

生物有机肥对番茄青枯病的防效及对土壤微生物的影响

袁英英, 李敏清, 胡 伟, 张 静, 赵兰凤, 李华兴*

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘 要:以腐熟有机肥为载体,添加功能复合菌剂制成生物有机肥(BOF),采用盆栽试验方法,研究了该生物有机肥对番茄青枯病的防效和对土壤微生物的影响。结果表明,施用生物有机肥可显著降低青枯病的发生,在对照(CK)防效指定为0时,BOF处理达到69%,比化肥(CF)、有机肥(OF)处理分别提高了21%和14%;在有效养分低于CF处理的情况下,BOF处理的株高、茎粗、干重分别增加了15%、26.1%、23.7%,达到显著水平,表现出显著的促生效果。生物有机肥影响根际土壤中青枯菌和主要微生物菌群数量,施用BOF后,土壤中细菌和放线菌数量增加,而青枯菌数量则明显下降,在前期达到显著水平。番茄移栽后第40d的Biolog分析结果表明,施用BOF可明显提高土壤微生物对碳源尤其是土壤中胺类碳源的利用率。盆栽试验表明生物有机肥能调控土壤微生物群落结构,增强土壤微生物生态系统的稳定性和抑病性,从而提高土壤质量,减少病害的发生。

关键词:生物有机肥;番茄青枯病;防病效果;土壤微生物

中图分类号:S144.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)07-1344-07

Effect of Biological Organic Fertilizer on Tomato Bacterial Wilt and Soil Microorganism

YUAN Ying-ying, LI Min-qing, HU Wei, ZHANG Jing, ZHAO Lan-feng, LI Hua-xing*

(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The biological organic fertilizer(BOF) made by mixing the mature compost with functional bacteria were used to control the tomato bacterial wilt by pot experiment. The results indicated that the occurrence of tomato bacterial wilt was decreased significantly by BOF and the disease-control effect reached 69.0% when the disease-control effect of CK was specified as 0. The disease-control effects of BOF compared to the chemical fertilizer(CF) and organic fertilizer(OF) treatment increased by 21% and 14%, respectively. The height, stem diameter, dry weight of plant of BOF treatment increased respectively by 15%, 26.1% and 23.7% compared to that of CF. BOF promoted the tomato growth significantly in the condition of its effective nutrient lower than that of CF. The numbers of bacteria and actinomycetes in soil were increased by BOF, while the *Pseudomonas solanacearum* in soil was reduced evidently. The Biolog analyses showed that BOF noticeably increases carbon source utility, especially carboxylic carbon source by microbes after tomato planting 40 d. The application of BOF could adjust soil microbial community structure, and sustain a stable soil ecological system for disease suppression. BOF also improved soil quality and reduced the occurrence of soil born disease.

Keywords: biological organic fertilizer; tomato bacterial wilt; disease-control effect; soil microbial

番茄青枯病是由假单胞菌(*Pseudomonas solanacearum*)引起的毁灭性土传病害^[1],在我国南方各省市

均有严重发生。化学农药、抗性育种、农业防治等传统防治方法的效果都不尽理想^[2-3]。生物防治具有无污染、不杀伤天敌、不会(或较少)产生抗药性、有利于人畜安全及环境保护、兼防兼治,且符合发展有机农业的要求,备受人们重视。

生物有机肥集生物肥和有机肥的优点于一体,既有利于增产增收、改善农产品品质,又可培肥土壤、减少无机肥料用量^[4]。以前的研究重点在增产和改土方

收稿日期:2010-11-27

基金项目:广东省教育部产学研结合项目(2009B090300330);广东省科技计划项目(2006B20301050)

作者简介:袁英英(1984—),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为生物有机肥和土壤微生物生态调控。

E-mail:yyjdh8288@163.com

* 通讯作者:李华兴 E-mail:huaxli@scau.edu.cn

面。近年来的研究表明^[5-6],生物有机肥能够调节土壤中微生物区系组成,使其向着健康方向发展,从而在一定程度上减少作物病害的发生。防病作用突破了生物有机肥传统意义上的肥料效果,目前作为一项新功能得到广泛研究和应用^[7-8]。

本研究主要利用本实验室现有拮抗菌,从中选出对番茄青枯病病菌有明显拮抗效果的几株与解磷、解钾营养菌系构建复合菌系。其中选择的生防菌 AF67^[9]不仅可以抑制番茄青枯病原菌,而且对大豆红冠腐病、大豆疫霉根腐病、香蕉枯萎病等病原菌也有明显的抑制效果。构建的几种芽孢细菌可以共存,将复合菌系和腐熟后的有机肥混合制成生物有机肥。通过室内盆栽试验来研究生物有机肥对番茄青枯病的抑制效果,旨在明确添加多功能微生物菌剂的生物有机肥对番茄青枯病的防治作用,并探讨土壤微生物菌群数量、功能多样性的变化对防病的影响,为推广使用生物有机肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试有机肥由本实验室自制,利用鸡粪、稻壳、木屑堆制而成^[10]。其有机碳含量 25%,全氮(N)1.39%,全磷(P_2O_5)1.25%,全钾(K_2O)1.19%,普通细菌总含量为 1.38×10^8 cfu·g⁻¹。生物有机肥以上述腐熟有机肥为载体,经自然风干后加入两种抗病功能芽孢细菌(AF67, AF11)和解磷、解钾芽孢细菌,功能菌总含量为 5.5×10^7 cfu·g⁻¹,其中 AF67 和 AF11 分别为解淀粉芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌,均系本实验室从大豆根腐病发病地健康植株根内分离^[9]。P、K 细菌分别为巨大芽孢杆菌和胶质芽孢杆菌,均购自广东省微生物研究所。供试土壤采自华南农业大学农场,为茄科作物(番茄-辣椒)连作地土壤。青枯病原菌(*Pseudomonas solanacearum*),由本实验室分离保藏。番茄品种为夏钻石二号,属于青枯病易感品种,由华南农业大学园艺学院选育。

1.2 试验设计

采用番茄盆栽试验方法,设置 4 个处理: T1(CK)对照,无肥; T2(CF)化肥; T3(OF)60%有机肥+40%化肥; T4(BOF)60%生物有机肥+40%化肥。施肥处理按 0.20 gN·kg⁻¹ 土施入,其他肥料用量按照与 T3 中相等养分含量计算,除 CK 外,所有处理氮、磷、钾的施入总量相等。肥料分 3 次施入,其中基肥 60%(生物有机肥和有机肥全做基肥 1 次施入),基肥施入 4 d 后开始移栽,之后每隔 20 d 追 1 次化肥,每次尿素 0.08

g·kg⁻¹ 土,过磷酸钙 0.19 g·kg⁻¹ 土和硫酸钾 0.07 g·kg⁻¹ 土,共追两次,每次各占 20%。60 d 后收获。每盆种植 1 株番茄,每个处理 12 盆,每 4 盆为 1 个重复,随机排列。

1.3 试验方法

番茄播种前先用 55℃ 温水浸种 15 min,然后用无菌水反复冲洗,在常温下用清水浸泡 4 h^[11]。在培养箱中催芽后播种在育苗盘中(基质由草炭、细沙、珍珠岩按 7:3:2 比例混合而成),25 d 后移苗。移苗 10 d 后接种青枯病原菌,随水浇于根围,接种量 2.0×10^6 cfu·g⁻¹ 土。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 病情调查

番茄青枯病按发病严重程度分为 5 级^[12]。0 级为叶面无症状;1 级为植株 1/4 以下的叶面表现为萎蔫症状;2 级为植株上 1/4~1/2 叶面表现为萎蔫症状;3 级为植株 1/2 以上叶面表现萎蔫症状;4 级为全株萎蔫死亡。

病情指数=[(病级株数×代表数值)/(株数总和×发病最重级的代表数值)]×100

番茄苗发病后,每 5 d 调查记录 1 次。

1.4.2 生物量的调查

收获期分别测定株高、茎粗、鲜重、干重。株高以从根部到生长点为基准,用卷尺测量;茎粗以第 1 片真叶下部节间为准,用千分尺测量;鲜重、干重(105℃,杀青 30 min;70℃,烘干至恒重)用百分之一天平称重^[13]。

1.4.3 土壤微生物数量测定

采用稀释涂平板法测定土壤中细菌、真菌、放线菌、青枯菌数量。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌采用高氏一号培养基,真菌采用孟加拉红培养基,青枯菌采用 TTC 培养基^[14]。番茄苗移栽时(0 d)取土样 1 次;生长期每隔 20 d 取土样 1 次,共取 4 次。

1.4.4 土壤微生物多样性分析

采用 Biolog ECO 板研究不同肥料处理对土壤生物多样性的影响。在移苗 40 d 后(各处理间发病情况差异明显期)取土样分析,具体方法参照文献[15]。

1.4.5 统计方法

用 SPASS 16.0 软件对数据进行处理,用 Duncan 方法对数据进行差异显著性分析;用 Excel 2007 制作图标。

2 结果与分析

2.1 生物有机肥对番茄青枯病病情指数的影响

在接入青枯菌后第 10 d(移栽的第 20 d),CK 最

先开始发病,其次是化肥处理。在移栽 27 d 后生物有机肥处理最后开始发病,比 CK 推迟 1 周发病。从图 1 可以看出,在整个盆栽时期,CK 病情指数一直保持最高,各肥料处理病情指数都低于 CK,说明施肥对番茄青枯病防治具有一定效果。随着番茄生长,各处理病情指数都在上升,60 d 调查时,CK 病情指数达到 60.42,防效指定为 0;CF 和 OF 病情指数相近,分别达到 31.25、27.08,防效分别为 48%、55%;生物有机肥处理防效达到 69%。

2.2 生物有机肥对番茄生物量的影响

从表 1 可以看出,在第 60 d 统计时,BOF 的株高、茎粗、鲜重、干重均高于其他处理。在有效养分低于 CF 处理的情况下,BOF 的株高、茎粗、干重比 CF 分别提高了 15%、26.1%、23.7%,达到显著差异水平,表现出显著促生效果。BOF 和 OF 的有效养分虽然相同,但 BOF 处理的番茄株高、茎粗、鲜重、干重均高于 OF 处理,株高和干重达到显著差异水平,这说明生物有机肥中添加的功能微生物对促进番茄生长起到了较重要的作用。

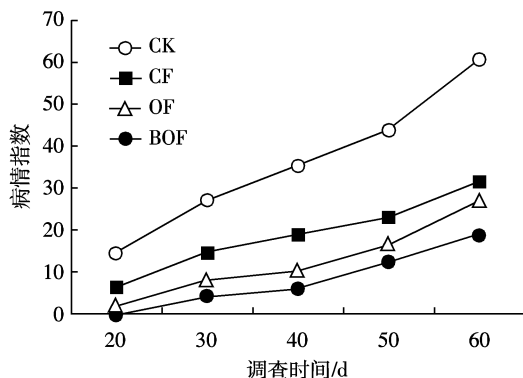
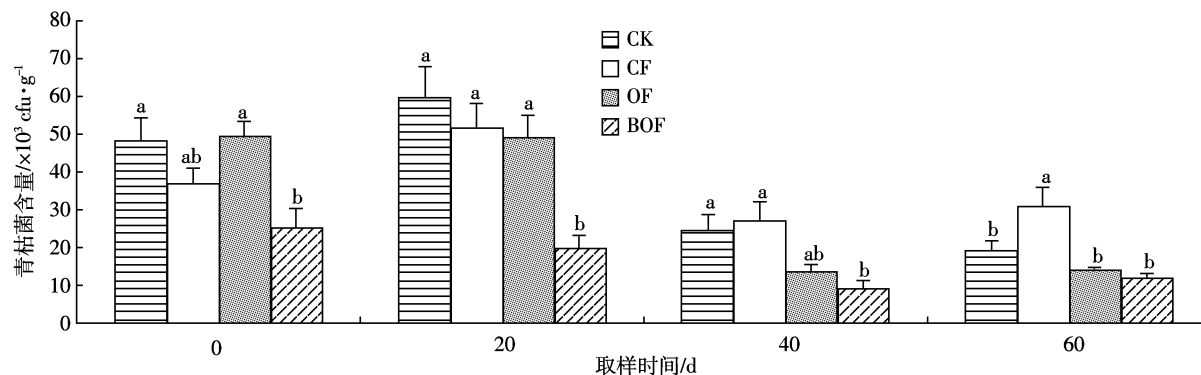


图 1 不同肥料处理对番茄青枯病病情指数、防病效果(移栽 60 d)的影响

Figure 1 Effect of the different fertilizer treatments on tomato bacterial wilt disease index and disease-control effect (after planting 60 d)



图中数值为 3 次重复的平均值,具有相同字母的数据表示相同时间内处理间无显著差异($P>0.05$)。下同。

图 2 不同肥料处理对土壤中青枯菌含量的影响

Figure 2 Effect of the different fertilizer treatments on the amount of *Pseudomonas solanacearum* in the soil

表 1 不同肥料处理对番茄生物量的影响

Table 1 Effect of the different fertilizer treatments on

tomato biomass				
处理	株高/cm	茎粗/cm	鲜重/g	干重/g
CK	81.86c	0.48b	32.70b	9.91c
CF	86.3b	0.46b	44.49a	11.86bc
OF	91.08b	0.52ab	45.57a	12.36b
BOF	99.25a	0.58a	49.70a	14.62a

注:表中数值为 3 次重复的平均值,具有相同字母的数据表示相同时间内处理间无显著差异($P>0.05$)。下同。

2.3 生物有机肥对土壤中主要微生物菌群数量的影响

采用活菌稀释计数是分析土壤中可培养微生物的一个重要手段,可以直接反映各主要微生物类群的数量状况。

从图 2 可以看出,0 d 取样时,3 种施肥处理都不同程度地降低了青枯菌的数量,其中 BOF 与 OF 处理差异达显著水平,这说明生物有机肥中添加的拮抗菌起到了抑制病原菌增长的作用,这样可以降低植株感病的几率。从整个生长过程来看,前 3 次取样 CF 和

CK 处理青枯菌的数量相当, 后期 CF 处理又显著高于其他处理, 说明施化肥有利于青枯菌的繁殖; 同时化肥的速效养分也促进了植株的生长, 可能在一定程度上相对 CK 降低了青枯病的发生。

从图 3 看出, BOF 处理细菌含量始终显著高于其他处理, OF 处理在后期的细菌含量也显著高于 CF 和 CK 处理。说明生物肥和有机肥都能够促进细菌的繁殖, 增加细菌数量; 土壤中细菌数量的增加有利于土壤养分的转化, 这就为植物的生长和有机无机物的转化提供了良好的环境^[16]。

从图 4 看出, BOF 和 OF 的施入增加了土壤中放线菌的数量, 在第 0、40 d 取样中均显著高于其他处理。生物有机肥略高于有机肥, 差异不显著。放线菌的增加不仅能转化土壤有机质, 而且能产生抗生素, 对其他有害微生物能起到拮抗作用, 这在一定程度上提高了有机肥和生物有机肥的防病效果。后几次采样中, CF 相对其他处理, 均降低了土壤中的放线菌含量, 可能是化肥的施入影响了放线菌的繁殖。

从图 5 看出, BOF 和 OF 处理土壤中真菌含量都低于其他处理, 在第 40 d 取样时(发病高峰期), BOF

处理土壤中真菌含量显著低于 OF 处理。从后两次取样看, 真菌数量随时间变化比较平稳, 这与真菌对外界胁迫的忍耐能力较强有关^[17]。

生物有机肥施用提高了土壤中细菌和放线菌的数量, 降低了真菌的数量。生物有机肥本身含有益菌群, 对土壤土著微生物有一定活化作用, 且生物有机肥基料多为有机物, 可丰富土壤中微生物可利用营养, 增加菌群数。本文研制的生物有机肥还具有抑制土壤中青枯病原菌的存活, 降低其数量的作用; 有效地降低了病害的发生。

2.4 土壤微生物菌群数量与病情指数及作物生物量的相关分析

针对发病初期(移栽 40 d)各处理间差异明显时, 进行了土壤微生物菌群数量与病情指数及作物生物量的相关分析。从表 2 可以看出, 病情指数与土壤中青枯菌含量极显著正相关, 与普通细菌含量极显著负相关, 这说明土壤中青枯菌的存在是引起番茄青枯病发生的主要因素, 而普通细菌有利于降低病害的发生, 可能与添加的功能微生物在土壤中的繁殖有一定的关系。青枯菌含量与茎粗、干重极显著负相关, 与株

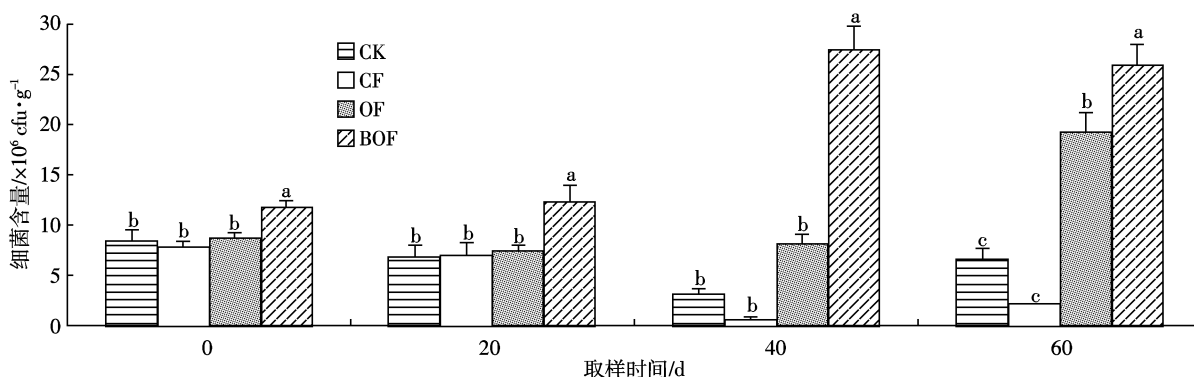


图 3 不同肥料处理对土壤中细菌含量的影响

Figure 3 Effect of the different fertilizer treatments on the amount of bacteria in the soil

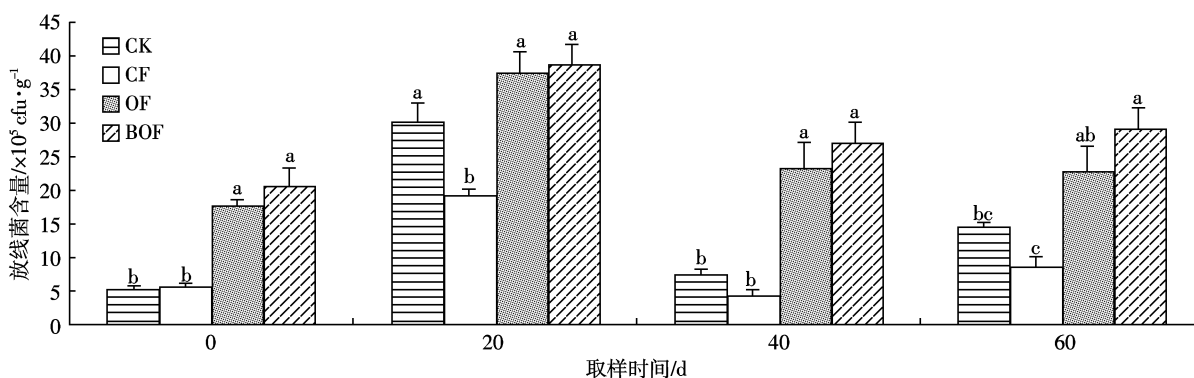


图 4 不同肥料处理对土壤中放线菌含量的影响

Figure 4 Effect of the different fertilizer treatments on the amount of actinomyces in the soil

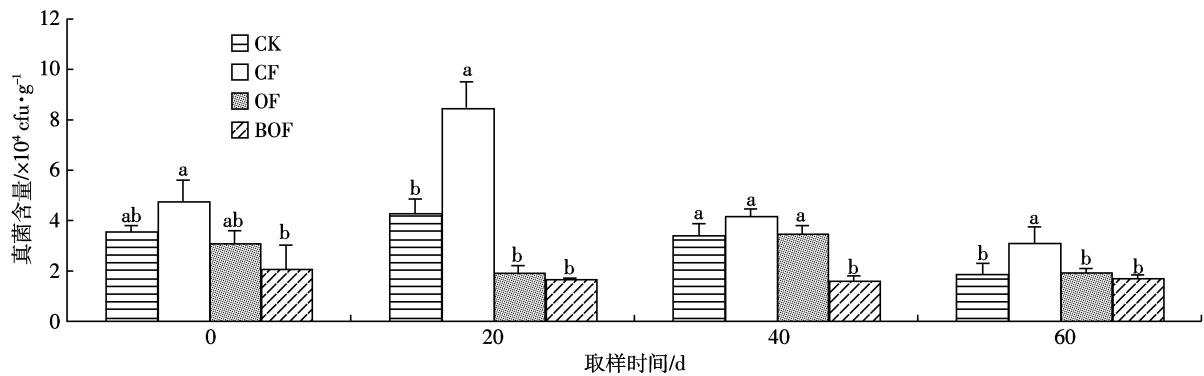


图 5 不同肥料处理对土壤中真菌含量的影响

Figure 5 Effect of the different fertilizer treatments on the amount of fungi in the soil

表 2 土壤微生物菌群数量与病情指数及作物生物量的相关分析

Table 2 Correlation analysis between soil microbial flora amount and disease index, crop biomass					
	病情指数	株高	茎粗	鲜重	干重
青枯菌	0.867**	-0.638*	-0.727**	-0.620*	-0.757**
细菌	-0.774**	0.614*	0.715**	0.644*	0.567
放线菌	-0.253	0.778**	0.506	0.761**	0.775**
真菌	-0.178	-0.448	-0.532	-0.451	-0.338

注: $n=12$, $df=10$, $r_{0.05}=0.576$, $r_{0.01}=0.708$ 。

高、茎粗、鲜重显著负相关,说明青枯菌的大量繁殖会严重影响植株的生物量。细菌与株高、鲜重显著正相关,与茎粗极显著正相关;放线菌与株高、鲜重、干重极显著正相关。这可能是因为微生物数量的增多,进一步活化了土壤中的养分供植物吸收利用,加快了物质的循环利用,形成了较好的土壤微环境,最终促进植物的生长。

2.5 生物有机肥对土壤微生物功能多样性的影响
2.5.1 各处理对 AWCD 值和其他多样性指数的影响

AWCD(Average well color development)值可反映土壤微生物对 Biolog Eco 微平板中单一碳源总体利用能力,土壤微生物对碳源的利用能力是表征土壤微生物生长情况的主要指标。

图 6 比较了不同处理的 AWCD 值,从第 48 h 开始 BOF 处理的 AWCD 值始终高于其他处理,在第 48~120 h 差异达到显著水平。CK 和 OF 处理的 AWCD 值比较接近,CF 处理的 AWCD 值始终处于最低值。说明施用生物有机肥提高了土壤微生物利用碳底物的能力,从而提高了土壤微生物活性,进而改善土壤微生物的营养,提高了土壤微生物的代谢能力,从而提高了土壤有益微生物的竞争力。使得病原菌难以侵入植株,达到防病的效果。

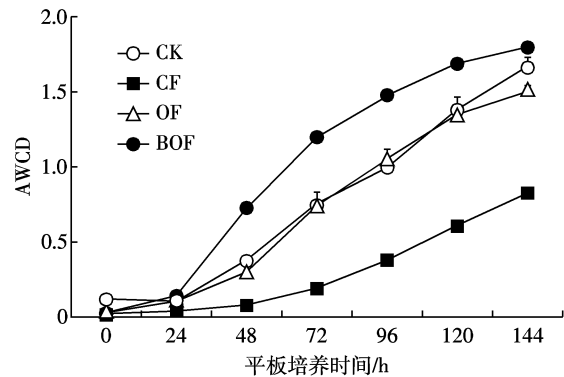


图 6 不同肥料处理在 Biolog 板上不同培养时间 AWCD 值变化

Figure 6 The AWCD changes of different fertilizer treatments at different incubation times in Biolog plate

表 3 中的 Shannon 多样性指数反映了生物有机肥处理的土壤微生物物种略比其他处理丰富,但差异不显著。但从 Simpson 指数可以看出,生物有机肥处理的常见物种丰富度显著大于其他处理尤其是化肥处理,不同处理间的 Simpson 指数和 AWCD 值的变化大体一致。而对于 McIntosh 多样性指数,与前 3 个指标变化规律不太一致,即有机肥处理的 McIntosh 多样性指数显著大于生物有机肥处理,其原因还有待进一步研究。化肥处理的 McIntosh 多样性指数显著

表 3 不同肥料处理对 AWCD 值和土壤微生物群落多样性指数的影响(72 h)

Table 3 Effect of the different fertilizer treatments on AWCD and diversity indexes of soil microbial community(72 h)

处理	AWCD	Shannon 指数	Simpson 指数	McIntosh 指数
CK	0.74b	2.89b	38.20b	5.94bc
CF	0.19c	3.23ab	7.23c	1.33d
OF	0.75b	3.18ab	42.88b	8.28a
BOF	1.20a	3.31a	157.44a	5.39c

低于其他处理。

从 AWCD、Shannon 多样性指数、Simpson 多样性指数可以看出:生物有机肥不仅可以提高土壤微生物对碳源的总体利用能力,也提高了土壤微生物功能多样性,有利于抑制土传病害和提高土壤质量^[18]。

2.5.2 各处理对土壤微生物碳源底物利用能力的影响

研究土壤微生物对不同碳源利用能力的差异,可以深入了解微生物群落的功能。不同处理对 6 类碳源利用结果(表 4)表明,施用生物有机肥和有机肥处理的土壤微生物对 6 类碳源的利用率普遍高于化肥处理。施用生物有机肥后,均不同程度地提高了土壤微生物对碳源的利用能力;与 CK 相比,对胺类碳源的利用能力达到显著水平。OF 显著提高了对糖类和氨基酸类碳源的利用能力,另一方面又降低了聚合物类、羧酸类和胺类碳源的利用能力。表明 BOF 中添加的功能微生物有利于提高对碳源底物的利用能力,同时对土壤微生物群落结构产生了一定的影响,改变了微生物群落组成。与 CK 相比,CF 均降低了土壤微生物对 6 类碳源的利用能力。

3 讨论

生物有机肥可以有效防治青枯病。在第 60 d 统计时防病效果达到 69%,相对 CF、OF 处理分别提高了 21%和 14%,表现了比较稳定的防治效果,这与以往的研究结果一致^[15,19-20]。这表明有机肥本身含有的有益微生物和添加到肥料中的营养菌和拮抗菌以及它们的代谢产物施入土壤后一定程度上起到了抑制青枯病菌生长的作用,防病能力则与这些微生物含量和活力密切相关。

生物有机肥与化肥配合施用(BOF)对番茄的促长作用最明显。生产中若大量施用生物有机肥,可降低化肥施用量,减少因生产化肥而消耗的大量能源,避免因其造成的环境污染^[21];另一方面又可实现农业废弃物的循环利用,提高资源利用率。

Biolog Eco 微平板测定结果表明,生物有机肥可提高土壤微生物利用碳底物能力,说明施用生物有机

肥后土壤微生物营养得以改善,提高了代谢能力,增强了土壤微生物的竞争能力,这可从土壤微生物群落多样性指数与 6 类碳源利用能力分析结果得到进一步的证明。多样性高的土壤对病原菌具有较强的抑制作用^[5,22-23],可以恢复被破坏的土壤微生物生态,创造一个更加稳定和适宜各种有益微生物生长繁殖的环境,从而建立起一个良好的土壤微生物生态体系,有利于达到控制土传病害的目的,是一条有效的生态调控防病途径。

4 结论

施用生物有机肥可以促进番茄的生长,抑制青枯菌在土壤中的繁殖,显著降低番茄青枯病的发病率,提高植株的防病效果;从土壤微生物角度来说可提高土壤微生物活性,改善微生物结构和功能,提高微生物多样性,从而实现土壤微生物生态平衡,是一条有效的生态调控防病途径。

参考文献:

- [1] 何礼远, 康耀卫. 植物青枯菌(*Pseudomonas solanacearum*)致病机理[J]. 自然科学进展. 1995, 5(1):7-16.
HE Li-yuan, KANG Yao-wei. The disease-causing mechanism of *Pseudomonas solanacearum*[J]. *Natural Sciences Progress*, 1995, 5(1):7-16.
- [2] 叶云峰. 内生细菌 B47 菌株的生物学特性及其对番茄青枯病的防治研究[D]. 南宁:广西大学, 2005.
YE Yun-feng. Biological characteristics of endophytic bacterium strain B47 and its biocontrol to tomato bacterial wilt [D]. Nanning: University of Guangxi, 2005.
- [3] 随学超. 无土栽培系统中番茄青枯病流行因素及微生态防治途径初探[D]. 南京:南京农业大学, 2007.
SUI Xue-chao. The Endemic Factors of the tomato bacterial wilt in soil-less culture system and prevention approach by micro-ecological environment[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2007.
- [4] Larkin R, Griffin T. Control of soil borne potato diseases using Brassica green manures[J]. *Crop Protection*, 2007, 26(7):1067-1077.
- [5] 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 Yan-fei, LIAO Zong-wen, ZHANG Jia-en, et al. Effect of ecological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microbial diversity

表 4 不同肥料处理对土壤微生物利用碳源底物能力的影响

Table 4 Effect of the different fertilizer treatments on carbon substrate utilization by soil microbial

处理	聚合物	糖类	羧酸	氨基酸	胺类	其他
CK	0.55ab	1.04b	0.67a	0.69b	0.38b	0.82a
CF	0.25b	0.23c	0.12b	0.16c	0.37b	0.21b
OF	0.40b	1.75a	0.56a	1.32a	0.26b	0.96a
BOF	0.99a	1.27b	0.72a	0.72b	1.43a	1.22a

- ties[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3):349-353.
- [6] 李红丽,李清飞,郭夏丽,等.调节土壤微生态防治烟草青枯病[J].河南农业科学,2006(2):57-60.
LI Hong-li, LI Qing-fei, GUO Xia-li, et al. Adjust soil micro ecological for preventing and controlling tobacco bacterial wilt[J]. *Henan Agricultural Science*, 2006(2):57-60.
- [7] 赵娜,蔡昆争,汪国平,等.家畜堆肥诱导番茄对青枯病的抗性及其生理机制[J].农业环境科学学报,2008,27(5):2058-2063.
ZHAO Na, CAI Kun-zheng, WANG Guo-ping, et al. Induced resistance of tomato plants to bacterial wilt by livestock wastes compost and its physiological mechanisms[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(5):2058-2063.
- [8] 谭兆赞,徐广美,刘可星,等.不同堆肥对番茄青枯病的防病效果及土壤微生物群落功能多样性的影响[J].华南农业大学学报,2009,30(2):10-14.
TAN Zhao-zan, XU Guang-mei, LIU Ke-xing, et al. Effects of different composts on control of tomato bacterial wilt and soil microbial functional diversity[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2009, 30(2):10-14.
- [9] 区伟佳,王荣,李敏清,等.华南地区大豆根内拮抗菌 AF-67 筛选与鉴定[J].大豆科技,2010(2):18-21.
OU Wei-jia, WANG Rong, LI Min-qing, et al. Isolation and characterization antifungal entophytic bacteria AF67 from soybean in South of China[J]. *Soybean Science and Technology*, 2010(2):18-21.
- [10] 李敏清,袁英英,杨江舟,等.畜禽粪便堆肥过程中酶活性及微生物数量的变化研究[J].中国生物工程杂志,2010,30(11):56-60.
LI Min-qing, YUAN Ying-ying, YANG Jiang-zhou, et al. Study on changing of enzymes activity and microbe quantity in animal manure during composting[J]. *China Biotechnology*, 2010, 30(11):56-60.
- [11] 陆发德,蒋亚军.夏番茄的育苗技术及常见问题[J].广西农学报,2009,24(2):35-37.
LU Fa-de, JIANG Ya-jun. Summer tomato's seedling cultivation technology and common problems[J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2009, 24(2):35-37.
- [12] 方中达.植病研究方法[M].第三版.北京:中国农业出版社,1998.
FANG Zhong-da. Research method of phytopathology[M]. 3rd version. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1998.
- [13] 王艳霞.生物复混肥的肥效及其对土壤微生物生态的影响[D].广州:华南农业大学,2005.
WANG Yan-xia. Microbial-organic-inorganic compound fertilizer efficiency and its effect on soil microbial ecosystem[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2005.
- [14] Kelmana. The relationship of pathogenicity in *Pseudomonas solanacearum* to colony appearance on a tertrazolium medium[J]. *Phytopathology*, 1954, 64(2):293-295.
- [15] 姚槐应,黄昌勇.土壤微生物生态学及其试验技术[M].北京:科学出版社,2006:166-169.
YAO Huai-ying, HUANG Chang-yong. Soil microbial ecology and experimental technology[M]. Beijing: Sciences Press, 2006: 166-169.
- [16] 陈芝兰,张涪平,蔡晓布,等.施用微肥对微生物的影响[J].西藏科技,2003(2):19-23.
CHEN Zhi-lan, ZHANG Pei-ping, CAI Xiao-bu, et al. Effect of microbial fertilizer's application on microbe[J]. *Tibet's Science & Technology*, 2003(2):19-23.
- [17] Hirokim. Effects of heavy metal contamination on soil microbial population[J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1992, 38:141-147.
- [18] 胡可.生物有机肥的肥效及其对土壤微生物生态影响的研究[D].广州:华南农业大学,2004.
HU Ke. The effect of applying ecological organic fertilizer on soil microbial ecology and fertilizer efficiency[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2004.
- [19] 肖相政,刘可星,廖宗文.生物有机肥对番茄青枯病的防效研究及机理初探[J].农业环境科学学报,2009,28(11):2368-2373.
XIAO Xiang-zheng, LIU Ke-xing, LIAO Zong-wen. Disease-control effect and mechanism research of biological organic fertilizer on tomato bacterial wilt[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(11):2368-2373.
- [20] 张丽娟.生物复混肥防治香蕉枯萎病及对土壤微生物的影响[D].广州:华南农业大学,2008.
ZHANG Li-juan. Effect of bio-compound fertilizer on banana wilt and soil microbial[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008.
- [21] 魏辉,吴祖咏.生物有机无机复合肥的研制与效果研究[J].微生物学杂志,1997,17(3):18-24.
WEI Hui, WU Zu-yong. Studies on biological-organic-inorganic fertilizer and its field application[J]. *Journal of Microbiology*, 1997, 17(3):18-24.
- [22] 胡可,李华兴,卢维盛,等.生物有机肥对土壤微生物活性的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(2):303-306.
HU Ke, LI Hua-xing, LU Wei-sheng, et al. Effect of microbial organic fertilizer application on soil microbial activity[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(2):303-306.
- [23] Shiomi Y, Masaya N, Tomoko O, et al. Comparison of bacterial community structure in the rhizosphere of tomato plants grown in soils suppressive and conducive towards bacterial wilt[J]. *Appl Environ Microb*, 1999, 65:3996-4001.