصر پرنیاز (نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم) را فراهم کرده و از این‌رو جذب روی را نیز افزایش داده است. هیف‌های خارج‌ریشه‌ای مایکوریزا آربوسکولار با گسترش دامنه اکتشاف خاک و افزایش سطح مؤثر تماس ریشه-خاک، جذب عناصر کم‌تحرک مانند فسفر و روی را بهبود داده و موجب افزایش تجمع این عناصر در بافت‌های گیاهی می‌شوند (۱۲، ۲۷). این اثر مثبت با یافته‌های حقانی‌نیا و همکاران (۲۰۲۱) مبنی بر افزایش محتوای روی در گیاه جو تحت کاربرد مایکوریزا (در کشت مخلوط جو - خلر)

مطابقت دارد (۲۴).

عملکرد دانه گندم سیاه: بالاترین عملکرد دانه گندم سیاه (۲۶۲۱ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص گندم سیاه بدون کنترل علف هرز ثبت شد. کمترین عملکرد (۱۴۶۲ کیلوگرم در هکتار) نیز به کشت مخلوط لوبیا + ۳۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) اختصاص داشت (جدول ۷). اعمال کود مایکوریزا نیز با افزایش ۱۰ درصد عملکرد دانه همراه بود (جدول ۷). بیشتر بودن عملکرد دانه در کشت خالص گندم سیاه نتیجه مستقیم توانایی بالای این گیاه در کنترل علف‌های هرز و در نتیجه، کاهش حداکثری رقابت بین‌گونه‌ای بر سر منابع محیطی می‌باشد. این اصل که حذف رقابت به بهبود عملکرد می‌انجامد، با یافته‌های پژوهش حمزه‌ئی و قمری رحیم (۲۰۱۴) در مورد ذرت خالص با وجین کامل که بیشترین عملکرد بلال را ثبت کرد، هم‌راستا است (۳۹). تأثیر مثبت مایکوریزا بر عملکرد دانه گندم سیاه به دلیل توانایی آن در بهبود جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف است (۵). این عناصر در فرآیند تثبیت نیتروژن مولکولی نقش کلیدی دارند و مایکوریزا با تسریع این فرآیند، رشد بقولات را بهبود می‌بخشد و جذب نیتروژن از خاک به فرم آمونیوم را افزایش می‌دهد. این افزایش مواد غذایی، در نهایت به افزایش عملکرد دانه منجر می‌شود (۵). نتایج حاضر با گزارش علیزاده و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد که بیان کردند بهبود جذب عناصر غذایی توسط مایکوریزا منجر به افزایش سطح برگ و جذب نور و در نهایت افزایش عملکرد در بزرک (تحت مخلوط با باقلا) شد (۴).

عملکرد زیستی گندم سیاه: بالاترین عملکرد زیستی (۶۷۵۵ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص گندم سیاه بدون کنترل علف هرز ثبت شد. کمترین عملکرد (۴۲۵۷ کیلوگرم در هکتار) نیز در کشت مخلوط لوبیا + ۳۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) بود

(جدول ۷). علاوه بر این، کاربرد مایکوریزا به طور معنی داری عملکرد زیستی را افزایش داد (جدول ۷). اگرچه بیشترین عملکرد زیستی از کشت خالص گندم سیاه حاصل شد، اما نتایج نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط به واسطه کنترل علف‌های هرز است. با وجود اینکه کاهش تراکم گندم سیاه منجر به کاهش عملکرد زیستی شد، اما پوشش بهتر زمین توسط کشت مخلوط توانست اثرات رقابتی علف‌های هرز را کاهش داده و کاهش عملکرد ناشی از تراکم کمتر گندم سیاه را تا حدودی جبران نماید، سرکوب علف‌های هرز در تمام الگوهای کشت باعث افزایش عملکرد زیستی شد که با نتایج حمزه‌ئی و قمری رحیم (۲۰۱۴) در مورد بیشترین عملکرد زیستی ذرت در تیمار وجین کامل مطابقت دارد (۳۹). تأثیر مثبت مایکوریزا بر عملکرد زیستی ناشی از بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک است. مایکوریزا با افزایش غلظت نیتروژن و کلروفیل برگ، سرعت فتوسنتز در واحد سطح و فعالیت آنزیم‌های کلیدی نیترات ردوکتاز و نیتروژناز و گلوتامین سنتتاز را افزایش می‌دهد (۳۵). مایکوریزا با تولید هورمون ایندول استیک اسید، رشد اولیه گیاه را تحریک کرده و موجب افزایش حجم ریشه و سطح جذب عناصر غذایی می‌گردد (۱۲). تلقیح با مایکوریزا با افزایش سیتوکنین و کلروفیل، جذب بیشتر آب و عناصر غذایی را تسهیل کرده و در نهایت رشد و عملکرد زیستی گیاه را بهبود می‌بخشد (۱۲).

شاخص برداشت گندم سیاه: بالاترین شاخص برداشت گندم سیاه (۳۹/۸ درصد) در کشت خالص گندم سیاه بدون کنترل علف هرز به دست آمد. در مقابل، کمترین

شاخص برداشت (۳۲/۶ درصد) در کشت مخلوط ۶۰٪ گندم سیاه (بدون کنترل علف هرز) ثبت گردید (جدول ۷). همچنین، کاربرد مایکوریزا منجر به افزایش ۴/۲ درصدی در شاخص برداشت گندم سیاه نسبت به شرایط عدم کاربرد شد (جدول ۷). شاخص برداشت به عنوان ضریب تخصیص فرآورده‌های فتوسنتزی به اندام اقتصادی (دانه)، در تیمارهای مختلف متأثر از تفاوت در الگوی توزیع آسیمیلات‌ها است (۳۰). بیشینه شاخص برداشت در کشت خالص گندم سیاه احتمالاً به دلیل تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و انتقال مناسب‌تر آسیمیلات‌ها به دانه است (۴۰)؛ به عبارتی، تعادل مطلوب عناصر غذایی باعث ایجاد مقصد فراوان (دانه) شده و انتقال مؤثر فرآورده‌های رویشی به زایشی را تقویت می‌کند (۲۸). از سوی دیگر افزایش شاخص برداشت با کاربرد مایکوریزا، نشان‌دهنده تأثیر این قارچ بر تخصیص مجدد مواد است. به نظر می‌رسد مایکوریزا با افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به افزایش عملکرد زیستی کلی، کارایی تبدیل بیوماس به دانه را بهبود بخشیده است.

ارزیابی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط لوبیا چیتی - گندم سیاه: اثر اصلی الگوی کشت بر نسبت برابری زمین در کشت خالص لوبیا چیتی (با و بدون کنترل علف هرز) در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۸). برای کاهش یا افزایش عملکرد واقعی با کنترل علف هرز اثر الگوی کشت و مایکوریزا به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی دار شد. در شرایط بدون کنترل علف هرز نیز برهمکنش دوگانه در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت برابری زمین و کاهش عملکرد واقعی تحت سطوح مختلف مایکوریزا و الگوهای کشت.

Table 8. analysis of variance (mean squares) land equivalence ratio and actual yield reduction under different levels of mycorrhiza and sowing patterns.

منابع تغییرات S.O.V	درجه df	نسبت برابری زمین بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف هرز	نسبت برابری زمین علف هرز بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل	کاهش عملکرد واقعی بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف هرز Decrease or increasing actual yield based on pure cultivation of pinto beans with weed control	کاهش عملکرد واقعی بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف هرز Decrease or increase in actual yield based on pure cultivation of chickpea without weed control
تکرار Replication	2	0.014 ^{ns}	0.094 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.09 ^{ns}
الگوی کشت (A) Sowing pattern (A)	3	0.031 [*]	0.045 [*]	1.43 ^{**}	2.15 [*]
مایکوریزا (B) Mycorrhiza (B)	1	0.033 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.21 [*]	0.01 ^{ns}
A×B	3	0.006 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.05 [*]
خطا Error	10	0.007	0.009	0.02-	0.01
ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)	-	6.02	4.81	-45.70	15.35

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطوح ۵٪ و ۱٪ را نشان می دهد.

ns, * and ** indicate non-significant and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

عملکرد کاهش یافت، در صورتی که در کشت خالص، رقابت علف های هرز، عملکرد لوبیا چیتی را به شدت کاهش داد. محققان در ارزیابی سودمندی مخلوط لوبیا چشم بلبلی - کنجد مشاهده نمودند که در شرایط حضور علف هرز در مقایسه با بدون علف های هرز نسبت برابری زمین بیشتری در الگوهای مخلوط حاصل شد. ایشان بیان نمودند در چنین وضعیتی استفاده کارآمدتر از منابع محیطی، افزایش تنوع و کنترل بهتر علف های هرز نسبت به الگوی کشت خالص حاصل شد (۳). قلی نژاد و همکاران (۲۰۱۸) در کشت مخلوط افزایشی ذرت شیرین - ماش گزارش کردند LER کل در همه تیمارها بالاتر از یک بوده و افزایش تدریجی LER در سری های افزایشی نسبت به جایگزینی، حاکی از تولید نسبتاً خوب ذرت و ماش بوده است (۹).

نسبت برابری زمین (LER) بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی (با و بدون کنترل علف هرز): براساس نتایج میزان این شاخص ها در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بوده و بیشترین آن ها به ترتیب با میانگین های ۱/۵۰ و ۲/۱۶ به کشت مخلوط لوبیا چیتی + ۶۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف های هرز تعلق داشت (جدول ۹). در این الگوها LER بالاتر از یک امکان بهره برداری بیشتر از واحد سطح را در کشت مخلوط نشان می دهد. به این ترتیب تسهیل بین گونه ای بیش از رقابت بین گونه ای بوده است. در شرایط محاسبه LER بر اساس کشت خالص بدون کنترل علف های هرز، حضور گندم سیاه سبب کاهش فشار رقابتی علف های هرز شد و در نتیجه با کاهش تراکم علف های هرز باعث سرکوب رشد آن ها گردید. بنابراین در کشت مخلوط خسارت علف های هرز بر

اثر کشت مخلوط لوبیا چیتی و گندم سیاه بر جذب عناصر... / مرضیه طاهری و همکاران

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات الگوی کشت و مایکوریزا برای نسبت برابری زمین و کاهش یا افزایش عملکرد واقعی بر اساس کشت خالص لوبیاچیتی با کنترل علف هرز.

Table 9. mean comparison of the sowing pattern and mycorrhiza for land equivalence ratio and reducing or increasing actual yield based on pure cultivation of pinto beans with weed control.

عامل‌های آزمایش Experimental factors	نسبت برابری زمین بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی با کنترل علف هرز Land equivalence ratio based on pure pinto bean cultivation with weed control	نسبت برابری زمین بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف هرز Land equivalence ratio based on pure pinto bean cultivation without weed control	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی بر اساس کشت خالص لوبیاچیتی با کنترل علف هرز Decrease or increasing actual yield based on pure cultivation of pinto beans with weed control
الگوی کشت Sowing pattern	لوبیاچیتی + ۳۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+30%BW-W0	2.01 ^b	0.20 ^a
	لوبیاچیتی + ۶۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+60%BW-W0	2.16 ^a	-0.56 ^b
	لوبیاچیتی + ۹۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+90%BW-W0	2.02 ^b	-0.70 ^b
	1.30 ^b		
	1.50 ^a		
	1.46 ^{ab}		
مایکوریزا Mycorrhiza	کاربرد Application	-	-0.24 ^a
	عدم کاربرد No-Application	-	-0.46 ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

بیشترین کاهش در سطح عدم کاربرد مایکوریزا (۰/۴۶-) حاصل شد (جدول ۹). از طرف دیگر بالاترین AYL بر اساس کشت خالص لوبیا چیتی بدون کنترل علف هرز (۱/۶۶)، در کشت مخلوط لوبیا + ۳۰٪ گندم سیاه + عدم کاربرد مایکوریزا حاصل شد و کم‌ترین AYL (۰/۰۷) مربوط به کشت مخلوط لوبیا + ۹۰٪ گندم سیاه + کاربرد مایکوریزا بود (جدول ۱۰).

کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL) بر اساس کشت خالص لوبیاچیتی (با و بدون کنترل علف هرز): در شرایط کنترل علف هرز نشان داد که کشت مخلوط لوبیا + ۳۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف‌های هرز کاهش عملکرد واقعی نداشت (۰/۲۰). کمترین میزان کاهش عملکرد واقعی با کنترل علف هرز از کشت مخلوط لوبیا + ۹۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف‌های هرز حاصل شد (جدول ۹). AYL در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا منفی بود و

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات برهم کنش الگوی کشت و مایکوریزا برای کاهش یا افزایش عملکرد واقعی براساس کشت خالص لوبیاچیتی بدون کنترل علف هرز

Table 10. mean comparison of the of the interaction between sowing pattern and mycorrhiza for or reducing or increasing actual yield based on pure cultivation of pinto beans without weed control

کشت مخلوط Intercropping	مایکوریزا Mycorrhiza	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی بر اساس کشت خالص لوبیاچیتی بدون کنترل علف هرز Decrease or increase in actual yield based on pure cultivation of chickpea without weed control
لوبیاچیتی + ۳۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+30%BW-W0	کاربرد Application	1.44 ^b
	عدم کاربرد No-Application	1.66 ^a
لوبیاچیتی + ۶۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+60%BW-W0	کاربرد Application	0.60 ^c
	عدم کاربرد No-Application	0.61 ^c
لوبیاچیتی + ۹۰٪ گندم سیاه بدون کنترل علف هرز PB+90%BW-W0	کاربرد Application	0.07 ^d
	عدم کاربرد No-Application	0.15 ^d

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

پژوهشی دیگر بر مخلوط ذرت - لوبیا، بیشترین AYL به کشت افزایشی ۸۰٪ لوبیا تحت شرایط عدم کنترل علف‌های هرز، همچنین در شرایط کنترل علف‌های هرز نیز همین تیمار بیشترین سودمندی را بر اساس این شاخص نشان داد (۴۲).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کشت مخلوط به‌عنوان راهبردی مؤثر می‌تواند با استفاده بهینه از منابع محیطی، افزایش عملکرد، بهبود جذب عناصر غذایی و کنترل مؤثر علف‌های هرز را موجب شود. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد و میزان عناصر غذایی در لوبیا چیتی از کشت خالص همراه با کنترل علف‌های هرز به‌دست آمد. افزایش تراکم گندم سیاه در کشت مخلوط باعث کاهش زیست‌توده علف‌های هرز شد. به‌طور کلی ترکیب لوبیا چیتی با ۶۰٪ گندم

مثبت بودن مقادیر AYL نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. بنابراین کشت مخلوط در این نسبت‌های ترکیبی دارای رعایت اصل تولید حمایتی بوده است. در واقع گندم سیاه با اثرات کنترلی بر علف‌های هرز، باعث کاهش نقصان عملکرد لوبیا چیتی در مخلوط شده و از همین رو نسبت به کشت خالص لوبیاچیتی آلوده به علف هرز، عملکرد را بهبود بخشیده است. در تحقیقی بر کشت مخلوط ارزن و ذرت بیان شد که کم‌ترین میزان AYL در ذرت به تیمار افزایشی حاوی ۲۵٪ ارزن در تاریخ کاشت ۲۰ روز پیش از ذرت مربوط بود. بالاترین میزان نیز از تیمار ۱۰٪ ذرت + ۵۰٪ ارزن در تاریخ کاشت هم زمان دو گیاه به‌دست آمد که معادل ۴۳/۵ درصد افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص ذرت بود. بیشترین میزان شاخص AYL کل از تیمار افزایشی حاوی ۱۲/۵ درصد ارزن حاصل شد (۴۱). در

سیاه نسبت به دیگر الگوهای کشت نتایج بهتری را نشان داد. استفاده از کود زیستی مایکوریزا نیز موجب بهبود صفات عملکردی گیاهان و کاهش جذب عناصر غذایی توسط علف‌های هرز گردید. نسبت برابری زمین در همه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده سودمندی این نوع کشت است. این یافته‌ها مؤید آن هستند که کشت مخلوط به‌عنوان یک

نظام پایدار و کارآمد، می‌تواند نقش مهمی در تولید کشاورزی ایفا کند.

سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه یاسوج جهت فراهمی شرایط انجام این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

References

1. Kumar, R., Singh, J., & Uppal, S. K. (2017). Management of weeds in sugarcane - wheat intercropping system in subtropical India. *Indian Journal of Weed Science*, 49(2), 139-146.
2. Yuan-Quan, C., Peng, S., Chen, L., & Xue-peng, S. (2012). Xanthium suppression under maize-sunflower intercropping system. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(6), 1026-1037.
3. Hosseinzadeh, M., Hoseini, S. M. B., & Alizadeh, H. (2021). Study of sesame (*Sesamum indicum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping under weed control and non-control conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(3), 147-162. [In Persian]
4. Alizadeh, K., Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., & Barin, M. (2019). The effect of combined application of PGPR and mycorrhizal fungi in intercropping of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) on growth characteristics and seed yield. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(1), 123-140. [In Persian]
5. Weisany, W., Zehtab-Salmasi, S., Raei, Y., Sohrabi, Y., & Ghassemi-Golezani, K. (2016). Can arbuscular mycorrhizal fungi improve competitive ability of dill+common bean intercrops against weeds? *European Journal of Agronomy*, 75, 60-71.
6. Khosravi, M., Tavassoli, A., Piri, I., & Babaeian, M. (2021). Effect of weeds management on yield and nutrient content of sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4), 1-16. [In Persian]
7. Khoshnam, Z., Amiri Nejad, M., Aein, A., & Parsa Motlagh, B. (2020). The evaluation of intercropping system of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) and Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) on yield, weed biodiversity and changes of weeds community. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 10(2), 109-121. [In Persian]
8. Abadian, H., Yarnia, M., Pirdashti, H., Abasi, R., & Farahvash, F. (2015). The effect of planting pattern and nitrogen fertilizer on yield of basil (*Ocimum basiilicum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping under weed competition. *Crop Production*, 3(3), 1-18. [In Persian]
9. Gholinejad, A., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., & Farajee, H. (2018). The effect of additive intercropping on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L. var. Saccharata) and mungbean (*Vigna radiate* L.) and weed biomass. *Journal of Agroecology*, 10(1), 120-134. [In Persian]
10. Khodayar Yeganeh, N., Pirzad, A., Jalilian, J., & Jafarzadeh, N. (2018). Effect of arbuscular mycorrhiza fungus (*Funneliformis mosseae*) and weeds interference on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*) under dryland conditions in Urmia. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 7(1): 47-62. [In Persian]
11. Salahi, T., Yadavi, A., Salehi, A., Balouchi, H., & Hmidian, M. (2023). Comparison of two mycorrhizal species in improving the absorption of nutrients and beneficial indicators of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) intercropping. *Journal of Plant Ecophysiology*, 14(3), 87-100.

12. Mirzaei Heidari, M. (2021). Investigation the effect of mycorrhizal fungus and supplementary irrigation on growth, yield and yield components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in two seasons of autumn and spring cultivation in climatic conditions of Ilam Province. *Crop Physiology Journal*, 13(50), 23-45.
13. Devi, M., Dhanalakshmi, S., Govindarajan, G. T., Tanisha, B. A., Sonalika, T., Ruth, J. E., & Ramasamy, M. N. (2020). A review on *Phaseolus vulgaris* Linn. *Pharmacognosy Journal*, 12(5), 34-45.
14. Koyama, M., Nakamura, C., & Nakamura, K. (2013). Changes in phenols contents from buckwheat sprouts during growth stage. *Journal of Food Science and Technology*, 50(1): 86-93.
15. Emami, A. (1996). Plant Analysis methods. Publication of Research Organization, Agricultural Extension Training, No. 982. *Publications of Soil and Water Research Institute*. 1: 126 p.
16. Patterson, B., Macrae, E., & Ferguson, I. (1984). Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). *Annual Biochemical*, 139, 487-492.
17. Mead, R., & Willey, R. W. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, 16, 217-228.
18. 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.
19. Faramarzi, F., Taghizadeh, M. S., Behpoori, A., & Afzali Harsini, S. (2019). Effect of cereals intercropping systems and application of nitrogen fertilizer on nitrogen and micronutrients content of weeds shoot and grain yield. *Journal of Agroecology*, 11(1), 171-184.
20. Rad, S. V., Valadabadi, S. A. R., Pouryousef, M., Saifzadeh, S., Zakrin, H. R., & Mastinu, A. (2020). Quantitative and qualitative evaluation of *Sorghum bicolor* L. under intercropping with legumes and different weed control methods. *Horticulturae*, 6(4), 78.
21. Shahgholi, H., Ansori, A., Talaei, H. G., & Asgharipour, M. R. (2016). Effect of Mycorrhizal Fungi and Trifluralin Herbicide on Emergence, Growth and Root Colonization of Clover (*Trifolium repens* L.). *Iranian Plant Protection Research*, 2(35), 199-208. [In Persian]
22. Hamzei, J., Seyedi, M., Ahmadvand, G., & Abutalebian, M. A. (2012). The Effect of Additive Intercropping on Weed Suppression, Yield and Yield Component of Chickpea and Barley. *Journal of Crop Production and Processing*, 2(3), 43-56. [In Persian]
23. Samsami, N., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A., & Gholinezhad, E. (2019). Effect of mycorrhizal fungi and rhizobium bacterial on qualitative and quantitative traits of soybean in response to drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 21(1), 13-26.
24. Haghaninia, M., Javanmard, A., & Mollaaliabasiyan, S. (2021). Investigation of forage yield and nutrients uptake in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) and grasspea (*Lathyrus sativus* L.) affected by symbiosis with glomus intraradices fungus. *Journal of Agroecology*, 12(4), 663-683. [In Persian]
25. Wahbi, S., Maghraoui, T., Hafidi, M., Sanguin, H., Oufdou, K., & Prin, Y. (2016). Enhanced transfer of biologically fixed N from faba bean to intercropped wheat through mycorrhizal symbiosis. *Applied Soil Ecology*, 107, 91-98.
26. Ghanbari, S., Moradi-Tilawi, M. R., & Sayadat, A. A. (2017). The effect of animal manure on forage yield, absorption and consumption of some nutrients in a barley and fenugreek intercropping system. *Journal of Iranian Agricultural Research*, 15(3), 603-614. [In Persian]
27. Fall1, F., Diouf, D., Fall, D., Ndoye, I., Ndiaye, Ch., Kane, A., & Mustapha Bâ, A. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on growth, and nutrient uptake of the two grass species, *Leptochloa fusca* (L.) Stapf and *Sporobolus robustus* Kunth, under greenhouse conditions. *African Journal of Biotechnology*, 14(39), 2770-2776.

28. Reinhard, W., Neugschwandtner, R., & Kaul, P. H. (2016). Concentrations and uptake of macronutrients by oat and pea in intercrops in response to N fertilization and sowing ratio. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(9), 1236-1249.
29. Taslima Zahan, M. D., Faruque, H., Apurba, K., Chowdhury, M. D., Omar, Ali, M. D., Akkas, A., Eldessoky, Dessoky, S., Mohamed Hassan, M., Sagar, M., & Akbar, H. (2021). Herbicide in weed management of wheat (*Triticum aestivum* L.) and rainy season rice (*Oryza sativa* L.) under conservation agricultural system. *Agronomy*, 11, 1704-1720.
30. Tyagia, J., Varma, A., & Pudake, R. N. (2017). Evaluation of comparative effects of arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus intraradices*) and endophyte (*Piriformospora indica*) association with finger millet (*Eleusine coracana*) under drought stress. *European Journal of Soil Biology*, 81, 1-10.
31. Mehni, J., Mahdavi, B., Azari, A., Afkar, S., & Hashemi, S. E. (2020). Evaluation of yield and productivity indices of black cumin and fenugreek intercropping under weedy and weed-free conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), 73-87. [In Persian]
32. Rezvani Moghadam, P., & Moradi, R. (2012). Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 43(2), 217-230. [In Persian]
33. Bigonah, R., Rezvani-Moghaddam, P., & Jahan, M. (2014). The effect of intercropping on biological yield, nitrogen percentage and morphological characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(12), 369-377. [In Persian]
34. Zhang, L., Feng, Y., Zhao, Z., Cui, Z., Baoyin, B., Wang, H., & Cui, J. (2024). Maize/soybean intercropping with nitrogen supply levels increases maize yield and nitrogen uptake by influencing the rhizosphere bacterial diversity of soil. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1437631
35. Wang, Z., Lian, J., Liang, J., Wei, H., Chen, H., Hu, W., & Tang, M. (2024). Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates nitrogen uptake and assimilation to enhance drought tolerance of *Populus cathayana*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 210, 108648.
36. Soleimanpoor, L., Naderi, R., & Najafi Ghiri, M. (2017). Evaluation of metal micronutrients uptake in cereal-legume intercropping. *Journal of Crops Improvement*, 18(4), 1017-1031.
37. Van der Bom, F., Magid, J., Jensen, L. S., & Jensen, E. S. (2017). Long-term fertilisation strategies and nitrogen capture during short-term competition between grass-clover mixtures and weeds. *European Journal of Agronomy*, 82, 157-164.
38. Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., & Jensen, E. S. (2001). Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field crops research*, 70(2), 101-109.
39. Hamzei, J., & Ghamari Rahim, N. (2014). Evaluation of the effect of additive intercropping of *Phaseolus vulgaris* in weed control at the maize field and its effects on yield and land use efficiency. *Journal of Crop Production and Processing*, 3(10), 89-99. [In Persian]
40. Javanmard, A., Sadre Karimi, E., Amani Machiani, M., Morshedloo, M. R., & Ostadi, A. (2020). Effect of symbiosis with mycorrhizal fungus (*Funneliformis mosseae*) on yield and yield component of black cumin (*Nigella sativa* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(4), 19-43. [In Persian]
41. Shaygan, M., Mazaheri, D., Mashhadi, H. R., & Peyghambari, S. A. (2008). Effect of planting date and intercropping maize (*Zea mays* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) on their grain yield and weeds control. *Iranian Journal of Crop Science*, 10(1), 31-46. [In Persian]
42. Mansouri, H., Mansouri, L., Jamshidi, Kh., Rastgo, M., & Moradi, R. A. (2013). Light absorption and use efficiency in corn-bean intercropping in Zanjan region. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop and Horticultural Production and Processing*, 3(9), 15-27. [In Persian]