

堆肥作为微生物菌剂载体的研究

张志红, 李华兴, 冯 宏, 赵兰凤, 李敏清, 胡 伟

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘 要:以自然风干的堆肥为载体, 吸附 3 株功能芽胞细菌液体菌剂制成不同生物肥料, 通过不同时间取样比较堆肥、有机无机肥和生物有机肥以及生物复混肥中功能芽胞细菌和普通微生物数量以及 pH 等指标变化, 探讨堆肥作为载体生产生物肥料的可行性。研究表明, 经过自然风干的堆肥与蛭石比较, 吸附液体微生物菌剂后无论外观、手感还是功能芽胞细菌死亡率, 差异均不大。含水量小于 15% 堆肥吸附液体菌剂比例为 6% 比较合适, 吸附比例高时, 生物肥料含水量和 pH 较高, 影响保存效果。生物有机肥和生物复混肥保存 6 个月时, 3 株功能芽胞细菌总数分别为 0.59×10^8 CFU $\cdot$ g $^{-1}$ 和 0.38×10^8 CFU $\cdot$ g $^{-1}$, 依然可达到农业行业标准要求。生物有机肥中功能芽胞细菌数量最高, 生物复混肥集合了三大肥料优点, 堆肥中普通微生物数量和多样性最高。完全腐熟的堆肥经过自然风干后可作为微生物菌剂载体。

关键词:堆肥; 载体; 微生物菌剂; 生物有机肥; 生物复混肥

中图分类号:S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)07-1382-06

Compost as a Carrier for Microbial Inoculants

ZHANG Zhi-hong, LI Hua-xing, FENG Hong, ZHAO Lan-feng, LI Min-qing, HU Wei

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

Abstract: The work mainly studied whether air-dried compost (utilizing livestock or poultry manure and spent mushroom substrate as composting materials) could be used as carrier for liquid microbial inoculants. Three functional *Bacillus* strains (*Bacillus megaterium*, *Bacillus mucilaginosus* and *Bacillus subtilis*) were used to construct microbial-organic fertilizer (MOF) and microbial-compound fertilizer (MCF). The application effects of the different bio-fertilizers including compost (C), organic-inorganic fertilizer (OIF), MOF and MCF were tested. The results showed that air-dried compost had no significant difference compared with vermiculite in appearance, touch-feeling, bacterial mortality after adsorbing microbial inoculants. When moisture of compost less than 15%, about 6% (v/w) adsorption proportion of liquid microbial inoculants to compost was better. The higher proportion of liquid microbial inoculants to compost caused higher moisture content and pH, which affected preservation effect of bio-fertilizers. The lower proportion of liquid microbial inoculants to compost led to the population of three functional *Bacillus* strains less than the agricultural standard (0.2×10^8 CFU $\cdot$ g $^{-1}$). According to different combination ways of compost with microbial inoculants and chemical fertilizers, three kinds of bio-fertilizer, MOF (compost and microbial inoculants), OIF (compost and chemical fertilizers), MCF (compost, microbial inoculants and chemical fertilizers) were selected. The total population of functional *Bacillus* strains were 0.59×10^8 CFU $\cdot$ g $^{-1}$ and 0.38×10^8 CFU $\cdot$ g $^{-1}$ in MOF and MCF respectively, after keeping for 6 months at room temperature. In tested bio-fertilizers, the population of bacteria was the highest with the strongest buffering capability to chemical fertilizers. The full mature and air-dried compost could be used as carriers for liquid microbial inoculants, especially for *Bacillus* strains.

Keywords: compost; carrier; microbial inoculants; microbial-organic fertilizer; microbial-compound fertilizer

微生物肥料是指一类含有活微生物的特定制品,

应用于农业生产, 能够获得特定的肥料效应。在这种效应的产生中, 制品中活微生物起关键作用^[1]。微生物肥料不但应用效果好, 而且生产成本低, 施用后能减少化肥用量和提高农产品质量, 对于发展绿色农业(生态农业), 生产安全、无公害绿色食品以及降低农民投入, 保护环境等十分重要^[2]。微生物肥料质量控制一直是最突出的问题, 其中载体是一个关键因素^[3]。目

收稿日期: 2010-02-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971155); 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: 张志红(1972—), 女, 博士研究生, 助理研究员, 研究方向为生物肥和土壤微生物生态调控。E-mail: zzh04scau@126.com

通讯作者: 李华兴 E-mail: huaxli@scau.edu.cn

前微生物肥料载体主要有蛭石、泥炭、海绿石及菌糠等,其中泥炭最普遍^[4]。但是泥炭作为一种天然矿产资源具有短期不可再生性,长期开采将造成生态环境的极大破坏,并且成本较高^[5]。能否找到一种既满足微生物菌剂保存要求,又能改善土壤生态环境、提供一定养分的载体,已成为微生物肥料生产中突出问题之一。

有机废弃物处理后作为菌剂产品逐渐成为热门研究^[6]。堆肥质量一方面与堆肥过程控制参数优化和堆肥材料有关^[7-9],另外还可以通过与微生物菌剂结合制备成生物肥料来提高效果。关于堆肥和微生物菌剂结合方式,印度学者用不灭菌堆肥直接吸附哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)^[10],但更多研究是在堆肥中添加促进腐熟的微生物菌剂^[11-13]。本文作者曾经在堆肥腐熟后期加入微生物菌剂,发现外加的微生物很难在其中存活,主要与堆肥腐熟度有关,而堆肥腐熟度与其物理、化学及生物各项参数密切相关^[14]。席北斗等研究发现^[15],堆肥本身含有的微生物对外来微生物影响很大,当堆肥中微生物数量约为 10^8 CFU·g⁻¹ 时,所接种的外来微生物不增殖,菌数迅速下降。另外堆肥中高含量 NH_4^+-N 也是影响外来功能细菌繁殖的重要因素^[16]。堆肥是否能作为载体,还要考虑含水量,当含水量太高时,不但吸附能力差而且容易滋生霉菌,不利于外来微生物存活。因此,堆肥必须完全腐熟,并且含水量降低后才能作为微生物菌剂吸附载体。本研究以畜禽粪便和菇渣为堆肥材料,风干后吸附 3 株具有解磷、解钾和拮抗作用的功能微生物混合菌剂,重点检测功能微生物和堆肥自身所含微生物变化,同时监测堆肥其他指标变化,以期堆肥作为吸附载体、生产高质量生物肥料提供理论依据,对提高肥效、促进微生物肥料行业发展具有重要现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

堆肥:将畜禽粪便和菇渣堆制发酵 55 d 的有机堆肥,从发酵池中取出放在室内通风处自然风干,直到含水量低于 15%。自然风干 5 d 后测定养分含量和其他指标:全 N、全 P、全 K 含量分别为 21.30、15.30、21.40 g·kg⁻¹,有机质含量 580.80 g·kg⁻¹,含水量 12.80%,pH 7.29,C/N 15.82,大肠杆菌数没有检测到,种子发芽指数(Germination index)83.2%。根据文献所述标准^[17],堆肥已经腐熟。过 2 mm 筛后备用。

蛭石:过 60 目筛,121 °C 灭菌 30 min,90 °C 左右烘干 6 h。

化肥:尿素(含 N 46%);过磷酸钙(含 P_2O_5 15%);氯化钾(含 K_2O 63%)。

功能微生物:功能微生物为 3 株芽胞细菌,分别是解磷细菌(巨大芽胞杆菌 *Bacillus megaterium*)、解钾细菌(胶质芽胞杆菌 *Bacillus mucilaginosus*)和拮抗细菌(枯草芽胞杆菌 *Bacillus subtilis*),它们分别带有卡那霉素(Kanamycin)、氨苄青霉素(Ampicillin)和利福平(Rifampicin)抗生素抗性标记,抗性浓度为 200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

1.2 试验方法

1.2.1 液体微生物菌剂

3 种芽胞细菌分别单独液体培养,当芽胞形成率达 90%以上、菌含量在 3×10^8 CFU·mL⁻¹ 以上时结束发酵。根据细菌含量高低,调整液体混合比例,保证混合菌液中 3 株菌含量接近。

1.2.2 两种载体对微生物菌剂吸附效果

试验分别以堆肥和蛭石为载体。液体微生物菌剂与载体按 20%(v/w,液体/载体)吸附,分别制备 300 g 样品,混合好后装入封口袋中,置于室温保存,不同时间取样检测功能细菌数量。每个处理均为 3 次重复。

1.2.3 堆肥、化肥和微生物菌剂的组合方式对微生物的影响

试验设 4 个处理:(1)堆肥;(2)生物有机肥(液体微生物菌剂与堆肥按 6%比例吸附);(3)有机无机肥(堆肥和化肥混合,化肥加入量为 N:4%、 P_2O_5 :0.5%和 K_2O :3%);(4)生物复混肥(堆肥、微生物菌剂和化肥 3 种混合,是处理 2 和 3 的结合)。用无菌水调整 4 个处理水分,保证含水量一致。每个处理设 3 次重复。

1.2.4 不同吸附比例对生物复混肥 pH 和含水量影响

试验设 3 个处理:(1)堆肥按 2%比例吸附微生物菌剂的生物复混肥;(2)吸附比例为 6%的生物复混肥;(3)吸附比例为 10%的生物复混肥。化肥加入量与 1.2.3 中生物复混肥相同。每个处理设 3 次重复。

1.2.5 测定项目与方法

微生物数量检测:采用稀释涂平板法。检测解磷细菌、解钾细菌和拮抗细菌时,分别在有机磷细菌培养基、阿须贝培养基、牛肉膏蛋白胨琼脂培养基中加入相应的抗生素。为了提高检测结果准确性,最后一个梯度稀释液在 60 °C 下水浴处理 5 min,杀死非芽胞微生物,减少干扰。检测普通细菌、真菌和放线菌时,细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,真菌检测用链霉

素-马丁氏孟加拉红培养基,放线菌用改良高氏一号培养基,培养基配方见参考文献[18]。

pH 值测定用电位法(水肥比 10:1);水分测定用烘干法。

1.2.6 数据处理方法

用 Excel 2003 和 SAS8.1 软件进行统计分析

2 结果与分析

2.1 堆肥和蛭石两种载体的吸附效果

堆肥和蛭石吸附微生物菌剂后,外观湿润疏松、不结块、手感好,含水量分别为 26.1%和 20.3%,pH 分别为 7.41 和 7.01。两种载体吸附菌液后无论外观还是含水量和 pH,都符合载体基本要求。从图 1 可以看出,两种载体中 3 种功能微生物总数相差较大,可能与堆肥本身含水基数高和吸持能力强有关^[3],堆肥不灭菌目的是保留其中有益微生物数量和活性。随着

保存时间的延长,功能微生物数量在两种载体中都呈现下降趋势。保存 6 个月后,堆肥中功能芽胞细菌数量死亡率为 27.2%,蛭石中为 26.3%。功能芽胞细菌在两种载体中死亡率接近,说明堆肥对功能微生物保存效果影响较小。这是因为吸附的微生物 90%以上处于芽胞状态,而芽胞具有耐高温、抗干燥等特性。有研究者比较堆肥和泥炭对根瘤菌保存影响发现,堆肥的效果还略优于泥炭^[19]。

蛭石是一种含镁水铝硅酸盐次生变质矿物,具有良好的吸附和保水特性,但是养分数量低。堆肥不仅含有大量有益微生物,而且含有腐殖质等高分子有机物质,比蛭石具有更高的生物活性和养分数量。综合考虑两种载体吸附效果,堆肥更具有优势。堆肥施入土壤后可为功能微生物繁殖提供良好营养条件,有利于形成“基质-菌种”微生态环境^[20]。

2.2 堆肥、微生物菌剂和化肥不同组合方式对肥料中微生物的影响

堆肥、化肥和微生物菌剂可以按照不同方式进行组合,现将不同组合方式对肥料中功能微生物和普通微生物数量进行比较,有助于了解不同组合肥料在微生物特征上的差异。

2.2.1 生物有机肥和生物复混肥中功能微生物数量比较

比较解磷细菌和解钾细菌数量(见图 2)可知,生物复混肥中两种细菌数量都比生物有机肥低,保存 4 d 时,差异都达到显著水平;拈抗细菌在生物复混肥和生物有机肥中差异则不明显。保存 30 d 后,3 种细菌在生物有机肥中数量都显著高于生物复混肥,高出 30%以上,说明生物复混肥中化肥影响了芽胞存活。生物有机肥中功能芽胞细菌总数 4 次(4、30、90、180

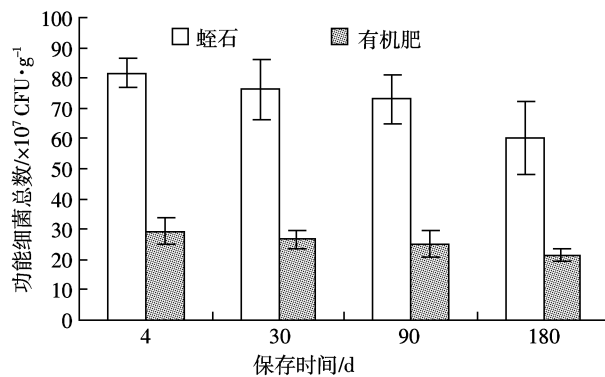
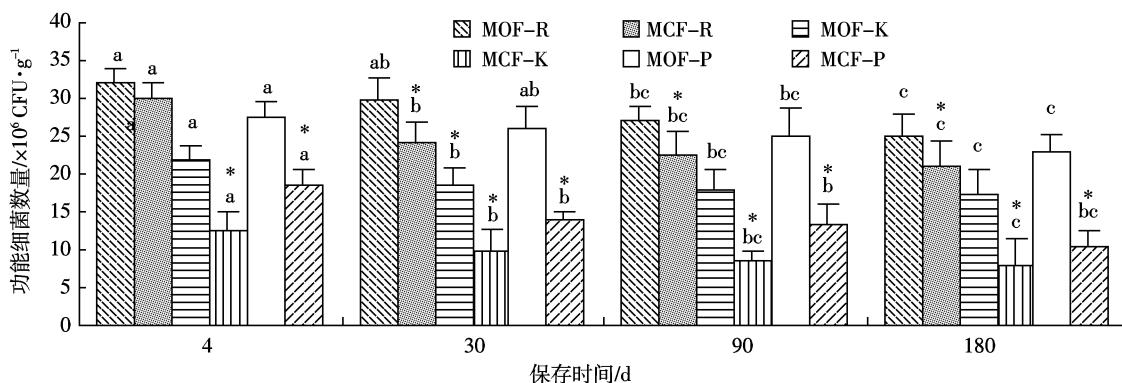


图 1 功能细菌总数在两种载体中的变化

Figure 1 Total population changes of functional microbes in two carriers



注:MOF 为生物有机肥,MCF 为生物复混肥,R 为拈抗细菌,P 为解磷细菌,K 为解钾细菌。多重比较采用 Duncan 法,图中数值为 3 次重复的平均值,字母相同表示同一处理在不同时间之间无显著差异($P>0.05$),* 表示相同保存时间内生物有机肥和生物复混肥之间达到显著差异。

图 2 生物复混肥和生物有机肥中 3 种功能芽胞细菌数量变化

Figure 2 Changes of three functional microbes population in MOF and MCF

d) 取样结果分别为 $0.81 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.73 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.64 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.59 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$, 生物复混肥分别为 $0.62 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.45 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.42 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $0.38 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$, 6 个月时依然能达到国家标准 $0.2 \times 10^8 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ [21]。加入化肥可以提高肥料应用效果, 但是在一定程度上会降低功能微生物数量。所以生产应用过程中为了减少化肥影响, 应尽量缩短生物复混肥保存时间。

2.2.2 不同组合方式中普通微生物数量变化

堆肥中普通细菌数量最高(见表 1), 平板上观察的细菌种类也最多, 其次是生物有机肥, 它们之间在保存 4 d 时, 差异不显著, 1 个月后, 堆肥中细菌数量显著高于生物有机肥, 其中原因可能是功能微生物对堆肥中某些微生物存在抑制作用。对于有机无机肥和生物复混肥, 细菌数量都显著低于堆肥和生物有机肥, 可见化肥对堆肥中的普通细菌有明显抑制作用。进一步比较这两种肥料, 生物复混肥中细菌数量略高于有机无机肥, 这是因为生物复混肥中加入了功能微生物。

表 1 4 种肥料中普通细菌数量变化

Table 1 General bacterial population changes in four fertilizers

处理	4 d/ $\times 10^7 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$	30 d/ $\times 10^6 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$	90 d/ $\times 10^6 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$	180 d/ $\times 10^6 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$
堆肥	91.0±2.52a	191±5.51a	170±9.98a	143.3±4.37a
有机无机肥	29.7±0.89b	74.0±6.24c	43.3±2.40c	31.0±3.51d
生物有机肥	89.7±5.49a	168.7±4.67b	138.3±4.41b	92.5±6.11b
生物复混肥	33.3±3.48b	93.7±8.74c	50.7±3.53c	48.0±1.53c

注: 多重比较采用 Duncan 法, 表中数值为 3 次重复的平均值±标准误差, 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。

不同肥料组合方式同时也影响了放线菌数量(见表 2)。保存 4 d 生物有机肥和堆肥中放线菌数量差异不显著, 保存 1 个月后, 两个处理中放线菌数量都趋于减少, 但堆肥中放线菌数量显著高于生物有机肥;

表 2 4 种肥料中普通放线菌数量变化

Table 2 General actinomycetes population changes in four fertilizers

处理	4 d/ $\times 10^5 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$	30 d/ $\times 10^5 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$	90 d/ $\times 10^5 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$	180 d/ $\times 10^5 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$
堆肥	40.7±0.67a	24.3±2.18a	22.00±3.78a	16.3±1.45a
有机无机肥	11.7±0.33c	9.7±0.89d	0	0
生物有机肥	38.0±1.15a	20.3±1.45b	8.2±1.15b	2.7±0.67b
生物复混肥	18.3±0.33b	12.5±2.51c	0	0

放线菌在有机无机肥和生物复混肥中下降更快, 3 个月时, 已经检测不到放线菌。

从表 3 可以看出, 4 种肥料对真菌影响和放线菌基本相同。肥料保存 4 d 时, 堆肥和生物有机肥中真菌数量差异不显著, 有机无机肥和生物复混肥中真菌数量低; 30 d 取样时, 堆肥和生物有机肥中真菌数量下降很快, 而有机无机肥和生物复混肥中已经检测不到真菌; 90 d 时, 所有肥料均检测不到真菌。

表 3 4 种肥料中的普通真菌数量变化

Table 3 General fungal population changes in four fertilizers

处理	4 d/ $\times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$	30 d/ $\times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$	90 d/ $\times 10^2 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$
堆肥	12.7±1.84a	5.7±1.47a	0
有机无机肥	5.8±0.41b	0	0
生物有机肥	11.1±0.89a	5.2±1.02a	0
生物复混肥	5.2±1.24b	0	0

综合上述结果, 可以看出 4 种肥料特征。从所含 N、P、K 养分角度看, 4 种肥料从高到低排列顺序为生物复混肥 $\geq$ 有机无机肥 $>$ 生物有机肥 $\geq$ 堆肥; 从所含微生物数量以及种类多样性角度看, 其高低顺序为堆肥 $>$ 生物有机肥 $>$ 生物复混肥 $>$ 有机无机肥。考虑专一性功能微生物数量, 生物有机肥最高, 其次是生物复混肥, 其他肥料没有。综合考虑可以看出, 生物复混肥具有多方面优势, 它集合了化肥、有机肥和微生物菌剂的优点。有研究者将生物复混肥施用在玉米上, 与等养分化肥比较能明显提高玉米产量和养分吸收能力 [22]。

2.3 不同吸附比例对 pH 和含水量的影响

从上述结果中得知, 堆肥是很好的吸附载体, 但是堆肥在吸附微生物菌剂时并不是吸附越多越好, 如果含水量太高极易滋生霉菌, 将会影响肥料使用效果, 因此在保证有效活菌数量同时应尽量降低含水量。表 4 列出了不同液体吸附比例对生物复混肥含水量和 pH 影响。可以看到, 吸附比例越大, pH 越高。10% 吸附比例在 6 个月时 pH 接近 9, 原因可能与更

表 4 不同吸附比例对生物复混肥含水量和 pH 影响

Table 4 Effect of different adsorption proportion on moisture content and pH of MCF

处理	4 d		180 d	
	含水量/%	pH	含水量/%	pH
2%	23.15	7.29	20.21	8.05
6%	26.74	7.58	24.45	8.44
10%	28.21	7.81	26.54	8.70

多化肥溶解有关。因此,在制备生物复混肥时,吸附液体菌剂比例非常重要,要兼顾有效菌数量和 pH。当液体有效菌数量较高时,选择 6% 左右较为合适。

2.4 生物肥料中功能细菌的检测

生物复混肥和生物有机肥中最重要的指标是有效菌数量。本研究中加入的外来微生物全部是芽胞细菌,具有抗逆性高,存活能力强的特点。3 种芽胞细菌在添加抗生素培养基上都能形成容易辨识的菌落,堆肥中没有观察到相同形态的菌落,因此可以断定在平板上生长的典型菌落是外来功能细菌。把平板上检测到的 3 种功能细菌和实验室保存的原始菌株比较,它们的功能和生长特性完全相同。拮抗细菌(*B. subtilis*)菌落颜色为奶油色,在表面湿润的培养基上菌落易扩展,边缘成圆形或不规则形状。解钾细菌(*B. mucilaginosus*)能在阿须贝培养基上生长,菌落表面湿润光滑,边缘平整,质地粘稠有弹性,无色透明隆起。解磷细菌(*B. megatherium*)在选择性培养基上生长不扩展,有光泽,生长后期一般带黄色,长时间培养可变成褐色或黑色。3 种芽胞细菌菌落形态特征见图 3。

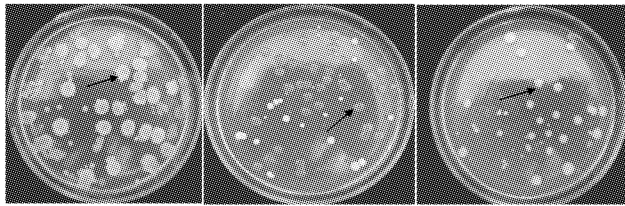


图 3 拮抗细菌、解钾细菌和解磷细菌的菌落形态(箭头标注)

Figure 3 Colony of antagonistic, potassium & phosphate-solubilizing bacteria (arrow)

3 讨论

堆肥中不仅含有较高的腐殖质,还有丰富的有益微生物,与泥炭比较具有较高的抑病效果^[23-25],并且抑病效果持久^[26]。一般腐熟的堆肥含水量在 30% 以上,不能直接用作载体。为了降低含水量,有些研究者将堆肥进行热处理^[20]: 60 °C 恒温干燥加热,直到含水量在 7% 左右。作者采用自然风干方法降低含水量,一方面可以节约能源,同时还保留了有益微生物活性。另外,有文献报道用 γ 射线灭菌后才作为载体^[27],其目的在于杀灭堆肥中微生物,有利于外来微生物繁殖和存活。本文中加入了微生物处于芽胞状态,不存在这个问题,反倒是加入的微生物菌剂可能会抑制堆肥本身微生物。在应用效果上,用堆肥作载体后都取得了较好的试验结果,如促进作物生长、提高产量以及

防治土传病害等^[10,26-27]。

4 结论

(1) 经过自然风干的堆肥在含水量降低到 15% 以下时,可以直接用作芽胞菌剂载体。堆肥吸附液体菌剂比例不能太高,以 6% 比较合适,有利于控制含水量和 pH 值。

(2) 堆肥、化肥和微生物菌剂不同组合效果中,生物有机肥中功能微生物数量最高,体现了微生物专一性和多样性;生物复混肥既有化肥的高效性、又包含特殊微生物的功能作用,同时还有有机肥的持久性;堆肥中普通微生物数量和多样性均为最高。

(3) 以堆肥为载体的不同肥料中,普通细菌数量最高,缓冲能力强,保存 6 个月,最低数量仍然高于 30×10^6 CFU $\cdot$ g⁻¹;放线菌受化肥影响较大,有机无机肥和生物复混肥中,保存 6 个月均检测不到放线菌;堆肥中少量的真菌随着时间逐渐减少,经过 3 个月时已检测不到。

参考文献:

- [1] 陈华癸,樊庆笙. 微生物学[M]. 北京:农业出版社,1985:90-91.
CHEN Hua-kui, FAN Qing-sheng. Microbiology [M]. Beijing: Agriculture Press, 1985:90-91.
- [2] 葛 诚. 微生物肥料生产应用基础[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:5-12.
GE Cheng. The basis of microbial fertilizer production and application [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 5-12.
- [3] 李永兴,匡柏健,李久蒂. 不同载体对微生物菌剂质量的影响[J]. 土壤肥料,1999(6):30-32.
LI Yong-xing, KUANG Bai-jian, LI Jiu-di. Effect of different carriers on quality of microbial inoculants[J]. Soil and Fertilizer, 1999(6):30-32.
- [4] Georgakopoulos D G, Fiddaman P, Leifert C, et al. Biological control of cucumber and sugar beet damping-off caused by *Pythium ultimum* with bacterial and fungal antagonists[J]. Journal of Applied Microbiology, 2002, 92:1078-1086.
- [5] 刘雯雯,姚 拓,孙丽娜,等. 菌糠作为微生物肥料载体的研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2):787-791.
LIU Wen-wen, YAO Tuo, SUN Li-na, et al. The feasibility of spent mushroom substrate as a kind of microbial fertilizer carrier[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(2):787-791.
- [6] Ben R F, Prevost D, Yezza A, et al. Agro-industrial waste materials and wastewater sludge for rhizobial inoculant production: A review[J]. Bioresource Technology, 2007, 98:3535-3546.
- [7] 焦洪超,张洪芳,栾炳志,等. 不同通风量对猪粪好氧堆肥效果的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(12):173-177.

- JIAO Hong-chao, ZHANG Hong-fang, LUAN Bing-zhi, et al. Effects of ventilation on aerobic composting of swine feces[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(12):173-177.
- [8] 李国学, 黄懿梅, 姜 华. 不同堆肥材料及引入外源微生物对高温堆肥腐熟度影响的研究[J]. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(增刊):139-142.
- LI Guo-xue, HUANG Yi-mei, JIANG Hua. Effect of different materials and inoculating microbes on compost maturity[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1999, 5(Suppl):139-142.
- [9] 徐 智, 张陇利, 梁丽娜, 等. 不同体积堆肥装置下的鸡粪堆肥效果研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(10):205-208.
- XU Zhi, ZHANG Long-li, LIANG Li-na, et al. Impacts of different sized lab-based reactors on the aerobic composting of chicken manure[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(10):205-208.
- [10] Sharma P K, Sahu K K. Farm production of T-64 using different organic materials from hilly zones of Chhattisgarh[J]. *Advances in Plant Sciences*, 2008, 21:39-41.
- [11] 徐同宝, 李吕木, 甄长丰, 等. 不同微生物对猪粪堆肥过程及其养分状况的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(11):217-221.
- XU Tong-bao, LI Lv-mu, ZHEN Chang-feng, et al. Effects of different microorganism consortiums on composting process of pig manures and their nutrient status[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(11):217-221.
- [12] 王伟东, 刘建斌, 牛俊玲, 等. 堆肥化过程中微生物群落的动态及接菌剂的应用效果[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(4):148-152.
- WANG Wei-dong, LIU Jian-bin, NIU Jun-ling, et al. Dynamics of microbial community and the effect of inoculum on the composting[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(4):148-152.
- [13] 梁东丽, 谷 洁, 秦清军, 等. 接种菌剂对猪粪高温堆肥中酶活性的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(9):243-248.
- LIANG Dong-li, GU Jie, QIN Qing-jun, et al. Effects of inoculants on enzymes activities of pig manure during high temperature composting[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(9):243-248.
- [14] 李春萍, 李国学, 李玉春, 等. 北京南宫静态堆肥隧道仓不同区间的垃圾堆肥腐熟度模糊评价[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(2):201-206.
- LI Chun-ping, LI Guo-xue, LI Yu-chun, et al. Fuzzy mathematics-based evaluation of municipal solid waste compost maturities in different spaces in static tunnel from Nangong compost plant[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(2):201-206.
- [15] 席北斗, 孟 伟, 刘鸿亮, 等. 三阶段控温堆肥过程中接种复合微生物菌群的变化规律研究[J]. *环境科学*, 2003, 24(2):152-154.
- XI Bei-dou, MENG Wei, LIU Hong-liang, et al. The variation of inoculation complex microbial community in three stages MSW composting process controlled by temperature[J]. *Environmental Science*, 2003, 24(2):152-154.
- [16] 汤江武, 吴逸飞, 薛智勇, 等. 畜禽固废弃物堆肥腐熟度评价指标的研究[J]. *浙江农业学报*, 2003, 15(5):293-296.
- TANG Jiang-wu, WU Yi-fei, XUE Zhi-yong, et al. Study on evaluation index of maturity of livestock and poultry solid wastes[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2003, 15(5):293-296.
- [17] Roca P L, Martínez C, Marcilla P, et al. Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil-plant system[J]. *Chemosphere*, 2009, 75:781-787.
- [18] 李阜棣, 喻子牛, 何绍江, 等. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996:69-74.
- LI Fu-di, YU Zi-niu, HE Shao-jiang, et al. Experiment skills of agricultural microbiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996:69-74.
- [19] Albareda M, Dulce N R N, Camacho M, et al. Alternatives to peat as a carrier for rhizobia inoculants: Solid and liquid formulations [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40:2771-2779.
- [20] 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 diversities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3):349-353.
- [21] 中华人民共和国农业行业标准. NY884—2004, 生物有机肥[S]. The People's Republic of China agricultural standard. NY884—2004, Microbial organic fertilizers[S].
- [22] Ahmad R, Arshad M, Khalid A, et al. Effectiveness of organic-/bio-fertilizer supplemented with chemical fertilizers for improving soil water retention, aggregate stability, growth and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.)[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2008, 31:57-77.
- [23] Yogeve A, Raviv M, Kritzman G, et al. Suppression of bacterial canker of tomato by composts[J]. *Crop Protection*, 2009, 28:97-103.
- [24] Ntougias S, Papadopoulou K K, Zervakis G I, et al. Suppression of soil-borne pathogens of tomato by composts derived from agro-industrial wastes abundant in Mediterranean regions[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 44:1081-1090.
- [25] Escudra G M E, Amemiya Y. Suppression of Fusarium wilt of spinach with compost amendments[J]. *Journal of General Plant Pathology*, 2008, 74:267-274.
- [26] Kostov O, Lynch J M. Composted sawdust as a carrier for *Bradyrhizobium*, *Rhizobium* and *Azospirillum* in crop inoculation[J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 1998, 14:389-397.
- [27] Shahzad S M, Khalid A, Arshad M, et al. Integrated use of plant growth promoting bacteria and P-enriched compost for improving growth, yield and nodulation of chickpea[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2008, 40:1735-1741.