

# 微生物菌肥与蚯蚓液体肥对设施连作番茄生长 和土壤肥力的影响

刘吉青<sup>1</sup>, 兰挚谦<sup>1</sup>, 田兴武<sup>2</sup>, 张凯歌<sup>1</sup>, 林薇<sup>1</sup>, 郑文德<sup>1</sup>, 张雪艳<sup>1\*</sup>

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 吴忠国家农业科技园区管理委员会, 吴忠 751200)

**摘要:** 针对连作设施番茄产量降低、土壤肥力下降问题, 以传统施肥为对照 (CK), 设置微生物有机固体肥+微生物菌剂灌根 (T1)、微生物有机固体肥+微生物菌剂灌根+蚯蚓液体追肥 (T2) 处理, 探究微生物菌肥与蚯蚓液体肥对连作番茄生长和土壤肥力修复效果研究。结果表明, 相对 CK, T1、T2 处理显著增加了叶片相对生长速率、土壤速效钾含量和总生物量, 分别为 5.14%、3.12%、25.77%、34.02% 和 18.10%、14.65%。相对 CK 和 T2 处理, T1 处理显著增加了株高生长速率和果实产量, 分别为 3.77%、4.46% 和 18.37%、19.90%; 相对 CK, T1 处理显著增加植株地上和地下部干重、土壤有机质和全氮含量, 分别为 17.06%、35.19%、37.57% 和 22.44%。综合肥力指数表明, T1>CK>T2, T1 综合肥力指数 SFI 显著高于 CK 和 T2 处理, 分别为 11.21% 及 19.03%。相关性分析表明, 产量与综合肥力指数、地下部鲜重、地下部干重呈极显著正相关, 与速效氮呈极显著负相关, 与全氮呈显著性正相关。总之, 相对 CK, T2 处理显著促进植株生物量增加, T1 处理对促进番茄植株生长和增加土壤肥力效果最佳。

**关键词:** 微生物菌肥; 蚯蚓液体肥; 番茄生长; 土壤综合肥力指数

中图分类号: S641.206.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2019)06-1069-06

## Effects of microbial fertilizer and earthworm liquid fertilizer on tomato growth and soil fertility in continuous facility cropping

LIU Jiqing<sup>1</sup>, LAN Zhiqian<sup>1</sup>, TIAN Xingwu<sup>2</sup>, ZHANG Kaige<sup>1</sup>, LIN Wei<sup>1</sup>, ZHENG Wende<sup>1</sup>, ZHANG Xueyan<sup>1</sup>

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021;

2. Management Committee of Wuzhong National Agricultural Sci-Tech Garden, Wuzhong 751200)

**Abstract:** In order to solve the problems of tomato yield reduction and soil fertility decline in continuous cropping facilities, microbial solid fertilizer + microbial agents root-irrigation (T1), microbial solid fertilizer + microbial agents root-irrigation + earthworm liquid topdressing (T2) were set up to study the effects of microbial fertilizer and earthworm liquid fertilizer on tomato growth and soil fertility restoration in continuous cropping. The results showed that: compared with CK, T1 and T2 treatments significantly increased the leaf relative growth rate, soil available potassium content and total biomass, which were 5.14%, 3.12%, 25.77%, 34.02% and 18.10%, 14.65%, respectively; compared with CK and T2 treatment, T1 treatment significantly increased the plant-height growth rate and fruit yield, which were 3.77%, 4.46%, 18.37% and 19.90%; compared with CK, T1 treatment significantly increased the plant dry weight of aboveground and underground parts, soil organic matter and total nitrogen content, which were 17.06%, 35.19%, 37.57% and 22.44%, respectively. The comprehensive fertility index showed that T1>CK>T2, and the SFI in T1 treatment was significantly higher than that in CK and T2 treatments by 11.21% and 19.03%, correspondingly. The yield was significantly positively correlated with the comprehensive fertility index, the fresh weight of the underground and the dry weight of the underground ( $P<0.01$ ), while it was significantly negatively correlated with the available nitrogen and positively correlated with the total nitrogen ( $P<0.05$ ). In conclusion, compared with CK, T2 treatment significantly increased plant biomass, and T1 treatment had the best effect on promoting tomato plant

收稿日期: 2019-02-27

基金项目: 国家自然科学基金(31460531; 31760593), “十三五”自治区重点研发计划重大项目(2016BZ0902), 自治区科技创新领军人才培养项目(KJT2017001)和自治区青年拔尖人才项目共同资助。

作者简介: 刘吉青, 硕士研究生。E-mail: 741274079@qq.com

\* 通信作者: 张雪艳, 博士, 副教授。E-mail: zhangxueyan123@sina.com

growth and increasing soil fertility.

**Key words:** microbial fertilizer; earthworm liquid fertilizer; tomato growth; soil comprehensive fertility index

近年来,连作造成作物产量降低、生育状况变差等现象日渐突出<sup>[1]</sup>,连作障碍明显。为追求效益,农民通过使用大量化肥来获得高产,但过量化肥使用易造成土壤微生物数量减少,细菌数量降低,病原菌数量增加<sup>[2-3]</sup>,反而加剧连作障碍发生。因此如何通过调控土壤微生物来减缓和修复连作土壤质量显得尤为重要。

目前大量研究表明,微生物菌肥施用通过特定菌株代谢活动作用于作物和土壤,可活化土壤微生物,改善生态环境和土壤质量<sup>[4]</sup>。占新华等<sup>[5]</sup>通过试验发现,施用微生物菌肥可为土壤提供大量有益微生物,通过微生物在土壤中大量繁殖使其发挥固氮、解磷、解钾等功能,释放出营养元素,供作物利用,同时形成腐殖质,改善土壤的结构和耕性,提高土壤肥力,促进作物生长。钱咏梅等<sup>[6]</sup>研究发现意大利生菜施用不同量生物菌肥处理比不施用任何肥料和常规施肥增产。吕爱英等<sup>[7]</sup>发现施用生物菌肥可降低辣椒的氮肥和磷肥用量,并增加辣椒产量。严建辉<sup>[8]</sup>发现施加微生物菌剂对4种不同作物均有增产和增加土壤肥力的作用。蚯蚓发酵液是一种有机高蛋白肥料,含有大量的生物活性酶、多肽、有益活性菌群及生命活性物质等<sup>[9]</sup>。贾云等<sup>[10]</sup>研究发现施用蚯蚓液体肥能促进葡萄生长,显著改善土壤理化性质、提高土壤有效养分含量,增加土壤微生物数量,提高酶活性及葡萄产量。范媛媛等<sup>[11]</sup>发现施用蚯蚓液体肥,能够促进小麦生长,提高小麦产量,同时减轻小麦纹枯病和根腐病的发生程度,有效减少化肥及农药用量。研究表明蚯蚓液体肥、微生物菌肥与固体化肥相比其利用率明显提高,不但降低了成本和化肥用量,同时减少对作物和环境的污染<sup>[12-13]</sup>。但微生物菌肥与高蛋白肥料蚯蚓液体肥结合施用对作物生长和土壤肥力的相关研究目前还鲜有报道。

番茄是宁夏连作障碍明显的主栽蔬菜作物之一,因此,作者以传统施肥为对照(CK),设置微生物有机固体肥+微生物菌剂灌根(T1)、微生物有机固体肥+微生物菌剂灌根+蚯蚓液体追肥(T2)处理,系统地研究微生物菌肥与蚯蚓液体肥对设施连作番茄植株生长、产量和土壤肥力的影响,探究微生物菌肥和蚯蚓液体肥对土壤肥力的修复效果,以期设施连作番茄持续高效生产技术体系的建立提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于2018年3月—7月在宁夏吴忠孙家滩国家园区C15棚进行,土壤基本理化性质为:有机质 $20.11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全氮 $0.336\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效氮 $10.92\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH 8.18,EC $0.33\text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,速效钾 $644.15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷 $45.43\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。选用“卓抗三号”,以传统施肥为对照(CK),在传统施肥基础上,设计微生物有机固体肥+微生物菌剂灌根(T1)、微生物有机固体肥+微生物菌剂灌根+蚯蚓液体追肥(T2)处理,微生物有机底肥与传统底肥一起施用,微生物菌剂在定植后每隔一个月施用1次,连续3次,蚯蚓液体肥苗期、开花期各追肥2次,第一穗果核大小时连续追肥7次,每个处理3次重复,小区面积 $17.5\text{ m}^2$ ,随机区组排列,所有处理统一水分管理。传统施肥为牛粪每亩5方,二铵每亩 $40\text{ kg}$ (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K=16:46:0),复混肥每亩(N:P:K=15:15:15) $40\text{ kg}$ ;微生物有机固体肥每亩 $140\text{ kg}$ ,微生物菌剂每亩4L,蚯蚓液体肥每亩 $150\text{ kg}$ 。微生物有机固体肥、微生物菌剂由木美土里公司提供,其中微生物有机固体肥N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O $\geq 6\%$ ,有机质 $\geq 20\%$ ,有效活菌数 $5\ 000\text{ 万个}\cdot\text{g}^{-1}$ ;微生物液体菌剂含ETS菌群 $2\text{ 亿个}\cdot\text{g}^{-1}$ 。蚯蚓液体肥由宁夏万辉生物环保科技有限公司提供,其pH 4.93,有机质 $12.45\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,腐植酸 $\geq 40\%$ ,N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O $\geq 6.5$ ,有效活菌数为 $2\text{ 亿}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

### 1.2 样品的采集

定植缓苗后,每个处理取10株代表植株,每隔2周测1次植株长势,记录株高、叶片数,共进行5次。采收期记录不同处理小区番茄产量,按照小区面积折合成亩产;拉秧期取植株测定生物量;取0~20cm盛果期土壤,风干后过1mm筛,用于测定土壤化学指标。

### 1.3 样品的测定方法

pH采用酸度计测定(土质量与水体积比, $m:v=1:5$ ),电导率采用电导法测定,全氮含量采用半微量凯氏定氮法,有机质含量采用重铬酸钾-硫酸氧化法,速效氮含量采用半微量凯氏定氮法,速效磷含量采用 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaHCO}_3$ 浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NH}_4\text{AC}$ 浸提-火焰光度法测定<sup>[14]</sup>。

## 1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS17.0 软件, 利用 LSD 方法在  $P < 0.05$  水平进行单因素显著性分析, 结果以平均值 $\pm$ 标准误表示, 利用相关性分析, 对各指标进行相关性分析。根据前人研究结果<sup>[15-19]</sup>: 有机质、速效氮、速效磷、速效钾呈“S”型隶属函数, 在实际应用中简化为 $f(x)$ :

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x \geq x_2 \\ \frac{x}{x_2} & x < x_2 \end{cases}$$

pH 呈如下 F(x) 抛物线型隶属函数:

$$F(x) = \begin{cases} 0.9(x-x_3)/(x_4-x_3)+0.1 & x_3 < x \leq x_4 \\ 1.0 & x_2 < x \leq x_3 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 < x \leq x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \text{ or } x > x_4 \end{cases}$$

“S”型物隶属函数的转折点( $x_2$ )分别为 30(有机质)、2.5(全氮)、200(速效氮)、30(速效磷)和 120(速效钾)。隶属函数中, pH 值转折点分别为 4.5( $x_1$ )、6.5( $x_2$ )、7.5( $x_3$ )和 8.0( $x_4$ )。所有隶属函数中,  $x$  为某项指标实测值, 据此计算出各评价指标的隶属度值, 采用因子分析法确定指标权重, 即将参评指标进行

因子分析得出各评价指标的公因子方差, 计算各指标公因子方差占公因子方差总和的比例即为各评价指标的权重。

根据加乘法, 对各评价指标的权重和隶属度值采用乘法进行合成, 计算综合土壤肥力指数(soil fertility index, SFI)<sup>[20]</sup>, SFI 取值为 0~1 之间, 其值越高, 表明土壤肥力越好。计算公式如下:

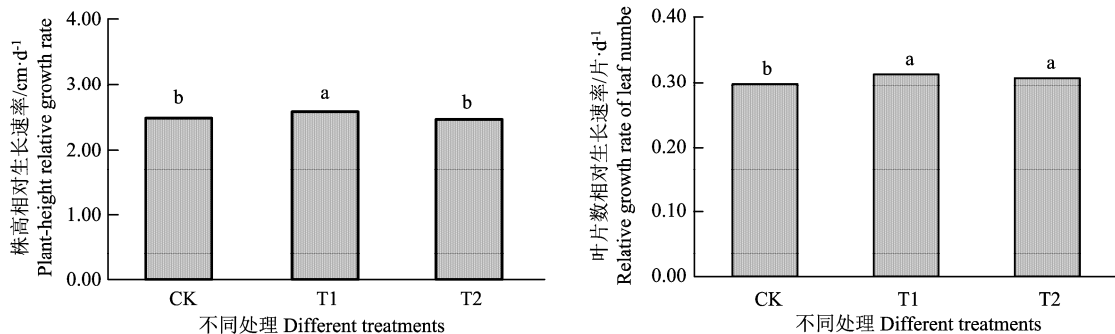
$$SFI = \sum_{i=1}^n W_i P_i$$

式中:  $W_i$  和  $P_i$  分别为第  $i$  项评价指标权重和隶属度值;  $n$  为评价指标个数。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对设施番茄植株生长的影响

由图 1 可以看出, 与相对传统施肥 CK 和添加蚯蚓液体肥的 T2 处理相比, 添加微生物菌肥的 T1 处理株高相对生长速率分别增加了 3.77% 和 4.46% ( $P < 0.05$ ), 且 T2 与 CK 间无显著差异; 与传统施肥 CK 相比, 添加微生物菌肥和蚯蚓液体肥的 T1、T2 处理的叶片数相对生长速率分别增加了 5.14% 和 3.12% ( $P < 0.05$ )。



不同的小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同

Different small letters represent significant difference at the 0.05 level. The same below

图 1 不同处理对植株长势的影响

Figure 1 Effects of different treatments on the plant growth

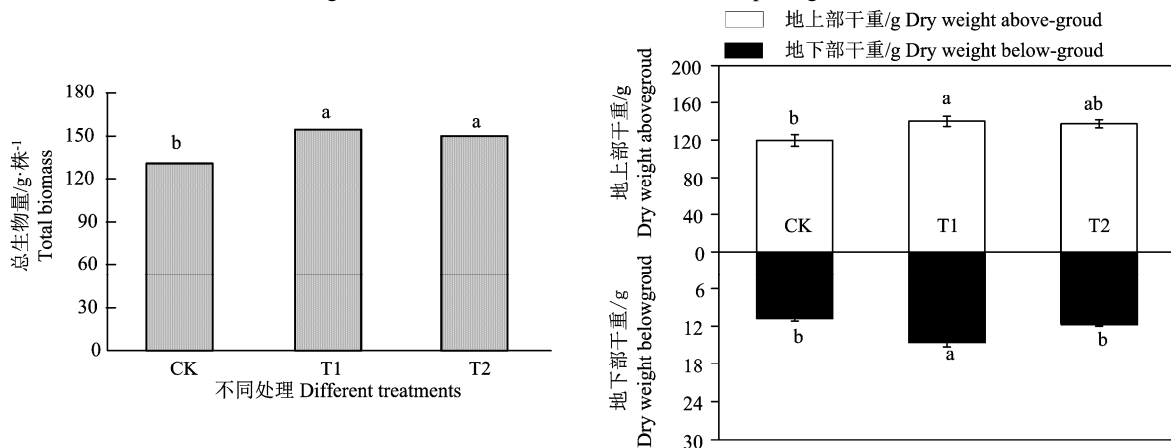


图 2 不同处理对植株生物量的影响

Figure 2 Effects of different treatments on the plant biomass

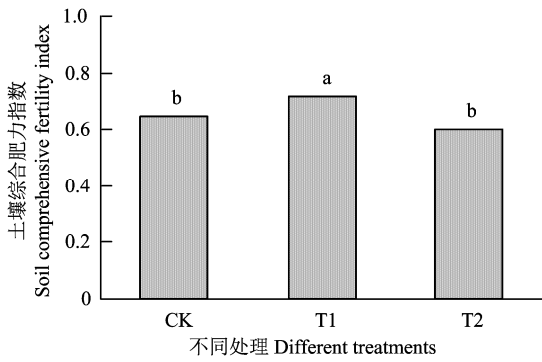


图 3 不同处理土壤综合肥力指数  
Figure 3 Soil comprehensive fertility index under different treatments

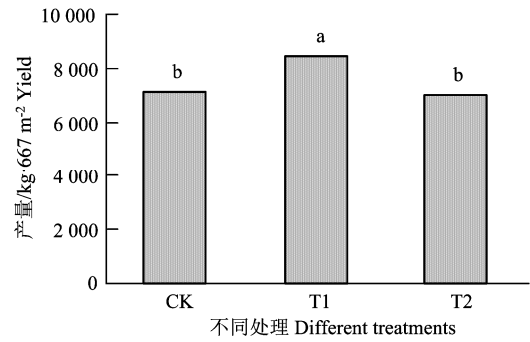


图 4 不同处理果实产量  
Figure 4 Fruit yields under different treatments

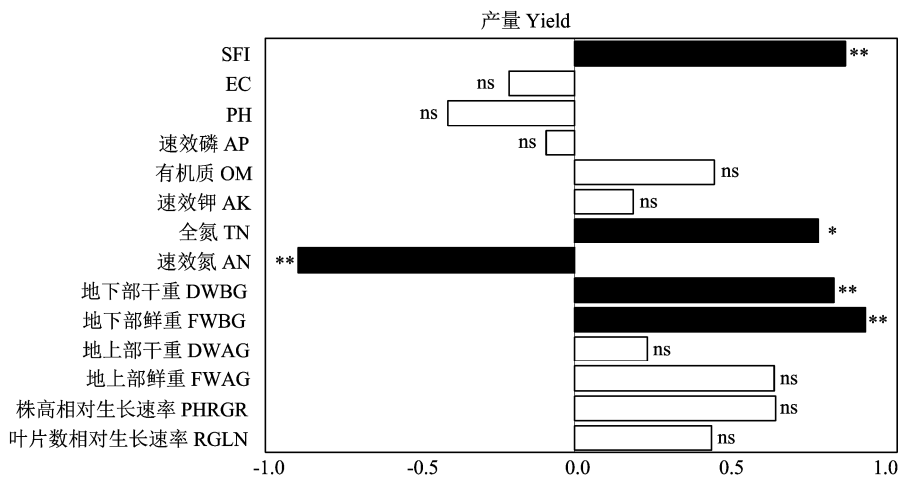
表 1 不同处理对土壤养分含量的影响

Table 1 Effects of different treatments on soil nutrient contents

	有机质 /g·kg <sup>-1</sup> Organic matter	全氮 /g·kg <sup>-1</sup> Total N	速效氮 /mg·kg <sup>-1</sup> Available N	速效钾 /mg·kg <sup>-1</sup> Available K	速效磷 /mg·kg <sup>-1</sup> Available P	pH	EC /ms·cm <sup>-1</sup>	碳氮比 C/N
CK	20.50 ± 1.16 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.06 <sup>b</sup>	17.27 ± 0.92 <sup>a</sup>	451.17 ± 16.77 <sup>b</sup>	31.97 ± 1.67 <sup>a</sup>	7.74 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.02 <sup>b</sup>	22.79 ± 2.45 <sup>a</sup>
T1	25.10 ± 1.37 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.02 <sup>a</sup>	10.74 ± 0.91 <sup>a</sup>	567.45 ± 39.67 <sup>a</sup>	28.68 ± 1.86 <sup>a</sup>	7.50 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.11 <sup>b</sup>	20.28 ± 0.70 <sup>a</sup>
T2	24.13 ± 1.30 <sup>ab</sup>	0.59 ± 0.01 <sup>ab</sup>	16.29 ± 4.54 <sup>a</sup>	604.67 ± 6.15 <sup>a</sup>	27.57 ± 0.76 <sup>a</sup>	7.53 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.93 ± 0.04 <sup>a</sup>	23.92 ± 1.70 <sup>a</sup>

注：表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)

Note: Different letters in the same column indicate significant difference (P<0.05)



AP, Available P; OM, Organic matter; AK, Available K; TN, Total N; AN, Available N; DWBG, Dry weight belowground; FWBG, Fresh weight belowground; DWAG, Dry weight aboveground; FWAG, Fresh weight aboveground; PHRGR, Plant-height relative growth rate; RGLN, Relative growth rate of leaf number

图中“ns”表示无显著相关，“\*”，在 0.05 水平上相关，“\*\*”，在 0.01 水平上相关

“ns” indicates non-significant relevant; “\*” indicates significant relevant at the 0.05 level; “\*\*” indicates significant relevant at the 0.01 level

图 5 产量与各指标之间相关性分析

Figure 5 Correlation analysis between yield and various indicators

2.2 不同处理对设施番茄植株生物量的影响

由图 2 可以看出，相对传统施肥 CK，添加微生物菌肥的 T1 处理增加地上部和地下部生物量干重，分别提高了 17.06% 和 35.19%，植株总生物量

干重增加了 18.10% (P<0.05)；与 CK 相比，微生物菌肥+蚯蚓液体肥的 T2 处理提高了植株总生物量，为 14.65% (P<0.05)；T1 地下部生物量干重显著高于 T2，但地上部生物量干重与总生物量干重

间无显著差异。

### 2.3 不同处理对设施番茄土壤养分的影响

由表 1 可以看出, 相对 CK, 添加微生物菌肥和蚯蚓液体肥的 T1、T2 处理显著增加了土壤速效钾含量, 分别提高了 25.77% 和 34.02%, 显著降低土壤 pH, 下降率为 3.02% 和 2.63% ( $P < 0.05$ ); 相对 CK, 仅添加微生物菌肥 T1 处理显著增加了土壤有机质、全氮含量, 分别提高了 37.57% 和 22.44% ( $P < 0.05$ ); 与 CK 相比, 微生物菌肥+蚯蚓液体肥 T2 处理显著增加土壤 EC 值, 增加了 113.92% ( $P < 0.05$ ); T2 的 EC 显著高于 T1, 但其他土壤养分间无显著差异。

### 2.4 不同处理对设施番茄肥力指标和产量的影响

由图 3 看出, 添加微生物菌肥的 T1 处理的综合肥力指数 SFI 显著高于传统施肥的 CK 和添加蚯蚓液体肥的 T2 处理, 分别提高了 11.21% 和 19.03% ( $P < 0.05$ )。与 CK 和 T2 处理相比, 仅添加微生物菌肥的 T1 处理的果实产量分别提高了 8.37% 和 19.90% ( $P < 0.05$ ), CK 与 T2 处理综合肥力和产量均无显著差异 (图 4)。

### 2.5 SFI 和产量与各指标之间相关性分析

通过 (图 5) 相关性分析可以看出, SFI、有机质、速效钾、全氮、地下部干重、地下部鲜重、地上部干重、地上部鲜重、株高相对生长速率、叶片数相对生长速率对产量呈正贡献, EC、pH、速效磷、速效氮对产量呈负贡献, 其中产量与综合肥力指数、地下部鲜重和地下部干重呈极显著正相关, 与全氮呈显著性正相关, 与速效氮呈极显著负相关, 与其他指标之间显著性不明显。

## 3 讨论与结论

本试验研究表明, 相对传统施肥 CK, 添加微生物菌肥的 T1 处理显著增加了株高和叶片相对生长速率, 地上地下生物量、总生物量、产量、土壤有机质、全氮以及速效钾的含量, 同时降低了土壤 pH 值, 且土壤肥力指数为  $T1 > CK > T2$ ; T1 处理土壤肥料指数 SFI 显著高于传统施肥 CK 和添加蚯蚓液体肥的 T2 处理, 表明添加微生物菌肥可显著增加土壤肥力。大量研究表明添加微生物菌肥能够提高产量, 促进生长<sup>[20-23]</sup>, 因为微生物菌肥中含有大量的有益微生物, 微生物在土壤中大量繁殖产生的糖类物质与植物粘液及矿物胚体等结合在一起, 能够改善土壤团粒结构, 并分解有机物质和矿物质, 释放出营养元素, 同时形成腐殖质, 能够提高土壤肥力, 促进了根系向上的水分和养分运输, 形成一个良好的系统, 从而促进地上和地下部的生长, 提

高产量<sup>[24-26]</sup>。

本试验结果还表明, 相对传统施肥 CK, 添加蚯蚓液体肥 T2 处理能显著增加叶片数相对生长速率、植株总生物量、土壤速效钾的含量、EC 值, 同时降低了土壤 pH 值。贾云等<sup>[10]</sup>研究表明蚯蚓液体肥的施用对改良土壤及促进作物生长有一定的作用, 这与本研究的部分结果一致; 范媛媛<sup>[11]</sup>和张燕<sup>[13]</sup>等发现添加蚯蚓液体肥对促进作物生长、提高产量均有一定效果, 但本试验研究发现添加蚯蚓液体肥后, 对植株长势和产量并无明显的增加效果, 肥力指数也并未提高, 可能是因为微生物菌肥中含有的枯草芽孢杆菌等菌株与蚯蚓液体肥中的某些细菌素、抗生素、某些抗菌蛋白等发生了拮抗反应<sup>[27-28]</sup>, 具体原因还需进一步探索。

通过产量和各因子之间相关性分析可以看出, SFI、有机质、速效钾、全氮、地下部干重、地上部干重、株高和叶片相对生长速率对产量呈正贡献, 其中产量与综合肥力指数和地下部干鲜重呈极显著相关, 与全氮呈显著性相关, 说明土壤肥力、地下生物量和全氮是影响产量的重要指标。大量研究也表明, 土壤肥力、地下生物量和全氮是影响作物产量的重要指标<sup>[25]</sup>, 这与本试验研究结果一致。本试验中, EC、pH、速效磷和速效氮对产量呈负贡献, 表明 EC 和 pH 过高, 土壤中氮素和磷素累积, 影响了植株吸收养分和生长, 降低了产量。总之, 相对 CK, 微生物有机固体肥+微生物菌剂灌根+蚯蚓液体追肥的 T2 处理显著促进植株总生物量和地上生物量的增加, 并促进土壤速效钾含量的增加。微生物有机固体肥+微生物菌剂灌根对促进番茄植株生长和增加土壤肥力效果最佳, 同时 T1 处理相对 CK 施肥成本每亩增加了 288 元, 产量提高了 18.37%, 适用于生产实践。

## 参考文献:

- [1] 张停林, 杨军峰, 沈惠琴, 等. 保护地蔬菜作物连作障碍产生原因及防治方法[J]. 上海蔬菜, 2015 (1): 60-61.
- [2] 吕卫光, 余廷园, 诸海涛, 等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 119-121.
- [3] ZEFACIUK B J. Relations between soil structure, number of selected groups of soil microorganisms, organic matter content and cultivation system[J]. Int Agrophys, 1996, 10(1): 31-35.
- [4] 范正义, 王国平, 韩迎春, 等. 复合微生物菌肥在棉花上的应用效果[J]. 中国棉花, 2013, 40(12): 33-35.
- [5] 占新华, 蒋延惠, 徐阳春, 等. 微生物制剂促进植物生长机理的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2):

- 2-10.
- [6] 钱咏梅, 王洪泉. “丰禾”复合生物菌肥在意大利生菜上的试验研究[J]. 中国园艺文摘, 2012, 28(4): 22-24.
- [7] 吕爱英, 王永歧, 沈阿林, 等. 6种微生物肥料在不同作物上的应用效果[J]. 河南农业科学, 2004(4): 49-51.
- [8] 严建辉. 施用复合微生物菌剂对几种农作物产量品质及土壤养分状况的影响[J]. 农学学报, 2018, 8(12): 35-39.
- [9] 黄燕, 汪春, 衣淑娟. 液体肥料的应用现状与发展前景[J]. 农机化研究, 2006, 28(2): 198-200.
- [10] 贾云, 雍艳霞, 曹云娥. 蚯蚓堆肥和蚯蚓液体肥对设施葡萄生长及土壤特性的影响[J]. 中国南方果树, 2017, 46(5): 1-8.
- [11] 范媛媛, 何芳芳, 张燕. 蚯蚓发酵液体肥对小麦生长及病害预防效果的影响[J]. 农业科学研究, 2018, 39(3): 5-9.
- [12] 郭新送, 丁方军, 陈士更, 等. 控释尿素配施微生物菌剂的氮肥利用率及土壤酶活性研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 277-282.
- [13] 张燕, 尹翠, 曹云娥. 蚯蚓发酵液对果蔬品质的影响[J]. 作物杂志, 2018(1): 102-106.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 郑粉莉, 张锋, 王彬. 近100年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6044-6051.
- [16] 于寒青, 徐明岗, 吕家珑, 等. 长期施肥下红壤地区土壤熟化肥力评价[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1772-1778.
- [17] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区侵蚀土壤质量评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 285-293.
- [18] 王效举, 龚子同. 红壤丘陵小区域水平上不同时段土壤质量变化的评价和分析[J]. 地理科学, 1997, 17(2): 46-54.
- [19] 包耀贤, 黄庆海, 徐明岗, 等. 长期不同施肥下红壤性水稻土综合肥力评价及其效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 74-81.
- [20] 李欢, 向丹, 李晓林, 等. 蚯蚓粪和生物有机肥对土壤养分及夏玉米产量的调控作用[J]. 土壤通报, 2011, 42(5): 1179-1183.
- [21] 张宁. 蚯蚓堆肥对西瓜和番茄生长、品质及产量的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [22] 周倩倩. 沼液及两种微生物肥料对枸杞生长、品质及产量的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [23] 刘秋梅, 陈兴, 孟晓慧, 等. 新型木霉氨基酸有机肥研制及其对番茄的促生效果[J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3314-3322.
- [24] 葛诚. 我国微生物肥料发展的新趋势[A]//中国腐植酸工业协会. 第二届全国绿色环保肥料新技术新产品交流会会议交流文集. 中国腐植酸工业协会: 中国腐植酸工业协会, 2002.
- [25] 陈轩敬, 赵亚南, 柴冠群, 等. 长期不同施肥下紫色土综合肥力演变及作物产量响应[J]. 农业工程学报, 2016, 32(S1): 139-144.
- [26] 朱艳, 蔡焕杰, 侯会静, 等. 加气灌溉对番茄根区土壤环境和产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(5): 157-162.
- [27] JOHNSON F H, CAMPBELL D H. The retardation of protein denaturation by hydrostatic pressure[J]. J Cell Comp Physiol, 1945, 26(1): 43-46.
- [28] 王豹祥, 李富欣, 张朝辉, 等. 应用PGPR菌肥减少烤烟生产化肥的施用量[J]. 土壤学报, 2011, 48(4): 813-822.