

畜禽粪便堆肥作为功能微生物载体的研究

李敏清, 袁英英, 区伟佳, 李华兴*, 欧阳净化, 凌 龙

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘 要:以堆肥作为 3 株功能芽胞细菌液体菌剂的载体,通过优化载体含水量、温度和接种浓度等关键影响因子,以不同时间载体中有效活菌数的变化为指标,探讨堆肥代替草炭作为功能微生物载体的可行性和最适条件。研究结果表明,载体 C(鸡粪)、P(猪粪)、M(1:1 鸡粪猪粪)和 TP(猪粪+草炭)在 72 h 内的有效活菌数均显著低于草炭;混合载体 TC2(50%草炭+50%鸡粪)和 TM1(25%草炭+75% 1:1 鸡粪猪粪)的有效活菌数随着时间的延长而增加,其中 72 h 时 TC2 的有效活菌数达到 $11.40 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,TM1 的有效活菌数达到 $2.64 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,均与草炭无显著差异,因此适宜代替草炭作为功能微生物的载体。采用单因素实验,载体 TC2 和 TM1 的最优化影响因子为含水量 30%、吸附温度 30 ℃、菌液接种浓度为 $10^8 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

关键词:载体;堆肥;功能微生物;有效活菌数

中图分类号:S141.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2011)05-1007-07

Using Animal Manure as Carrier of Functional Microorganism

LI Min-qing, YUAN Ying-ying, QU Wei-jia, LI Hua-xing*, OU YANG Jing-hua, LING Long

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

Abstract: To investigate the feasibility and best condition of using compost (utilizing chicken manure, pig manure, rice husk and sawdust as composting materials) as the carrier of functional microorganism instead of turf. The experiment used the compost as the carrier of three strains bacillus inoculums (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus megaterium* and *Bacillus mucilaginosus*), meanwhile optimized the key factors, such as the water content of carrier, temperature and inoculation concentration. Taking changes of living cell quantity on the carrier at different stages as a standard. The result showed that the number of living cell quantity in chicken manure (C), pig manure (P), mix chicken and pig manure (M), and mix turf with pig manure (TP) in 72 h were much less than that of in turf (T); and the number of living cell quantity in the 50% turf+50% chicken manure (TC2) and 25% turf+75% mix chicken and pig manure (TM1) increased as time goes by; the number of living cell quantity in TC2 and TM1 respectively increased to $11.40 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ and $2.64 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ at the 72th hour, which have no significant difference comparing to that of T. Therefore, TC2 and TM1 could be used as the carrier of functional microorganism to replace T. Base on the single-factor experiment, the key factors that made TC2 and TM1 the best carrier were: 30% water content, 30 ℃ temperature and $10^8 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ inoculation concentration.

Keywords: carrier; compost; functional microorganism; living cell quantity

微生物肥料作为 21 世纪的新型肥料,近年来发展速度极快,已在农资市场上占有一定份额,某些企业的年产量已达到 5 万 t 以上^[1]。微生物肥料不仅可以增产增收,改善土壤微生态系统,还可以在一定程度上减少化肥用量和提高农产品质量,其对发展绿色

农业起到了积极的作用^[2-3]。现阶段我国关于微生物肥料增产、抗病、培肥地力等方面已经做了很多研究^[4-6],但对微生物肥料载体的研究相对偏少。载体是指为微生物生存和释放提供适当环境的材料,对微生物肥料的质量有着直接的影响作用^[7]。然而,由于人们对其重要性还缺乏足够的认识,对载体选择的随意性很大,直接导致微生物肥料的质量下降。

目前市场上微生物肥料的载体主要有草炭、硅藻土、蛭石、海绿石、粉煤灰、菌糠等,其中以草炭最为普遍^[8]。然而,草炭作为一种天然矿产资源具有短期且不

收稿日期:2010-10-30

基金项目:国家自然科学基金(40971155);广东省教育部产学研结合项目(2009B090300330)

作者简介:李敏清(1986—),男,海南儋州人,硕士研究生,主要从事微生物肥料工艺研究。E-mail:mqing15@hotmail.com

* 通讯作者:李华兴 E-mail:huaxli@scau.edu.cn

可再生的特性,对草炭的大量开采会造成生态环境的极大破坏^[9]。我国草炭资源分布广泛,但分布不平衡,呈明显的西部多、东部少,北部多、南部少的特点,且各地草炭的质地因成炭基质、条件和积压时间不同而差异很大^[10],这会造成同一种微生物肥料的肥效差异。

理想的载体应具有大量有序排列的微孔、比表面积大、吸附性强等特征,同时载体必须有利于菌种的生存和功能的发挥,可重复稳定生产,对作物和土壤无毒无害^[11]。畜禽粪便堆肥具有来源广泛、供应稳定、易腐熟、成本低、腐熟后细度高、吸附性能好,且氮、磷、钾及有机质养分适宜等优点,不仅能给微生物提供一个良好的生活环境,还可使微生物在堆肥内繁殖生长。本研究旨在利用堆肥作为功能微生物的载体,减少草炭的用量,节约资源,同时优化载体含水量、温度和接种浓度等关键影响因子,探讨堆肥代替草炭作为功能微生物载体的可行性和最适条件。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试载体

3 种腐熟堆肥载体均由华南农业大学资源环境学院生物肥料研究室提供^[12],草炭购于广州市三力园艺有限公司。以上 4 种载体材料经粉碎机磨碎后过 0.5 mm 筛,调节 pH 在 7.0~7.5 之间(调酸用 CaCO₃,调碱用 NaH₂PO₄),121 ℃下连续灭菌两次^[13],备用。载体基本性质见表 1。

表 1 载体的基本性质

Table 1 Characteristics of the carriers				
载体	含水率/%	pH	全氮/g·kg ⁻¹	有机质/%
C	15.97	8.28	42.90	47.06
P	14.45	7.11	17.37	49.40
M	18.04	7.36	18.20	61.08
T	10.95	4.58	4.81	53.00

注:C 为鸡粪堆肥原料:鸡粪、稻壳、木糠;P 为猪粪堆肥原料:猪粪、稻壳、木糠;M 为 1:1 鸡粪+猪粪堆肥原料:鸡粪、猪粪、稻壳、木糠;T 为草炭。

1.1.2 菌种

AF67^[14]:解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)。解磷细菌:巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)。解钾细菌:胶质芽孢杆菌(*Bacillus mucilaginosus*)。以上 3 种目标菌皆由本研究室提供。

1.1.3 培养基

LB 培养基:牛肉膏 5 g,蛋白胨 10 g,NaCl 5 g,琼

脂 20 g,水 1 L,pH(7.0±0.5)。

有机磷培养基:葡萄糖 10 g,(NH₄)₂SO₄ 0.5 g,NaCl 0.3 g,KCl 0.3 g,MgSO₄·7H₂O 0.3 g,FeSO₄ 0.03 g,MnSO₄ 0.03 g,CaCO₃ 5 g,卵磷脂 0.2 g,酵母粉 0.4 g,琼脂 20 g,水 1 L,pH(7.0±0.5)。

亚历山大硅酸盐培养基:蔗糖 5 g;Na₂HPO₄·12H₂O 2 g,MgSO₄·7H₂O 0.5 g,FeCl₃·6H₂O 0.005 g,CaCO₃ 0.1 g,钾长石粉(100 目)1 g,琼脂 20 g,水 1 L,pH(7.0±0.5)。其中钾长石粉即钾矿石磨碎,蒸馏水浸泡 3 d,洗去水溶性钾,过滤烘干^[15]。

1.2 试验方法

1.2.1 制备混合功能菌液

将 AF67 接种于 LB 培养基,解磷细菌接种于有机磷培养基,解钾细菌接种于亚历山大硅酸盐培养基,200 r·min⁻¹、30 ℃培养 48 h,各种菌液的含菌量约为 10⁸ cfu·mL⁻¹。将 3 种菌液按 1:1:1 比例混合均匀,即为混合功能菌液。

1.2.2 单一载体对功能微生物的影响

取上述 4 种载体(C、P、M 和 T)各 10 g,分别与 50 mL 混合功能菌液进行混合,30 ℃培养,分别在 12、24、48、72 h 测定载体的有效活菌数,测定方法见 1.2.4。每处理 3 个重复。

1.2.3 混合载体对功能微生物的影响

将 C、P、M 分别按一定的比例与 T 配成混合载体(表 2),以 T 作为对照。取各混合载体 10 g,分别与 50 mL 混合功能菌液进行混合,30 ℃培养,分别在 12、24、48、72 h 测定载体的有效活菌数,测定方法见 1.2.4。每处理 3 个重复。

1.2.4 载体中有效活菌数的测定

在设定时间内取样,样品经 5 000 r·min⁻¹离心 10 min,倾去上清液,沉淀中加入 20 mL 蒸馏水,振荡 5

表 2 混合载体成分配比

Table 2 The composition ratio of mixed carriers				
载体代码	混合载体成分			
	草炭	鸡粪	猪粪	1:1 鸡粪猪粪
TC1	25%	75%		
TC2	50%	50%		
TC3	75%	25%		
TP1	25%		75%	
TP2	50%		50%	
TP3	75%		25%	
TM1	25%			75%
TM2	50%			50%
TM3	75%			25%

min, $5\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min, 倾去上清液。菌泥中的菌数采用平板稀释培养计数法, 用 LB 培养基培养 2 d 后计数。

1.2.5 含水量对混合载体中有效活菌数的影响

用混合功能菌液调节载体含水量分别为 20%、30%、40%, 设定接种浓度为 $10^8\text{ cfu}\cdot\text{mL}^{-1}$, 吸附温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 分别于第 1、3、5、7 d 取样, 采用平板稀释法测定载体中有效活菌数的变化。每处理 3 个重复。

1.2.6 温度对混合载体中有效活菌数的影响

调节温度分别为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 含水量为 30%, 设定接种浓度为 $10^8\text{ cfu}\cdot\text{mL}^{-1}$, 分别于第 1、3、5、7 d 取样, 采用平板稀释法测定载体中有效活菌数的变化。每处理 3 个重复。

1.2.7 菌液浓度对混合载体中有效活菌数的影响

调节菌液浓度分别为 10^6 、 10^7 、 $10^8\text{ cfu}\cdot\text{mL}^{-1}$, 含水量为 30%, 吸附温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 分别于第 1、3、5、7 d 取样, 采用平板稀释法测定载体中有效活菌数的变化。每处理 3 个重复。

1.3 数据处理

数据分析采用 Excel2007 和 SPSS11.5 数据处理系统完成。

2 结果与分析

2.1 单一载体的对比

从图 1 可知, 随着时间的延长, 各载体中有效活菌数也增加, 其中: 在 12 h 内各载体中有效活菌数无显著差异; 处理 24 h 时, T 处理(草炭)中有效活菌数已显著高于其他各处理; 72 h 后, T 处理中有效活菌数较 C(鸡粪)高出 84.2%, 较 P(猪粪)高出 87.5%, 较

M(1:1 鸡粪+猪粪)高出 64.2%, 且达到显著差异。由此可见, 随着时间的延长, T 作为载体的效果好于 C、P 和 M。

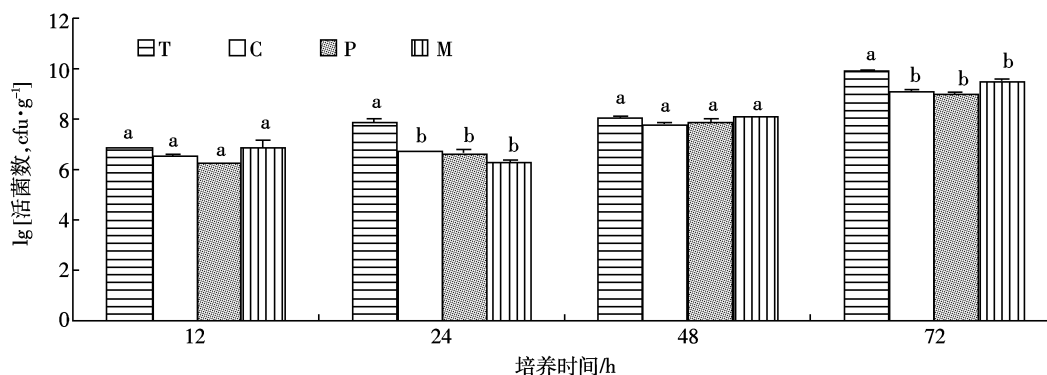
2.2 混合载体的对比

从图 2 可知, TC1 处理虽然在 12 h 的有效活菌数高于其他处理, 但随着时间的延长, 其活菌数逐渐减缓, 显著低于 T; TC2 和 TC3 在 12 h 的有效活菌数均显著低于 TC1 和 T, 随后活菌数逐步增大, 且在各时间内都与 T 无显著差异, 处理 72 h, TC2 中有效活菌数达到 $11.40\times 10^9\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$, TC3 中有效活菌数达到 $8.21\times 10^9\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$ 。由此可见, TC2 在 24 h 后的有效活菌数均显著高于 TC1, 与 T 无显著差异, 且 TC2 相对于 TC3 少配用了草炭。所以, 从节约资源和有效活菌数来看, TC2 更适宜代替草炭作为功能微生物载体。

图 3 显示, 随着时间的延长, TP1、TP2 和 TP3 中有效活菌数也增加。然而 T 处理有效活菌数的增长速度较高于其余各处理, 培养 24 h 之后, T 处理中活菌数均显著高于 TP1、TP2 和 TP3, 这说明目标菌的数量在添加草炭的猪粪载体中仍不能达到显著提高的目的。由此可见, 各比例 TP 作为功能微生物载体的效果均差于 T, 不适合代替 T 作为功能微生物载体。

由图 4 可知, 培养 24 h, TM1、TM2 和 TM3 中有效活菌数均与 T 无显著差异, 其中 TM1 处理的有效活菌数始终保持较高的增长速度, 培养至 72 h, TM1 中有效活菌数为 $2.64\times 10^9\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$, 与 T 的有效活菌数无显著差异, 从节约资源考虑, TM1 较其他处理使用了最少的草炭。由此可知, 可选择 TM1 代替草炭作为功能微生物载体。

由图 2~图 4 可知, TC2 和 TM1 均可代替草炭作



注: 多重比较采用 Duncan 法, 各时期处理间相同字母表示无显著差异, 不同字母者表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Multiple comparison (Duncan), figures in the same stage with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

图 1 单一载体中有效活菌数的对数值变化

Figure 1 Changes of living cell quantity in single carrier

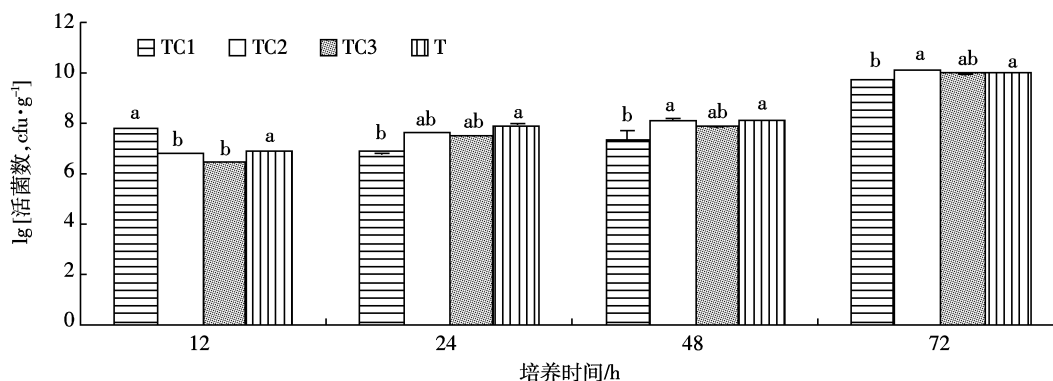


图 2 TC 中有效活菌数的对数值变化

Figure 2 Changes of living cell quantity in TC

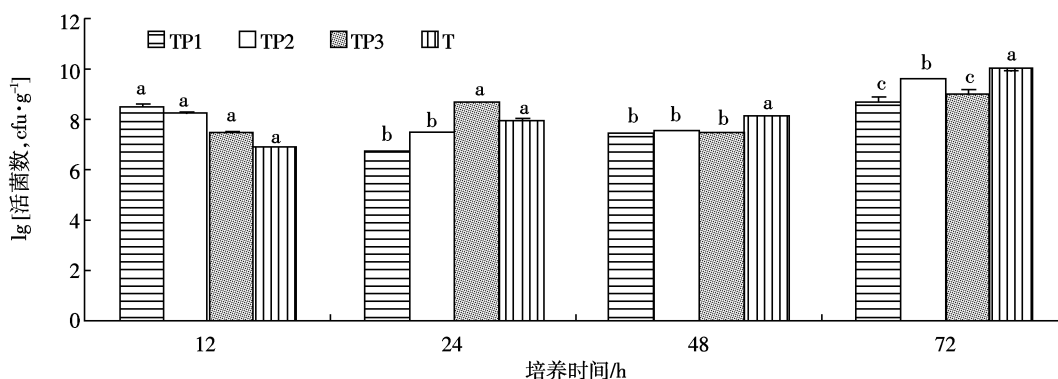


图 3 TP 中有效活菌数的对数值变化

Figure 3 Changes of living cell quantity in TP

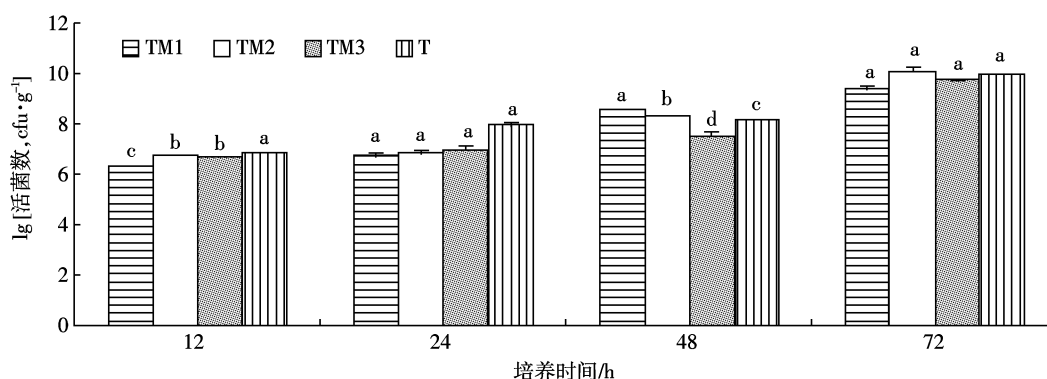


图 4 TM 中有效活菌数的对数值变化

Figure 4 Changes of living cell quantity in TM

为功能微生物的载体,参见图 5。

2.3 含水量对混合载体中有效活菌数的影响

图 6 表明,载体 TC2 含水量为 30% 的处理在 7 d 内有效活菌数呈稳步上升趋势,培养 3 d 后有效活菌数显著大于其余各处理,培养 7 d 可达到 2.56×10^9 cfu·g⁻¹;载体 TM1 含水量为 30% 的处理在 7 d 内呈“上升-下降”趋势,且各时期的有效活菌数都高于其余各处理,并在第 3 d 时出现峰值,载体中有效活菌

数为 3.76×10^{10} cfu·g⁻¹, 可认为载体 TC2 和 TM1 的含水量为 30% 时,适宜目标菌的生存繁殖。

2.4 温度对混合载体中有效活菌数的影响

图 7 表明,培养 1 d 后,载体 TC2 和 TM1 在 30 ℃ 处理的有效活菌数均显著高于其余各处理,培养至第 7 d,载体 TC2 和 TM1 中有效活菌数分别为 2.00×10^8 和 3.00×10^7 cfu·g⁻¹,说明混合功能菌在 30 ℃ 时变得更活跃。由此可知,调节温度为 30 ℃ 可使混合功能菌

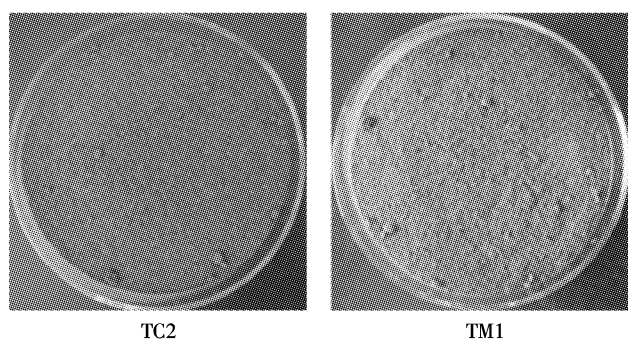


图5 载体 TC2 和 TM1

Figure 5 Pictures of TC2 and TM1

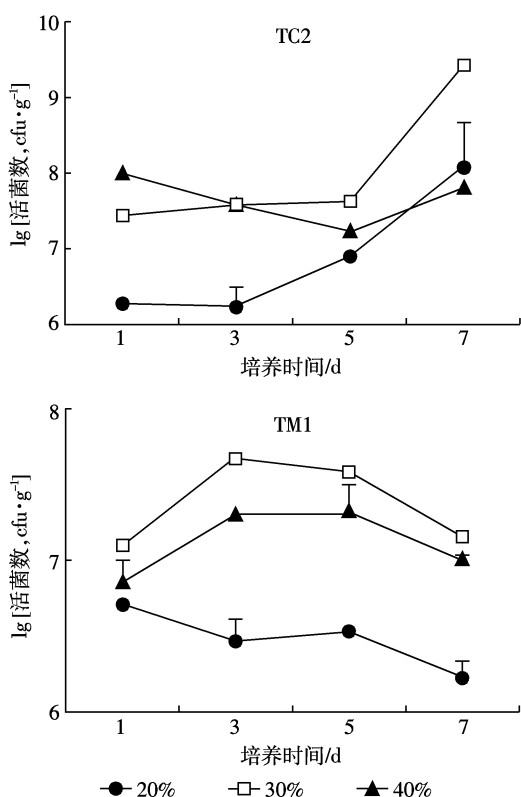


图6 不同含水量下载体 TC2 和 TM1 有效活菌数对数值的变化

Figure 6 Changes of living cell quantity in TC2 and TM1 under different water content of carrier

在载体 TC2 和 TM1 的存活效果最佳。

2.5 接种浓度对混合载体中有效活菌数的影响

图 8 表明, 当载体 TC2 和 TM1 接种浓度为 10^8 $\text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 其有效活菌数始终保持较高数值, 说明高浓度的目标菌从培养起始就能快速在载体 TC2 和 TM1 中定殖, 培养至第 7 d, 载体 TC2 和 TM1 中有效活菌数分别为 4.00×10^8 $\text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 6.00×10^7 $\text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$, 均显著高于其他处理。由此可知, 可选用浓度为 10^8 $\text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 作为载体 TC2 和 TM1 的接种浓度。

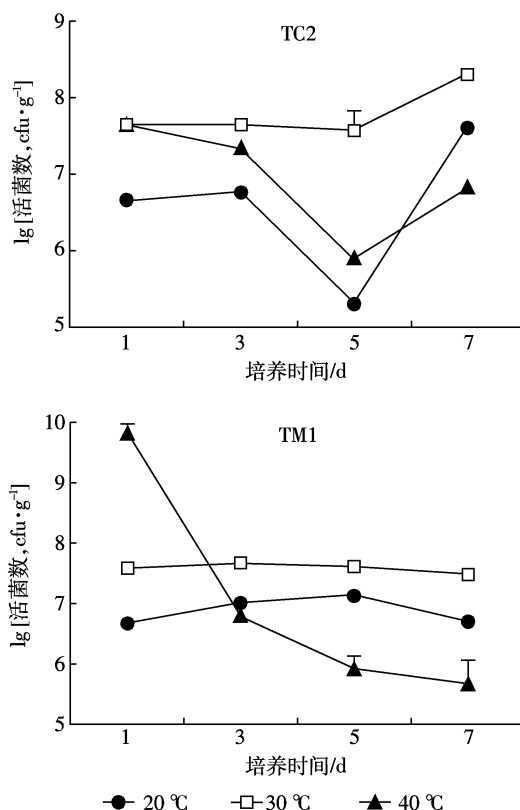


图7 不同温度下载体 TC2 和 TM1 有效活菌数对数值的变化

Figure 7 Changes of living cell quantity in TC2 and TM1 under different temperature of carrier

3 讨论

本试验对比了堆肥与草炭作为功能微生物载体的效果, 从图 1~图 4 可知, 随着培养时间的延长, 载体中有效活菌数相应增加。可从以下 3 个方面对此结果进行解释: 首先, 微生物与有机物料的相互作用是一种由微生物起主导作用的氧化还原反应, 其中有机物为电子供体, O_2 为电子受体, 生成的 NH_4^+ 可作为微生物细胞合成的氮源^[16]; 其次, 堆肥载体中具有一定的空隙, 可提供氧气, 有利于目标菌的生存; 最后, 腐熟堆肥可提供一定的营养元素和丰富且易降解的有机质, 使得微生物可利用堆肥中丰富的碳源和氮源进行生长繁殖。

由图 1 可知, 单一载体 C、P、M 有效活菌数均显著低于 T, 原因可能是在堆肥内易降解有机质不如草炭丰富, 因而营养物质的释放比较缓慢^[17]。有研究表明混合载体可最大限度地满足各种要求^[18], 因此可考虑堆肥与草炭的配合使用以综合各种优势。从图 2 和图 4 可看出, 随着培养时间的延长, TC2 和 TM1 有效活菌数的增长速率较 T 快, 这可能是草炭具有良好的

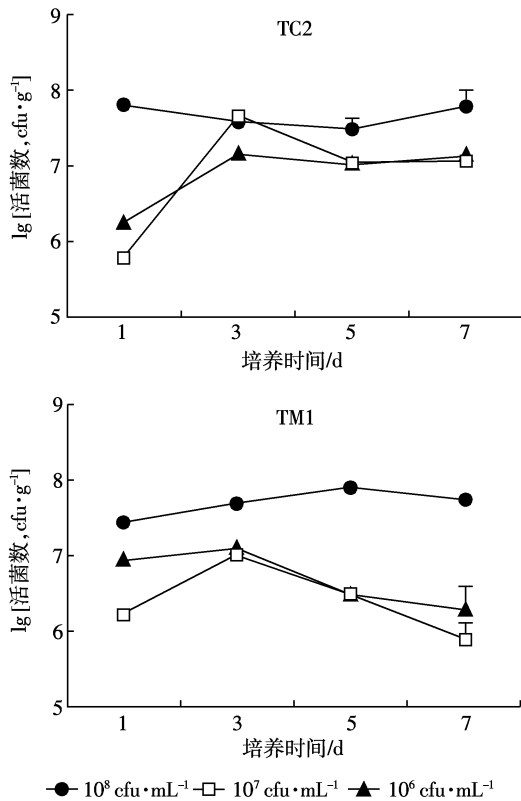


图8 不同菌液浓度下载体TC2和TM1有效活菌数对数值的变化

Figure 8 Changes of living cell quantity in TC2 and TM1 under different inoculation concentration

通气性,有利于微生物的生长,而堆肥富含腐殖质等高分子有机物质,可为功能微生物提供充足的营养,有利于形成“基质-菌种”微生态环境^[9]。

载体含水量、温度和接种浓度是影响载体有效活菌数的关键因子,由图6可知,30%含水量的载体TC2和TM1较为适合目标菌的生存繁殖。20%含水量的载体有效活菌数始终较低,这可能是载体水分含量较低,不能满足目标菌在载体内生长所需要的水分;而40%含水量处理在初期载体有效活菌数较高,随后缓慢下降,这可能是较多的水分填充入载体的表面和内孔处,导致载体内通气较差,且载体易发霉,致使目标菌数在后期下降^[9,20]。由图7可知,载体TC2和TM1在30℃时有效活菌数最高,当温度为20℃和40℃时,载体中有效活菌数较少,可能是因为较低温度减缓了目标菌生长,而过高的温度加速了目标菌的衰老死亡,这与马梅荣等^[20]的研究结果较为接近。由图8可知,当接种浓度为10⁸ cfu·mL⁻¹时,3种目标菌能快速在载体中定殖,反映试验所用3种有机肥经过高温堆肥后,堆肥的基本性状已稳定,且达到无害化处理

要求,堆肥本身并未对目标菌产生限制作用^[12];同时也说明对载体进行灭菌处理,减轻目标菌与载体中土著微生物的竞争压力,有利于目标菌在载体中的快速定殖。

4 结论

本实验探讨堆肥代替草炭作为功能微生物载体的可行性和最适条件,获得以下结论:

(1)混合载体TC2(50%草炭+50%鸡粪)和TM1(25%草炭+75% 1:1鸡粪与猪粪)均适宜代替草炭作为功能微生物的载体。

(2)TC2和TM1的最优化影响因子均为:含水量30%,吸附温度30℃,菌液接种浓度10⁸ cfu·mL⁻¹。

参考文献:

- [1] 马常宝. 我国有机肥料工厂化现状及发展前景[J]. 磷肥与复肥, 2004, 19(1):7-11.
MA Chang-bao. Present state and perspective of organic fertilizer industrialization in China[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2004, 19(1):7-11.
- [2] 沈德龙, 曹凤明, 李力. 我国生物有机肥的发展现状及展望[J]. 中国土壤与肥料, 2007, 35(6):1-5.
SHEN De-long, CAO Feng-ming, LI Li. Development status and prospect of microbial organic fertilizer in China[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2007, 35(6):1-5.
- [3] 葛诚. 微生物肥料生产应用基础[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000:5-12.
GE Cheng. The basis of microbial fertilizer production and application [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000:5-12.
- [4] 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]. 土壤与肥料, 2004, 32(5):12-16.
WANG Li-gang, LI Wei-jiong, QIU Jian-jun, et al. Effect of biological organic fertilizer on crops growth, soil fertility and yield[J]. *Soils and Fertilizers*, 2004, 32(5):12-16.
- [5] 熊又升, 袁家富, 杨涛, 等. 生物有机肥对棉花黄萎病发生及产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(8):1841-1844.
XIONG You-sheng, YUAN Jia-fu, YANG Tao, et al. Effects of bio-organic fertilizer on morbidity of verticillium dahliae and yield of cotton[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, 49(8):1841-1844.
- [6] 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.
- [7] 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, 27(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, 27(6): 30-32.
- [8] 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(6): 1078-1086.
- [9] 张志红, 李华兴, 冯 宏, 等. 堆肥作为微生物菌剂载体的研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(7): 1382-1387.
- ZHANG Zhi-hong, LI Hua-xing, FENG Hong, et al. Compost as a carrier for microbial inoculants[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(7): 1382-1387.
- [10] 陈淑云, 马伟明, 李 波. 国内外泥炭资源及其利用[J]. 腐植酸, 2006, 27(6): 10-16.
- CHEN Shu-yun, MA Wei-ming, LI Bo. Peat resources in the world and its application[J]. *Humic Acid*, 2006, 27(6): 10-16.
- [11] 章淑艳. 粉煤灰在硅酸盐菌剂中的应用[J]. 河北省科学院学报, 2006, 23(3): 30-33.
- ZHANG Shu-yan. Application of fly ash in absorbing silicate bacteria [J]. *Journal of the Hebei Academy of Sciences*, 2006, 23(3): 30-33.
- [12] 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.
- [13] Sheridan B A, Cureran T P, Dodd V A. Assessment of the influence of media particle size in the bio-filtration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility[J]. *Bioresource Technology*, 2002, 84(2): 129-143.
- [14] 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, 17(2): 18-21.
- QU Wei-jia, WANG Rong, LI Min-qing, et al. Isolation and identification of antifungal entophytic bacteria AF-67 from soybean root in South China[J]. *Soybean Science and Technology*, 2010, 17(2): 18-21.
- [15] 李振高, 骆永明, 滕 应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 52-62.
- LI Zhen-gao, LUO Yong-ming, TENG Ying. The research method of soil and environment microorganism[M]. Beijing: Science Press, 2008: 52-62.
- [16] 周少奇. 有机垃圾好氧堆肥法的生化反应机理[J]. 环境保护, 1999, 26(3): 31-32.
- ZHOU Shao-Qi. The Principle of biochemical reactions in aerobic compost of organic solid wastes[J]. *Environment Protection*, 1999, 26(3): 31-32.
- [17] 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.
- [18] 李 琳, 刘俊新. 挥发性有机污染物与恶臭的生物处理技术及其工艺研究选择[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001, 2(5): 41-47.
- LI Lin, LIU Jun-xin. The selection of biological techniques and processes for treatment of VOC and odours[J]. *Techniques and Equipment for Environ Poll Cont*, 2001, 2(5): 41-47.
- [19] 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.
- [20] 马梅荣, 陈 雷, 宣世伟. XM 固态菌剂载体选择的初步研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(2): 259-261.
- MA Mei-rong, CHEN Lei, XUAN Shi-wei. Study on choice of carrier of XM microbial community[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2005, 37(2): 259-261.