ارزیابی اثرات دو نوع قارچ تریکودرما و مایکوریزا بر عملکرد و صفات مورفولوژیک گیاه سویا

حبیب مهرآرا[۱]، امیرعباس موسوی*[۲]، مرتضی سام‌دلیری[۲]

۱-دانشجوی دکتری گروه کشاورزی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران
۲-استادیار گروه اگروتکنولوژی فیزیولوژی گیاهان زراعی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.
*ایمیل نویسنده مسئول: mosavi_amirabbas@yahoo.com
(تاریخ دریافت :۱٤۰۲/۹/۲٦- تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۱۲/۲۹)

چکیده

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثرات دو نوع قارچ بر عملکرد و صفات مورفولوژیک گیاه سویا می‌باشد. در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل قارچ تریکودرما و میکوریزا در چهار سطح؛ تلقیح با تریکودرما؛ تلقیح با میکوریزا؛ تلقیح دوگونه قارچ با هم و شاهد با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱٤۰۰ در مزرعه آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس انجام شد. بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی اجزاء عملکرد ۱۰ بوته از هر تیمار به صورت تصادفی انتخاب و عناصر ماکرو و میکرو همچنین درصد روغن، پروتئین گیاه براساس روش استاندارد اندازه-گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار کلروفیل a، b، تعداد شاخه، وزن خشک، سطح برگ، طول غلاف، قطر ساقه، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در ساقه، اولین غلاف تا زمین در گیاه سویا که در خاک حاوی تلقیح دوگانه قارچ رشد نموده‌اند نسبت به سایر تیمارها و شاهد بود. همچنین عملکرد دانه به ترتیب ۱/۹۸، ۲/۱٤، ۲/۸۵، ۱/۷ تن در هکتار بود. میزان پروتئین نیز به ترتیب ٤۰/۳۱، ٤۲/۷٤، ٤۳/۰٤، ۳۹/۸۹ درصد و میزان روغن به ترتیب ۲۵/۹٤، ۲۵/۲٤،٤۸/۸۷، ۲٤/۱۷ درصد بود. میزان عناصر ماکرو و میکرو در برگ و بذر گیاه سویا در کود بیولوژیک تلفیق دو گونه قارچ از سایرین بیشتر بود و از نظر آماری نیز معنی‌دار بود. با توجه به سطح کشت نسبتاً وسیع سویا در استان مازندران و اثبات سودمندی این گونه از قارچ‌ها در بهبود رشد و توسعه این گیاه و همچنین ضرورت حفظ منابع تولید، می‌توان جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد.

واژه‌های کلیدی: صفات مورفولوژیک، سویا، قارچ تریکودرما، قارچ مایکوریزا

مقدمه

یکی از نیازهای اساسی انسان در تأمین پروتئین استفاده از تولیدات گیاهی بوده که این امر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است. بررسی آمارهای جهانی نشان داد که امروزه حدود ۷۰ درصد تولید پروتئین‌های جهان از منابع گیاهی تولید می‌شوند (Berglund, 2002). گیاهان خانواده‌ی حبوبات بدلیل حاصلخیزی خاک از اهمّیت ویژه‌ای برخوردار هستند. حبوبات پس از تیره کاسنی، تقریباً دومین تیره مهم گیاهان گلدار به عنوان دومین منبع غذایی بشر به شمار می‌آیند. روغن‌های گیاهی دلیل پایین بودن میزان اسیدهای چرب اشباع از کیفیت بیشتری برخوردارند و پروتئین آن‌ها نیز استفاده فراوانی در تغذیه انسان و دام می‌شود (Alaeibakhsh & Ahmadi, 2018). یکی از مهمترین دیدگاه‌ها در کشاورزی پایدار استفاده از موجودات زنده به منظور بهینه‌سازی سیستم تولید است. با توجه به پویایی ریزوسفر، بین میکروارگانیسم‌های خاکزی علاوه بر تعاملات با گیاه، روابطی به صورت قارچ- باکتری نیز صورت می‌گیرد که در نهایت با توجه به هم‌افزایی این دو عامل بر یکدیگر ممکن است باعث تحقق پتانسیل بیشتری برای سامانه زراعی شود (Nadeem *et al.*, 2014). گیاه سویا گیاهی یکساله و از خانواده بقولات با ۴۰-۳۶ درصد پروتئین و ۲۰-۱۹ درصد روغن یکی از مهمترین گیاهان دانه روغنی محسوب می‌شود. گیاه سویا با توجه به داشتن ۱۲ تیپ رشدی امکان زراعت آن را در اقلیم‌های مختلف امکان پذیر می‌باشد. روغن سویا حاوی اسیدهای چرب غیر اشباع نظیر اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک می‌باشد و این اسیدهای چرب اشباع نشده از نظر تأمین ویتامین و حفظ سلامتی انسان فوق العاده مهم می‌باشند.

کشت سویا در ایران از اوایل دهۀ ۱۳۴۰ شروع شده و براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی بیشترین سطح کشت و تولید مربوط به استان‌های گلستان، اردبیل و مازندران می‌باشد (Alamdarlo *et al.*, 2017). امروزه بکارگیری جانداران مفید خاکزی تحت کودهای زیستی به عنوان طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه حل برای فعال نگه داشتن خاک در اراضی کشاورزی مطرح می‌باشد. استفاده از کودهای بیولوژیک نظیر قارچ‌های میکرویز آربوسکولار، میکروارگانیزم‌های حل کننده فسفات و ورمی‌کمپوست در کشاورزی پایدار علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک باعث فراهم شدن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Calvo-Polanco *et al., 2016*). بررسی موجودات خاکزی و روابط همزیستی متقابل مفید بین اجزاء اکوسیستم در زنجیره‌های غذائی و چرخه‌های حیاتی، یکی از مباحث نوین کشاورزی پایدار در مدیریت منابع خاک است (Khan, 2018). اهمیت مطالعه بر روی این گونه قارچ‌ها از این جهت حائز اهمیت است که با وجود کاربردهای مفید آن برای کشاورزی بر خلاف کودهای شیمیایی هیچگونه ضرری بر انسان و محیط زیست ندارند (França *et al.*, 2015).

تریکودرما یک نوع قارچی است که در سال ۱۷۹۴ ارائه شد. این قارچ که یک عامل کنترل زیستی کم

هزینه است که می‌تواند خود را در پاتوسیستم‌های مختلف تثبیت نماید و بر تعادل مواد غذایی موجود در خاک تأثیر گذار است (Adak *et al.*, 2016). گونه‌های تریکودرما تحت مکانیسم‌های خاصی از جمله کنترل زیستی بیماری‌های خاکزی با ترشح آنزیم، تولید آنتی‌بیوتیک و نفوذ در بدنه قارچ‌های بیماری‌زا، دفع مسمومیت و افزایش انتقال قند و اسیدآمینه در ریشه گیاهان، ایجاد مقاومت القائی در برابر تنش‌های محیطی و افزایش جذب و حلالیت عناصر غذایی سبب افزایش رشد در گیاهان می‌شوند (Singh *et al.*, 2014).

قارچ‌های میکوریزا گروه مهمی از قارچ‌های میکوریزی هستند که توان برقراری رابطه همزیستی با ۸۰ درصد گیاهان را دارند. قارچ میکوریزای موجود در خاک برای رشد و سلامت گیاه، تنظیم فعالیت‌های آنزیمی، محافظت در برابر بیماری‌ها باعث افزایش کارایی جذب موادمعدنی، افزایش سرعت فتوسنتز و افزایش عمکلرد زراعی خواهند شد. این قارچ به عنوان تسهیل‌کننده‌ی محیطی در کشاورزی پایدار از نظر تولید و حفاظت محیط زیست عمل می‌کند (Bhat *et al.*, 2017).

تحقیقات زیادی در خصوص تأثیر قارچ‌های تریکودرما و مایکوریزا بر محرک رشد و حاصلخیزی خاک در داخل و خارج از کشور انجام شده است که می‌توان به مطالعه تأثیر قارچ تریکودرمای بر بهبود رشد و تغذیه درختان پسته (Zeynali *et al.*, 2020)؛ بررسی اثرات قارچ تریکودرما در مهارزیستی بیماری پوسیدگی ذغالی سویا در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای (Alamdarlo *et al.*, 2017)، بررسی گونه تریکودرما به عنوان کود زیستی و بیولوژیکی در کشت برنج (Debnath *et al.*, 2020) همچنین نتایج مطالعه‌ای نشان داد که قارچ تریکودرما باعث افزایش حلالیت مواد غذایی در خاک و افزایش ۸ درصدی عملکرد در دانه شده است (Martinez & Johnson, 2010). با توجه به کمبود و تنش‌های آبی در کشور ایران و همچنین بدلیل تغییر کاربری‌های زمین‌های کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک جهت بهبود وضعیت تولید این محصول استراژیک که برای مصارف خوراک دام، طیور و انسان مفید می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی اثرات دو گونه قارچ تریکودرما و میکوریزا بر رشد و نمو و خصوصیات مرفولوژیک گیاه سویا انجام شد.

مواد و روش‌کار

زمان و مکان نمونه گیری

این آزمایش در مزرعه آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل تلقیح تریکودرما و میکوریزا در چهار سطح شامل؛ تلقیح با تریکودرماهارزیانوم (A)؛ تلقیح با میکوریزا گونه گلوموس اینترادیس (B)؛ تلقیح دوگونه تریکودرما و میکوریزا (C) و شاهد خاک معمولی (D) با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱٤۰۰ انجام شد. جهت تکثیر تریکودرما در محیط کشت PDA (عصاره سیب زمینی، دکستروز و آگار) به مدت یک هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تکثیر و پس از پنج روز مقدار ده گرم از محیط کشت سبوس و اسپورهای قارچ تریکودرما به تعداد 10^8 واحد کلونی‌ساز در هرگرم با یک کیلوگرم بذر سویا رقم جی‌کی تلقیح شد. در زمان آزمایش تعداد

پنج فاکتور فنولوژی شامل طول رشد گیاه در زمان سبز شدن، شروع گل‌دهی، غلاف‌دهی، ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین و طول دوره رویش نمونه-برداری شد. همچنین جهت تعیین اجزای عملکرد با حذف ردیف‌های حاشیه، سه متر مربع هر کرت توزین شد. تعداد غلاف در بوته، تعداد غلاف‌های پوک در هر بوته، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در هر بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد غلاف در شاخه‌های اصلی و فرعی نیز جدا اندازه-گیری شد. مقدار کلروفیل از بزرگترین برگ توسعه یافته با پنج تکرار با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD 502 PLUS ساخت کشور ژاپن انجام شد. بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته و اجزاء عملکرد تعداد ۱۰ بوته از هر تیمار به صورت تصادفی انتخاب براساس ۱۲ درصد رطوبت اندازه‌گیری شد. جهت بررسی شاخص سطح برگ (LAI) سه بوته از هر تکرار را در مرحله گلدهی و همچنین برای بررسی سرعت رشد نسبی (RGR) و کل ماده خشک (TDM) در پنج بوته از هر تکرار برگ‌ها و اندام‌های هوایی را جدا کرده و در داخل آون با درجه حرارت ۷۲ سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار داده پس از خشک شدن نمونه‌ها با ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین گردید. در پایان نمونه‌های برگ و دانه پس از خشک شدن، آسیاب گشته و در دستگاه طیف سنجی (NMR) وکجدال درصد روغن، پروتئین، عناصر پرمصرف و کم مصرف در آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تعیین شد. برای تجزیه وتحلیل داده‌ها پس از تعیین وضعیت نرمالیته داده‌ها، با استفاده از آزمون واریانس ANOVA و مقایسه بین میانگین‌ها با آزمون دانکن به کمک نرم‌افزار SAS ورژن ۹/۱ در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج اثرات کاربرد دو گونه قارچ در چهار سطح تلقیح با تریکودرماهارزیانوم؛ تلقیح با میکوریزا؛ تلقیح دوگونه تریکودرما و میکوریزا و شاهد خاک معمولی به عنوان کود بیولوژیک بر تعداد ۱۵ صفت مرفولوژیک گیاه سویا در (جدول ۱) نشان داده شده است. در صفت ارتفاع گیاه به ترتیب ٩٤/٩٦، ٨٩/٨٣، ٨٨/٥٥، ٨٧/٢٦ سانتی‌متر بود. میزان کلروفیل a به ترتیب ۰/٦٢، ۰/٦٧، ۰/٦٩، ۰/٤٦ mg/m^3 بود. میزان کلورفیل b به ترتیب ۰/۰۳۷، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵۳، ۰/۰۲۲ mg/m^3 بود. میزان تعداد شاخه ۵/۸۰، ٦/٢١، ٦/٨٩، ٤/٣٨ بود. میزان درصد پروتئین دانه به ترتیب٤٠/٣١، ٤٢/٧٤، ٤٣/٠٤، ٣٩/٨٩ درصد بود. میزان درصد روغن دانه به ترتیب ٢٤/٨٧، ٢٥/٤٨، ٢٥/٩٤، ٢٤/١٧ درصد بود. میزان وزن خشک دانه به ترتیب ١٨٩/٢٤، ٢٩١/٨٤، ٣١٣/٥، ١٦٨/٧٢ گرم بدست آمد. همچنین میزان وزن هزاردانه به ترتیب ١٧١/٦، ١٧٨/٥٦، ١٨٧/٣٦، ١٤٩/٦ گرم بود. میزان طول غلاف به ترتیب ٤/٣٣، ٤/٨٨، ٥/٢١، ٣/٢١ سانتی‌متر بود. میزان قطر ساقه به ترتیب ١٣/٠٢، ١٣/٥٦، ١٤/١٨، ١١/٥١ میلی‌متر بود. همچنین میانگین تعداد غلاف در بوته سویا به ترتیب ١٠٤/٩٦، ١١٠/٤٢، ١١٤/٨، ٩٠/٧٤ بود. تعداد گره در ساقه اصلی ١٦/١٩، ١٦/٧٥، ١٦/٨١، ١٥/٩ بود. میزان ارتفاع اولین غلاف تا زمین به ترتیب ٢٣/٦، ٢٣/٤٩، ٤٦/٦٠، ٢٣/٣٨ سانتی‌متر بود. در نهایت میزان عملکرد دانه به ترتیب ١/٩٨، ٢/١٤، ٢/٨٥، ١/٧ تن درهکتاربود. در بررسی نتایج میانگین نشان داد که صفت ارتفاع گیاه سویا که در خاک حاوی قارچ تریکودرماهارزیانوم نسبت به شاهد و

سایر تیمارها ارتفاع بیشتری داشت و این اختلاف در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین در بررسی صفت شاخص سطح برگ در گیاه سویا در خاک حاوی قارچ میکوریزا بیشتر از سایر تیمارهای مورد آزمایش بود و این اختلاف در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود ($p<0/05$). اما در ۱۳ صفت دیگر گیاه سویا که در خاکی حاوی تلفیق دو گونه قارچ تریکودرما و میکوریزا بود نسبت به گیاه شاهد و گیاهی که بصورت انفرادی در معرض این دو گونه قارچ قرارگرفتند نتیجه بالاتری در صفات مورد بررسی داشتند و این اختلاف نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود ($p<0/05$). طبق نتایج به دست آمده، بیشترین ارتفاع بوته، مربوط به قارچ تریکودرماهارزیانوم با میانگین ۹٤/٦۱ سانتی‌متر بود. در نتایجی مشابه (Yazdani *et al.*, 2015) با بررسی تاثیر کودهای بیولوژیک در سویا دریافتند که در تیمار شاهد چنانچه کودهای بیولوژیک استفاده نشود ارتفاع گیاه سویا کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند.

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرات تلقیح دو نوع کود بیولوژیک بر صفات مورفولوژیک سویا

	A	B	C	D	CV
ارتفاع (cm)	۹٤/۹٦ a	۸۹/۸۳ b	۸۸/۵۵ bc	۸۷/۲٦ c	۱۹
کلروفیل a (mg/m^3)	۰/٦۲ a	۰/٦۷ a	۰/٦۹ a	۰/٤٦ b	۲٤
کلروفیل b (mg/m^3)	۰/۰۳۷ b	۰/۰۲۵ c	۰/۰۵۳ a	۰/۰۲۲ c	٤/۲۸
تعداد شاخه	۵/۸۰ b	٦/۲۱ b	٦/۸۹ a	٤/۳۸ c	۱۱/۹۷
پروتئین دانه (٪)	٤۰/۳۱ b	٤۲/۷٤ b	٤۳/۰٤ a	۳۹/۸۹ b	۹
روغن دانه (٪)	۲٤/۸۷ b	۲۵/٤۸ a	۲۵/۹٤ a	۲٤/۱۷ c	۳/۵٦
وزن خشک (gr)	۱۸۹/۲٤ b	۲۹۱/۸٤ a	۳۱۳/۵ a	۱٦۸/۷۲ b	٦/۷۹
وزن هزار دانه (gr)	۱۷۱/٦ c	۱۷۸/۵٦ b	۱۸۷/۳٦ a	۱٤۹/٦ d	۸/۹
شاخص سطح برگ	۳/۹۵ a	٤/۷۳ a	٤/۰٦ a	۲/۹٦ b	۵
طول غلاف (cm)	٤/۳۳ c	٤/۸۸ b	۵/۲۱ a	۳/۲۱ d	۳/۱۹
قطر ساقه (mm)	۱۳/۰۲ b	۱۳/۵٦ ab	۱٤/۱۸ a	۱۱/۵۱ c	۱۱/۱
تعداد غلاف در بوته	۱۰٤/۹٦ b	۱۱۰/٤۲ ab	۱۱٤/۸ a	۹۰/۷٤ c	۵/۸۷
تعداد گره در ساقه اصلی	۱٦/۱۹ a	۱٦/۷۵ a	۱٦/۸۱ b	۱۵/۹ b	۱۱/۸
اولین غلاف تا زمین (cm)	۲۳/٦ b	۲۳/٤۹ b	۲٤/٦۰ a	۲۳/۳۸ b	۳/۷۱
عملکرد دانه (تن در هکتار)	۱/۹۸ c	۲/۱٤ b	۲/۸۵ a	۱/۷ d	۲/۸۸

محقیقن طی مطالعه‌ای نیز گزارش کردند که استفاده از تیمار تریکودرما بر افزایش ساقه، ریشه و زیست توده اندام هوایی میوه هندوانه به طور معنی‌داری موثر بوده است این قارچ به دلیل افزایش سطح جذب ریشه از طریق تشکیل هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان می‌شوند (Martinez & Johnson, 2010). بررسی‌ها نشان می‌دهد که کودهای بیولوژیکی با افزایش حلالیت فسفر و همچنین تولید هورمون‌های رشد موجب تحریک رشد گیاه می‌شود؛ که اهمیت این مساله در اراضی استان مازندران به دلیل سرعت تبدیل فسفر به فرم غیر قابل جذب اهمیت زیادی دارد

(Shoresh *et al.*, 2010). مطابق با نتایج (جدول ۱) میزان کلروفیل a و b بطور معنی‌داری در سویا که با خاک تلقیح دوگانه قارچ نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. در نتایج مشابه مطالعات (Yazdani *et al.*, 2015) با بررسی اثرات ساده قارچ‌های مختلف تریکودرما بر گیاه سویا گزارش داده‌اند میزان کلروفیل در تیمار شاهد نسبت به مصرف کودهای زیستی *T. harzianum* و *T. viride* بیشتر است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. طبق نتایج به دست آمده از مطالعات انجام شده تلقیح‌های دوگانه تریکودرما هارزیانوم و گونه‌های میکوریزا در شرایط مصرف متداول فسفر میزان مجموع کلروفیل‌ها را نسبت به شاهد ۱۶ درصد افزایش داده است (Lo & Lin, 2002). گزارش‌های زیادی حاکی از تأثیر مثبت تلقیح سویا با رایزوبیوم و مایکوریزا وجود دارد که بیان دارند تلقیح سبب جذب بهترآب، عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز می‌شود. از آن جایی که عناصری همانند نیتروژن و منگنز نقش اساسی در ساختار کلروفیل‌ها دارند با افزایش جذب آن ها محتوای کلروفیل نیز افزایش می یابد. بهبود در وضعیت تغذیه گیاه سبب افزایش رشد رویشی و تولید بیوماس بیشتر شده که به نوبه خود بر روی کارکرد دستگاه فتوسنتزی و همچنین رنگیزه‌های فتوسنتزی تأثیر مثبتی دارد (Parsa *et al.*, 2017). استفاده از میکوریزا سبب افزایش ماده خشک گیاه به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و نتیجهٔ باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و تثبیت CO^2 و تولید در سطح برگ بیشتر می‌شود، که در نهایت سبب افزایش تثبیت CO^2 و افزایش بیوماس اندام هوایی می‌شود (Smith & Read, 2008). طبق نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده نمود که بیشترین میانگین را از نظر صفت شاخص سطح برگ؛ قارچ میکوریزا داشته است. طبق مطالعات انجام شده مصرف این قارچ به واسطه بهبود رشد و افزایش سطح برگ موجب افزایش رشد در اندام‌های هوایی در گیاه بامیه شده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای بخشی از کودهای معدنی مصرفی در زراعت گردد. سطح برگ گیاه سویا به شدت تحت تأثیر این قارچ نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است. طبق بررسی‌های صورت گرفته تاثیر قارچ‌های میکوریزا تحت شرایط محیطی، نوع گیاه زراعی و سایر میکلروارگانیسم‌های خاک متفاوت خواهد بود (Richardson *et al.*, 2011). در بررسی صفت وزن هزار دانه در تیمار تلقیح دو گانه قارچ‌ها با میانگین ۱۸۷/۳۶ گرم نسبت به سایر تیمارها بیشترین میانگین را داشت و از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین نتایج مطالعه محققن مختلف بروی گیاه سویا مبنی بر اینکه اثر تلقیح دو گانه دو قارچ تأثیر بیشتری بروی وزن تک بوته سویا دارد (Berglund, 2002). طبق نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده نمود که از نظر صفت طول غلاف در تیمار تلقیح دوگانه قارچ‌های تریکودرما هارزیانوم و میکوریزا اینترارادیس با میانگین ۵/۲۱ نسبت به سایر تیمارها بیشترین میانگین را از نظر صفت طول غلاف داشته است. طبق تحقیقات انجام شده در بررسی طول غلاف بیشتر متاثر از خصوصیات ژنتیکی گیاه بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. این نتایج مشابه نتایج به دست آمده در مطالعات (Richardson *et al.*, 2011) می‌باشد. همچنین از نظر صفت تعداد شاخه در تیمار تلقیح دوگانه قارچ‌ها با میانگین ۶/۸۸ نسبت به سایر تیمارها

بیشترین میانگین را از نظر صفت تعداد شاخه داشته است. در نتایجی مطالعات مشابه نشان داد که اثرات کود زیستی نیتروکسین و بیوسولفور بر تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال یک درصد است و بیشترین تعداد شاخه فرعی بیوسولفور در سطح احتمال پنج درصد معنی دارشده است (Hu *et al.*, 2019). بیشترین میانگین را از نظر صفت قطر ساقه؛ در تیمار تلقیح دو گانه قارچ‌های با میانگین ۱٤/۱۸ میلی‌متر بود. طی مطالعه‌ای توسط Rawia و همکاران در آزمایشی بر گیاه تاج خروس گزارش کردند که استفاده از باکتری‌ها (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم سودوموناس) به منزله کود زیستی سبب افزایش کارایی جذب کودهای نیتروژن و فسفر و در نتیجه بهبود رشد گیاهان مختلف می‌شود (Rawia *et al.*, 2006). همچنین محقیقن مختلفی گزارش کردند که کودهای زیستی در گیاه دارویی زوفا منجر به افزایش ارتفاع و قطر ساقه شده است. نتایج مشابه‌ی بر روی گیاه رزماری و توت فرنگی نیز گزارش شده است. مطابق با نتایج به دست آمده بیشترین میانگین از نظر صفت تعداد گره در ساقه اصلی، صفت اولین غلاف تا زمین، تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار تلقیح دو گانه قارچ با میانگین به ترتیب ۱٦/۸۱ و ۲٤/٦۰ سانتی‌متر و ۱۱٤/۸ عدد بود. طی مطالعه‌ای که در آن تلقیح همزمان گیاه ماش‌سبز با باکتری ریزوبیوم و قارچ‌های میکوریزا بود نتایج نشان داد که سبب افزایش وزن خشک ریشه و تعداد گره می‌شود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. (Bhat *et al.*, 2011). این موضوع می‌تواند به دلیل اثرات هم‌افزایی باکتری ریزوبیوم وقارچ میکوریزاروی رشد گیاه باشد. بیشترین روغن و پروتئین دانه سویا در خاکی که با تلقیح دو گانه قارچ تغذیه شده بود نسبت به سایرین با میانگین به ترتیب ۲۵/۹٤، ٤۳/۰٤ درصد بیشتر بود. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که دانهٔ کنجد در تیمار تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی کاهش یافته، ولی کاربرد همزمان کودهای زیستی و شیمیایی سبب افزایش کیفیت روغن و درصد اسیدهای چرب در گیاه کنجد شده است. در آزمایشات مختلف دیگر با بررسی تأثیر باکتری رایزوبیوم ژاپونیکوم بر گیاه سویا، مشاهده کردند که کاربرد رایزوبیوم موجب افزایش معنی دار عملکرد و درصد روغن دانه شد (Mazrae *et al.*, 2019). نتایج محقیقین نشان داد که تلقیح تنها و دوجانبه باکتری تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفر به طور معنی داری محتوای پروتئین بذر نخود را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش می‌دهد. همچنین طی بررسی مشخص شد که تأثیر کود فسفره بر محتوای پروتئین بذر سویا معنی‌دار است. بررسی‌ها ثابت کرده است که میزان پروتئین دانه‌های گیاهی به صورت معنی داری بر اثر استفاده از میکوریزا در گیاهان افزایش خواهد یافت. مطالعات نشان داد که همکاری میکوریزا با گیاه سبب افزایش جذب پروتئین در آنها می‌شود (Ahmadi, 2018 & Alaeibakhsh). در کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و کود زیستی، از طریق جلوگیری از هدر روی و نیتروژن به علت وجود کود زیستی، نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و لذا میزان پروتئین افزایش می‌یابد. دلیل بالا بودن پروتئین دانه در کاربرد کودهای زیستی و فسفر را می‌توان جذب سریعتر نیتروژن و

افزایش غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی و در نتیجه انتقال بیشتر آن به دانه ذکر کرد (Yousefpour, 2012). هچنین در تحقیق دیگری بر روی سویا چنین استنباط شد که استفاده از نژادهای باکتری رایزوبیوم جاپونیکوم باعث افزایش عملکرد پروتئین دانه شده است. تلقیح خاک گیاه سویا با باکتری برادیریزوبیوم جاپونیکوم باعث افزایش معنی‌دار عملکرد پروتئین سویا شد. در حقیقت عملکرد بالای پروتئین دانه متأثر از همزیستی مناسب باکتری با گیاه می‌باشد (Shokuhfar *et al.*, 2008). طی بررسی‌ها و مطالعات انجام شده مشخص گردید استفاده از مایکوریزا سبب افزایش درصد روغن و پروتئین در گیاه سویا شده است (Gholinezhad, 2016).

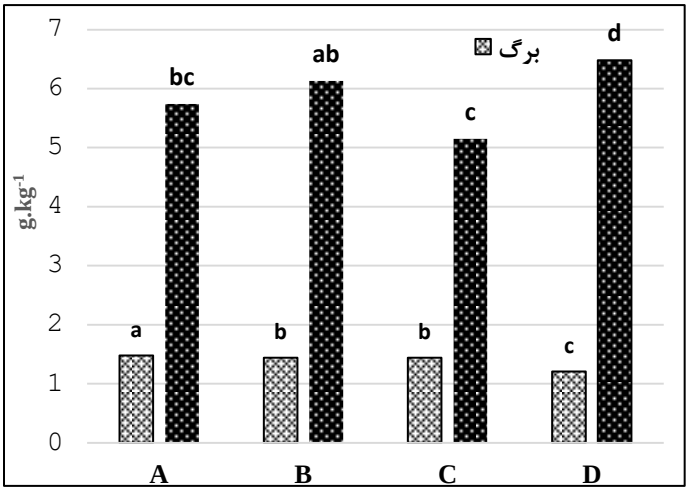
طبق نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده نمود که بیشترین میانگین را از نظر صفت عملکرد؛ در خاک حاوی تلقیح دو گانه قارچ‌های تریکودرما و میکوریزا با میانگین ۲/۸۵ داشته است. طبق نظر محققان فعالیت قارچ تریکودرما سبب افزایش حلالیت فسفر و سایر عناصر شده و افزایش جذب عناصر غذائی در نتیجه فعالیت این قارچ سبب افزایش رشد و قدرت گیاه می‌گردد. همچنین ریشه در خاک دامنه وسیع‌تری از خاک عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف را جذب کرده و به افزایش رشد گیاه کمک می‌کند (Singh *et al.*, 2007). افزایش بهبود عملکرد محصولات زراعی در نتایج فعالیت همزمان دو گونه تریکودرما هارزیانوم و میکوریزا آربوسکولار، توسط محققان زیادی گزارش شده است. به عقیده محققان، کودهای زیستی استفاده شده حاوی باکتری‌های آزادزی و همیار تثبیت کنندهٔ نیتروژن و حل کنندهٔ فسفات بودند. این کودها با سازوکارهای محرک رشد از جمله تثبیت نیتروژن و انحلال فسفر نامحلول با تولید اسیدهای آلی و کاهش اسیدیته سبب افزایش جذب عناصر غذایی و به طبع، افزایش انتقال آنها به بخش هوایی در نتیجه سبب توسعهٔ بخش هوایی گیاه می‌گردد (Kader *et al.*, 2002).

در بررسی میزان عناصر مغذی گیاه سویا که ارتباط مهمی با ارزش غذایی گیاه سویا نیز دارد نتایج (جدول ۲) نشان داد که میزان عناصر روی، مس، آهن و منگنز در برگ در گیاه سویای که در خاک حاوی تلفیق دو گونه قارچ رشد کرده‌اند نسبت به سایرین بیشتر بوده است. همچنن در بررسی همین عناصر ریز مغذی در بذر به جز عنصر روی در بقیه نیز در گیاه سویای که در خاک حاوی تلفیق دو گونه قارچ رشد کرده از سایرین بیشتر بود. میزان عنصر روی گیاه سویا در خاک حاوی قارچ میکوریزا بیشترین مقدار داشت. و این اختلاف نیز چه در برگ و بذر گیاه سویا در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود ($p<0/05$).

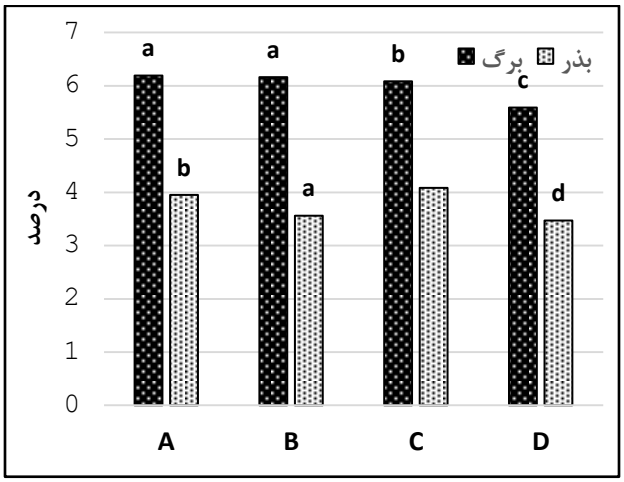
میزان نیتروژن در برگ گیاه سویا در خاک حاوی تلقیح با تریکودرماهارزیانوم؛ تلقیح با میکوریزا گونه اینترارادیس؛ تلقیح دوگانه تریکودرماهارزیانوم و میکوریزا و گیاه بودن قارچ شاهد به ترتیب ٦/١٩، ٦/١٦، ٦/٠٨، ٥/٩٥ درصد و در بذر به ترتیب ٣/٩٥، ٤/٠٨، ٣/٥٦، ٣/٤٧ درصد بود (شکل ۱). میزان فسفر نیز در برگ به ترتیب ١/٤٨، ١/٤٤، ١/٤٤، ١/٢١ گرم بر کیلوگرم و در بذر به ترتیب ٥/٧٤، ٦/١٣، ٥/١٥، ٦/٤٨ بود (شکل ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین دو نوع کود بر عناصر میکرو سویا

	روی	مس	آهن	منگنز
	برگ			
A	٤٣/٢٥ ^{b}	١٣/٧^{c}	١٤٧/١٠^{b}	٢٠/٣٦^{b}
B	٥٥/٦٩ ^{ab}	١٥/١٤^{b}	١٥٠/٥٨^{a}	٢٠/٤٧^{b}
C	٦١/٩٢ ^{a}	١٥/٥٢^{a}	١٥٠/٦٩^{a}	٢١/٢٢^{a}
D	٤٣/٩٣ ^{c}	١٢/٠٦^{d}	١٤٦/١٠^{c}	١٦/٤١^{c}
CV	١٣/٦٦	١/١٩	٤/٤١	١/١١
	بذر			
A	٣٤/٨٣^{c}	٢٠/٠٦^{b}	٥٧/٠١^{b}	١٧/٠٣^{c}
B	٤١/٩^{a}	٢٢/٧٦^{a}	٦٠/٤٠^{a}	١٩/٥١^{b}
C	٣٩/٩٢^{b}	٢٢/٨٨^{a}	٦٠/٤٨^{a}	٢٠/٠٤^{a}
D	٢٩/٧٨ ^{d}	١٨/٤^{c}	٥٣/١٨^{c}	١٤/٢٣^{d}
CV	١١/٦٤	٣/٣	٢/٧٢	١/٣٢



شکل ۱- نمودار مقایسه اثرات دو نوع کود بر نیتروژن برگ و بذر

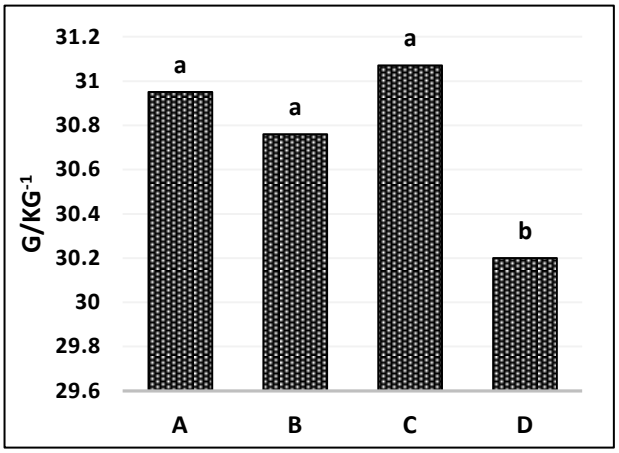


شکل۲- نمودار مقایسه اثرات دو نوع کود بر فسفر برگ و بذر

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها، می-توان مشاهده نمود که بیشترین میانگین را از نظر میزان نیتروژن برگ؛ تلقیح دو گانه قارچ‌های تریکودرما و میکوریزا با میانگین ٦/١٩ درصد داشته است. بیشترین میانگین را از نظر صفت نیتروژن بذر؛ تلقیح دو گانه قارچ-های تریکودرما و میکوریزا با میانگین ٤/٠٨ درصد داشته است. در نتایج مطالعه‌ای گزارش دادند که بیشترین کارایی جذب نیتروژن و میزان نیتروژن دانه در تیمار کود زیستی(قارچ ریزوبیوم) ٠/٨٤(kg^{-1}) مشاهده شده است. به عقیده محققان کودهای شیمیایی و همچنین زیستی بر نیتروژن برگ تاثیرات مثبت دارد و موجب افزایش آن می-شود ولی به تدریج با افزایش رشد گیاه به تدریج نیتروژن از برگ و ساقه به طرف دانه گیاه می‌رود (دیده رقیق شدن نیتروژن در کـل گیاه و در هر یک از اندام ها در طول فصل رشد به دلیل افزایش سهم ساختمان های فقیر همچون ساقه از نظر نیتروژن و با پیشـرفت نمـو گیاه رخ می‌دهد) و نیتروژن موجود دراین بخش های به تدریج کاهش و نیتروزن دانه به تدریج افزایش خواهد یافت (Bakhshandeh *et al.*, 2013). نتایج پژوهش که بروی گیاه شنبلیله انجام شده بود نشان داد که استفاده از کودهای زیستی قارچ میکوریزا و ازتوباکتر سبب افزایش جذب نیتروژن و پتاسیم در اندام هوایی شنبلیله شده است (Goutam *et al.*, 2020). طی مطالعه‌ای بروی گیاه رازیانه نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در بافت گیاه رازیانه را به ترتیب در تلقیح با باکتری‌های تثبیت کنندۀ نیتروژن و در نمونه‌های تیمار شده با کودهای شیمیایی به دست آمده است. به نظر می‌رسد که تلقیح با کودهای زیستی باعـث افـزایش تـأمین عناصر غذایی به ویژه نیتروژن در گیاه می‌گردد. قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش تولید گره، کلونی‌زایی ریشه، تجمع ماده خشک در اندام هوایی وجذب عناصر غذایی در گیاه می-شود (Rabie & Tousikehal, 2011).

نتایج مقایسه اثرات متقابل تیمارها نشان داد که بیشترین میانگین را از نظر میزان عنصر فسفر برگ؛ در گیاه سویا که در خاک حاوی تلفیق دو گونه قارچ بوده بیشترین درصد را دارا بوده است. باکتری های تثبیت کنندۀ نیتروژن با تولید

مقادیر مناسب مواد تنظیم کنندهٔ رشد گیاه مانند اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و ویتامین های گروه B، ریشه زایی گیاه و جذب مواد غذایی از خاک را بهبود می‌بخشند و در نتیجه، میزان نیتروژن و فسفر را در اندام هوایی افزایش می‌دهند. طبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات می توان مشاهده نمود که از نظر فسفر بذر در تلقیح با قارچ؛ تلقیح قارچ نسبت به شاهد افزایش موثری نداشته است. کودهای آلی از طریق آزادسازی اسیدهای آلی سبب کاهش pH و افزایش حلالیت فسفات‌های کلسیم در خاک‌های آهکی شده و از این طریق منجر به افزایش جذب فسفر توسط گیاهان می‌شوند. همچنین کودهای آلی حاوی شکل‌های مختلفی از فسفر آلی بوده که در طول دوره رشد تحت فرایند معدنی شدن به شکل قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌شوند (Reddy *et al.*, 2005). کاربرد کودهای آلی می‌تواند از طریق افزودن عناصر غذایی موردنیاز گیاه و همچنین بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سبب بهبود رشد گیاهان گردد. به طور مثال کاربرد کود مرغی و لجن فاضلاب میزان جذب فسفر توسط شاخسار گندم را به ترتیب تا ۵ و ۹ برابر نسبت به شاهد افزایش دادند (Moeini *et al.* 2016). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین میانگین از نظر صفت پتاسیم برگ؛ مربوط به تیمار تلقیح با تریکودرما هارزیانوم ۱/٤۸ $g.kg^{-1}$ بود. میزان پتاسیم در برگ گیاه سویا به ترتیب ۳۰/۹۵، ۳۰/۷٦، ۳۱/۰۷، ۳۰/۲ گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۳). از نظر میزان پتاسیم بذر نتایج نشان داد که افزایش پتاسیم بذر سویا تحت تاثیر کود زیستی از نظر آماری معنی‌دار نبود.



شکل ۳- نمودار مقایسه اثرات دو نوع کود بر پتاسیم برگ سویا

براساس نتایج مطالعات در زمینهٔ اثر کودهای زیستی مختلف (نیتروکسین، سوپرنیتروپالس، بیوسوپرفسفات و فسفات بارور ۲) روی لوبیا، کود نیتروکسین سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن بخش هوایی شد و کود فسفات بارور ۲ در افزایش زیست تودهٔ بخش هوایی گیاه سهم بیشتری داشت. کودهای زیستی نیتروکسین و سوپرنیتروپالس ازنظر وزن خشک ریشه، مقدار پتاسیم بخش هوایی، مقدار جذب فسفر و آهن ریشه تفاوت معناداری با شاهد نداشتند که مطابق با نتایج مطالعه حاضر است (Ansari *et al.*, 2015). استفاده از ورمی کمپوست، کودهای زیستی و کودهای شیمیایی به صورت جداگانه و تلفیق با هم موجب افزایش عناصر ماکرو و عناصر میکرو در گیاه سویا و افزایش بر عملکرد پروتئین آن خواهد شد. علت افزایش و بهبود عملکرد در چنین شرایطی را در نتیجه بهبود شرایط تغذیه‌ای آن می‌باشد. محققان اعلام نموده‌اند که غلظت روی در گیاهان زراعی بسته به نوع گونه حتی رقم یا سن گیاه تغییر می‌کند (Sajadi *et al.*, 2011). در بررسی میزان مس برگ بیشترین میانگین در تیمار تلقیح دو گونه قارچ بود. نتایج مطالعه‌ای که بررسی تاثیر کود درخیار گزارش کردند که با مصرف کود، تا سطح سه (۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) افزایش جذب مس مشاهده شد، اما در سطوح بیشتر جذب مس روندی کاهشی خواهد داشت. در بررسی عنصر آهن بیشترین میانگین آهن برگ و بذر؛ در تیمار تلقیح دو گانه قارچ های تریکودرما هارزیانوم بود. طی مطالعه‌ای بروی برنج نتایج نشان داد که با افزایش غلظت مصرف فسفر میزان آهن بخش هوایی برنج کاهش یافت ولی تغییر معنی‌داری در غلظت منگنز بخش هوایی حاصل نشد. همچنین نیز گزارش کردند که با افزایش سطوح فسفر غلظت آهن بخش هوای ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت در حقیقت غلظت آهن گیاه با مصرف فسفر در مرحله اولیه رشد (۱۹ روز پس از کاشت به حدود ۱۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) رسیده و در زمان رسیدگی (۱۳۰ روز پس از کاشت) به حدود ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش یافت. لذا آنها گزارش کردند که غلظت آهن گیاه در نتیجه سن گیاه نوسان بسیار زیاد دارد. طی مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها، بیشترین میانگین را از نظر صفت منگنز برگ و بذر؛ مربوط به تیمار تلقیح دو گانه قارچ تریکودرما و میکوریزا بود. محققین طی مطالعه‌ای بروی برنج گزارش کردند که مصرف کود بیولوژیک میانگین غلظت منگنز اندام‌های هوای برنج را به طور معنی‌داری افزایش داده است. اما میانگین مقدار جذب منگنز در بخش هوایی برنج معنی‌دار نبود (Ronaghi *et al.*, 2002).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر بررسی کاربرد دو نوع کود بیولوژیک برعملکرد و صفات مورفولوژیک سویا مورد بررسی قرار گرفت و در این بین استفاده تلقیح دو گانه قارچ تریکودرما هارزیانوم و میکوریزا اینترارادیس بیشترین و بهترین تأثیر سطوح مختلف کودهای زیستی را بر عملکرد و کارآیی گیاه سویا در استان مازندران داشته است. بررسی تاثیر تیمارها بر صفات مرفولوژیک و همچنین عناصر ماکرو و میکرو برگ و دانه سویا نیز نشان دهنده همین موضوع می‌باشد. می توان چنین نتیجه گرفت که هر زمان همراه کود زیستی منبعی از کود شیمیایی وجود داشته باشد این کود

عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. این موضوع در کاهش هزینه‌ها، حفظ پایداری و سلامتی خاک کشاورزی می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد. همچنین براساس نتایج آزمایش دو ساله عملکرد دانه در تیمار تلقیح دوگانه قارچ تریکودرما هارزیانوم و میکوریزا اینترارادیس نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است. بنابراین با توجه به سطح کشت نسبتاً وسیع سویا در استان مازندران و اثبات سودمندی این گونه از قارچ‌ها در بهبود رشد و توسعه این گیاه و همچنین ضرورت حفظ منابع تولید، تلقیح توأم میکوریزا و تریکودرما می‌تواند در مدیریت جایگزین مناسبی برای کودهای تلفیقی عناصر غذایی شیمیایی و نظام‌های پرنهاده باشد.

تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس و همچنین تمام مسئولین و کارشناسان مراکز تحقیقات برنج و مرکبات شهرستان تنکابن که به نحوی جهت بالا بردن کیفی نتایج مطالعه حاضر یاری رساندن کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFRENCES

Adak, A., Prasanna, R., Babu, S., Bidyarani, N., Verma, S., Pal, M., Shivay, Y.S., Nain, L. 2016. Micronutrient enrichment mediated by plant microbe interactions and rice cultivation practices. *Journal Plant Nutr*. 39(9): 1216-1232.

Alaeibakhsh, S., Ahmadi, M. 2018. Effect of mycorhiza application in different phosphorus rates on quality and quantity and yield of soybean at sari weather condition. *Journal Plant cell and Molecular Biology*. 13(1): 43-53p. (In Persian).

Alamdarlo, R.M., Hasanzadeh, I., Mirabadi, A.Z., Foroozan, K. 2017. Evaluation of the efficacy of *Trichoderma* isolates in the biological control of soybean charcoal rot disease in the laboratory and greenhouse conditions. *Biocontrol in Plant Protection*. 5 (1).

Ansari, S., Sarikhani, M.R. Najafi, N. 2015. Inoculation Effect of common biofertilizers on growth and uptake of some elements by bean (*Phaseolus vulgaris*) in presence of soil indigenous microflora. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25(1): 85-98.

Bakhshandeh, E., Soltani, A., Zeinali, E., and Ghadiryan, R. 2013. Study of dry matter and nitrogen accumulation, remobilization and harvest index in bread and durum wheat cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*. 6 (1): 39-59. (in Persian with English abstract).

Berglund, D.R. 2002. Soybean production field guide for north Bakota and north western Minnesota. Published in cooperative and with support the north bakta soybean council. 13.

Bhat, M.I., Bangroo, S.A., Tahir, A., Yadav, S.R.S. and Aziz, M.A. 2011. Combined effects of rhizobium and vesicular arbuscular fungi on green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek) under temperate conditions. *Research Journal Agricultural Science*. 2(1):17-20.

Bhat, R.A., Dervash, M.A., Skinder, B.M., Asmat, R., Bhat, J.I.A., Dig Vijay, S., Rafiq, L. 2017. Mycorrhizae: A Sustainable Industry for Plant and Soil Environment. Mycorrhiza- Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration. 473-502.

Calvo-Polanco, M., Sánchez-Romera, B., Aroca, R., Asins, M. J., Declerck, S., Dodd, I. C. and Ruiz Lozano, J. M. 2016. Exploring the use of recombinant inbred lines in combination with beneficial microbial inoculants (AM fungus and PGPR) to improve drought stress tolerance in tomato. *Joural environmental and experimental botany*. 131: 47-57.

Debnath, G., Suvendhu, S., Chaudhuri, S.R., Das, P., Saha. A.K. 2020. Potential of Trichoderma species as biofertilizer and biological control on (*Oryza sativa*) cultivation Sanjit. Biotecnología Vegetal. 20(1):1-16.

França, S.K.S.D., Cardoso, A.F., Lustosa, D.C., Ramos, E.M.L.S., Filippi, M.C.C.D. 2015. Biocontrol of sheath blight by Trichoderma asperellum in tropical lowland rice. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(1): 317- 324.

Gholinezhad, E. 2016. Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yieldof sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research.* 15: 150-167.

Hosseinzeynali, A., Abbaszadeh dahaji, p., Alaei, H., Hosseinifard, H. Akhga, A. 2020. Effect of Trichoderma on growth and nutrition of pistachio trees under common garden condition. *Journal of Soil Biology*. 8(2):115-128-10.22092/SBJ.2020.122735

Hu, C., Wong, W., Wu, R., Lai, W. 2019. Biochemistry and use of soybean isoflavones in functional food development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 60(12): 2098–2112.

Kader, M.A., Main, M. H. and Hoque, M. S. 2002. Effects of Azotobacter inoculant on the yield and nitrogen uptake by wheat. *Journal of Biological Sciences*. 2(4): 259-261.

Khan, H.I. 2018. Appraisal of biofertilizers in rice: to supplement the inorganic chemical fertilizer. *Rice Science Journal*. 25(6): 357-362- doi: 10.1016/j.rsci.2018.10.006

Lo, C.T., and Lin, C.Y. 2002. Screening strain of *Tricoderma* spp for plant growth enhancement in Taiwan. *Plant Pathology bulletin*.11: 215-220.

Mazrae, F., Aynehband, A., Fateh, E. and Gorooei, A. 2019. The influence of PGPRs and planning methods on yield quantity and quality of Sesame in Ahvaz. *Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*. 42(2): 239-252 (in Persian).

Moeini, M., Hejazi Mehrizi, M., Jafari, A. 2016. Determination of organic P fractions in a calcareous soil as affected by wheat cultivation and organic amendments. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 5(4).

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. *Biotechnol Adv*. 32(2): 429-448.

Parsa, B., Abbasdokht, H., Gholami, A., Faraji, A. 2017. The Effect of Bradyrhizobium japonicum, Mycorrhiza and Chemical Fertilizer on Quantitative and Qualitative Characteristics of Soybean (*Glycine max L. cultivar Katoul*) in Condition of Presence and Absence of Weeds. *Weed Research Journal*. 9(1): 33-48. (In Persian).

Rawia, A., Eid, S., Abo-sedera, A., and Attia, M. 2006. Influence of nitrogen fixing bacteria in corporation with organic and/or inorganic nitrogen fertilizers on growth, flower yield and chemical composition of Celosia argentea. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2, 450-458

Reddy, D.D. Rao, A.S. and Rupa, T.R. 2005. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresource Technology*. 75: 113-118.

Richardson, A.E., Lynch, J.P., Ryan, P.R., Delhaize, E., Smith, F.A., Smith, S.E., Harvey, P.R., Ryan, M.H., Veneklaas, E.J., Lambers, H., Oberson, A., Culvenor, R.A., and Simpson, R.J. 2011. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and Soil*. 349: 121-156.

Ronaghi, A., Chakerol hosseini, M.R. and Karimian, N. 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 6(2): 53-66.

Shokuhfar, A., Shahuly, R., and Godrati, G. 2008. Soybean response to different strains of the bacterium Bradyrhizobium japonicum in the northern region of Khuzestan. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 4(2): 81-92. (in Persian with English abstract)

Shoresh, M., Mastouri, F., and Harman, G. 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungalbiocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*. 48: 21-43.

Singh, A., Sarma, B.K., Singh, H.B., Upadhyay, R.S. 2014. Trichoderma Biotechnology and Biology of Trichoderma. 533-542

Singh, A., Srivastava, S., Singh, H.B. 2007. Effect of substrates on growth and shelf life of *Trichoderma harzianum* and its use in biocontrol of diseases. *Bioresource Technology*. 98: 470-473

Smith, S.E., Read, D.J. 2008. Mycorrhizel Symboiosis, third ed. Academic press, London, UK.

Yazdani, M., Yarnia, M., Pirdashti, H., Rashidi, V., Bahmanyar, M.A. 2015. Evaluating the growth parameters of soybean in response to plant growth promoting fungi under Mazandaran climate conditions. *Journal of Agroecology*. 7(1): 74-83p (In Persian).

Yousefpour, Z. 2012. Effect of nitrogen and phosphorus biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of sunflower. M. Sc. Thesis. Yasouj University 132p. (in Persian with English abstract).

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 3/No. 4/Spring 2024/P: 52-67

https://www.sarj.iauk.ac.ir

The Effects of *Trichoderma* and *Mycorrhiza* Fungi on Functional and Morphological Traits of Soybean

Habib Mehrara[1], Amir Abbas Mousavi[*2] and Morteza Sam-Daliri[2]

[1] Ph.D. Student of Agrotechnology, Crop Plant Physiology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

[2] Assistantprofesor, Department of Agriculture, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

[*] Corresponding Author's Email: mosavi_amirabbas@yahoo.com

(Received: December. 17, 2023 – Accepted: March. 19, 2024)

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of two types of fungi on soybean function and morphology. This experiment was conducted in a factorial design with inoculation of two types of fungi, *Trichoderma* and mycorrhiza, at four levels: inoculation with Trichoderma, inoculation with Mycorrhizal, inoculation with both fungi, and the control, in three replicates. The experiment was performed in two crop years (2020 to 2022) were carried out in the research farm of Islamic Azad University, Chalus branch. After the physiological maturity of the parts, 10 shrubs from each treatment were randomly selected, and the macro- and micro-elements and the percentage of oil and protein were measured according to the standard method. Based on the results, chlorophyll a and b, the number of branches, dry weight, leaf area, pod length, stem diameter, number of pods per plant, number of nodes per stem, and height from soil to the first pod were higher in the soybean grown in soil containing double inoculation of the fungi than the other treatments and the controls. The yield was 1.98, 2.14, 2.85, and 1.7 tons per hectare, respectively. Protein content was 40.31, 42.74, 43.04, and 39.89%, and oil content was 48.87, 25.24, 25.94, and 24.17%, respectively. The contents of macro- and micro-elements in soybean leaves and seeds were significantly higher in the biological fertilizer containing the two types of fungi than others. Given soybean's relatively wide area of cultivation in Mazandaran Province (Iran), the confirmed benefits of these fungi in improving the plant's growth and development, and the necessity of preserving production resources, the studied fungi can be a suitable alternative to chemical fertilizers.

Keywords: Morphological traits; soybean; Trichoderma; Mycorrhizal