استفاده از غلظت‌های مختلف محلول غذایی در کشت فلفل دلمه‌ای در بسترهای مختلف آلی

مریم حقیقی* و محمدرضا برزگر[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۳)

چکیده

بسترهای آلی می‌تواند تولید محصولات کشاورزی را افزایش دهد. این آزمایش به‌منظور بهبود رشد و عملکرد فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L. cv. 'Gold flame') در قالب طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی با استفاده از سه سطح محلول غذایی جانسون تغییریافته (NSc) محلول غذایی جانسون کامل به‌عنوان شاهد، ۷۵ درصد محلول غذایی جانسون (NS۱)، و ۵۰ درصد محلول غذایی جانسون (NS۲) و سه نوع بستر کشت بر اساس تیمارهای بستر کشت شامل V۱ ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۱ حجمی)، V۲ ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۲ حجمی) و V۳ ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۲:۱:۱) ورمی‌کمپوست به‌صورت کشت بدون خاک و در محل گلخانه‌های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. وزن تازه و خشک میوه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، قطر میوه و عملکرد در تیمار V۳ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد ورمی‌کمپوست نرخ فتوسنتز، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم را بیشتر از تیماردهی محلول غذایی کامل افزایش داد. وزن تازه میوه (۸۶/۱۸ درصد)، وزن خشک میوه (۴۳/۰۳ درصد)، وزن خشک ریشه (۶۸/۶۳ درصد)، حجم ریشه (۴۳/۶۷)، قطر میوه (۱۲/۳۹ درصد) و عملکرد (۵۹/۳۰ درصد) در تیمار V۳ به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. کاربرد ورمی‌کمپوست نرخ فتوسنتز، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم را بیشتر از تیماردهی محلول غذایی کامل افزایش داد. وزن تازه و خشک میوه، وزن تازه و خشک ریشه، حجم ریشه، قطر میوه و عملکرد میوه در تیمار NS۲ کاهش یافت. برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و سطوح محلول غذایی نشان داد که وزن تازه میوه در هر دو سطح NS۱ و NS۲ کاهش می‌یابد و کاربرد V۳ باعث بهبود وزن تازه میوه در تیمار NS۱ می‌شود. بیشترین عملکرد میوه در تیمار NSc در ترکیب با V۳ مشاهده شد. نرخ فتوسنتز و غلظت پتاسیم در پاسخ به کاربرد ورمی‌کمپوست در همه سطوح محلول غذایی افزایش یافت، درحالی که تنفس با کاربرد ورمی‌کمپوست در ترکیب با NS۲ افزایش داشت. غلظت فسفر و نیتروژن با NS۱ و NS۲ کاهش یافت و کاربرد ورمی‌کمپوست باعث بهبود غلظت فسفر نشد در حالی که کاربرد V۳ باعث بهبود غلظت نیتروژن در NS۱ شد. به‌طور کلی می‌توان گفت رشد، عملکرد، فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم و فسفر در فلفل دلمه‌ای با کاربرد ورمی‌کمپوست و محلول غذایی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: عناصر غذایی، فتوسنتز، ورمی‌کمپوست، عملکرد

مقدمه

کشاورزی پایدار تأکید بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از کود و بستر کشت‌های آلی غنی از عناصر غذایی دارد. نگرانی آلودگی محیط‌زیست و تقاضا برای محصولات

۱. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mhaghighi@iut.ac.ir

ارگانیک استفاده از بستر کشت و کودهای آلی را افزایش داده است. استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی آثار مخربی بر فلورا و آنزیم‌های خاک دارد (۱۱، ۲۰). به‌دلیل رشد بیشتر در گیاه نیاز به آبیاری بیشتری دارد (۴۰). میسین (۲۸) پیشنهاد کرد کمپوست یا مواد زائد آلی منبع مناسبی از عناصر غذایی برای رشد گیاهان در بسترهای کشت بدون خاک است.

پیت یک بستر کشت رایج در کشت‌های بدون خاک است، اما نگرانی در مورد کاهش تولید پیت و کاهش منابع طبیعی پیت وجود دارد. در پژوهش‌های پیشین انجام شده توسط حقیقی و همکاران (۱۴) مشاهده شد که می‌توان از مواد آلی مانند مواد زائد گیاهی برای رشد خیار در بستر کشت هیدروپونیک استفاده کرد. برخی از این بستر کشت‌های آلی غنی از عناصر غذایی هستند. یکی از این بستر کشت‌های آلی مهم ورمی‌کمپوست است که با استفاده از گونه ویژه‌ای (*Eisenia foetida*) از کرم‌های خاکی تولید می‌شوند (۱۹). ورمی‌کمپوست دارای مقداری زیادی عناصر در دسترس شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و سایر عناصر است (۱۱). پژوهش‌های متعددی نشان می‌دهد که کاربرد ورمی‌کمپوست تأثیر سودمندی بر رشد و عملکرد گیاه دارد؛ به‌عنوان مثال کاربرد ورمی‌کمپوست گوسفندی باعث افزایش ارتفاع گیاه و عملکرد ذرت در مقایسه با گیاهان بدون کاربرد ورمی‌کمپوست شد (۱۲). سینگ و واسینگ (۳۵) گزارش دادند که کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست و کودهای NPK (۱۵۰:۲۵:۲۵ kg ha^{-1}) بیشترین عملکرد را در فلفل سبب شد. مانیوانین و همکاران (۲۴) نشان دادند که ورمی‌کمپوست باعث افزایش رشد و عملکرد لوبیا شده و توصیه کردند که ورمی‌کمپوست به تنهایی یا در ترکیب با کودهای شیمیایی می‌تواند برای افزایش تولید مناسب باشد. چاندا و همکاران (۸) نیز دریافتند که رشد گوجه‌فرنگی با کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی(NPK = ۱۱۰:۴۰:۷۵ kg) افزایش می‌یابد. آرانکون و همکاران (۱) نیز پیشنهاد کردند که ترکیب کودهای آلی شامل ورمی‌کمپوست می‌تواند استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش داده و باعث بهبود پایداری محیط‌زیست شود.

کاربرد مقادیر متفاوت ورمی‌کمپوست اثر متفاوتی بر رشد و عملکرد گیاه دارد. کاربرد زیاد ورمی‌کمپوست موجب شوری و یا بیش‌بود عناصر غذایی می‌شود که آثار منفی بر رشد گیاه دارد (۱). با توجه به کم و گران‌قیمت بودن پیت و کوکوپیت تعیین سطح مناسب ورمی‌کمپوست در گیاهان مختلف ضروری است؛ همچنین این آزمایش به‌منظور بررسی جانشینی بستر کشت‌های آلی مانند ورمی‌کمپوست با بستر کشت‌های معمولی مانند پیت، کوکوپیت و پرلیت، همچنین بررسی سه سطح ورمی‌کمپوست در ترکیب با غلظت‌های مختلف از محلول غذایی جانسون بر رشد، فیزیولوژی و غلظت NPK در گیاه فلفل دلمه‌ای در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در بهار سال ۱۳۹۵ با سه تکرار به‌منظور بررسی بستر کشت‌های مختلف بر اساس ورمی‌کمپوست و سطوح مختلف محلول غذایی جانسون بر شاخص‌های رشدی، فتوسنتزی و عناصر غذایی فلفل‌دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L. cv. 'Gold flame') انجام شد. این آزمایش در شرایط محیطی کنترل شده گلخانه دانشگاه صنعتی اصفهان با میانگین دمای روزانه و شبانه ۱۷/۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۰ درصد انجام شد.

تیمارهای محلول غذایی شامل سه سطح محلول جانسون تغییر یافته شامل محلول جانسون کامل (NSc) به‌عنوان شاهد، ۷۵ درصد محلول غذایی جانسون (NS۱) و ۵۰ درصد محلول جانسون (NS۲) و تیمارهای بستر کشت شامل V۱ ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۱ حجمی)، V۲ ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۲ حجمی) و V۳ ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۲:۱:۱). ورمی‌کمپوست از شرکت گلدشت (اصفهان، ایران) با فعالیت کمپوست‌سازی کرم خاکی (*Eisenia fetida*) بر کمپوست تهیه شد. ویژگی‌های پیت و

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکوپیت و پرلیت

	نیتروژن (٪)	پتاسیم (٪)	کلسیم (٪)	منیزیم ($mg\ kg^{-1}$)	منگنز ($mg\ kg^{-1}$)	مس ($mg\ kg^{-1}$)	روی ($mg\ kg^{-1}$)	آهن ($mg\ kg^{-1}$)
کوکوپیت	۱/۸	۰/۵	۳/۵	۰/۵	۱۰۸	۳۶	۶۴	۱۳۲۴
پرلیت	۰/۳	۰/۰۱	۰/۵	۰/۳	۱۰	۴	۵/۳	۲۵۰

ادامه جدول ۱.

	pH	رسانایی الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	چگالی حقیقی ($g\ cm^{-3}$)	تخلخل کل (٪)	گنجایش رطوبتی (٪)	تخلخل هوایی (٪)
کوکوپیت	۵/۵	۰/۱۱	۰/۲۶	۱/۴۶	۸۲	۸۰	۲
پرلیت	۵/۶	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۴۳	۷۲	۳۰	۴۲

جدول ۲. محلول غذایی جانسون

ترکیبات	وزن مولکولی	غلظت استوک (M)	غلظت استوک mg/l	میلی‌مولار استوک در هر لیتر محلول نهایی	عناصر	غلظت نهایی ppm	٪۵۰ ppm	٪۷۵ ppm
KNO_3	۱۰۱/۱۰	۱	۱۰۱/۱۰	۶	N	۲۲۴	۱۱۲	۱۶۸
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	۲۳۶/۱۶	۱	۲۳۶/۱۶	۴	K	۲۳۵	۱۱۷/۵	۱۷۶/۲۵
$NH_4H_2PO_4$	۱۱۵/۰۸	۱	۱۱۵/۰۸	۲	Ca	۱۶۰	۸۰	۱۲۰
$MgSO_4.7H_2O$	۲۴۶/۴۹	۱	۲۴۶/۴۹	۲	P	۶۲	۶۲	۶۲
					S	۳۲	۳۲	۳۲
		mM			Mg	۲۴	۲۴	۲۴
KCl	۷۵/۵۵	۵۰	۳/۷۲	۱	Cl	۱/۷۷	۱/۷۷	۱/۷۷
H_3BO_3	۶۱/۸۴	۲۵	۱/۵۴	۱	B	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷
$MnSO_4.H_2O$	۱۶۹/۰۱	۲	۰/۳۳	۱	Mn	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
$ZnSO_4.7H_2O$	۲۸۷/۵۵	۲	۰/۵۷	۱	Zn	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳
$CuSO_4.5H_2O$	۲۴۹/۷۱	۰/۵	۰/۱۲	۱	Cu	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
H_2MoO_4	۱۶۱/۹۷	۰/۵	۰/۰۸۱	۱	Mo	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Fe-EDTA	۳۴۶/۰۸	۵۰	۲۱/۵۳	۱	Fe	۲/۸۰	۲/۸۰	۲/۸

پرلیت در جدول (۱) آورده شده است.

محلول غذایی جانسون و محلول‌های تغییر یافته بر اساس جدول (۲) زیر آماده شد. pH محلول غذایی پس از آماده شدن به‌وسیله pH متر اندازه‌گیری شد. برای کاهش pH محلول غذایی از اسیدکلریدریک یک میلی‌مولار و برای افزایش pH محلول غذایی از هیدروکسید پتاسیم ۴ نرمال استفاده شد.

بذرهای فلفل دلمه‌ای در سینی‌های نشا ۷۰ خانه‌ای با حجم ۵۰ سی‌سی در بستر کشت کوکوپیت کشت شدند. نشاهای فلفل پس از رسیدن به مرحله ۲-۳ برگی (پس از گذشت یک ماه) به سیستم آب کشت (Raft) با سیستم هوادهی به‌وسیله

پمپ‌های هوا حاوی محلول غذایی جانسون (جدول ۲) در گلخانه‌ای با شرایط دمایی ۲۵ درجه سلسیوس و با طول دوره روشنایی به تاریکی ۱۴ به ۱۰ ساعت منتقل شد؛ سطح محلول غذایی درون ظروف به میزان ثابت نگه داشته شد. گیاهچه‌های ۴-۳ برگی، به بستر کشت‌های مختلف بر اساس تیمار مورد نظر در گلدان‌های ۳ لیتری انتقال داده شد. گلدان‌ها به‌صورت روزانه بر اساس تیمار مورد نظر با ۱۰۰ سی‌سی از محلول جانسون طبق تیمارهای ذکرشده تغذیه می‌شدند.

میزان سبزینگی برگ‌ها از برگ‌های میانی بالغ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-۵۰۲, Minolta Corp., RamseyNJ, USA) در هفته آخر آزمایش (۱۱۸ روز پس از انتقال نشا) اندازه‌گیری شد. همچنین نرخ فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ضریب هدایت روزنه‌ای ($mol\ m^{-2}s^{-1}$) و CO_2 درون روزنه‌ای ($\mu mol\ mol^{-1}$) با فتوسنتزمتر (Li-Cor, Li-۳۰۰۰, USA) اندازه‌گیری شدند.

میوه‌ها به‌صورت تدریجی برداشت شده و از همه میوه‌های برداشت شده وزن تازه و خشک با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم، مواد جامد محلول با استفاده از رفرکتومتر PAL-۱ Brix refractometer (Atago USA Inc., Tokyo, Japan) و قطر میوه با استفاده از کولیس دیجیتال (Mitutoyo America Corp., Aurora, Japan) اندازه‌گیری شد. پس از اتمام آزمایش (۱۲۴ روز پس از انتقال نشا) گیاهان از گلدان خارج شده و طول ساقه و ریشه با خط‌کش و حجم ریشه با روش جابجایی سیال آب به کمک استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. سپس شاخساره و ریشه از محل طوقه جدا شده و با کمک ترازوی دیجیتال وزن شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک در آون دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و مجدداً با کمک ترازو وزن شد. برای اندازه‌گیری عناصر در گیاه از روش خاکستر خشک استفاده شد و میزان پتاسیم به‌وسیله فلیم‌فتومتر (مدل PFP ۷)، فسفر، رنگ‌سنجی و نیتروژن به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (۱۴).

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد و تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix8 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج

وزن تازه و خشک میوه، قطر میوه، روز تا برداشت و عملکرد به‌طور معنی‌داری در تیمار V۳ افزایش یافت در حالی که مواد جامد محلول در تیمارهای V۲ و V۳ در مقایسه با گیاهان رشد یافته در بستر بدون ورمی‌کمپوست افزایش یافت (جدول ۳). نرخ فتوسنتز و تنفس در تیمار V۳ به‌طور معنی‌داری افزایش داشت (جدول ۴). غلظت نیتروژن شاخساره در تیمار V۳ و غلظت پتاسیم و فسفر شاخساره در تیمارهای V۲ و V۳ افزایش یافت (جدول ۴). وزن تازه و خشک میوه، وزن تازه و خشک ریشه، حجم ریشه، قطر میوه و عملکرد میوه در تیمار NS۲ کاهش داشت. وزن تازه و خشک شاخساره تغییراتی در پاسخ به NS۱ نداشت. روز تا برداشت در تیمارهای NS۱ و NS۲ افزایش یافت (جدول ۵).

میزان کلروفیل، نرخ فتوسنتز، غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره در تیمار NS۲ و غلظت نیتروژن شاخساره در تیمارهای NS۱ و NS۲ کاهش یافت (جدول ۶). وزن تازه میوه در تیمارهای NS۱ و NS۲ کاهش یافته و کاربرد ورمی‌کمپوست V۳ باعث افزایش وزن تازه میوه در تیمارهای NS۱ و NS۲ شد. وزن تازه شاخساره در تیمارهای NS۱×V۲ و NS۱×V۳ در مقایسه با NS۱×V۱ و همچنین تیمار NS۲×V۳ در مقایسه با سایر تیمارها افزایش یافت. وزن تازه ریشه با کاربرد ورمی‌کمپوست (V۲ و V۳) در تیمار محلول غذایی کامل (NSc) افزایش یافت. وزن تازه ریشه در تیمارهای NS۱×V۲ و NS۲×V۳ در مقایسه با سایر تیمارها افزایش یافت و وزن خشک ریشه در تیمار V۲×NS۱ افزایش یافت. حجم ریشه در تیمار محلول غذایی جانسون کامل (NSc) و همچنین NS۲ در ترکیب با ورمی‌کمپوست (V۲ و V۳) افزایش یافت. عملکرد در تیمار NSc×V۳ افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت. قطر میوه در تیمارهای NSc×V۲،

جدول ۳. تأثیر محیط کشت‌های مختلف بر رشد و ویژگی‌های میوه فلفل دلمه [۲]

محیط کشت	وزن تازه میوه (گرم)	وزن خشک میوه (گرم)	مواد جامد محلول (بریکس)	وزن تازه شاخساره (گرم)	وزن خشک شاخساره (گرم)	وزن تازه ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	قطر میوه (سانتی‌متر)	روز تا برداشت	عملکرد (گرم در بوته)
V۱	۵۹/۸۱^{b}	۶/۸۵^{b}	۸/۰۱^{ab}	۱۱۱/۳۲^{a}	۱۷/۰۲^{a}	۵۶/۵۳^{a}	۱۳/۳۸^{b}	۴۸/۳۳^{b}	۵/۸۹^{b}	۹۴/۱۱^{a}	۷۰/۸^{b}
V۲	۵۲/۰۱^{b}	۶/۳۶^{b}	۶/۸۱^{b}	۱۱۹/۷۵^{a}	۱۸/۴۳^{a}	۵۴/۴^{a}	۱۵/۳۱۴^{a}	۶۵/۰۰^{a}	۵/۸۹^{b}	۸۵/۳۳^{ab}	۷۲/۲^{b}
V۳	۱۱۱/۳۶^{a}	۹/۸۰^{a}	۸/۳۵^{a}	۱۰۹/۱۳^{a}	۱۴/۹۹^{a}	۴۱/۳۵^{a}	۱۵/۷^{a}	۶۹/۴۴^{a}	۶/۶۲^{a}	۷۵/۵۵^{b}	۱۱۲/۷۹^{a}

[۲] در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارد. V1: ورمی‌کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱ حجمی)، V۲: ورمی‌کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۲ حجمی) و V۳: ورمی‌کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۲:۱:۱).

جدول ۴. تأثیر محیط کشت‌های مختلف بر شاخص‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر غذایی [۲]

محیط کشت	محتوای کلروفیل (SPAD)	نرخ فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تنفس ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	نیتروژن شاخساره (٪)	فسفر شاخساره (٪)	پتاسیم شاخساره (٪)
V۱	۳۲/۶۹^{a}	۶/۱۹^{b}	۱/۰۵^{b}	۰/۰۲^{a}	۹/۶۴^{b}	۰/۰۰۶^{b}	۰/۱۷^{b}
V۲	۳۰/۷۴^{a}	۱۲/۸۳^{ab}	۱/۹۳^{ab}	۰/۰۴^{a}	۹/۹۹^{b}	۰/۰۰۹^{a}	۰/۳۳^{a}
V۳	۲۹/۸۷^{a}	۱۴^{a}	۲/۱۳^{a}	۰/۰۵^{a}	۱۱/۵۹^{a}	۰/۰۰۹^{a}	۰/۳۶^{a}

[۲] در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند. V۱: ورمی‌کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱ حجمی)، V۲: ورمی‌کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۲ حجمی) و V۳: ورمی‌کمپوست : پرلیت: کوکوپیت (۲:۱:۱).

جدول ۵. تأثیر سطوح مختلف محلول غذایی بر رشد و ویژگی‌های میوه فلفل دلمه †

محلول غذایی	وزن تازه میوه (گرم)	وزن خشک میوه (گرم)	مواد جامد محلول (بریکس)	وزن تازه شاخساره (گرم)	وزن خشک شاخساره (گرم)	وزن تازه ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	حجم ریشه (میلی لیتر)	قطر میوه (سانتی‌متر)	روز تا برداشت	عملکرد (گرم در بوته)
NSc	۹۳/۰۴^{a}	۹/۳۳^{a}	۷/۸۴^{a}	۱۳۰/۶۷^{a}	۱۹/۸۵^{a}	۶۱/۰۳^{a}	۵/۸۷^{a}	۷۵^{a}	۶/۵^{a}	۷۷/۸۸^{b}	۹۰/۶۸^{a}
NS۱	۷۹/۰۰^{a}	۸/۶۷^{a}	۷/۷۷^{a}	۹۸/۸۴^{b}	۱۶/۳۹^{ab}	۵۸/۷۱^{a}	۵/۵۲^{a}	۷۳/۸۸^{a}	۶/۳۲^{a}	۸۷/۵۵^{ab}	۱۰۳/۲۶^{a}
NS۲	۵۱/۱۲^{b}	۵/۰۱^{b}	۷/۵۵^{a}	۱۱۰/۶۹^{ab}	۱۴/۲۰^{b}	۳۲/۵۵^{b}	۳/۰۱^{b}	۳۳/۸۸^{b}	۵/۵۸^{b}	۸۹/۵۵^{a}	۶۱/۹۳^{b}

† در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند. NSc: محلول غذایی کامل به عنوان شاهد، NS۱: ۷۵ درصد محلول غذایی جانسون و NS۲: ۵۰ درصد محلول غذایی جانسون.

جدول ۶. تأثیر سطوح محلول غذایی بر شاخص‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر غذایی †

محلول غذایی	محتوای کلروفیل (SPAD)	نرخ فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تنفس ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	نیتروژن شاخساره (٪)	فسفر شاخساره (٪)	پتاسیم شاخساره (٪)
V۱	۳۱/۲۳^{a}	۱۱/۴۲^{a}	۱/۷۱^{a}	۰/۰۴^{a}	۱۰/۹۲^{a}	۰/۰۰۷^{a}	۰/۳۲^{a}
V۲	۳۳/۰۷^{a}	۱۲/۱۷^{a}	۱/۸۳^{a}	۰/۰۳^{a}	۱۰/۴۸^{ab}	۰/۰۰۷^{a}	۰/۳۲^{a}
V۳	۲۷/۰۰^{b}	۸/۴۲^{b}	۱/۵۶^{a}	۰/۰۳^{a}	۹/۸۲^{b}	۰/۰۰۵^{b}	۰/۲۲^{b}

† در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند. V۱: ورمی‌کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱ حجمی)، V۲: ورمی‌کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۲ حجمی) و V۳: ورمی‌کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۲:۱:۱).

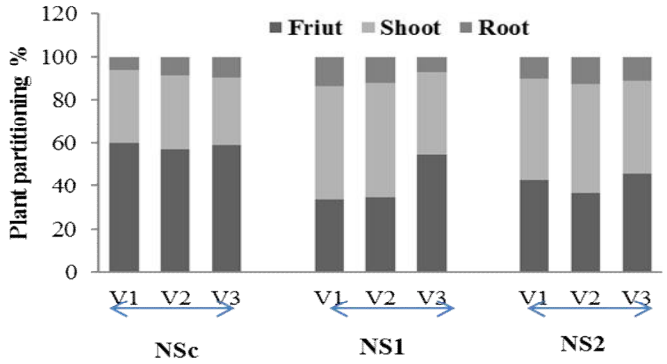
جدول ۷. برهم‌کنش سطوح مختلف بستر کشت و محلول غذایی بر شاخص‌های رویشی، فتوسنتزی و عناصر غذایی †

شاخص گیاهی	NSc			NS۱			NS۲		
	V۱	V۲	V۳	V۱	V۲	V۳	V۱	V۲	V۳
وزن تازه میوه (گرم)	۳۵۷/۳۷^{a}	۳۴۶/۴۴^{a}	۳۴۹/۵۵^{a}	۱۲۳/۲۷^{d}	۱۷۱/۲۴^{cd}	۳۴۲/۵^{ab}	۱۸۷/۴۳^{cd}	۱۳۸/۳۴^{d}	۲۵۳/۳۷^{bc}
وزن خشک میوه (گرم)	۲۳/۸^{a}	۲۴/۱۳^{a}	۲۵/۱۲^{a}	۱۷/۵$^{b-d}$	۱۸/۴۸^{bc}	۲۰/۰۵^{ab}	۱۵/۱۱^{cd}	۱۶/۴۸^{cd}	۱۸/۴^{bc}
وزن تازه شاخساره (گرم)	۲۰۳/۵۸^{bc}	۲۰۵/۷^{bc}	۱۸۷/۲۴^{c}	۱۹۲/۷۳^{bc}	۲۶۳/۱۱^{a}	۱۷۲۳۶$^{a-c}$	۲۰۳/۶۴^{bc}	۱۹۰/۴۵^{bc}	۲۳۷/۹۹^{ab}
وزن خشک شاخساره (گرم)	۶۴/۶۳$^{b-d}$	۶۶/۲۶$^{b-d}$	۶۱/۷۱^{d}	۶۵/۶۲$^{b-d}$	۸۵/۱۵^{a}	۷۸۶۸$^{a-c}$	۶۴/۸۲$^{b-d}$	۶۳/۸۹^{cd}	۸۰/۴۸^{ab}
وزن تازه ریشه (گرم)	۳۶/۳۵^{b}	۵۴/۴۴^{a}	۵۶/۸۵^{a}	۴۸/۹۴^{b}	۶۰/۹۹^{a}	۴۶/۲۰^{b}	۴۴/۳۱^{b}	۴۷/۷۹^{b}	۶۱^{a}
وزن خشک ریشه (گرم)	۷/۵۲^{ab}	۷/۲۹^{ab}	۷/۲۲^{ab}	۵/۱۱^{bc}	۷/۷۱^{a}	۳/۷۳^{c}	۴/۴۸^{c}	۴/۹۳^{bc}	۵/۱۹^{bc}
حجم ریشه (میلی‌لیتر)	۵۰^{cd}	۷۵^{ab}	۷۶/۶۷^{ab}	۶۳/۳۳^{b}	۹۳/۳۳^{a}	۶۵^{b}	۵۳^{bc}	۵۶/۶۷^{bc}	۷۰/۳۳^{ab}
قطر میوه (سانتی‌متر)	۵/۲۲^{d}	۵/۷۵^{cd}	۵/۷۷^{cd}	۷/۰۴^{ab}	۶/۴۲^{bc}	۵/۵۱^{cd}	۷/۵۹^{a}	۵/۵۱^{cd}	۶/۴^{bc}
روز تا برداشت	۱۰۹/۶۷^{a}	۷۸/۳۳^{cd}	۸۰/۶۷$^{b-d}$	۹۴$^{a-c}$	۷۱/۶۷^{d}	۷۲^{d}	۷۸/۶۷$^{b-d}$	۷۶/۶۷^{cd}	۷۸/۳۳^{cd}
عملکرد (گرم در بوته)	۱۹۰/۳۶$^{b-d}$	۱۹۸/۶۴^{bc}	۲۱۳/۷۸^{a}	۱۷۸/۶۴$^{b-d}$	۱۵۶/۹۵^{cd}	۱۵۰/۲۱^{d}	۱۶۴^{cd}	۱۶۱/۲۵^{cd}	۱۶۲/۴^{cd}
نرخ فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	۶/۵^{c}	۱۰/۸۱^{ab}	۱۶/۹۷^{a}	۶/۱۳^{c}	۱۱/۶۷^{ab}	۱۰/۴۸^{ab}	۵/۹۴^{c}	۱۶/۰۱^{a}	۱۴/۵۷^{a}
تنفس ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	۰/۸۵^{ab}	۱/۹۱^{ab}	۲/۳۸^{a}	۱/۹۱^{ab}	۱/۷۱^{ab}	۱/۸۸^{ab}	۰/۴^{b}	۲/۱۶^{a}	۲/۱۳^{a}
هدایت روزنه‌ای ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	۰/۰۱۵^{b}	۰/۰۴۵^{ab}	۰/۰۶^{a}	۰/۰۴۵^{ab}	۰/۰۳۵^{ab}	۰/۰۳۵^{ab}	۰/۰۱۵^{b}	۰/۰۴۵^{ab}	۰/۰۵۵^{ab}
نیتروژن (٪)	۱۵/۷^{ab}	۱۹/۵۷^{a}	۱۸/۵۰^{ab}	۹/۰۴^{c}	۱۰/۲۴^{bc}	۱۲/۱۶^{b}	۸/۳۸^{c}	۱۰/۱۷^{bc}	۱۰/۹^{bc}
فسفر (٪)	۰/۰۰۸^{a}	۰/۰۰۷^{a}	۰/۰۰۷^{a}	۰/۰۰۵^{b}	۰/۰۰۷^{a}	۰/۰۰۶^{ab}	۰/۰۰۵^{b}	۰/۰۰۶^{ab}	۰/۰۰۶^{ab}
پتاسیم (٪)	۰/۲۰^{b}	۰/۴۲^{a}	۰/۳۵^{a}	۰/۲۱^{b}	۰/۴۳^{a}	۰/۳۳^{a}	۰/۱۰^{b}	۰/۴۵^{a}	۰/۴۰^{a}

† در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند. V۱: ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۱ حجمی)، V۲: ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۲ حجمی) و V۳: ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۲:۱:۱). NSc: محلول غذایی کامل به‌عنوان شاهد، NS۱: ۷۵ درصد محلول غذایی جانسون و NS۲: ۵۰ درصد محلول غذایی جانسون.

NSc×V۳ و NSc×V۳ افزایش یافت. روز تا برداشت میوه در تیمارهای NSc و NS۱ با کاربرد ورمی‌کمپوست (V۲ و V۳) کاهش یافت.

نرخ فتوسنتز در همه سطوح محلول غذایی با کاربرد هر دو سطح ورمی‌کمپوست افزایش یافت. تنفس به‌طور معنی‌داری در تیمار NS۲ با کاربرد هر دو سطح ورمی‌کمپوست افزایش یافت. هدایت روزنه‌ای در تیمار NSc×V۳ افزایش بیشتری نسبت به تیمار NSc×V۱ نشان داد. غلظت پتاسیم در همه سطوح محلول غذایی با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافت. غلظت نیتروژن در تیمار NSc×V۱ در مقایسه با تیمار NSc×V۱ افزایش یافت. نیتروژن برگ در تیمارهای NSc و NS۲ با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش داشت ولی غلظت فسفر در تیمارهای NS۱ و NS۲ با کاربرد ورمی کمپوست در مقایسه با V۱ افزایش یافت (جدول ۷). در تیمارهای NS۱ و NS۲ زمانی که



شکل ۱- تأثیر بستر کشت‌های مختلف و سطوح مختلف محلول غذایی بر توزیع رشد گیاه؛

V۱: ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۱ حجمی)، V۲: ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۲ حجمی) و V۳: ورمی‌کمپوست:پرلیت:کوکوپیت (۱:۱:۲). NSc: محلول غذایی کامل به‌عنوان شاهد، NS۱: ۷۵ درصد محلول غذایی جانسون و NS۲: ۵۰ درصد محلول غذایی جانسون.

ورمی‌کمپوست در تیمارهای NS۱ و NS۲ زمانی که ورمی‌کمپوست استفاده شد، عملکرد میوه افزایش یافت (شکل ۱).

بحث

کمبود مواد غذایی مانند سایر تنش‌های غیرزنده باعث افزایش آسیب‌های اکسیداتیو و کاهش رشد در گیاه می‌شود (۲۹). در پژوهش حاضر، محلول غذایی در غلظت متوسط در ترکیب با بیش‌ترین مقدار ورمی‌کمپوست اثر مثبتی بر وزن تازه و خشک شاخساره داشت که با نتایج فانگ و همکاران (۱۰) همخوانی دارد. آتیه و همکاران (۲) مشاهده کردند که وزن خشک شاخساره گیاهان گوجه‌فرنگی رشدیافته در خاک دارای ورمی‌کمپوست بیشتر از گیاهان رشدیافته در خاک بدون کود و یا در خاک‌های دارای کود شیمیایی است. آزرمی و همکاران (۳) دریافتند که وزن خشک ساقه گوجه فرنگی با کاربرد ۳۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست گوسفندی افزایش می یابد.

برهم‌کنش ورمی‌کمپوست (V۳) و محلول غذایی (NS۱) باعث افزایش معنی‌دار وزن تازه و خشک ریشه گیاه شد. همچنین ورمی‌کمپوست باعث افزایش وزن تازه ریشه در همه سطوح محلول غذایی شد. کلینگ و همکاران (۲۲) نشان دادند که کمپوست تفاله سبز باعث افزایش توسعه ریشه و رشد گیاهان کلزا می‌شود و این تأثیر در کاربرد همزمان کمپوست با کود شیمیایی بیشتر است. اسید هیومیک موجود در ورمی‌کمپوست باعث بهبود رشد طولی ریشه و ظهور ریشه‌های جانبی در ریشه ذرت شد (۶).

ورمی‌کمپوست با پایه کود گاوی باعث افزایش رشد ریشه کلم‌چینی (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) شد و این به‌علت افزایش دسترسی عناصر NPK و بهبود ساختمان خاک است (۳۹). در آزمایش حاضر، غلظت عناصر غذایی شاخساره با کاربرد ورمی‌کمپوست در همه سطوح محلول غذایی افزایش یافت. فعالیت شبه‌هورمونی ورمی‌کمپوست باعث افزایش زیتوده ریشه و توسعه ریشه شد که منتج به رشد و توسعه بهتر بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) شد (۲۸). سابرینا و همکاران (۳۳) گزارش دادند که ورمی‌کمپوست غنی از فسفر باعث افزایش جذب حجم ریشه در گراس *Setaria* شد. همان‌طور که در پژوهش حاضر مشاهده شد، افزایش وزن تازه ریشه و طول ریشه در لیلیوم (*Lilium longiflorum*) در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده شد (۲۶) درحالی که طول ریشه، وزن تازه و خشک ریشه نخودفرنگی (۲۳) با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافت. آرانکون و همکاران (۱) و میسین و همکاران (۲۸) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست غنی از اکسین و اسید هیومیک باعث بهبود ریشه ذرت می‌شود. ورمی‌کمپوست به‌دلیل داشتن مواد غذایی کافی و قابلیت در جذب مواد غذایی

می‌تواند سبب افزایش میزان سطح برگ شود. این پژوهشگران علت این افزایش را به قابلیت جذب بیشتر عناصر غذایی ارتباط ندادند بلکه افزایش در فعالیت ریزجانداران که ناشی از فعالیت کرم خاکی است را علت این افزایش دانستند. آنها معتقدند که ریزجانداران با توانایی در تولید مواد تنظیم‌کننده رشد می‌توانند باعث افزایش در سطح برگ شوند در نتیجه فتوسنتز بیشتری را در پی دارد که به‌صورت افزایش وزن تازه و خشک نمود می‌یابد (۱). از سوی دیگر، کوکوپیت به علت تخلخل بیشتر نسبت به خاک معمولی باعث رشد بهتر ریشه و توسعه بهتر سیستم ریشه می‌شود و در نتیجه گیاه قدرت جذب بیشتری پیدا می‌کند و این عملکرد بهتری را در پی دارد (۴۱).

افزایش تعداد میوه در گیاهان توت فرنگی (۳۵)، خیار (۳)، بادمجان (۲۷) و سیر (۳۶) با کاربرد ورمی‌کمپوست گزارش شده است. ساتر (۳۶) مشاهده کرد که بیشترین وزن تازه و تعداد حبه‌های سیر با کاربرد ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست ترکیب با ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده مشاهده شد. نتایج مشابهی توسط موراديتوچی و همکاران (۲۷) در بررسی ترکیب ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی در بادمجان مشاهده شد؛ آنهل گزارش کردند که ترکیب این دو کود بهتر از کاربرد جداگانه آنها است.

در آزمایش حاضر، بیشترین وزن تازه و خشک میوه در محلول غذایی کامل در ترکیب و یا جداگانه با ورمی‌کمپوست و بیشترین عملکرد در محلول غذایی کامل با کاربرد سطوح بالای ورمی‌کمپوست مشاهده شد و برای تأمین بیشترین عملکرد نیاز به کاربرد محلول غذایی کامل است. در تأیید نتایج پژوهش حاضر، ترکیب ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی باعث افزایش رشد و عملکرد لوبیا شد (۱۸). نتایج مشابهی در سیب‌زمینی (۵)؛ برنج (۱۵)، گندم (۱۷) نیز مشاهده شد.

ورمی‌کمپوست غنی از عناصر غذایی، فعالیت میکروبی و هورمون‌های رشدی (۴) و یا اسید هیومیک (۳۹) است که می‌تواند دلیل مناسبی برای افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد گیاه در آزمایش حاضر باشد. پژوهشگران بیان کردند که عنصر روی برای ساخته شدن تریپتوفان لازم است چون تریپتوفان پیش ماده ساخت اسید ایندول استیک است؛ بنابراین ساخته شدن اسید ایندول استیک به‌طور غیرمستقیم تحت تأثیر روی است. با توجه به اینکه ورمی‌کمپوست محیطی غنی از نظر مواد غذایی است لذا می‌تواند با تأثیر در ساخت هورمون‌ها، باعث افزایش رشد شده و میزان ماده خشک گیاه را افزایش دهد (۴۱). همچنین همان‌طور که نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد ورمی‌کمپوست دارای تخلخل و گنجایش نگهداری آب زیادی است (۹) که می‌تواند دلیل دیگری بر افزایش رشد و عملکرد فلفل‌دلمه‌ای در حضور محلول غذایی جانسون در پژوهش حاضر باشد.

در پژوهش حاضر، بیشترین SPAD و نرخ فتوسنتز در بالاترین سطح محلول غذایی (NSc و NS۱) مشاهده شد. غلظت زیاد نیتروژن باعث افزایش نرخ تنفس در آفتابگردان می‌شود. از طرف دیگر، در شرایط کمبود نیتروژن، سطح برگ، میزان کلروفیل، نرخ فتوسنتز و زیتوده در سورگوم کاهش می‌یابد (۴۲).

همچنین در پژوهش حاضر، فتوسنتز با کاربرد ورمی‌کمپوست در تمام سطوح محلول غذایی افزایش یافت. تالشی و همکاران (۳۷) با کاربرد ۶ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در ترکیب با ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن مشاهده کردند که غلظت نیتروژن، فعالیت میکروبی، سطح ریشه و در نتیجه جذب عناصر غذایی و فتوسنتز آفتابگردان افزایش یافت.

در پژوهش دیگری راوی و همکاران (۳۱) گزارش کردند که کاربرد نیترژون باعث افزایش رشد و سطح برگ و در نتیجه افزایش جذب نور منتج به کلروفیل و فتوسنتز بیشتر می‌شود. آزرمی و همکاران (۳) گزارش کردند که میزان کلروفیل در گوجه‌فرنگی با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش می‌یابد. بنابراین در آزمایش حاضر افزایش فتوسنتز در فلفل‌دلمه‌ای را می‌توان به افزایش کلروفیل مربوط دانست.

در پژوهش حاضر، در محلول غذایی NS۱ غلظت نیتروژن در مقایسه با NSc کاهش یافت و ورمی‌کمپوست در بالاترین

سطح باعث افزایش غلظت نیتروژن شد؛ بیشترین میزان نیتروژن در تیمار NSc در ترکیب با V۳ مشاهده شد که بیانگر این است که ترکیب ورمی‌کمپوست و محلول غذایی اثر بهتری دارد. میناکوماری و شیهکار (۲۵) گزارش کردند که اعمال ورمی‌کمپوست وضعیت عناصر غذایی، عملکرد و رشد گوجه‌فرنگی را در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی بهبود می‌بخشد؛ البته مشاهده شد که ترکیب ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی بهترین نتیجه را دارد. نتایج ساچار (۳۶) نشان داد که ترکیب ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی در مقایسه با ورمی‌کمپوست یا کود شیمیایی به‌صورت جداگانه اثر بهتری بر جذب عناصر غذایی در سیر داشت. نتایج مشابهی در رزماری مشاهده شد (۳۴، ۳۵).

ورمی‌کمپوست باعث توزیع ریزجانداران در ریزوسفر گیاه شده که باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی، بهبود ویژگی‌های خاک و در نتیجه افزایش جذب پتاسیم در بادام‌زمینی می‌شود (۲۸). در پژوهش حاضر غلظت پتاسیم با کاربرد ورمی‌کمپوست در تمام سطوح محلول غذایی افزایش یافت. غلظت فسفر نیز با کاهش غلظت محلول غذایی کاهش یافت و کاربرد سطح بالای ورمی‌کمپوست باعث بهبود جذب فسفر شد. نتایج مشابهی برای گل جعفری (۳۸)، اسفناج (۳۰)، و ذرت (۱۲) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کمبود محلول غذایی در تیمارهای ۷۵ درصد محلول غذایی جانسون و ۵۰ درصد محلول غذایی جانسون وزن تازه، وزن خشک و عملکرد میوه، فتوسنتز، شاخص کلروفیل و غلظت عناصر غذایی شاخساره را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر وزن تازه و خشک، میزان مواد جامد محلول، عملکرد، رشد گیاه و فتوسنتز با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافت. عملکرد گیاه در ترکیب تیمارهای ورمی‌کمپوست (V۳) و محلول غذایی کامل بهبود یافت. شاخص‌های فتوسنتزی (نرخ فتوسنتز، تنفس و هدایت روزنه‌ای) با کاربرد ورمی‌کمپوست در محلول غذایی جانسون کامل و همچنین کمترین درصد محلول غذایی افزایش یافت. غلظت پتاسیم در برگ با کاربرد ورمی‌کمپوست در همه سطوح محلول غذایی افزایش یافت. بنابراین به‌طور کلی ورمی‌کمپوست به تنهایی و یا با درصدهای کم محلول غذایی برای رشد فلفل کافی نیست. ولی افزودن محلول غذایی کامل عملکرد تجاری مناسبی را سبب شده و با کاهش غلظت محلول غذایی تغییرات ذکر شده در رشد و عملکرد ایجاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Arancon N.Q., S. Lee, C.A. Edwards and R. Atiyeh. 2003. Effects of humic acids and aqueous extracts derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants. Pedobiologia. 47: 744–781.
2. Atiyeh, R.M., N.Q. Arancon, C.A. Edwards and J.D. Metzger. 2000. Influence of earthworm processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresour. Technol. 75: 175–180.
3. Azarmi, R., M.T. Giglou and R.D. Taleshmikail. 2009. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. Afr. J. Biotechnol. 7: 2397–2401.
4. Bejbaruah, R., R.C. Sharma and P. Banik. 2013. Split application of vermicompost to rice (*Oryza sativa* L.): its effect on productivity, yield components, and N dynamics. Organic. Agric. 3: 123–128.
5. Bhattacharya, S.S., W. Iftikar, B. Sahariah and G.N. Chattopadhyay. 2012. Vermicomposting converts fly ash to enrich soil fertility and sustain crop growth in red and lateritic soils. Resour. Conserv. Recycl. 65: 100–106.
6. Canellas, L.P., FL. Olivares, A.L. Okorokova-Façanha and A.R. Façanha .2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H^+-ATPase activity in maize roots. Plant Physiol. 130: 1951–1957.
7. Cechin, I. and T.F. Fumis. 2004. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. Plant Sci. 166: 1379–1385.
8. Chanda, G.K., B. Goutam and S.K. Chakraborty. 2011. The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. J. Hortic. For. 3: 42–45.

9. Edwards, C.A. and I. Burrows. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. In: Neuhauser, C.A. (Ed.), Earthworms in Environmental and Waste Management. SPB Academic Publishing, The Hague, the Netherlands. pp. 211–220.
10. Fang, H., C. Cheng, G. Yu, J. Cooch, Y. Wang, M. Xu, L. Li, X. Dang and Y. Li. 2014. Low-level nitrogen deposition significantly inhibits methane uptake from an alpine meadow soil on the Qinghai–Tibetan Plateau. Geoderma. 213: 444–452.
11. Gupta, R., A. Yadav and V.K. Garg. 2014. Influence of vermicompost application in potting media on growth and flowering of marigold crop. Int. J. Recycl. Org. Waste Agric. 3 (47): 1–7.
12. Gutiérrez-Miceli, F.A., B. Moguel-Zamudio, M. Abud-Archila, V.F. Gutiérrez-Oliva and L. Dendooven. 2008. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. Bioresour. Technol. 99: 7020–7026.
13. Haghighi, M., A. Afsharikia, M. Mozafariyan, M. Pessarakli and A. Bolandnazar. 2014. Usage of herbal waste (thyme and chicory) as an organic substrate in cucumber production. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45: 2607–2619.
14. Haghighi, M., S. Heidarian, and J.A. Teixeira da Silva. 2012. The effect of titanium amendment in N-withholding nutrient solution on physiological and photosynthesis attributes and micro-nutrient uptake of tomato. Biol. Trace Elem. Res. 150: 381–390.
15. Jeyabal, A. and G. Kuppuswamy. 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice–legume cropping system and soil fertility. Eur. J. Agron. 15: 153–170.
16. Johnson, H. 1980. Hydroponics: a guide to soilless culture. Leaflet No. 2949. Berkeley: Division of Agriculture and Natural Resources. University. California.
17. Joshi, R., A.P. Vig and J. Singh. 2013. Vermicompost as soil supplement to enhance growth, yield and quality of *Triticum aestivum* L.: a field study. Int. J. Recycl. Org. Waste Agric. 2(16): 1–7.
18. Kadam, D. and C.P. Girish. 2014. Effect of tendu (*Diospyros melanoxylon* RoxB.) leaf vermicompost on growth and yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Int. J. Recycl. Org. Waste Agric. 3: 44-54.
19. Karmegam, N. 2009. Vermitechnology I. Dynamic Soil, Dynamic Plant 3 (Special Issue 2): pp. 1–153
20. Karmegam, N. 2011. Vermitechnology II. Dynamic Soil, Dynamic Plant 4 (Special Issue 1): pp. 1–161
21. Karmegam, N. 2012. Vermitechnology III. Dynamic Soil, Dynamic Plant 6 (Special Issue 1): pp. 1–133
22. Keeling, A.A., K.R. McCallum and C.P. Beckwith. 2003. Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oil seed rape (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors. Bioresour. Technol. 90: 127–132.
23. Khan, A. and F. Ishaq. 2011. Chemical nutrient analysis of different composts (vermicompost and pit compost) and their effect on growth of a vegetative crop *Pisum sativum*. AJPSR. 1(1): 116–130.
24. Manivannan, S., M., Balamurugan, K., Parthsarathi, G. Gunasekaran and Ranganathan, L.S. 2009. Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity beans (*Phaseolus vulgaris*). J. Environ. Biol. 30(20): 275–281
25. Meenakumari, T. and Shehkar, M. (2012) Vermicompost and other fertilizers effects on growth, yield and nutritional status of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plant. World Res. J. Agric. Biotechnol. 1(1): 14–16.
26. Mirakalaei, S.M.M., Z.O. Ardebill and Mostafavi, M. 2013. The effects of different organic fertilizers on the growth of lilies (*Lillium longiflorum).* IRJABS. 4(1): 181–186.
27. Moraditochaee, M., H.R. Bozorgi and Halajisani, N. 2011. Effects of vermicompost application and nitrogen fertilizer rates on fruit yield and several attributes of eggplant (*Solanum melongena* L.) in Iran. WASJ. 15(2): 174–178.
28. Mycin, T.R., Lenin, M., Selvakumar, G. and Thangadurai, R. 2010. Growth and nutrient content variation of groundnut *Arachis hypogaea* L. under vermicompost application. J. Exp. Sci. 1(8): 12–16.
29. Naeem, N., Khan, and Moinuddin, M.A. 2012. Mineral nutrition of medicinal and aromatic plants. Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology 6 (Special Issue 1): 1–131.
30. Peyvast, G., Olfati, J.A., Madeni, S. and Forghani, A. 2008. Effect of vermicompost on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). JFAE. 6(1): 110–113.
31. Ravi, S., H.T. Channal, N.S. Hebsur, B.N. Patil and P.R. Dharmatti. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Karnataka. J. Agric. Sci. 21: 382–385.
32. Roberts, P., G. Edwards-Jones and D.L Jones.2007. Yield responses of wheat (*Triticum aestivum*) to vermicompost applications. Compost Sci. Util. 15: 6–15.
33. Sabrina, D.T., M.M. Hanafi, A.W. Gandahi, M.T.M. Mohamed and N.A.A. Aziz. 2013. Effect of mixed organic-inorganic fertilizer on growth and phosphorous uptake of setaria grass (*Setaria splendida*). J. Crop Sci. 7(1): 75–83.
34. Singh, M. and K. Wasink .2013. Effect of vermicompost and chemical fertilizer on growth, herb, oil yield, nutrient uptake, soil fertility, and oil quality of rosemary. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 44: 2691–2700.
35. Singh, R., P.R. Sharma, S. Kumar, P.K. Gupta and R.T. Patil. 2008. Vermicompost substitution influences growth,

physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). Bioresour. Technol. 99: 8507–8511.
36. Suthar, S. 2009. Impact of vermicompost and composted farmyard manure on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) field crop. IJPP. 3(1): 27–38.
37. Taleshi, K., A. Shokoh-far, M. Rafiee, G. Noormahamadi and T. Saki-nejhad. 2011. Effect of vermicompost and nitrogen levels on yield and yield component of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under late season drought stress. IJAPP. 2(1): 15–22.
38. Uma, B. and M. Malathi. 2009. Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus* species. RJABS. 5(6): 1054–1060.
39. Wang, D., Q. Shi, X. Wang, M. Wei, J. Hu, J. Liu and F. Yang. 2010. Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. chinensis). Biol. Fertil. Soils. 46: 689–696.
40. Yadav, A. and V.K. Garg. 2011. Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. Bioresour. Technol. 102: 2874–2880.
41. Yan P.Y. and Murphy R.J. 2008. Biodegraded cocopeat as a horticultural substrate. Acta Horticulture, 517 pp.
42. Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani and V.R. Reddy. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. Eur. J. Agron. 22: 391–403.

The Effect of Organic Media in Compensating for Nutrient Deficiency in the Growth of Bell Peppers

M. Haghighi* and M. R. Barzegar[1]

(Received: 21 October 2018; Accepted: 23 April 2019)

Abstract

Organic substrate can increase crop productivity. This experiment aimed to improve the yield and growth parameters of sweet pepper (*Capsicum annuum* L. cv. 'Gold flame') by using three levels of modified Johnson's nutrient solution (JNS), including full JNS as the control (NSc), 75% JNS (NS1) and 50% JNS (NS2) as well as three types of substrates that were based on three levels of vermicompost: vermicompost:perlite:cocopeat (1:1:1 v/v; V1) as the control, vermicompost:perlite:cocopeat (1:1:2 v/v; V2) and vermicompost:perlite:cocopeat (2:1:1 v/v; V3). Fruit fresh weight (86.18%) and dry weight (43.03%), root dry weight (68.63%) and root volume (43.67%), fruit diameter (12.39%) and yield (59.30%) increased significantly in V3 treatment. The application of vermicompost increased photosynthesis rate, respiration, nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations more than Johnson's nutrient solution. Fruit fresh and dry weights, root fresh and dry weights, root volume, fruit diameter and yield decreased in NS2 and NS1 and application of V3 improves the fresh weight of fruit in NS1. The highest fruit yield was observed in NSc treatment in combination with V3. Photosynthetic rate, and P and K concentrations increased with vermicompost application in all nutrient solution. The N and P concentrations decreased in NS1 and NS2 while respiration was stimulated by V2 and V3 in combination with NS1. The P decreased in NS1 and NS2 but was stimulated by both V2 and V3 treatments. The N level was reduced in NS1 and NS2 but V3 enhanced the level of N when combined with NS1. Overall, plant growth, yield, photosynthesis and nutrient N, P, K concentrations can be increased in sweet pepper by the addition of vermicompost and nutrient solution.

Keywords: Nutrients, Photosynthesis, Vermicompost, Yield.

1. Dept. of Hort., College of Agric., Isfahan. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.
* Corresponding Author, Email: mhaghighi@iut.ac.ir