

بررسی تأثیر باکتری حل‌کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر رشد کاهو در یک خاک آهکی

آناهیتا خسروی، مهدی زارعی¹ و عبدالمجید رونقی

دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ khosravi.a1991@gmail.com

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ mehdizarei@shirazu.ac.ir

استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ amronaghi@yahoo.com

دریافت: 95/5/27 و پذیرش: 96/4/12

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از منابع نامحلول فسفات به همراه کودهای زیستی در خاک‌های آهکی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. به منظور بررسی اثر باکتری حل‌کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر برخی ویژگی‌های رویشی کاهو (رقم فردوس)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و با سه عامل انجام شد. عوامل آزمایش شامل باکتری در دو سطح (با و بدون مایه تلقیح)، منابع فسفات در چهار سطح (شاهد، خاک فسفات معدن آسفوردی یزد، تری کلسیم فسفات، و سوپر فسفات تریپل به میزان 25 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، ورمی کمپوست در دو سطح (شاهد و یک درصد وزنی خاک) انجام شد. استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی کاهو به طور معنادار شد هرچند که بر ارتفاع بوته کاهو اثر معناداری نداشتند. کاربرد خاک فسفات و تری کلسیم فسفات، به ترتیب موجب افزایش وزن خشک و وزن تر اندام هوایی کاهو گردید. کاربرد سوپر فسفات تریپل، وزن تر، وزن خشک و ارتفاع بوته کاهو را به طور معنادار افزایش داد. کاربرد همزمان باکتری، ورمی کمپوست و منابع فسفات (به جز سوپر فسفات) موجب افزایش وزن تر، وزن خشک، تعداد برگ و غلظت فسفر کاهو شد. بطور کلی نتایج نشان داد که کاربرد همزمان منابع نامحلول فسفات با کودهای زیستی می‌تواند جایگزین مصرف کودهای شیمیایی فسفات‌گردد.

واژه‌های کلیدی: باکتری حل‌کننده فسفات، فسفات نامحلول، کاهو، ورمی کمپوست

¹نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، باجگاه، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، بخش علوم و مهندسی خاک

مواد خام برای تولید کودهای فسفاتی می‌باشند (ون کانبرگ، 2001). معادن خاک فسفات در چند نقطه دنیا از جمله شمال آفریقا، ایران، ایالات متحده، روسیه، چین و مراکش یافت می‌شوند. خاک فسفات عمده‌ی داخل کشور از معدن آسفوردی یزد تأمین می‌شود که یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های آن میزان کادمیم پایین است. با این حال خاک فسفات دارای حلالیت کم به ویژه در خاک‌های آهکی می‌باشد و یکی از راهکارهای مورد استفاده جهت افزایش کارایی، کاربرد این ماده به همراه ریزجانداران حل کننده‌ی فسفات است (سلیم پور و همکاران، 1389). گزارش‌های زیادی مبنی بر توانایی برخی از گونه‌های باکتری مانند سودوموناس، باسیلوس، ریزوبیوم، برخلداریا، آگروباکتریوم، میکروکوکوس و غیره در حل کنندگی فسفات‌های غیر آلی نظیر تری کلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات و خاک فسفات وجود دارد (رودریگز و فراگا، 1999؛ ازوری و همکاران، 2015). به‌طور کلی پذیرفته شده است که مکانیزم حل کنندگی فسفات معدنی توسط این گونه باکتری‌ها، با آزادسازی اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم، ترشح یون پروتون و ترکیبات کلات کننده انجام می‌شود (گلداشتاين، 1995؛ ازوری و همکاران، 2015). از میان اسیدهای آلی، اسید گلوکونیک به عنوان یکی از مهم ترین عوامل در انحلال فسفات‌های معدنی محسوب می‌شود. مکانیزم‌های دیگری نیز برای انحلال فسفات‌های معدنی شناخته شده اند، از جمله این مکانیزم-ها می‌توان به تولید اسیدهای غیرآلی (لیفیشیتز و همکاران، 1987) مانند اسید سولفوریک، نیتریک و کربنیک، تولید مواد کلات کننده مانند اسید سیتریک (اسپریر، 1958) نام برد. این باکتری‌ها توانایی معدنی کردن فسفات‌های آلی نظیر فسفولیبیدها، نوکلئیک اسیدها و قندهای فسفات را نیز دارند. این فرایند توسط آنزیم‌های فسفاتاز یا فسفوهیدرولازهای متعدد انجام می‌گردد (رودریگز و فراگا، 1999). البته در برخی شرایط، استفاده بیش از حد از کوه‌های فسفره، گیاه دچار سمیت فسفر شده و رشد و نمو آن دچار اختلال می‌گردد. همچنین فسفر به طور غیر مستقیم و با کاهش جذب عناصر کم مصرفی مانند آهن، منگنز و روی بر رشد گیاه اثر می‌گذارد (مک کائولی و همکاران، 2011).

استفاده از ورمی کمپوست در کشت گیاهان به دلیل بالا بودن عناصر قابل استفاده و مواد و ریزجانداران محرک رشد، باعث افزایش عملکرد، ارتفاع، تعداد گل و تعداد برگ گیاهان خواهد شد. مقدار بالای هیومیک اسید در ورمی کمپوست باعث افزایش سلامت گیاه می‌شود

کاهو (*Lactuca sativa*)، گیاهی یک ساله از خانواده گل مرکبان¹ است و بیشتر به صورت گیاه برگ مانند پرورش می‌یابد. کاهو یک گیاه روز بلند و نیازمند نور زیاد بوده و در تابستان به گل می‌نشیند (روستا و همکاران، 92). بهترین دما برای رشد کاهو 15 تا 25 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گیاه کاهو به دلیل دارا بودن مقادیر بالای سلولز باعث سلامت دستگاه گوارش شده و برای افراد چاق و افرادی با فشار خون بالا بسیار مفید می‌باشد. همچنین کاهو گیاهی غنی از عناصری مانند آهن، کلسیم، پتاسیم و فسفر می‌باشد (عراقی و همکاران، 1390). این گیاه همچنین حاوی ترکیبات آنتی اکسیدانتی و پلی فنل می‌باشد (لورچ و همکاران، 2008).

فسفر از مهم‌ترین عناصر ضروری پرمصرف در رشد گیاهان است. در کشاورزی برای رفع کمبود فسفر از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود که بیش از 2/3 آن توسط آهن، آلومینیوم و کلسیم رسوب داده می‌شود. لذا استفاده از روش‌های مناسب برای افزایش بازدهی کودهای فسفر توصیه می‌شود. استفاده از ریزجانداران خاک زی حل کننده فسفات، از راه های مؤثر برای افزایش قابلیت جذب فسفر و کاهش آلودگی خاک و آب است (محمدی و پور بابایی، 1391). امروزه تولید محصولات ارگانیک و عاری از مواد شیمیایی از مهمترین اهداف کشاورزی و تولید پایدار می‌باشد. تلقیح ریزجانداران مفید به خاک، می‌تواند نیاز به استفاده از کودها و مواد شیمیایی که برای محیط زیست بسیار مضر می‌باشد را کاهش دهد.

باکتری‌های محرک رشد گیاه گروهی از گونه-های باکتریایی هستند که با ریشه گیاه و با ساز و کارهای مختلف تأثیرات مثبتی بر رشد گیاه می‌گذارند. یکی از مهم‌ترین این ساز و کارها حل کنندگی فسفات می‌باشد که جذب فسفر و رشد را در گیاهان تلقیح شده افزایش می‌دهد. این عنصر در رشد زیستی و توسعه گیاهان نقش مهمی ایفا می‌کند و بعد از نیتروژن محدودکننده‌ترین عنصر برای رشد گیاه است. جذب فسفر در خاک‌های آهکی، به دلیل پ هاش بالا، وجود کربنات کلسیم، کمبود ماده آلی و رطوبت خاک، بسیار کم است. از طرفی دیگر آپاتیت، هیدروکسی آپاتیت، اکسی آپاتیت از مهم‌ترین کانی‌های اولیه‌ی تشکیل شده از فسفر می‌باشند که مهم‌ترین ویژگی آن‌ها انحلال ناپذیری در شرایط معمولی می‌باشد. خاک فسفات نیز ماده اولیه تهیه کودهای فسفات و یکی از انواع فسفرهای معدنی می‌باشد. این ماده یکی از بهترین جایگزین‌ها در کشاورزی است که دچار کمبود

¹. Asteraceae.

ارتفاع 1810 متر از سطح دریا) بصورت فاکتوریل در غالب طرح کاملاً تصادفی درسه تکرار و با سه عامل انجام شد. عوامل آزمایش شامل باکتری در دو سطح (بدون تلقیح و تلقیح شده با باکتری)، منابع فسفات در چهار سطح (شاهد، خاک فسفات معدن آسفوردی یزد، تری کلسیم فسفات، و سوپر فسفات تریپل به میزان 25 میلی-گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، ورمی کمپوست در دو سطح (شاهد و یک درصد وزنی خاک) انجام شد.

خاک مورد نیاز برای پژوهش از عمق صفر تا 30 سانتی متری خاک آهکی سری دانشکده با نام علمی (Fine, mixed, mesic, Typic Calcixerepts) (ابطحی و همکاران، 1370) واقع در منطقه باجگاه دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز جمع آوری شد. نمونه‌ها پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری جهت تجزیه شیمیایی آماده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند pH در گل اشباع به روش توماس (1996)، بافت به روش هیدرومتری (جی و بادر، 1986)، ماده آلی به روش اکسیداسیون با بی‌کرومات پتاسیم و سپس تیتره کردن با فروآمونیم سولفات (نلسون و سامر، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت سنج الکتریکی (رودز، 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (سامر و میلر، 1996)، نیتروژن کل به روش کلدال (برمنز، 1996)، فسفر قابل استفاده به وسیله بی‌کربنات سدیم (ولسن و همکاران، 1954) و غلظت عناصر کم مصرف کاتیونی (منگنز، مس، روی، و آهن) به روش عصاره‌گیری با دی تی پی ا (لیندزی و نورول، 1987) و قرائت با دستگاه جذب اتمی Shimadzu-AA67 و پتاسیم به وسیله قرائت توسط دستگاه شعله سنج مدل CORNING 405 تعیین شد.

ورمی‌کمپوست مورد نیاز، از مزرعه ورمی-کمپوست دانشکده کشاورزی تهیه شده، پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، خواص شیمیایی آن تعیین شد. اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش کلدال (برمنز، 1996) و ماده آلی به روش اکسیداسیون با بی‌کرومات پتاسیم و سپس تیتره کردن با فروآمونیم سولفات (نلسون و سامر، 1996)، پ هاش (توماس، 1996) و قابلیت هدایت الکتریکی (رودس، 1996) در نمونه‌های ورمی کمپوست با نسبت 1 به 5 (ورمی کمپوست به آب)، فسفر به روش زرد مولیبدات وانادات (چایمن و پرات، 1961)، عناصر کم مصرف به روش خشک سوزانی، حل خاکستر در اسید کلریدریک دو مولار و اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی

(پاپاتانسو و همکاران، 2012؛ ادواردز و باروز، 1988). همچنین به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی در صنعت ورمی‌تکنولوژی، تمامی محصولات تولید شده آلی بوده و در کشاورزی آلی تأثیر به‌سزایی خواهد داشت.

بوستانامت و همکاران (2008) گزارش کردند که افزودن کمپوست حاصل از فضولات دام موجب افزایش وزن تر و خشک کاهو، چغندر قند، گشنیز و کلم بروکلی شد. لئون و همکاران (2012) در بررسی اثر ورمی کمپوست در کشت کاهو نشان دادند که استفاده از 24 تن در هکتار ورمی کمپوست باعث افزایش عملکرد کاهو به میزان 40 تن در هکتار، نسبت به متوسط عملکرد معمولی و افزایش غلظت نیترات در برگ کاهو گردید. ورمی کمپوست تأثیرات مثبتی بر روی رشد سبزی‌نگی گیاهان دارد و رشد ریشه و اندام هوایی گیاه را توسعه می‌بخشد (ادواردز و باروز، 1988).

مورتی و لدها (1988) گزارش کردند که تلقیح باکتری *آزوسپریلوم لیپوفروم* به بذر برنج موجب افزایش فسفر قابل دسترس شد. آنها مشاهده کردند که مایه‌زنی این باکتری طول ریشه را به طور قابل توجهی افزایش داد و موجب افزایش معنی‌دار در وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه برنج شد. استفاده از باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدا* باعث افزایش جوانه‌زنی قسمت هوایی و ریشه گیاهان کلزا، کاهو و گوجه‌فرنگی شد (هال و همکاران، 1996؛ گلیک و همکاران، 1997) و عملکرد اندام هوایی را در تربچه، برنج، نیشکر، سیب، گوجه، گندم و کاهو افزایش داد (کلوپر، 1994). کاربرد خاک فسفات و باکتری حل‌کننده فسفات در برنج، باعث افزایش وزن خشک، مقدار کلرفیل برگ و جذب فسفر از خاک در گیاه برنج در شرایط هوازی شد (پنهاور و همکاران، 2010). مارولاندا-آگوری و همکاران (2007) گزارش کردند که مایه‌زنی *باسیلوس مگاتریم* باعث افزایش سطح برگ و ماده خشک کاهو شد. از آنجا که در مورد تأثیر همزمان باکتری حل‌کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر رشد کاهو اطلاعاتی در دسترس نبود این پژوهش به منظور بررسی تأثیر باکتری *سودوموناس فلورسنس*، منابع محلول و نامحلول فسفات و ورمی کمپوست بر برخی ویژگی‌های رویشی و غلظت فسفر کاهو در یک خاک آهکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال 1393 در گلخانه تحقیقاتی بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (منطقه باجگاه با طول جغرافیایی 29 درجه و 50 دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی 52 درجه و 46 دقیقه شرقی، و

منابع معدنی و آلی فسفات) جهت بررسی توانایی حل فسفات‌های آلی و معدنی کشت شد (اسپربر، 1958؛ زارعی و همکاران، 2006). خواص محرک رشد باکتری در جدول دو آورده شده است. جهت تهیه زاد مایه، از ارلن های 100 میلی لیتری حاوی 30 میلی لیتر محیط کشت نوترینت براث استریل استفاده شد. تحت شرایط استریل، یک لوپ از کشت تازه به محیط کشت تلقیح شد. سپس ارلن‌های حاوی محیط کشت تلقیح شده با باکتری در شیکر انکوباتور دار با سرعت 120 دور در دقیقه به مدت 24 ساعت در دمای 28 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از رشد کافی و شمارش آن، زادمایه مورد استفاده قرار گرفت.

مدل Shimadzu-AA670 (چاپمن و پرات، 1961) و پتاسیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر انجام شد. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول یک آورده شده است.

باکتری سودوموناس فلورسنس، از آزمایشگاه بیولوژی گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران تهیه شد. صفات محرک رشد این باکتری، از جمله توانایی تولید سیدروفور (الکساندر و زوبرر، 1991)، و تولید اکسین (پتن و گلیک، 2002) اندازه‌گیری شد. همچنین باکتری جهت توانایی انحلال فسفات مورد بررسی قرار گرفت. این باکتری بر روی محیط جامد اسپربر (حاوی $Ca_3(PO_4)_2$ و اینوزیتول هگزا فسفات به ترتیب به عنوان

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ورمی کمپوست و خاک مورد استفاده

ویژگی ورمی کمپوست/خاک	ورمی کمپوست	خاک
شن (درصد)	-	13
سیلت (درصد)	-	51
رس (درصد)	-	36
یافت	-	Silty clay loam
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	5/80	0/63
پ هاش	7/75	7/5
ماده آلی (درصد)	44/20	0/85
نیترژن کل (درصد)	2/15	0/03
فسفر کل* / بی کربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	14194	12/40
پتاسیم کل / قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	10000	620
آهن کل / DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	3274	5/50
منگنز کل / DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	248/80	12/20
مس کل / DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	28/70	1/62
روی کل / DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	112/30	0/60
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار در کیلوگرم)	-	24

*مقادیر کل عناصر مربوط به ورمی کمپوست می‌باشد.

سپس ورمی کمپوست در سطح یک درصد وزنی به خاک اضافه و سپس خاک‌ها به گلدان‌های چهار کیلوگرمی انتقال داده شد. در هر گلدان پنج بذر کاهو رقم فردوس (Ferdos) کشت شد. در تیمارهای دارای باکتری بر روی هر بذر، مقدار دو میلی‌لیتر زادمایه باکتری ($1 \times 10^7 \frac{CFU}{mL}$) تلقیح شد و سپس بذرها با لایه‌ای از خاک پوشانده شد. پس از جوانه زنی، تعداد بوته‌ها به دو عدد کاهش یافت. در طول دوره رشد بوته‌های کاهو توسط آب مقطر در حدود ظرفیت مزرعه (FC) آبیاری شدند. حدود ده هفته بعد از کاشت، شاخص سبزی‌نگی به وسیله کلرفیل متر مدل SPAD-502 بر روی برگ‌های تازه کاملاً توسعه یافته در

ابتدا نمونه‌های چهار کیلوگرمی از خاک هوا خشک درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، عناصر غذایی (به جز فسفر) شامل نیترژن از منبع اوره (175 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در سه نوبت)، منگنز از منبع سولفات منگنز (پنج میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، مس از منبع سولفات مس (2/5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، روی از منبع سولفات روی (پنج میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و آهن از منبع سکوسترین آهن (پنج میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به خاک اضافه شد. منابع فسفات شامل خاک فسفات تهیه شده از معدن آسفوردی یزد، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل هر کدام به مقدار 25 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک و

شده در دمای 550 درجه سلسیوس در کوره الکتریکی خاکستر و سپس در 10 میلی لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل کرده و محلول توسط کاغذ صافی و پس از شستشوی مواد باقیمانده بر سطح کاغذ صافی با آب مقطر، حجم نهایی به 50 میلی لیتر رسانده شد. غلظت فسفر به روش آمونیوم مولبیدات و انادات (کیو 1996) اندازه‌گیری گردید. در پایان داده‌های به دست آمده در نرم افزار Excel آماده سازی گردید. سپس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل تیمارها به وسیله نرم افزار آماری SAS توسط آزمون LSD انجام شد. رسم نمودارها نیز به وسیله نرم افزار Excel انجام گردید.

هر دو بوته قرائت و میانگین کلرفیل دو گیاه در هر گلدان به عنوان متوسط کلرفیل برای هر یک از تکرارهای یک تیمار در نظر گرفته شد. ارتفاع بوته‌ها نیز به وسیله خط کش از سطح خاک تا انتهای بوته اندازه‌گیری 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 شد و پس از شستشو با آب مقطر، گیاهان درون پاکت قرار داده گرفت و تا زمان رسیدن به وزن ثابت در آون با دمای 65 درجه سانتی گراد خشک گردید. سپس وزن خشک گیاهان اندازه‌گیری شد. اندام هوایی خشک شده آسیاب و برای اندازه‌گیری غلظت عنصر فسفر تجزیه گردید. یک گرم از نمونه‌های پودر

جدول 2- خواص محرک رشد باکتری مورد استفاده

ویژگی	توانایی تولید سیدروفور (قطر هاله به کلنی)	توانایی تولید اکسین (میکروگرم بر میلی لیتر)	توانایی حل فسفات معدنی (قطر هاله به کلنی)	توانایی حل فسفات آلی (قطر هاله به کلنی)
مقدار	1/7	20	1/6	3

نتایج

اثر باکتری حل‌کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر وزن تر و خشک کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تلقیح باکتری و اثر متقابل باکتری، ورمی کمپوست و منابع فسفات (باکتری × ورمی کمپوست × منابع فسفات) در سطح یک درصد و اثرات اصلی ورمی کمپوست و منابع فسفات و اثرات متقابل باکتری و ورمی کمپوست (باکتری × ورمی کمپوست) و باکتری و منابع فسفات (باکتری × منابع فسفات) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 3). طبق نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی، تلقیح باکتری، افزودن ورمی کمپوست به ترتیب باعث افزایش 9 و 23 درصدی وزن تر کاهو نسبت به شاهد شد. از میان منابع فسفات، سوپر فسفات تریپل بیشترین وزن تر را در کاهو ایجاد کرد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای حاوی تری کلسیم فسفات نداشت. وزن تر کاهو در این تیمارها به ترتیب 15 و 7 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول 4).

نتایج نشان داد که در تیمارهای بدون تلقیح باکتری، استفاده از ورمی کمپوست به همراه خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل، وزن تر اندام هوایی کاهو را به ترتیب 38، 35 و 33 درصد نسبت به تیمارهای بدون کاربرد ورمی کمپوست افزایش داد (جدول 4). در تیمارهای بدون ورمی کمپوست، کاربرد

خاک فسفات و تلقیح باکتری، موجب افزایش معنی‌دار وزن تر کاهو در مقایسه با تیمار کاربرد خاک فسفات و بدون تلقیح باکتری شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد همزمان سوپر فسفات تریپل و تلقیح باکتری نداشت. نتایج نشان داد که کمترین وزن تر در تیمار شاهد (170/97 گرم) و بیشترین وزن تر در تیمار حاوی ورمی کمپوست و سوپر فسفات تریپل بدون تلقیح باکتری (413/38 گرم) مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمارهای ورمی کمپوست تلقیح شده با باکتری، منابع فسفات تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی باکتری در سطح پنج درصد، اثر اصلی ورمی کمپوست و منابع فسفات و اثرات متقابل باکتری و ورمی کمپوست (باکتری × ورمی کمپوست) و باکتری و منابع فسفات (باکتری × منابع فسفات) در سطح 1 درصد بر وزن خشک کاهو معنی‌دار بود (جدول 3). نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که تلقیح باکتری باعث افزایش 8 درصدی وزن خشک نسبت به شاهد شد (جدول 4). افزودن ورمی کمپوست وزن خشک کاهو را 37 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. از میان منابع فسفات، خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل بیشترین وزن خشک را در کاهو ایجاد کردند که وزن خشک کاهو را به ترتیب 14/8 و 15/5 درصد نسبت به شاهد افزایش دادند.

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر باکتری حل کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر رشد کاهو و غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه

میانگین مربعات							منابع تغییرات
غلظت فسفر	ارتفاع	شاخص سبزی‌نگی	تعداد برگ	وزن خشک	وزن تر	درجه آزادی	
182148/8 ^{ns}	12/50 ^{ns}	62/33 ^{ns}	38/52 ^{ns}	33/83*	9646/00*	1	باکتری
571487/6**	10/54 ^{ns}	177/48**	320/33**	538/01**	57695/00**	1	ورمی کمپوست
1537061**	48/96**	180/32**	15/61 ^{ns}	38/29**	8578/90**	3	منابع فسفات
87206/4 ^{ns}	14/63 ^{ns}	11/80 ^{ns}	9/18 ^{ns}	135/67**	38928/17**	1	باکتری × ورمی کمپوست
1452061**	12/58 ^{ns}	115/29**	5/08 ^{ns}	38/99**	5878/37**	3	باکتری × منابع فسفات
655498**	2/807 ^{ns}	43/19 ^{ns}	14/14 ^{ns}	12/55 ^{ns}	1196/556 ^{ns}	3	ورمی کمپوست × منابع فسفات
652841/8**	29/73**	31/77 ^{ns}	9/30 ^{ns}	6/289 ^{ns}	4936/97*	3	باکتری × ورمی کمپوست × منابع فسفات
55152/9	162/66	17/52	301/33	219/19	1376/63	32	خطا
-	-	-	-	-	-	47	کل

ns. * و ** به ترتیب یعنی عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح پنج درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد

نتایج نشان داد که در تیمارهای بدون تلقیح باکتری، استفاده از ورمی کمپوست و تری کلسیم فسفات، تعداد برگ کاهو را به طور معنی‌دار افزایش داد (جدول 5). در تیمارهای تلقیح شده با باکتری، استفاده هم زمان از ورمی کمپوست به همراه خاک فسفات یا تری کلسیم فسفات، تعداد برگ کاهو را به ترتیب 19 و 34 درصد و به طور معنی‌دار افزایش داد. این افزایش در تیمار سوپر فسفات تریپل غیر معنی‌دار بود. در تیمارهای دارای ورمی کمپوست، تلقیح باکتری به همراه خاک فسفات، تعداد برگ را به طور معنی‌دار نسبت به تیمار بدون تلقیح باکتری افزایش داد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تعداد برگ در تیمارهای تلقیح شده با باکتری به همراه ورمی کمپوست و تری کلسیم فسفات بوده که نسبت به تیمار شاهد 49 درصد افزایش داشت. همچنین کمترین تعداد برگ در تیمار سوپر فسفات تریپل بدون تلقیح باکتری و بدون ورمی کمپوست مشاهده گردید. در تیمارهای با کاربرد ورمی کمپوست، تفاوت معنی‌داری میان سوپر فسفات تریپل و خاک فسفات در شرایط تلقیح و بدون تلقیح با باکتری بر تعداد برگ مشاهده نگردید.

اثر باکتری حل کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع فسفات شاخص سبزی‌نگی کاهو

همانطور که در نتایج تجزیه واریانس مشاهده می‌شود، اثرات اصلی ورمی کمپوست و منابع فسفات و همچنین اثر متقابل باکتری و منابع فسفات در سطح یک درصد بر شاخص سبزی‌نگی معنی‌دار بود (جدول 3). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی افزودن

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمارهای بدون ورمی کمپوست، تلقیح باکتری به همراه خاک فسفات، وزن خشک کاهو را 35 درصد و به طور معنی‌دار افزایش داد (جدول 5). در تیمارهای بدون تلقیح باکتری، استفاده هم زمان از ورمی کمپوست و منابع فسفات، وزن خشک کاهو را به طور معنی‌دار افزایش داد. این افزایش در تیمارهای تلقیح شده با باکتری، به طور غیر معنی‌دار اتفاق افتاد. تیمارهای دارای ورمی کمپوست، تلقیح باکتری به همراه سوپر فسفات تریپل، موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی کاهو گردید. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک در تیمار دارای ورمی کمپوست و سوپر فسفات تریپل بدون تلقیح باکتری مشاهده شد که نسبت به شاهد 2/99 برابر افزایش یافت و با تیمار تلقیح شده با باکتری به همراه خاک فسفات تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین وزن خشک کاهو نیز در تیمار شاهد (9/36 گرم) مشاهده شد.

اثر باکتری حل کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر تعداد برگ کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر اصلی ورمی کمپوست در سطح یک درصد بر تعداد برگ کاهو معنی‌دار بود. سایر اثرات اصلی و برهمکنش‌ها، تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ کاهو نداشت (جدول 3). مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی نشان می‌دهد که افزودن ورمی کمپوست باعث افزایش 17 درصدی برگ کاهو نسبت به شاهد شد (جدول 4).

افزایش معنی‌دار نبود. همچنین از بین منابع مختلف فسفات، افزودن خاک فسفات بیشترین شاخص سبزی‌نگی را نشان داد.

ورمی‌کمپوست به خاک باعث کاهش 10 درصدی شاخص سبزی‌نگی نسبت به شاهد شد (جدول 4). تلقیح باکتری باعث افزایش شاخص سبزی‌نگی شد اما این

جدول 4- اثرات اصلی باکتری حل‌کننده فسفات، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات بر رشد کاهو و غلظت فسفر

تیما	وزن تر (گرم در گلدان)	وزن خشک (گرم در گلدان)	تعداد برگ (میانگین دو بوته)	شاخص سبزی‌نگی	ارتفاع (سانتی متر)	غلظت فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)
باکتری						
بدون تلقیح	312/46 B	20/204B	30/97 A	33/94A	31/50 A	4523/44 A
تلقیح شده	340/81 A	21/88A	32/77 A	36/22A	30/47A	4400/00 A
ورمی کمپوست						
0	291/96B	17/69 B	29/29B	37/01A	31/45A	4352/6 B
%1	361/30 A	24/39 A	34/45 A	33/16B	30/52A	4570/83 A
منابع فسفات						
P ₀	311/24C	19/62B	31/04A	36/87 AB	30/41BC	4425/00 B
RP	299/98BC	22/52A	31/95 A	38/65A	28/81C	3975/00C
TCP	335/14AB	19/36B	33/45 A	35/14 B	31/06 B	4600/00A
SP	360/17A	22/67 A	31/04 A	29/68C	33/66A	4596/75A

* اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک بزرگ هستند، از لحاظ آماری در سطح 5 درصد از آزمون LSD معنی دار نمی‌باشند.
SP, TCP, RP, P₀ به ترتیب نشان دهنده تیمارهای بدون منبع فسفات، خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل می‌باشند.

اصولی و اثرات متقابل تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته کاهو نداشت. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که تلقیح باکتری و افزودن ورمی کمپوست اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته کاهو نداشته است (جدول 4). اما از میان منابع فسفات، ارتفاع بوته کاهو در سوپر فسفات تریپل بیشترین و خاک فسفات کمترین بوده است. افزودن سوپر فسفات تریپل و خاک فسفات به ترتیب باعث 10 درصد افزایش و پنج درصد کاهش در ارتفاع بوته کاهو شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای دارای ورمی کمپوست، تلقیح باکتری به همراه تری کلسیم فسفات، موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته کاهو نسبت به تیمارهای بدون تلقیح باکتری شد (جدول 5). در تیمارهای دارای ورمی کمپوست تلقیح شده با باکتری، تفاوت معنی‌داری میان خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل مشاهده نشد. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته کاهو در تیمار حاوی سوپر فسفات تریپل بدون تلقیح با باکتری و ورمی کمپوست و کمترین ارتفاع بوته کاهو در تیمار حاوی ورمی کمپوست و تلقیح شده با باکتری مشاهده شد.

اثر باکتری حل‌کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع

فسفات بر غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی ورمی کمپوست و منابع فسفات و همچنین اثر متقابل باکتری و منابع فسفات، منابع فسفات و ورمی کمپوست و

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمارهای بدون ورمی کمپوست، تلقیح باکتری به تیمارهای خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل به ترتیب شاخص سبزی‌نگی را به طور معنی‌دار کاهش و افزایش داد (جدول 5). در تیمارهای بدون تلقیح باکتری، استفاده هم‌زمان از ورمی کمپوست و خاک فسفات، شاخص سبزی‌نگی را به طور معنی‌دار کاهش داد. همچنین در تیمارهای تلقیح با باکتری، استفاده هم‌زمان از ورمی کمپوست و سوپر فسفات تریپل، شاخص سبزی‌نگی را به طور معنی‌دار کاهش داد. کمترین مقدار شاخص سبزی‌نگی در تیمارهای تلقیح شده با باکتری همراه با ورمی کمپوست و سوپر فسفات تریپل مشاهده شد. بیشترین شاخص سبزی‌نگی در تیمارهای تری کلسیم فسفات بدون تلقیح باکتری و بدون ورمی کمپوست مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد 67 درصد افزایش یافت. کمترین شاخص سبزی‌نگی نیز در تیمار سوپر فسفات تریپل و ورمی کمپوست تلقیح شده با باکتری مشاهده شد (27/28).

اثر باکتری حل‌کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع

فسفات بر ارتفاع بوته کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی منابع فسفات و همچنین اثر متقابل باکتری، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر ارتفاع بوته کاهو در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول 3). سایر اثرات

خاک فسفات افزایش داد. در تیمارهای بدون کاربرد ورمی کمپوست، استفاده همزمان سوپرفسفات و باکتری غلظت فسفر را نسبت کاربرد انفرادی سوپرفسفات، بطور معناداری کاهش داد. در تیمارهای بدون کاربرد ورمی - کمپوست، کاربرد همزمان باکتری و سوپرفسفات تریپل موجب کاهش غلظت فسفر نسبت به کاربرد سوپرفسفات شد. در تیمارهای با تلقیح باکتری، کاربرد همزمان ورمی - کمپوست و سوپرفسفات تریپل موجب افزایش معنادار غلظت فسفر شد. بطور کلی در این آزمایش غلظت فسفر این رقم کاهو (فردوس) بین 0/32 تا 0/53 درصد متغیر بوده است (جدول 5).

همچنین باکتری، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر غلظت فسفر در اندام هوایی کاهو در سطح یک درصد معنی دار بوده است (جدول 3). نتایج اثرات اصلی نشان داد که استفاده از ورمی کمپوست باعث افزایش معنادار و 5 درصدی غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه گردید. استفاده از خاک فسفات غلظت فسفر را نسبت به شاهد 10 درصد کاهش داد. همچنین کاربرد تری کلسیم فسفات و سوپرفسفات تریپل، غلظت فسفر در اندام هوایی را به ترتیب 8 و 5 درصد افزایش داد (جدول 4). کاربرد همزمان باکتری و خاک فسفات و همچنین ورمی کمپوست و خاک فسفات، غلظت فسفر در اندام هوایی را به طور معنادار به ترتیب 42 و 22 درصد نسبت به کاربرد

جدول 5- تأثیر برهم کنش باکتری حل کننده فسفات، ورمی کمپوست و منابع فسفات بر رشد کاهو و غلظت فسفر

تیمار								
تلقیح شده با باکتری				بدون باکتری				ورمی کمپوست (%)
SP	TCP	RP	P ₀	SP	TCP	RP	P ₀	
وزن تر (گرم در گلدان)								
337/97 b-e	313/17de	329/87cde	357/47 a-d	310/37de	291/37e	224/53f	170/97 f	0
378/97 abc	341/17 b-e	323/80 b-e	334/07b-e	413/38a	394/87ab	311/70 de	382/47 abc	1
وزن خشک (گرم در گلدان)								
20/33d-g	18/07 fgh	22/07c-f	20/4 d-g	19.07 e-h	16.03 h	16/23gh	9/37 i	0
23/10 cde	21/30 c-f	24/30a-d	25/50abc	28.20 a	22.03 c-f	27/50ab	23/20 b-e	1
تعداد برگ								
29/50def	29/17 ef	30/67 c-f	29/67def	29.67 def	30.00 def	29/33def	26/33 f	0
32/83b-e	39/33a	36/67ab	34/33a-d	32.17 b-e	35.33 abc	31/17 c-f	33/83b-e	1
شاخص سبزیگی								
35/82bcd	38/53 bcd	37/96□bc	41/26□ab	28.16 e	34.00 cde	47/05 a	32/28cde	0
27/28e	32/80cde	33/03cde	42/11ab	27.46 e	35.25 bcd	35/55bcd	31/82 de	1
ارتفاع (سانتی متر)								
32/83abc	30/92b-e	28/08ef	34/16ab	35.33 a	32.67 abc	29/16c-f	28/50 def	0
31/83a-d	28/33def	30/67b-f	27/00f	34.66 a	32.33 abc	27/33ef	32/00a-d	1
غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)								
3900/00e	4150/00cde	4600/00b	4675/00b	4525/00bc	5075/00a	3233/30f	4375/00bcd	0
5362/50 a	4500/00bc	4100/00de	4150/00cde	4675/00b	4600/00b	3966/70e	4500/00bc	1

* اعدادی که در هر ردیف دارای یک حرف مشترک کوچک هستند، از لحاظ آماری در سطح پنج درصد با آزمون LSD معنی دار نمی باشند.

SP, TCP, RP, P₀ به ترتیب نشان دهنده تیمارهای بدون منبع فسفات، خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل می باشند.

نتایج جدول همبستگی میان پارامترهای اندازه گیری شده

کاهو همبستگی مثبت و معنی داری با تعداد برگ و ارتفاع کاهو نشان داد. همچنین ارتفاع کاهو همبستگی منفی و معنی داری با تعداد برگ کاهو داشت. که می توان گفت با افزایش تعداد برگ های کاهو، ارتفاع بوته کاهش یافت.

نتایج همبستگی میان پارامترهای اندازه گیری شده نشان داد که غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه همبستگی منفی و معناداری با شاخص سبزیگی گیاه داشت. وزن خشک کاهو همبستگی مثبت و معنی داری با وزن تر و تعداد برگ کاهو داشت (جدول 6). وزن تر

شاخص سبزینگی کاهو، همبستگی معنی‌دار و منفی با ارتفاع بوته نشان داد.

جدول 6- ضرایب همبستگی بین خصوصیات اندازه‌گیری شده کاهو

	ارتفاع	وزن تر	تعداد برگ	وزن خشک	غلظت فسفر
شاخص سبزینگی	0.35204*	-0.24723 ^{ns}	-0.08069 ^{ns}	-0.0724 ^{ns}	-0/46867**
ارتفاع		0.34911*	-0.15584*	0.02952 ^{ns}	0/13792 ^{ns}
وزن تر			0.39607**	0.7029**	0/26822 ^{ns}
تعداد برگ				0.42176**	0/27241 ^{ns}
وزن خشک					0/03572 ^{ns}

ns. * و ** به ترتیب یعنی عدم وجود همبستگی، همبستگی در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بوده است.

بحث

کاربرد انفرادی و تلفیقی کودهای زیستی (باکتری حل‌کننده فسفات و یا ورمی کمپوست) موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و تعداد برگ کاهو گردید. این خصوصیات با یکدیگر همبستگی مثبت و معناداری نیز نشان دادند (جدول 6). کودهای زیستی با افزایش فعالیت‌های زیستی در محیط ریشه، بهبود ساختمان خاک و افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی، موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌گردند (سانساما و پیلا، 2000). مریدی (1393) گزارش کرد که استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش وزن تر ذرت شد به طوری که بیشترین وزن تر در تیمارهای ورمی واش (عصاره خارج شده از بستر تولیدی ورمی کمپوست) به همراه باکتری محرک رشد گیاه بوده است. ساینز و همکاران (1998) گزارش کردند که ورمی کمپوست غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی شبدر قرمز و خیار را بهبود و به دنبال آن وزن خشک گیاهان را افزایش داد. نتایج بوستامانت و همکاران (2008) نشان داد که استفاده از ورمی کمپوست به دلیل دارا بودن مقادیر زیاد عناصر قابل استفاده، به ویژه فسفر و نیتروژن، و همچنین حضور ریزجانداران محرک رشد، موجب افزایش وزن تر شد. محمد علی و همکاران (2007) گزارش کردند استفاده از کمپوست و ورمی کمپوست مواد زائد بستر کشت قارچ، موجب افزایش وزن تر و خشک و تعداد برگ کاهو شد. پاپاناسیو و همکاران (2012) و مارچی و همکاران (2015) گزارش کردند که به ترتیب استفاده از ورمی کمپوست و کمپوست موجب افزایش تعداد برگ کاهو شد. افزایش رشد و توسعه گیاهان در حضور ورمی-کمپوست به دلیل وجود مقادیر بالای هیومیک اسید و عناصر پر مصرف و کم مصرف می‌باشد (آرانکن و همکاران، 2005). باکتری مورد استفاده در این تحقیق

دارای خواص محرک رشدی از جمله تولید سیدروفور، اکسین و توانا در انحلال فسفات‌های کم محلول می‌باشد. سیدروفور بدلیل خصوصیت کلات کنندگی در جذب آهن و احتمالاً در جذب سایر عناصر کم مصرف کاتیونی مؤثر است. هورمون اکسین نیز در رشد و ریشه زایی نقش دارد. رودریگز و فراگا (1999) و انزوی و همکاران (2015) نشان دادند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات های معدنی و آلی، وزن تر و خشک گیاه را افزایش دادند که با نتایج این تحقیق مشابه است. کوهرلر و همکاران (2007) مشاهده کردند که تلقیح کاهو با باکتری محرک رشد باسیلوس ساتیلیس باعث افزایش وزن خشک گیاه شد. فاسیلیون و همکاران (2012) گزارش کردند که تلقیح کاهو با یک گونه باکتری آزوسپریلیوم موجب افزایش تعداد برگ کاهو شد. نتایج نوموو و همکاران (2013) و کرمی (1393) نشان داد که تلقیح گیاه ذرت با باکتری‌های محرک رشد می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه شود.

استفاده همزمان باکتری با خاک فسفات، ورمی کمپوست با خاک فسفات و همچنین ورمی کمپوست، باکتری و خاک فسفات در افزایش پارامترهای رشد گیاه مؤثر بوده است. باکتری مورد استفاده در این تحقیق و اکثر ریزجانداران موجود در ورمی کمپوست شیمیوارگانوتروف‌اند که با ترشح یون پروتون، اسیدهای آلی، ترکیبات کلات کننده و آنزیم‌های فسفاتاز ممکن است فسفات معدنی و آلی را به شکل قابل استفاده تبدیل نمایند و از این طریق وزن تر و خشک گیاه را افزایش دهند. در حضور ماده آلی، فعالیت‌ها و ترشحات متابولیک ریزجانداران و اثرات آنها بر رشد گیاه می‌تواند افزایش یابد.

نتایج رضوانی و همکاران (1390) 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.

خصوصیات باشد. تلقیح باکتری به کاهو موجب افزایش غیر معنی دار شاخص سبزی‌نگی شد که با نتایج فاسیلیون و همکاران (2012) و کرمی (1393) مطابقت دارد.

در این تحقیق بین ارتفاع و تعداد برگ کاهو همبستگی منفی و معناداری مشاهده شد (جدول 6). بوستانمانت و همکاران (2008) و مارچی و همکاران (2015) گزارش کردند که کمپوست موجب افزایش تعداد برگ و وزن تر و خشک کاهو شد اما ارتفاع آن را کاهش داد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که تلقیح باکتری موجب افزایش وزن تر و وزن خشک اندام هوایی کاهو شد، هرچند تأثیر معنی‌داری بر شاخص سبزی‌نگی، ارتفاع و تعداد برگ نداشت. کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش وزن تر، تعداد برگ و وزن خشک اندام هوایی کاهو شد. هرچند موجب کاهش شاخص سبزی‌نگی شده و تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع کاهو نداشت. کاربرد سوپر فسفات تریپل موجب افزایش وزن خشک، وزن تر و ارتفاع کاهو شد اما شاخص سبزی‌نگی را کاهش داده و تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ کاهو نداشت. خاک فسفات موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی کاهو شد. تری کلسیم فسفات نیز وزن تر کاهو را به طور معنی‌دار افزایش داد. استفاده هم‌زمان از باکتری، ورمی‌کمپوست و منابع فسفات به جز سوپر فسفات موجب افزایش وزن تر، وزن خشک و تعداد برگ کاهو شد. استفاده هم‌زمان از باکتری محرک رشد، ورمی‌کمپوست و سوپر فسفات تریپل، به طور معنی‌دار موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی کاهو شد. ارتفاع بوته کاهو نیز در تیمارهای تلقیح شده با باکتری به همراه ورمی‌کمپوست، خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل افزایش یافت. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنادار بین وزن تر و خشک و تعداد برگ و همچنین رابطه منفی و معناداری بین ارتفاع و شاخص سبزی‌نگی وجود دارد.

نتایج نشان داد که در تیمارهای ورمی‌کمپوست تلقیح شده با باکتری، تفاوت معنی‌دار میان خاک فسفات، تری کلسیم فسفات و سوپر فسفات تریپل در ویژگی‌های اندازه گیری شده مشاهده نشد. همچنین تعداد برگ کاهو در تیمارهای تری کلسیم فسفات به طور معنی‌دار بیشتر از سوپر فسفات تریپل بود. بنابر نتایج گزارش شده، در تولید کاهو به جای استفاده از کودهای شیمیایی فسفره مانند سوپر فسفات تریپل، می‌توان از خاک فسفات به همراه ریز جانداران خاکزی یا ورمی‌کمپوست استفاده کرد که علاوه

نتایج همچنین نشان داد که تیمارهای تلقیحی کود زیستی با خاک فسفات در مقایسه با تیمارهای سوپر فسفات تفاوت معناداری دارند. در تیمارهای کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و سوپر فسفات تریپل، مایه زنی باکتری وزن خشک اندام هوایی گیاه کاهو را به طور معنی‌دار کاهش داد. گرنٹ لیپ و گودال (1957) گزارش کردند که با افزایش فسفر قابل استفاده، وزن خشک گیاه کاهو افزایش یافت که با نتایج این پژوهش در تناقض است. این موضوع احتمالاً به دلیل غلظت بالای فسفر در گیاه است. سطوح بالای فسفر می‌تواند موجب عدم تعادل عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه گردد (جونز، 1998). بارکر و برایسون (2006) گزارش کردند که حدود کفایت غلظت فسفر در کاهو 0/76-0/55 (درصد وزن خشک) 28 روز بعد از کاشت، و 0/25 (درصد وزن خشک) در مرحله برداشت کاهو می‌باشد. در پژوهش حاضر، غلظت فسفر اندام هوایی کاهو رقم فردوس 0/32 - 0/53 در مرحله برداشت بدست آمد که بسیار بالاتر از حد گزارش شده است (جدول 5). نجفی و توفیقی (1389) گزارش کردند که افزایش فسفر قابل جذب گیاه به بیش از حد بحرانی، ممکن است تأثیر منفی بر ویژگی‌های رویشی گیاه داشته باشد. یزدانی مطلق و همکاران (1393) گزارش کردند که در خاک‌های غرقاب، افزایش سطوح فسفر موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی برنج شد، که آن را به دلیل تأثیر منفی افزایش فسفر مصرفی خاک عنوان کردند. از طرف دیگر، مقادیر بالای فسفر در خاک، ممکن است فعالیت باکتری و اثرات آن بر رشد گیاه را نیز کاهش دهد.

نتایج نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست و همچنین سوپر فسفات تریپل، شاخص سبزی‌نگی را به طور معنی‌دار کاهش داد. شاخص سبزی‌نگی با ارتفاع و غلظت فسفر گیاه کاهو همبستگی منفی و معناداری نشان داد. افزایش ارتفاع و رشد گیاه موجب افزایش اندازه سلول‌ها می‌گردد و همین امر موجب کاهش محتوای شاخص سبزی‌نگی در آنها می‌شود (نیکولائو و همکاران، 2010). هنگامی که کاهو در ورمی‌کمپوست رشد یافت، مقدار شاخص سبزی‌نگی نسبت به کاهوهای رشد یافته در مخلوط ورمی‌کمپوست و بقایای دام کاهش یافت (محمد علی و همکاران، 2007). هرچند نتایجی متناقض با نتایج این پژوهش نیز وجود دارد که گزارش نمودند حضور عناصر غذایی نیتروژن و فسفر قابل جذب در ورمی‌کمپوست، موجب افزایش کلرفیل برگ گیاه برنج می‌شود (یزدانی مطلق و همکاران، 1393) که احتمالاً به دلیل تفاوت در نوع گیاه، نوع ورمی‌کمپوست کاربردی و سایر

فهرست منابع:

1. ابطیحی، ع.، کریمیان، ن.ع.، و صلحی، م. 1370. گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی اراضی منطقه باجگاه- استان فارس، بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
2. رضوانی، م.، افشنگ، ب.، قلی زاده، ع. و زعفریان، ف. 1390. ارزیابی تاثیر قارچ میکوریزا و منابع مختلف فسفر بر رشد و جذب فسفر در سویا (*Glycine max (L.) Merr.*). مجله مدیریت خاک و تولید پایدار 21(2): 97-118.
3. روستا، ح.م.، باقری، و. و منظری توکلی، م. 1392. اثر تنش بی‌کربنات سدیم بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی کاهو، آمارانت و پیچک آبی تحت سیستم آبکشت. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی 6(2): 171-182.
4. سلیم پور، س.، خاوازی، ک.، نادیان، ح. و بشارتی، ح. 1389. تأثیر خاک فسفات همراه با گوگرد و ریز جانداران بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کلزا. مجله پژوهش‌های خاک 24(1): 10-19.
5. عراقی، م.م.، باغبانی مهماندار، ف. و محمدی، ر. 1390. بررسی اثر محرک رشدی جدایه‌های قارچ *Trichoderma harzianum* روی کاهو (*Lactuca sativa*) و فلفل (*Capsicu annum*). فصلنامه علمی-پژوهشی گیاه و زیست بوم (ویژه نامه) 7(2-27): 57-68.
6. کرمی ابوالوردی، ش. 1393. گیاه پالایی یک خاک آهکی غنی شده با کادمیم به وسیله ذرت تلقیح شده با باکتری محرک رشد گیاه تحت شرایط تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
7. محمدی، ش. و پوربابایی، ا.ع. 1391. مشخصات نویسندگان مقاله جداسازی و شناسایی PSM روشی برای کاهش آلودگی زیست محیطی ناشی از کودهای فسفات. ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.
8. مریدی، آ. 1393. اثر تنش آبی، چای ورمی کمپوست و ورمی واش غنی شده با باکتری‌های محرک رشد بر رشد ذرت و برخی ویژگی‌های خاک پس از برداشت. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
9. نجفی، ن. و توفیقی، ح. 1389. تأثیر کود فسفر بر رشد گیاه برنج، جذب فسفر و برخی عناصر در خاک‌های شالیزاری شمال ایران در شرایط گلخانه‌ای. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، مرداد 1389، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران 2810-2807.
10. یزدانی مطلق، ن.، ریحانی تبار، ع.، نجفی، ن. و بنده حق، ع. 1393. تأثیر کاربرد همزمان نیتروژن و فسفر بر ویژگی‌های زراعی گیاه برنج در شرایط غرقاب و اشباع متناوب. نشریه دانش آب و خاک 24(3): 143-160.
11. Alexander, D. B., and D. A. Zuberer. 1991. Use of chrome azurol S reagents to evaluate sidrophore production by rhizosphere bacteria. *Biology and Fertility of Soils* 12: 39-45.
12. Anzuay, M. S., Ludueña L. M., Angelini J. G., Fabra, A. and Taurian T. 2015. Beneficial effects of native phosphate solubilizing bacteria on peanut (*Arachis hypogaea* L) growth and phosphorus acquisition. *Symbiosis* 66: 89-97.
13. 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.
14. Barker A.V. and Bryson, G.M. 2006. Phosphorus. p. 21-50. In: Barker, A.V. and Pilbeam, D.J. (ed.) *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton, FL: CRC Press.
15. Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-Total. p: 1085-1121. In. Sparks, D.L. (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 3*. ASA and SSSA, Madison, WI.

16. 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. *Resources, Conservation and Recycling* 52: 792-799.
17. Chapman, H.D. and Pratt, D.F. 1961. p. 62-66. *Methods of analysis for soil, plant and water*. The University of California's Division of Agricultural Science.
18. Edwards, C.A. and Burrows, I. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. p. 211-220. In: Neuhauser, C.A. (ed.) *Earthworms in Environmental and Waste Management*. SPB Academic Publishing b.v. The Netherlands.
19. Fasciglione, G. MCasanovas, E. Yommi, A. Sueldo, R.J. and Barassi, C.A. 2012. *Azospirillum* improves lettuce growth and transplant under saline conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92: 2518-2523.
20. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd Ed. Physical and Mineralogical Methods*. Am. Soc. Agron. Madison, WI.
21. Glick, B.R. Changping, L. Sibdas, G. and Dumbroff, E.B. 1997. Early development of canola seedlings in the presence of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 1233-1239.
22. Goldstein, A.H. 1995. Recent progress in understanding the molecular genetics and biochemistry of calcium phosphate solubilization by gram negative bacteria. *Biological Agriculture and Horticulture* 12: 185-193.
23. Grantlipp, A.E. And Goodall, D.W. 1957. Nutrient interactions and deficiency diagnosis in the lettuce. *Australian Journal of Biological Sciences* 11(1): 30-44.
24. Hall, J.A. Pierson, D. Ghosh, S. and Glick, B.R. 1996. Root elongation in various agronomic crops by the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. *Israel Journal of Plant Sciences* 44: 37-42.
25. Jones, J.B.J. 1998. Phosphorus toxicity in tomato plants: when and how does it occur? *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29: 1779-1784.
26. Kloepper J.W. 1994. Plant growth promoting bacteria (other systems). p. 137-54. In: Okon, J. (ed). *Azospirillum/Plant Association*. Boca Raton, FL: CRC Press.
27. 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*. *Applied Soil Ecology* 35: 480-487.
28. León, A.P. Martín, J.P. and Chiesa, A. 2012. Vermicompost application and growth patterns of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agricultura Tropica et Subtropica* 45(3): 134-139.
29. Lifshitz, R. Klopfer, J.W. Kozlowski, M. Simonson, C. Carlson, J. Tipping, E.M. and Zalesca, I. 1987. Growth promotion of canola (rapeseed) seedling by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotic conditions. *Canadian Journal of Microbiology* 33: 390-395.
30. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428.
31. Llorach, R. Martínez-Sánchez, A. Tomás-Barberán, F.A. Gil, M.I. and Ferreres, F.A. 2008. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food Chemistry* 108: 1028-1038.
32. Marchi, E.C.S. Marchi, G. Silva, C.A. Dias, B.O. and Alvarenga, M.A.R. 2015. Lettuce growth characteristics as affected by fertilizers, liming, and a soil conditioner. *Journal of Horticulture and Forestry* 7(3): 65-72.
33. Marulanda-Aguirre, A. Azcon, R. Ruiz-Lozano, J.M. and Aroca, R. 2007. Differential effects of a *Bacillus megaterium* strain on *Lactuca sativa* plant growth depending on the origin of the arbuscular mycorrhizal fungus co inoculated: physiologic and biochemical traits. *Journal of Plant Growth Regulation* 27: 10-18.

34. McCauley, A. Jones, C. and Jacobsen, J. 2011. Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. Nutrient Management Module, 9. Montana State University.
35. Muhammad Ali, A. Griffiths, J. Williams, K.P. and Jones, D.L. 2007. Evaluating the growth characteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost. *European Journal of Soil Biology* 43: 316-319.
36. Murty, M.G. and Ladha, J.K. 1988. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. *Plant and Soil*. 108: 281-285.
37. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In: Page, A.L. et al., (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 2nd ed. American Society Agronomy. Inc. Madison, WI.
38. Noumavo, P.A. Kochoni, E. Didagbé, Y.O. Adjanohoun, A. Allagbé, M. Sikirou, R. Gachomo, E.W. Kotchoni, S.O. and Baba-Moussa, L. 2013. Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. *American Journal of Plant Sciences* 4: 1013-1021.
39. Olsen, S.R. Cole, C.V. Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture Circular No. 939.
40. Panhwar, Q.A. Radziah, O. Zaharah, A.R., Sariah, M. and Razi, I.M. 2010. Role of phosphate solubilizing bacteria on rock phosphate solubility and growth of aerobic rice. *Search Results Journal of Environmental Biology* 32: 607-612.
41. Papatthasiou, 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.). *Journal of Food, Agriculture and Environment* 10 (2): 677-682.
42. Patten, C. L., and B. R. Glick. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied Environmental Microbiology* 68: 3795–3801.
43. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-436. In: Sparks, D.L. et al. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 3*. 3rd ed. Am. Soc. Agron. Madison, WI.
44. Rodriguez, H. and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. A review. *Biotechnology Advances* 17: 319-339.
45. 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 and Soil*. 205: 85–92.
46. 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. *Indian Journal of Agronomy* 45(4): 693-697.
47. Sperber, J.I. 1958. The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. *Australian Journal of Agricultural Research* 9: 778-781.
48. Summer, M.E. and Miller, W.P. 1996. Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficient. p. 1201- 1229. In: Sparks, D.L. (ed.). *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison, WI, USA.
49. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475- 490. In: Sparks, D.L. et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 3*. 3rd ed. Am. Soc. Agron. Madison, WI.
50. Van kauwenbergh, S.J. 2001. Overview of world phosphate rock production. International Meeting on Direct Application Rock Phosphate and Related Appropriate Technology-latest Development and Practical Experiences, July, 2001, Kuala Lumpur, Malaysia.
51. Zarei, M. Saleh-Rastin, N. Alikhani, H.A. and Aliasgharzadeh, N. 2006. Response of lentil to co-inoculation with phosphate solubilizing rhizobacteria strains and arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1509-1522.

Effect of phosphate solubilizing bacterium, vermicompost and phosphate sources on growth of lettuce in a calcareous soil

A. Khosravi, M. Zarei¹, and A. Ronaghi

M.Sc. Graduate, Department. of Soil Sciences, College of Agriculture Shiraz University;

E-mail: khosravi.a1991@gmail.com

Associate Professor., Department. of Soil Sciences, College of Agriculture Shiraz University;

E-mail: mehdizarei@shirazu.ac.ir

Professor., Department. of Soil Sciences, College of Agriculture Shiraz University;

E-mail: amronaghi@yahoo.com

Received: August, 2016 & Accepted: July, 2017

Abstract

Co-application of biological fertilizers and phosphate sources have greatly considered in calcareous soils in recent years. In order to study the effect of phosphate solubilizing bacterium (PSB), phosphate sources and vermicompost on some growth characteristics of lettuce (cv. Ferdos), a greenhouse experiment was conducted with factorial arrangement in a completely randomized design with three replications and three factors. Factors consisted of two levels of phosphate solubilizing bacterium (*Pseudomonas fluorescense*) (with and without inoculation), two levels of vermicompost (0 and 1% w/w) and four phosphate sources (control, rock phosphate, tricalcium phosphate (TCP) and triple super phosphate at 25 mg P kg⁻¹ soil). Biological fertilizers significantly increased shoot fresh and dry weights (SFDW), but they didn't have remarkable effect on lettuce height. Application of rock phosphate and tricalcium phosphate (TCP) increased dry and fresh weight, respectively. Application of triple super phosphate significantly increased SFDW and lettuce height. Co-application treatments of bacterium, vermicompost and phosphate sources (except super phosphate) significantly increased SFDW, leave numbers and phosphorus concentration of lettuce. Overall, the results indicated that phosphorus chemical fertilizers can be replaced by co-application of insoluble phosphate and biological fertilizers.

Keywords: Biomass, insoluble phosphate, lettuce, phosphate solubilizing bacterium, vermicompost.

¹ Corresponding author: Shiraz, Bajgah, college of agriculture shiraz university, Department of Soil Science and Engineering