نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هفتم، شماره دوم، ۱۳۹۶
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر قارچ *کلارویبدوگلوموس اتونیکاتوم*، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر کلنیزاسیون ریشه و رشد کاهو

آناهیتا خسروی[۱]، *مهدی زارعی[۲] و عبدالمجید رونقی[۳]
[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز،
[۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: فسفر از عناصر ضروری پرمصرف گیاهان است. در خاک‌های آهکی به‌دلیل پ‌هاش بالا، وجود کربنات کلسیم، کمبود ماده آلی و رطوبت خاک، مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه بسیار کم بوده و همچنین کانی‌های دارای فسفر در شرایط معمولی انحلال‌پذیری کم‌تری دارند. مایه‌زنی قارچ‌های آربوسکولار جهت افزایش رشد و عملکرد گیاهان توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. قارچ‌های آربوسکولار با افزایش جذب فسفر (از طریق جذب درون‌ریشه‌ای و برون‌ریشه‌ای و همچنین حل فسفات‌های نا محلول آلی و معدنی) و سایر عناصر غذایی و آب، سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند. ورمی‌کمپوست به‌دلیل داشتن عناصر غذایی مواد محرک رشد و ریزجانداران مفید، رشد گیاهان را افزایش می‌دهد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر قارچ آربوسکولار، ورمی‌کمپوست و منابع مختلف فسفات بر کلنیزاسیون ریشه، وزن تر و خشک، شاخص سبزینگی، تعداد برگ و مقدار جذب فسفردر گیاه کاهو در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و با سه فاکتور در یک خاک آهکی انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ در دو سطح (بدون قارچ و دارای قارچ *کلارویبدوگلوموس اتونیکاتوم* (AM))، منابع فسفات در چهار سطح (شاهد (P_0)، خاک فسفات معدن آسفوردی یزد (RP)، تری‌کلسیم فسفات (TCP) و سوپر فسفات تریپل (SP) به‌میزان ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، ورمی‌کمپوست در دو سطح (شاهد و یک درصد وزنی خاک) بود. خاک به‌صورت غیراستریل استفاده شد و خصوصیات خاک و ورمی‌کمپوست با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید. بذر کاهو رقم فردوس (Ferdos) کشت شد. حدود ۱۰ هفته بعد از کاشت شاخص سبزینگی، ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر، وزن خشک، درصد کلنیزاسیون ریشه و جذب فسفر در گیاه اندازه‌گیری گردید. داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش و کاربرد منابع فسفات موجب کاهش معنادار درصد کلنیزاسیون ریشه کاهو گردید. بیش‌ترین مقدار کلنیزاسیون ریشه در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست و قارچ و در عدم حضور منابع فسفات مشاهده شد. مایه‌زنی قارچ، وزن خشک کاهو و جذب فسفر را به‌طور معنادار افزایش داد. کاربرد

* مسئول مکاتبه: mehdizarei@shirazu.ac.ir

ورمی‌کمپوست سبب افزایش وزن تر، وزن خشک، تعداد برگ کاهو، شاخص سبزینگی و جذب فسفر شد. کاربرد سوپرفسفات تریپل سبب افزایش وزن خشک و تر و جذب فسفر کاهو شد اما شاخص سبزینگی را کاهش داد. خاک فسفات سبب کاهش شاخص سبزینگی شد اما وزن خشک اندام هوایی و جذب فسفر کاهو را افزایش داد. برهمکنش مایه‌زنی قارچ، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات سبب افزایش وزن تر، وزن خشک، تعداد برگ و جذب فسفر کاهو شد. **نتیجه‌گیری:** استفاده از کودهای زیستی (ورمی‌کمپوست و قارچ آربوسکولار) به همراه منابع کم‌محلول فسفات (خاک فسفات و تری کلسیم فسفات) می تواند جذب فسفر و رشد گیاه کاهو را افزایش و مصرف کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: خاک فسفات، قارچ آربوسکولار، فسفات کم‌محلول، کود آلی، ویژگی‌های رویشی

مقدمه

کاهو (*Lactuca sativa*) گیاهی یک‌ساله از خانواده گل مرکبان[1] است و بیش‌تر به‌صورت گیاه برگ‌مانند، پرورش می‌یابد. ولی در مواقعی به‌صورت ساقه یا بذر نیز یافت می‌شود. کاهو یک گیاه فصل خنک بوده و نیازمند نور زیاد است. این گیاه در اکثر کشورها به‌میزان زیادی مصرف می‌شود. کاهو گیاهی غنی از عناصری مانند آهن، کلسیم، پتاسیم و فسفر می‌باشد و به‌دلیل داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی همراه با مقدار بسیار زیاد اجزای فیبری و مقدار مؤثری از برخی عناصر در بافت‌های خود سبب بهبود سلامتی می‌گردد (۳۱).

فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری پرمصرف گیاهان است. از مهم‌ترین کانی‌های اولیه دارای فسفر می‌توان به آپاتیت، هیدروکسی آپاتیت، اکسی آپاتیت و غیره اشاره کرد. این کانی‌ها یکی از مهم‌ترین ذخایر فسفر می‌باشند و مهم‌ترین ویژگی آن‌ها انحلال‌پذیری بسیار کم در شرایط معمولی می‌باشد. این سنگ‌ها در شرایط مناسب می‌توانند حل شده و فسفر مورد نیاز گیاهان و ریزجانداران خاک را فراهم کنند. با این‌که مقدار فسفر کل در خاک بالاست، اما مقدار فسفر قابل‌جذب برای گیاه در خاک معمولاً کم‌تر از حد بهینه گیاهان است (۳۸). اخیراً کشاورزان برای رفع کمبود فسفر از کودهای شیمیایی مانند سوپر فسفات تریپل استفاده می‌کنند که بیش‌تر آن در خاک‌های آهکی رسوب داده می شود و می تواند سبب آلودگی زیست‌محیطی نیز شود. بنابراین استفاده از روش‌های زیستی برای افزایش بازدهی کودهای فسفر می‌تواند به کاهش این آلودگی‌ها منجر شود. استفاده از ریزجانداران حل‌کننده فسفات، از راه‌های مؤثر برای افزایش قابلیت جذب فسفر و کاهش آلودگی خاک و آب است (۳۸).

همزیستی قارچ آربوسکولار با گیاهان سبب افزایش جذب فسفر و سایر عناصر و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌شوند. این قارچ‌ها تقریباً در تمامی خاک‌ها وجود دارند (٤١) و با بیش از هشتاد درصد از خانواده‌های گیاهی ایجاد همزیستی می‌کنند. این قارچ‌ها متعلق به شاخه گلومرومیکوتا[2] می‌باشند و در حالت همزیستی با ریشه، دارای دو شبکه درون و بیرون ریشه‌ای هستند که سبب گسترش شبکه هیفی وسیع درون خاک می‌شوند و از این طریق رشد و جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر در گیاه میزبان را افزایش می‌دهند (٢٤ و ٣٢). شبکه میسلیومی قارچ آربوسکولار به راحتی در مناطق تخلیه‌شده از فسفر در نزدیک ریشه گسترش می‌یابند و یون‌های فسفر نسبتاً غیرمتحرک را جذب کرده و در اختیار گیاه

1- *Asteraceae*

2- Glomeromycota

قرار می‌دهند (٤١). همچنین قارچ آربوسکولار به‌دلیل ترشح اسیدهای آلی و تغییر پ‌هاش محیط قابلیت جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر را افزایش می‌دهد (٢). این قارچ‌ها توانایی تولید آنزیم‌های فسفاتاز نیز دارند که در انحلال فسفر آلی اهمیت به‌سزایی دارد (٧). اما در مواردی که میزان فسفر قابل استفاده گیاه در خاک زیاد است، ممکن است کلنیزاسیون ریشه‌ها توسط قارچ و در ادامه رشد گیاه کاهش یابد (٢٦ و ٤١). کوهلر و همکاران (٢٠٠٧) گزارش کردند که مایه‌زنی کاهو با قارچ *گلوموس اینترارادیسز* سبب افزایش رشد گیاهچه کاهو شده و وزن خشک و غلظت عناصر غذایی را در اندام هوایی افزایش داد. در این پژوهش مشاهده شد که بیش‌ترین رشد کاهو در شرایطی ایجاد شد که قارچ *گلوموس اینترارادیسز* و باکتری *باسیلوس سابتیلیس* با گیاه کاهو مایه‌زنی شده بود (٢٤).

ورمی‌کمپوست ماده‌ای دارای مقادیر بالای عناصر غذایی قابل‌استفاده برای گیاه به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد (١٤). فرایند تولید ورمی‌کمپوست عبارت است از مشارکت گونه‌ای خاص از کرم‌های خاکی و ریزجانداران در تجزیه مواد آلی که این فرایند منجر به تولید کودی آلی و بسیار مفید برای رشد گیاهان می‌شود. در طی این فرایند کرم‌های خاکی از مواد آلی موجود در بستر خود تغذیه کرده و آن را از دستگاه گوارش خود عبور می‌دهند. دستگاه گوارش کرم‌های خاکی مواد آلی بلعیده شده را به ذرات ریز تبدیل کرده، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن را بهبود بخشیده و آن را به مواد پایدار تبدیل می‌کند (٤). ورمی‌کمپوست سبب افزایش رشد کلم نیز می‌شود (١٤). همچنین ورمی‌کمپوست تأثیرات مثبتی بر روی رشد سبزینگی گیاهان دارد و ریشه و اندام هوایی گیاه را توسعه می‌بخشد (١٥).

خاک فسفات، ماده اولیه تهیه کودهای فسفاته و یکی از انواع فسفرهای معدنی می‌باشد. این ماده یکی از بهترین جایگزین‌ها در کشورهایی است که دچار کمبود مواد خام برای تولید کودهای فسفاتی می‌باشند. معادن خاک فسفات از جمله آسفوردی یزد در کشور مان وجود دارد. با این وجود مصرف مستقیم آن به‌دلیل حلالیت کم به‌ویژه در خاک‌های آهکی با مشکل مواجه است. ورمی‌کمپوست دارای ریزجانداران و فاکتورهای محرک رشد و عناصر به‌خصوص فسفر به شکل‌های آلی و معدنی است. قارچ‌های میکوریزی نیز در انحلال فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی و جذب فسفر و رشد گیاهان همزیست نقش به‌سزایی دارند. تولید ارگانیک گیاه کاهو نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آن‌جا که اطلاعات موجود بر روی تأثیر منابع فسفات در حضور قارچ آربوسکولار و ورمی‌کمپوست بر رشد کاهو در خاک آهکی بسیار اندک می‌باشد، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر قارچ *کلاروییدوگلوموس اتونیکاتوم*[1]، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر کلنیزاسیون ریشه و برخی خصوصیات رویشی و جذب فسفر گیاه کاهو انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در گلخانه بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و با سه فاکتور انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ در دو سطح (بدون قارچ و دارای قارچ)، منابع فسفات در چهار سطح (شاهد، خاک فسفات معدن آسفوردی یزد، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل به‌میزان ٢٥ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، ورمی‌کمپوست در دو سطح (شاهد و یک درصد وزنی خاک)، انجام شد. خاک مورد نیاز برای پژوهش از عمق صفر تا ٣٠ سانتی‌متری خاک آهکی سری دانشکده با نام علمی (Fine, mixed, mesic, Typic Calcixerepts) واقع در منطقه باجگاه فارس جمع‌آوری شد. نمونه‌ها پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری جهت تجزیه شیمیایی آماده شد. برخی

1- *Claroideoglomus etunicatum*

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند پ‌هاش، بافت خاک، ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، نیتروژن، فسفر قابل‌استفاده و غلظت عناصر کم‌مصرف کاتیونی (منگنز، مس،روی، و آهن) و پتاسیم با روش‌های استاندارد تعیین شد. ورمی‌کمپوست مورد نیاز، از مزرعه ورمی‌کمپوست دانشکده کشاورزی تهیه شده، پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، خواص شیمیایی آن تعیین شد. اندازه گیری نیتروژن کل به روش کلدال (۸) و ماده آلی به روش اکسیداسیون با بی‌کرومات پتاسیم و سپس تیتر کردن با فروآمونیوم سولفات (۲۹)، پ‌هاش (٤۳) و قابلیت هدایت الکتریکی (۳۷) در نمونه‌های ورمی‌کمپوست با نسبت ۱ به ۵ (ورمی‌کمپوست به آب)، فسفر به روش زرد مولیبدات وانادات (۱۱)، عناصر کم‌مصرف به روش خشک سوزانی، حل خاکستر در اسید کلریدریک دو مولار و اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA670 (۱۱) و پتاسیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (۳۳) انجام شد. ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در جدول یک آورده شده است. جهت تکثیر قارچ آربوسکولار مورد استفاده در این پژوهش، از روش کشت تله‌ای و با استفاده از گیاه میزبان ذرت استفاده شد (٤٤). در عمق ۵ سانتی‌متری از سطح بستر، مقدار ۱۵۰ گرم از زادمایه قارچ *کلاروییدوگلوموس اتونیکاتوم* (حاوی اسپور، ریشه‌های کلنیزه شده گیاه و خاک بستر) پخش و با خاک زیرین مخلوط گردید و د رادامه با لایه‌ای از خاک، بستر پوشانده شد. زادمایه اولیه قارچ از بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه شد. هم‌زمان گلدان‌های شاهد بدون قارچ نیز نگهداری گردید. پس از پایان دوره رشد ذرت، گیاهان برداشت شده و محتویات داخل گلدان‌ها درون کیسه‌های پلاستیکی خالی و در یخچال نگهداری شد. پتانسیل زادمایه شامل ۷۵ درصد کلنیزاسیون ریشه و ۱۰ اسپور در هر گرم بستره بود که بر اساس روش زارعی (۲۰۰۸) تعیین گردید (٤٤). ابتدا نمونه‌های چهار کیلوگرمی از خاک هوا خشک غیراستریل درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، عناصر غذایی (به‌جز فسفر) شامل نیتروژن از منبع اوره (۱۷۵ میلی‌گرم اوره در کیلوگرم خاک در سه نوبت) منگنز از منبع سولفات منگنز (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، مس از منبع سولفات مس (۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، روی از منبع سولفات روی (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و آهن از منبع سکسترین آهن (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به خاک اضافه شد. منابع فسفات شامل خاک فسفات تهیه شده از معدن اسفوردی یزد، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل هر کدام به مقدار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک و سپس ورمی‌کمپوست در سطح ۱ درصد وزنی به خاک اضافه و سپس خاک‌ها به گلدان‌های ٤ کیلوگرمی انتقال داده شد. در تیمارهای قارچی، زادمایه قارچ *کلاروییدوگلوموس اتونیکاتوم* به‌میزان ۵۰ گرم در زیرلایه‌ای از خاک (عمق تا پنج سانتیمتری) اضافه شد. در تیمارهای شاهد بدون قارچ نیز به‌منظور یکسان‌سازی شرایط برای تمامی گلدان‌ها، به‌میزان ۵۰ گرم بستر گلدان‌های بدون قارچ مرحله تکثیر شده اضافه گردید. در هر گلدان ۵ بذر کاهو رقم فردوس (Ferdos) کشت شد. پس از جوانه‌زنی، تعداد بوته‌ها به ۲ عدد کاهش یافت. در طول دوره رشد بوته‌های کاهو توسط آب مقطر در حدود ظرفیت مزرعه آبیاری شدند. حدود ۱۰ هفته بعد از کاشت، شاخص سبزینگی به‌وسیله کلرفیل‌متر مدل SPAD-502 بر روی برگ‌های تازه کاملاً توسعه‌یافته در هر دو بوته خوانده شده و میانگین کلرفیل دو گیاه در هر گلدان به‌عنوان متوسط کلرفیل برای هر یک از تکرارهای یک تیمار در نظر گرفته شد. پس از گذشت مرحله داشت کاهو، گیاهان از محل طوقه قطع شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر، تعداد برگ قابل تشخیص دو بوته شمارش شده و

پس از شستشو با آب مقطر، گیاهان درون پاکت قرار داده شده و به‌مدت یک هفته در آون با دمای ٦٥ درجه سلسیوس خشک شد. سپس وزن خشک گیاهان اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری غلظت فسفر در اندام هوایی گیاهان، از روش خشک سوزانی[1] استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا یک گرم از پودر گیاهی توزین و در بوته چینی ریخته شد و در کوره به‌صورت خاکستر در آمد. خاکستر حاصل، در ٥ میلی اسید کلریدریک ٢ نرمال حل شده و پس از عبور از کاغذ صافی ٤١، در بالون ٥٠ میلی‌لیتر با آب مقطر داغ شسته و سپس به حجم رسانده شد. در نهایت اندازه‌گیری فسفر کل گیاه با روش زرد و عصاره‌گیر آمونیوم مولیبدات و آمونیوم وانادایت (١١)، انجام گردید. رنگ‌آمیزی ریشه به روش کورمانیک و مک گراو و با رنگ فوشین اسیدی (١٩٨٢) انجام شد (٢٥). اندام‌های قارچی در زیر استریومیکروسکوپ با بزرگنمایی ٧٠x مشاهده و درصد کلنیزاسیون ریشه تعیین گردید (٤٤). در پایان داده‌های به‌دست آمده در نرم‌افزار Excel آماده‌سازی شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل تیمارها به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS توسط آزمون LSD انجام گردید.

نتایج و بحث

اثر قارچ آربوسکولار، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر درصد کلنیزاسیون ریشه کاهو: در تیمارهای بدون قارچ درصد کلنیزاسیون ریشه بین ٢ تا ١٠ درصد، در حالی‌که در تیمارهای مایه‌زنی‌شده با قارچ بین ٣٧ تا ٨٣ درصد متغیر بوده است (جدول ٣). نتایج بیانگر این است که در خاک مورد استفاده جمعیت قارچ‌های بومی پایین بوده و همچنین با مایه‌زنی قارچ درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها افزایش معنادار یافته است. نتایج جدول ٢ نشان می‌دهد که افزودن ورمی‌کمپوست سبب افزایش ١٥ درصدی کلنیزاسیون ریشه کاهو شد اما اضافه کردن منابع فسفات تأثیر منفی بر آن داشت. خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل درصد کلنیزاسیون ریشه کاهو را به‌ترتیب ١١، ١٤ و ٢٥ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. نتایج جدول مقایسه میانگین ٣ نشان می‌دهد که حداکثر کلنیزاسیون ریشه در تیمار ورمی‌کمپوست مایه‌زنی شده با قارچ و در عدم حضور منابع فسفات مشاهده شد. در تیمارهای مایه‌زنی با قارچ، سوپر فسفات تریپل و خاک فسفات درصد کلنیزاسیون ریشه را نسبت به تیمارشاهد به‌ترتیب ٥٠ و ١٠ درصد کاهش داد.

باگیاراج (١٩٩٠) گزارش کرد که بالا بودن فسفر خاک موجب کاهش جمعیت و فعالیت فیزیولوژیک قارچ در خاک می‌شود (٥ و ٢٦). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که استفاده از مقادیر بالای کود فسفره سبب کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه می‌گردد (٣٦). اسمیت و رید (٢٠٠٨) گزارش کردند که سطوح بالاتر از نیاز گیاه در خاک سبب حذف آربوسکول قارچ می‌گردد (٤١). نتایج نشان می‌دهد که کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه کاهو شد. کاوندر و همکاران (٢٠٠٣) گزارش کردند که افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه در حضور ورمی‌کمپوست ممکن است به‌دلیل حضور ریزجانداران مفید در ورمی‌کمپوست باشد که به‌طور مستقیم بر قارچ اثر می‌گذارد، یا این‌که به‌طور غیرمستقیم و با تأثیر بر گیاه میزبان و افزایش رشد ریشه‌ها، سبب افزایش ترشحات ریشه‌ای و درصد کلنیزاسیون ریشه می‌شود (١٠). استفاده از کودهای زیستی سبب بهبود شرایط خاک شده و سبب تشدید فعالیت ریزجانداران خاک می‌شود و اثرات تشدیدکننده و مفید بین ریزجانداران خاک، کلنیزاسیون ریشه گیاهان را افزایش می‌دهد (١٣). نتایج مشابه این پژوهش که بیانگر اثرات مثبت کودهای آلی بر درصد کلنیزاسیون ریشه است توسط گلسینگ و همکاران (٢٠٠٦) ارائه شده است.

1- Dry ash

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست و خاک مورد استفاده.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the used soil and vermicompost.

خاک Soil	ورمی‌کمپوست Vermicompost	ویژگی Characteristics
13	-	شن (درصد) Sand (%)
51	-	سیلت (درصد) Silt (%)
36	-	رس (درصد) Clay (%)
لوم رسی سیلتی Silty clay loam	-	بافت Soil texture
0.63	5.8	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)
7.5	7.75	پ‌هاش pH
0.85	44.2	ماده آلی (درصد) O.M
0.03	2.15	نیتروژن کل (درصد) Total N
12.4	14194	فسفرکل/ اولسن (میلی‌گرم در کیلوگرم) P Total/Olsen ($mg\ kg^{-1}$)
620	10000	پتاسیم کل/ قابل استفاده گیاه (میلی‌گرم در کیلوگرم) K Total/ Available ($mg\ kg^{-1}$)
5.5	3274	آهن کل/ قابل استخراج با دی تی پی ا (میلی‌گرم در کیلوگرم) Fe Total/ DTPA ($mg\ kg^{-1}$)
12.2	248.8	منگنز کل/ قابل استخراج با دی تی پی ا (میلی‌گرم در کیلوگرم) Mn Total/ DTPA ($mg\ kg^{-1}$)
1.62	28.7	مس کل/ قابل استخراج با دی تی پی ا (میلی‌گرم در کیلوگرم) Cu Total/ DTPA ($mg\ kg^{-1}$)
0.6	112.3	روی کل/ قابل استخراج با دی تی پی ا (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zn Total/ DTPA ($mg\ kg^{-1}$)
24	-	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم) CEC ($Cmol^{+}\ kg^{-1}$)

* مقادیر کل عناصر مربوط به ورمی‌کمپوست می‌باشد.

* The total amount of elements is related to vermicompost.

اثر قارچ‌آربوسکولار، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر وزن تر و خشک اندام هوایی کاهو: بر طبق نتایج جدول ۲، مایه‌زنی قارچ سبب افزایش غیرمعنادار وزن تر اندام هوایی شد. افزودن ورمی‌کمپوست نیز وزن تر اندام هوایی کاهو را ۱۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. بیش‌ترین وزن تر در تیمارهای سوپر فسفات تریپل مشاهده شد که نسبت به شاهد ۲۶ درصد افزایش یافت. افزودن خاک فسفات، وزن تر کاهو را ۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. کاربرد تری کلسیم فسفات سبب کاهش و کاربرد سوپر فسفات تریپل سبب افزایش معنادار وزن تر کاهو شد.

نتایج مقایسه میانگین جدول ۳ نشان می‌دهد که در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست، مایه‌زنی قارچ به همراه تری کلسیم فسفات یا سوپر فسفات تریپل، وزن تر اندام هوایی کاهو را به‌طور معنادار افزایش داد. در تیمارهای بدون مایه‌زنی قارچ، استفاده هم‌زمان از ورمی‌کمپوست به همراه خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل وزن تر کاهو را در مقایسه با تیمارهای ورمی‌کمپوست به‌طور معنادار افزایش داد. هر چند که میان خاک فسفات و تری کلسیم فسفات با سوپر فسفات تریپل تفاوت معناداری مشاهده نشد. در شرایط مایه‌زنی قارچ، کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست با خاک فسفات و تری کلسیم فسفات، وزن تر را به‌طور معنادار در مقایسه با تیمارهای بدون ورمی‌کمپوست افزایش داد. در تیمارهای دارای قارچ و ورمی‌کمپوست، تفاوت معناداری میان تیمارهای تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل مشاهده نشد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی (جدول ۲) نشان می‌دهد که مایه‌زنی قارچ سبب افزایش ۲۱ درصدی وزن خشک کاهو شد. افزودن ورمی‌کمپوست نیز وزن خشک اندام هوایی را ۲۰ درصد افزایش داد. خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل نیز به‌ترتیب سبب افزایش ۱۵ و ۲۲ درصدی وزن خشک کاهو شد. نتایج نشان می‌دهد که در تیمارهای بدون مایه‌زنی قارچ، کاربرد هم زمان ورمی‌کمپوست و خاک فسفات/ تری کلسیم فسفات، وزن خشک کاهو را نسبت به تیمارهای بدون ورمی‌کمپوست به‌طور معنادار افزایش داد (جدول ۳). در شرایط مایه‌زنی قارچ، کاربرد ورمی‌کمپوست به همراه تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل، وزن خشک کاهو را نسبت به تیمارهای بدون ورمی‌کمپوست افزایش داد. در تیمارهای بدون ورمی‌کمپوست، مایه‌زنی قارچ به خاک فسفات و تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل سبب افزایش معنادار وزن خشک نسبت به تیمارهای بدون مایه‌زنی قارچ گردید. همچنین در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست، مایه‌زنی قارچ به تیمارهای بدون منبع فسفات و دارای منابع فسفات وزن خشک را به‌طور معنادار افزایش داد. به‌طورکلی بیش‌ترین وزن خشک کاهو در تیمار ورمی‌کمپوست و سوپر فسفات تریپل مایه‌زنی شده با قارچ به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲/۹ برابر شده بود. بوستامانت و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که فراهمی بالای عناصر به‌ویژه فسفر و نیتروژن در کمپوست سبب افزایش وزن تر و خشک کاهو می‌شود (۹). کودهای آلی با افزایش فعالیت‌های زیستی در محیط ریشه، بهبود ساختمان خاک و افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی، سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌گردند (۳۵ و ٤۰). ساینز و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست به‌دلیل دارا بودن مقادیر بالای عناصر غذایی قابل‌دسترس و ریزجانداران مفید، سبب بهبود غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی شبدر قرمز و خیار شده و وزن تر و خشک را افزایش می‌دهد (۳۹). حیدریان پور و همکاران (۲۰۱٤) نیز گزارش کردند که کاربرد ۲/۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست سبب افزایش وزن خشک آفتابگردان می‌شود (۲۱). قارچ با گسترش شبکه‌های هیف در خاک سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی شده و وزن تر و خشک گیاه را افزایش می‌دهند (۱٦). باسلم و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که مایه‌زنی قارچ *گلوموس فاسیکولاتوم* به کاهو موجب افزایش وزن تر اندام هوایی می‌شود (٦). کوهلر و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند که مایه‌زنی قارچ میکوریز به کاهو سبب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی می‌شود (۲٤). گرنت لیپ و گودال (۱۹۵۷) گزارش کردند که با افزایش فسفر قابل‌استفاده، وزن خشک نیز افزایش می‌یابد (۱۹) که با نتایج این پژوهش نیز مطابقت دارد. نتایج رضوانی و همکاران (۲۰۱۱) نشان

داد که بیش‌ترین وزن خشک سویا ابتدا در تیمار سوپر فسفات تریپل و سپس در تیمار خاک فسفات مشاهده شد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (۳۶). کاربرد خاک فسفات همراه با کودهای زیستی، سبب افزایش فسفر قابل‌جذب می‌گردد (جدول ۳) که به‌دنبال آن رشد گیاه نیز می‌تواند افزایش یابد. شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد که ریشه‌های گیاهان میکوریزی قادر به استفاده از منابع نامحلول فسفر در خاک که قابل دسترس ریشه گیاه نیستند می‌باشند (۵). نتایج بررسی گیانشوار و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که جهت کمک به‌منظور افزایش اثربخشی زراعی سنگ فسفات می‌توان از قارچ استفاده کرد (۲۰).

جدول ۲- اثرات اصلی قارچ آربوسکولار، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر کلنیزاسیون ریشه، برخی ویژگی‌های رویشی و جذب فسفر کاهو.

Table 2. Main effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungus, vermicompost and phosphate sources on root colonization, some growth parameters and phosphorus uptake of lettuce.

	تیمار Treatment	درصد کلنیزاسیون ریشه Root colonization (%)	وزن تر (گرم در گلدان) Fresh weight (g pot^{-1})	وزن خشک (گرم در گلدان) Dry weight (g pot^{-1})	تعداد برگ (میانگین دو بوته) Number of leaves	شاخص سبزینگی Chlorophyll index	جذب فسفر (میلی‌گرم در گلدان) P uptake (mg pot^{-1})
قارچ F	بدون قارچ No F	4.268 B	306.37 A	16.9083 B	30.66 A	31.97 A	76.342 B
	مایه‌زنی‌شده AM inoculated	57.698 A	310.01 A	20.4708 A	31 A	33.36 A	98.158 A
ورمی‌کمپوست V	0	28.721 B	286.41 B	16.9521 B	29.6 B	31.6323 B	76.083 B
	1%	33.245 A	329.97 A	20.4271 A	32.06 A	33.7146 A	98.417 A
منابع فسفات PS	شاهد Control	35.557 A	283.55 C	16.8125 C	29.167 B	36.431 A	71.084 D
	خاک فسفات RP	31.392 B	305.8 B	19.7875 B	31.042 AB	32.021 B	93.225 B
	تری کلسیم فسفات TCP	30.461 B	284.135 C	17.1458 C	30.333 B	31.87 B	79.387 C
	سوپر فسفات تریپل TSP	26.523 C	359.304 A	21.0125 A	32.792 A	30.36 B	105.303 A

* اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک بزرگ هستند، از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد از آزمون LSD معنادار نمی‌باشند.

* Values followed by the same capital letter at each column are not significantly different at LSD test (P<0.05).

F: Fungi, V: Vermicompost, PS: Phosphate Sources, RP: Rock Phosphate, TCP: Tricalcium Phosphate, TSP: Triple Super Phosphate.

جدول ۳- تأثیر قارچ آربوسکولار، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر کلنیزاسیون ریشه، برخی ویژگی‌های رویشی و جذب فسفر کاهو.

Table 3. Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungus, vermicompost and phosphate sources on root colonization, some growth parameters and phosphorus uptake of lettuce.

تیمار Treatments								
مایه‌زنی‌شده با قارچ AM inoculated				بدون قارچ No fungus				ورمی‌کمپوست (درصد) Vermi compost
SP	TCP	RP	P_0	SP	TCP	RP	P_0	
Root colonization				کلنیزاسیون ریشه کاهو (درصد)				
37.11 ^{d}	55.23 ^{c}	53.12 ^{c}	58.23 ^{c}	2.62 ^{f}	2.86 ^{f}	2.14 ^{f}	3.57 ^{ef}	0
42.67 ^{d}	58.33 ^{c}	75.54 ^{b}	83.33 ^{a}	2.50 ^{f}	4.33 ^{ef}	6.11 ^{ef}	10.00 ^{e}	1
Fresh weight (g pot^{-1})								
386.25 ^{a}	278.53 ^{de}	219.90 ^{fg}	194.50 ^{g}	300.57 ^{cd}	199.80 ^{fg}	239.85 ^{ef}	306.45 ^{cd}	0
386.30 ^{a}	356.47 ^{ab}	324.45 ^{bc}	333.75 ^{bc}	388.50 ^{a}	350.00 ^{ab}	364.10 ^{ab}	301.75 ^{cd}	1
Dry weight (g pot^{-1})				وزن خشک (گرم در گلدان)				
23.00 ^{bc}	14.45 ^{g}	20.96 ^{de}	11.10 ^{h}	20.33 ^{ef}	11.50 ^{h}	15.30 ^{g}	10.25 ^{h}	0
26.90 ^{a}	20.85 ^{de}	22.60 ^{bcd}	23.90 ^{b}	21.85 ^{cde}	18.70 ^{f}	22.03 $^{b-e}$	15.30 ^{g}	1
Number of leaves (plant's average)				تعداد برگ (میانگین دو بوته)				
34.17 ^{a}	28.17 ^{cde}	27.83 ^{cde}	26.33 ^{e}	33.00 ^{ab}	29.00 $^{b-e}$	26.83 ^{de}	31.50 $^{a-d}$	0
32.17 ^{abc}	31.83 ^{abc}	33.00 ^{ab}	34.50 ^{a}	31.83 ^{abc}	27.67 ^{cde}	33.67 ^{ab}	31.83 ^{abc}	1
Chlorophyll index				شاخص سبزینگی				
29.80 ^{fg}	28.10 ^{g}	30.58 ^{efg}	30.10 ^{efg}	33.12 $^{c-f}$	31.02 $^{d-g}$	34.68 $^{b-e}$	35.65 ^{bcd}	0
37.37 ^{abc}	38.47 ^{ab}	30.32 ^{efg}	42.20 ^{a}	21.17 ^{h}	29.90 ^{efg}	32.50 $^{d-g}$	37.77 ^{abc}	1
P uptake (mg pot^{-1})				جذب فسفر (میلی‌گرم در گلدان)				
115.65 ^{b}	89.30 ^{efg}	106.96 ^{bc}	57.42 ^{ij}	81.93 ^{fgh}	53.16 ^{j}	69.70 ^{hi}	34.54 ^{k}	0
117.06 ^{b}	93.57 ^{def}	153.07 ^{a}	83.12 ^{fg}	104.42 ^{bcd}	79.25 ^{gh}	98.81 ^{cde}	58.02 ^{ij}	1

* اعدادی که در هر ردیف دارای یک حرف مشترک کوچک هستند، از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد با آزمون LSD معنادار نمی‌باشند.

P_0، RP، TCP، SP به‌ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای بدون منبع فسفات، خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل می‌باشند.

* Values followed by the same small letter are not significantly different at LSD test ($P<0.05$).

P_0, RP, TCP and SP indicate: without phosphate source, rock phosphate, tricalcium phosphate and triple super phosphate treatments, respectively.

اثر قارچ آربوسکولار، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر تعداد برگ کاهو: با توجه به جدول مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی (جدول ۲) افزودن ورمی‌کمپوست سبب افزایش ۸ درصدی تعداد برگ کاهو نسبت به شاهد شد. مایه‌زنی قارچ نیز تعداد برگ کاهو را به‌صورت غیرمعنادار افزایش داد. از میان منابع فسفات، بیش‌ترین تعداد برگ کاهو، در تیمار سوپر فسفات تریپل مشاهده می‌شود که نسبت به شاهد ۵ درصد افزایش غیرمعنادار یافت. سایر منابع فسفات تفاوت معناداری با شاهد نداشتند. نتایج مقایسه میانگین جدول ۳ نشان می‌دهد که در شرایط بدون مایه‌زنی قارچ و مایه‌زنی‌شده با قارچ، استفاده هم زمان از ورمی‌کمپوست و خاک فسفات، تعداد برگ کاهو را به‌طور معنادار نسبت به تیمار بدون

ورمی‌کمپوست افزایش داد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در شرایط مایه‌زنی قارچ و بدون مایه‌زنی قارچ، در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست تفاوت معناداری بین خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل در تعداد برگ کاهو مشاهده نشد. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد ورمی‌کمپوست، تعداد برگ کاهو را به‌طور معنادار افزایش داد. ورمی‌کمپوست حاوی مقادیر بالای عناصری مانند نیتروژن و فسفر می‌باشد. با افزایش مقدار نیتروژن، تعداد برگ کاهو نیز افزایش می‌یابد (۲۲). پاپاتاناسیو و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که استفاده از ورمی‌کمپوست سبب افزایش تعداد برگ کاهو می‌شود (۳٤). افزایش رشد و توسعه گیاهان در حضور ورمی‌کمپوست به‌دلیل وجود مقادیر بالای هیومیک اسید و عناصر پرمصرف و کم‌مصرف می‌باشد (۳). مایه‌زنی قارچ، سبب افزایش غیرمعنادار تعداد برگ کاهو شد. نتایج باسلم و همکاران (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که مایه‌زنی قارچ *گلوموس فاسیکولاتوم* موجب افزایش تعداد برگ کاهو نسبت به کاهوهای بدون مایه‌زنی شد (٦). نتایج اسماعیل‌پور و امانی (۲۰۱٤) نیز نشان داد که مایه‌زنی کاهو با قارچ *گلوموس اینترارادیسز* و قارچ *گلوموس فاسیکولاتوم* تعداد برگ کاهو را افزایش می‌دهد (۱٦).

اثر قارچ آربوسکولار، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر شاخص سبزینگی در کاهو: نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی (جدول ۲) نشان می‌دهد که مایه‌زنی قارچ سبب افزایش غیرمعنادار شاخص سبزینگی گردید. افزودن ورمی‌کمپوست شاخص سبزینگی را نسبت به شاهد ٦ درصد افزایش داد. اما افزودن منابع فسفات سبب کاهش معنادار شاخص سبزینگی گردید. افزودن خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل به‌ترتیب شاخص سبزینگی را ۱۲، ۱۲/۵ و ۱٦ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست، مایه‌زنی قارچ به همراه تری کلسیم فسفات یا سوپر فسفات شاخص سبزینگی را به‌ترتیب ۲۸ و ۷٦ درصد و به‌طور معنادار نسبت به تیمارهای بدون قارچ افزایش داد. در شرایط بدون مایه‌زنی قارچ، استفاده هم‌زمان از ورمی‌کمپوست به همراه خاک فسفات و تری کلسیم فسفات شاخص سبزینگی را به‌طور غیرمعنادار و به همراه سوپر فسفات شاخص سبزینگی را به‌طور معنادار نسبت به تیمارهای بدون ورمی‌کمپوست کاهش داد. در شرایط مایه‌زنی با قارچ، استفاده هم زمان از ورمی‌کمپوست به همراه تری کلسیم فسفات یا سوپر فسفات تریپل، شاخص سبزینگی را به‌طور معنادار نسبت به تیمارهای بدون ورمی‌کمپوست افزایش داد که تفاوت معناداری میان تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل وجود نداشت. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد ورمی‌کمپوست و همچنین سوپر فسفات تریپل، شاخص سبزینگی را به‌طور معنادار کاهش داد. افزایش رشد گیاه سبب افزایش اندازه سلول‌ها شده و همین امر سبب کاهش محتوای کلروفیل در آن‌ها می‌شود (۳۰). کاربرد منابع فسفات موجب افزایش رشد گیاه و در نتیجه کاهش محتوای کلرفیل در برگ‌ها شده است. هنگامی که کاهو در ورمی‌کمپوست رشد یافت، مقدار کلروفیل نسبت به کاهوهای رشد یافته در مخلوط ورمی‌کمپوست و بقایای دام کاهش یافت (۲۸). نتایج نشان می‌دهد که مایه‌زنی قارچ نیز عدد قرائت شده به‌وسیله کلرفیل‌متر را به‌طور غیرمعنادار افزایش داد. اطمینان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که مایه‌زنی قارچ *گلوموس موسه* سبب افزایش مقدار کلروفیل در گیاه کاهو می‌گردد (۱۷). آقابابایی و رییسی (۲۰۱۱) گزارش کردند که کلروفیل برگ با مایه‌زنی با قارچ افزایش می‌یابد و این افزایش را به‌دلیل افزایش جذب فسفر و سایر عناصر غذایی در گیاه توسط قارچ عنوان کردند

(۱). نتایج باسلم و همکاران (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که مایه‌زنی قارچ باعث افزایش کلرفیل در برگ‌های بیرونی و درونی کاهو شد (٦).

اثر قارچ آربوسکولار، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر جذب فسفر در اندام هوایی کاهو: نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی (جدول ۲) نشان می‌دهد که مایه‌زنی قارچ آربوسکولار موجب افزایش ۲۸ درصدی جذب فسفر در اندام هوایی کاهو شد. قارچ‌های آربوسکولار در افزایش جذب فسفر گیاهان نقش مهمی دارند (٤١). همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست، جذب فسفر را در اندام هوایی کاهو، ۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در ورمی‌کمپوست فسفر آلی و معدنی و ریزجانداران محرک رشد حل‌کننده فسفات نامحلول و ترکیبات کلات‌کننده وجود دارد که جذب فسفر را افزایش می‌دهند (٤ و ٥). کاربرد خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل، جذب فسفر را به‌ترتیب ۳۱، ۱۱ و ٤٨ درصد افزایش داد. همان‌طور که در جدول ۳ قابل مشاهده است، در تیمارهای با و بدون ورمی‌کمپوست، کاربرد خاک فسفات به همراه مایه‌زنی قارچ آربوسکولار، جذب فسفر را به‌طور معنادار و افزایش داد. به‌طوری‌که بیش‌ترین جذب فسفر در تیمارهای ورمی‌کمپوست و خاک فسفات مایه‌زنی‌شده با قارچ مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۳/٤ برابر افزایش داشت. همچنین در تیمارهای بدون مایه‌زنی قارچ، کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و منابع فسفات، جذب فسفر را به‌طور معنادار نسبت به تیمارهای بدون منابع فسفات افزایش داد. در تیمارهای بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی‌شده با قارچ آربوسکولار، کاربرد تری کلسیم فسفات و ورمی‌کمپوست، جذب فسفر را به‌طور معنادار افزایش داد. نتایج نشان می‌دهد که در تیمارهای با و بدون ورمی‌کمپوست، کاربرد هم‌زمان خاک فسفات یا تری کلسیم فسفات با قارچ آربوسکولار، جذب فسفر را به‌طور معنادار نسبت به تیمارهای بدون مایه‌زنی افزایش داد. کوهلر و همکاران (۱۹۸۹) گزارش کردند که همزیستی ریشه گیاهان با ریزجاندارانی مانند قارچ‌های میکوریزی موجب افزایش غلظت دی اکسید کربن، ترشح پروتون و ترکیبات کلات‌کننده در محیط ریشه شده و همین عوامل انحلال فسفات‌های کم‌محلول را افزایش می‌دهد. رضوانی و همکاران (۲۰۱۱) نتایج مشابه‌ای نشان دادند (۳٦). این فسفات‌ها سپس به‌وسیله هیف‌های خارجی قارچ میکوریز جذب‌شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (٢٤) همچنین آنزیم فسفاتاز ترشح شده از قارچ میکوریز و سایر ریزجانداران، باعث می‌شود که فسفر آلی نامحلول به‌صورت قابل‌جذب درآمده و در دسترس گیاه قرار گیرد (۲۳). جذب فسفر اندام هوایی در تیمارهای بدون ورمی‌کمپوست و در حضور قارچ و سوپر فسفات تریپل افزایش معنادار در صورتی‌که در شرایط با کاربرد ورمی‌کمپوست، در حضور قارچ و سوپر فسفات، تغییر معنادار مشاهده نگردید (جدول ۳).

این موضوع می‌تواند به‌دلیل تأثیرات منفی فسفر مضاعف موجود در کود سوپر فسفات تریپل و احتمالاً ورمی‌کمپوست بر کلنیزاسیون ریشه کاهو باشد. نتایج مروت (۲۰۱۱) نشان داد که مایه‌زنی قارچ به همراه مونوکلسیم فسفات موجب افزایش جذب فسفر در اندام هوایی گیاه ذرت می‌شود (۲۷). نتایج کوزولینو و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که افزودن پتاسیم فسفات به همراه مایه‌زنی قارچ *گلوموس اینترارادیسز* موجب افزایش جذب فسفر در کاهو می‌شود (۱۲).

نتیجه‌گیری کلی

استفاده هم‌زمان از قارچ، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات سبب افزایش وزن تر، وزن خشک و تعداد

برگ و جذب فسفر بوته کاهو گردید. شاخص سبزینگی نیز در تیمارهای مایه‌زنی‌شده با قارچ به همراه ورمی‌کمپوست، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد که تفاوتی میان خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل در وزن تر در تیمارهای ورمی‌کمپوست بدون مایه‌زنی قارچ، تعداد برگ در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی شده با قارچ و جذب فسفر خاک فسفات و سوپر فسفات در تیمارهای ورمی‌کمپوست با یا بدون مایه‌زنی با قارچ مشاهده نشد. از آن‌جا که وزن تر، تعداد برگ و شاخص سبزینگی کاهو از مهم‌ترین ویژگی‌های مورد نظر در بازاریابی این سبزی است، در تولید گلخانه‌ای و گلدانی آن به جای استفاده از کودهای شیمیایی فسفره مانند سوپر فسفات تریپل، می‌توان از خاک فسفات به همراه کودهای زیستی از جمله قارچ‌های آربوسکولار و ورمی‌کمپوست استفاده کرد که علاوه بر کاهش مواد شیمیایی در زیست‌توده گیاه و هزینه‌ها و افزایش رشد گیاه، موجب حفظ و سلامتی محیط زیست نیز گردد.

منابع

1.Aghababaei, F., and Raiesi, F. 2011. The influence of mycorrhizal symbiosis on chlorophyll, photosyntetise and water use efficiency in four almond genotypes in Chahar Mahal va Bakhtiary. J. Water. Soil. Sci. (J. Sci. Technol. Agric. Natural Res.). 15: 56. 91-102. (In Persian)

2.Antunes, P.M., Schneider, K., Hillis, D., and Klironomos, J.N. 2007. Can the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* actively mobilize P from rock phosphates? Pedobiologia. 51: 281-286.

3.Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D., and Lucht, C. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. Pedobiologia. 49: 4. 297-306.

4.Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource. Technol. 93: 145-153.

5.Bagyaraj, D.J. 1990. Ecology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. P 3-34, In: D.K. Arora, B. Rai, K.G. Mukerjii and G.R. Knudsen (Eds.), Handbook of Applied Mycology. Soil and Plants. Marcel Dekker, NewYork.

6.Baslam, M., Garmendia, I., and Goicoechea, N. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown lettuce. J. Agric. Food. Chem. 59: 5504-5515.

7.Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant. Soil. 134: 189-207.

8.Bremner, J.M. 1996. Nitrogen total. P 1085-1122, In: Sparks, D.L., A. Klute, and A.L. Page. (eds.), Methods of Soil Analysis, part III, 3rd ed., American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI.

9.Bustamante, M.A., Paredes, C., Moral, R., Agullo, E., Perez-Murcia, M.D., and Abad, M. 2008. Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. Resour. Cons. Rec. 52: 792-799.

10.Cavender, N.D., Atiyeh, R.M., and Kneer, M. 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. Pedobiologia. 47: 85-89.

11.Chapman, H.I., and Pratt, P.F. 1961. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. The University of California's Division of Agricultural Science, Berkeley, California, USA.

12.Cozzolino, V., Pigna, M., Di Meo, V., Caporale, A.G., and Violante. A. 2010. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on the growth of *Lactuca sativa* L. and arsenic and phosphorus availability in an arsenic polluted soil under non-sterile conditions. Appl. Soil. Ecol. 45: 262-268.
13.Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rejali, F. 2008. Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iran. J. Crop. Sci. 10: 1. 88-109. (In Persian)
14.Edwards, C.A., and Burrows, I. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. P 211-220, In: C.A. Neuhauser (Eds.), Earthworms in Environmental and Waste Management. SPB Academic Publishing b.v. The Netherlands.
15.Edwards, C.A., Domínguez, J., and Arancon, N.Q. 2004. The influence of vermicomposts on plant growth and pest incidence. P 397-420, In: S.H. Shakir and W.Z.A. Mikhaïl (Eds.), Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century, Cairo.
16.Esmaielpour, B., and Amani, N. 2014. Investigating the effect of mycorrhizal inoculation on growth and uptake of nutrients in *Lactuca sativa* cv. Syaho. J. Soil Manage. Sust. Prod. 4: 2. 49-69. (In Persian)
17.Etminan, S., Alemzadeh ansari, N., Mahmodi Sorestani, M., and Eskandari, F. 2012. Effect of three species of fungi, *Glomus mosseae* ،*G. fasiculatum* and *G. intraradices* on the growth of ahwazi lettuce under salt stress. 8th Iranian horticultural sciences congress. Pp: 1408-1412. (In Persian)
18.Grant Lipp, A.E., and Goodall, D.W. 1957. Nutrient interactions and deficiency diagnosis in the lettuce. Aust. J. Biol. Sci. 11: 1. 30-44.
19.Gyaneshwar, P., Kumar, G.N., Parekh, L.J., and Pool, P.S. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant. Soil. 245: 83-93.
20.Heyderianpour, M.B., Sameni, A.M., Sheikhi, J., Karimian, N., and Zarei, M. 2014. Effect of vermicompost and nitrogen on growth, concentration, and uptake of nutrients in sunflower. J. Water Soil Sci. (J. Sci. Technol. Agric. Natural Res.). 18: 67. 217-227. (In Persian)
21.Hosseini, S., Kavoosi, B., and Rahimi, M.M. 2010. Nitrate content and vegetative growth as effected to different levels of nitrogen in three cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.). 05th National Conference on New Ideas in Agric. (In Persian)
22.Kim, K.Y., Jordan, D., and McDonald, G.A. 1998. Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. Biol. Fertil. Soils. 26: 79-87.
23.Kohler, J., Caravaca, F., Carrasco, L., and Roldan, A. 2007. Interaction between a plant growth-promoting rhizobacterium, an AM fungus and a phosphate-solubilizing fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa*. Appl. Soil Ecol. 35: 480-487.
24.Kormanik, P.P., and McGraw, A.C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant root. P 37-45, In: N.C. Schenk (Eds.), Methods and principles of mycorrhizal reseach, The American Phytopathological Society, St. Paul.
25.Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R.I., and Smith, D.L. 2000. Mycorrhizae formation and nutrient uptake of new corn (*Zea mays* L.) hybrids with extreme canopy and leaf architecture as influenced by soil N and P levels. Plant. Soil. 221: 157-166.
26.Morovvat, A. 2011. Effect of phosphorus and arbuscular mycorrhizae on chemical forms of phosphorus in a calcareous soil in con and sunflower. M.Sc. Thesis. Faculty of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University.
27.Muhammad, A., Griffiths, A.J., Williams, K.P., and Jones, D.L. 2007. Evaluating the growth characteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost. Eur. J. Soil. Biol. 43: 316-319.
28.Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 961-1010, In: Sparks, D.L., A. Klute, and A.L. Page. (eds.), Methods of Soil Analysis, part III, 3rd ed., American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI.

29.Nicolaeva, M.K., Maevskaya, S.N., Shugaev, A.G., and Bukhov, N.G. 2010. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. J. Plant. Physiol. 57: 87-95.
30.Nicolle, C., Cardinault, N., Gueux, E., Jaffrelo, L., Rock, E., Mazur, A., and Amouroux, P. 2004. Health effect of vegetable-based diet: lettuce consumption improves cholesterol metabolism and antioxidant status. Clin. Nutr. 23: 605-614.
31.Ortus, I., and Harris, P.J. 1996. Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen. Plant. Soil. 184: 225-264.
32.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Chemical and Microbiological Properties. P 1159-1164, In: Sparks, D.L., A. Klute, and A.L. Page. (eds.), Methods of soil analysis, part II, 2nd ed., American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, USA.
33.Papathanasiou, K., Papadopoulos, I., Tsakiris I., and Tamoutsidis, E. 2012. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.). J. Food. Agric. Environ. 10: 2. 677-682.
34.Raviv, M., Zaidman, B.Z., and Kapulnik, Y. 1998. The use of compost as a peat substitute for organic vegetable transplants production. Compost. Sci. Util. 6: 1. 46-52.
35.Rezvani, M., Afshang, B., Gholizadeh, A., and Zaefarian, F. 2011. Evaluation of mycorrhizal fungus and phosphate rock effectiveness on growth and uptake of phosphorous in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). J. Soil. Manage. Sust. Prod. 1: 2. 97-118. (In Persian)
36.Rhoades, J.D. 1996. Salinity, Electrical conductivity and total dissolved solids. P 417-436, In: D.L. Sparks (Eds.), Methods of Soil Analysis, part III, 3rd ed., eds., American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI.
37.Rodriguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. A review. Biotechnol. Adv. 17: 319-339.
38.Sainz, M.J., Taboada-Castro, M.T., and Vilariño, A. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. Plant. Soil. 205: 85-92.
39.Sansamma, G., and Pillai, G.R. 2000. Effect of vermicompost on yield and economics of guinea grass (*Panicum maximum*) grown as an intercrop in coconut (*Cocos nucifera*) gardens. Ind. J. Agron. 45: 4. 693-697.
40.Smith, S.E., and Read, D.J 2008. Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition). Academic Press. London, U.K.
41.Soltenfuss, J.H., and Doyle, W.J. 1999. Phosphorus for agriculture. Better crop with plant food issue. Potash and Phosphorus Institute (PPI). 83: 1-40.
42.Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. P 475-490, In: Sparks D.L., A. Klute, and A.L. Page. (eds.), Methods of Soil Analysis, part III, 3rd ed., American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI.
43.Zarei, M., Saleh-Rastin, N., Salehi Jouzani, Gh. Savaghebi, Gh., and Buscot, F. 2008. Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit. Eur. J. Soil. Biol. 44: 381-391.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 7(2), 2017
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of *Claroideoglomus etunicatum,* vermicompost and phosphate sources on root colonization and growth of lettuce

A. Khosravi[1], *M. Zarei[2] and A.M. Ronaghi[3]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shiraz University, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shiraz University, [3]Professor, Dept. of Soil Science, Shiraz University,
Received: 08/22/2016; Accepted: 12/18/2016

Abstract
Background and Objectives: Phosphorus is one of the important macro nutrients. Available phosphorus in calcareous soils is low, due to high pH and calcium carbonate and low amounts of organic matters and moisture, also phosphate minerals are insoluble in such conditions. Arbuscular mycorrhiza inoculation for improving plant growth and yield has become so attractive recently. The symbiosis between plant roots and arbuscular mycorrhizal fungi with increasing phosphorus uptake (through phosphorus uptake by extra and intraradical mycelia and also solubilizing inorganic and organic insoluble phosphates), other nutrients and water cause increase in plant growth. Vermicompost increases the growth of plants due to having nutrients, plant growth regulators and beneficial microorganisms. This research was conducted to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizal fungi, vermicompost and phosphate sources on root colonization, shoot fresh and dry weights, number of leaves, chlorophyll index and phosphorus uptake of lettuce in a calcareous soil.
Materials and Methods: A greenhouse experiments was conducted with factorial arrangement in a completely randomized design with three factors and replications in a calcareous soil. Treatments consisted of two levels of arbuscular mycorrhiza (*Claroideoglomus etunicatum* (AM)) (with and without inoculation), two levels of vermicompost (0 and 1% w/w) and four phosphate sources (control (P_0), rock phosphate (RP), tricalcium phosphate (TCP) and triple super phosphate (SP) at 25 mg P kg^{-1} level). Non sterile soil was used and its characteristics along with vermicompost were analyzed by standard methods. Seeds of lettuce (*Lactuca sativa*) cv. Ferdos were planted. After 10 weeks after planting, chlorophyll contents, leaves numbers, fresh and dry weights, root colonization and phosphorus uptake were measured. Data were analyzed with SAS statistical software.
Results: Application of vermicompost increased root colonization and phosphate sources decreased it. The highest rate of root colonization was observed in co-application treatments of vermicompost and arbuscular fungus and in the absence of phosphate sources. Mycorrhizal inoculation increased shoot dry weight and phosphorus uptake. Vermicompost application increased shoot fresh and dry weights, number of leaves, chlorophyll index and phosphorus uptake. Application of SP increased shoot fresh and dry weights and decreased chlorophyll index and phosphorus uptake. Application of RP decreased chlorophyll index and increased shoot dry weight and phosphorus uptake. Co-application of mycorrhizal fungi, vermicompost and phosphate sources increased shoot fresh and dry weights, number of leaves and phosphorus uptake.
Conclusion: Application of biofertilizers (vermicompost and arbuscular fungi) along with insoluble phosphate source (RP and TCP) can be increased phosphorus uptake and plant growth and reduced the consumption of chemical fertilizers especially SP.

Keywords: Arbuscular fungi, Biofertilizers, Growth parameters, Lettuce, Insoluble phosphate

* Corresponding Author; Email: mehdizarei@shirazu.ac.ir