

تأثیر پسماند کمپوست قارچ بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر پرمصرف در کاهو (*Lactuca sativa* L.) رقم "سیاهو"

*اسماعیل گلی کلانیا^۱، ناصر امانی^۲ و بهروز اسماعیل پور^۳

^۱ استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه محقق اردبیلی، دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی،
^۲ دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی
تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: امروزه به منظور نیل به تولید پایدار و محصول سالم، استفاده از اصلاح کننده های آلی مانند پسماند کمپوست قارچ بیش تر مورد توجه قرار گرفته است. مقادیر زیادی پسماند کمپوست قارچ در تولید قارچ خوراکی به وجود می آید که مصرف آن از نگاه کشاورزی پایدار به ویژه در خاک های مبتلا به فقر ماده آلی مثل اکثر خاک های ایران دارای اهمیت است. بنابراین، این پژوهش گلخانه ای با هدف بررسی تأثیر مصرف پسماند کمپوست قارچ خوراکی شسته شده و شسته نشده بر خصوصیات رشد رویشی و غلظت عناصر غذایی پرمصرف (N, P, K, Ca) در کاهو رقم "سیاهو" در یک خاک لوم شنی انجام شد.

مواد و روش ها: این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار مطالعه شد. تیمارهای آزمایشی شامل نسبت های حجمی صفر (شاهد)، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از پسماند کمپوست قارچ به صورت شسته شده و شسته نشده در یک خاک لوم شنی بود. پس از طی دوره رشد، برداشت انجام و خصوصیات رشدی مانند ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، شاخص سبزینگی، هدایت روزنه ای، وزن تر و خشک بوته و غلظت عناصر غذایی پرمصرف در برگ اندازه گیری و آزمون مقایسه میانگین توسط نرم افزار SPSS انجام شد.

یافته ها: افزودن تیمارهای کمپوست شسته شده (WS) و شسته نشده (UWS) به خاک لوم شنی باعث افزایش ماده آلی، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل و زیست فرآهمی فسفر، پتاسیم، کلسیم و سدیم نسبت به تیمار شاهد شد. افزایش ماده آلی از محاسن کودهای آلی بوده و در خاک های مناطق خشک و نیمه خشک که کمبود مواد آلی در آنها بیش تر است تأثیر بسیار زیادی در بهبود کیفیت خاک و در نتیجه تولید محصول می گذارد. افزودن پسماند کمپوست قارچ شسته شده و شسته نشده تأثیر معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد بر خصوصیات رشدی اندازه گیری شده و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در برگ کاهو نسبت به تیمار شاهد داشت. بیش ترین و کم ترین مقدار برای اکثر صفات به ترتیب در تیمار ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته شده و شاهد به دست آمد. نتایج تجزیه برگ نشان داد که مصرف پسماند کمپوست قارچ شسته شده و شسته نشده غلظت عناصر غذایی پرمصرف را در کاهو که در تیمار شاهد کم تر از حد بحرانی بود به حدود کفایت و بهینه نزدیک کرده است.

* مسئول مکاتبه: goli@uma.ac.ir

نتیجه گیری: مصرف پسماند کمپوست قارچ باعث بهبود ماده آلی و زیست‌فراهمی عناصر غذایی پرمصرف در خاک و در نتیجه منجر به بهبود رشد و عملکرد کاهو و ارزش غذایی بهتر آن نسبت به شاهد شد. مقایسات اورتوگونال نشان داد که پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده نسبت به شسته‌نشده تأثیر معنی‌دار بر خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی پرمصرف در برگ کاهو داشت ($P < 0/01$). بنابراین، کمپوست قارچ شسته‌شده می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح‌کننده مناسب با شوری کم برای بهبود وضعیت عرضه عناصر غذایی خاک و افزایش حاصلخیزی آن به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده شود. با استفاده از این ضایعات آلی می‌توان بدون افزودن کود شیمیایی کاهوی ارگانیک تولید کرده و نیاز غذایی آن را تا حدودی در شرایط گلخانه‌ای تأمین کرد.

واژه‌های کلیدی: پسماند کمپوست قارچ، خصوصیات رشدی، عناصر پرمصرف، کاهو، کشاورزی ارگانیک

مقدمه

امروزه با توجه به صنعتی‌شدن جوامع و رشد فزاینده جمعیت، حجم بسیار زیادی از ضایعات آلی تولید می‌شود که مشکلات جدی در زمینه دفن آن‌ها وجود داشته و منبع مهم آلاینده محیط زیست نیز به‌شمار می‌روند. با این وجود، چنین ضایعاتی غنی از مواد آلی و عناصر غذایی بوده و مصرف کمپوست شده آن‌ها در کشاورزی ضمن دفن سالم آن‌ها و کاهش خطرات زیست‌محیطی می‌تواند با اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اثر مثبت بر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی داشته باشد (۲۵، ۴۱، ۱۵، ۲۷ و ۳۱). یکی از این ضایعات، کمپوست قارچ خوراکی (*Agaricus bisporus* L.) می‌باشد. کمپوست قارچ خوراکی که از پوشال، کود اسبی، کود مرغی و گچ تهیه می‌شود (۴۶) یک ترکیب آلی فرموله شده برای تولید مدرن قارچ خوراکی است که بعد از برداشت قارچ، کمپوست مصرف‌شده قارچ یا پسماند کمپوست قارچ خوراکی^۱ نامیده می‌شود. به‌طور معمول این کمپوست بعد از برداشت قارچ به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود. پسماند کمپوست قارچ نسبت به سایر اصلاح‌کننده‌های خاک دارای قیمت بسیار ارزانی می‌باشد که می‌تواند

هزینه‌های تولید را کاهش دهد (۴۵). ران‌هوا و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی استفاده از پسماند کمپوست قارچ به‌عنوان محیط رشد برای خیار و گوجه‌فرنگی دریافتند که این ماده می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مناسب نسبت به منابع گران‌قیمت و محدود پیت در کشت‌های گلخانه‌ای استفاده شود (۳۹).

پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهد که مصرف کمپوست قارچ خوراکی اثر مثبت بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند ماده آلی، پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک (۳۳، ۶ و ۱) و رشد و عملکرد محصولات مختلف باغی و زراعی داشته است (۳۷، ۱۹، ۱۴، ۳۹ و ۱). آرتور و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که مصرف کمپوست قارچ منافذ درشت، میزان ماده آلی و میزان آب در خاک لوم شنی را افزایش داد (۱). نتایج جاناتان و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که مصرف ۱۰ درصد کمپوست قارچ خوراکی تأثیر معنی‌دار در افزایش ارتفاع، تعداد و سطح برگ و وزن تر و خشک سویا داشت (۱۹). آرتور و همکاران (۲۰۱۲) با مقایسه اثر مصرف سه نوع کمپوست بقایای سبزیجات و میوه‌جات، ضایعات باغی و قارچ خوراکی بر شاخص‌های رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی در یک خاک لوم شنی بیان کردند که

1- Spent Mushroom Compost (SMC)

یافته‌های این پژوهشگران نشان می‌دهد که این کود آلی در مقایسه با دو کود دیگر یک منبع پایدار کودی نیتروژنه برای گیاه بوده و هدررفت نیتروژن را کاهش می‌دهد (۱۷).

کاهو (*Lactuca sativa* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده گل مرکبان^۱ است. کاهو ملکه گیاهان سالادی است که نام آن در بیش‌تر مناطق دنیا با سالاد همراه می‌باشد. این گیاه سرشار از ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری برای سلامتی انسان است، همچنین به‌علت دارا بودن سلولز زیاد هضم غذا را راحت می‌کند. افزون بر این کاهو دارای موادی به نام لاکتوسین و لاکتوپیکرین می‌باشد که دارای اثر آرام‌بخش و خواب‌آوری هستند. در ایران نیز کاهو در بسیاری از مناطق تولید می‌گردد و درصدی از این تولید نیز به کشورهای حوزه خلیج فارس صادر می‌شود (۱۱).

اهمیت پسماند کمپوست قارچ در دنیا بیش‌تر شناخته‌شده و از آن به‌عنوان یک اصلاح‌کننده آلی در مزرعه و کشت‌های گلخانه‌ای استفاده می‌شود. با این وجود، در ایران بر اهمیت آن کم‌تر توجه شده و هنوز هم پسماند کمپوست قارچ به‌عنوان یک ماده زائد شناخته می‌شود. این در حالی است که خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از نظر مواد آلی فقیر بوده و استفاده از کودهای آلی می‌تواند نقش مهمی در اصلاح آن داشته باشد. علاوه بر این، در برخی موارد اثرات منفی مصرف کمپوست قارچ به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک بر رشد و محصول ترب قرمز نیز گزارش شده است (۲۳). همچنین، در زمینه درصد بهینه این کود آلی نظرات متفاوتی مطرح است (۳۶، ۱۹ و ۴۰). با توجه به پتانسیل بالای تولید پسماند کمپوست قارچ در ایران و اهمیت بسیار کاهو به‌عنوان یک گیاه سالادی، در این پژوهش اثر افزایش درصدهای مختلف پسماند کمپوست قارچ به دو

کمپوست قارچ خوراکی بیش‌ترین تأثیر را در عملکرد گوجه‌فرنگی داشت (۱). ران‌هوا و همکاران (۲۰۱۲) افزایش معنی‌دار تعداد و سطح برگ خیار و گوجه‌فرنگی را در اثر مصرف کمپوست قارچ خوراکی گزارش کرده‌اند (۳۹).

علاوه بر تأثیر مثبت مصرف کمپوست قارچ خوراکی به‌عنوان یک اصلاح‌کننده مناسب برای بهبود وضعیت فیزیکی‌شیمیایی خاک، این کود آلی از نظر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نیز غنی بوده (۳۸، ۸ و ۱۵) و مصرف آن غلظت عناصر غذایی ضروری را در خاک و اندام هوایی گیاه افزایش می‌دهد (۴، ۲۵، ۲۹، ۷ و ۳۳). مطالعات گلدانی کوبیلای و تاپکوگلو (۲۰۰۷) نشان داد که که پسماند کمپوست قارچ تأثیر معنی‌دار بر افزایش مقدار ماده خشک و محتوای عناصر غذایی هم‌چون نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه فلفل داشته است (۲۵). کورتنی و مولن (۲۰۰۸) با بررسی اثر دو نوع کمپوست قارچ و کود شیمیایی در مقادیر ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار بر خصوصیات خاک و جذب عناصر غذایی توسط جو بیان کردند که مصرف کمپوست قارچ در مقایسه با تیمارهای دیگر اثر قابل‌توجهی بر میزان عناصر غذایی خاک داشته و باروری خاک را افزایش داده است. ایشان بیان کردند که مصرف کمپوست قارچ بیش‌ترین همبستگی را با میزان عناصر غذایی خاک و عملکرد گیاه داشت (۷).

مصرف کمپوست نه تنها باعث بهبود کیفیت خاک و عرضه عناصر غذایی برای گیاه می‌شود بلکه بر بازیافت و کارایی کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنه نیز مؤثر می‌باشد. هولبک و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر کود مرغی، کمپوست قارچ و کود شیمیایی نترات پتاسیم بر بازیافت نیتروژن در یک خاک زراعی بیان کرد بازیافت کود نیتروژنه در کمپوست قارچ بیش‌ترین مقدار (۶۰ درصد) می‌باشد.

نرمال در pH خنثی (۲۴)، نیتروژن کل توسط روش کجلدال (۲) و میزان فسفر قابل استفاده گیاه توسط روش اولسن (۳۲) در همه تیمارها قبل از کاشت کاهو (یک هفته پس از اعمال تیمارها) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

تولید نشاء کاهو و انتقال آن به گلدان: در این پژوهش بذور F₁ کاهو رقم "سیاهو"^۳ در جعبه‌های کشت در بستر خاکی با بافت لوم شنی به‌منظور تولید نشاء کاشته شدند. پس از کاشت بذرها، جعبه‌های کاشت در گلخانه با دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد قرار گرفتند. جوانه‌زنی بذرها ۲ تا ۳ روز بعد از کاشت صورت گرفت. جعبه‌های کشت شده هر ۲ روز یک بار آبیاری شدند. پس از این‌که گیاهچه‌ها به مرحله ۴ تا ۵ برگگی رسیدند (۴ هفته بعد از کاشت بذرها در جعبه‌های پلاستیکی) به گلدان‌های پلاستیکی بزرگ با ارتفاع ۵۰ و قطر دهانه ۴۰ سانتی‌متر منتقل شدند (یک بوته برای هر گلدان). پس از انتقال، نشاءها کاملاً آبیاری شدند و برای استقرار کامل نشاء هر ۳ روز یک‌بار آبیاری انجام شد. میانگین رطوبت نسبی ۶۰ درصد بود و عملیات سله‌شکنی و مبارزه با علف‌های هرز نیز در چند مرحله به‌صورت دستی با بیلچه انجام شد.

اندازه‌گیری خصوصیات رشدی: در طی مراحل رشد گیاهچه‌ها خصوصیات رشدی از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ بوته، شاخص سبزی‌نگی برگ (با کلروفیل سنسج مدل CCM200)، وزن خشک و تر بوته مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سطح برگ و هدایت روزنه‌ای نیز پس از برداشت به‌ترتیب به‌وسیله دستگاه سطح برگ‌سنج^۴ مدل ΔT و پورومتر^۵ مدل SC₁ اندازه‌گیری شد.

صورت شسته‌شده و شسته‌نشده بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی یک خاک لوم‌شنی و صفات رشدی به ویژه وزن تر و خشک کاهو و بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در خاک و برگ کاهو ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و اعمال تیمارها: به‌منظور بررسی اثر مصرف پسماند کمپوست قارچ خوراکی شسته‌شده (WS)^۱ و شسته‌نشده (UWS)^۲ بر رشد و عملکرد کاهو نسبت‌های حجمی صفر (شاهد)، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از این تیمارها در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ تکرار به یک خاک لوم شنی (۱۰ کیلوگرم خاک) ۱۰ روز قبل از کاشت اضافه و به رطوبت ظرفیت مزرعه رسانده شد. پسماند کمپوست قارچ از شرکت تولید قارچ کیمیا واقع در شهرستان نمین تهیه شد. یکی از محدودیت‌های استفاده از کمپوست قارچ به‌عنوان کود یا اصلاح‌کننده آلی، غلظت زیاد نمک‌های محلول در آن است (۴۴، ۱۰ و ۲۱). بدین منظور از شستشوی آن استفاده می‌شود. برای شستن پسماند کمپوست قارچ نسبت ۲ به ۱ که به‌ترتیب آب و پسماند کمپوست قارچ را درون سطل‌های بزرگ با هم مخلوط کرده و بعد از ۲۴ ساعت، آبکشی و در زیر نور مستقیم آفتاب خشک و به‌عنوان تیمار پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده مورد استفاده قرار گرفت (۲۸). برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت خاک به روش هیدرومتری، pH (عصاره گل اشباع)، هدایت الکتریکی (نسبت ۱:۲ خاک به آب مقطر)، ماده آلی به روش اکسایش تر (۳۰)، پتاسیم، سدیم و کلسیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم ۱

3- Syaho
4- Leaf area meter
5- Porometer

1- Washed Spent Mushroom Compost (WSMC)
2- Unwashed Spent Mushroom Compost (UWSMC)

شسته شده (WS) و شسته نشده (UWS) ماده آلی بسترها نسبت به تیمار شاهد به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. افزایش ماده آلی از محاسن کودهای آلی بوده و در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک که کمبود مواد آلی در آنها بیش تر است تأثیر بسیار زیادی در بهبود کیفیت خاک و در نتیجه تولید محصول می‌گذارد. همان طوری که در جدول ۱ ذکر شده است در اثر اعمال تیمارهای کمپوست قابلیت هدایت الکتریکی بسترها در هر دو حالت کمپوست شسته شده و شسته نشده افزایش پیدا کرده است. این افزایش در تیمارهای کمپوست شسته نشده بیش تر از کمپوست شسته شده بود. کمپوست قارچ حاوی غلظت زیاد نمک‌های محلول است (۴۴ و ۲۲) و مصرف شسته نشده آن باعث افزایش بیش تر قابلیت هدایت الکتریکی نسبت به تیمار شسته شده می‌شود. همچنین، میزان عناصر غذایی پرمصرف و سدیم با مصرف تیمارهای کود آلی نیز افزایش یافته است. استوارت و همکاران (۱۹۹۸a و ۱۹۹۸b) بیان کردند که غلظت نیتروژن، کلسیم و منیزیم در اثر مصرف کمپوست قارچ در یک خاک لوم شنی افزایش می‌یابد (۴۱ و ۴۲). سبولا و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش قابل توجه غلظت عناصر غذایی و کاتیون‌ها را در شیره کمپوست قارچ گزارش کرده‌اند (۳). مطالعات آرتور و همکاران (۲۰۱۲) نشان می‌دهد که در اثر افزودن کمپوست قارچ به یک خاک لوم شنی کربن آلی، نیتروژن کل، هدایت الکتریکی و pH به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است (۱). افزایش میزان نیتروژن خاک در اثر مصرف کمپوست قارچ توسط پرگرینا و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است (۳۳).

اندازه‌گیری عناصر غذایی پرمصرف در گیاه: پس از چهار ماه کشت گلخانه‌ای کاهو (مرداد تا آبان‌ماه ۱۳۹۲)، از برگ‌های سوم و چهارم کاهو نمونه برداری انجام و غلظت نیتروژن کل اندام هوایی به روش هضم تر و با استفاده از دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد (۲۱). علاوه بر این، برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم، فسفر، کلسیم و سدیم در برگ کاهو از روش هضم خشک و سپس تیمار با اسید کلریدریک ۲ نرمال استفاده شد. عصاره گیاه از کاغذ صافی عبور داده شده و غلظت پتاسیم، کلسیم و سدیم توسط دستگاه فلیم‌فوتومتر مدل Jenway PFP و فسفر به روش رنگ‌سنجی توسط اسپکتروفوتومتر مدل Cecil 2000 اندازه‌گیری شد. در نهایت، میزان این عناصر در برگ کاهو بر حسب درصد محاسبه گردید. غلظت عناصر غذایی در برگ گیاه در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

تأثیر کمپوست قارچ بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر غذایی خاک: برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر غذایی پرمصرف و سدیم خاک پس از مصرف کمپوست شسته شده و نشده در جدول ۱ ذکر شده است. با وجود تغییرات جزئی در درصد شن، رس و سیلت، بافت خاک در تمام تیمارهای اعمال شده در این طرح لومی شنی بوده و از نظر بافت خاک تفاوت چندانی با هم نداشتند. نتایج نشان داد که در اثر افزودن تیمارهای کمپوست

جدول ۱- تأثیر مقادیر مختلف کمپوست قارچ بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر غذایی خاک.

Table 1. Effect of spent mushroom compost rates on some soil physicochemical and nutrients concentration.

Na**	Ca**	K**	P*	N _{total}	EC (dS m ⁻¹)	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	OM	pH	تیمارها (Treatment)
mg kg ⁻¹				%		%					
291	2385	687	4.6	0.049	0.16	64	20	16	0.91	8	C
867	3900	728	19.4	0.077	1.54	66	18	16	2.08	7.6	WS ₁₀
815	4190	786	25.8	0.105	1.45	66	18	16	2.18	7.7	WS ₂₀
865	4440	1192	30.0	0.126	1.81	72	14	14	2.45	7.2	WS ₃₀
1046	4500	1278	32.0	0.161	2.09	68	22	10	3.53	7.7	WS ₄₀
1150	4510	1732	37.2	0.168	2.17	70	20	10	3.43	8	WS ₅₀
831	3625	827	18.1	0.08	1.77	66	20	14	1.91	7.6	UWS ₁₀
926	4190	1297	20.5	0.105	2.37	64	21	15	1.98	7.7	UWS ₂₀
1490	4390	1897	22.1	0.147	3.31	68	20	12	2.66	7.6	UWS ₃₀
1772	4455	1871	30.6	0.161	4.47	68	18	14	3.16	8.1	UWS ₄₀
1980	4568	1970	32.3	0.175	4.55	70	20	10	3.46	8.2	UWS ₅₀

C, WS و UWS به ترتیب بیانگر تیمارهای شاهد، کمپوست شسته شده و شسته نشده بوده و اندیس‌ها نیز مبین درصد تیمارهای اعمال شده می باشد.

* فسفر قابل استخراج توسط بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار (فسفر قابل استفاده) و ** سدیم، پتاسیم و کلسیم قابل استخراج توسط اسنات آمونیوم ۱ مولار.

C, WS and UWS stand for control, washed and unwashed spent mushroom compost, respectively. Indices refer to applied treatment percent.

* 0.5 M Sodium Bicarbonate extractable P (Available P) and ** 1M amonium acetate extractable Ca, K and Na

شسته نشده بر صفات رویشی مانند ارتفاع گیاه، تعداد برگ، سطح برگ، شاخص سبزی‌نگی، هدایت روزنه‌ای و وزن خشک و تر بوته گیاه کاهو رقم سیاهو تأثیر معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد داشتند.

خصوصیات رشد رویشی و هدایت روزنه‌ای: تجزیه واریانس اثر کمپوست قارچ بر خصوصیات رشد رویشی و هدایت روزنه‌ای در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس این جدول، تیمارهای مختلف پسماند کمپوست قارچ شسته شده و

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر پسماند کمپوست قارچ بر خصوصیات رشد رویشی و هدایت روزنه‌ای کاهو رقم "سیاهو".

Table 2. Analysis of variance of spent mushroom compost effect on vegetative growth properties and stomatal conductance in lettuce, Syaho.

میانگین مربعات (Mean squares)							درجه آزادی (Degree of freedom)	منابع تغییرات (Sources of variation)
وزن خشک بوته (Bush dry weight)	وزن تر بوته (Bush wet weight)	هدایت روزنه‌ای (Stomatal conductance)	شاخص سبزیگی (Chlorophyll index)	سطح برگ (Leaf area)	تعداد برگ در بوته (Leaf number per bush)	ارتفاع گیاه (Plant Height)		
233.01**	17964.24**	6332.37**	183.55**	12027.98**	149.93**	70.11**	10	تیمار (Treatment)
14.23	1240.97	13009.71	25.82	858.16	5.29	2.54	44	اشتباه آزمایشی (Error)
20.27	20.34	27.78	14.47	19.99	7.84	7.75		ضریب تغییرات (%) (CV)

** نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن.

** Indicates significantly differences at 1% probable level ($P < 0.01$) according to Duncan's multiple range test.

آن بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و هدایت الکتریکی پایین خاک گلدان نسبت داد (جدول ۱). مطالعات دیگر نشان می‌دهد که اضافه کردن ۱۵ و ۲۵ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده به بستر کاشت رشد خیار را به‌طور معنی‌دار افزایش داد (۱۵ و ۳۹). جاناتان و همکاران (۲۰۱۳) افزودن تیمار ۱۰ درصد کمپوست قارچ خوراکی به خاک را در افزایش معنی‌دار ارتفاع سویا موثر دانسته‌اند (۱۹).

تعداد و سطح برگ: بیش‌ترین تعداد برگ در بوته (۳۹/۸) و کم‌ترین مقدار آن (۱۹/۸) به‌ترتیب در تیمار ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده و شاهد مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشتند. همچنین، بیش‌ترین مقدار سطح برگ کاهو (۲۲۷/۶۶ سانتی‌مترمربع) در تیمار ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده حاصل شد که با کاهوی کشت‌شده در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده به‌ترتیب با میانگین سطح برگ ۲۰۳/۱۸ و ۱۸۷/۱۴ سانتی‌مترمربع تفاوت معنی‌دار را نشان نداد. کم‌ترین سطح برگ (۸۲ سانتی‌مترمربع) مربوط به تیمار شاهد بود که با سطح

ارتفاع گیاه: مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که ارتفاع بوته کاهو در اثر مصرف پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده نسبت به شسته‌نشده و تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار بیش‌تر است (جدول ۳). بیش‌ترین ارتفاع کاهو (۲۵/۸ سانتی‌متر) در تیمار ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده به‌دست آمد که با بوته‌های کشت‌شده در خاک حاوی ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده اختلاف معنی‌دار نداشت ولی با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار نشان داد. کم‌ترین ارتفاع گیاه (۱۶/۲ سانتی‌متر) در تیمار شاهد حاصل شد که با بوته‌های کشت‌شده در تیمارهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۳). در تیمارهای کمپوست قارچ شسته‌نشده میزان هدایت الکتریکی به‌دلیل غلظت بالای املاح بیش‌تر از کمپوست قارچ شسته‌شده افزایش یافته است که این موضوع اثر مثبت این بستر بر ارتفاع کاهو را کاهش داده است. اثر تسریع‌کنندگی پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده بر ارتفاع گیاه را می‌توان به غنی‌بودن این تیمار از عناصر غذایی ضروری پرمصرف، تأثیر مثبت

برای پرورش کاهو فراهم کرده است. کاربرد پسماند کمپوست قارچ در بستر کاشت پرلایت سطح برگ و ارتفاع گوجه‌فرنگی و خیار را به‌طور معنی‌دار افزایش داد (۳۹). سندی و همکاران (۲۰۱۳) جایگزینی ۴۰ درصد کمپوست قارچ به‌جای پیت را در افزایش تولید، تعداد و سطح برگ کلم بروکلی چینی مؤثر دانسته‌اند (۴۰). در مقابل، آرتور و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند افزودن کمپوست قارچ به یک خاک شنی تأثیر معنی‌دار در افزایش تعداد برگ و ارتفاع گوجه‌فرنگی نداشت (۱).

برگ کاهو در تیمارهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌نشده تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۳). بالا بودن تعداد و سطح برگ در تیمار ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده را می‌توان به شرایط بهتر این تیمار مانند pH مناسب و همچنین پایین بودن نمک‌های محلول (هدایت الکتریکی کم‌تر) نسبت به سطوح بالاتر از همین بستر کاشت و پسماند کمپوست قارچ شسته‌نشده نسبت داد (جدول ۱). مجموع این عوامل، قابلیت دسترسی عناصر غذایی ضروری به گیاه را افزایش داده و شرایط بهتری را

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده و نشده بر خصوصیات رشد رویشی کاهو.

Table 3. Mean comparison of washed and unwashed spent mushroom compost rates effect on vegetative growth properties of lettuce.

وزن خشک (dry weight)	وزن تر (wet weight)	هدایت روزنه‌ای (Stomatal conductance)	شاخص سبزیگی (Chlorophyll index)	سطح برگ (Leaf area)	تعداد برگ در بوته (Leaf number per bush)	ارتفاع گیاه (Plant Height)	تیمارها (Treatment)
g/bush	g/bush	(mmol/m ² s)	(SPAD)	(cm ²)		(cm)	
6.08 ^f	50.80 ^h	146.14 ^{bc}	21.14 ^f	82 ^g	19.8 ^c	16.2 ^d	C
17.7 ^{de}	169.40 ^{cdef}	139.26 ^{bcd}	32.88 ^{cde}	160.25 ^{cde}	28.4 ^c	22.8 ^b	WS ₁₀
22.92 ^{bc}	217.60 ^{bc}	111.92 ^{cde}	30.10 ^e	178.14 ^{bc}	33 ^b	24 ^{ab}	WS ₂₀
29.62 ^a	309.60 ^a	196.52 ^a	31.47 ^{de}	227.66 ^a	39.8 ^a	25.8 ^a	WS ₃₀
26.12 ^{ab}	238.20 ^b	170.99 ^{cde}	33.50 ^{bcd}	203.18 ^{ab}	34.6 ^b	24.4 ^{ab}	WS ₄₀
24.37 ^{bc}	236.20 ^b	169.58 ^{ab}	39.90 ^{ab}	176.91 ^{bcd}	33.2 ^b	24.1 ^{ab}	WS ₅₀
17.20 ^{de}	161.40 ^{def}	167.06 ^{ab}	36.61 ^{abcd}	127.41 ^{ef}	28.4 ^c	19.8 ^c	UWS ₁₀
19.67 ^{cd}	161.40 ^{def}	109.22 ^{cde}	39.83 ^{ab}	143.42 ^{def}	28.2 ^c	19.5 ^c	UWS ₂₀
13.09 ^e	124.70 ^{fg}	68.94 ^e	39.26 ^{abc}	112.48 ^{fg}	26.4 ^{cd}	16.8 ^d	UWS ₃₀
12.96 ^e	126.40 ^{fg}	106.02 ^{cde}	40.59 ^a	97.26 ^{fg}	24.8 ^d	16.4 ^d	UWS ₄₀
14.96 ^{de}	88.80 ^{gh}	87.94 ^{de}	40.71 ^a	87.69 ^g	26 ^{cd}	16.5 ^d	UWS ₅₀

C, WS and UWS stand for control, washed and unwashed spent mushroom compost, respectively. Indices refers to applied treatment percent. Numbers followed by the different letter for each properties are significantly different (P<0.01).
می‌باشد. حروف متفاوت در هر خصوصیت مورد بررسی بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد است.

C, WS and UWS stand for control, washed and unwashed spent mushroom compost, respectively. Indices refers to applied treatment percent. Numbers followed by the different letter for each properties are significantly different (P<0.01).

وجود داشت که با میزان شاخص سبزیگی برگ کاهو در سایر سطوح این کود آلی و همچنین با تیمار ۵۰ درصد از پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده تفاوت معنی‌دار نداشت. با این وجود، با تیمارهای دیگر

شاخص سبزیگی: مقایسه میانگین تأثیر تیمارها بر میزان شاخص سبزیگی برگ کاهو نشان داد که بیش‌ترین مقدار برای این صفت (۴۰/۷۱) در بستر حاوی ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌نشده

کمپوست شسته شده برای این شاخص تفاوت معنی دار وجود داشت. کمترین میزان شاخص سبزی‌نگی (۲۱/۱۴) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). پسماند کمپوست قارچ منبع غنی از نیتروژن آلی به حساب می‌آید و در طی زمان و با فراهم شدن شرایط نیتریفیکاسیون، نیتروژن آن به فرم معدنی و آزاد در آمده و می‌تواند آن را در اختیار گیاه قرار دهد (۲۷) و (۴۳). در این پژوهش، در اثر مصرف کمپوست قارچ میزان نیتروژن در خاک و گیاه نسبت به تیمار شاهد بیش تر شده و در نتیجه میزان شاخص سبزی‌نگی نیز افزایش یافته است. علاوه بر این، افزایش کلسیم در گیاه ظرفیت فتوسنتزی و همچنین سنتز کلروفیل را افزایش می‌دهد (۱۱). بالا بودن میزان شاخص سبزی‌نگی در تیمار پسماند کمپوست قارچ شسته نشده نسبت به شسته شده را می‌توان به بالا بودن املاح معدنی در سطوح بالای این تیمارها (جدول ۱) و مطابق آن خشکی ثانویه نسبت داد. این شرایط ممکن است باعث ایجاد تنش در گیاه شده و منجر به کاهش سطح برگ و افزایش تراکم کلروپلاستی شود. دادخواه (۲۰۰۶) با مطالعه اثر شوری بر ظرفیت فتوسنتزی چغندر قند بیان کرد که با افزایش شوری سطح برگ بیش تر کاهش یافته و میزان شاخص سبزی‌نگی در واحد سطح برگ افزایش پیدا می‌کند (۹). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که به علت هدایت الکتریکی (EC) بالای پسماند کمپوست قارچ تازه و تجزیه نشده نمی‌توان آن را در سطوح بالا در خاک استفاده گردد (۱۰، ۱۲ و ۳۵).

وزن خشک و تر بوته: یکی از شاخص‌های مهم و تعیین کننده میزان عملکرد وزن خشک و به‌ویژه در سبزیجات وزن تر آن‌ها می‌باشد. براساس مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین و کمترین وزن تر و خشک بوته به ترتیب در تیمار ۳۰٪ پسماند قارچ شسته شده و شاهد بود که با وزن تر بوته کاهو در همه تیمارها تفاوت معنی دار داشت (جدول ۳). این نتایج

با یافته‌های گونانی و همکاران (۲۰۱۱) و ران‌هوا و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد که گزارش کردند مصرف پسماند کمپوست قارچ رشد رویشی، وزن تر و خشک و کیفیت میوه خیار و گوجه‌فرنگی را افزایش داد (۱۵ و ۳۹). افزایش وزن تر و خشک سویا و کلم بروکلی چینی به ترتیب در اثر افزودن ۱۰ درصد کمپوست قارچ به خاک و ۴۰ درصد به پیت نیز گزارش شده است (۱۹ و ۴۰). ریباس و همکاران (۲۰۰۹) با انجام یک آزمایشی وزن خشک بخش هوایی کاهو رشد کرده در بسترهای تیمار شده با ۵ و ۱۰ درصد کمپوست قارچ را بیش تر از گیاهان رشد کرده با تیمار کودهای شیمیایی (NPK) گزارش کردند (۴۰). جاناناتان و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر استفاده از درصدهای مختلف پسماند کمپوست قارچ جهت پرورش کدو نشان دادند که گیاهان پرورش یافته در بسترهای حاوی ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ بیشترین زیست توده را تولید کرده‌اند (۱۹). برخی پژوهشگران استفاده از ۳۳ درصد کمپوست قارچ تجزیه شده در محیط رشد برای تولید گوجه‌فرنگی (۴۴)، ۳۰ تا ۵۰ درصد برای تولید اکثر سبزیجات (۳۶) و کمپوست تازه و تجزیه نشده تا ۱۰۰ درصد برای گیاهچه‌های زینتی پیشنهاد کرده‌اند (۴).

در این پژوهش، افزودن پسماند کمپوست قارچ شسته شده به خاک باعث افزایش غلظت عناصر غذایی ضروری قابل استفاده گیاه به‌ویژه نیتروژن شده و باعث افزایش رشد رویشی و عملکرد تر و خشک کاهو شده است (جدول‌های ۱ و ۳). این افزایش در تیمارهای پسماند کمپوست شسته شده بیش تر از شسته نشده بود. عملکرد کم تر کاهو در کمپوست قارچ شسته نشده نسبت به تیمار شسته شده و همچنین کاهش وزن تر و خشک در سطوح بالای تیمارها به تفاوت در هدایت الکتریکی تیمارها نسبت داده می‌شود. حد آستانه تحمل کاهو براساس اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع و نسبت ۲:۱

برگ در زمانی که گیاه تحت تأثیر تنش شوری قرار دارد می‌تواند با میزان سدیم برگ ارتباط داشته باشد (۱۴). کولا و همکاران (۲۰۰۶) کاهش تبادلات گازی در هندوانه را به بالا بودن سدیم و کلر در برگ نسبت دادند. با این وجود، نقش سدیم بیش‌تر بوده است (۵). افزایش شوری سبب کاهش فعالیت روزنه‌ای و جذب آب می‌شود و ممانعت بیش‌تری برای تعرق ایجاد می‌کند که در نهایت می‌تواند باعث کاهش محصول در گیاهان شود (۱۳). در این پژوهش، در تیمارهای پسماند کمپوست قارچ شسته‌نشده غلظت سدیم در بخش هوایی بسیار بیش‌تر از تیمارهای شسته‌شده بود (جدول ۵) که این موضوع می‌تواند منجر به تبادلات گازی کم‌تر شود. غلظت سدیم در برگ کاهو در تیمارهای کمپوست شسته‌نشده از مرز سمیت آن (۰/۲۵-۰/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) نیز بالاتر است.

عناصر غذایی پرمصرف در کاهو: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که تأثیر بسترهای مختلف بر عناصر پرمصرف از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در برگ کاهو در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

خاک به آب به‌ترتیب برابر ۲-۱/۱۰ و ۸۰-۰/۴۰ دسی‌زیمنس در متر بوده (۲۱) و شیب خط کاهش عملکرد گیاه ۱۳ می‌باشد (۱۸). این موضوع بیان می‌کند که با افزایش ۱ واحد در هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، عملکرد گیاه حدود ۱۳ درصد کاهش پیدا می‌کند. برخی پژوهشگران، کاهش عملکرد حدود ۵۰-۲۵ درصد را در هدایت الکتریکی بالاتر از حد آستانه پیش‌بینی کرده‌اند (۲۱). بنابراین، کاهو به شوری نسبتاً حساس بوده و در صورت افزایش هدایت الکتریکی به بیش از حد آستانه تحمل کاهو عملکرد کاهش پیدا می‌کند.

هدایت روزنه‌ای: بیش‌ترین ($196/53 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) و کم‌ترین ($87/94 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) مقدار هدایت روزنه‌ای اندازه‌گیری شده به‌ترتیب در تیمار ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده و ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌نشده حاصل شد (جدول ۳). استفاده از کودهای آلی با افزایش ظرفیت نگهداری آب، زهکشی مناسب، بهبود شرایط مناسب و تسهیل در جذب عناصر مغذی سبب افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود. به‌نظر می‌رسد سطوح بالای پسماند کمپوست قارچ باعث ایجاد تنش شوری و در پی آن تنش خشکی و عدم دسترسی به آب کافی جهت انتقال به قسمت هوایی شده باشد. البته کاهش تبادلات گازی

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پسماند کمپوست قارچ بر محتوای عناصر پرمصرف در برگ کاهو.

Table 4. Analysis of variance of spent mushroom compost rates effect on macroelement concentration in lettuce leaf.

میانگین مربعات (Mean squares)				درجه آزادی (Degree of freedom)	منابع تغییرات (Sources of variation)
Ca	K	P	N		
0.14**	1.04**	0.02**	0.57**	10	تیمار (Treatment)
0.08	0.11	0.004	0.008	22	اشتباه آزمایشی (Error)
6.92	8.64	17.88	3.48		ضریب تغییرات (%) (CV)

** نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن.

** Indicat significantly differencs at 1% probable level ($P<0.01$) according to Duncan's multiple range test.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین تیمارها، پسماند کمپوست قارچ باعث افزایش غلظت نیتروژن در کاهو نسبت به شاهد شد. بیشترین میزان نیتروژن (۲/۹۴ درصد) مربوط به بوته‌های کشت شده در تیمار ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌نشده بود که با بوته‌های کشت‌شده در تیمارهای ۴۰ و ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته‌شده و ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درصد شسته‌نشده تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین میزان (۱/۲۵ درصد) این عنصر در تیمار شاهد مشاهده شد که با سایر تیمارها از نظر آماری تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۵). در تیمار توصیه‌شده (۳۰ درصد کمپوست قارچ شسته‌شده) میزان نیتروژن گیاه حدود ۲ برابر افزایش یافته است. افزایش غلظت نیتروژن کل در خاک در اثر افزودن تیمارهای کمپوست علت افزایش غلظت نیتروژن در گیاه است. این نتایج با نتایج سایر پژوهشگران همخوانی دارد (۲۷ و ۳۹). کوبیلای و تاپکوگلو (۲۰۰۷) نیز افزایش غلظت نیتروژن در برگ فلفل را در اثر مصرف کمپوست قارچ گزارش کرده‌اند (۲۵).

نیتروژن: غلظت نیتروژن در برگ کاهو در تیمارهای مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است. در تیمار شاهد غلظت نیتروژن (۱/۲۵ درصد) بسیار کم‌تر از حد مطلوب آن (۳/۵۰-۴/۵۰ درصد) در برگ کاهو می‌باشد (۲۱). برخی پژوهشگران حد مطلوب نیتروژن را در برگ کاهو ۳-۲/۵ درصد گزارش کرده‌اند (۲۶). نتایج اثر مصرف پسماند کمپوست بر درصد نیتروژن گیاه نشان داد که با افزایش نسبت پسماند کمپوست قارچ مقدار نیتروژن گیاه افزایش و به حد مطلوب نزدیک‌تر شد (۲/۹۰ درصد). علت این امر را می‌توان به افزایش قابل‌توجه غلظت نیتروژن کل و مواد آلی در اثر مصرف کمپوست قارچ در خاک نسبت داد (جدول ۱). این موضوع در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود مواد آلی و نیتروژن مواجه هستند از اهمیت بسیاری برخوردار است. نیتروژن گلوگاه رشد بوده و نقش بسیار مهمی در رشد رویشی و افزایش تولید ایفا می‌کند. بنابراین، مصرف پسماند کمپوست قارچ می‌تواند یکی از منابع تأمین‌کننده نیتروژن بوده و باعث کاهش مصرف کودهای نیتروژنه شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف پسماند کمپوست قارچ بر محتوای عناصر پرمصرف در برگ کاهو.

Table 5. Mean comparison of washed and unwashed spent mushroom compost effect on macroelement content in lettuce leaf.

Na	Ca	K	P	N	تیمارها (Treatments)
					%
0.171 ^{ef}	1.37 ^d	2.58 ^d	0.20 ^d	1.25 ^c	C
0.284 ^{cde}	1.85 ^c	4.30 ^{Ab}	0.44 ^{ab}	2.15 ^d	WS ₁₀
0.276 ^{cde}	1.85 ^c	4.24 ^{ab}	0.41 ^{ab}	2.36 ^c	WS ₂₀
0.296 ^{cde}	2.33 ^a	4.58 ^a	0.46 ^a	2.59 ^b	WS ₃₀
0.359 ^{cd}	2.11 ^b	3.98 ^{bc}	0.33 ^{bc}	2.83 ^a	WS ₄₀
0.408 ^{bc}	1.87 ^c	4.29 ^{ab}	0.38 ^{ab}	2.90 ^a	WS ₅₀
0.551 ^{ab}	1.53 ^{cd}	4.29 ^{ab}	0.23 ^{cd}	2.48 ^{bc}	UWS ₁₀
0.520 ^{ab}	1.62 ^{cd}	3.57 ^c	0.35 ^{ab}	2.80 ^a	UWS ₂₀
0.616 ^a	1.82 ^c	3.07 ^{bc}	0.38 ^{ab}	2.94 ^a	UWS ₃₀
0.655 ^a	1.75 ^c	3.79 ^{bc}	0.39 ^{ab}	2.89 ^a	UWS ₄₀
0.572 ^{ab}	1.48 ^d	3.91 ^{bc}	0.39 ^B	2.88 ^a	UWS ₅₀

C, WS و UWS به ترتیب بیانگر تیمارهای شاهد، کمپوست شسته‌شده و شسته‌نشده بوده و اندیس‌ها نیز مبین درصد تیمارهای اعمال شده می‌باشد. حروف متفاوت در هر عنصر بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد است.

C, WS and UWS stand for control, washed and unwashed spent mushroom compost, respectively. Indices refer to applied treatment percent. Numbers followed by the different letter for each element are significantly different ($P < 0.01$).

۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد این کود آلی و ۱۰ درصد پسماند کمپوست شسته نشده تفاوت معنی دار نشان نداد. تیمار شاهد هم کمترین مقدار پتاسیم را داشت (۲/۵۸ درصد) و با گیاهان کشت شده در سایر تیمارها تفاوت معنی دار نشان داد. حد مطلوب پتاسیم در برگ کاهو در برخی منابع ۶/۲۰-۵/۵۰ درصد (۲۱) و در برخی ۶/۴۰-۳/۳۰ درصد (۱۶) گزارش شده است. همان طوری که در جدول ۵ ذکر شده است غلظت پتاسیم در برگ کاهو در تیمار شاهد بسیار کم تر از این حد بوده و با اعمال تیمارهای کمپوست قارچ میزان آن بیش تر شده است. با این وجود، در همه تیمارها در دامنه کم تر از حد مطلوب قرار دارند. به نظر می رسد میزان سدیم بالا در کمپوست قارچ نسبت سدیم به پتاسیم را در خاک بر هم زده و در جذب آن توسط گیاه ممانعت ایجاد کرده است. این ممانعت در تیمارهای کمپوست شسته نشده که میزان سدیم آن ها بیش تر است بیش تر از تیمارهای شسته شده بود. در خاک های تیمار شده با پسماند کمپوست قارچ آزادسازی یون های کلسیم، منیزیم، سولفات و مخصوصا پتاسیم صورت گرفته که از این رو می تواند عناصر مورد نیاز را در اختیار گیاه قرار داده و رشد بهتر آن را در این خاک ها فراهم سازد (۳۴). کوبیلای و تاپکوگلو (۲۰۰۷) در یک آزمایش گلدانی با کاربرد مقادیر مختلف ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کمپوست مصرف شده قارچ در گیاه فلفل دریافتند که کمپوست قارچ شسته شده تأثیر معنی دار در افزایش غلظت پتاسیم داشته است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۲۵).

کلسیم: براساس نتایج مقایسه میانگین داده ها، بیشترین مقدار کلسیم اندازه گیری شده (۲/۳۳ درصد) مربوط به گیاهان پرورش یافته در تیمارهای حاوی ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته شده بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی دار داشت.

فسفر: همه تیمارهای اعمال شده نسبت به تیمار شاهد به طور معنی دار غلظت فسفر در کاهو را افزایش دادند. افزایش فسفر قابل استفاده گیاه در خاک در اثر افزودن پسماند کمپوست قارچ را می توان دلیل اصلی این امر ذکر کرد. به عنوان مثال، تیمار ۳۰ درصد کمپوست شسته شده فسفر قابل استفاده گیاه را نسبت به تیمار شاهد ۶/۵ برابر افزایش داده است که منجر به افزایش ۲/۳ برابری غلظت آن در گیاه شده است (جدول ۱ و ۵). چنین افزایشی باعث شده است که غلظت فسفر در اکثر تیمارها در دامنه حد مطلوب (۸۰-۰/۴۰ درصد) قرار گیرد. بیشترین میزان فسفر در کاهو در تیمار ۳۰ درصد کمپوست قارچ شسته شده مشاهده شد که با گیاهان کشت شده در تیمارهای ۱۰، ۲۰ و ۴۰ پسماند کمپوست قارچ شسته شده و گیاهان پرورش یافته در بسترهای حاوی ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته نشده تفاوت معنی دار نداشت. کمترین میزان این عنصر (۰/۲۰ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد که با سایر تیمارها از نظر آماری تفاوت معنی دار داشت (جدول ۵). این غلظت بسیار کم تر از حد بحرانی این عنصر (۰/۴۰ درصد) در برگ کاهو است. مدینا و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش میزان فسفر قابل دسترس گیاه در خاک را در اثر کاربرد پسماند کمپوست قارچ گزارش کردند (۳۰). چانگ و همکاران (۱۹۹۱) با بررسی اثر سه منبع کمپوست قارچ تازه، تازه شسته شده و تجزیه شده روی هشت درختچه زیتنی بیان کردند که استفاده از کمپوست قارچ باعث افزایش غلظت فسفر در برگ این گیاهان شد (۴).

پتاسیم: میزان پتاسیم در برگ کاهو در اثر استفاده از پسماند کمپوست قارچ نسبت به شاهد به طور معنی دار افزایش یافت. این افزایش در گیاهان کشت شده در تیمار ۳۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته شده بیشترین مقدار بوده (۴/۵۸ درصد) و با تیمارهای

افزایش جذب عنصر کلسیم توسط خیار مؤثر بوده است (۳۹).

مقایسات بین گروهی (اورتوگونال): نتایج مقایسات بین گروهی نشان داد که مصرف کمپوست قارچ شسته شده (WS) نسبت به تیمار شسته نشده (UWS) تأثیر معنی دار در افزایش صفات رشدی کاهو و غلظت عناصر غذایی پرمصرف داشته است (جدول ۶). همان طوری که در بخش های قبلی بحث شد یکی از محدودیت های مصرف کمپوست قارچ به عنوان اصلاح کننده خاک غلظت بالای املاح آن است که می تواند از تأثیر مثبت آن بر رشد گیاه بکاهد. بخشی از این املاح در اثر شستشو خارج شده و کمپوست با کیفیت تری تهیه و اثر مثبت بر صفات رشدی و غلظت عناصر غذایی پرمصرف کاهو گذاشته است.

کمترین میزان این عنصر مربوط به تیمار ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته نشده و شاهد بود، که به جزء تیمار ۱۰ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته نشده با گیاهان کشت شده در سایر تیمارها از نظر آماری تفاوت معنی دار وجود داشتند. در تیمار شاهد میزان کلسیم در برگ کاهو ۱/۳۰ درصد به دست آمد که کم تر از حد بحرانی (۲ درصد) می باشد. با مصرف کمپوست قارچ میزان کلسیم برگ تا تیمار ۳۰ درصد افزایش و در ادامه کاهش می یابد. افزایش غلظت سدیم و برهم خوردن نسبت کلسیم به سدیم در خاک و گیاه را می توان یکی از دلایل احتمالی این موضوع ذکر کرد. در تیمار ۳۰ درصد کمپوست قارچ شسته شده میزان کلسیم در دامنه حد مطلوب (۲-۲/۸۰ درصد) قرار گرفت که باعث افزایش ارزش و کیفیت تغذیه ای کاهو می شود. پژوهش ها نشان داده اند که کاربرد کمپوست قارچ شسته شده در بستر کشت در

جدول ۶- مقایسات گروهی اثر مصرف کمپوست قارچ شسته شده و نشده بر صفات رشدی کاهو.

Table 6. Orthogonal comparisons of washed and unwashed spent mushroom compost application on growth characteristics of lettuce.

کلسیم	پتاسیم	فسفر	نیترژن	وزن خشک	وزن تر	هدایت روزنه ای	سطح برگ شاخص سبزیگی	تعداد برگ	ارتفاع بوته	گروه تیماری	
(Ca)	(K)	(P)	(N)	(dry weight)	(wet weight)	(Stomatal conductance)	(Chlorophyll)	(leaf number)	(Bush height)	(Treatment group)	
1.73**	1.06**	0.01 ^{ns}	0.408**	515.2**	619.52**	72533.03**	425.03**	11221.5**	128271.1**	918.14**	UWS با WS

** و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی داری و عدم معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چنددامنه ای دانکن. WS و UWS به ترتیب بیانگر کمپوست قارچ شسته شده و شسته نشده.

** Indicates significant and non significant differences at 1% probable level ($P < 0.01$) according to Duncan's multiple range test. WS and UWS stand for washed and unwashed spent mushroom compost, respectively.

تیمار ۳۰ درصد بهترین تیمار بوده و افزودن آن به خاک سبب افزایش معنی دار شاخص های رشد رویشی مانند سطح برگ، ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، وزن خشک و به ویژه وزن تر (عملکرد) و غلظت عناصر پرمصرف در کاهو رقم "سیاهو" شد. اضافه نمودن نسبت های بالاتر از این کود آلی سبب کاهش

نتیجه گیری

نتایج مقایسات گروهی نشان داد که پسماند کمپوست قارچ خوراکی شسته شده نسبت به شسته نشده تأثیر معنی دار در افزایش خصوصیات رشد و غلظت برخی عناصر غذایی پرمصرف کاهو داشته است. در بین تیمارهای کمپوست قارچ شسته شده

نشان داد که مصرف کمپوست قارچ خوراکی باعث افزایش ماده آلی و غلظت عناصر غذایی ضروری پرمصرف در خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد. بنابراین، کمپوست قارچ شسته شده می تواند به عنوان یک اصلاح کننده مناسب با شوری کم برای بهبود وضعیت عرضه عناصر غذایی خاک و افزایش حاصلخیزی آن به ویژه در خاک های مناطق خشک و نیمه خشک استفاده شود.

شاخص های رشد و عملکرد شد. دلایل احتمالی این امر را می توان به افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و برهم خوردن نسبت عناصر غذایی در خاک در تیمارهای با غلظت بالا نسبت داد. سطوح بالای کمپوست شسته نشده دارای محتوای نمک های محلول بالایی بوده و این امر سبب ایجاد خشکی ثانوی ناشی از شوری برای کاهو شده و تمام خصوصیات رشد رویشی در نسبت های بالای این تیمار به طور معنی داری کاهش یافت. نتایج حاصل از این پژوهش

منابع

1. Arthur, E., Cornelis, W., and Razzaghi, F. 2012. Compost Amendment to sandy soil affects soil properties and greenhouse tomato productivity. *Compost Sci. Util.* 20: 4. 215-221.
2. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen total, P 595-624. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2*, 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
3. Cebula, J., Pelczar, J., Loska, K., and Widziewicz, K. 2013. The effect of spent mushroom substrate field storage conditions on its leachate composition. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. 1: 16. 93-102.
4. Chong, C., Cline, R., Rinker, D., and Allen, O. 1991. Growth and mineral nutrient status of containerized woody species in media amended with spent mushroom compost. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116: 2. 242-247.
5. Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., and Rea, E. 2006. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange and mineral composition of grafted watermelon plants. *HortScience*. 41: 3. 622-627.
6. Courtney, R., Jordan, S., and Harrington, T. 2009. Physico-chemical changes in bauxite residue following application of spent mushroom compost and gypsum. *Land Degrad Dev.* 20: 5. 572-581.
7. Courtney, R., and Mullen, G. 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresource Technol.* 99: 8. 2913-2918.
8. Curtin, J., and Mullen, G. 2007. Physical properties of some intensively cultivated soils of Ireland amended with spent mushroom compost. *Land Degrad Dev.* 18: 4. 355-368.
9. Dadkhah, A.R. 2006. Effect of salinity on germination and seedling growth of four sugar beet genotypes (*Beta Vulgaris* L.). *Pajouhesh and Sazandegie*. 70: 3. 88-93. (In Persian)
10. Eudoxie, G.D., and Alexander, I.A. 2011. Spent mushroom substrate as a transplant media replacement for commercial peat in tomato seedling production. *J. Agric. Sci.* 3: 4. 41-49.
11. Fakharian, N., Hassanpour Asil, M., and Samizadeh Lahiji, H. 2008. Effects of temperature, thickness of polypropylene shrink wrapping and modified atmosphere packaging on storage longevity of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Hort. Sci. Technol.* 22: 2. 135-145. (In Persian)
12. Fallovo, C., Roupahel, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Battistelli, A., and Colla, G. 2009. Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. *J. Food Agric. Environ.* 7: 2. 456-462.
13. Fan, M., Bie, Z., Krumbein, A., and Schwarz, D. 2011. Salinity stress in tomatoes can be alleviated by grafting and potassium depending on the rootstock and K-concentration employed. *Sci. Hort.* 130: 3. 615-623.

14. García Legaz, M., Ortiz, J., Garcé Lidón, A., and Cerda, A. 1993. Effect of salinity on growth, ion content and CO₂ assimilation rate in lemon varieties on different rootstocks. *Physiologia Plantarum*. 89: 3. 427-432.
15. Gonani, Z., Riahy, H., and Sharifi, K. 2011. Impact of using leached spent mushroom compost as a partial growing media for horticultural plants. *J. Plant Nutr.* 34: 337-344.
16. Hartz, T.K., Johnstone, P., Williams, E., and Smith, R. 2007. Establishing lettuce leaf nutrient optimum ranges through 15 DRIS analysis. *HortScience*. 42: 1. 143-146.
17. Holbeck, B., Amelung, W., Wolf, A., Südekum, K.H., Schloter, M., and Welp, G. 2013. Recoveries of ¹⁵N-labelled fertilizers (chicken manure, mushroom compost and potassium nitrate) in arable topsoil after autumn application to winter cover crops. *Soil Till Res.* 130: 120-127.
18. Homae, M. 2002. Plant responses to salinity. Iranian national committee on irrigation and drainage, 107p. (In Persian)
19. Jonathan, S., Oyetunji, O., Olawuyi, O., and Uwukhor, P. 2013. Application of pleurotus ostreatus SMC as soil conditioner for the growth of soybean (*Glycine max*). *Academia Arena*. 5: 1. 54-61.
20. Jonathan, S.G., Muritala, M.L., and Olusola, J.O. 2011. Effect of Spent Mushroom Compost of Pleurotus pulmonarius on Growth Performance of Four Nigerian Vegetables. *Mycobiology*. 39: 3. 164-169.
21. Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRS Press, 308p.
22. Jordan, S.N., Mullen, G.J., and Murphy, M. 2008. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioresource Technol.* 99: 2. 411-418.
23. Kahn, B.A., Payton, M.E., and Graetz, D.A. 2012. Compost treatments interact with other factors to affect red radish production. *Compost Sci. Util.* 20: 79-86.
24. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium, potassium, P 225-246. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2*, 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
25. Kubilay Onal, M., and Topcuoglu, B. 2007. The effect of spent mushroom compost on the dry matter mineral content of piper (*Piper Nigrum*) grown in greenhouse. *Akdeniz University Vocational High School of Technical Sciences. Turkey*. 222: 555-565.
26. Ludwick, A.E. 2002. *Western fertilizer handbook* 9th ed. Interstate Publishers, Inc., Danville, Ill., 356p.
27. Medina, E., Paredets, C., Bustamante, M.A., Moral, R., and Moreno-Caselles, J. 2012. Relationships between soil physico-chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. *Geoderma*. 173-174: 1. 152-161.
28. Mohammadinia, Kh. 1995. Chemical composition of municipal solid waste compost and its effect on soil and plant. M.Sc. Thesis in Soil Science. Isfahan University of Technology. (In Persian)
29. Morlat, R., and Chaussod, R. 2008. Long-term additions of organic amendments in a Loire Valley vineyard. I. Effects on properties of a calcareous sandy soil. *Am. J. Enol. Vitic.* 59: 4. 353-363.
30. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon and organic matter, P 475-490. In: A.L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis, part 2*, Madison, Wisc. ASA-SSSA.
31. Olfati, J., Khasmakhi-Sabet, S., Shabani, H., and Peyvast, G. 2012. Alternative Organic Fertilizer to Cow Manure for French Dwarf Bean Production. *Inter. J. Veg. Sci.* 18: 2. 190-198.
32. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus, P 403-427. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2*, 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
33. Peregrina, F., Larrieta, C., Martin, I., Martinez-Vidaurre, J.M., and Garcia-Escudero, E. 2009. Effect of application spent mushroom compost as organic amendment in vineyard soil of the origin denomination rioja (Spain). *Geophys. Res. Abstr.* 11: 368-375.

34. Philippoussis, A., Zervakis, G.I., Diamantpoulou, P., Papadopoulou, K., and Ehaliotis, C. 2004. Use of spent mushroom compost as a substrate for plant growth and against plant infections caused by *Phytophthora*. *Mushroom Sci.* 16: 579-584.
35. Rajabi, G. 1992. Studies on the effect of compost fertilizer on salinity and pollution and heavy metal uptake by corn in a soil amended by compost fertilizer. M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology. (In Persian)
36. Rathier, T.M. 1982. Spent mushroom compost for greenhouse crops. *Conn. Greenhouse Newsl.* 109: 1-6.
37. Ribas, L.C.C., de Mendonça, M.M., Camelini, C.M., and Soares, C.H.L. 2009. Use of spent mushroom substrates from *Agaricus brufescens* (syn. *A. blazei*, *A. brasiliensis*) and *Lentinula edodes* productions in the enrichment of a soil-based potting media for lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation: Growth promotion and soil bioremediation. *Bioresource Technol.* 100: 20. 4750-4757.
38. Riahi, H., and Azizi, A. 2006. Leached SMC as a component and replacement for peat in casing soil and increasing dry matter in mushroom. *Proceedings of 2nd International Spent Mushroom Substrate Symposium*, University Park, PA: The Pennsylvania State University, ed. K. Paley, Pp: 41-46. (In Persian)
39. Run-Hua, Z., Zeng-Qiang, D., and Zhi-Guo, L. 2012. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings. *Pedosphere.* 22: 3. 333-342.
40. Sendi, H., Mohamed, M., Anwar, M., and Saud, H. 2013. Spent mushroom waste as a media replacement for peat moss in Kai-Lan (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra*) production. *Sci World J.* 1-8.
41. Stewart, D.P.C., Cameron, C.K., and Cornforth, I.S. 1998a. Inorganic-N release from spent mushroom compost under laboratory and field conditions. Department of soil science, Lincoln University, Canterbury, Newland. *Soil Biol. Biochem.* 30: 13. 1689-1699.
42. Stewart, D.P.C., Cameron, K.C., Cornforth, I.S., and Main, B.E. 1998b. Release of sulphate, potassium, calcium and magnesium from spent mushroom compost under laboratory conditions. *J. Biol. Fertil. Soils.* 26: 146-151.
43. Vahabi Mashak, F., Mirseyed Hosseini, H., Shovafa, M., and Hatami, S. 2007. Investigation of the effects of spent mushroom compost (SMC) application on some chemical properties of soil and leachate. *Plant and soil. Agricultural science and technology.* 22: 395-407. (In Persian)
44. Wang, S.H., Lohr, V.I., and Coffey, D.L. 1984. Growth response of selected vegetable crops to spent mushroom compost application in a controlled environment. *Plant and Soil.* 82: 31-40.
45. Wang, Z.H., Li, S.X., and Malhi, S. 2008. Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *J. Sci. Food Agric.* 88: 1. 7-23.
46. Wever, G., Van Der Burg, A., and Straatsma, G. 2004. Potential of adapted mushroom compost as a growing medium in horticulture. *International Symposium on Soil less Culture and Hydroponics.* 697: 171-177.



Effect of spent mushroom compost application on growth parameters and macroelement uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

*E. Goli Kalanpa¹, N. Amani² and B. Esmailpour³

¹Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Horticultural Science, University of Mohaghegh Ardabili,

³Associate Prof., Dept. of Horticultural Science, University of Mohaghegh Ardabili

Received: 08/15/2014; Accepted: 02/09/2015

Abstract

Background and Objectives: Application of organic amendments such as spent mushroom compost has received significant attention due to achieving sustainable production and healthy yield. Considerable amounts of spent mushroom compost are produced in mushroom production. Application of this byproduct from sustainable agriculture standpoint especially in organic matter deficient soils such as Iranian soils is important. Therefore, this greenhouse research was conducted in a sandy soil to investigate washed and unwashed spent mushroom compost effects on vegetative growth properties and macroelements (N, P, K and Ca) uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L. cv Syaho).

Materials and Methods: This research was carried out based on completely randomized experiment with five replications. Experimental treatments were 0 (control), 10, 20, 30, 40 and 50% of washed and unwashed spent mushroom compost (SMC) in a sandy loam soil. Some physicochemical properties and bioavailable concentration of macroelements were measured before planting in all treatments. After growing period, lettuce was harvested and growth properties such as plant height, leaf number and surface, chlorophyll content and stomatal conductance of leaves, dry and wet weight and macroelements concentration in lettuce were measured. Comparison of mean analysis was done by SPSS software.

Results: Washed and unwashed spent mushroom compost addition increased organic matter, electrical conductivity, total nitrogen and bioavailable concentration of P, K, Ca and Na in a sandy soil in comparison with control. Increasing organic matter content is one of the main advantages of organic fertilizers because of improving soil quality and consequently crop production in organic matter deficient soils of arid and semi-arid regions. Results showed that application of SMC in soil had significant effect ($P \leq 0.01$) on lettuce growth properties and N, P, K and Ca content. Maximum and minimum amounts for most properties were obtained in 30% washed spent mushroom and control, respectively. Leaf analysis results showed that macroelement concentrations have been reached close to optimum level due to application of SMC.

Conclusion: Application of spent mushroom compost improved growth, yield and nutritional quality of lettuce in comparison with control because of increasing organic matter content and bioavailability of macroelements. Orthogonal comparison showed that washed spent mushroom compost in comparison to unwashed one had significant effect on measured parameters ($P < 0.01$). Therefore, washed spent mushroom compost can be used as a suitable amendment with low salinity to improve nutrient supply characteristics and increasing soil fertility in arid and semi-arid region. Our results showed that washed spent mushroom compost can be used to produce organic lettuce and supply its nutrient requirement to some extent without using chemical in greenhouse condition.

Keywords: Growth parameters, Lettuce, Macroelements, Organic farming, Spent mushroom compost (SMC)

* Corresponding Authors; Email: goli@uma.ac.ir

