

# 生物有机肥防治植物土传病害研究进展

何 凯, 石纹豪, 李振轮\*

(西南大学 资源环境学院, 重庆 400715)

**摘要:** 生物有机肥是有机肥和有益微生物的结合体, 对防治土传病害具有重要作用, 且符合现代农业可持续发展的要求。阐述了生物有机肥的特点及其防治土传病害的研究现状和防病机制, 并探讨了生物有机肥在防治土传病害方面的应用前景。

**关键词:** 生物有机肥; 土传病害; 防病机制; 可持续发展; 应用前景

中图分类号: S474<sup>+</sup>.3 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2014)06-0001-05

## Advances in Control of Plant Soil-borne Disease by Bio-organic Fertilizer

HE Kai, SHI Wen-hao, LI Zhen-lun\*

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Bio-organic fertilizer(BIO) is the combination of organic fertilizer and beneficial micro-organisms, which plays an important role in controlling soil-borne disease and meets the demand of the sustainable development of modern agriculture. This paper states the characteristics of BIO, its research status and mechanisms of controlling disease, and discusses the application prospect of BIO in controlling soil-borne disease.

**Key words:** bio-organic fertilizer; soil-borne disease; mechanisms of controlling disease; sustainable development; application prospect

土传病害是指生活在土壤中的病原体, 如真菌、细菌、线虫和病毒等在条件适宜时从作物根部或茎基部侵害作物而引起的病害, 通常会给作物的生产造成重大经济损失。该类病害的防治较为困难, 抗病品种和药剂防治目前只对个别特殊病害有效, 而且长期使用化学药剂会破坏生态平衡, 造成次要病害猖獗、药剂残留、环境污染等问题<sup>[1-2]</sup>。轮作和嫁接法虽然能控制多种土传病害, 但由于大部分病原菌在土壤中能生存很长一段时间, 一旦病害发生会导致轮作的有效性受到限制, 而嫁接法则受成本的限制<sup>[3]</sup>。现代农业生产施肥特点主要是偏施化肥, 致使农作物品质降低, 并引起土壤板结、有机质下

降、根际有益微生物的比例失调, 进而造成土壤微生物生态系统的破坏, 导致土传病害泛滥<sup>[4-5]</sup>。面对当前化肥和农药给生态环境和农产品带来的诸多负面影响, 国内外学者越来越关注对农业生态系统健康的研究<sup>[6-7]</sup>, 因此, 环境友好型的有机改良剂和有益微生物结合用于防治土传病害变得日益重要, 而且也符合现代农业可持续发展的要求<sup>[8-9]</sup>。

将有益微生物引入到土壤中可以对抗土传植物病害进行生物防治, 已有大量研究表明, 微生物制剂可以抑制土壤病原菌, 如将拮抗菌结合合适的底物还能提高生物防治的有效性<sup>[10-14]</sup>。生物有机肥是有机肥料和有益微生物的结合体, 有机肥料可以为有益

收稿日期: 2013-12-02

基金项目: 中国烟草总公司重庆市公司重点项目(2011)

作者简介: 何 凯(1988-), 男, 湖北天门人, 在读硕士研究生, 研究方向: 土壤肥力与生态及土壤微生物。

E-mail: libhkl@163.com

\* 通讯作者: 李振轮(1968-), 男, 重庆长寿人, 副教授, 主要从事土壤理化性质影响病原微生物致病力的分子机制研究。

E-mail: lizhlun4740@sina.com

微生物提供食物来源和庇护所,延长其生存时间,从而能更有效地对土壤病原菌进行防治,而且生物有机肥能调控土壤微生物群落结构,提高土壤养分的有效性,在减少或降低植物病虫害发生以及降低环境污染等方面具有重要作用<sup>[15-16]</sup>,因此,应用生物有机肥不仅是防治土传病害的一个重要措施,而且能保护生态环境。鉴于此,就生物有机肥的特点、研究现状、防病机制以及其防治土传病害的应用前景进行论述,以期合理使用生物有机肥、有效控制土传病害提供一定的理论基础。

## 1 生物有机肥的特点

生物有机肥是指特定功能微生物与主要以动植物残体(如畜禽粪便、农作物秸秆等)为来源并经无害化处理、腐熟的有机物料复合而成的一类兼具微生物肥和有机肥效应的肥料<sup>[17]</sup>。它是最近几年在微生物技术发展及有机肥商品化使用的基础上研制而成的新型肥料,既不是传统的有机肥,也不是单纯的菌肥,而是二者有机结合所形成的高效、安全的微生物-有机复合肥料<sup>[18-19]</sup>。

生物有机肥产品质量的好坏影响施用效果,而衡量产品质量的关键指标是有效活菌数。生物有机肥的活菌数量决定于产品生产工艺的选择。生物有机肥的生产一般经过发酵、除臭、造粒、烘干、过筛和包装过程<sup>[20-22]</sup>。有机肥可以提供微生物的碳源和其他营养,确保微生物在处理的土壤中生存并形成种群<sup>[14,23]</sup>。根据其所含微生物的种类和性能不同,生物有机肥可以分为单一功能生物有机肥和多功能生物有机肥。

生物有机肥综合了有机肥和复合微生物肥料的优点,能够改良土壤,改善使用化肥造成的土壤板结状况,改善土壤理化性状,增强土壤保水、保肥、供肥的能力。生物有机肥中的有益微生物进入土壤后,与土壤中微生物形成共生增殖关系,抑制有害菌生长并将其转化为有益菌,相互作用,相互促进,起到群体的协同作用,有益菌在生长繁殖过程中产生大量的代谢产物,促使有机物分解转化,能直接或间接为作物提供多种营养和刺激性物质,促进和调控作物生长。在作物根系形成的优势有益菌群能抑制有害病原菌繁衍,增强作物抗逆抗病能力,降低重茬作物的病情指数,连年施用可大大缓解连作障碍。同时,减少环境污染,对

人、畜、环境安全、无毒,是一种环保型肥料<sup>[16,24]</sup>。目前,生物有机肥已广泛应用在农业生产中。

## 2 生物有机肥的研究现状和防病机制

### 2.1 研究现状

国内外研究者对生物有机肥防治土传病害的效果进行了广泛研究。自 1975 年 Hoitink 等<sup>[25]</sup>首次发现堆肥可以控制根际病原菌,关于拮抗微生物和有机肥料的结合研究逐渐受到关注。研究发现,向土壤中接种未结合适当有机底物的拮抗微生物,其防治效果会因拮抗菌缺乏营养而不理想<sup>[4,26]</sup>。目前,关于生物有机肥防治土传病害的研究主要集中在拮抗微生物的筛选和适合有机肥料的结合上,以期能更有效地抑制土壤病原菌。

Trillas 等<sup>[27]</sup>研究发现,木霉菌结合农业废物堆肥制成的生物有机肥能抑制立枯丝核菌侵染黄瓜幼苗。Cotxarrera 等<sup>[28]</sup>研究发现,木霉菌和污泥堆肥结合制成的生物有机肥能抑制番茄枯萎病。研究表明,成熟堆肥比未成熟堆肥能更好地维持生物控制剂,未成熟堆肥可将病原菌引入到土壤或生长介质中,从而给作物的生长带来负面影响<sup>[29]</sup>,因此,为更好地发挥拮抗微生物的作用,需要合理选择有机底物。Ling 等<sup>[30]</sup>选择氨基酸肥料和成熟的猪粪堆肥作为对枯萎病有拮抗作用的多黏类芽孢杆菌 SQR21 菌株的介质,发现制成的生物有机肥的田间生防效果达到 73%。Zhao 等<sup>[31]</sup>发现,有机肥与拮抗细菌和真菌结合比单独使用有机肥能更有效地防治香瓜枯萎病,而且使用生物有机肥的最低发病率只有 20%。常志州等<sup>[32]</sup>研究结果表明,辅以拮抗微生物的有机肥与直接使用拮抗菌相比,前期效果虽不如后者,但后期发病率明显降低,同时使拮抗微生物在辣椒根际的定殖数量提高了 14.3 倍。丁传雨等<sup>[33]</sup>将枯草芽孢杆菌菌株(II-36 和 I-23)发酵后与腐熟有机肥(猪粪堆肥和氨基酸有机肥)混合进行二次发酵,获得了茄子专用生物有机肥料(BIO-36 和 BIO-23),采用盆栽试验验证这 2 种生物有机肥对茄子青枯病的防治效果,结果发现,2 种肥料均能抑制茄子青枯病,防病率分别为 96%和 91%。李红丽等<sup>[34]</sup>研究发现,制备的生物有机肥作为基肥施用效果最好,烟草青枯病的发病率较对照降低 50.65%,病情指数降低 71.09%。

### 2.2 防病机制

生物有机肥施入土壤后会对土壤的理化性状和

生物学特性产生影响,有益微生物的数量和活性也相应提高。随着生物有机肥在农业上的广泛应用及其对土传病害防治效果的显著提高,人们对生物有机肥抑制土传病原菌机制研究的兴趣日益浓厚。研究发现,拮抗菌控制土传病害的机制主要体现在3个方面:(1)分泌抗生素;(2)在根际竞争空间和营养;(3)诱导植物产生抗病性<sup>[35-37]</sup>。生物有机肥兼具微生物肥和有机肥的双重优点,除了上述机制外,生物有机肥还可以通过增加有机质含量、改善土壤理化性质和提高土壤肥力来促进作物生长;其本身含有丰富的营养物质,并可以转化土壤养分,有利于作物对营养的吸收,增强作物的抗病性;增加土壤中的有益微生物数量,改善土壤微生物群落结构和生物多样性等来防治土传病害。因此,生物有机肥的防病机制主要表现在以下几个方面:(1)增强作物的抗病性;(2)增加土壤微生物多样性,抑制病原菌的活性;(3)拮抗菌在根际定殖,抑制病原菌的繁殖。

**2.2.1 增强作物的抗病性** 土壤中施入生物有机肥可以增加有机质含量,有机质经过微生物的分解可以起到改良土壤、提高土壤肥力的作用,而且生物有机肥本身富含有机、无机养分,微生物的代谢过程中也会产生吡啶乙酸、赤霉素、多种维生素以及氨基酸、核酸、生长素、尿囊素等生理活性物质,可以直接供给植物养分,促进作物的生长。生物有机肥中的微生物可以增强土壤酶的活性,加速土壤有机质的分解和矿质养分的转化,有利于作物根系对养分的吸收,也可以通过自身的生命活动,把土壤中的难溶性养分变为有效营养成分,如解磷、解钾细菌将土壤中的难溶性磷、钾转化为作物可以吸收利用的速效磷、钾养分,有利于作物均衡吸收营养,增强作物抗病、抗逆性<sup>[24,38-39]</sup>。此外,土壤中施入生物有机肥后,可以提高作物相关防御酶的活性,增强作物抵抗有害病原微生物的能力。如在烟田施用生物有机肥可以提高烟草叶片多酚氧化酶、过氧化物酶、苯丙氨酸解氨酶等的活性,从而减少病害的发生<sup>[40]</sup>。

**2.2.2 增加土壤微生物多样性,抑制病原菌的活性** 胡可等<sup>[5]</sup>对抑病土壤的研究发现,微生物多样性高的土壤对病原菌具有较强的抑制作用。李双喜等<sup>[41]</sup>研究证明,在西瓜育苗期和定植期增施微生物有机肥可以有效增加土壤微生物数量,改善土壤微生物群落结构,其中细菌和放线菌数量大幅增加,8周后土壤细菌数量达到对照的1.8倍。Qiu等<sup>[42]</sup>

利用生物有机肥控制黄瓜枯萎病的研究发现,利用生物有机肥处理的土壤,细菌和真菌群落都有较高的多样性,但镰刀菌的数量仅为利用有机肥处理土壤的1/4。施用生物有机肥可以增加土壤微生物数量,改变土壤微生物群落结构,这是因为生物有机肥可以为土壤微生物提供充足的能源和养分,刺激土壤细菌和放线菌的增殖,使土壤中有益菌数量的比值增加,抑制了病原菌的活性。

**2.2.3 拮抗菌在根际定殖,抑制病原菌的繁殖** Timmusk等<sup>[43]</sup>发现,多黏类芽孢杆菌能有效定殖在植物根际,甚至在根表面形成生物膜。利用多黏类芽孢杆菌制成的生物有机肥能抑制枯萎病,并促进西瓜和黄瓜在温室和大田的生长<sup>[44-45]</sup>。Zhang等<sup>[46]</sup>研究表明,生物有机肥可以通过枯草芽孢杆菌N11的定殖来有效控制香蕉枯萎病。生物有机肥中含有大量的拮抗菌,拮抗菌与适合其生长的有机质结合施入土壤,可以使其在植物根际更好地定殖形成优势菌群,并在根系表面形成有效的“生物防御层”,从而占据有效生态位,抑制有害病菌的繁殖,减少病原微生物侵染作物根际的机会<sup>[41-43,47]</sup>。

### 3 展望

虽然生物有机肥不仅能防治土传病害,还能保护生态环境,但是由于目前我国的生产技术还存在不足,加上施用成本较高,导致生物有机肥的推广受阻,这需要通过合理的国家政策和财政投入来解决。田间试验中仍会出现防治效果不显著的情况,这可能是由于土壤中经常表现为多种土传病原菌共存,而只施用含一种拮抗菌的生物有机肥可能导致原来的次要病害上升为主要病害,无法彻底有效地防治植物病害。为适应防治的需要,可以生产含几种拮抗菌的生物有机肥,但注意避免菌与菌之间的拮抗作用,确保生物有机肥中拮抗菌的有效性。施入土壤中的拮抗菌也会与土著微生物形成竞争关系,减弱拮抗作用,因此,可以增加生物有机肥的施用量或施用次数来提高拮抗菌的竞争能力,使拮抗菌在根际成功定殖,从而抑制病原菌的繁殖。在施用生物有机肥时还要避免使用化学农药,防止化学农药对拮抗菌产生毒害而降低其对病害的防治效果。

施用生物有机肥可以通过增强作物抗逆性、改变土壤微生物群落结构等来抑制土传病害,但抑制

效果因土壤理化性质、作物和病害不同而有所差异,所以生物有机肥的选择要具有针对性。目前,关于土壤中病原微生物有抑制作用的矿质元素的研究也较多,可以将矿质元素与生物有机肥结合起来进行研究,或与农业上有效的农作措施结合,寻找生物有机肥防治土传病害的更有效的方法。

由于土传病害在农业生产中发生日益严重,且其一直是农业生产上难以解决的问题,危害严重的地块可能全田作物毁灭,造成巨大的经济损失,因此加强对其防治研究具有重要的现实意义。传统的防治方法主要是药剂防治,不仅会破坏土壤微生态平衡,而且会带来环境污染以及危害人畜的健康。一些农业措施如轮作、采用无病种子种苗、加强田间卫生管理等效果较好,但受环境和经济条件限制无法普遍实行。生物熏蒸是近年来发现和开发的一种新型无公害土壤处理技术,我国也已开展了该方面的研究工作,但生产上尚未大规模推行<sup>[2]</sup>。生物有机肥不仅能够防治土传病害,还能改善土壤条件,增加土壤有机质含量以及有益微生物的数量,改善和修复土壤生态环境,减少农药和化学肥料的施用,实现农业的可持续发展。因此,生物有机肥是防治土传病害的一条重要且有效的生态调控防病途径,极具开发潜力。

#### 参考文献:

- [1] 杨秀荣,刘水芳,孙淑琴,等. 生防细菌防治土传病害的研究进展[J]. 天津农业科学,2008,14(4):38-42.
- [2] 李世东,缪作清,高卫东. 我国农林园艺作物土传病害发生和防治现状及对策分析[J]. 中国生物防治学报,2011,27(4):433-440.
- [3] King S R, Davis A R, Liu W, et al. Grafting for disease resistance[J]. HortScience,2008,43:1673-1676.
- [4] 郝永娟,王万立,刘耿春,等. 土壤添加剂防治作物土传病害研究概述[J]. 天津农业科学,2000,6(2):52-54.
- [5] 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.
- [6] 梁文举,刘丹. 绿色食品与农业健康发展的初步探讨[J]. 中国食物与营养,2001(6):19-23.
- [7] Smit B, Waltner-Toews D, Rapport D, et al. Agroecosystem health: Analysis and assessment[M]. Guelph, Ontario: University of Guelph,1998:1-14.
- [8] Bailey K L, Lazarovits G. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments[J]. Soil and Tillage Research,2003,72:169-180.
- [9] Gamliel A, Austerweil M, Kritzman G. Non-chemical approach to soilborne pest management-organic amendments[J]. Crop Protection,2000,19:847-853.
- [10] Cook R J. Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens[J]. Annu Rev Phytopathol,1993,31:53-80.
- [11] Bora T, Ozaktan H, Gore E, et al. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* by wettable powder formulations of the two strains of *Pseudomonas putida*[J]. J Phytopathol,2004,152:471-475.
- [12] Hu J, Lin X, Wang J, et al. Arbuscula mycorrhizal fungal inoculation enhances suppression of cucumber *Fusarium* wilt in greenhouse soils[J]. Pedosphere,2010,20:586-593.
- [13] Vanitha S, Niranjana S, Mortensen C, et al. Bacterial wilt of tomato in Karnataka and its management by *Pseudomonas fluorescens* [J]. Biocontrol,2009,54:685-695.
- [14] El-Hassan S A, Gowen S R. Formulation and delivery of the bacterial antagonist *Bacillus subtilis* for management of lentil vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lentis*[J]. J Phytopathol,2006,154:148-155.
- [15] Hu S J, van Bruggen A H C, Grunwald N J. Dynamics of bacterial populations in relation to carbon availability in a residue-amended soil[J]. Appl Soil Ecol,1999,13:21-30.
- [16] 侯云鹏,秦裕波,尹彩侠,等. 生物有机肥在农业生产中的作用及发展趋势[J]. 吉林农业科学,2009,34(3):28-29,64.
- [17] 沈德龙,李俊,姜昕. 我国生物有机肥的发展现状及展望[J]. 中国农技推广,2007,23(9):35-37.
- [18] 王玉时,李宏松,胡茶根. 试论生物有机肥与农业可持续发展[J]. 安徽农学通报,2003,9(2):67-68.
- [19] 李庆康,张永春,杨其飞,等. 生物有机肥肥效机理及应用前景展望[J]. 中国生态农业学报,2003,11(2):78-80.
- [20] 杨卓亚,陈清火,徐荣文. 生物有机肥在果树上的应用效果研究[J]. 耕作与栽培,2001(6):44-46.
- [21] 任宝君,马桂珍,李桂兰. 多元生物长效有机复合肥对初果期苹果效应试验[J]. 北方园艺,1997(4):40-41.
- [22] 姜成林,徐丽华. 微生物资源开发利用[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001.
- [23] Borrero C, Ordovas J, Trillas M I, et al. Tomato *fusarium* wilt suppressiveness. The relationship be-

- tween the organic plant growth media and their microbial communities as characterized by biolog[J]. Soil Biol Biochem, 2006, 38: 1631-1637.
- [24] 张余莽,周海军,张景野,等.生物有机肥的研究进展[J].吉林农业科学,2010,35(3):37-40.
- [25] Hoitink H A J, Schmitthener A F, Herr L J. Composted bark for control of root rot in ornamentals[J]. Ohio Rep, 1975, 60: 25-26.
- [26] Kokalis-Burelle N, Vavrina C S, Roskopf E N, et al. Field evaluation of plant growth-promoting rhizobacteria amended transplant mixes and soil solarization for tomato and pepper production in Florida[J]. Plant Soil, 2002, 238: 257-266.
- [27] Trillas M I, Casanova E, Corxarrera L, et al. Composts from agricultural waste and the *Trichoderma asperellum* strain T-34 suppress *Rhizoctonia solani* in cucumber seedlings[J]. Biol Control, 2006, 39: 32-38.
- [28] Cotxarrera L, Trillas-Gay M I, Steinberg C, et al. Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress *Fusarium* wilt of tomato[J]. Soil Biol Biochem, 2002, 34: 467-476.
- [29] Litterick A, Harrier L, Wallace P, et al. The role of uncomposted materials, composts, manures and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production—A review[J]. Crit Rev Plant Sci, 2004, 23: 453-479.
- [30] Ling N, Xue C, Huang Q W, et al. Development of a mode of application of bioorganic fertilizer for improving the biocontrol efficacy to *Fusarium* wilt[J]. BioControl, 2010, 55: 673-683.
- [31] Zhao Q Y, Dong C X, Yang X M, et al. Biocontrol of *Fusarium* wilt disease for *Cucumis melo* melon using bio-organic fertilizer[J]. Applied Soil Ecology, 2011, 47: 67-75.
- [32] 常志州,马艳,黄红英,等.辅以拮抗菌的有机肥对辣椒疫病生防效果的研究[J].土壤肥料,2005(2):28-30.
- [33] 丁传雨,乔焕英,沈其荣,等.生物有机肥对茄子青枯病的防治及其机理探讨[J].中国农业科学,2012,45(2):239-245.
- [34] 李红丽,郭夏丽,李清飞,等.抑制烟草青枯病生物有机肥的研制及其生防效果研究[J].土壤学报,2010,47(4):798-801.
- [35] Dunne C, Delany I, Fenton A, et al. Mechanisms involved in biocontrol by microbial inoculants [J]. Agronomie, 1996, 16: 721-729.
- [36] Bloemberg G V, Wijfjes A H M, Lamers G E M, et al. Simultaneous imaging of *Pseudomonas fluorescens* WCS365 populations expressing three different auto-fluorescent proteins in the rhizosphere, new perspectives for studying microbial communities[J]. Mol Plant Microb Interact, 2000, 13: 1170-1176.
- [37] Compant S, Duffy B, Nowak J, et al. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases principles, mechanisms of action, future prospects [J]. Appl Environ Microbiol, 2005, 71: 4951-4959.
- [38] 禹宙.生物有机肥对我国农业可持续发展的影响[J].安徽科技通讯,2007(10):26-27.
- [39] 王立刚,李维炯,邱建军,等.生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究[J].土壤肥料,2004(5):12-16.
- [40] 肖相政,刘可星,张志红,等.生物有机肥对烤烟生长及相关防御性酶活性的影响[J].华北农学报,2010,25(1):175-179.
- [41] 李双喜,沈其荣,郑宪清,等.施用微生物有机肥对连作条件下西瓜的生物效应及土壤生物性状的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(2):169-174.
- [42] Qiu M H, Zhang R F, Xue C, et al. Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil[J]. Biol Fertil Soils, 2012, 48: 807-816.
- [43] Timmusk S, Grantcharova N, Wagner H G E. *Paenibacillus polymyxa* invades plant roots and forms bio-film[J]. Appl Environ Microbiol, 2005, 71(11): 7292-7300.
- [44] Wu H S, Yang X M, Fan J Q, et al. Suppression of *Fusarium* wilt of watermelon by a bio-organic fertilizer containing combinations of antagonistic microorganisms[J]. BioControl, 2008, 54: 287-295.
- [45] Zhang S S, Raza W, Yang X M, et al. Control of *Fusarium* wilt disease of cucumber plants with the application of a bio-organic fertilizer[J]. Biol Fertil Soils, 2008, 44: 1073-1080.
- [46] Zhang N, Wu K, He X, et al. A new bioorganic fertilizer can effectively control banana wilt by strong colonization with *Bacillus subtilis* N11 [J]. Plant Soil, 2011, 344: 87-97.
- [47] 徐福乐,纵明,杨峰,等.生物有机肥的肥效及作用机理[J].耕作与栽培,2005(6):8-9.