دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
دوره چهاردهم، شماره پنجاه، ۱۴۰۱

مقایسه دو گونه قارچ میکوریزا در بهبود جذب عناصر غذایی و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط کتان روغنی و شنبلیله

تهمینه صلاحی[۱]، علیرضا یدوی[۲]، امین صالحی[۲]، حمیدرضا بلوچی[۳]، محمد حمیدیان[٤]

دریافت: ۱٤۰۱/۰۷/۳۰ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۸/۰۷

چکیده

این مطالعه به منظور تنوع بخشیدن به سیستم زراعی ایران با استفاده از گیاه دارویی شنبلیله در کشت مخلوط همراه با کتان با هدف تعیین اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر محتوای عناصر گیاهی و تاثیر بر شاخص‌های کشت مخلوط استفاده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال زراعی ۱۳۹٦ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد کود زیستی در سه سطح (شاهد، کاربرد قارچ میکوریزا گونه *Funneliformis mosseae* و کاربرد قارچ میکوریزا گونه *Rhizophagus irregularis*) و نسبت‌های کشت در ۵ سطح (کشت خالص کتان روغنی، کشت خالص شنبلیله و کشت مخلوط کتان روغنی و شنبلیله با نسبت‌های ۱:۱، ۱:۲و ۲:۱) بود. نتایج نشان داد کاربرد میکوریزا همراه با کشت مخلوط باعث بهبود جذب عناصر پر مصرف و کم مصرف شد به طوری که بیشترین میزان آهن، نیتروژن و پتاسیم برگ و دانه کتان در نسبت کشت مخلوط ۱:۱همراه با کود میکوریزا دیده شد. همچنین قارچ میکوریزا *F. mosseae* همراه با کشت مخلوط ۱:۱ بیشترین نیتروژن، پتاسیم و فسفر برگ شنبلیله را به همراه داشت. برهمکنش کشت مخلوط و کود میکوریزا بر هیچکدام از شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط معنی دار نبود؛ ولی کاربرد کودهای میکوریزا باعث افزایش میزان عملکرد ازدست رفته واقعی و نسبت برابری‌زمین کل شد. درکل کاربرد کود میکوریزا علاوه بر بهبود جذب عناصر باعث برتری کشت مخلوط کتان و شنبلیله نسبت به تک کشتی آن‌ها شد.

واژه‌های کلیدی: عناصر پر مصرف، کود زیستی، نسبت برابری‌زمین، نسبت رقابت

صلاحی، ت.، ع. یدوی، ا. صالحی، ح. بلوچی، م. حمیدیان. ۱٤۰۱. مقایسه دو گونه قارچ میکوریزا در بهبود جذب عناصر غذایی و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط کتان روغنی و شنبلیله. ۱٤(۵۰): ۱۰۰-۸۷.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت گروه زراعت دانشکده کشاورزی ، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی ، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران- مسئول مکاتبات: Yadavi@yu.ac.ir

۳- استاد، گروه زراعت دانشکده کشاورزی ، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

٤- دانشجوی کارشناسی مهندسی ژنتیک و تولیدات گیاهی ، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) یک گیاه دارویی است که در طب سنتی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گرفته و افزون بر آن، سالیان متمادی است که از اندام رویشی آن به عنوان یکی از سبزی‌های پرکاربرد استفاده می‌شود. این گیاه علاوه بر آلکالوئید (تریگونیلین) و فلاونوئیدهایی (مانند اورنیتین، ویتسین و کوئرستین) که در اندام هوایی خود دارد ، دانه آن حاوی روغن ثابت ، مواد مغذی ضروری (کلسیم، آهن و بتاکاروتن) و همچنین استروئیدهای مختلفی است (هنفی و اکلادیوس، ۲۰۱۸). کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) از تیره کتان (Linaceae) است. روغن کتان منبع گیاهی با ارزشی از α-linolenic (امگا ۳) و اسیدهای چرب غیراشباع مانند امگا ٦ است (پالی و مهتا، ۲۰۱٤). کشت مخلوط با بهبود استفاده از منابعی مانند نور خورشید، مواد غذایی و آب یک از راه‌های دستیابی به کشاورزی پایدار است (آجنهو و همکاران، ۲۰۱۳). کاربرد بقولاتی نظیر شنبلیله در سیستم‌های کشت مخلوط اغلب سبب برتری نسبت به سایر سیستم‌های کشت مخلوط می‌شود زیرا بقولات علاوه بر افزایش عملکرد محصول، حفظ سلامت و ساختمان خاک (1609) باعث بهبود سطح نیتروژن خاک در سیستم کشت مخلوط می‌شوند (هیو و همکاران، ۲۰۱۱) و با کاهش نیاز به مصرف کود شیمیایی به پایدارتری هر چه بیشتر سیستم کمک می‌کند (پلزر و همکاران، ۲۰۱۲). از طرفی حضور بقولات در سیستم‌های مخلوط، باعث افزایش شاخص تولید سیستم در سیستم کشت مخلوط می‌شوند (آجنهو و همکاران، ۲۰۰٦). مشاهده شده‌است کشت مخلوط گیاهان دارویی با حبوبات، عملکرد و ترکیب متابولیت‌های ثانویه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (فلاح و همکاران، ۲۰۱۸). از طرفی یکی دیگر از دیدگاه‌های کشاورزی پایدار کاربرد ریزموجودات خاک‌زی برای بهبود سطح کیفی خاک و تأمین نیاز غذایی گیاهان بدون استفاده از نهادهای شیمیایی است (آیشیزوکا، ۱۹۹۲). قارچ‌های میکوریزا، میکروارگانیسم‌هایی هستند که از پتانسیل بسیار خوبی برای ترویج بهره‌وری محصول و پایداری اکوسیستم در سیستم های کشاورزی برخوردارند (نادیان و همکاران، ۲۰۱۳). این ریزجانداران خاکزی با ریشه اغلب گیاهان زراعی رابطه همزیستی دارند و باعث افزایش جذب آب و برخی عناصر ریزمغذی و همچنین بهبود سیستم ریشه گیاهان می‌شوند که در نتیجه بهبود رشد و عملکرد در اکثر گونه‌های گیاهی را به دنبال دارد. همچنین ریشه‌های میکوریزایی با سنتز فسفاتاز باعث افزایش فسفر قابل جذب در گیاهان می‌شود (هیو و همکاران، ۲۰۱۳). تحقیق پژوهشگران نیز نشان داده است که قارچ میکوریزا (*Funneliformis caledonium*) با افزایش فعالیت فسفاتاز خاک و افزایش روی و فسفر قابل جذب باعث بهبود عملکرد در سیستم کشت مخلوط سیر و آفتاب گردان شده‌است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹). وجود این قارچ در سیستم کشت مخلوط ذرت و سویا باعث افزایش نیتروژن جذب شده در گیاه ذرت شد (منگ و همکاران، ۲۰۱۵). از طرفی مشاهداتی نشان داده است که ریشه‌ی حبوبات با ترشح فلاونوئیدها به تجمع و فراوانی قارچ‌های میکوریزا کمک می‌کنند (پیواتو و همکاران ۲۰۰۷)این مسئله به دلیل وابستگی حبوبات به میکوریزا برای جذب کارآمد فسفر (رن و همکاران ۲۰۱۳) و نیازهای خاص غذایی خود که مربوط به فعالیت گرهک‌های ریشه آن‌ها است، می‌باشد (اسچیوبلن و همکاران، ۲۰۰٤). به طور کلی استفاده‌ی همزمان میکوریزاها همراه با خانواده لگوم در کشت مخلوط را می‌توان به عنوان یک استراتژی کارآمد برای بهبود افزایش جذب عناصر غذایی در نتیجه افزایش قابلیت‌های عملکردی و رشدی، نام برد. گزارشاتی از افزایش صفات رویشی و شاخص نسبت برابری‌زمین در حضور قارچ‌های میکوریزا در سیستم کشت مخلوط همراه با گیاه لگوم وجود دارد (پاگانو و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین قارچ *Funneliformis mosseae* علاوه بر افزایش رشد و جذب عناصر پر مصرف و کم مصرف (ویسانی و همکاران، ۲۰۱٦) باعث افزایش عملکرد و شاخص نسبت برابری‌زمین در سیستم کشت مخلوط گیاه لوبیا و گیاه دارویی شوید شد (ویسانی و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به نبود تحقیقات کافی در رابطه با نسبت‌های مخلوط دو گیاه شنبلیله و کتان روغنی و تاثیر کودهای زیستی بر رابطه این گیاهان در این سیستم، این پژوهش با هدف مقایسه اثر دو گونه قارچ میکوریزا در سامانه های کشت مخلوط این گیاهان و تاثیر آن بر کاهش راقبت بین گونه‌ای و بهبود جذب عناصر برای دستیابی به حداکثر پتانسیل در راستای کشاورزی پایدار انجام شده است.

مواد و روش‌ها

اجرای آزمایش و اندازه گیری صفات

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج با مشخصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۸۳۲ متری از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹٦ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد کود زیستی

در سه سطح (شاهد بدون کاربرد قارچ میکوریزا، کاربرد گونه *Funneliformis mosseae* و کاربرد گونه *Rhizophagus irregularis* قارچ میکوریزا) و سیستم‌های کشت در پنج سطح به صورت کشت خالص کتان روغنی(L)، کشت خالص شنبلیله(F)، کشت مخلوط ردیفی کتان روغنی و شنبلیله با نسبت ۱:۱ (یک ردیف کتان+ یک ردیف شنبلیله) (FL)، نسبت ۱:۲ (دو ردیف کتان روغنی+ یک ردیف شنبلیله)، (FL2) و نسبت ۲:۱ (یک ردیف کتان روغنی + دو ردیف شنبلیله) (F2L) بود. کرت‌های آزمایشی دارای ابعاد ٤ × ۲ متر و شامل ٤ پشته به فاصله ۵۰ سانتی‌متر که روی هر پشته دو ردیف کشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر صورت گرفت. فاصله بین کرت‌ها در هر بلوک ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. کود زیستی میکوریزا به نسبت ۸۰ کیلوگرم در هکتار (به توصیه شرکت تولید کننده) بصورت ردیفی زیر بذر در خاک قرار داده شد. هر گرم از کود مایکوریزا حاوی ۱۲۰ اسپور قارچ بود. فاصله بوته روی ردیف برای کتان روغنی و شنبلیله به ترتیب ٤ و ۸ سانتی‌متر بود. بذور کتان روغنی با تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع و بذور شنبلیله با تراکم ۵۰ بوته در متر مربع (در کشت خالص) در تاریخ دوم اردیبهشت ماه ۱۳۹٦ کشت شدند. بلافاصله بعد از کاشت آبیاری صورت گرفت و عمل آبیاری به تناسب نیاز تا قبل از رسیدگی کامل ادامه داشت. گیاه شنبلیله در مرحله رسیدگی کامل غلاف و گیاه کتان روغنی در مرحله رسیدگی کامل دانه (قهوه‌ای شدن کپسول‌ها) بطور همزمان در تاریخ ۲۹ مرداد ۱۳۹٦ برداشت شدند. عمل وجین علف‌های هرز با دست صورت گرفت.

در زمان گلدهی بوته ها ۱۰ بوته در هر کرت به طور تصادفی انتخاب و از سطح زمین کف بر شدند. سپس به جهت اندازه گیری غلظت عناصر در اندام هوایی، نمونه های اندام هوایی در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. در زمان رسیدگی نیز با در نظر گرفتن فواصل حاشیه، از ٦ ردیف وسط هر کرت مساحتی برابر با ۲ متر مربع بوته ها برداشت گردید و وزن خشک (عملکرد بیولوژیک) و عملکرد دانه هر گیاه بر اساس واحد سطح مخلوط (به منظور محاسبه شاخص‌های کشت مخلوط) اندازه گیری شد. غلظت عناصر دانه نیز از نمونه های بذری حاصله اندازه‌گیری شد. به جهت اندازه گیری غلظت عناصر ابتدا عمل هضم روی نمونه ها انجام شد. برای تهیه هضم ۰/۳ گرم از نمونه گیاهی خشک (برگ و دانه) همراه با مخلوط هضم به مدت یک شب در دمای اتاق قرار گرفت. سپس دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس بر روی هیتر به مدت یک ساعت حرارت داده شد. بعد از اتمام و سرد شدن، چندین مرحله به نمونه‌ها، هیدروژن پراکسید (۳۰درصد نسبت حجمی) در دمای ۲۸۰ اضافه گردید و این روند تا زمان بی‌رنگ شدن مخلوط هضم ادامه یافت سپس محلول بی‌رنگ را به حجم رسانده و با کاغذ صافی وایتمن صاف گردید (نوزامسکی و همکاران، ۱۹۷٤). از عصاره تهیه شده برای اندازه‌گیری فسفر، پتاسیم و نیتروژن استفاده شد (تمینف و هوبا، ۲۰۰٤). اندازگیری نیتروژن برگ و دانه بر اساس رنگ سبزآبی تشکیل شده توسط ترکیب فنولی (در اینجا سالیسیلات) در حضور آمونیاک و هیپوکلرید توسط دستگاه اسپکتروفتومتر(Lambda 210 EZ) در طول موج ٦٦۰ نانومتر اندازه‌گیری شد(نوزامسکی و همکاران، ۱۹۷٤) برای اندازه‌گیری عنصر فسفر در برگ و دانه هر دو گیاه از روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات – وانادات) از دستگاه اسپکتروفتومتر طول موج ٤۲۰ نانومتر انجام شد (روتست، ۱۹۸٤) و همچنین پتاسیم توسط محلول هضم تهیه شده با دستگاه فلیم فوتومتر خوانده شد (تیمونف و هوبا، ۲۰۰٤). اندازه گیری آهن و روی: پس از نمونه برداری نمونه ها در دمای ٦۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. برای تعیین غلظت آهن و روی نمونه‌ها را در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ٤ ساعت ، ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال روی هیتر قرار داده شد. توسط طیف سنجی جذب اتمی غلظت روی و آهن در دانه و برگ گیاه بر اساس استاندارد تعیین شد(تیمینف و هوبا، ۲۰۰٤). در این پژوهش شاخص‌های نسبت برابری‌زمین(لیو و همکاران، ۱۹۹۹)، شاخص تولید سیستم(اودو، ۱۹۹۱)، نسبت رقابت(دهیما و همکاران، ۲۰۰۸) و عملکرد ازدست رفته واقعی (بانیک و همکاران، ۲۰۰٦) بر اساس عملکرد دانه‌ی شنبلیله و کتان به صورت زیر محاسبه شد.

معادله (۱)

مجموع $LER = LER_C + LER_f$

نسبت برابری زمین کتان $LER_C = \frac{Yci}{Yc}$

نسبت برابری زمین شنبلیله $LER_f = \frac{Yfi}{Yf}$

شاخص تولید سیستم $SPI = \frac{Yc}{Yf} Yfi + Yci$

نسبت رقابتی کتان $CRc = \left(\frac{LERc}{LERf}\right) \times \left(\frac{Zfi}{Zci}\right)$

نسبت رقابتی شنبلیله $CRf = \left(\frac{LERf}{LERc}\right) \times \left(\frac{Zci}{Zfi}\right)$

عملکرد از دست رفته واقعی کل $AYL = AYLc \mid AYLi$

عملکرد از دست رفته واقعی کتان

$$AYLc = \{\left(\left(\frac{Yci}{Zci}\right) \div \left(\frac{Yc}{Zc}\right)\right) - 1\}$$

عملکرد از دست رفته واقعی شنبلیله

$$AYLf = \{\left(\left(\frac{Yfi}{Zfi}\right) \div \left(\frac{Yf}{Zf}\right)\right) - 1\}$$

در روابط ذکر شده Yc: عملکرد دانه کتان در تک کشت ، Yf: عملکرد دانه شنبلیله در تک کشت ، Yci: عملکرد دانه کتان در کشت مخلوط، Yfi: عملکرد دانه شنبلیله در کشت مخلوط، Zci: نسبت فراوانی کشت کتان نسبت به شنبلیله در کشت مخلوط وZfi: نسبت فراوانی کشت شنبلیله نسبت به کتان در کشت مخلوط است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل میانگین مربعات (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- نتایج آزمون تجزیه خاک مزرعه مورد مطالعه

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	ماده آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب
					میلی گرم در کیلوگرم			
رسی سیلتی	۷/۷	۰/۵	۱/۷	۰/۱۵	۸	۲۵۰	۱۴/۷	۰/۴۶

نتایج و بحث

برهمکنش نسبت کشت مخلوط و تیمار میکوریزا بر میزان پتاسیم برگ و دانه کتان و شنبلیله معنی‌دار بود (جدول ۲). تلقیح با میکوریزا باعث افزایش جذب پتاسیم در برگ و دانه هر دو گیاه شد. بیشترین میزان پتاسیم برگ و دانه در تیمار حاوی میکوریزا *F. mosseae* و نسبت ۱:۱ کشت مخلوط در دو گیاه بود (جدول ۳). مشابه نتایج حاضر نیز افزایش جذب پتاسیم در گیاه ذرت توسط میکوریزا گونه *F. mosseae* و *R. irregularis* گزارش شده است (میرانصاری و همکاران،۲۰۱۰. سیمن و همکاران، ۲۰۰۹). درواقع بیان شده است این قارچ‌ها با افزایش دسترسی گیاه به حجم بیشتر خاک، افزایش بیان برخی ژن‌های مرتبط با کانال‌های پتاسیم در گیاه و دارا بودن برخی از کانال‌های انتقال پتاسیم در دیواره هیف‌های خارجی خود موجب افزایش جذب و انتقال این عنصر در گیاهان می‌شوند (دومینگزی-نونز، ۲۰۱۶). به طور میانگین میزان پتاسیم هردو گیاه در کشت‌های مخلوط بیشتر از تک کشتی بود و وجود میکوریزا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط را می‌توان به عنوان یک عامل افزاینده در جذب پتاسیم در نظر گرفت (جدول ۳). این روند با گزارش سایر محققان نیز مطابقت دارد(ویسانی و همکاران، ۲۰۱۶). بهبود جذب پتاسیم توسط میکوریزا باعث بهبود جذب سایر عناصر می‌شود. در واقع این عنصر با توجه به نقش بالایی که در تنظیم روزنه‌ها دارد، موجب بهبود انتقال فعال مواد مغذی از ریشه به اندام هوایی می‌شود(رویز-لوزانو و آزون، ۱۹۹۵).

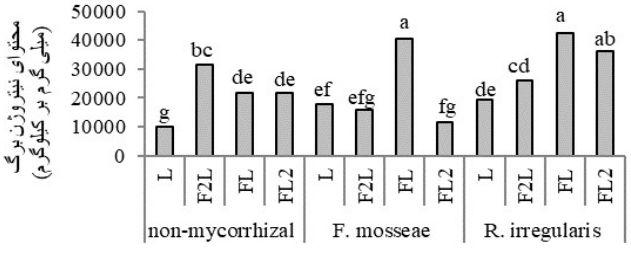
برهمکنش تیمارها بر میزان نیتروژن برگ و دانه کتان معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمارهای بدون میکوریزا میزان نیتروژن دانه و برگ کتان در همه‌ی نسبت‌های کشت مخلوط نسبت به تیمارهای تک کشتی این گیاه افزایش یافت. در تیمار حاوی گونه *F. mosseae* میزان نیتروژن برگ و دانه کتان در نسبت ۱:۱ افزایش مشهودی نسبت به کشت تکی داشت؛ همچنین بیشترین میزان نیتروژن برگ و دانه کتان در تیمار حاوی گونه *R. irregularis* در نسبت ۱:۱ مشاهده شد(شکل ۱ و ۲). برهمکنش کاربرد قارچ میکوریزا و کشت مخلوط فقط بر میزان نیتروژن برگ شنبلیله معنی‌دار بود اما میزان این عنصر در دانه در سطح اثرات اصلی معنی‌دار گشت (جدول۲). به طور کل هر دو گونه قارچ میکوریزا باعث افزایش میزان نیتروژن برگ در گیاه شنبلیله شدند. در تیمارهای حاوی کود میکوریزا (هر دو گونه) میزان نیتروژن برگ شنبلیله در نسبت کشت مخلوط ۱:۱ و نسبت ۲:۱ (یک ردیف کتان روغنی + دو ردیف شنبلیله) بیشتر از تک کشتی بود ولی در شرایط عدم کاربرد قارچ‌های میکوریزا تفاوت معنی‌داری در میزان نیتروژن برگ شنبلیله در هیچکدام از نسبت های کشت مخلوط و تک کشتی این گیاه مشاهده نشد (شکل ۵). میزان نیتروژن در دانه‌ی شنبلیله با کاربرد قارچ میکوریزا افزایش یافت؛ همچنین سطح نیتروژن دانه این گیاه در نسبت کشت مخلوط ۱:۱ و ۲:۱ به صورت معنی‌داری بیشتر از نسبت

۱:۲ (دو ردیف کتان روغنی+ یک ردیف شنبلیله) و تک کشتی بود (شکل ٦). به طور کل میکوریزا با افزایش در هدایت هیدرولیک ریشه، جذب و تغذیه نیتروژن را در گیاه افزایش می‌دهند (غلام حسینی و همکاران، ۲۰۱۳). در حضور میکوریزا عملکرد زیستی کتان در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کاهش زیادی نسبت به کشت تکی نداشته و می‌توان علت آن را افزایش نیتروژن قابل دسترس برای کتان نام برد. در کل دو مسیر برای انتقال نیتروژن در کشت مخلوط از گیاهان لگوم به سایر خانواده‌های گیاهی که توانایی تثبیت نیتروژن ندارند میتوان بیان کرد. یکی انتقال مستقیمی است که نیتروژن از گیاهان لگوم به وسیله شبکه هیف‌های قارچ میکوریزا به سایر گیاهان منتقل می‌شود (سرا و نایگرین، ۲۰۰٦). در واقع به دلیل بالا بودن غلظت نیتروژن در لگوم‌ها، این عنصر می‌تواند در طول شیب غلظت از طریق هیف‌ها به گیاه دوم در کشت مخلوط انتقال پیدا کند (چو و همکاران، ۲۰۰٤).

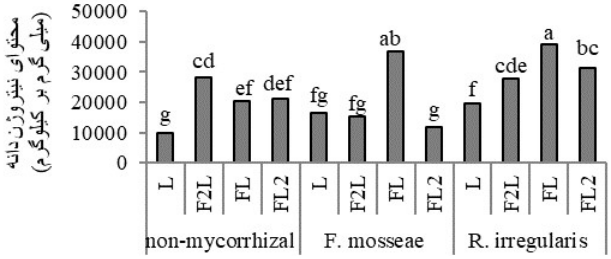
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نسبت‌های کشت و کود میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک و عناصر بر دانه و برگ کتان روغنی در کشت مخلوط با شنبلیله

		درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	برگ نیتروژن	برگ فسفر	برگ پتاسیم	برگ آهن	برگ روی	دانه نیتروژن	دانه فسفر	دانه پتاسیم	دانه آهن	دانه روی
کتان	تکرار	۲	۰/۸^{ns}	۰/۳۹^{ns}	۱/٤۳^{ns}	۰/۸٤^{ns}	۰/۸۸^{ns}	۰/۷۸^{ns}	۰/٤۰^{ns}	۰/۰٤^{ns}	۰/٤۸^{ns}	۰/۲۷^{ns}	۰/٦۲^{ns}
	کود زیستی	۲	۲۸/٦**	۲۰/۷۸**	٤/٦۱*	۲٦/٥۳**	۲۲/٤۹**	۰/۲٤^{ns}	۱۷/٦۷**	٤/۷۰*	۱٥/۳۸**	٥٦/٦۷**	۰/٥۲^{ns}
	سامانه کشت	۳	۱۹/۲۲**	۲۹/٥٤**	۳٥**	۳٤/۷۳**	٤۷/۲۹**	۲/۸*	۲۰/۸۷**	۱۸/۹۲**	۱۰/۷۰**	۱۰/۲٥**	۳/۲۷^{ns}
	کود زیستی× سامانه کشت	٦	٤۸/۳*	۱۳/۲۰**	۱/۹٥^{ns}	٥/۳۳**	۱۱/۲۹**	۳/۹۲**	۷/۸۲**	۲/۳۰^{ns}	٦/۸٦**	۱۰/۷۳**	۳/۷۰**
	خطا	۲۲	۲٥۹۱	۱۸٦۷۷۷	٥٥۷۹۸	۱٦۲٤۷۳	۹۲/۲٤۷	۷/۱٥۲	۲۰۸۲٦۲۱	۸٤۳٦٥	۳۱۲۲٦۲	۱۲/۲۷۹	٤۱/۱٦٦
	ضریب تغییرات		۹/۱٦	۱۷/٥۹	۱٥/۷٦	۷/۹۰	۱۱/۲٥	۱٥/٦٦	۱۹/۷۳	۱٦/۹۳	۱۰/۱۸	۱٤/٤۹	۱٤/۸۳
شنبلیله	تکرار	۲	۰/۱۰^{ns}	۰/۲۲^{ns}	٤/۰۲^{ns}	۲/۸۷^{ns}	۰/۸۷^{ns}	۰/۷٥^{ns}	۰/٤۰^{ns}	۱/۲٦^{ns}	۱/۹٤^{ns}	۰/۷٥^{ns}	۲/٤۲^{ns}
	کود زیستی	۲	۲/٤٥^{ns}	٦/٦٤**	۰/۱۹^{ns}	۳٤/۳۳**	۳۳/۲۲**	٥/۱۸**	۷/۹٥**	٥/۹۳^{ns}	۱۲/۳۸**	۱۰/۳۲**	۱۱/۸۰**
	سامانه کشت	۳	۲٥/۳٥**	٥/۹٤**	۳۸/٥۲**	۱٤/٤٥**	۷/٥۰**	۳/۱٤*	٤/۸۱**	۳٤/۰۲**	۱۸/۸۷**	۹/۳٥**	۱۲/۲۸**
	کود زیستی ×سامانه کشت	٦	۱/۲۱^{ns}	۳/۸۹*	۱۷/۲۰**	٥/۰٦*	۲/۹٥**	٤/۱۲**	۱/۹۳^{ns}	۱۱/٥۳**	۳/۰۷*	۲/٦٥*	٦/۹۲**
	خطا	۲۲	۱۹۲۹/٤	٦۸٤۳۹٥	۳۳۸۹۰	۲٥٤۳۸۰	٤۹۰/٥٦	۱٦۱/٥	۷۸٦۸۰۸٥	٤۰۱۳۳	٤۰٦۹٦٤	۸۱٦/۷٥	۲٤۲/٥۳
	ضریب تغییرات		۸/٥۳	۱٤/۸۲	۱۱/۲٤	۹/۷۳	۱٦/۰۱	۱۳/۰۷	۱٥	۱۱/۰۳	۱۰/۸۱	۱۸/۸۹	۱٦/۱٤

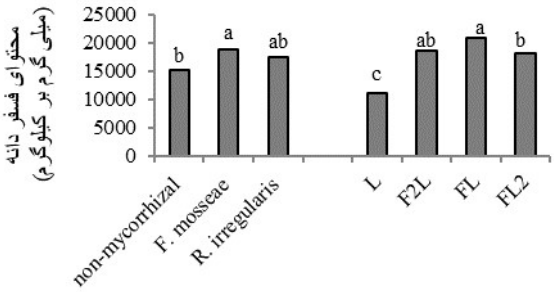
ns، *، **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



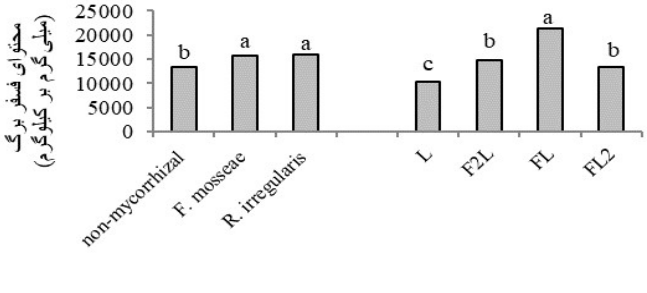
شکل ۱- اثر متقابل نسبت های کشت و میکوریزا بر محتوای نیتروژن برگ کتان



شکل ۲- اثر متقابل نسبت های کشت و میکوریزا بر محتوای نیتروژن دانه کتان.



شکل ٤-اثر نسبت های کشت و میکوریزا بر محتوای فسفر دانه کتان

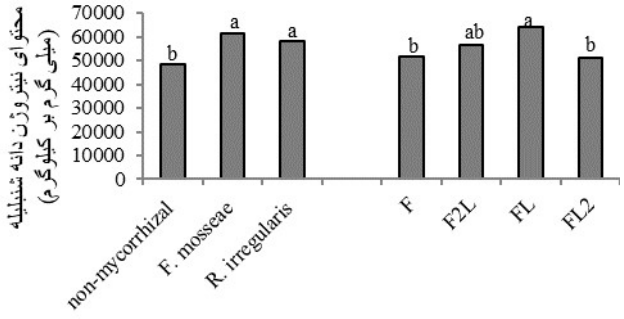


شکل ۳- اثر نسبتهای کشت و میکوریزا بر محتوای فسفر برگ کتان

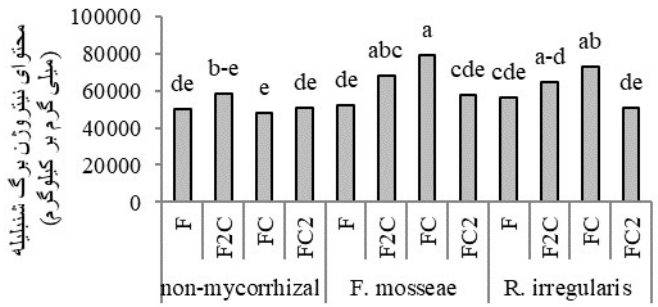
L: کشت خالص کتان، F2L: دو ردیف شنبلیله- یک ردیف کتان؛ FL: یک ردیف شنبلیله- یک ردیف کتان، FL2: یک ردیف شنبلیله: دو ردیف کتان. non-mycorrhizal: عدم کاربرد مایکوریزا؛ F. mosseae: کاربرد گونه *Funneliformis mosseae* قارچ مایکوریزا ؛ R. irregularis: کاربرد گونه *Rhizophagus irregularis* قارچ مایکوریزا

مسیر دیگر یک انتقال غیرمستقیم است ، که در آن لگوم با تثبیت نیتروژن باعث بهبود سطح نیتروژن ریزوسفر در نتیجه، نیتروژن توسط ریشه گیاه غیر لگوم یا از طریق میکوریزا می‌تواند جذب شود (منگ و همکاران، ۲۰۱۵). برهمکنش نسبت کشت مخلوط و تیمار میکوریزا بر میزان فسفر برگ و دانه شنبلیله معنی‌دار بود (جدول ۲) در حالی که میزان فسفر برگ و دانه کتان به صورت اثرات اصلی معنی‌دار گشت (جدول ۲). کاربرد هر دو گونه قارچ میکوریزاها افزایش میزان فسفر برگ و دانه در کتان را باعث شدند (شکل ۳ و ٤). همچنین میزان فسفر برگ و دانه‌ی کتان در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی به طور معنی‌داری بیشتر بود(شکل ۳ و ٤). مشابه پژوهش حاضر دیده شده است که سامانه کشت مخلوط حاوی لگوم تاثیر مثبتی در جذب و افزایش فسفر در گیاه غیر لگوم دارد(وانگ و همکاران، ۲۰۱۷). در شرایط کاربرد دو گونه قارچ میکوریزا بیشترین میزان فسفر دانه و برگ در شنبلیله در نسبت مخلوط ۱:۱ مشاهده شد. اما در تیمار شاهد بیشترین میزان این عنصر در برگ و دانه در نسبت ۲:۱ بود (شکل ۷ و ۸). میکوریزا با افزایش فعالیت و تولید آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب در گیاهان می‌شود (نادم و همکاران، ۲۰۱٤). افزایش فسفر توسط میکوریزا در سامانه کشت مخلوط دیده شد (قیائو و همکاران، ۲۰۱۵). برهمکنش نسبت کشت مخلوط و تیمار میکوریزا بر میزان آهن برگ و دانه بر دو گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲).

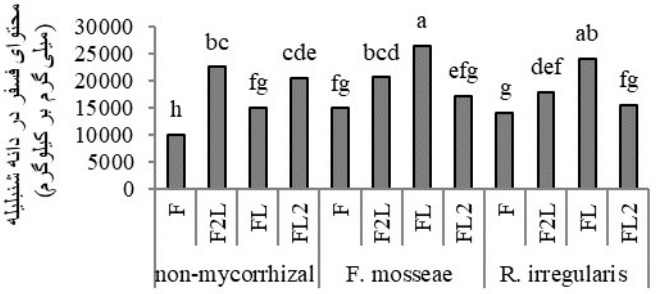
میزان آهن برگ و دانه هر دو گیاه در تمامی تیمارهای کاربرد میکوریزا (هر دو گونه) نسبت به شرایط عدم کاربرد بیشتر بود (جدول ۳). افزایش میزان عناصر کم مصرف نظیر آهن و روی در گیاه شنبلیله (ویسانی و همکاران، ۲۰۱۷) و کتان (سیمور و همکاران، ۲۰۱۹) در حضور میکوریزاها دیده شده است؛ زیرا میکوریزاها میتوانند با تولید مواد کلات کننده مانند سایدروفورها و همچنین توسعه هیف‌ها در ریزوسفر باعث بهبود جذب عناصر کم مصرفی مانند روی و آهن در گیاه شوند (دهقانیان و همکاران، ۲۰۱۸). در تیمار عدم کاربرد و تلقیح با گونه *F. mosseae* بیشترین میزان آهن برگ و دانه هر دو گیاه در نسبت کشت مخلوط ۱:۱ مشاهده شد (جدول ۳).



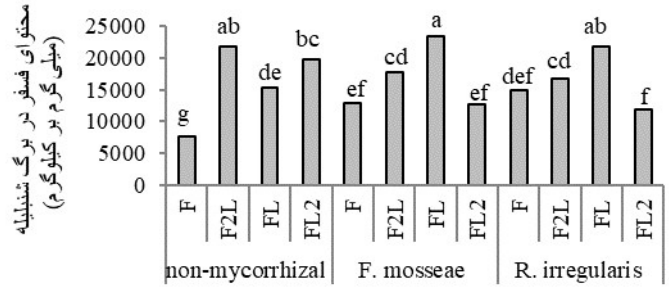
شکل ۳- اثر کود میکوریزا و نسبت های کشت بر محتوای نیتروژن دانه شنبلیله



شکل ٤- اثر متقابل کود میکوریزا و نسبت‌های کشت بر محتوای نیتروژن برگ شنبلیله



شکل ۵- اثر متقابل کود میکوریزا و نسبت های کشت بر محتوای فسفر در دانه شنبلیله



شکل ٦- اثر متقابل کود میکوریزا و نسبت‌های کشت بر محتوای فسفر در برگ شنبلیله

LL: کشت خالص کتان، F2L: دو ردیف شنبلیله- یک ردیف کتان؛ FL: یک ردیف شنبلیله- یک ردیف کتان، FL2: یک ردیف شنبلیله: دو ردیف کتان. non-mycorrhizal: عدم کاربرد مایکوریزا؛ F. mosseae: کاربرد گونه *Funneliformis mosseae* قارچ مایکوریزا ؛ R. irregularis: کاربرد گونه *Rhizophagus irregularis* قارچ مایکوریزا

مشابه نتایج پژوهش حاضر دیده شده است که حضور این قارچ‌ها باعث بهبود این ریزمغذی‌هایی نظیر آهن در سیستم کشت مخلوط می‌شود (ویسانی و همکاران، ۲۰۱٦). میزان روی برگ در تمام نسبت های کشت مخلوط تلقیح شده با *F. mosseae* بیشتر از تک کشتی بود ولی گونه *R. irregularis* باعث کاهش این عنصر در برگ شنبلیله شد (جدول ۳). در نسبت مخلوط ۲:۱، بیشترین غلظت عنصر روی دانه برای گیاه کتان در تیمار حاوی قارچ گونه *R. irregularis* دیده شد. ولی در تیمار حاوی گونه*F. mosseae* بیشترین روی دانه مربوط به تیمار ۱:۲ در گیاهان کتان بود (جدول ۳). در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا (هر دو گونه) میزان عنصر روی در برگ کتان تفاوت معنی‌داری در نسبت‌های کشت مخلوط و تک کشتی نداشت (جدول ۳). برهمکنش نسبت کشت مخلوط و تیمار میکوریزا بر عملکرد زیستی کتان معنی‌دار بود؛ در حالی که در رابطه با گیاه شنبلیله فقط اثر نسبت‌های کشت مخلوط بر عملکرد زیستی این گیاه معنی‌دار گشت (جدول ۲). در شرایط کشت مخلوط استفاده از میکوریزا گونه *F. mosseae* باعث افزایش عملکرد زیستی در گیاه کتان شده‌است به طوری که تلقیح با گونه *F. mosseae* بیشترین میزان عملکرد زیستی را در تمام تیمارها به جز نسبت ۲:۱ به همراه داشته و همچنین گونه *R. irregularis* باعث افزایش میزان عملکرد زیستی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط شد ولی اثر آن معنی‌دار نبود (شکل ۹). اما در مورد شنبلیله اصل کاهش رشد و عملکرد زیستی (شکل ۱۰) را به رقابت بین گونه‌ای بر سر منابع میتوان نسبت داد به طور مثال یکی از علل کاهش عملکرد گیاهان خانواده لگوم در حضور کتان، ارتفاع کمتر این گیاهان نسبت به کتان است و این یک رقابت برای رسیدن به منبع نور برای شنبلیله ایجاد می‌کند. مشابه این یافته در کشت مخلوط کتان و نخود گزارش شده است (اهلاوات و گنجهه، ۲۰۱۰).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر میکوریزا در هر سطح کشت مخلوط بر عناصر آهن، روی و پتاسیم در برگ و دانه کتان روغنی و شنبلیله

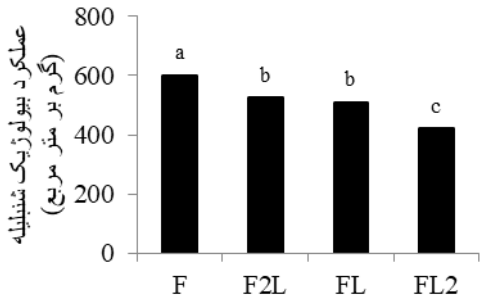
تیمار		کتان						شنبلیه					
		آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)		روی (میلی گرم بر کیلوگرم)		پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)		آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)		روی (میلی گرم بر کیلوگرم)		پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	
میکوریزا	کشت مخلوط	برگ	دانه	برگ	دانه	برگ	دانه	برگ	دانه	برگ	دانه	برگ	دانه
شاهد (عدم کاربرد کود	تک کشتی	۳۶/۱^{g}	۷۸^{de}	۷۳/۳^{bc}	۷۴/۳^{bcd}	۳۷۳۵^{f}	۴۳۹۹^{g}	۶۵/۳^{e}	۱۳۷^{bc}	۹۶/۷^{abc}	۷۳/۳^{cde}	۴۲۴۹^{fg}	۴۰۸۱^{g}
	۱:۱(شنبلیله: کتان)	۱۳۷/۳^{b}	۱۳۲/۳^{ab}	۱۰۶/۷^{a}	۱۰۶/۷^{a}	۴۱۹۳^{ef}	۴۶۸۹^{fg}	۱۴۹/۷^{bcd}	۱۷۷/۷^{b}	۹۶/۷^{abc}	۹۰^{bcd}	۴۴۳۷^{efg}	۶۰۰۹^{cde}
	۱:۲(یک ردیف شنبلیله: دو ردیف کتان)	۵۲/۳^{efg}	۵۰^{ef}	۷۰/۶^{bc}	۹۰/۷^{ab}	۴۸۶۷^{de}	۵۶۵۳^{cde}	۷۲/۳^{e}	۶۱/۷^{d}	۶۰^{d}	۶۳/۳^{e}	۳۷۵۳^{g}	۶۲۲۴^{bcd}
	۲:۱(دو ردیف شنبلیله: یک ردیف کتان)	۴۰/۷^{fg}	۳۳/۷^{f}	۶۰^{c}	۱۳۷/۹۰^{ab}	۴۸۳۹^{de}	۵۱۴۸^{dg}	۱۱۲/۷^{d}	۱۱۴/۳^{c}	۱۰۳/۳^{abc}	۶۶/۵^{de}	۴۷۶۴^{def}	۴۶۱۴^{fg}
فونیلیفورمیس موسی	تک کشتی	۷۴/۷^{cde}	۹۲/۷^{cd}	۸۰/۴^{bc}	۸۶/۷^{abc}	۳۹۵۹^{f}	۴۷۸۳^{efg}	۱۵۹/۳^{bc}	۱۶۰/۷^{bc}	۹۰^{bc}	۸۰^{cde}	۵۲۳۲^{cde}	۵۰۷۳^{efg}
	۱:۱(شنبلیله: کتان)	۱۶۹/۳^{a}	۱۵۷/۷^{a}	۷۰/۸^{bc}	۸۶/۷^{abc}	۶۶۷۴^{a}	۷۲۴۵^{a}	۱۷۰/۷^{b}	۲۴۳/۳^{a}	۱۱۰/۴^{ab}	۹۶/۷^{bc}	۷۳۷۶^{a}	۷۶۷۵^{a}
	۱:۲(یک ردیف شنبلیله: دو ردیف کتان)	۸۵/۳^{cd}	۱۴۲/۷^{ab}	۷۴^{bc}	۱۰۶/۷^{a}	۵۲۷۰^{dc}	۷۱۱۴^{ab}	۱۵۵/۷^{bc}	۱۵۷/۷^{bc}	۱۱۳/۳^{a}	۱۳۴^{a}	۵۹۹۰^{bc}	۶۵۳۳^{bcd}
	۲:۱(دو ردیف شنبلیله: یک ردیف کتان)	۷۳^{cde}	۱۳۸/۳^{ab}	۹۰/۱^{ab}	۶۳/۳^{d}	۵۶۶۳^{d}	۵۶۲۵^{cf}	۲۰۸/۳^{a}	۱۴۸/۳^{bc}	۱۱۱^{ab}	۱۴۶/۷^{a}	۵۴۱۹^{cd}	۶۸۲۳^{abc}
رایزوفاگوس ایریگولاریس	تک کشتی	۱۴۷/۷^{ab}	۱۶۰/۳^{a}	۷۳/۳^{bc}	۷۳/۳^{bcd}	۴۰۸۱^{f}	۴۷۲۷^{efg}	۱۴۴/۷^{bcd}	۱۶۴^{b}	۱۱۰^{ab}	۷۰^{de}	۴۳۹۰^{efg}	۵۵۹۷^{def}
	۱:۱(شنبلیله: کتان)	۱۲۴/۷^{b}	۱۳۵^{ab}	۹۰/۶^{ab}	۹۶/۷^{a}	۶۱۰۳^{ab}	۶۲۸۱^{bc}	۱۴۶/۳^{bcd}	۱۶۰/۳^{bc}	۹۰^{bc}	۱۰۶/۷^{b}	۶۴۵۸^{b}	۷۱۷۰^{ab}
	۱:۲(یک ردیف شنبلیله: دو ردیف کتان)	۶۳/۷^{ef}	۱۱۹/۳^{bc}	۷۶/۷^{bc}	۶۶/۷^{cd}	۵۹۴۴^{bc}	۴۳۴۳^{g}	۱۲۸^{cd}	۱۵۱/۳^{bc}	۸۶/۷^{c}	۸۶/۷^{be}	۵۵۹۷^{cd}	۶۳۱۸^{bcd}
	۲:۱(دو ردیف شنبلیله: یک ردیف کتان)	۹۰/۳^{c}	۱۴۳^{ab}	۸۳/۳^{b}	۱۰۳/۳^{a}	۵۸۵۰^{bc}	۵۸۰۳^{cd}	۱۴۷^{bcd}	۱۴۸/۷^{bc}	۱۰۰^{abc}	۱۴۳/۳^{a}	۴۴۹۳^{efg}	۴۶۸۰^{fg}

در هر ستون و هر تیمار میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD ندارند.

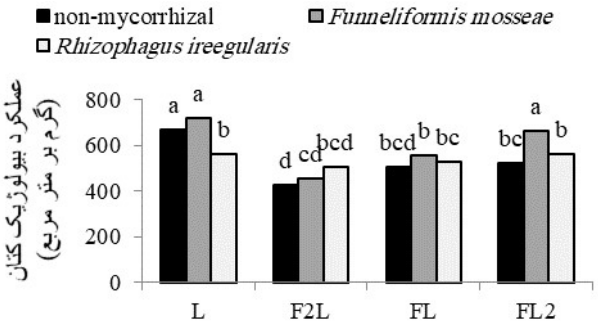
جدول ٤- مقایسه میانگین شاخص های سودمی کشت مخلوط در نسبت‌های کشت و میکوریزا

	تیمار	شنبلیله			کتان			کل		
		نسبت برابری زمین (LER_F)	نسبت رقابت (CR_F)	عملکرد از دست رفته واقعی (AYL_F)	نسبت برابری زمین (LER_L)	نسبت رقابت(CRL)	عملکرد از دست رفته واقعی (AYL_L)	شاخص تولید سیستم (SPI)	نسبت برابری زمین (LER_T))	عملکرد از دست رفته واقعی (AYL_T)
نسبت‌های کشت	دو ردیف شنبلیله : یک (ردیف کتان	۰/۸۲^{a}	۰/۶۱^{c}	۰/۲٤^{c}	۰/٦۸^{b}	۱/٦۷^{a}	۱/۰٦^{a}	۳٥۹/۳۷^{a}	۱/٥۳^{a}	۱/۳۰^{a}
	(یک ردیف شنبلیله : یک ردیف کتان)	۰/۷۹^{a}	۱/۰۹^{b}	۰/٥۷^{b}	۰/۷٤^{b}	۰/۹٦^{b}	/٤۹۰^{b}	۳٦۸/۸۸^{a}	۱/٥۰^{a}	۱/۰٦^{a}
	(یک ردیف شنبلیله : دو ردیف کتان)	۰/٦۱^{a}	۱/٤٦^{a}	۰/۸٥^{a}	۰/۸٥^{a}	۰/۷۲^{c}	۰/۲۸^{b}	۳٥۲/٦۲^{a}	۱/٤٥^{a}	۱/۱۲^{a}
کود زیستی	شاهد (عدم کاربرد کود)	۰/۷۱^{a}	۱/۱٤^{a}	۰/٤۷^{a}	۰/٦۷^{b}	۱/۰٤^{a}	۰/٤۳^{b}	۳٤۰/۷۱^{a}	۱/۳۷^{a}	۰/۹۱^{b}
	فونیلیفورمیس موسه	۰/۷۲^{a}	۱^{a}	۰/٥۳^{a}	۰/۷۸^{a}	۱/۱٦^{a}	۰/٦٤^{ab}	۳۸۸/۷۹^{a}	۱/٥۰^{a}	۱/۱۷^{ab}
	رایزوفاگوس ایریگولاریس	۰/۷۹^{a}	۱/۰۲^{a}	۰/٦٦^{a}	۰/۸۲^{a}	۱/۱٥^{a}	۰/۷٥^{a}	۳٥۱/۳۹^{a}	۱/٦۱^{a}	۱/٤۱^{a}

در هر ستون و هر تیمار میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD ندارند.



شکل ۷- اثر نسبت های کشت بر عملکرد بیولوژیک شنبلیله



شکل ۸- اثر متقابل کود زیستی و نسبت های کشت بر عملکرد بیولوژیک کتان

L: کشت خالص کتان، F2L: دو ردیف شنبلیله- یک ردیف کتان؛ FL: یک ردیف شنبلیله- یک ردیف کتان، FL2: یک ردیف شنبلیله: دو ردیف کتان.

با توجه به جدول ٤، برهمکنش کود زیستی میکوریزا و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر هیچ کدام از شاخص‌های کشت مخلوط در کتان و شنبلیله تاثیر معنی‌داری نداشت، همچنین اثر نسبت کشت مخلوط بر شاخص‌های نسبت برابری‌زمین و عملکرد ازدست رفته واقعی و تولید سیستم کل معنی‌دار نبود.نسبت برابری‌زمین کل در تمامی تیمارهای کود زیستی و نسبت‌های کشت مخلوط بزرگ تر از یک بود و بیشترین میزان نسبت برابری زمین در تیمار تلقیح شده با قارچ *R. irregularis* مشاهده شد. نسبت برابری‌زمین کل بیش از ۱/۰ به معنای مزیت و کارایی بالای در سیستم کشت مخلوط در استفاده از زمین است (لیو و همکاران، ۱۹۹۹) که در این مطالعه نسبت برابری‌زمین کل در همه ی تیمارها بالای یک بودند.ولی نسبت‌های مختلف کشت تاثیر معنی‌داری بر میزان آن نداشتند و این نشان دهنده ی روابط مثبت بین دو گونه (تسهیل کنندگی) کتان و شنبلیله بود. از طرفی کاربرد میکوریزا باعث افزایش ماده آلی خاک و بهبود در دسترس بودن مواد مغذی خاک می‌شود ، که منجر به رشد بیشتر گیاه و نتایج افزایش نسبت برابری‌زمین می‌شود (پاگانو و همکاران، ۲۰۰۸). ما نیز بیشترین نسبت برابری‌زمین کتان و شنبلیله را در کاربرد میکوریزا مشاهده کردیم (جدول ٤). نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تاثیر معنی‌داری بر نسبت رقابتی اجزای کشت مخلوط داشت این در حالی است که اثر کودهای زیستی میکوریزا بر آن معنی دار نبوده است (جدول ٤). بیشترین نسبت رقابتی کتان در نسبت مخلوط ۲:۱ دیده شد اما بیشترین میزان این صفت در گیاه شنبلیله در نسبت ۱:۲ بود. شاخص عملکرد ازدست رفته واقعی اطلاعات دقیق تری نسبت به سایر شاخص‌ها در مورد رقابت‌های بین گونه‌ها در سیستم‌های کشت مخلوط ارائه می‌دهد (یلماز و همکاران، ۲۰۱٤).کاربرد میکوریزا در تمام شرایط، اثر مثبت و بیشتر نسبت به تیمار بدون میکوریزا داشته و این نشان می‌دهد که این قارچ‌ها با بهبود سطح تغذیه‌ای گیاهان و کاهش رقابت ریشه‌ها بر سر مواد غذایی باعث جلوگیری از بین رفتن عملکرد در سیستمهای مخلوط می‌شود همچنین عملکرد از دست رفته واقعی در تمام سطوح نسبت‌های مخلوط اعمال شده مثبت بود؛ که نشان دهنده مزیت الگوهای کشت در مقایسه با تک کشتی است (مشیانی و همکاران، ۲۰۱۸). بیشترین نسبت رقابتی شنبلیله(CR_f) در نسبت کشت مخلوط ۱:۲ و بیشترین میزان نسبت رقابتی کتان (CR_L)در نسبت ۲:۱ مشاهده شد. با اینکه هیچکدام از تیمارهای اعمال شده و بر همکنش آنان بر میزان شاخص تولید سیستم معنی‌دار نبود(جدول ٤) ولی میزان آن در نسبت‌های کشت مخلوط با نسبت‌های بیشتر شنبلیله بیشتر بود (جدول ٤). در واقع مطابق نتایج ما مشاهده شده است که شاخص تولید سیستم با کاربرد گیاه لگوم بیشتر در کشت مخلوط نسبت به کشت گیاه با نسبت لگوم کمتر افزایش یافت (آجنیهو و همکاران، ۲۰۰۸).

نتیجه‌گیری

در کل نسبت‌های مختلف کشت مخلوط باعث بهبود سطح جذب عناصر شد؛ ولی نسبت ۱:۱ تقریبا از نظر سطح عناصر برگ و دانه هر دو گیاه و از نظر عملکرد زیستی موفق تر بود؛ همچنین بیشترین میزان شاخص تولید بوم نظام و کمترین عملکرد از دست رفته مربوط به این نسبت بود. هر دو گونه مایکوریزا باعث بهبود سطح جذب عناصر در گیاه کتان و شنبلیله و افزایش نسبت برابری زمین مخلوط این دو گیاه شدند؛ علاوه بر آن کاربرد قارچ مایکوریزا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط باعث تعادل در جذب عناصر گیاهان شد ولی میتوان

گفت تا حدی گونه‌ی *F. mosseae* اثر مثبت‌تری بر جذب عناصر در هردو گیاه و عملکرد زیستی کتان داشت.

منابع

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W. (2008). Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. *Agronomy for sustainable development*, 28(2), 257-263.

Ahlawat, I. P. S., and Gangaiah, B. D. (2010). Effect of land configuration and irrigation on sole and linseed (*Linum usitatissimum*) intercropped chickpea (*Cicer arietinum*. Indian). *Journal of Agricultural Research*, 80(3), 250-253.

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B. K., and 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.

Chu, G., Shen, Q., Li, Y., Zhang, J., and Wang, S. (2004). Researches on Bi-directional N transfer between the intercropping system of groundnut with rice cultivated in aerobic soil using (15) N foliar labelling method. *Acta Ecologica Sinica*, 24(2), 278-284.

Cimen, I., Pirinc, V., Doran, I., and Turgay, B. (2010). Effect of soil solarization and arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) on yield and blossom-end rot of tomato. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(4), 551-555.

Dehghanian, H., Halajnia, A., Lakzian, A., and Astaraei, A. R. (2018). The effect of earthworm and arbuscular mycorrhizal fungi on availability and chemical distribution of Zn, Fe and Mn in a calcareous soil. *Applied Soil Ecology*, 130, 98-103.

Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., and Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 100(2-3), 249-256.

Dominguez-Nuñez, J. A., Benito, B., Berrocal-Lobo, M., and Albanesi, A. (2016). Mycorrhizal fungi: role in the solubilization of potassium. In Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture (pp. 77-98). Springer, New Delhi.

Fallah, S., Rostaei, M., Lorigooini, Z., and Surki, A. A. (2018). Chemical compositions of essential oil and antioxidant activity of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in sole crop and dragonhead-soybean (*Glycine max*) intercropping system under organic manure and chemical fertilizers. *Industrial Crops and Products*, 115, 158-165.

Nadian, H., Heidari, M., Gharineh, M., Daneshvar, M. (2013). The effects of different levels of sodium chloride and mycorrhizal colonization on growth, P, K and Na uptake by saffron (Crocus sativus L.). Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture), 36(2), 49-59.

Fetene, M. (2003). Intra-and inter-specific competition between seedlings of Acacia etbaica and a perennial grass (*Hyparrenia hirta*). *Journal of Arid Environments*, 55(3), 441-451.

Ghasemi, M. S., Fallah, S., and Tadayyon, M. R. (2016). Variation in root and shoot growth, rhizobium nodules of Fenugreek (*Trigonella foenum gracum*) under fertilizer treatments and intercropping with Isabgol (*Plantago ovate)*. *Journal of plant production*, 35-46. (In persian)

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., & Khodaei-Joghan, A. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, 117, 106-114.

Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M. N., van Tuinen, D., Redecker, D., and Wipf, D. (2010). Agroecology, the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. Mycorrhiza, 20(8), 519-530.

Hanafy, R. S., and Akladious, S. A. (2018). Physiological and molecular studies on the effect of gamma radiation in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plants. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(2), 683-692.

Hauggaard-Nielsen, H., Jørnsgaard, B., Kinane, J., and Jensen, E. S. (2008). Grain legume–cereal intercropping, the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(1), 3-12.

Hu, J., Chan, P. T., Wu, F., Wu, S., Zhang, J., Lin, X., and Wong, M. H. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi induce differential Cd and P acquisition by Alfred stonecrop (*Sedum alfredii Hance*) and upland kangkong (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in an intercropping system. *Applied soil ecology*, 63, 29-35.

Ishizuka, J., 1992). Trends in biological nitrogen fixation research and application. *Plant and Soil*, 141, 197-209.

Kariuki, L. W., Masinde, P. W., Onyango, A. N., Githiri, S. M., and Ogila, K. (2014). The growth and seed yield of five linseed (*Linum usitatissimum* L.) varieties as influenced by nitrogen application. 22(3), 3493-3509

Kaschuk, G., Kuyper, T. W., Leffelaar, P. A., Hungria, M., and Giller, K. E. (2009). Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6), 1233-1244.

Li, C. J., Li, Y. Y., Yu, C. B., Sun, J. H., Christie, P., An, M., ... and Li, L. (2011). Crop nitrogen use and soil mineral nitrogen accumulation under different crop combinations and patterns of strip intercropping in northwest China. *Plant and Soil*, 342(1-2), 221-231.

Li, L., Yang, S., Li, X., Zhang, F., and Christie, P. (1999). Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean. *Plant and Soil*, 212(2), 105-114.

Machiani, M. A., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., and Maggi, F. (2018). Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. *Industrial Crops and Products*, 111, 743-754.

Mead, R., and Willey, R. W. (1980). The concept of a 'land equivalent ratio'and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, 16(3), 217-228.

Meng, L., Zhang, A., Wang, F., Han, X., Wang, D., and Li, S. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium facilitate nitrogen uptake and transfer in soybean/maize intercropping system. *Frontiers in Plant Science*, 6, 339.

Mikkelsen, B. L., Rosendahl, S., and Jakobsen, I. (2008). Underground resource allocation between individual networks of mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 180(4), 890-898.

Miransari, M., Bahrami, H. A., Rejali, F., and Malakouti, M. J. (2009). Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil and Tillage Research*, 103(2), 282-290.

Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., and Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology advances*, 32(2), 429-448.

Novozamsky, I., R. Van Eck, J. Ch. Van Schouwenburg and I. Walinga. (1974). Total nitrogen determination in plant material by means of the imdophenol blue method. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 22, 3-5.

Odo, P. E. (1991). Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the Sudan savanna of Nigeria, land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. *Experimental Agriculture*, 27(4), 435-441.

Pagano, M. C., Cabello, M. N., Bellote, A. F., Sá, N. M., and Scotti, M. R. (2008). Intercropping system of tropical leguminous species and Eucalyptuscamaldulensis, inoculated with rhizobia and/or mycorrhizal fungi in semiarid Brazil. *Agroforestry systems*, 74(3), 231.

Pali, V., and Mehta, N. (2014). Evaluation of oil content and fatty acid compositions of flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties of India. *Journal of Agricultural Science*, 6(9), 198.

Pelzer, E., Bazot, M., Makowski, D., Corre-Hellou, G., Naudin, C., Al Rifaï, M., ... and Carrouée, B. (2012). Pea–wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. *European Journal of Agronomy*, 40, 39-53.

Pivato, B., Mazurier, S., Lemanceau, P., Siblot, S., Berta, G., Mougel, C., and Van Tuinen, D. (2007). Medicago species affect the community composition of arbuscular mycorrhizal fungi associated with roots. *New Phytologist*, 176(1), 197-210.

Qiao, X., Bei, S., Li, H., Christie, P., Zhang, F., and Zhang, J. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to overyielding by enhancing crop biomass while suppressing weed biomass in intercropping systems. *Plant and Soil*, 406(1-2), 173-185.

Ren, L., Lou, Y., Zhang, N., Zhu, X., Hao, W., Sun, S., ... and Xu, G. (2013). Role of arbuscular mycorrhizal network in carbon and phosphorus transfer between plants. *Biology and fertility of soils*, 49(1), 3-11.

Ruiz-Lozano, J. M., Azcón, R. and Gomez, M. (1995). Effects of arbuscular-mycorrhizal glomus species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(2), 456-460.

Røtset, O. (1985). Determination of phosphate species in nutrient solutions and phosphorus in plant material as phosphovanadomolybdic acid by flow injection analysis. *Analytica chimica acta*, 178, 217-221.

Scheublin, T. R., Ridgway, K. P., Young, J. P. W., and Van Der Heijden, M. G. (2004). Nonlegumes, legumes, and root nodules harbor different arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(10), 6240-6246.

Seymour, N. P., Edwards, D. G., and Thompson, J. P. (2019). A dual rescaled Mitscherlich model of the simultaneous savings in phosphorus and zinc fertiliser from arbuscular mycorrhizal fungal colonisation of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Plant and Soil*, 440(1-2), 97-118.

Sierra, J., and Nygren, P. (2006). Transfer of N fixed by a legume tree to the associated grass in a tropical silvopastoral system. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1893-1903.

Siqueira, J. O., Safir, G. R., and Nair, M. G. (1991). Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation and growth of white clover by flavonoid compounds. *New Phytologist*, 118(1), 87-93.

Temminghoff, E. E., and Houba, V. J. (Eds).. (2004). Plant analysis procedures. (Vol. 179). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Wang, X., Deng, X., Pu, T., Song, C., Yong, T., Yang, F., ... & Yang, W. (2017). Contribution of interspecific interactions and phosphorus application to increasing soil phosphorus availability in relay intercropping systems. *Field Crops Research*, 204, 12-22.

Weisany, W., Raei, Y., and Ghassemi-Golezani, K. (2016). *Funneliformis mosseae* alters seed essential oil content and composition of dill in intercropping with common bean. *Industrial Crops and Products*, 79, 29-38.

Weisany, W., Raei, Y., Salmasi, S. Z., Sohrabi, Y., and Ghassemi-Golezani, K. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi induced changes in rhizosphere, essential oil and mineral nutrients uptake in dill/common bean intercropping system. *Annals of Applied Biology*, 169(3), 384-397.

Weisany, W., Sohrabi, Y., Siosemardeh, A., and Ghassemi-Golezani, K. (2017). *Funneliformis mosseae* fungi changed essential oil composition in *Trigonella foenum graecum* L., *Coriandrum sativum* L. and *Nigella sativa* L. *Journal of Essential oil researc*h, 29(3), 276-287.

Willey, R. (1979). Intercropping-its importance and research needs, Part 1. Competition and yield advantages. *In Field crop abstracts*, 32, 1-10.

Zhang, Y., Hu, J., Bai, J., Qin, H., Wang, J., Wang, J., and Lin, X. (2019). Intercropping with sunflower and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi promotes growth of garlic chive in metal-contaminated soil at a WEEE-recycling site. *Ecotoxicology and environmental safety*, 167, 376-384.

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

T. Salahi[1], A. Yadavi[2], A. Salehi[2]. H. Balouchi[3], M. Hamidian[4]

Received: 2022-10-22 Accepted: 2023-10-29

Abstract

This study was used in order to diversify agricultural system by using fenugreek in mixed cultivation with linseed with the aim of determining the effect of mycorrhizal fungus symbiosis on the plant elements and the effect on intercropping indices. The farm factorial experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications and 15 treatments in Yasouj University in 2016. The experimental factors include the bio-fertilizer in three levels (control, the use of mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae* and the use of mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*) and cultivation ratios at 5 levels (pure cultivation of oilseed and fenugreek and mixed cultivation of linseed and fenugreek with ratios of 1:1, 1:2 and 1:2). The results showed that the application of mycorrhiza along with mixed cultivation improved the absorption of macro and micro elements, so that the highest concentration of iron, nitrogen and potassium in oilseeds leaves was seen in the ratio of 1:1 mixed culture along with mycorrhiza fertilizer. Also, mycorrhizal fungus F. mosseae together with 1:1 mixed culture brought the most nitrogen, potassium and phosphorus of fenugreek leaves. The interaction of mixed cropping and mycorrhizal fertilizer was not significant on any of the indicators of the usefulness of mixed cropping; but the use of mycorrhizal fertilizers increased the amount of actual lost yield and the ratio of the total land. In general, the use of mycorrhizal fertilizer, in addition to improving the absorption of elements, made the mixed cultivation of flax and fenugreek superior to their single crop.

Key words: Bio-fertilizer, Competition rate, Land equivalent ratio, Macronutrients

۱ M.Sc. Graduate of Agronomy, Department of Agronomy , Faculty of Agriculture,Yasouj University, Yasouj, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
3- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
4- B.Sc Student , Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran