نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۶۸۳-۶۶۳

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 663-683

مقاله علمی -پژوهشی

بررسی عملکرد علوفه و جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) تحت تأثیر هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices*

محمد حقانی‌نیا[۱]، عبدالله جوانمرد[۲]* و سارا ملاعلی عباسیان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳

حقانی‌نیا، م.، جوانمرد، ع.، و ملاعلی عباسیان، ۱۳۹۹ س.، بررسی عملکرد علوفه و جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) تحت تأثیر هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices*. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۸۳-۶۶۳

چکیده

به‌منظور بررسی عملکرد علوفه و میزان جذب برخی عناصر غذایی در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.)- خلر (*Lathyrus sativus* L.) با کاربرد قارچ *Glomus intraradices*، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتور اول شامل الگوهای مختلف کشت (کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو، ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو) و فاکتور دوم شامل تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *Glomus intraradices* بودند. تراکم بهینه برای جو و خلر به‌ترتیب ۳۰۰ و ۲۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. در مرحله برداشت، عملکرد علوفه هر یک از گیاهان، عملکرد علوفه کل و میزان عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، منیزیم و کلسیم علوفه اندازه‌گیری شدند. نتایج آزمایش نشان داد بیشترین عملکرد علوفه خشک جو (۴۸۳/۳ گرم در مترمربع) به کشت خالص جو هم‌زیست شده با قارچ میکوریزا تعلق داشت که نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده ۴۷/۴۸ درصد افزایش نشان داد. همچنین بیشترین عملکرد علوفه خلر در کشت‌های خالص خلر تلقیح شده (۶۳۷/۵ گرم در مترمربع) و تلقیح نشده (۶۲۹/۲ گرم در مترمربع) حاصل شد و بعد از آن الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۵۰۸/۴ گرم در مترمربع) واقع شد. بیشترین و کمترین میزان عناصر ماکرو و میکرو به‌ترتیب در کشت خالص خلر با کاربرد قارچ میکوریزا و کشت خالص جو تلقیح نشده با قارچ میکوریزا به‌دست آمد. همچنین در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیشترین میزان جذب عناصر غذایی به تیمار ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو تلقیح شده با قارچ میکوریزا مربوط بود. به‌طوری‌که، میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، منیزیم و کلسیم در ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو با کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده به‌ترتیب ۲۴۱/۶۱، ۱۹۳/۹۰، ۱۳۲/۴۸، ۱۲۶/۴۷، ۹۹/۲۵، ۱۲۸/۲۷، ۲۹۲/۵۲ و ۲۵۰/۹۹ درصد بیشتر بود. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده، کشت مخلوط ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو تلقیح شده با قارچ میکوریزا منجر به بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش کیفیت علوفه حاصل نسبت به کشت خالص جو گردید.

واژه‌های کلیدی: الگوی‌کشت، پایدار، فسفر، کشاورزی کود زیستی، نیتروژن

مقدمه

تغذیه گیاه نقش مهمی در بهبود عملکرد گیاهان زراعی دارد. از جمله عواملی که سبب توجه روزافزون به تغذیه گیاهان زراعی شده، می‌توان به محدودیت منابع آب و خاک، هزینه بیشتر کودهای غیرآلی، افزایش تقاضا برای غذا، نگرانی نسبت به آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و افزایش

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران.
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: A.javanmard@maragheh.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i4.75125

تقاضا برای غذای باکیفیت در نتیجه، بهبود کیفیت زندگی مصرف‌کنندگان اشاره کرد. بنابراین، برای رهایی از این مشکلات و حذف آلاینده‌ها، پیشرفت به‌سمت کشاورزی پایدار و استفاده از روش‌های نوین تغذیه گیاهی از جمله استفاده از کودهای زیستی بیش از پیش مورد توجه قرار می‌گیرد (Varma et al., 2018).

نظام‌های مدرن تولید محصولات زراعی، به‌دنبال روش‌های مختلفی برای دستیابی به عملکرد بالا هستند، اغلب این روش‌ها جهت افزایش کارایی مصرف منابع محیطی می‌باشد. از آن‌جا که محدودیت‌هایی جهت استفاده از این منابع وجود دارد، بنابراین روش‌هایی جهت استفاده پایدار از این منابع مورد توجه می‌باشد. امروزه در نظام‌های کشاورزی پایدار برای کاهش مصرف نهاده‌ها و جبران هزینه‌های رو به افزایش تولید، کاهش آثار زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و حفظ حاصلخیزی خاک، اصلاح روش‌های مدیریتی با رویکرد توسعه کشت گیاهان علوفه‌ای به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی رو به افزایش است (Agegnehu et al., 2006). یکی از روش‌های پایدار، کاشت دو یا چند گیاه به‌طور هم‌زمان در یک مزرعه با هدف افزایش عملکرد در بعد زمان و مکان می‌باشد. گزارش شده کشت مخلوط با استفاده مؤثر از منابعی مانند آب و عناصر غذایی می‌تواند عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهد (Inal et al., 2007). اسکندری و قنبری (Eskandari & Ghanbari, 2011) نشان دادند که جذب عناصر غذایی در همه تیمارهای کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis* L.) بود. سلیمان‌پور و همکاران (Soleimanpoor et al., 2017) گزارش کردند بیشترین محتوای آهن، روی، مس و منگنز شاخساره غلات در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) + باقلا (۲۰/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.)+ باقلا (۲۳/۵۹ میلی‌گرم برکیلوگرم) به‌دست آمد. همچنین بیشترین محتوای آهن، روی، مس و منگنز شاخساره لگوم نیز به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط گندم+ باقلا (*Vicia faba* L.) (۶۷۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کشت مخلوط جو+ نخود (*Cicer arietinum* L.) (۲۶/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کشت مخلوط تریتیکاله (*Triticosecale witmack* L.)+ باقلا (۲۸/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. آگگنهو و همکاران (Agegnehu et al., 2006) با بررسی کشت مخلوط جو و باقلا، افزایش عملکرد علوفه را در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گیاه گزارش کردند و این امر را به کاربرد بهینه نیتروژن در کشت مخلوط نسبت دادند. همچنین هاوگارد نیلسن و همکاران (Hauggaard-Nielsen et al., 2003) اظهار داشتند که در کشت مخلوط جو و نخود از تلفات نیتروژن کاسته شده و ضمن افزایش تثبیت نیتروژن اتمسفری، مصرف نیتروژن معدنی از اعماق خاک با کارایی بیشتری صورت می‌گیرد. نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) نتیجه گرفتند که غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز ذرت در کشت مخلوط با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص آن بود.

کودهای زیستی متشکل از ریزجانداران مفیدی هستند که هر یک به‌منظور خاصی مانند تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم، آهن، جذب عناصر ماکرو و میکرو و غیره تولید می‌شوند. این ریزجانداران در اطراف ریشه مستقر شده و با افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش جذب عناصر توسط گیاه را بهبود می‌بخشند (Wang et al., 2015). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار یکی از انواع کودهای زیستی بوده و جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم‌نظام‌های طبیعی می‌باشند (Kizhaeral et al., 2011). قارچ‌های میکوریزا به‌روش‌های مستقیم مانند بهبود تغذیه از طریق جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش جذب آب و غیرمستقیم مانند کاهش تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی) و غیرزیستی (شوری، خشکی و عناصر سنگین) موجب بهبود رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Varma et al., 2018; Rezvani Moghaddam et al., 2017). تخمین زده می‌شود که در گیاهان هم‌زیست با میکوریزا، حدود ۸۰ درصد جذب فسفر گیاه توسط میکوریزا صورت می‌گیرد. علاوه‌بر جذب فسفر، این قارچ سبب بهبود جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس، آهن و روی می‌شود (Verzeaux et al., 2017). بهبود انتقال عناصر غذایی به گیاه از طریق افزایش سطح جذب ریشه توسط گسترش میسلیوم قارچ به فضای خارج ریشه خاک صورت می‌گیرد که به افزایش میزان جذب فسفر، نیتروژن، گوگرد، پتاسیم، کلسیم، روی، آهن، مس و انتقال آب منجر خواهد شد (Varma et al., 2018). همچنین والنتین و همکاران (Valentine et al., 2006) افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان میکوریزایی را به افزایش وزن مخصوص برگ، افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و افزایش میزان انتقال الکترون نسبت دادند.

هم‌زیستی میکوریزا با شبدر قرمز (*Trifolium repens* L.) تا ۶۲ درصد سبب افزایش جذب مس شد (Kizhaeral et al., 2011).

با توجه به اثرات نامطلوب مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی که سبب به‌هم خوردن تعادل عناصر غذایی و کاهش کیفیت محصولات کشاورزی گردیده است، یافتن روشی که بتواند از مصرف این کودها بکاهد، ضروری به‌نظر می‌رسد. بر همین اساس پژوهشی با هدف بررسی عملکرد علوفه و جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط جو و خلر با کاربرد قارچ میکوریزا آرباسکولار در شرایط آب‌وهوایی مراغه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با ارتفاع از سطح دریا ۱۴۷۷ متر، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی اجرا شد. به‌طور هم‌زمان جو رقم والفجر و خلر (*Lathyrus sativus* L.) توده بومی، با روش درهم و نسبت‌های مختلف بذر دو گیاه (به‌صورت جایگزینی) در اول اردیبهشت‌ماه کشت شدند. بذرهای جو و خلر به‌ترتیب از ایستگاه تحقیقات کشاورزی میاندوآب و مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه تهیه شدند. تراکم جو و خلر به‌ترتیب ۳۰۰ و ۲۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک (جدول ۱) تهیه و نسبت به اندازه‌گیری عناصر غذایی ماکرو و میکرو در آن اقدام شد. درصد نیتروژن با روش کجلدال، فسفر قابل جذب با روش اولسن، پتاسیم قابل جذب با روش فلیم فتومتری، کربن آلی به‌روش والکلی بلک (Nelson & Sommers, 1982)، تعیین pH در گل اشباع با دستگاه pH متر (Westerm, 1990) و غلظت عناصر آهن، روی و منگنز در خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA-6300 اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1- Soil analysis results in the experimental site

بافت Texture	سیلت Silt	شن Sand	رس Clay	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Availabl K ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg.kg^{-1}$)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی Ze ($mg.kg^{-1}$)
		(%)									
Clay-Silty	50	10	40	0.81	8.11	0.08	7.56	342	7.76	7.46	1.20

براساس نتایج تجزیه خاک، توصیه کودی شامل ۲۱ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از کود سوپرفسفات تریپل با ۴۶ درصد اکسید فسفر، هشت کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن بود. کود سوپرفسفات تریپل در پاییز هم‌زمان با شخم عمیق به زمین داده شد و کود اوره هم در زمان کشت به‌عنوان استارتر مصرف شد. فاکتور اول شامل الگوهای مختلف کشت (کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو، نسبت ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو) و فاکتور دوم شامل تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *Glomus intraradices* بودند. گونه قارچ مورد استفاده در این تحقیق از کلینیک گیاهپزشکی ارگانیک اسدآباد همدان تهیه شد. در هر کرت ۱۰ خط به فواصل ۲۰ سانتی متر و با طول چهار متر کشت شدند. برای تلقیح جو و خلر با قارچ میکوریزا قبل از کاشت از خاکی که حاوی هیف‌های قارچ میکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک) بود، در داخل خطوط کاشت و زیر بذر به‌مقدار ۸۰ گرم در هر ردیف کاشت قرار داده شد. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام گرفت. آبیاری‌های بعدی برحسب شرایط منطقه و هر ۱۰ روز یک‌بار به‌طریق قطره‌ای صورت گرفت. جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، بین کرت‌ها در هر بلوک و بین بلوک‌های آزمایش به‌ترتیب فواصل ۴۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری لحاظ شد. همچنین با توجه به اینکه ۱۰ ردیف کشت در هر کرت وجود داشت، نمونه‌برداری و برداشت نهایی از پنج خط وسط صورت پذیرفت. علاوه‌براین، با انجام تصادفی کردن تیمارها در هر بلوک تا حد زیادی از اختلاط اثر تیمارها جلوگیری به عمل آمد. برای اطمینان از کلونیزه شدن قارچ، به‌طور تصادفی در تیمارهای حاوی قارچ، ریشه‌های گیاهان را خارج و به آهستگی تکان داده تا اینکه ریشه‌ها کاملاً عاری از خاک شدند. سپس جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه (ریشه‌ای مویین) در محیط آزمایشگاه با استفاده از روش فیلیپس و هایمن

(Phillips & Hayman, 1970) رنگ‌آمیزی ریشه‌ای صورت گرفت. جو و خلر به‌ترتیب در مراحل خمیری و اواسط گل‌دهی در دهم تیرماه در سطحی معادل سه مترمربع برداشت و بعد از تفکیک تا ثابت شدن وزن، در سایه نگهداری و خشک شدند. سپس عملکرد علوفه خشک هر کدام از گیاهان و عملکرد کل علوفه تولیدی محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری عناصر آهن، منگنز و روی از دستگاه جذب اتمی (PG – 990) ساخت کمپانی pg instrument انگلیس به‌روش لایندسی و نورول (Lindsay & Norvell, 1978) استفاده شد. میزان پتاسیم به‌روش نورسنجی شعله با استفاده از دستگاه فلایم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (Walter & Lanyon, 1982). همچنین اندازه‌گیری میزان کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون صورت گرفت. میزان نیتروژن و فسفر هم به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982) و اسپکتروفتومتر (Olsen & Sommers, 1982) اندازه‌گیری شدند. در نهایت، بعد از اطمینان از نرمال بودن داده ها، تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه خشک جو

عملکرد علوفه خشک جو تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با میکوریزا، الگوهای مختلف کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی با الگوهای کشت واقع شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که هر چه سهم جو در الگوهای کشت افزایش یابد، عملکرد علوفه خشک آن نیز افزایش پیدا می‌کند. به‌طوری‌که، بیشترین عملکرد علوفه خشک آن به تیمار کشت خالص جو تلقیح شده (۴۸۳/۳ گرم در مترمربع) مربوط بود و بعد از آن الگوی تلقیح شده ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو (۳۶۱/۳ گرم در مترمربع) و کشت خالص جو تلقیح نشده (۳۲۷/۷ گرم در مترمربع) قرار داشتند. کمترین میزان علوفه خشک جو نیز در الگوی کشت تلقیح نشده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۱۴۷/۳ گرم بر مترمربع) بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی تلقیح نشده ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو (۲۰۸/۴ گرم بر مترمربع) مشاهده شد (شکل ۱). یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاهانی که با میکوریزا تلقیح می‌شوند، این است که این قارچ‌ها موجب افزایش فتوسنتز در گیاه میزبان می‌شوند. دلیل این امر را به افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل سیستم فتوسنتزی و افزایش راندمان فسفر فتوسنتزی، افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سینتتاز در گیاه میزبان نسبت داده‌اند (Estrada-Luna & Davies, 2003). در پژوهشی افزایش عملکرد علوفه ذرت را به افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام‌های گیاه و افزایش فتوسنتز گیاه که منجر به ساخته شدن مواد فتوسنتزی بیشتری می‌شود، نسبت داده شد (Boomsma & Vyn, 2008). همچنین حمزه‌یی و صادقی می‌آبادی (Hamzei & Sadeghi Meabadi, 2013) بیان کردند که قارچ میکوریزا از طریق برقراری هم‌زیستی با ریشه گیاه سورگوم، می‌تواند فسفر و آب را از خاک جذب و آن را در اختیار گیاه قرار دهد و در نتیجه، رشد گیاه بهبود یابد.

عملکرد علوفه خشک خلر

هم‌زیستی با میکوریزا، الگوهای مختلف کشت مخلوط و ترکیب تیماری آن‌ها اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه خلر داشتند (جدول ۲). بیشترین علوفه خشک خلر در الگوهای خالص خلر تلقیح شده (۶۳۷/۵ گرم در مترمربع) و تلقیح نشده (۶۲۹/۲ گرم در مترمربع) حاصل شد و بعد از آن الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۵۰۸/۴ گرم در مترمربع) قرار داشت. کمترین میزان عملکرد علوفه خلر در الگوی تلقیح نشده ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو بدون میکوریزا (۱۸۸/۹ گرم در مترمربع) مشاهده شد (شکل ۲). از آن‌جا که قارچ میکوریزا باعث تحریک ترشح هورمون‌ها و افزایش جذب فسفر گیاه می‌شود و با توجه به نقش اکسین در انگیزش ریشه‌های نابجا و نقش فسفر در بهبود ریشه‌زایی و افزایش عمق ریشه‌ها، افزایش عملکرد علوفه خشک خلر در نتیجه تلقیح قارچ میکوریزا قابل پیش‌بینی است (Druege & Franke, 2007). همچنین می‌توان بیان کرد میکوریزا از طریق بهبود گره‌زایی در نتیجه تأمین فسفر مورد نیاز باعث افزایش تثبیت نیتروژن و به تبع آن موجب افزایش رشد و نمو گیاه خلر شده است (Estrada-Luna & Davies, 2003). در تطابق با این نتایج، تانگ ژیان و همکاران (Tong-jian et al., 2010) افزایش عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.) در کشت مخلوط با برنج را به افزایش تعداد و وزن خشک گره‌های آن بر اثر تلقیح میکوریزایی نسبت دادند. به‌طوری‌که، میزان نیتروژن، فسفر و آهن در گره‌های ماش تلقیح شده با قارچ مایکوریزرا به‌ترتیب ۸۰/۱۴، ۶۹/۵۴ و ۳۶/۶۲ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت.

عملکرد کل علوفه

عملکرد کل علوفه تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با میکوریزا، الگوهای کشت مخلوط و اثر متقابل هم‌زیستی با الگوی کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۳). شکل ۳ نشان می‌دهد که تیمارها از لحاظ عملکرد کل علوفه در سه گروه قرار می‌گیرند. کشت خالص جو تلقیح نشده با تولید ۳۲۷/۶ گرم در مترمربع علوفه در گروه سوم و در پایین‌ترین رتبه واقع شد. در حالی که، هم‌زیستی جو با قارچ *گلوموس اینترارادایسز* منجر به افزایش ۴۷/۵۲ درصدی تولید علوفه در کشت خالص شد. بیشترین تولید علوفه در تیمارهای تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو، ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو،کشت خالص خلر و کشت خالص خلر بدون تلقیح مشاهده شد.

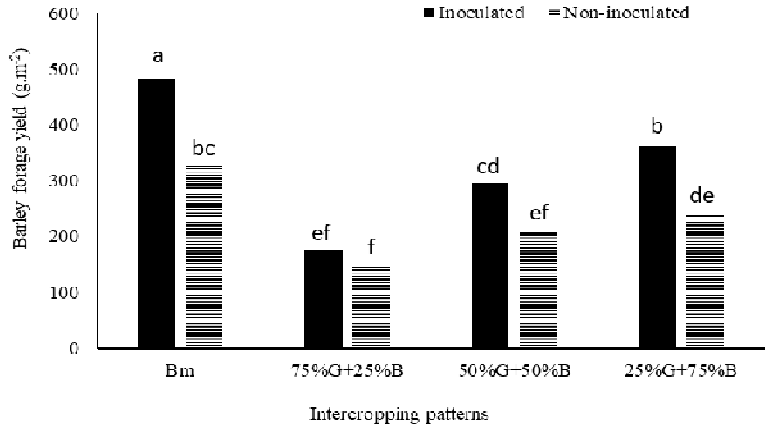
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد علوفه جو و خلر تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط و قارچ *Glomus intraradices*

Table 2- Analysis of variance (mean squares) for forage yield of barley and grass pea affected by intercropping patterns and *Glomus intraradices* fungus

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد علوفه خلر Grass pea forage yield	عملکرد علوفه جو Barley forage yield
تکرار Replication	2	1256.4 ^{ns}	1674.1 ^{ns}
هم‌زیستی با میکوریزا Symbiosis with mycorrhizae (S)	1	35006.4**	57437.9**
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (IP)	4	180021.6**	62211.6**
IP× S	4	9373.3*	4482.6*
خطا Error	14	2259.8	1308.7
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		11.91	12.94

*، ** و ^{ns}: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، غیرمعنی‌دار.

*, ** and ^{ns}: significant at 5 and 1% probability level and non significant respectively.

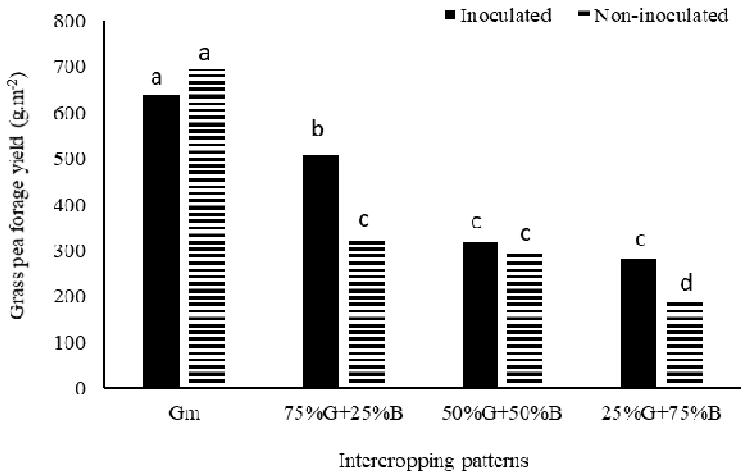


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر عملکرد علوفه جو

Fig. 1- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on forage yield of barley

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture, Gm: Grasspea monoculture.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر عملکرد علوفه خلر

Fig. 2- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on forage yield of grass pea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture, Gm: Grasspea monoculture.

کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا از طریق افـزایش سـطح جذب ریشه‌ها (نفوذ میسلیوم قارچ‌ها و افزایش سطح تماس با خـاک) موجب افزایش دسترسی گیاه به آب و مواد غـذایی شـده و از طریـق تأثیر بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه، افـزایش وزن خشک و عملکرد گیاه را باعـث مـی‌شـوند (Weisany et al., 2016). علاوه‌براین، قارچ میکوریزا جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و عناصر کم‌مصرف نظیر روی و مس را بهبود مـی‌بخشـند و باعـث تحریک رشد و کاهش اثرات تنش‌های محیطـی روی گیـاه میزبـان می‌شوند و از طریق افزایش زیست‌توده با فراهم کردن عناصر غذایی توسط هیف‌ها و یا بهبود رشد ریشه و همچنین افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی در ساقه بـه‌دلیـل افـزایش سـطح بـرگ و در نتیجـه افزایش ظرفیت فتوسنتزی، مـی‌تواننـد بـا انتقـال مجـدد ایـن مـواد فتوسـنتزی از منبـع بـه مخـزن، عملکـرد گیـاه را بهبـود بخشـند (Boomsma & Vyn, 2008). حمـزه‌ئـی و صـادقی‌مـی‌آبـادی (Hamzei & Sadeghi Meabadi, 2013) با تلقیح سـورگوم بـا دو گونه قارچ موسه و اینترارادیسز عنوان کردند که بیشترین وزن خشک (۱۷۶۲ گرم بر مترمربع) به تیمار تلقیح شده با قارچ گونه موسه تعلق داشت. همچنین آنان بیان کردند که گونـه‌هـای قـارچ میکـوریزا در مقایسه با تیمار بدون تلقیح وزن خشک کل را افزایش دادند، ولی بین گونه موسه و اینترارادیسز از نظر وزن خشک کل تفاوتی وجود نداشت. آنان بهبود عملکرد علوفه سورگوم را به افزایش سرعت فتوسنتزی در گیاهان میکوریزایی نسبت دادند. افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهـان میکوریزایی به افزایش وزن مخصوص بـرگ، فعالیـت بیشـتر آنـزیم روبیسکو و میزان انتقال الکترون نسبت داده می‌شود (Lehmann et al., 2014). علاوه‌براین، عملکرد در کشت مخلوط به‌دلیـل اسـتفاده مؤثرتر از نور، اثرات آللوپاتیک بر علف‌های هرز و انتقـال مسـتقیم و غیرمستقیم نیتروژن تثبیت‌شده توسـط گونـه لگـوم بـه گیـاه همـراه افزایش می‌یابد (Stoltz & Nadeau, 2014).

نیتروژن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴) برای غلظـت نیتـروژن نشان داد که اثر تلقیح و الگوهای کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصـد معنـی‌دار بـود. بیشترین محتوای نیتروژن به کشت خالص خلـر تلقـیح شـده (۳۸/۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بدون تفاوت معنی‌دار با الگـوی تلقـیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۳۵/۶۳ میلی‌گرم بـر گـرم مـاده خشک) تعلق داشت. کم‌ترین میزان نیتروژن هم به کشت خالص جو تلقیح نشده (۱۰/۴۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) مربوط بود (شـکل ۴).

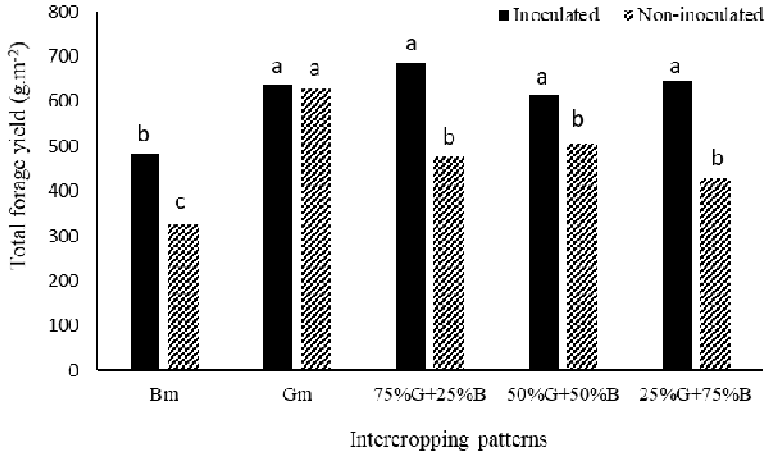
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد کل علوفه تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices*

Table 3- Analysis of variance (mean squares) for total forage yield affected by intercropping patterns and symbiose with *Glomus intraradices* fungus

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد کل علوفه خشک خلر Total forage yield
تکرار Replication	2	2131.4 ^{ns}
هم‌زیستی با میکوریزا Symbiosis with mycorrhizae (S)	1	145645.1**
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (IP)	4	43056.3**
IP× S	4	10891.0
خطا Error	18	2567.2
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		9.33

** و ^{ns}: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌دار.

** and ^{ns}: significant at 1% probability levels and non significant respectively.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر عملکرد کل علوفه

Fig. 3- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on total forage yield

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture, Gm: Grasspea monoculture.

نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) با کشت مخلوط ذرت و گاودانه (*Vicia ervilia* L.) و لوبیا بیان کردند تثبیت نیتروژن جوی توسط لگوم‌ها و انتقال آن به ذرت سبب افزایش نیتروژن قابل استفاده ذرت در خاک شده و در نتیجه، غلظت نیتروژن در شاخساره ذرت در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن افزایش یافت. ژانگ و لی (Zhang & Li, 2003) نتیجه گرفتند که اثر متقابل ریشه‌های دو گیاه ذرت و لوبیا در کشت مخلوط نقش مهمی در افزایش جذب نیتروژن دارد. به‌طوری‌که ترشح فسفاتازها و کربوکسیلات‌ها از ریشه لگوم منجر به افزایش دسترسی به عناصر غذایی از جمله نیتروژن در ریزوسفر شده است. همچنین در کشت

مخلوط ذرت با بادام زمینی (*Arachis hypogea* L.) عنوان شد که تثبیت بیولوژیک نیتروژن مولکولی اتمسفر باعث تداوم جذب بهتر عناصرغذایی به‌ویژه عنصر نیتروژن در طول دوره رویش توسط ریشه گیاه زراعی ذرت می‌شود (Nabati Nasaz et al., 2016). علاوه‌براین، حضور قارچ میکوریز در کشت مخلوط میزان انتقال نیتروژن تثبیت شده به گیاه غیرلگوم را افزایش می‌دهد. نقش میکوریزا در افزایش نیتروژن گیاهان با تحریک بیان آنزیم نیترات‌رداکتاز (افزایش جذب نیتروژن به فرم نیترات یا آمونیوم توسط میسلیوم‌های خارجی قارچ با مصرف نیترات توسط آنزیم نیترات‌رداکتاز) و افزایش سطوح آنزیم دیکینازگلوکان (جهت جلوگیری از رشد پاتوژن‌های گیاهی) به‌خوبی مشخص شده است (Varma et al., 2018). همچنین افزایش غلظت نیتروژن در گیاه به افزایش فسفر جذب شده نیز نسبت داده شده است (Ebrahimian et al., 2015). به‌طوری‌که، اسمیت و رید (2008) در مطالعه تأثیر میکوریزا آربوسکولار بر جذب نیتروژن گزارش کردند که همزمان با افزایش فسفر در نتیجه تلقیح میکوریزایی گره‌زایی و تثبیت نیتروژن نیز افزایش می‌یابد. علاوه‌براین، هاوگارد نیلسن و همکاران (Hauggaard-Nielsen et al., 2003) به این نتیجه رسیدند که میزان غلظت نیتروژن در اندام هوایی جو مخلوط شده با نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) سه برابر میزان تجمع نیتروژن در کشت خالص آن بود. در کشت مخلوط گیاهان غیرلگوم با لگوم، گیاهان غیرلگوم رشد و عملکرد بهتری دارند که این امر به‌دلیل انتقال نیتروژن تثبیت شده به دو طریق مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد. در روش مستقیم نیتروژن از طریق شبکه‌های میکوریزایی مشترکی که توسط قارچ بین سیستم‌های ریشه‌ای هر دو گونه گیاهی ایجاد می‌شود، انتقال می‌یابد و یا قارچ میکوریزا با ترشح ترکیباتی آلی به داخل خاک باعث جذب نیتروژن و انتقال آن به گیاه غیرلگوم می‌شود. در روش غیرمستقیم نیز نیتروژن از طریق تجزیه بستر، ریشه‌ها و گره‌ها و یا از طریق جذب و انتقال میکوریزایی صورت می‌گیرد (Varma et al., 2018). در این آزمایش نیز مشاهده شد که در الگوهای کشت مخلوط تلقیح شده نسبت به کشت خالص جو بدون تلقیح، جذب عناصرغذایی از قبیل نیتروژن به‌میزان قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین هم‌زیستی با قارچ میکوریزا نیتروژن مورد نیاز گیاه را از منابع آلی و غیرآلی تأمین می‌کند. نیتروژن محدود شده در مواد آلی معمولاً در ترکیب پپتیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد وجود دارد. قارچ میکوریزا با ترشح پپتیداز و پروتئاز به داخل خاک باندهای نیتروژن آلی را شکسته، سپس مونومرهای نیتروژن‌دار را جذب می‌کند. علاوه‌براین، قارچ میکوریزا باعث انتقال مستقیم نیتروژن به گیاه میزبان شده، بنابراین کارایی فرم‌های مختلف نیتروژن مانند نیترات، آمونیاک و اوره در گیاهان را افزایش می‌دهد (Verzeaux et al., 2017; Rezvani Moghaddam et al., 2017).

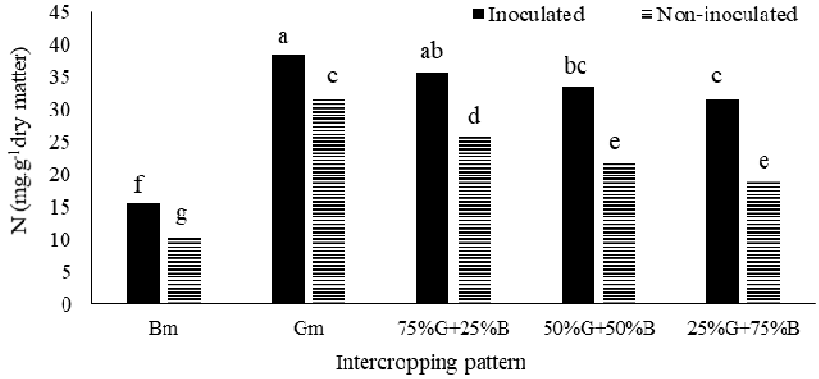
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عناصر علوفه کل تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط و قارچ *Glomus intraradices*

Table 4- Analysis of variance (mean squares) of total forage nutrient affected by different intercropping patterns and *Glomus intraradices* fungus

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS							
		فسفر P	نیتروژن N	منیزیم Mg	پتاسیم K	کلسیم Ca	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe
تکرار Replication	2	0.43**	11.21^{ns}	0.011^{ns}	3.17**	0.14^{ns}	102.61**	0.51^{ns}	1930.4*
هم‌زیستی با میکوریزا Symbiosis with mycorrhizae (S)	1	8.64**	623.81**	2.89**	54.23**	3.65**	1754.78**	239.35**	32312.4**
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (IP)	4	1.91**	415.92**	1.52**	24.61**	7.41**	2586.99**	96.47**	16790.1**
IP×S	4	0.15**	14.26*	0.08**	1.28*	0.21*	34.62**	4.49**	1852.9*
خطا Error	18	0.03	3.83	0.02	0.37	0.06	7.37	0.95	532.6
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		7.94	7.42	8.95	7.84	8.64	3.14	5.82	10.57

*، ** و ^{ns}: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، غیرمعنی‌دار.

*, ** and ^{ns}: significant at 5 and 1% probability levels and non significant, respectively.



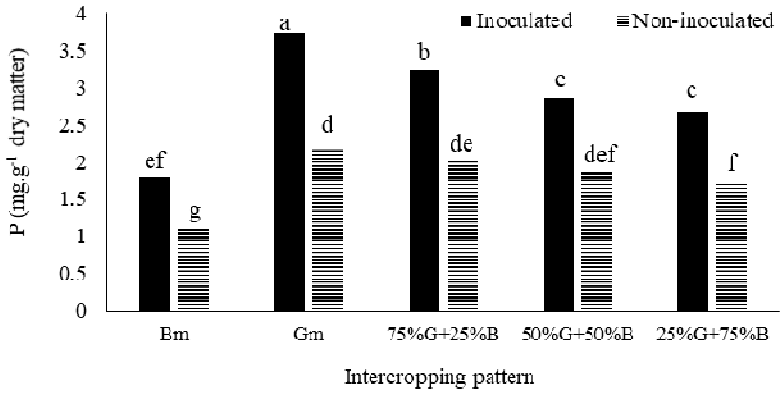
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای نیتروژن جو و خلر
Fig. 4- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiose with *Glomus intraradices* fungus on nitrogen content of barley and grasspea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

فسفر

میزان فسفر علوفه حاصل از مخلوط جو و خلر تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با میکوریزا، الگوی کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی با میکوریزا و الگوی‌کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین مقدار فسفر به کشت خالص خلر تلقیح شده (۳/۷۳۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو تلقیح شده (۳/۲۳۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) تعلق داشت. کم‌ترین مقدار فسفر هم به کشت خالص جو تلقیح نشده (۱/۱ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) مربوط بود (شکل ۵). در بسیاری از تحقیقات بیان شده که تلقیح با مایکوریزا سبب بهبود جذب فسفر در گیاهان زراعی می‌شود (Verzeaux et al., 2017). حضور گسترده میسلیوم‌های قارچ در خاک سبب می‌شود که گیاه زراعی به مناطق بیشتری از خاک دسترسی داشته و منطقه تخلیه فسفر که عنصری کم‌تحرک می‌باشد، بیشتر شود. افزایش جذب فسفر را می‌توان به فعالیت آنزیم‌های فسفاتازی قارچ‌های میکوریزا به‌منظور تجزیه فسفات‌های آلی و پیروفسفات‌های غیرآلی نسبت داد (Kizhaeral et al., 2011). به‌طوری‌که، میسلیوم‌های قارچ با تولید آنزیم‌های فسفاتاز سبب تجزیه فسفات‌های آلی و با تولید عوامل اسیدی و کلات‌کننده‌ها سبب انحلال فسفات‌های معدنی می‌شوند (Subramanian et al., 2011). در حقیقت فسفاتاز همانند کلوئیدهای رسی تمایل بالایی برای یون‌های فسفات دارند (کلوئیدهای رسی در شرایط مختلف دارای بارهای منفی یا مثبت می‌باشند، اگر بنا به شرایطی به‌عنوان مثال شرایط اسیدی، رس دارای بار مثبت باشد، تمایل برای جذب یون‌های منفی فسفات دارد)، بنابراین فسفاتازها می‌توانند با کلوئیدهای رسی رقابت کنند و قادرند تا حدی یون‌های فسفات جذب سطحی شده توسط رس‌ها را آزاد کرده و وارد فاز محلول خاک کنند (Giles et al., 2017). و از آن‌جایی‌که ریشه گیاهان ترجیح می‌دهند عناصر غذایی ضروری مورد نیاز خود را از فاز محلول خاک تأمین کنند، بنابراین آزاد شدن فسفر به فاز محلول خاک، قابلیت دسترسی فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهد (Wang et al., 2015). علاوه‌براین، قارچ میکوریزا به‌سبب توانایی در حل فسفر نامحلول که بر ریشه گیاهان تأثیرگذار است و تحریک رشد گیاه به‌وسیله تولید سیدروفرها و هورمون‌های رشد گیاهی می‌تواند عامل مؤثری در افزایش طول ریشه به حساب آید. به‌طورکلی، قارچ میکوریزا رشد ریشه را افزایش و به دنبال آن یک نظام گسترده ریشه برای جذب فسفر و سایر عناصر ایجاد می‌کند (Rezvani moghaddam et al., 2017; Kizhaeral et al., 2011). همچنین ژانگ و لی (Zhang & Li, 2003) نتیجه گرفتند اثر متقابل ریشه‌های دو گیاه ذرت و لوبیا در کشت مخلوط نقش مهمی در افزایش جذب فسفر دارند. آن‌ها افزایش جذب فسفر توسط ذرت در کشت مخلوط با لوبیا را به افزایش فراهمی فسفر توسط ریشه لوبیا نسبت دادند که ممکن است به‌وسیله ریشه ذرت جذب شود. در

مخلوط باقلا و ذرت مشاهده شد که باقلا از طریق تثبیت نیتروژن می‌تواند H^+ به محیط ترواش کند. اسیدی شدن ریزوسفر حلالیت فسفر را در خاک با pH بالا افزایش و به موجب آن جذب فسفر افزایش می‌یابد (Li et al., 2005).



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای فسفر جو و خلر

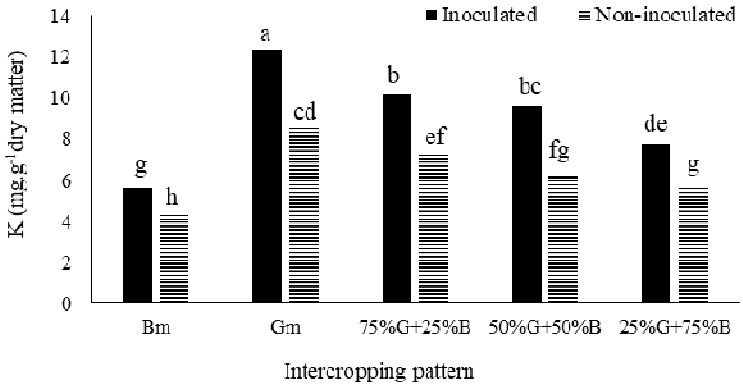
Fig. 5- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on P content of barley and grasspea

حروف مشترک در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

پتاسیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که غلظت پتاسیم علوفه جو و خلر تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با قارچ مایکوریز، الگوی کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی و الگوی کشت واقع شد. مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۶) نشان داد که بیشترین پتاسیم علوفه در کشت خالص خلر تلقیح شده (۱۲/۳۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) مشاهده شد. پس از آن الگوهای کشت تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۱۰/۱۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) و ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو (۹/۵۶۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) قرار داشتند. کم‌ترین محتوای پتاسیم نیز در کشت خالص جو تلقیح نشده (۴/۳۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) حاصل شد. پس از آن الگوی کشت تلقیح نشده ۷۵ درصد جو+ ۲۵ درصد خلر (۵/۳۷۸ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) قرار داشت. همچنین مشاهده شد که غلظت پتاسیم علوفه در الگوهای کشت مخلوط ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو با کاربرد قارچ میکوریزا به‌ترتیب ۱۳۲/۴۸، ۱۱۸/۳۲ و ۷۵/۸۶ درصد نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده افزایش پیدا کرده است. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) گزارش کردند با تغییر نظام کشت از کشت خالص ذرت به کشت مخلوط آن با گاودانه و لوبیا، غلظت پتاسیم شاخساره ذرت به‌ترتیب ۱۱/۷ و ۹/۶ درصد افزایش یافت. در کشت مخلوط ترشحات ریشه دو گیاه با هم مخلوط شده و فراهمی عناصر در رایزوسفر افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش غلظت پتاسیم شاخساره ذرت در کشت مخلوط ذرت با لوبیا و گاودانه نسبت به کشت خالص آن همین بهبود ویژگی‌های شیمیایی و زیستی رایزوسفر در کشت مخلوط باشد (Najafi & Mostafa, 2015). شارداوامان و برنارد فلینو (Sharda Waman & Bernard Felinov, 2009) با تلقیح به‌صورت جداگانه و ترکیبی قارچ‌های *G. mosseae* و *G. intaradices* نشان دادند که استفاده از قارچ‌های میکوریز سبب افزایش پتاسیم در برگ گیاهان شد و بیشترین افزایش مربوط به *G.mosseae* بود. اسید تارتاریک تولید شده به‌عنوان مهم‌ترین عامل آزادسازی پتاسیم تثبیت شده محسوب می‌شود (Meena et al., 2014). به‌طور کلی، حلالیت پتاسیم را می‌توان با کاهش pH، افزایش کلاته کردن پتاسیم و اسیدی کردن محیط اطراف ریزجانداران افزایش داد (Meena et al., 2014).



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای پتاسیم جو و خلر

Fig. 6- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiose with *Glomus intraradices* fungus on K content of barley and grasspea

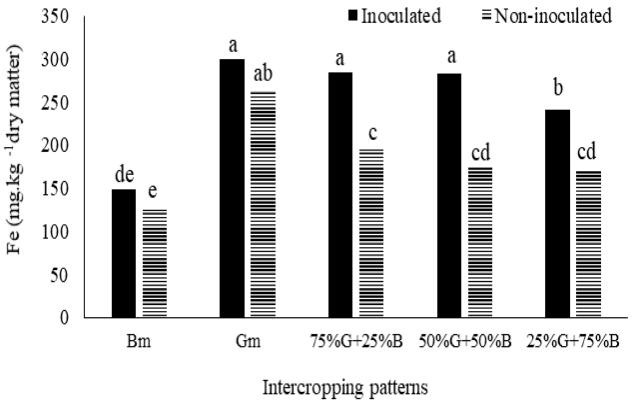
حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

آهن

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر تلقیح با میکوریزا و الگوهای مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد و ترکیب تیماری آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بالاترین میزان آهن به الگوهای تلقیح شده کشت خالص خلر (۲۹۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک)، ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۲۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و الگوی ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو (۲۸۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) تعلق داشت. کم‌ترین میزان آهن هم به‌ترتیب در الگوهای کشت خالص جو تلقیح نشده (۱۲۵/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و جو خالص تلقیح شده (۱۸۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) به‌دست آمد (شکل ۷). افزایش غلظت آهن در گیاهان تلقیح شده به آزاد شدن سیدروفورهایی از گروه هیدروکسامات‌ها توسط قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار نسبت داده می‌شود. در نتیجه سیدروفورها، تشکیل کمپلکس آهن سه ظرفیتی محلول تسهیل شده که سپس توسط آنزیم فریک ردوکتاز به آهن دو ظرفیتی احیا شده که قابل جذب توسط گیاهان می‌باشد (Nyoki & Ndakidemi, 2018). علاوه¬براین، نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) با تغییر نظام کشت از تک‌کشتی ذرت به کشت مخلوط آن با گاودانه و لوبیا عنوان کردند غلظت آهن شاخساره ذرت به‌ترتیب ۶/۲ و ۴/۳ درصد افزایش یافت. آینال و همکاران (Inal et al., 2007) نیز نشان دادند در کشت مخلوط ذرت با بادام زمینی، محیط ریزوسفر از طریق آزادسازی فیتوسیدروفور از ریشه ذرت و افزایش فعالیت آنزیم فریک ردوکتاز ریشه بادام‌زمینی اصلاح می‌شود و سبب افزایش فراهمی آهن در خاک می‌شود. افزایش جذب آهن در کشت مخلوط به ترشح اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی، فیتوسیدروفورها مانند موجینئیک اسید، ترکیبات احیاکننده آهن و ترکیبات کی‌لیت کننده توسط ریشه گیاهان نیز نسبت داده شده است (Varma et al., 2018). همچنین گیو و همکاران (Guo et al., 2014) افزایش دسترسی به آهن در کشت مخلوط بادام زمینی و ذرت نسبت به کشت خالص را به کاهش pH ریزوسفری نسبت دادند. زیرا گزارش شده با کاهش اسیدیته از هشت به هفت قابلیت دسترسی آهن ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد (Marchner, 1995). به‌طور کلی، آهن محلول خاک در pHهای طبیعی خاک‌های آهکی کمتر از نیاز آهن گیاه بوده و گیاهان برای جذب آهن مورد نیاز خود در چنین شرایطی دو راهبرد را اعمال می‌کنند. راهبرد نوع اول که راهبرد غالب گیاهان دولپه‌ای و تک‌لپه‌ای‌های غیرگندمیان می‌باشد، شامل احیای Fe (III) به Fe (II)، ترشح پروتون (H^+)، ترشح ترکیبات آلی مانند مواد فنولی و اسیدهای آلی و توسعه سیستم ریشه‌ای می‌باشد. در این راهبرد، گیاه ممکن است آهن را به‌صورت Fe^{+3} جذب کرده و در داخل ریشه‌ها به Fe^{+2} احیا کند (Chen et al., 2004). راهبرد دوم در گیاهان خانواده گندمیان غالب بوده و در این راهبرد سیدروفورهای گیاهی که شامل اسیدهای آمینه غیرپروتئینی مانند موژینئیکاسیدها می‌باشند از ریشه به محلول خاک ترشح می‌شود و با تشکیل کمپلکس آهن III-

فیتوسیدروفور قابلیت دسترسی آهن بهبود می‌یابد (Yousfi et al., 2009). بنابراین، بخش مهمی از توانایی گیاهان مختلف برای جذب آهن خاک به فعالیت ریشه و خصوصیات ریزوسفر گیاهان مربوط می‌شود (Azimzadeh et al., 2015). منچ و مارتین (Mench & Martin, 1991) تفاوت در ترکیب ترشحات ریشه گیاهان مختلف را یکی از دلایل جذب مقادیر متفاوت فلزات توسط گونه‌های گیاهی مختلف گزارش کردند. از این رو، تأثیر فعالیت ریشه در رفتار آهن خاک به نوع و مقدار ترشحات ریشه گیاه بستگی دارد. لذا با کشت دو گیاه مختلف در کنار هم، ریزوسفر مشترک آن‌ها با داشتن خصوصیات متفاوت، می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر رفتار آهن خاک داشته باشد (Azimzadeh et al., 2015).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای آهن جو و خلر

Fig. 7- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Fe content of barley and grasspea

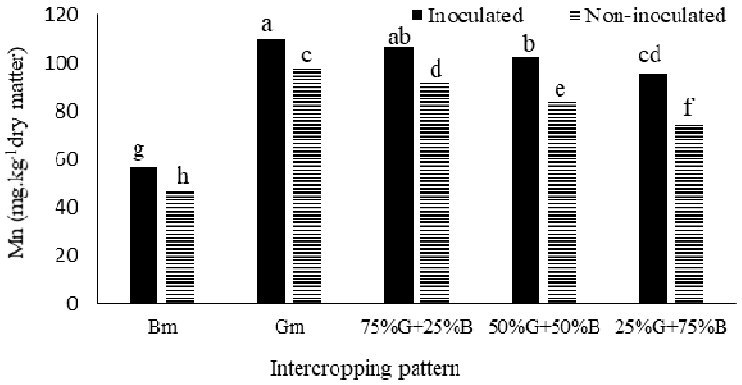
حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture, Gm: Grasspea monoculture.

منگنز

غلظت منگنز علوفه تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با قارچ میکوریزا، الگوهای مختلف کشت مخلوط و همچنین ترکیب تیماری آن‌ها قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین غلظت منگنز به کشت خالص خلر تلقیح شده (۱۰۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۱۰۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) تعلق داشت. کمترین میزان منگنز هم در کشت خالص جو تلقیح نشده (۴۶/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد (شکل ۸). مشاهده می‌شود که الگوهای مختلف کشت مخلوط باعث افزایش میزان منگنز علوفه نسبت به کشت خالص جو شده است، به‌طوری‌که میزان منگنز در الگوهای کشت مخلوط ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو با کاربرد قارچ میکوریزا به‌ترتیب ۱۲۸/۲۷، ۱۱۹/۶۹، ۱۰۵/۲۵ درصد نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده افزایش یافته است. آینال و همکاران (Inal et al., 2007) افزایش جذب منگنز را به اصلاح محیط ریزوسفر در نتیجه ترشحات ریشه‌های ذرت و بادام‌زمینی نسبت دادند. قاسمی فسایی و منصورپور (Ghasemi Fasaei & Mansoorpoor, 2015) عنوان کردند در کشت مخلوط، لگوم‌ها مس بیشتری نسبت به غلات جذب می‌کنند، در حالی‌که منگنز در شاخساره غلات بیشتر بود، آن‌ها علت این امر را به نوع گیاه زراعی، رقابت لگوم‌ها، نوع عناصر و میزان عناصر در خاک نسبت دادند. علاوه‌براین، لگوم‌ها موجب اسیدی شدن خاک و افزایش حلالیت عناصر در محلول خاک شده و به همین دلیل باعث افزایش جذب عناصر غذایی می‌شوند (Tosti & Guiducci, 2010). همچنین در مطالعه دیگری بیشترین جذب منگنز در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد ارزن (*Panucum miliaceum* L.)+ ۲۵ درصد خلر (*Lathyru sativus* L.) مشاهده شد (Pakgohar et al., 2013). تلقیح با قارچ میکوریزا باعث تغییرات وسیع شاخص‌های

مورفولوژیکی ریشه به‌ویژه افزایش ریشه‌های جانبی می‌شود. در نتیجه، با افزایش رشد ریشه مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Inal et al., 2007). نقش مفید میکوریزاها به‌ویژه در مورد جذب عناصر ریزمغذی، مربوط به ناحیه‌ی تخلیه عناصر در اطراف ریشه می‌باشد و وسعت این ناحیه بستگی به حلالیت و قابل حرکت بودن عناصر در خاک دارد که قارچ‌های میکوریزا با گسترش شبکه ریسه‌ای خود این محیط را افزایش می‌دهند (Varma et al., 2018).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط جو- خلر و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای منگنز جو و خلر

Fig. 8- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Mn content of barley and grasspea

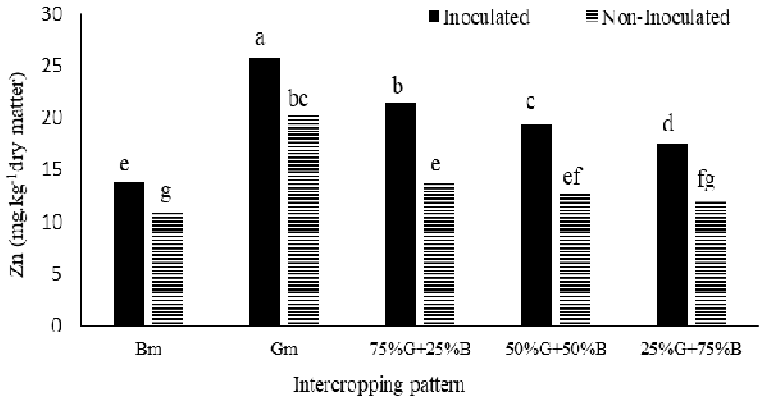
حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

روی

تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که غلظت روی علوفه تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با قارچ میکوریزا، الگوهای کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی با میکوریزا و الگوهای کشت قرار گرفت. بیشترین محتوای روی به الگوی تلقیح شده خالص خلر (۲۵/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مربوط بود. بعد از آن تیمار تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۲۱/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) قرار داشت. کم‌ترین محتوای روی نیز در الگوهای تلقیح نشده کشت خالص جو (۱۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو (۱۱/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد (شکل ۹). هم‌زیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یکی از مکانیسم‌هایی است که غالباً به جذب بیشتر و بهتر عناصر غذایی از جمله روی در خاک کمک کرده و نیز در برخی موارد امکان استفاده از منابع نامحلول روی در خاک را میسر می‌سازد (Marschner, 1995). جذب بیشتر روی در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا را به فعالیت بالای آنزیم‌های کربنیک انهیدراتاز و سوپراکسید دیسموتاز نسبت دادند (Subramanian et al., 2011). در بررسی سهم هیف‌های میکوریزی در جذب روی مشاهده شده است که هر چه هیف‌ها در اطراف ریشه گسترش بیشتری داشته باشند، مقدار جذب روی نیز بیشتر خواهد شد (Valentine et al., 2006). علاوه‌براین، آزمایش‌ها نشان می‌دهند که واکنش‌های عمده‌ای میان فسفر و روی در داخل گیاه انجام نمی‌گیرد، بلکه در خاک رخ می‌دهد که در آن، فراهمی روی و میزان انتشار آن در اثر مقدار زیاد فسفر کاهش می‌یابد. این کاهش در میزان روی به‌علت افزایش در میزان جذب سطحی آن بر ترکیباتی مانند اکسیدهای آهن رخ می‌دهد و نه به‌علت رسوب به‌صورت فسفات‌های روی، که منابع خوبی برای رشد گیاه هستند (Bukvić1 et al., 2003). کنش میان روی و فسفر در خاک به‌علت برقراری هم‌زیستی ریشه‌ها با قارچ‌های میکوریزی پیچیده است. مهم‌ترین شکل روی در تغذیه گیاه شکل کربناته آن است، پس شاید هر عاملی که بتواند روی اشکال روی تأثیر بگذارد، می‌تواند بر جذب آن تأثیرگذار باشد (Soleimanpoor et al., 2017). همچنین مسیلیوم‌های خارجی قارچ‌های میکوریز

آربوسکولار عمدتاً حاوی هیف و اسپورهای قارچی هستند که سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌گردند. همچنین هیف‌های خارجی یک سطح جذب بالایی را برای عناصر غذایی از جمله روی ایجاد می‌کند (Marschner, 1995).

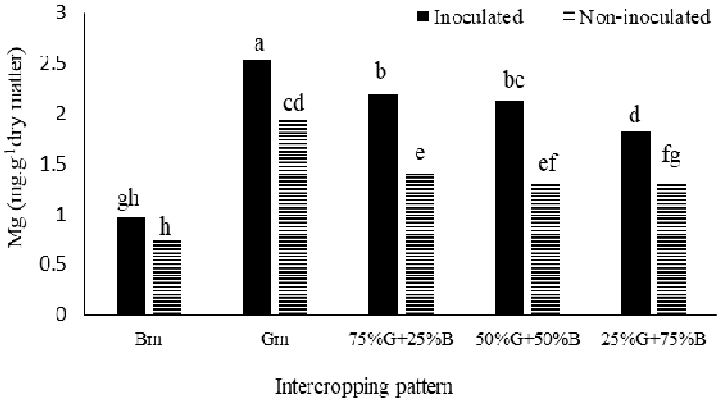


شکل ۹- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر میزان روی علوفه جو و خلر
Fig. 9- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Zn content of barley and grasspea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

منیزیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با میکوریزا، الگوهای مختلف کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی با میکوریزا و الگوهای کشت بر غلظت منیزیم علوفه حاصل از کشت‌های خالص و مخلوط بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۰) نشان داد که بالاترین محتوای منیزیم علوفه به الگوی تلقیح شده کشت خالص خلر (۲/۵۲۴ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) تعلق داشت. بعد از آن الگوهای تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۲/۱۹۱ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو (۲/۱۲۰ میلی‌گرم برگرم ماده خشک) قرار داشتند. کم‌ترین محتوای منیزیم در کشت خالص جو تلقیح نشده (۰/۷۴۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) مشاهده شد. به‌طور کلی، کشت مخلوط منیزیم موجود در علوفه حاصل را افزایش داده است، به‌طوری‌که در الگوهای کشت مخلوط ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو با کاربرد قارچ میکوریزا به‌ترتیب ۱۹۲/۵۲، ۱۸۳ و ۱۴۳/۱۲ درصد نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده افزایش یافت. ترشحات ریشه گیاه شامل مخلوط پیچیده‌ای از اسیدهای آلی، دی‌اکسیدکربن، پروتون، آنزیم‌های مختلف،کی‌لیت‌کننده‌ها، هیدروکسیل، بی‌کربنات، اسیدهای آمینه، فیتوسدروفورها، ویتامین‌ها، پورین‌ها، نوکلئوزیدها و سلول‌های ریزان ریشه می‌باشد. این ترشحات بر فراهمی و جذب عناصر توسط ریشه گیاه و در نتیجه، بر تغذیه و رشد آن اثر مستقیم و غیرمستقیم دارند. ترکیب این ترشحات در گیاهان مختلف متفاوت بوده و یکی از دلایل متفاوت بودن کارایی جذب عناصر در گیاهان مختلف است (Marschner, 1995). قارچ‌های میکوریزا با بهبود شرایط تغذیه‌ای و همچنین تولید ترکیبات محرک رشد گیاه موجب بهبود و تسریع در مراحل مختلف رشدی گیاهان می‌شوند و علاوه‌بر تعدیل اثرات نامطلوب تنش، به‌میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی گیاه را افزایش می‌دهند (Varma et al., 2018). در رابطه با منیزیم نیز می‌توان اظهار نمود که افزایش جذب این عناصر احتمالاً ناشی از توسعه سیستم ریشه و متعاقب آن جذب بهتر این عنصر می‌باشد. علت افزایش جذب عناصر کم‌مصرف را به پتانسیل ریدکتاز پایین‌تر در ریزوسفر، افزایش ترشحات کلات کننده و کاهش بیشتر pH در ریزوسفر گیاهان هم‌زیست با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده می‌دانند (Inal et al., 2007).



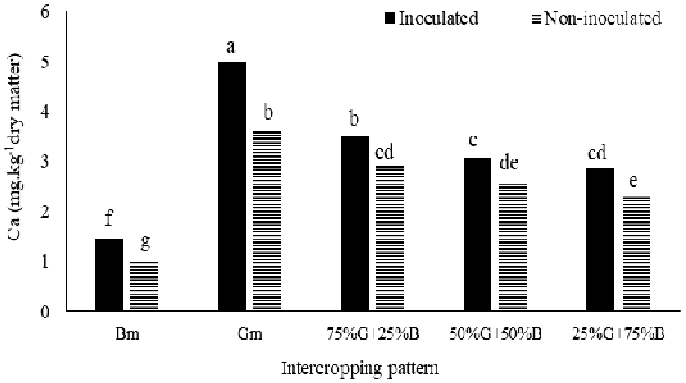
شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای منیزیم جو و خلر
Fig. 10- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Mg content of barley and grasspea

حروف مشترک در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

کلسیم

غلظت کلسیم علوفه تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با قارچ میکوریزا، الگوهای کشت مخلوط و اثر متقابل هم‌زیستی با میکوریزا و الگوهای کشت مخلوط واقع شد (جدول ۴). بیشترین و کمترین محتوای کلسیم به‌ترتیب در الگوهای کشت خالص خلر تلقیح شده با میکوریزا (۴/۹۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و کشت خالص جو تلقیح نشده (۱/۰۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد (شکل ۱۱). الگوهای کشت تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو و ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو در رتبه وسط قرار گرفتند. قارچ‌های میکوریزا قادرند با استفاده از گسترش ریسه‌های خارجی و تغییر مورفولوژی ریشه گیاهان، سطح جذب ریشه و انتقال مواد غذایی به ریشه را افزایش دهند (Varma et al., 2018). افزایش جذب مواد غذایی بر اثر تلقیح را می‌توان به افزایش تعداد، طول، ضخامت ریشه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای ریشه گیاهان تلقیح شده نسبت داد (Mahanta et al., 2014). نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) عنوان کردند غلظت کلسیم شاخساره ذرت در کشت مخلوط ذرت با لوبیا و گاودانه تفاوت معنی‌داری با کشت خالص آن نداشت. آن‌ها بیان کردند با توجه به آهکی و قلیایی بودن خاک، به نظر می‌رسد که این عدم تأثیر ناشی از زیادی غلظت کلسیم در خاک است، به‌طوری که نوع کشت نتوانسته است اثر معنی‌داری بر غلظت آن داشته باشد. طبق نتایج مطالعات متعدد، از مهم‌ترین مزایای تلقیح بذر گیاهان با قارچ می‌توان به افزایش فراهمی عناصر غذایی و آب در گیاه، افزایش تحمل به خشکی، افزایش شاخص سطح برگ افزایش کارایی مصرف فسفر و کلسیم و سایر عناصر، افزایش درصد هم‌زیستی، افزایش عملکرد ماده خشک، افزایش میزان کلروفیل و افزایش فتوسنتز، ارتفاع و قطر ساقه اشاره کرد (Varma et al., 2018). معمولاً عناصر غذایی در خاک توزیع یکنواختی ندارند و ممکن است قابلیت دسترسی عناصر غذایی در ناحیه ریشه گیاه متفاوت باشد که قارچ‌های میکوریزا ممکن است به گیاه میزبان خود در بهره‌برداری از توزیع غیریکنواخت منابع غذایی هم از طریق بهره‌برداری از تکه‌های غنی از عناصر غذایی، یا از طریق جبران کاهش تکثیر ریشه و همچنین ظرفیت جذب عناصر غذایی خارج از تکه‌های تخلیه شده، کمک کنند. علاوه‌براین، لگوم‌ها موجب اسیدی کردن خاک و افزایش حلالیت عناصر در محلول خاک می‌شوند (Tosti & Guiducci, 2010) و به همین دلیل باعث افزایش جذب عناصر غذایی از جمله کلسیم می‌شوند. همچنین در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالای ریشه لوبیا چشم بلبلی قدرت رقابت بالاتری نسبت به ذرت برای جذب عناصر دو ظرفیتی (کلسیم و منیزیم) دارد، به‌طوری‌که عناصر کلسیم و منیزیم بیشتری در کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna sinensis* L.) نسبت به کشت خالص

ذرت جذب شدند (Eskandari & Ghanbari, 2011). علاوه‌براین، کشت گیاه جو با ریشه‌های سطحی و افشان در مجاورت گیاهان علوفه‌ای که دارای ریشه عمیق هستند، باعث می‌شود که ریشه این گیاهان در طبقات مختلف خاک گسترش یابند و در مجموع، آب و مواد غذایی بیشتری از یک حجم معینی از خاک جذب گردد. که این امر احتمالاً می‌تواند در جذب عناصر غذایی از جمله کلسیم مؤثر واقع شود.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با *Glomus intraradices* بر محتوای کلسیم جو و خلر

Fig. 11- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Ca content of barley and garsspea

وجود حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

نتیجه‌گیری

هم‌زیستی گیاهان جو و خلر با قارچ میکوریزا جدایه *Glomus intraradices*، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد و جذب عناصر غذایی علوفه داشت. به‌طوری‌که، عملکرد علوفه هر یک از گیاهان جو و خلر و میزان غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، منیزیم و کلسیم در تمامی الگوهای کشت مخلوط دو گیاه با کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده بالاتر بود. همچنین بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیشترین محتوای عناصر غذایی در الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو حاصل شد، که می‌توان به‌عنوان الگوی برتر جهت دست‌یابی به علوفه با کیفیت بالاتر به کشاورزان معرفی گردد. بنابراین، کاربرد قارچ *Glomus intraradices* و کشت مخلوط نه‌تنها کیفیت علوفه جو و خلر را از نظر غلظت عناصر غذایی بهبود بخشید، بلکه می‌تواند در تولید علوفه با کمیت بالا نیز ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی مؤثر واقع شود.

References

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W., 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ettiopian highlands. European Journal of Agronomy 25(3): 202-207.

Azimzadeh, Y., Shariatmadari, H., and Shirvani, M., 2015. Effects of green manure and mixed cultur of maize (*Zea Mays* L.) and canola (*Brassica napus* L.) on bioavailability and uptake of iron in greenhouse. Iranian Journal of Soil Research 29(2): 117-129. (In Persian with English Summary)

Boomsma, C.R., and Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. Field Crops Research 108: 14–31.

Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-Total, (Eds.), Methods of Soil Analysis. Agronomy Monograph 9,

Part 2, American Society of Agronomy 595-624.

Bukvićl, G., Antunović, M., Popović, S., and Rastija, M., 2003. Effect of P and Zn fertilisation on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). Plant, Soil Environment 49(11): 150-505.

Chen, Y., Shi, J., Tin, G., Zheng, S., and Lin, Q., 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelia communis*. Plant Science 166: 1371-1377.

Druege, U., Baltruschat, H., and Franke, P., 2007. Piriformospora indica promotes adventitious root formation in cuttings. Scientia Horticulturae 112: 422-426.

Ebrahimian, E., Bybordi, A., Seyyedi, S., and MohmmadiKia, R., 2015. Effects of the nitrogen and zinc fertilizers and salinity irrigation on yield, quality traits and nutrient uptake of canola (*Brassica napus* L. cv. Okapi). Journal of Agroecology 7(1): 120-126. (In Persian with English Summary)

Eskandari, H., and Ghanbari, A., 2011. Evaluation of competition and complementarity of corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna sinensis* L.) intercropping for nutrient consumption. Journal of Agrcultural Science and Sustainable Production 21(2): 67-75. (In Persian with English Summary)

Estrada-Luna, A., and Davies, A., 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. Journal of Plant Physiology 160: 1073-1083.

Ghasemi-Fasaei, R., and Mansoorpoor, Y., 2015. Metal micronutrients relationships in crop, soil, and common weeds of two maize (*Zea mays* L.) fields. Archives of Agronomy and Soil Science 61(12): 1733-1741.

Giles, C.D., Brown, L.K., Adu, M.O., Mezeli, M.M., Sandral, G.A., Simpson, R.J., Wendler, R., Shand, C.A., Menezes-Blackburn, D., Darch, T., Stutter, M.I., Lumsdon, D.G., Zhang, H., Blackwell, M.S.A., Wearing, C., Cooper, P., Haygarth, P.M., and George, T.S., 2017. Response-based selection of barley cultivars and legume species for complementarity: root morphology and exudation in relation to nutrient source. Plant Science 255: 12-28.

Guo, X., Xiong, X., Shen, H., Qiu, W., Ji, C., Zhang, Z.H., and Zuo, Y., 2014. Dynamics in the rhizosphere and iron-uptake gene expression in peanut induced by intercropping with maize: role in improving iron nutrition in peanut. Plant Physiology and Biochemistry 76: 36-43.

Hamzei, J., and Sadeghi Meabadi, F., 2013. Effects of mycorrhizal symbiosis on physiological indices and yield of grain sorghum under different irrigation intervals. Journal of Crops Improvement 15(4): 151-163.

Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., and Jensen, E.S., 2003. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. Nutrient Cycling in Agroecosystems 65(3): 289-300.

Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., and Cakmak, I., 2007. Peanut-maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. Plant Physiology and Biochemistry 45(5): 350-356.

Kizhaeral, S.S., Virgine Tenshia, J.S., Jayalakshmi, K., and Ramachandran, V., 2011. Antioxidant enzyme activities in arbuscular mycorrhizal (*Glomus intraradices*) fungus inoculated and non–inoculated maize plants under zinc deficiency. Indian Journal of Microbiology 51(1): 37-43.

Lehmann, A., Veresoglou, S.D., Leifheit, E.F., and Rillig, M.C., 2014. Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants–A meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry 69: 123-131.

Li, W., Li, L., Sun, j., Guo, T., Zhang, F., Bao, X., Peng, A., and Tang, C., 2005. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an orthicanthrosol in Northwest China. Agriculture, Ecosystems and Environment 105: 483-491.

Lindsay, W.L., and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. Soil Science. Society of American Journal 42: 421-428.

Mahanta, D., Rai, R.K., Mishra, S.D., Raja, A., Purakayastha, T.J., and Varghese, E., 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research 166: 1-9.

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Ed. Academic Press, USA.

Meena, V.S., Maurya, B.R., and Verma, J.P., 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K^+ availability in agricultural soils? Microbiological Research 169: 337-347.

Mench, M., and Martin, E., 1991. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. Plant Soil 132(2): 187-196.

Nabati-nasaz, M., gholipouri, A., and Mostafavi Rad, M., 2015. Evaluation of forage yield and important agronomic indices of corn affected by intercropping systems with peanut and nitrogen rates. Journal of Agroecology 8(1): 70-

81. (In Persian with English Summary)

Najafi, N., and Mostafae, M., 2015. Improvement of corn plant nutrition by farmyard manure application and intercropping with bean and bitter vetch in a calcareous soil. Journal of Soil Management and Sustainable Production 5(1): 1-22. (In Persian with English Summary)

Nelson, D.W., and Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. p. 539-579. In A.L. Page (Ed.). Method of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Methods, Part 2. ASA and SSSA, Madison, WI.

Nyoki, D., and Ndakidemi, P.A., 2018. Rhizobiuminoculation reduces P and K fertilization requirement in cornsoybean intercropping. Journal Rhizosphere 5: 51-56.

Olsen, S.R., and Sommers, L.E., 1982. In: A.L. Phosphorus, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part II: Chemical and Microbiological Properties. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy 403-427.

Pakgohar, N., and Ghanbari, A., 2013. Evaluation of competition and nutrient consumption of nutrifid millet and green pea in intercropping. Journal of Crops Improvement 15(4): 137-150. (In Persian with English Summary)

Phillips, J.M., and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transaction of the British Mycological Society Journal 55: 158-161.

Rezvani moghaddam, P., Ehyaee, H.R., and Amiri, M.B., 2017. Application of spent mushroom compost and mycorrhiza on yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.) in the low input cropping system. Journal of Agroecology 9(2): 490-504. (In Persian with English Summary)

Sharda waman, M.K., and Bernard Felinov, R., 2009. Studies on effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on mineral nutrition of (*Carica papaya* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj 37: 183-186.

Soleimanpoor, L., Naderi, R., and Najafi-Ghiri, M., 2017. Evaluation of metal micronutrients uptake in cereal-legume intercropping. Journal of Crops Improvement 18(4): 1017-1031. (In Persian with English Summary)

Subramanian, K.S., Tenshia, J., Jayalakshmi, V., and Ramachandran, V., 2011. Antioxidant enzyme activities in arbuscular mycorrhizal (*Glomus intraradices*) fungus inoculated and non-inoculated maize plants under zinc deficiency. Indian Journal of Microbiology 51(1): 37-43.

Smith, S.E., and Read, D., 2008. Mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition). p. 611-636.

Stoltz, E., and Nadeau, E., 2014. Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). Field Crops Research 169: 21-29.

Tosti, G., and Guiducci, M., 2010. Durum wheat- faba bean temporary intercropping: effects on nitrogen supply and wheat quality. European Journal of Agronomy 33: 157-165.

Tong-jian, X., Qing-song, Y., Wei, R., Guo-hua, X.U., and Qi-rong, S.H. 2010. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus on nitrogen and phosphorus utilization in upland rice-mungbean intercropping system. Journal Published by Elsevier Ltd 9: 528 -545.

Valentine, A.J., Mortimer, P.E., Lintnaar, A., and Borgo, R., 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhuza grapevines. Symbiosis 3: 127-133.

Varma, A., Prasad, R., and Tuteja, N., 2018. Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration. Springer.

Verzeaux, J., Hirel, B., Dubois, F., Lea, P.J., and Tetu, T., 2017. Agricultural practices to improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: basic and agronomic aspects. Plant Science 264: 48-56.

Walter, H.R., and Lanyon, L.E., 1982. Magnesium, Calcium, Strontium and Barium. Methods of Soil Analysis. Chemical and microbiological properties, USA. 262-267.

Wang, Y.L., Almvik, M., Clarke, N., Eich-Greatorex, S., Ogaard, A.F., Krogstad, T., Lambers, H., and Clarke, J.L., 2015. Contrasting responses of root morphology and rootexuded organic acids to low phosphorus availability in three important food crops with divergent root traits. AoB PLANTS 7: 1-11.

Weisany, W., Raei, Y., Zehtab-Salmasi, S., and Sohrabi, Y., 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) in mono and intercropping system. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 26(3): 1-19.

Westerm, R.L., 1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA. Madison Wisconisn, USA.

Yousfi, S., Rabhi, M., Abdelly, C., and Gharsalli, M., 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum*

maritimum L.) and cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.). Comptes Rendus Biologies 332(6): 523-533. (In Persian with English Summary)

Zhang, F.S., and Li, L., 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient- use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 663-683

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۶۸۳-۶۶۳

Investigation of Forage Yield and Nutrients Uptake in Intercropping of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Affected by Symbiosis with *Glomus intraradices* Fungus

M. Haghaninia[1], A. Javanmard[2]* and S. Mollaaliabasiyan[3]
Submitted: 03-09-2018
Accepted: 12-02-2019

Haghaninia, M., Javanmard, A., and Mollaaliabasiyan, S., 2021 . Investigation of forage yield and nutrients uptake in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) and grass pea (*Lathyrus sativus* L.) affected by symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungus. Journal of Agroecology 12(4):663-683.

Introduction

Intercropping systems are one of the sustainable agricultural systems that defined as growing two or more plants simultaneously, lead to the use of more resources efficiently of nutrient water and land, improving plant productionIntercropping, as a new green revolution, is a sustainable strategy for the development of food production due to the lesser reliance of chemical fertilizer inputs compared with monocultures. In intercropping systems, plant nutrient uptake could improve the physical, chemical, and biological soil properties and higher nutrient mobilization in the rhizosphere. Arbuscular mycorrhizal fungi (AM) are preferred biofertilizers over other myriads of microorganisms that inhabit the interface between plant and soil. They are ubiquitous soil inhabitants and form the largest group which is predominantly associated with crops. Arbuscular mycorrhizal fungi can considerably improve plant growth, nutrients uptake, and transport, especially phosphorus, water status, and chlorophyll content. Previously studies demonstrated that higher productivity with AM fungi's application was attributed to higher nutrients availability such as P, K, Ca, Mg, etc. Thus, an experiment was conducted to evaluate the effects of barley's different intercropping patterns with grass pea and symbiosis with AM fungus on the forage yield and nutrients absorption, including N, P, K, Fe, Zn, Mn, Ca, and Mg.

Materials and Methods

In order to investigate the forage nutrients content and in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with grass pea (*Lathyrus sativus* L.) under application of arbuscular mycorrhizal fungi, a field experiment was performed as a factorial layout based on randomized complete block design (RCBD) with ten treatments and three replications at the faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran, during 2017. The first factor included different planting patterns (monoculture of barley, monoculture of grass pea, 75% grass pea+ 25% barley, 50% grass pea+ 50% barley, 25% grass pea+ 75% barley), and the second factor was inoculated and non-inoculated with *Glomus intraradices* fungus. All data were statistically analyzed using analysis of variance (ANOVA) using MSTAT-C statistical software. The Duncan's multiple range test was used to compare means at a 5% probability level.

Results and Discussion

This study demonstrated that the macro and micronutrient content were significantly affected by different cropping patterns with the application of AM fungi. The greatest barley forage yield belonged to inoculated

1- Ph.D Student of Agrotchnology- Crop ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
3- Assisstant. Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
* Corresponding author Email: A.javanmard@maragheh.ac.ir
Doi:10.22067/jag.v12i4.75125

barley monoculture. Furthermore, the results demonstrated that the inoculated barley forage yield in monoculture was 47.48% more than the non-inoculated. The highest grass pea forage yield was achieved in monocultures and followed by a ratio of 75% grass pea+ 25% barley symbiosis with mycorrhizae fungus. Also, the highest nutrient content was achieved in grass pea monoculture with the application of AM fungi. Between different intercropping patterns, the highest nutrients content was obtained in the 75% grass pea+ 25% barley with the application of AM fungus. The higher nutrients uptake was attributed to increasing the absorption surface and improving nutrients availability with the application of AM fungi. Also, Varma et al. (2018) reported that the application of AM fungi in intercropping systems increased the transfer of the nutrients, especially nitrogen, to component plants that resulted in higher nutrients uptake in plants. These authors also reported that the higher nitrogen content with the application of AM fungi attributed to the higher activity of nitrate reductase and dikinase glucan enzymes that resulted in higher nitrogen availability for plants.

Conclusion

According to the results of this research, intercropping treatments of barley/grass pea with Glomus intraradices considerably influenced by the absorption of nutrients and forage yield. The content of concentration nitrogen, phosphorus, potassium iron, zinc, manganese, magnesium, and calcium were highest at all intercropping patterns coincided with the application of mycorrhiza fungi than the non-inoculated monoculture of barley. Also, between different intercropping patterns, the highest nutrients content was obtained in 75% grass pea+ 25% barley pattern accompanied by application of mycorrhiza that suggested as a better pattern to achievement high-quality forage for farmers. Therefore, intercropping of barley/grass pea with the application of mycorrhizae can improve forage quality of barley and grass pea from the point of view concentration of nutrients and were influential in production forage with high quantity.

Keywords: Bio-fertilizer, Nitrogen, Planting patterns, phosphorus, Sustainable agriculture.