

# 有机肥配施对番茄土传病害的防治及土壤微生物多样性的调控

李胜华, 谷丽萍, 刘可星, 廖宗文\*

(华南农业大学新肥料资源研究中心, 广东广州 510642)

**摘要:** 在田间试验条件下, 采用施用基肥和追肥的方法, 结合 Biolog 技术, 分析了不同有机肥配合施用对番茄土传病害的防治效果及对土壤微生物群落多样性的影响, 并探讨了有机肥防治作物土传病害的机理及意义。结果显示, 有机肥的施用对大田番茄青枯病、枯萎病、茎基腐病等 3 种土传病害均有显著的防治效果, 粉状有机肥和液体有机肥配合施用防病效果最显著; 有机肥的施用还改善了土壤微生物群落结构。土壤微生物群落的 AWCD 和 Shannon index 与作物发病情况有较好的一致性, 显示施肥提高土壤微生物多样性, 对土传病害的防治有重要的影响。

**关键词:** 有机肥; 配施; 土传病害; 微生物多样性调控

中图分类号: S43641; S154.36

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)04-0965-05

## Effects of combined application of organic fertilizers on the control of soilborne diseases and the regulation of soil microbial diversity

LI Sheng-hua, GU Li-ping, LIU Ke-xing, LIAO Zong-wen\*

(New Fertilizer Resource Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

**Abstract:** The experiment was carried out to study the effects of combined application of organic fertilizers on the control of soilborne diseases and the regulation of soil microbial diversity in a tomato field by using the method of Biolog. The mechanism of soilborne disease control and its significance were also discussed. The results show that the combined application of organic fertilizers could control three kinds of the soilborne diseases, such as tomato bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*), *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum* f. *lycopersici*), and basal stem rot wilt (*Rhizoctonia solani*). The effect of combined application of the powdery organic fertilizer as base fertilizer and top-dressing liquid organic fertilizer at two times on control soilborne diseases is the best. The soil microbial community structure is improved with the application of organic manures. AWCD and Shannon index of soil microbial communities are greatly related to the incidence of the diseases. These results indicate that the organic fertilizer application could increase the soil microbial diversity, and has significant importance for controlling the soilborne diseases.

**Key words:** organic fertilizer; combined application; soil-borne diseases; regulation of soil microbial diversity

土传病害是制约大田作物产量和连作的重要障碍因子, 其发生与土壤环境及施肥密切相关<sup>[1]</sup>。传统的生物防治是将拮抗菌导入土壤中, 但难以在大田推广应用。由青枯假单胞杆菌侵染引起的青枯病 (*Ralstonia solanacearum*) 是番茄生长过程中最常见

的土传病害, 国内外对其防治进行了大量的研究<sup>[2-11]</sup>, 但至今仍未找到行之有效的防治措施。由番茄尖镰孢侵染引起的枯萎病 (*Fusarium oxysporum* f. *lycopersici*) 和由立枯丝核菌侵染引起的茎基腐病 (*Rhizoctonia solani*) 也是番茄生长中常见的土传病

收稿日期: 2008-07-21

接受日期: 2008-10-23

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD10B03); 农业部“948”项目(2006-G62); 公益性行业(农业)科研专项(200803031); 广州市科技项目(2007Z2-E0051)资助。

作者简介: 李胜华(1982—), 男, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 主要从事施肥防病方面的研究。E-mail: lishenghua8283@126.com

\* 通讯作者 E-mail: zwliao@vip.sohu.com

害。在大田中同时研究上述三种土传病害方面的研究,国内外鲜见报道。本研究中心曾在盆栽上开展了施用有机肥防治番茄青枯病的研究,结果表明,施用有机肥对番茄青枯病具有明显的防治效果;土壤微生物群落功能多样性与土壤肥力、土传病害密切相关,番茄生长的前期是施用有机肥进行生态调控的关键时期<sup>[4-7]</sup>。

本试验循土传病害“无药可治、施肥可防”的生态调控思路,采用单施液体有机肥以及粉状有机肥和液体有机肥配合施用的施肥方式,并应用 Biolog 技术,分析大田实际条件下有机肥对土壤微生物群落结构的影响和防治番茄土传病害的效果。

表 1 供试有机肥基本性质

Table 1 Characteristics of the organic fertilizers used in the experiment

有机肥 Organic fertilizers	有机质 OM	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	细菌	真菌	放线菌
					Bacteria	Fungi	Actinomycetes
					( × 10 <sup>7</sup> cfu/g)		( × 10 <sup>8</sup> cfu/g)
液体有机肥 Liquid organic fert.	237.91	61.14	12.92	58.73	1.6	26.0	6.0
粉状有机肥 Powdery organic fert.	339.43	13.54	26.52	5.21	0.48	0.15	2.0

## 1.2 试验设计

设 3 个处理, T1 番茄移栽前 7 d 施用液体有机肥做基肥, 移栽后 10 和 25 d 两次追施液体有机肥; T2 番茄移栽前 7 d 施用粉状有机肥做基肥, 追肥措施与 T1 一致; CK 番茄移栽前 7 d 施基肥, 移栽后 10 和 25 d 两次追肥, 均施用无机复合肥 (N-P-K 为 15-15-15)。8 月 1 日育苗, 9 月 16 日移栽。每个处理设 3 次重复, 共 9 个小区, 随机区组排列。每小区面积 5 m × 1.2 m, 植番茄苗 24 株。每次施肥各小区氮施用量相等, 不足部分用无机复合肥补足, 其他田间管理措施一致。分别在番茄移栽后 10、25 和 40 d 采取土样。按小区用取样器取根周围 5—10 cm、深 3—20 cm 的土壤, 每小区取 10 株, 每株 1 个点, 土样按小区混匀后装袋标号, 鲜土进行 Biolog 测定。

## 1.3 发病情况及症状

番茄移栽开始, 每 2~3 d 进行一次田间番茄发病的调查和统计, 及时记录新发病及发病程度。番茄发病的病级共分 5 级: 1 级为叶面无症状; 2 级为植株上 1/4 以下的叶面表现萎蔫症状; 3 级为植株上 1/4~1/2 叶面表现萎蔫症状; 4 级为植株上 1/2~3/4 叶面表现萎蔫症状; 5 级为 3/4 以上叶面萎蔫死亡。各级代表值分别为 0~4。

发病指数 (%) =  $\frac{\sum (\text{各级病株数} \times \text{各级代表值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高级代表值}} \times 100$

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于 2007 年 8 月至 12 月在华南农业大学农场进行。供试土壤为赤红壤发育的菜园土, 其基本理化性状为: pH 6.60, 有机质含量 17.13 g/kg, 全氮 0.70 g/kg, 碱解氮 100.1 mg/kg, 有效磷 102.2 mg/kg, 速效钾 71.5 mg/kg。

供试有机肥的原材料均为固体废弃物, 液体有机肥为厌氧发酵制取; 粉状有机肥为堆沤制成。其基本性状见表 1。供试番茄品种为宝石 2 号, Biolog ECO 板为美国 BIOLOG 公司生产。

茎基腐病症状: 茎基部皮层变褐、腐烂, 叶片萎蔫, 变黄, 最后整株枯死。青枯病症状: 病株叶片色泽变淡, 叶子卷曲, 从顶端向下萎蔫, 一般发病 3~7d 后全株病死。病茎下部皮层长出长短不一的疣状突起, 维管束变褐色, 挤压有乳白色黏液溢出。枯萎病症状: 病株叶片自下向上变黄、变褐枯死, 且残留在茎上不脱落。病茎维管束变褐色, 但挤压时没有乳白色黏液溢出。

Biolog 测定参照杨永华等<sup>[12]</sup>的方法进行, 其结果采用 Excel 和 SAS 9.0 软件进行方差分析和差异性统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥措施对 3 种土传病害的防治效果

供试地常年种植叶菜类和瓜果类蔬菜, 导致土传病害发生频率高, 且发病多。本试验中, 番茄移栽 10 d 后各处理开始发病。整个试验过程中, 番茄共发生茎基腐病、青枯病和枯萎病等三种土传病害, 且分为 3 个发病阶段。9 月 27 日到 10 月 1 日主要为茎基腐病, 10 月 1 日开始主要为青枯病, 11 月 3 日出现枯萎病。不同施肥处理看出, T1 发病持续约半个月, 至移栽后 25 d 时再无新发病株出现; T2 发病持续约 10 d, 至移栽后 20 d 时无新病株出现; CK 发

病持续时间较长,将近 40 d,至移栽后 38 d 时无新病株出现。

从番茄青枯病的发生情况(图 1)可知,施用有机肥的 T1 和 T2,番茄青枯病的发生明显低于施用无机复合肥的 CK,且均比 CK 提前控制病情的蔓延,病情指数亦均低于 CK。粉状有机肥作基肥的 T2 发病最少,番茄平均发病率分别为 CK 的 35.8% 和 T1 的 58.2%,且分别比 CK 和 T1 提前 13 和 7d 控制住病情,病情指数也最低。液体有机肥做基肥的 T1 发病率为 CK 的 61.5%,且比 CK 提前 6 d 控制住病情的扩散,病情指数亦明显低于 CK。有机肥的不同配施方式,明显地降低了番茄青枯病的发生率和病情指数,较早地控制了青枯病的发生和蔓延。图 1 还看出,移栽后 15~25 d 的生长前期是番茄青枯病发生的高峰期,因此生长前期是防治番茄土传病害的关键时期,这与谭兆赞等<sup>[6]</sup>的结论一致。

茎基腐病发生在青枯病之前,即番茄移栽后 10~15 d。T1 和 T2 处理均明显降低了番茄茎基腐病的发生及其病情指数,其中粉状有机肥和液体有机

肥配合施用的 T2 对茎基腐病的防治效果和病情指数均明显优于只施用液体有机肥的 T1。番茄生长后期(移栽 47 d 时),CK 发生枯萎病,而 T1 和 T2 未发生此病害(表 2)。

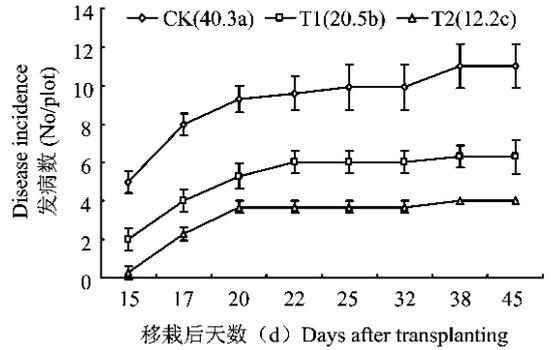


图 1 大田番茄青枯病发病动态情况及病情指数  
Fig.1 The occurrence and disease index of tomato bacterial wilt in the field experiment

(括号内数字为青枯病病情指数 Disease index in the brackets)

表 2 大田番茄茎基腐病和枯萎病发病情况及病情指数

Table 2 The occurrence and disease index of tomato basal stem rot and the *Fusarium* wilt in the field experiment

处理 Treatment	茎基腐病 Basal stem rot wilt			枯萎病 <i>Fusarium</i> wilt		
	发病总数( No. ) Total incidental	发病率( % ) Morbidity	病情指数( % ) Disease index	发病总数( No. ) Total incidental	发病率( % ) Morbidity	病情指数( % ) Disease index
CK	19	26.4 a	25.0 a	3	4.2 a	3.8 a
T1	11	15.3 b	13.5 b	0	0 b	0.0 b
T2	3	4.2 c	3.5 c	0	0 b	0.0 b

注( Note ):同一列数据后不同字母表示处理之间差异达 5% 显著水平,下同 Values followed by different letters in the same column means significant at 5% level. The same below.

## 2.2 不同施肥措施对土壤微生物群落多样性的影响

平均每孔颜色变化率(AWCD 值)可反映土壤微生物对 BIOLOG ECO 微平板中单一碳源的总体利用能力,因而可以反映土壤微生物多样性。表 3 显示,第一次取样时,T1 和 T2 的 AWCD 值均显著高于 CK,但二者间无显著差异。后两次取样,T2 和 CK 的 AWCD 值均呈上升趋势,而 T1 则呈下降趋势。T1 单施液体有机肥,显示出前期 AWCD 值迅速升高而中后期下降快,甚至低于 CK 的特点,这与液体肥本身性质和田间水分两方面情况均有关。液体肥料易溶于水,起效快,但持续性不及粉状肥,加上菜地前期降雨多,易淋失。菜地平时经常淋水,这样更易加剧淋失,所以中后期的 AWCD 值甚至低于 CK。T2

表 3 番茄生长过程中土壤微生物的 AWCD 值变化  
Table 3 AWCD variation of soil microbial community in the different treatments during tomato growth

处理 Treat.	移栽后天数 Days after transplanting( d )		
	10	25	40
CK	1.187 ± 0.092 b	1.296 ± 0.198 b	1.434 ± 0.068 a
T1	1.386 ± 0.105 a	1.211 ± 0.150 b	1.349 ± 0.001 b
T2	1.360 ± 0.062 a	1.463 ± 0.191 a	1.469 ± 0.015 a

的 AWCD 值一直维持最高,且 3 种病害的发生均最轻,显示粉状有机肥有较稳而长的提升 AWCD 的效果。结合发病情况分析,AWCD 低者发病就重,反之则发病轻,说明 AWCD 值能反映有机肥的防病效果。T1 的 AWCD 值在后期与 CK 相当甚至更低,但 T1 的防病效果明显优于 CK,这可能是由于基肥施用液体

有机肥后,液体肥与土壤微生物的作用快,因而能发挥其提升 AWCD 值进而防病的功能;但因易于淋失而不能持久,导致中后期的 AWCD 值反而低于 CK。

Shannon 指数主要反映群落物种丰富度, Simpson 指数较多反映了群落中最常见的物种, McIntosh 指数则是群落物种均匀性的度量<sup>[13]</sup>。本试验选用这 3 种多样性指数,从不同侧面反映有机肥不同配施方式下土壤微生物群落功能多样性的变化。计算结果见表 4。

表 4 看出, T1 和 T2 处理的 Shannon 指数均高于 CK, 且后两次取样时各处理的 Shannon 指数均较移栽后 10 d 时有所提高。T2 处理的值始终显著高于 CK, 其变化规律基本与 AWCD 变化情况一致。T1 处理的 Shannon index 一直高于 CK, 而 T1 的 AWCD 仅在第一次取样时高于 CK。与发病情况结合分析, Shannon 指数显示出与番茄土传病害发生有较一致的相关关系, 且在表征土壤防病能力方面更优于 AWCD 值。而 3 次取样的 McIntosh 指数和 Simpson 指数, 与作物防病关系均没有明显的规律。因此, 3 种多样性指数中, Shannon 指数与防治作物土传病害有较好的相关性, 可以将其应用于“施肥防病”的表征, 是一个重要的表征与土壤防病能力有密切关系的土壤性质参数。这与孔维楦<sup>[5]</sup>、谭兆赞<sup>[6]</sup>等的结论一致, 但他们的研究是在盆栽条件下对青枯病的防治研究, 而本试验是在出现 3 种土传病害的大田条件下进行的, 其结果对大田条件下的多种病害并存的情况更具参考价值。

表 4 番茄生长过程中土壤微生物群落功能多样性的变化

Table 4 Variation of functional diversity of soil microbial community in the different treatments during tomato growth

处理 Treat.	Shannon index	Simpson index	McIntosh index
移栽后 10 天 10 days after transplanting			
CK	2.817 ± 0.047 b	83.043 ± 0.965 a	7.302 ± 0.415 b
T1	3.190 ± 0.005 a	66.571 ± 0.619 b	8.265 ± 0.589 a
T2	3.137 ± 0.024 a	72.610 ± 0.778 b	8.147 ± 0.216 a
移栽后 25 天 25 days after transplanting			
CK	3.221 ± 0.025 b	64.418 ± 0.800 b	8.635 ± 0.080 a
T1	3.234 ± 0.041 b	70.851 ± 0.525 a	6.791 ± 0.169 c
T2	3.302 ± 0.019 a	67.652 ± 0.214 ab	7.440 ± 0.307 b
移栽后 40 天 40 days after transplanting			
CK	3.334 ± 0.063 b	68.867 ± 0.052 b	8.434 ± 0.009 a
T1	3.347 ± 0.001 a	75.169 ± 0.244 a	8.075 ± 0.045 b
T2	3.352 ± 0.011 a	69.401 ± 0.883 b	8.534 ± 0.059 a

### 3 讨论

有机肥的施用,能调整土壤微生物群落结构,提高土壤微生物多样性,从而改善土壤微生态环境,达到“土传病害”无药可治,“施肥可防”的目的<sup>[1,4-6]</sup>。本研究的结果表明,有机肥对大田实际条件下番茄青枯病、茎基腐病和枯萎病等 3 种土传病害的防治效果明显,进一步显示了“生态调控、施肥防病”防病技术途径的可靠性和在接近大田实际、有多种病害并存的条件下施肥防病的可操作性和普遍适应性。

液体肥和粉状肥的配合施用对防病效果有明显的影响,这与其对 AWCD 和 Shannon 指数调控的快慢与持续性有密切关系。粉状肥养分释放慢,起效慢,对 AWCD 和 Shannon 指数的调控慢,但效果持久;而液体肥养分释放快,起效快,对 AWCD 和 Shannon 指数的调控较快,但由于淋失的影响,效果持续时间短。在大田复杂生态体系中,粉状肥和液体肥配合施用,将慢而持久的粉状肥作基肥,可减少淋失且能持续发挥防病效果;在作物生长的中后期适时补充起效快但难持久的液体肥的不足,实现肥效的缓急相济,使得 AWCD 和 Shannon 指数持续稳定的提升,可最终达到防治作物土传病害发生的目的。因此,粉状有机肥和液体有机肥配合施用对防治作物土传病害的效果值得重视和深入研究。

近年来, Biolog 技术应用于土壤微生物方面的研究越来越多<sup>[6-7,13-15]</sup>,孔维楦<sup>[5]</sup>、谭兆赞<sup>[6]</sup>等在盆栽试验上研究对番茄青枯病的防治效果显示,液体肥的 AWCD 和 Shannon 指数与作物防病有较好的一致性,且二者表征防病的规律基本一致。本试验中施用液体肥时 AWCD 和 Shannon 指数与作物发病亦有一定关系,但又有所不同。在大田条件下,番茄生长前期雨水多,后期雨水少但人为灌水多,加剧了液体有机肥的淋失。因而,本试验中 AWCD 和 Shannon 指数在指示作物防病方面有所差异。未经数学转换的 AWCD 受淋失的影响直接,故仅在第 1 次取样时的值高于 CK,而后两次的值低于 CK。经过数学公式转换的 Shannon 指数,受淋失的影响小,因而表现出与防病效果一致的规律,这对于大田情况下施用液体有机肥来防治土传病害具有指导意义。

本试验还表明,移栽后 15~25 d 的生长前期是番茄土传病害发生的高峰期,也是防病的关键时期。提前施用基肥使有机肥及时起效能有效地减少土传病害的发生。

## 参考文献:

- [1] 蔡燕飞, 廖宗文, 章家恩, 等. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 349-353.  
Cai Y F, Liao Z W, Zhang J E *et al.* Effect of ecological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microbial diversities[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(3): 349-353.
- [2] Minuto A, Spadaro D, Garibaldi A, Gullino M L. Control of soilborne pathogens of tomato using a commercial formulation of *Streptomyces griseoviridis* and solarization[J]. Crop Prot., 2006, 25: 468-475.
- [3] van der Gaag D J, van Noort F R, Stapel-Cuijpers L H M *et al.* The use of green waste compost in peat-based potting mixtures: Fertilization and suppressiveness against soilborne diseases[J]. Sci. Hort., 2007(10): 1-9.
- [4] 孔维栋, 刘可星, 廖宗文. 有机物料种类及腐熟水平对土壤微生物群落的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 487-492.  
Kong W D, Liu K X, Liao Z W. Effects of different organic materials and their composting levels on soil microbial community[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(3): 487-492.
- [5] 孔维栋, 刘可星, 廖宗文, 等. 不同腐熟程度有机物料对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2291-2296.  
Kong W D, Liu K X, Liao Z W *et al.* Effects of organic matters on metabolic functional diversity of soil microbial community under pot incubation condition[J]. Acta Ecol. Sin., 2005, 25(9): 2291-2296.
- [6] 谭兆赞, 刘可星, 廖宗文. 生化腐植酸对土壤微生物多样性及番茄青枯病的影响[J]. 腐植酸, 2005(5): 23-27.  
Tan Z Z, Liu K X, Liao Z W. The effect of BHA on soil microbial diversity and controlling bacterial wilt of tomat[J]. Humic, 2005(5): 23-27.
- [7] 谭兆赞, 林捷, 刘可星, 廖宗文. 复合微生物菌剂对番茄青枯病和土壤微生物多样性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(1): 45-47.  
Tan Z Z, Lin J, Liu K X *et al.* Effects of complex microbial fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microbial diversities[J]. J. South China Agric. Univ., 2007, 28(1): 45-49.
- [8] 随学超, 郭世荣, 卜崇兴, 梁勇. 添加有机缓释肥 SROF 对基质微生物数量和番茄青枯病防效的研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版) 2007, 28(3): 145-149.  
Sui X C, Guo S R, Bu C X *et al.* Effects of adding slow-release organic fertilizer (SROF) to substrates on the microbes and control of tomato bacterial wil[J]. J. Inner Mongolia Agric. Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2007, 28(3): 145-149.
- [9] Larkin R P, Griffin T S. Control of soilborne potato diseases using Brassica green manures[J]. Crop Prot., 2007, 26: 1067-1077.
- [10] Spadaro D, Gullino M L. Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens[J]. Crop Prot., 2005, 24: 601-613.
- [11] Mao W, Lewis J A, Lumsden R D, Hebbar K P. Biocontrol of selected soilborne diseases of tomato and pepper plants[J]. Crop Prot., 1998, 17(6): 535-542.
- [12] 杨永华, 姚健, 华晓梅. 农药污染对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 微生物学杂志, 2000, 20(2): 56-63.  
Yang Y H, Yao J, Hua X M. Effect of pesticide pollution against functional microbial diversity in soil[J]. J. Microbiol., 2000, 20(2): 56-63.
- [13] 席劲瑛, 胡洪营, 钱易. Biolog 方法在环境微生物群落研究中的应用[J]. 微生物学报, 2003, 43(1): 138-141.  
Xi J Y, Hu H Y, Qian Y. Application of Biolog System in the study of microbial community[J]. Acta Microbiol. Sin., 2003, 43(1): 138-141.
- [14] 胡可, 王利宾. BIOLOG 微平板技术在土壤微生态研究中的应用[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 819-821.  
Hu K, Wang L B. Application of BIOLOG Microplate Technique to the study of soil microbial ecology[J]. Chin. J. Soil Sci., 2007, 38(4): 819-821.
- [15] Bissett J, Ann Nolan C. Analysis of phenotype array data from Biolog MicroPlates™[J]. J. Zhejiang Univ. (Agric. & Life Sci.), 2004, 30(4): 456.