

تأثیر تلقیح باکتری ریزوبیوم (*Mesorhizobium*) و قارچ میکوریزا آرباسکولار (*Glomus claroideum*) بر ویژگی‌های زراعی ذرت (*Zea mays*) و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) در شرایط کشت مخلوط

زهرا مرزبان^{۱*}، الهام فاریابی^۱، حدیث زارعمثنی^۱، پریا اصغرزاده^۱

۱- گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: marzban_zahra1986@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.355807.1265

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۱

چکیده

تنوع زیستی از جمله مولفه‌های مهم کشاورزی پایدار است که با افزایش یا کاهش آن، فراهمی خدمات اکوسیستمی در بوم نظام‌های کشاورزی قابل تغییر می‌باشد. امروزه تنوع زیستی در بوم نظام‌های کشاورزی را می‌توان با استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط و افزایش تنوع گونه‌ای بیولوژیک خاک بهبود بخشید. بنابراین جهت بررسی تأثیر باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا آرباسکولار بر بهبود عملکرد در کشت مخلوط جایگزینی ذرت و لوبیا سبز، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار، با فاکتورهای: ۱- سیستم کشت (خالص ذرت، خالص لوبیا و کشت مخلوط ۵۰ درصد از هر دو گونه)، ۲- ریزوبیوم (عدم مصرف و مصرف)، ۳- قارچ میکوریزا (عدم مصرف و مصرف) در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور ازنا اجرا شد. نتایج نشان داد که تیمار کشت مخلوط توأم با مصرف باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل برگ، تعداد دانه در ردیف بلال در ذرت را به ترتیب ۴۷، ۵۵، ۲۶ و ۳۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. تیمار کشت خالص لوبیا به همراه باکتری عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کلروفیل برگ لوبیا را به ترتیب ۵۰، ۴۷ و ۳۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. نسبت برابری زمین در تمام تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود و بیشترین نسبت برابری زمین از تیمار کشت مخلوط توأم با مصرف باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا برابر ۱/۹۸ بدست آمد که نشان‌دهنده روابط متقابل مثبت ترکیب گیاهی مخلوط نسبت به خالص و برتری کشت مخلوط ذرت نسبت به کشت خالص می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، غله، لگوم، نسبت برابری زمین

مقدمه

و پایداری آن‌ها افزایش می‌یابد. سیستم‌های مختلف کشت مخلوط با بهره‌گیری مؤثر از زمان و مکان، باعث افزایش عملکرد در واحد سطح و زمان شده است. سیستم‌های کشت مخلوط بر خلاف نظام‌های تک‌کشتی در راستای اصول اکولوژیک پیش می‌روند و در صورت بهره‌گیری مؤثر و گسترده از آن‌ها ثبات و پایداری نظام‌های کشاورزی افزایش می‌یابد (Cong et al., 2015). از راهکارهای دیگر برای افزایش تنوع گونه‌ای، شناخت و بکارگیری پتانسیل بیولوژیک خاک است. یکی از مهم‌ترین چرخه‌های بیوشیمیایی خاک همزیستی باکتری‌های ریزوبیوم با بقولات است که در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی دارای اهمیت فراوانی است (Duane et al., 2019). از دیگر کودهای بیولوژیک که می‌توان نام برد قارچ میکوریزا آرباسکولار است که بخش نسبتاً مهمی از موجودات خاکزی را شامل می‌شود. همزیستی این قارچ با ریشه گیاهان میزبان و تشکیل سیستم

یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار بازگرداندن تنوع به اکوسیستم‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن است. تنوع در نظام‌های پایدار در کشاورزی اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیشتر از منابع، افزایش کمی و کیفی عملکرد و کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کاهش وابستگی کشاورزان به آفت‌کش‌ها، به شرط حفظ کیفیت محصول و بازارپسندی آن را دنبال می‌کند (Lin et al., 2015). همچنین افزایش سطح زیر کشت گیاهان زراعی در راستای افزایش تولیدات کشاورزی، به دلیل محدود بودن زمین‌های قابل کشت به بن‌بست رسیده است و راه‌حل باقیمانده افزایش تولید در واحد سطح و استفاده از زمان است (Habibzadeh et al., 2014). با ایجاد تنوع از طریق کشت مخلوط، نظام‌های زراعی به منابع درونی و قابل تجدید خود وابستگی بیشتری پیدا می‌کنند

زراعی نسبت به حداکثر عملکرد و درآمد در کوتاه مدت از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین، استفاده از قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم در کشت مخلوط با کاهش مصرف نهاده‌های در مزرعه باعث افزایش درآمد خالص و کاهش خطر احتمالی در بوم نظام‌های زراعی می‌شود (Marzban *et al.*, 2017). با توجه به اهمیت تلقیح قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم در بهبود عملکرد محصولات زراعی و همچنین ضرورت کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار، این تحقیق با هدف بررسی نقش تأثیر کشت مخلوط، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا با هدف ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد در کشت مخلوط ذرت با لوبیا سبز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه آموزشی- تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور ازنا در بهار سال ۱۳۹۸ اجرا شد. شهرستان ازنا در موقعیت جغرافیایی در طول ۲۷، ۴۹۰ طول شرقی و ۲۷، ۳۳۰ عرض شمالی قرار گرفته است و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۸۷۰ متر است. اقلیم حاکم بر این منطقه نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد است و این نوع آب و هوا دارای زمستان‌های سرد و پربرف می‌باشد. میانگین دمای سالانه شهرستان ۱۲/۸ درجه‌ی سانتیگراد، و میانگین بارش سالانه ۳۰۴ میلی‌متر می‌باشد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ درج گردیده است.

میکوریزایی نقش مهمی در حاصلخیزی و پایداری اکوسیستم خاک دارد (Zhou *et al.*, 2020). گزارشات متعددی حاکی از اثرات مثبت تلقیح دوگانه سویه‌های ریزوبیوم با قارچ میکوریزا در رشد گیاهان وجود دارد (Igiehon *et al.*, 2021).

در بررسی بر روی لوبیا گزارش شد که باکتری ریزوبیوم عملکرد دانه را ۳۲ درصد افزایش داده است (dos Santos *et al.*, 2020). در بررسی دیگر بر روی همزیستی قارچ‌های میکوریزی با ریشه گیاه ذرت گزارش شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش سطح ریشه، جذب بیشتر بعضی از عناصر ضروری به ویژه عناصر کم مصرف به وسیله گیاه و در نتیجه موجب افزایش عملکرد ذرت می‌شود (Ma *et al.*, 2022). در بررسی تلقیح دوگانه قارچ میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در کشت مخلوط گندم و باقلا گزارش شد که کاربرد میکوریزا و باکتری محرک رشد در کشت مخلوط میزان نیتروژن خاک، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۵۰/۶۵ درصد، ۵۵/۸۱ درصد و ۴۴/۰۵ درصد نسبت به تک کشت افزایش داده است. همچنین این محققین اثرات مفید تلقیح قارچ میکوریزا و باکتری محرک رشد در کشت مخلوط حاصلخیزی خاک و رشد گیاه را نشان دادند و استفاده از این سیستم را به عنوان رویکردی پایدار برای بهبود بهره‌وری محصول و ارتقای امنیت غذایی پیشنهاد کردند (Sammama *et al.*, 2022). یکی از اهداف استفاده از قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم در کشت مخلوط تأمین پایداری عملکرد است. برای کشاورزانی که منابع محدودی در اختیار دارند، ثبات عملکرد و درآمد سیستم‌های

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical properties of farm Soil

سال Year	عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (ds m ⁻¹)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	کربن آلی O.C (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	لای Silt (%)	بافت Texture
2020	0-30	0.71	7.95	0.074	262	26.2	0.77	31.6	28.4	40	سیلنتی رسی silty clay

(مصرف و عدم مصرف) و قارچ میکوریزا (مصرف و عدم مصرف) بودند. در این مطالعه ذرت رقم ذرت سینگل کراس ۶۰۴ و رقم لوبیا سبز رقم سانری GSN از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل اردیبهشت ۱۳۹۸

این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل: انواع سیستم کشت (کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیا سبز، کشت مخلوط (براساس سری‌های جایگزینی)، باکتری ریزوبیوم

کاشت و فاصله بین ردیفها ۵۰ سانتی متر برای تمام تیمارها با فاصله بذور روی ردیفها ۲۰ سانتی متر برای لوبیا و ذرت در نظر گرفته شد. در تیمار کشت مخلوط نیز کشت بذور گونه‌ها به صورت مخلوط ردیفی در قالب طرح جایگزینی (ذرت ۵۰ : ۵۰ لوبیا سبز) انجام شد. با توجه به شرایط زمین و نوع آبیاری بذور در عمق ۵ سانتی متری در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۲۵ کشت شدند.

صورت گرفت. در ابتدا زمین مورد نظر توسط گاواهن برگرداندار شخم زده شد و سپس اقدام به عمل تسطیح زمین گردید. در پایان به وسیله فاروئر پشته‌هایی به عرض ۵۰ سانتی متر در جهت شمالی جنوبی ایجاد گردید. ابتدا ابعاد کرت‌ها در زمین مورد آزمایش مشخص شد و پس از تعیین کرت‌ها، جوی‌های آبیاری تعبیه گردیدند. هر کرت به طول ۶ متر شامل ۷ ردیف

*****	ooooooo	* o * o * o *
*****	ooooooo	* o * o * o *
*****	ooooooo	* o * o * o *
*****	ooooooo	* o * o * o *

* و O به ترتیب ذرت و لوبیا

* and O respectively maize and beans

شکل ۱- طراحی سیستم کشت مخلوط و خالص

Figure 1- Designed method of intercropping and monocropping

ذرت و لوبیا به طور تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل گردید. به منظور ارزیابی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در پایان فصل رشد، ۲۸ بوته لوبیا و ۶ بوته ذرت از هر کرت در تاریخ ۱۳۹۸/۶/۲۵ برداشت شد. پس از جدا نمودن غلاف‌های لوبیا و بلال‌های ذرت نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و سپس وزن شدند. صفاتی چون عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، کلروفیل برگ، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری کلروفیل کل برگ در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی مزرعه از برگ‌های بالایی و کاملاً باز بوته‌ها نمونه‌برداری انجام گرفت. ابتدا ۰/۰۲ گرم از نمونه تازه برگ را با ۵ میلی لیتر دی متیل سولفوکسید درون یک ظرف ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه در آون با دما ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از سرد شدن کامل نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر، جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۹، ۶۶۵ و ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Wellburn, 1994). کلیه محاسبات آماری، تجزیه واریانس و مقایسات میانگین با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

در تیمارهای قارچ میکوریزا میزان ۱۵ گرم مایه تلقیح قارچ در زیر هر بذر قرار داده شد. این مایه حاوی خاک، اسپور، ریشه آلوده گیاه و ریشه قارچ بود و در ۱۰۰ گرم آن ۱۲۱۵ عدد اسپور قرار داشت. برای اعمال تیمارهای آزمایش باکتری، از کود بیولوژیک ریزوبین سوپر پلاس به (با جمعیت تقریبی ۱۰۸ باکتری مزوریزوبیوم در هر میلی لیتر) تهیه شده از شرکت مهر آسیا به بذور افزوده و به طور کامل مخلوط شدند. در زمان کاشت ابتدا بذرها را با محلول قند ۲۰٪ آغشته و سپس با کود بیولوژیک ریزوبین سوپر پلاس (با جمعیت تقریبی ۱۰۸ باکتری مزوریزوبیوم در هر میلی لیتر) کامل مخلوط و پس از تلقیح در سایه، کلیه بذور تیمار شده خشک شدند. آبیاری کرت‌ها، بلافاصله بعد از کاشت از طریق آبیاری قطره‌ای به طور منظم هر هفت روز یکبار انجام گردید. وجین علف‌های هرز به صورت دستی در مرحله ۲-۴ برگی گیاه انجام شد. حدوداً دو هفته پس از کاشت عمل واکاری در نقاطی که بذور سبز نشده بود صورت گرفت و همزمان در نقاطی که هر دو بذر کشت شده سبز گردیده بودند عمل تنک صورت گرفت و بوته‌های ضعیف‌تر حذف گردید. آفت و بیماری خاصی در مزرعه در طول فصل رشد مشاهده نگردید. برای تعیین ویژگی‌های کیفی، ۶ بوته

نتایج و بحث

عملکرد دانه لوبیا سبز

نتایج نشان داد که اثر متقابل سیستم کشت، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه در سطح آماری یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج اثر متقابل سه گانه سیستم کشت، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص لوبیا به همراه باکتری ریزوبیوم ۴۳ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش یافته است (جدول ۷). در تحقیقی گزارش شد که عملکرد دانه سویا در هر دو سال در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بیشتر بوده است (Xu *et al.*, 2020). همچنین طی بررسی روی نخود اعلام کردند در محیط کشتی که ریزوبیوم وجود دارد عملکرد دانه و عملکرد علوفه افزایش معنی داری نسبت به تیمار شاهد نشان می دهد (Steiner *et al.*, 2019). به نظر می رسد در این آزمایش، به دلیل افزایش تعداد گل ها و غلاف ها، افزایش تعداد غلاف و همچنین افزایش وزن دانه در کشت خالص سبب افزایش عملکرد شده است، زیرا تعداد غلاف یکی از مهم ترین اجزای عملکرد است، همچنین باکتری ریزوبیوم، از طریق افزایش رشد شاخه های ریشه، وزن و سطح برگ موجب افزایش جذب مواد غذایی و فتوسنتز برگ بیشتر گردیده (Fekadu *et al.*, 2018) که به نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و زایشی در گیاه شده است.

عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز

در نتایج تجزیه واریانس، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سیستم کشت، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در سطح آماری پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). همچنین در این آزمایش مشاهده شد که بیشترین عملکرد بیولوژیک لوبیا با میانگین ۵۲۰۵ و کمترین با میانگین ۲۳۳۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از تیمارهای کشت خالص به همراه باکتری و کشت مخلوط به همراه قارچ بدست آمد (جدول ۷). در مطالعه ی بر روی کشت مخلوط لوبیا چشم بلبل و ذرت مشاهده شد که مصرف باکتری در کشت خالص لوبیا منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک شده است (Marzban *et al.*, 2014a). به این ترتیب چنین به نظر می رسد که علت کاهش عملکرد لوبیا در کشت مخلوط نسبت به تیمارهای کشت های خالص می تواند به دلیل رقابت بالای

ذرت با لوبیا در کشت مخلوط بر سر جذب نور و سایر منابع از جمله آب باشد، که این امر باعث کاهش جذب نور به وسیله کانوپی لوبیا و در نتیجه کاهش فتوسنتز شده که در نهایت کاهش عملکرد اقتصادی و بیولوژیک لوبیا را در کشت مخلوط به دنبال داشت. همچنین آن ها عامل اصلی کاهش عملکرد در تیمارهای بدون تلقیح با باکتری کمبود عنصر غذایی نیتروژن دانسته اند (Baghdadi *et al.*, 2016). به نظر می رسد که در تیمار کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا، به دلیل کاهش جذب نور میزان فتوسنتز کل گیاه کاهش می یابد و منبع کافی کربوهیدرات برای قارچ میکوریزا فراهم نمی شود و رقابت میان گیاه و قارچ میکوریزا روی مواد فتوسنتزی افزایش یافته و در نتیجه آن عملکرد بیولوژیک گیاه کاهش می یابد.

تعداد غلاف در بوته لوبیا سبز

تعداد غلاف در لوبیا حساس ترین جزء عملکردی و مهم ترین ویژگی، تعیین کننده عملکرد می باشد (Marzban *et al.*, 2014a). در نتایج تجزیه واریانس تعداد غلاف در بوته لوبیا سبز تحت تأثیر مصرف باکتری و اثرات متقابل باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در سطح آماری یک درصد و سیستم کشت و اثر متقابل سیستم کشت و قارچ میکوریزا در سطح آماری پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین نشان داد که با مصرف باکتری ریزوبیوم تعداد غلاف در بوته ۴۳ درصد نسبت به عدم مصرف باکتری افزایش داده است همچنین در کشت مخلوط ذرت و لوبیا به دلیل رقابت بر سر نور تعداد غلاف کمتری نسبت به کشت خالص تولید می شود بطوری که در کشت خالص لوبیا نسبت به کشت مخلوط ۲۰ درصد تعداد غلاف بیشتری داشته است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت و قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار کشت خالص لوبیا با قارچ میکوریزا با میانگین ۲۳/۸ و کمترین مقدار آن از تیمار کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا با میانگین ۱۴/۸ مشاهده شد. همچنین اثر متقابل باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا نشان داد که تلقیح توأم باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا باعث افزایش تعداد غلاف در بوته می شود بطوری که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا مشاهده شده است (جدول ۶).

این دلیل است که رقابت ساقه گیاهان C₄ و C₃ زیاد است و این دو گیاه برای نور و CO₂ با هم رقابت می کنند و همچنین با توجه به ارتفاع بیشتر گیاهان C₄، سایه اندازی روی بوته های C₃ می شود و نهایت موجب تغییر میزان کلروفیل شده است (Nasar et al., 2020). همچنین کارکرد همزیستی این است که منبع کافی کربوهیدرات برای قارچ همزیست فراهم شود و همچنین همزیستی می تواند از حالت متقابل مفید به اشکال دیگر از جمله شکل انگلی تبدیل شود، به نظر می رسد در تیمار کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا به دلیل کاهش فتوسنتز گیاه، انتقال اسیمیلات به ریشه جهت همزیستی قارچ میکوریزا نسبت به سایر اندام های گیاه افزایش یافته و در نتیجه نیتروژن کمتری صرف تولید کلروفیل برگ در این تیمار شده است.

عملکرد دانه ذرت

در تجزیه واریانس، مصرف باکتری و قارچ میکوریزا به ترتیب در سطح آماری یک درصد و پنج درصد بر عملکرد دانه ذرت معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با مصرف باکتری ریزوبیوم عملکرد دانه ۲۰/۳۷ درصد و مصرف قارچ میکوریزا ۱۱ درصد نسبت به عدم مصرف افزایش یافت است (جدول ۳). هم چنین در این آزمایش عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشتر بوده است هر چند که از لحاظ آماری تفاوت معنی داری بین کشت خالص و مخلوط مشاهده نشد (جدول ۲).

در بررسی باکتری مزوریزوبیوم و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی و ذرت گزارش شد که عملکرد دانه در کشت مخلوط به همراه باکتری نسبت به سایر تیمارها بیشترین بود. هم چنین این محققین اظهار کردند که در کشت مخلوط ذرت و لوبیا با تلقیح باکتری مزوریزوبیوم می توان به تثبیت نیتروژن و افزایش جذب فسفر، که از عناصر پر مصرف گیاه بوده و کمبود آن عامل محدود کننده رشد محصولات زراعی می باشد اشاره نمود و با کاهش مصرف کودهای شیمیایی و هزینه های مصرف کود کمیت و کیفیت گیاهان به ویژه ذرت را در کشت مخلوط افزایش داد (Marzban et al., 2014). قارچ میکوریزا جذب عناصر پر مصرف به ویژه فسفر و عناصر کم مصرف نظیر آهن، روی و مس را بهبود می بخشد و باعث کاهش اثرات تنش های محیطی و تحریک رشد گیاه میزبان می شود و با

در بررسی گزارش شد که تلقیح با باکتری ریزوبیوم موجب افزایش تعداد غلاف در گیاه شد (Bambara et al., 2010). همچنین در بررسی دیگر تلقیح قارچ میکوریزا به همراه باکتری ریزوبیوم تعداد غلاف لوبیا را افزایش داد (Ashwin et al., 2022). به نظر می رسد افزایش رقابت بین گونه ای و افزایش طول موج های آبی در درون کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا باعث کاهش تعداد غلاف در گیاه شده است که خود ناشی از کاهش تعداد گل های بارور است این امر موجب کاهش تعداد غلاف لوبیا در کشت مخلوط شده است. در پژوهشی مشاهده شد که کلونیزاسیون با قارچ میکوریزا باعث تغییرات وسیع مورفولوژی ریشه به ویژه افزایش تعداد شاخه های ریشه می شود (Elliott et al., 2021). بنابراین افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه را در پی خواهد داشت که این امر موجب افزایش تعداد غلاف در گیاه می شود. به نظر می رسد کودهای زیستی از جمله قارچ میکوریزا می تواند دسترسی فسفر به گیاه، کارایی تثبیت زیستی نیتروژن، دسترسی عناصر غذایی و تولید هورمون های رشد از جمله اکسین و سیتوکنین را افزایش داده و در نتیجه سبب افزایش رشد گیاه شود (Igiehon et al., 2021).

محتوای کلروفیل برگ لوبیا سبز

محتوای کلروفیل برگ تحت اثر متقابل سیستم کشت، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل با میانگین ۲۰/۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ مربوط به تیمار کشت خالص به همراه باکتری ریزوبیوم بود هر چند که این تیمار با تیمارهای کشت خالص به همراه قارچ میکوریزا و کشت خالص تلقیح توأم باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا اختلاف معنی داری نشان نداد و هر سه تیمار از لحاظ آماری در یک سطح قرار گرفتند. هم چنین کمترین محتوای کلروفیل برگ با میانگین ۱۳/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر در تیمار کشت مخلوط به همراه ریزوبیوم مشاهده شد (جدول ۸). همچنین در بررسی دیگر گزارش شد که رشد سبزینه مطلوب در تیمارهای باکتریایی، با توجه به نتایج و مشاهدات مزرعهای، حاکی از فعالیت مطلوب سیستم تثبیت بیولوژیکی بوده و تأثیرات آن در صفات مانند عملکرد و محتوای کلروفیل نمایان شده است (Yaseen et al., 2016). علت این امر احتمالاً به

باکتری و قارچ افزایش نشان داد. بطوری که اثر متقابل باکتری و قارچ میکوریزا نشان داد، بیشترین تعداد ردیف در بلال با میانگین ۱۵/۵ از تیمار مصرف قارچ میکوریزا به همراه باکتری ریزوبیوم حاصل شد (جدول ۶). در بررسی کشت مخلوط و خالص گزارش شد که تعداد دانه در هر بلال تحت تأثیر کشت مخلوط قرار گرفت (Huang *et al.*, 2019). همچنین در بررسی دیگر گزارش شد که تعداد ردیف دانه در بلال ذرت در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ذرت بیشتر بوده است (Marzban *et al.*, 2014b). در تفسیر نتیجه افزایش تعداد ردیف در بلال در تیمار مصرف توأم قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم می توان به تولید هورمون اکسین توسط باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در محیط ریشه اشاره کرد. افزایش میزان هورمون اکسین در محیط ریشه باعث افزایش رشد ریشه های نابجا توسط ذرت می شود که جذب عناصر معدنی و انتقال مواد فتوسنتزی به بلال گیاه افزایش می یابد و در نتیجه آن تعداد ردیف در بلال نیز افزایش یافته است. همچنین به نظر می رسد که افزایش تعداد ردیف در بلال به دلیل افزایش رقابت بین گونه ای ذرت با لوبیا نیز باشد، زیرا ذرت در کشت مخلوط با گیاهانی که ارتفاع کمتری دارند، گونه غالب محسوب می شود و عملکرد دانه آن کمتر تحت تأثیر گیاه همراه است. بنابراین گیاهانی که همراه با ذرت در کشت مخلوط هستند، توان رقابتی برای منابع از جمله نور، آب و را ندارند پس عملکرد دانه ذرت نسبت به تک کشتی افزایش می یابد.

تعداد دانه در ردیف بلال ذرت

تعداد دانه در ردیف بلال تحت اثر سه گانه سیستم های کشت، ریزوبیوم و میکوریزا قرار گرفت و در سطح آماری پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). بطوری که تیمار کشت مخلوط بیشترین تعداد دانه در ردیف بلال را دارا بود و تلقیح با قارچ و باکتری تأثیر مثبتی بر این صفت داشته است. در مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه، نشان داد که بیشترین میزان تعداد دانه در ردیف در بلال ذرت با میانگین های ۳۶/۷ و ۳۴/۲۵ مربوط به تیمار کشت مخلوط ذرت به همراه قارچ میکوریزا و کشت مخلوط به همراه باکتری مزوریزوبیوم و قارچ میکوریزا بود که بین این دو تیمار از لحاظ آماری اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۸). در پژوهشی با بررسی های کشت خالص و

فراهم کردن عناصر غذایی توسط هیف ها و یا بهبود رشد ریشه باعث افزایش زیست توده و هم چنین افزایش سطح برگ می شود و نتیجه آن ظرفیت فتوسنتزی و مواد فتوسنتزی در ساقه افزایش می یابد که می تواند با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن عملکرد دانه ذرت را بهبود بخشد (Boomsma and Vyn, 2008).

عملکرد بیولوژیک ذرت

عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر قارچ میکوریزا در سطح آماری یک درصد و تحت تأثیر سیستم کشت در سطح آماری پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). براساس نتایج مشاهده شد که استفاده از کشت مخلوط ۱۲/۵ درصد و قارچ میکوریزا ۱۲ درصد عملکرد بیولوژیک را نسبت به کشت خالص و عدم مصرف قارچ میکوریزا افزایش داده است (جدول ۳). در بررسی که بر روی ذرت انجام شد، گزارش شد که قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد بیولوژیک شده است (Alizadeh *et al.*, 2011). از جمله دلایل افزایش عملکرد گیاهانی که با میکوریزا تلقیح شده اند را می توان افزایش فتوسنتز در گیاه میزبان دانست. هم چنین اثرات متقابل سه گانه نشان داد که با مصرف توأم باکتری و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط عملکرد بیولوژیک ۳۵ درصد افزایش یافت (جدول ۷). در بررسی کشت مخلوط ذرت و پنبه گزارش شد که کشت مخلوط ذرت سطح برگ بالاتری را نسبت به کشت خالص دارا بوده است (Moradi *et al.*, 2017). همچنین مطالعات مختلفی کارایی مصرف نور بالاتر گیاهان C₄ را نسبت به C₃ گزارش کرده اند و این را ناشی از توان فتوسنتزی بهتر گیاهان C₄ می دانند (Hibberd *et al.*, 2008). بنابراین افزایش کارایی مصرف نور و سطح برگ باعث افزایش عملکرد بیولوژیک ذرت در کشت مخلوط شده است.

تعداد ردیف دانه در بلال ذرت

در این آزمایش نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد ردیف دانه در بلال تحت اثر متقابل باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا قرار گرفت (جدول ۲). در بین سیستم های مختلف کشت، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشترین تعداد ردیف دانه بلال را دارا بود (جدول ۴). با مصرف باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا تعداد ردیف دانه در بلال نسبت به عدم مصرف

باعث تشدید رقابت نشده است، بلکه با ایجاد مکانیسم مساعدت، سودمندی کل زراعت مخلوط از جمله مقدار کلروفیل برگ ذرت را افزایش داده‌اند. هم‌چنین باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط با ترشح موادی در خاک می‌تواند ذرات خاک را به هم بچسباند و ورود هوا و آب جهت رشد ریشه و تثبیت نیتروژن توسط لوبیا را بهبود دهد و همین امر موجب افزایش جذب نیتروژن و سایر عناصر میکرو از جمله آهن و منگنز توسط ریشه ذرت شده و میزان کلروفیل نیز افزایش می‌یابد.

نسبت برابری زمین

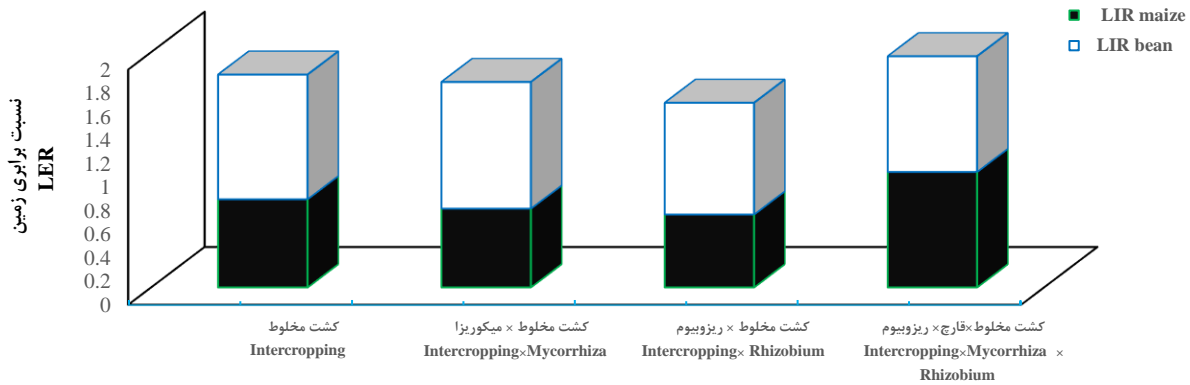
در این آزمایش نسبت برابری زمین در تمام تیمارها بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. بیشترین میزان^۱ LER از کشت مخلوط توأم با باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا برابر با ۱/۹۶ به‌دست آمد. کمترین میزان LER برابر با ۱/۵۷ بود که از کشت مخلوط به‌همراه باکتری به‌دست آمد (شکل ۲). در بررسی کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی و ذرت بیشترین میزان نسبت برابری زمین در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا چشم بلبلی مشاهده شد (Dahmardeh *et al.*, 2010). هم‌چنین در بررسی کشت مخلوط لگوم و گراس گزارش شد که گونه‌ها در آشیان اکولوژیک یکدیگر تداخل نداشتند و برای کسب منابع و شرایط محیطی رقابتی ندارند (Daryanto *et al.*, 2020). کارایی استفاده از زمین در مقایسه با کشت خالص افزایش نشان داد. لذا به‌نظر می‌رسد که کشت هم‌زمان ذرت و لوبیا سبز و تلقیح توأم باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در طرح جایگزینی کشت مخلوط، اثرات مثبتی بر افزایش عملکرد در واحد سطح داشته‌است. هم‌چنین استفاده از نیتروژن تثبیت شده بقولات توسط باکتری ریزوبیوم و افزایش فسفر جذب شده توسط قارچ میکوریزا در غلات و حبوبات عمدتاً به عنوان پتانسیل مفید در کشت مخلوط لگوم و غلات مطرح شده است. هم‌چنین دلیل پایین بودن نسبت برابری زمین در کشت مخلوط به‌همراه باکتری را می‌توان به عملکرد پایین لوبیا در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نسبت داد.

مخلوط بادام زمینی و ذرت ملاحظه کردند که حداکثر تعداد دانه در ردیف ذرت از کشت مخلوط بدست آمد (Ahmad *et al.*, 2008). به احتمال زیاد رقابت بوته‌های ذرت بعد از گلدهی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش پیدا کرده است و این مسئله سبب تشکیل تعداد دانه در ردیف بلال در این تیمار شده است. قارچ میکوریزا با افزایش زیست‌توده ساقه، سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی، از طریق افزایش جذب عناصر غذایی توسط هیف‌ها و هم‌چنین با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از ریشه به بلال‌ها تعداد دانه در ردیف بلال بهبود داده است (Boomsma and Vyn, 2008). هم‌چنین یکی از راه‌هایی که باکتری بر رشد و نمو غلات اثر می‌گذارد سنتز ایندول استیک اسید (IAA) می‌باشد (Etesami *et al.*, 2009). بنابراین با افزایش میزان هورمون اکسین توسط تلقیح باکتری مزوریزوبیوم و قارچ میکوریزا در محیط ریشه باعث افزایش رشد ریشه‌ها توسط ذرت می‌شود و جذب عناصر غذایی و آب را افزایش داده و در نتیجه آن تعداد گل‌های بارور در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال افزایش می‌یابد.

غلظت کلروفیل برگ ذرت

غلظت کلروفیل برگ تحت اثر متقابل سیستم کشت، ریزوبیوم و میکوریزا در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). هم‌چنین مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سیستم کشت، ریزوبیوم و میکوریزا نیز نشان داد که با مصرف توأم میکوریزا و ریزوبیوم در کشت مخلوط غلظت کلروفیل افزایش می‌یابد بطوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل برگ با ۱۵/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار مصرف توأم باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا، و کمترین غلظت کلروفیل برگ از تیمار کشت خالص ذرت به‌دست آمد (جدول ۸). در بررسی تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا گزارش شد که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در مقایسه با گیاهان شاهد دارای کلروفیل a و کلروفیل b برگ بیشتری بودند (Yin *et al.*, 2021). می‌توان گفت که هم‌جواری یک گونه C₃ (لوبیا سبز) و یک گونه C₄ (ذرت) در بخش قابل‌توجهی از دوران رشد این گیاهان نه تنها

¹ Land equivalent ratio



شکل ۲- تاثیر باکتری ریزوبیوم، قارچ میکوریزا و کشت مخلوط و خالص لوبیا و ذرت بر نسبت برابری زمین

Figure 2- Effect of Rhizobium bacteria, Mycorrhiza fungus and intercropping and monocropping of beans and maize on LER

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی از خصوصیات ذرت و لوبیا سبز

Table 2- Analysis of variance for Properties of maize and beans

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D.f	عملکرد لوبیا grain yield of beans	عملکرد لوبیا Biological Yield of beans	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	کلروفیل برگ لوبیا Leaf chlorophyll of beans	عملکرد دانه ذرت Grain yield of maize	عملکرد ذرت Biological yield of maize	تعداد ردیف در بلال The number rows per ear	تعداد دانه در ردیف بلال Number of grain per ear	کلروفیل برگ ذرت Leaf chlorophyll of maize
تکرار Block	2	1706.08 ^{ns}	^{ns} 769296	11.28 ^{ns}	0.24 ^{ns}	^{ns} 444869	69626875 ^{ns}	3.12 ^{**}	29.07	0.20 ^{ns}
سیستم کشت Planting system	2	^{**} 1610928.3	6635175 ^{**}	108.37 [*]	34.32 [*]	25271 ^{ns}	49199511 [*]	1.5 [*]	51.77 [*]	21.75 ^{**}
ریزوبیوم Rhizobium	1	^{**} 527918	[*] 3895881	541 ^{**}	0.01 ^{ns}	^{**} 14920888	21519438 ^{ns}	1.5 [*]	1.14 ^{ns}	3.29 ^{**}
مایکوریزا Mycorrhizal	1	3.26 ^{ns}	1507208 [*]	0.0009 ^{ns}	0.46 ^{ns}	[*] 4584903	57763276 ^{**}	2.34 ^{**}	99.02 ^{**}	6.26 ^{**}
سیستم کشت × ریزوبیوم Planting system × Rhizobium	2	700 ^{ns}	9314.1 ^{ns}	0.357 [*]	50.69 ^{**}	^{ns} 751933	^{ns} 474609	0.0001 ^{ns}	25.52 ^{ns}	0.005 ^{**}
سیستم کشت × مایکوریزا Planting system × Mycorrhizal	2	[*] 137637	1507208 [*]	135 [*]	10.69 ^{**}	78141.96 ^{ns}	^{ns} 109755	0.093 ^{ns}	4.21 ^{ns}	1.60 ^{**}
ریزوبیوم × مایکوریزا Rhizobium × Mycorrhizal	1	^{**} 1558917	787133 ^{ns}	150 ^{**}	0.42 ^{ns}	^{ns} 185663	^{ns} 491033	4.93 ^{**}	70.89 [*]	0.077 ^{ns}
سیستم کشت × ریزوبیوم × مایکوریزا Planting system × Rhizobium × Mycorrhizal	2	^{**} 620913	159350 [*]	6 ^{ns}	44.88 ^{**}	^{ns} 6097	^{ns} 9426069	0.85 ^{ns}	70.89 [*]	1.87 [*]
خطا Error	12	15852	267714	16.3	0.85	529679	5635541	0.321	11.57	0.27
ضریب تغییرات C.V (%)		7.4	13.54	20.73	5.39	10.43	11.1	3.90	10.16	3.71

ns, *, **, به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪، n.s

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی سیستم کاشت، باکتری و میکوریزا بر عملکرد دانه و بیوماس

Table 3- Mean comparisons of main effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on grain yield and biomass

تیمارها Treatments	عملکرد دانه لوبیا Grain yield of beans (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک لوبیا Biological yield of beans (Kg/ha)	عملکرد دانه ذرت Grain yield of maize (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک ذرت Biological yield of maize (Kg/ha)
سیستم کشت Planting system				
کشت خالص Monocropping	1958 a	4344 a	6940 a	19938 b
کشت مخلوط Intercropping	1440 b	3292 b	7005 a	22801 a
ریزوبیوم Rhizobium				
شاهد Control	1550 b	3415 b	6184 b	20423 a
ریزوبیوم Rhizobium	1847 a	4221 a	7761 a	22316 a
میکوریزا Mycorrhiza				
شاهد Control	1698 a	4069 a	6535 b	19818 b
میکوریزا Mycorrhiza	1699 a	3568 b	7409 a	22921 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده سیستم کاشت، میکوریزا و ریزوبیوم بر اجزاء عملکرد و کلروفیل برگ

Table 4- Mean comparisons of main effects of planting system, mycorrhiza and rhizobium on yield components and leaf chlorophyll

تیمارها Treatments	تعداد ردیف در بلال ذرت The number rows per ear of maize	تعداد دانه در ردیف بلال ذرت Number of grain per ear row of maize	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	کلروفیل برگ (Mg/g leaf fresh weight) Leaf chlorophyll	
				لوبیا Beans	ذرت Maize
سیستم کشت Planting system					
کشت خالص Monocropping	14.2 b	30.4 b	21.5 a	18.3 a	13.0 b
کشت مخلوط Intercropping	14.7 a	33.3 a	17.2 b	15.5 b	14.9 a
ریزوبیوم Rhizobium					
شاهد Control	14.2 b	32.1 a	14.6 b	17.1 a	13.6 b
ریزوبیوم Rhizobium	14.7 a	31.6 a	24.1 a	17.1 a	14.4 a
میکوریزا Mycorrhiza					
شاهد Control	14.1 b	29.7 b	19.3 a	17.0 a	13.5 b
میکوریزا Mycorrhiza	14.8 a	33.9 a	19.3 a	17.2 a	14.5 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه سیستم کاشت، باکتری و میکوریزا بر عملکرد دانه و بیوماس

Table 5- Mean comparisons of the dual interaction effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on grain yield and biomass

تیمار Treatments	عملکرد دانه لوبیا Grain yield of beans (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک لوبیا Biological yield of beans (Kg/ha)	عملکرد دانه ذرت Grain yield of maize (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک ذرت Biological yield of maize (Kg/ha)	
سیستم کشت Planting system	ریزوبیوم Rhizobium				
کشت خالص Monocropping	شاهد Control	1815. b	3921 b	5975 b	18851 b
	ریزوبیوم Rhizobium	2101 a	4767 a	7905 a	21026 a
کشت مخلوط Intercropping	شاهد Control	1286 d	2909 c	6393 b	21995 a
	ریزوبیوم Rhizobium	1593 c	3676 b	7616 a	23608 a
سیستم کشت Planting system	قارچ میکوریزا Mycorrhiza				
کشت خالص Monocropping	شاهد Control	2033 a	4344 a	6560 b	18319 c
	میکوریزا Mycorrhiza	1823 a	4344 a	7320 ab	21557 ab
کشت مخلوط Intercropping	شاهد Control	1516 b	3794 a	6510 ab	21318 b
	قارچ میکوریزا Mycorrhiza	1364 b	2791 c	7499 a	24285 a
ریزوبیوم × میکوریزا Rhizobium × Mycorrhiza					
	شاهد Control	1295 d	3485 b	5835 c	18729 c
	میکوریزا mycorrhiz	1806 b	3346 b	6533 bc	22117 a
	ریزوبیوم Rhizobium	2102 a	4653 a	7236 b	20908 ab
	ریزوبیوم × میکوریزا Rhizobium × Mycorrhiza	1593 c	3789 b	8286 a	23725 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه سیستم کاشت، باکتری و میکوریزا بر اجزای عملکرد و کلروفیل برگ

Table 6- Mean comparisons of the dual interaction effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on yield components and leaf chlorophyll

تیمار Treatments	تعداد ردیف در بلال ذرت The number rows per ear of maize	تعداد دانه در ردیف بلال ذرت Number of grain per ear row of maize	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	کلروفیل برگ (Mg/g leaf fresh weight)		
				لوبیا Beans	ذرت Maize	
سیستم کشت Planting system	ریزوبیوم Rhizobium					
کشت خالص monocropping	شاهد Control	14.0 b	29.6 b	15.6 b	16.9 b	12.6 d
	ریزوبیوم Rhizobium	14.5 ab	31.2 ab	22.3 a	19.7 a	13.4 c
کشت مخلوط Intercropping	شاهد Control	14.5 ab	34.6 a	12.6 b	17.4 b	14.5 b
	ریزوبیوم Rhizobium	15.5 a	32.1 a	21.8 a	14.4 c	15.3 a
سیستم کشت planting system	میکوریزا Mycorrhiza					
کشت خالص monocropping	شاهد Control	13.78 b	28.5 b	19.1 ab	17.5 b	12.3 c
	میکوریزا Mycorrhiza	14.62 a	32.37 ab	23.8 a	19.5 a	13.8 b
کشت مخلوط Intercropping	شاهد Control	14.5 ab	31.25 b	19.6 ab	16.4 bc	14.7 a
	میکوریزا Mycorrhiza	15 a	35.5 a	14.8 b	15.4 c	15.2 a
باکتری ریزوبیوم × قارچ میکوریزا Rhizobium × Mycorrhiza						
	شاهد Control	14.3 b	28.3 b	17.1 b	17.1 a	13.1 b
	میکوریزا mycorrhiz	14.1 b	36.8 a	12.1c	17.1 a	14.0 b
	ریزوبیوم Rhizobium	14.0 b	31.3 b	21.6 b	16.8 a	13.8 b
	ریزوبیوم × میکوریزا Rhizobium × Mycorrhiza	15.5 a	32.0 a	26.6 a	17.1 a	15.0 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت، باکتریایی و میکوریزا بر عملکرد دانه و بیوماس

Table 7- Mean comparisons of the interaction effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on grain yield and biomass

تیمارها Treatments	نسبت کشت Planting ratio	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha)			عملکرد بیولوژیک Biological yield (Kg/ha)		
		لوبیا Beans	ذرت Maize	مخلوط Intercropping	لوبیا Beans	ذرت Maize	مخلوط Intercropping
	کشت خالص Monocropping	1475 c		1475 f	3483 c		4958 e
شاهد Control	کشت مخلوط Intercropping	1116 d	6003 d	7120 c	3487 c	20995 b	10607 b
	کشت خالص Monocropping		5667 e	5667 d		16462 c	5667 de
	کشت خالص Monocropping	2592 a		2592 e	5206 a		7798 c
ریزوبیوم Rhizobium	کشت مخلوط Intercropping	1612 c	7019 b	8630 b	4101 b	21641 b	12731 a
	کشت خالص Monocropping		7454 b	7454 c		20176 b	7454 c
	کشت خالص Monocropping	2156 b		2156 e	4360 b		6516 d
قارچ میکوریزا Mycorrhizal	کشت مخلوط Intercropping	1457 c	6784 c	8240 b	2332 d	22996 b	10572 b
	کشت خالص Monocropping		6283 d	6283 d		21239 b	6283 d
	کشت خالص Monocropping	1610 c		1610 f	4328 b		5939
ریزوبیوم + قارچ میکوریزا Rhizobium× Mycorrhizal	کشت مخلوط Intercropping	1576 c	8215 a	9791 a	3288 c	25575 a	28863 a
	کشت خالص Monocropping		8358 a	8358 b		21875 b	21875 c

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت، باکتری و میکوریزا بر اجزای عملکرد و کلروفیل برگ

Table 8- Mean comparisons of the interaction effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on components yield and leaf chlorophyll

تیمارها Treatments	نسبت کشت Planting ratio	کلروفیل برگ Leaf chlorophyll (Mg/g leaf fresh weight)		تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد ردیف در بلال ذرت The number rows per ear	تعداد دانه در ردیف بلال Number of grain per ear row
		لوبیا Beans	ذرت Maize			
		شاهد Control	کشت خالص Monocropping			
ریزوبیوم Rhizobium	کشت مخلوط Intercropping	19.4 a	14.1 ab	17.0 b	14.5 b	32.5 ab
	کشت خالص Monocropping		12.2 c		14.2 bc	24.5 c
	کشت خالص Monocropping	20.2 a		21.0 b		
قارچ میکوریزا Mycorrhizal	کشت مخلوط Intercropping	13.5 c	15.3 a	22.2 b	14.5 b	30.0 bc
	کشت خالص Monocropping		12.3 c		13.5 c	32.7 ab
	کشت خالص Monocropping	18.9 a		16.0 b		
ریزوبیوم×قارچ میکوریزا Rhizobium× Mycorrhizal	کشت مخلوط Intercropping	15.3 b	15.0 a	8.2 c	14.5 b	36.7 a
	کشت خالص Monocropping		13.1 c		13.7 bc	35.0 ab
	کشت خالص Monocropping	19.35 a		31.75 a		
	کشت مخلوط Intercropping	15.45 ab	15.41 a	21.5 b	15.5 a	34.25 ab
	کشت خالص Monocropping		14.59 ab		15.5 a	29.75 bc

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

نتیجه‌گیری کلی

و عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سیستم کشت و تلقیح توام قارچ و باکتری قرار گرفته است. در همه تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود ولی تیمار کشت مخلوط توام با قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم نسبت به بقیه تیمارها برتری داشت و سودمندی کشت مخلوط در این تیمار مربوط به همزیستی بین قارچ و باکتری بوده است. بالاتر بودن نسبت برابری زمین بیشتر از یک در کشت مخلوط به ویژه کشت مخلوط به همراه قارچ و باکتری را می‌توان به اختلافات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین دو گونه و همچنین کمتر بودن

در کشت مخلوط جایگزینی هر دو گیاه در کلیه تیمارهای مورد بررسی این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت در تیمار کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم به ترتیب با عملکرد معادل ۸۲۱۵ و ۲۵۵۲۵ کیلوگرم در هکتار و بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک لوبیا در تیمار کشت خالص لوبیا به همراه باکتری به ترتیب با عملکرد معادل ۲۵۹۲ و ۵۲۰۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بنابراین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد عملکرد دانه

علف هرز و آفات و بیماری‌ها و تثبیت نیتروژن و جذب عناصر غذایی بیشتر در کشت مخلوط نسبت داد. همچنین وجود قارچ و باکتری در این تیمار با افزایش توسعه ریشه و گره‌های تثبیت کننده نیتروژن به عنوان منبع تأمین نیتروژن در لوبیا فشرار رقابتی را کاهش می‌دهد.

References

- Alizadeh, O. and Alizadeh, A., 2011. Consideration use of mycorrhiza and vermicompost to optimizing of chemical fertilizer application in corn cultivation. *Journal of Advances in Environmental Biology*, 5(6), pp.1279-1284. [In Persian]. doi: **10.22067/jag.v8i4.47568**
- Ashwin, R., Bagyaraj, D.J. and Raju, B.M., 2022. Dual inoculation with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungus improves water stress tolerance and productivity in soybean. *Plant Stress*, 4, pp.100084-100100. doi: **10.1016/j.stress.2022.100084**
- Baghdadi, A., Halim, R.A., Ghasemzadeh, A., Ebrahimi, M., Othman, R. and Yusof, M.M., 2016. Effect of intercropping of corn and soybean on dry matter yield and nutritive value of forage corn. *Legume Research-An International Journal*, 39(6), pp.976-981. doi: **10.18805/lr.v39i6.6643**
- Bambara, P. and Ndakidemi, A., 2010. *Phaseolus vulgaris* response to Rhizobium inoculation, lime and molybdenum in selected low pH soil in Western. *Cape Agricultural Research*, 5, pp.1804-1824. doi: **10.5897/ajar09.584**
- Boomsma, C.R. and Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108, pp.14–30. doi: **10.1016/j.fcr.2008.03.002**
- Chapagain, T. and Riseman, A., 2014. Barley–pea intercropping: effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*, 166, pp.18-25. doi: **10.1016/j.fcr.2014.06.014**
- Cong, W.F., Hoffland, E.L., Li, B., Janssen, H. and van der Werf, W., 2015. Intercropping affects the rate of decomposition of soil organic matter and root litter. *Plant and Soil*, 391(1-2), pp.399-411. doi: **10.1007/s11104-015-2433-5**
- Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syahsar., B.A. and 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, pp.631-636. doi: **10.5897/ajar09.607**
- Daryanto, S., Fu, B., Zhao, W., Wang, S., Jacinthe, P.A. and Wang, L., 2020. Ecosystem service provision of grain legume and cereal intercropping in Africa. *Agricultural Systems*, 178, pp.102761-102777. doi: **10.1016/j.agsy.2019.102761**
- Dos Santos Sousa, W., Soratto, R.P., Peixoto, D.S., Campos, T.S., da Silva, M.B., Souza, A.G.V., Teixeira, I.R. and Gitari, H.I., 2022. Effects of Rhizobium inoculum compared with mineral nitrogen fertilizer on nodulation and seed yield of common bean. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3), pp.1-19. doi: **10.1007/s13593-022-00784-6**

- Duan, C., Razavi, B.S., Shen, G., Cui, Y., Ju, W., Li, S. and Fang, L., 2019. Deciphering the rhizobium inoculation effect on spatial distribution of phosphatase activity in the rhizosphere of alfalfa under copper stress. *Soil Biology and Biochemistry*, 137, pp.107574-107598. doi: **10.1016/j.soilbio.2019.107574**
- Elliott, A.J., Daniell, T.J., Cameron, D.D. and Field, K.J., 2021. A commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not increase assimilation of mycorrhiza-acquired nutrients. *Plants, People, Planet*, 3(5), pp.588-599. doi: **10.1002/ppp3.10094**
- Etesami, H., Hossein, A., Alikhani, A. and Akbari A., 2009. Evaluation of Plant Growth Hormones Production (IAA) Ability by Iranian Soils Rhizobial Strains and Effects of Superior Strains Application on Wheat Growth Indexes. *Journal of World Applied Sciences Journal*, 6(11), pp.1576-1596. doi: **10.5555/20093251788**
- Fekadu, E., Kibret, K., Melese, A. and Bedadi, B., 2018. Yield of faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by lime, mineral P, farmyard manure, compost and rhizobium in acid soil of Lay Gayint District, northwestern highlands of Ethiopia. *Agriculture and Food Security*, 7(1), pp.1-11. doi: **10.1186/s40066-018-0168-2**
- Hibberd, J.M., Sheehy, J.E. and Langdale, J.A., 2008. Using C4 photosynthesis to increase the yield of rice—rationale and feasibility. *Current Opinion in Plant Biology*, 11, pp.228–231. doi: **10.1016/j.pbi.2007.11.002**
- Huang, C.D., Liu, Q.Q., Li, X.L. and Zhang, C.C., 2019. Effect of intercropping on maize grain yield and yield components. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(8), pp.1690-1700. doi: **10.1016/S2095-3119(19)62648-1**
- Igiehon, N.O., Babalola, O.O., Cheseto, X. and Torto, B., 2021. Effects of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi on yield, size distribution and fatty acid of soybean seeds grown under drought stress. *Microbiological Research*, 242, pp.126640-126666. doi: **10.1016/j.micres.2020.126640**
- Lin, B.B., Philpott, S.M. and Jha, S., 2015. The future of urban agriculture and biodiversity-ecosystem services: challenges and next steps. *Basic and Applied Ecology*, 16(3), pp.189-201. doi: **10.1016/j.baae.2015.01.005**
- Ma, J., Wang, W., Yang, J., Qin, S., Yang, Y., Sun, C., Pei, G., Zeeshan, M., Liao, H., Liu, L. and Huang, J., 2022. Mycorrhizal symbiosis promotes the nutrient content accumulation and affects the root exudates in maize. *BMC Plant Biology*, 22(1), pp.1-13. doi: **10.1186/s12870-021-03370-2**
- Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J.B. and Jena, J., 2021. Intercropping—A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy*, 11(2), p.343. doi: **10.3390/agronomy11020343**
- Marzban, Z., Ameriyan, M.R. and Mamarabadi, M., 2014. Investigating the root characteristics and colonization index in cowpea and maize using mesorrhizobium bacteria and mycorrhiza in

- intercropping. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4(2), pp.169-185. [In Persian]. doi: **20.1001.1.23221267.1393.4.2.9**
- Marzban, Z., Faryabi, E. and Torabian, S., 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium on ion content and root characteristics of green bean and maize under intercropping. *Acta agriculturae Slovenica*, 109(1), pp.79-88. doi:**10.14720/aas.2017.109.1.08**
- Moradi, R., Koocheki, A. and Nasiri Mahallati, M., 2017. Evaluation of economical yield and radiation use efficiency of maize and cotton in sole and intercropping systems as affected by different levels of Nitrogen. *Journal of Crop Production and Processing*, 7(2), pp.47-59. [In Persian]. doi: **10.18869/acadpub.jcpp.7.2.47**
- Nasar, J., Shao, Z., Arshad, A., Jones, F.G., Liu, S., Li, C. and Gao, Q., 2020. The effect of maize–alfalfa intercropping on the physiological characteristics, nitrogen uptake and yield of maize. *Plant Biology*, 22(6), pp.1140-1149. doi: **10.1111/plb.13157**
- Sammama, H., Mazri, M.A., Ouahmane, L., Sammama, A., Hsissou, D., El Kaoua, M. and Alfeddy, M.N., 2022. Microbial inoculation improves soil Properties, nutrient uptake, and plant growth in soft wheat-faba bean intercropping. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, pp.1-15. doi: **10.1007/s42729-022-00991-w**
- Steiner, F., Ferreira, H.C.P. and Zuffo, A.M., 2019. Can co-inoculation of Rhizobium tropici and Azospirillum brasilense increase common bean nodulation and grain yield?. *Semina Ciências Agrárias*, 40(1), pp.81-98. doi: **10.5433/1679-0359.2019v40n1p81**
- Wellburn, A.R., 1994. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144, pp.307-327. doi: **10.1016/S0176-1617(11)81192-2**
- Xu, Z., Li, C., Zhang, C., Yu, Y., van der Werf, W. and Zhang, F., 2020. Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. *Field Crops Research*, 246, pp.107661-107684. doi: **10.1016/j.fcr.2019.107661**
- Yaseen, T., Ali, K., Munsif, F., Rab, A., Ahmad, M., Israr, M. and Baraich, K., 2016. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi, Rhizobium inoculation and rock phosphate on growth and quality of lentil. *Pakistan Journal of Botany*, 48(5), pp. 2101-2107. doi: **10.5555/20163389226**
- Zhang, D., Sun, Z., Feng, L., Bai, W., Yang, N., Zhang, Z., Du, G., Feng, C., Cai, Q., Wang, Q. and Zhang, Y., 2020. Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. *Field Crops Research*, 257, p.107926. doi: **10.1016/j.fcr.2020.107926**
- Zhou, J., Zang, H., Loeppmann, S., Gube, M., Kuzyakov, Y. and Pausch, J., 2020. Arbuscular mycorrhiza enhances rhizodeposition and reduces the rhizosphere priming effect on the decomposition of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 140, pp.107641-107670. doi: **10.1016/j.soilbio.2019.107641**

Yin, Z., Zhang, Y., Hu, N., Shi, Y., Li, T. and Zhao, Z., 2021. Differential responses of 23 maize cultivar seedlings to an arbuscular mycorrhizal fungus when grown in a metal-polluted soil. *Science of the Total Environment*, 789, pp.148015-148030. doi: [10.1016/j.scitotenv.2021.148015](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148015)

The effect of inoculation of Rhizobium (*Mesorhizobium*) and Arbuscular mycorrhiza fungi (*Glomus claroideum*) on agricultural characteristics of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) in intercropping

Zahra Marzban^{1*}, Elham Faryabi¹, Hadis Zaremanesh¹, Pariya Asgharzadeh¹

¹ Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

*Corresponding Author: marzban_zahra1986@yahoo.com

Received: 2 September 2022 Accepted: 21 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.355807.1265

Abstract

Introduction: Biodiversity is one of the ingredients of sustainable agriculture. As biodiversity increases or decreases, the provision of ecosystem services in the ecosystem of agricultural systems also changes. Therefore, biodiversity in the ecosystem of the agriculture system can improve by using the intercropping system and increasing the diversity of soil biological species. One of the ways to increase diversity in agricultural ecosystems is the use of several types of crops, including intercropping and the appropriate combination of soil microorganisms. The purpose of this research was to evaluate the yield and yield components in alternate intercropping of bean and maize, and to investigate the superiority of monocropping and intercropping of these two plants when using mycorrhizal fungi and rhizobium bacteria to determine the best treatment for them.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of rhizobium bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on yield improvement and potassium uptake in replacement intercropping of corn and bean, a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications, with factor 1- Rhizobium (no consumption and consumption) 2- Mycorrhizal fungus (non-consumption and consumption) and 3- intercropping system (maize, bean and intercropping) was implemented in 2019 at Payame Noor Azna University.

Results and Discussion: The results showed that the intercropping was significant for traits such as grain yield beans and corn. The results showed that the effect of different culture systems on traits such as plant leaf chlorophyll, grain yield, biological yield, number of rows per ear, number of seeds per ear row and number of pods per plant was significant at the level of 1% probability. Also, different levels of Rhizobium bacterium consumption were significant on traits such as grain yield, biological yield of beans, chlorophyll of corn leaves and number of pods per plant. Consumption of mycorrhizal fungus on traits such as number of seeds per row, chlorophyll of corn leaves was statistically significant at the level of one percent. The results showed that the intercropping treatment with the use of rhizobium bacteria and mycorrhizal fungi increased the biological yield, leaf chlorophyll, and the number of seeds in the cob row in corn by 47, 55, 26, and 39%, respectively, compared to the control treatment. Also, the treatment of monocropping bean with bacteria increased the seed yield, biological yield, and chlorophyll of bean leaves by 50, 47, and 36%, respectively, compared to the control treatment.

According to the obtained results, the land equality ratio in all intercropping treatments was more than one and also the highest land equality ratio was obtained from the intercropping treatment with the use of Rhizobium bacteria and Mycorrhizal fungus equal to 1.98. Which shows the positive correlations between intercropping plant members compared to monocropping and shows the superiority of corn intercropping over monocropping.

Conclusion: The land equality ratio of more than one in intercropping can attribute to nitrogen fixation and nitrogen uptake in intercropping. When two species grow nearby, both species compete for water and nutrients. The presence of nitrogen-fixing nodes as a source of nitrogen supply in bean reduces competitive pressure. In general, according to the results of this experiment, it can be expected that with a suitable combination of biofertilizers and mixed cultivation, the biofixation of nitrogen

and the absorption of other nutrients will be improved, and finally, it will increase the yield and stability.

Keywords: Cereal, Legum, Land equality ratio, Yield