

# 养猪发酵床垫料有机肥对辣椒产量及土壤微生物多样性的影响<sup>①</sup>

罗 佳, 刘丽珠, 王 同, 刘海琴, 严少华, 卢 信, 范如芹, 张振华\*

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014)

**摘 要:** 随着环保压力的日益增加和农户环保意识的逐渐增强, 发酵床养猪技术逐渐被农户接受, 但是发酵床熟化垫料再利用相对较难, 限制了发酵床养猪技术的推广。本研究将两种发酵床熟化垫料分别进行高温堆肥处理, 熟化垫料总养分(氮、磷、钾)含量均超过 50 g/kg, 重金属和粪大肠杆菌含量均未超标, 蛔虫卵死亡率 95%以上, 符合商品有机肥标准。作物试验表明, 在等氮量施用条件下, 发酵床熟化垫料有机肥施用后辣椒产量与化肥和常规有机肥处理相当, 并能提高辣椒品质, 改善土壤肥力。PCR-DGGE 结果表明, 不同处理土壤细菌群落结构可大致分为 3 种类型, 对照(CK)和化肥(CF) 处理群落结构相似, 为第一类; 常规猪粪有机肥(POF)为第二类; 两种发酵床熟化垫料有机肥(FOF 和 ROF)群落结构相似, 为第三类。施肥处理能明显改变土壤微生物多样性, 施用有机肥(POF、FOF、ROF)对土壤微生物多样性改变的效果比化肥(CF)大; 不同来源的有机肥(POF 和 FOF、ROF)对土壤中微生物区系改变方向不一样, 来源接近的有机肥(FOF 和 ROF)对土壤微生物区系改变方向接近。

**关键词:** 发酵床养猪; 有机肥; 辣椒; 土壤微生物多样性

**中图分类号:** S141.2

基于人们对生态养殖概念的认识, 发酵床养猪是遵循全新的自然农业理念, 结合现代微生物发酵处理技术提出的一种环保、安全、有效的生态养猪法<sup>[1]</sup>。该技术实现养猪无粪尿排放、无污染、无恶臭产生, 基本解决了规模养猪场的环境污染问题, 是遵循低成本、高产出、无污染的原则建立起来的一套良性循环的生态养猪体系。发酵床养猪技术最早由日本人在 20 世纪 70 年代提出并建立了第一个以木屑作垫料的发酵床系统, 该项技术在 20 世纪 90 年代进入我国, 并在部分地区开展了试验示范<sup>[2]</sup>。目前, 随着环保压力的日益增加和农户环保意识的逐渐增强, 发酵床养猪技术逐渐被农户接受, 并获得了良好的经济效益、生态效益和社会效益<sup>[3]</sup>。

目前, 发酵床养猪技术的研究主要集中在改善猪的饲养条件、减少对环境的污染、降低猪群疾病、提高猪肉品质、提高综合生产性能等方面<sup>[4-8]</sup>, 而对后期发酵床熟化垫料的基本理化性状、发酵床熟化垫料无害化处理技术及资源化应用技术研究相对较少, 造成发酵床熟化垫料再利用率低, 养殖户无法从发酵床

熟化垫料中获得收益以弥补发酵床初期的垫料投入等问题, 影响了养殖户采用发酵床养猪技术的积极性。本研究将不同原料的发酵床熟化垫料经过再发酵和无害化处理后制成有机肥, 与化肥和猪粪有机肥进行比较, 研究其对辣椒产量、土壤供氮特性及土壤微生物群落结构的影响, 为发酵床熟化垫料资源化利用提供技术参数和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 发酵床熟化垫料有机肥制备

发酵床熟化垫料有机肥在江苏省农业科学院六合动物基地有机肥厂生产, 具体步骤如下: 对猪圈清理出的发酵床熟化垫料调节含水量。含水量调节方法: 猪圈清出发酵床熟化垫料一般含水量为 30% ~ 40%, 通过定量添加水分, 使含水量达到 50% ~ 60%。

将处理后的发酵床熟化垫料堆置成条垛进行发酵, 每隔两天翻抛一次, 全部发酵时间为 40 天左右, 每天观测堆体温度, 保证温度在 45℃ 以上时间不少于 14 天, 当温度下降和无明显臭气排放即认为有机物

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203050)和江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(12)1001-07)资助。

\* 通讯作者(zhenhuaz70@hotmail.com)

作者简介: 罗佳(1982—), 男, 江苏滨海人, 博士, 副研究员, 主要从事污染物治理及资源化利用研究。E-mail: luo\_jia\_428@163.com

料已腐熟，形成有机肥。

1.2 大棚试验设计

本试验在江苏省农业科学院六合动物基地设施大棚进行，试验设置 5 个处理：处理 1(CK)，不施用任何肥料；处理 2(CF)，施用化肥；处理 3(POF)，施用猪粪有机肥；处理 4(FOF)，施用发酵床熟化垫料制成的有机肥，发酵床垫料为食用菌栽培废料制成；处理 5(ROF)，施用发酵床熟化垫料制成的有机肥，发酵床垫料为稻壳制成。除不施肥对照外，其他施肥

处理为等氮量施用，氮素用量均为 112 kg/hm<sup>2</sup>，供试土壤的基本理化性状如下：有机质 63.3 g/kg、pH 6.4、全氮 4.92 g/kg、全磷 1.93 g/kg、全钾 9.84 g/kg、速效磷 390 mg/kg、速效钾 670 mg/kg。各有机肥养分及重金属指标见表 1；化肥是氮、磷、钾含量均为 150 g/kg 的复合肥。试验设置 3 个重复，试验小区(9 m×3 m)随机排列，每个小区内辣椒行距为 70 cm、株距为 45 cm，共计 28 株，供试辣椒品种为苏椒 16，所用肥料在辣椒苗移栽前作基肥一次性施入。

表 1 三种有机肥的基本信息  
Table 1 Basic properties of three kinds of organic fertilizers

| 有机肥               | 有机质<br>(g/kg) | 总氮<br>(g/kg) | 总磷<br>(g/kg) | 总钾<br>(g/kg) | 砷<br>(mg/kg) | 汞<br>(mg/kg) | 铅<br>(mg/kg) | 镉<br>(mg/kg) | 铬<br>(mg/kg) | 粪大肠杆菌<br>(个/g) | 蛔虫卵死亡率<br>(%) |
|-------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| POF               | 458.2         | 35.21        | 18.43        | 13.86        | 0.27         | 0.018        | 7.26         | 0.20         | 46.71        | 27             | 97.12         |
| FOF               | 521.3         | 40.01        | 19.60        | 13.29        | 2.94         | 0.035        | 8.49         | 0.18         | 46.12        | 23             | 97.01         |
| ROF               | 579.5         | 16.62        | 17.43        | 16.46        | 4.00         | 0.053        | 2.84         | 0.99         | 45.62        | 38             | 98.53         |
| 标准 <sup>[9]</sup> | ≥450          |              | ≥50          |              | ≤15          | ≤2           | ≤50          | ≤3           | ≤150         | ≤100           | ≥95           |

注：表中有有机肥养分和重金属含量以烘干基计，粪大肠杆菌和蛔虫卵死亡率以鲜样计。

1.3 样品采集与测定方法

有机肥样品的采集和测定参照农业行业标准 NY-525 2012<sup>[9]</sup>。试验周期为 3 个月，试验期间每天进行日常管理和环境条件检测，果实成熟后及时采摘和测定，在试验进行 30 天(开花期)、60 天(结果期)、90 天(成熟期)、105 天(试验结束)采集土样进行相关测试，土壤化学指标测定方法参照土壤农化分析<sup>[10]</sup>，维生素 C 含量的测定采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法，可溶性糖的测定采用蒽酮比色法，硝酸盐含量的测定采用水杨酸比色法。同时，采集成熟期(90 天)植株根际土壤样品进行 PCR-DGGE 分析土壤微生物多样性，根际土壤采集方法见 Luo 等<sup>[11]</sup>，土样需 -80℃ 保存，待测。

1.4 PCR-DGGE 检测

利用 PCR-DGGE 技术<sup>[12]</sup>，通过土壤 DNA 试剂盒(SoilMaster™ DNA Extraction Kit)提取土壤中细菌 DNA，经过 PCR 扩增后(PCR 引物<sup>[13]</sup> F984GC :5-AAC GCG AAG AAC CTT AC-3 和 R1378 :5- CGG TGT GTA CAA GGC CCG GGA ACG -3，在 F984GC 的 5-端添加 GC 夹子：5- CGC CCG GGG CGC GCC CCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG G -3)，采用 D-Code 突变检测系统(Bio-Rad)对样品进行 DGGE 分析。所用的聚丙烯酰胺凝胶浓度为 8%，变性梯度为 40%~60%，80V、恒温 60℃、1×TAE 中电泳 16 h，银染后扫描。

所得图像用 BioRad Quantity One 4.6.3 软件进行处理，有关泳道和条带的技术处理都用该软件进行。通过 BioRad Quantity One 软件系统将 DGGE 条带转换成数字信息，香浓-威纳多样性指数(Shannon-Wiener index,  $H'$ )  $H' = -\sum P_i \times \ln(P_i)$  ( $P_i$  表示每个种群在群落中的百分比)、丰度( $S$ )、均匀度指数( $E_H$ )  $E_H = H'/\ln(S)$  比较各个样品的多样性<sup>[14]</sup>。

1.5 数据分析与统计

试验数据统计分析使用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件，采用 Quantity One 分析软件(Bio-Rad)分析样品 DGGE 电泳条带。

2 结果与讨论

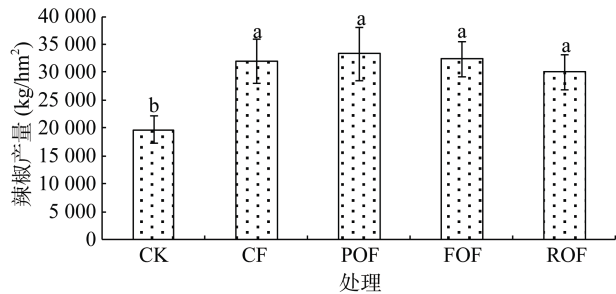
2.1 不同有机肥养分含量及安全性评估

按照国家农业行业标准<sup>[9]</sup>测定有机肥养分、重金属及粪大肠杆菌和蛔虫卵死亡率，结果见表 1。猪粪有机肥(POF)、发酵床熟化垫料有机肥(主成分食用菌残渣，FOF)、发酵床熟化垫料有机肥(主成分稻壳，ROF)这 3 种有机肥均符合行业标准 NY-525 2012，有机质含量高于 450 g/kg，总养分含量超过 50 g/kg，重金属和粪大肠杆菌含量均未超标，蛔虫卵死亡率 95% 以上。但是，3 种有机肥的养分含量还是存在着差异，POF 有机质含量偏低，只比行业标准略高，而 ROF 总养分含量明显低于其他两种有机肥，特别是总氮含量偏低。

畜禽粪便中含有大量的病原菌、寄生虫和杂草种子等有害物质,无法直接利用,我国明确规定所有畜禽粪便必须经过无害化处理才能使用,并制定了相关行业标准<sup>[15]</sup>。胡海燕等<sup>[2]</sup>研究表明发酵床熟化垫料具有有机肥料的基本性质,但是肠道寄生虫卵严重超标,具有生物安全隐患,施用前必须对其进行无害化处理。因此,本研究通过对发酵床熟化垫料进行堆肥发酵,使其保持在 45℃ 以上不少于 14 天,达到无害化处理的目的,经检测再次发酵的垫料重金属和有害病原菌等均未超标。

2.2 施用不同肥料对辣椒产量和品质的影响

等氮量条件下,施用不同有机肥和化肥对辣椒产量影响不同(图 1)。各施肥处理辣椒产量均显著高于对照(CK, 19 712 kg/hm<sup>2</sup>);施用化肥和有机肥的 4 个处理辣椒产量比对照增产 50% 以上,统计分析结果显示 CF 与 POF、FOF、ROF 对辣椒产量增产效果无显著差异。上述结果表明,在等氮量施用条件下,发酵床熟化垫料有机肥施用后辣椒产量同样能达到化肥和常规有机肥的效果。说明发酵床熟化垫料有机肥可以作为商品有机肥加以推广应用。



(图中小写字母不同表示处理间差异达到  $P < 0.05$  显著水平,下同)

图 1 不同肥料对辣椒产量的影响

Fig. 1 Effects of different fertilizations on the yield of pepper

由表 2 可知,施肥能对辣椒品质产生影响,不同的肥料所产生的影响有所不同。与 CK 比较,处理 CF 和 POF 辣椒果实体内维生素 C 含量明显降低,而处理 FOF 和 ROF 辣椒果实体内维生素 C 明显增加。CF 处理辣椒果实体内可溶性糖含量明显低于对照,而处理 POF、ROF、FOF 辣椒果实体内可溶性糖含量明显增加。各施肥处理辣椒果实硝酸盐含量没有明显差异,均低于国家标准 440 mg/kg(茄果类)<sup>[16]</sup>。与其他许多研究类似<sup>[17-19]</sup>,有机肥施用不仅增加作物产量,而且具有改良土壤、培肥地力和提高作物品质的特点。化肥虽然能提高作物产量,但对于土壤性状和作物品质的改善作用相对较小,长期施用化肥还可能会造成土壤酸化、土壤板结等问题<sup>[20]</sup>。

表 2 不同肥料对辣椒果实品质的影响  
Table 2 Effects of different fertilizations on the quality of pepper

| 处理  | 维生素 C(mg/g)    | 可溶性糖(mg/g)     | 硝酸盐(mg/kg)     |
|-----|----------------|----------------|----------------|
| CK  | 0.52 ± 0.02 ab | 1.69 ± 0.18 b  | 15.29 ± 1.19 a |
| CF  | 0.45 ± 0.03 b  | 1.48 ± 0.11 c  | 16.32 ± 1.47 a |
| POF | 0.47 ± 0.04 b  | 1.78 ± 0.21 ab | 19.12 ± 1.38 a |
| FOF | 0.56 ± 0.05 a  | 1.90 ± 0.10 a  | 17.29 ± 2.41 a |
| ROF | 0.59 ± 0.04 a  | 1.87 ± 0.24 a  | 15.87 ± 2.12 a |

注:表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到  $P < 0.05$  显著水平。

2.3 施用不同肥料对土壤中速效氮的影响

土壤氮的矿化是土壤氮素肥力的重要指标,是影响作物氮素营养和产量形成的重要因素<sup>[21]</sup>。土壤速效氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)是植物直接可以吸收利用的养分形态,其含量多少对植物的生长发育具有直接影响<sup>[22]</sup>。图 2 是辣椒各个时期土壤速效氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)的动态变化趋势。化肥氮在土壤中的溶解速度很快,CF 处理土壤速效氮含量在施肥后短期内迅速上升,移栽时 CF 处理土壤的速效氮含量明显高于其他处理;随着辣椒植株生长对氮素营养需求量的增加,土壤速效氮含量呈持续下降趋势,30 天达到最低;30 天后由于微生物的矿化作用超过植物的吸收,土壤中速效氮含量出现了少量的回升;60 天后 CF 处理土壤中速效氮含量又出现了持续下降,而施用有机肥的 3 个处理土壤中速效氮含量持续增加,这可能是由于 CF 处理土壤中有有机氮矿化速率无法满足作物生长需求,造成后期土壤中速效氮含量持续下降。试验结束后施用有机肥的 3 个处理的土壤速效氮含量均比化肥处理的高,这除了与有机肥氮素分解释放较慢<sup>[23]</sup>相关外,与化肥氮的损失较多也可能存在一定关系。

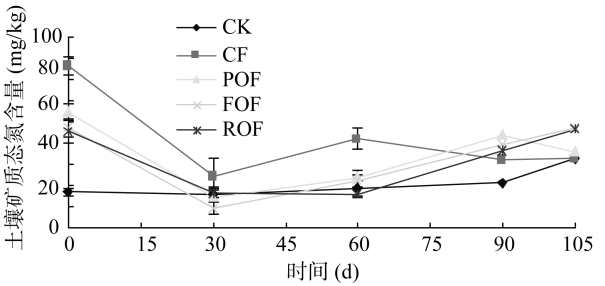


图 2 不同肥料对辣椒土壤中速效氮的影响

Fig. 2 Effects of different fertilizations on soil available nitrogen

2.4 不同处理对土壤微生物群落结构的影响

应用 PCR-DGGE 技术分离 16S rDNA V6~V8 片段 PCR 产物,可以看到 DNA 分离为若干条带(图 3),但不同处理样品的 16S rDNA 片段 PCR 产物出现的带型有一定的差别。对 DGGE 图谱进行初步统计发

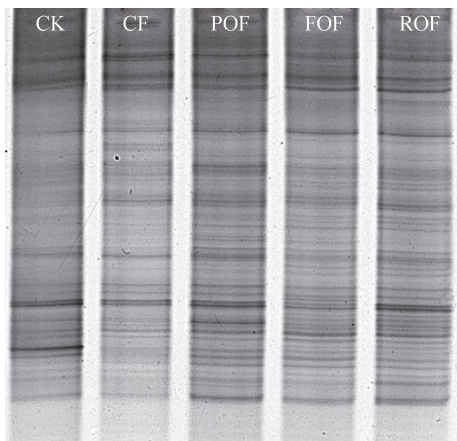


图 3 16S rDNA PCR 产物的 DGGE 图谱  
Fig. 3 DGGE profile and lane comparison of amplified 16S rDNA fragments from soil samples

现：5 个处理的样品在 DGGE 图谱中电泳条带数目、强度和迁移率均存在一定的差异。不同处理土壤间含有大量共同的条带，土壤来源相同，存在着一定数量的共有的土著微生物；但是这些公共条带的亮度并不完全相同，说明不同处理土壤细菌在 DNA 水平上已有明显的改变。通过观察图 3 的 DGGE 图谱可以进一步比较样品细菌群落的差异，各处理样品含有丰富

的细菌群落组成，不同处理样品之间有一定的差异。

利用软件 Quantity One(Quantity One 4.6.9, Bio-Rad,  $P<0.05$ )将 DGGE 图谱转换为数字模式，并计算各个样品的 Shannon-Wiener 指数 ( $H$ )、丰度 ( $S$ ) 和均匀度指数 ( $E_H$ )，结果见表 3。施肥后 Shannon-Wiener 指数和丰度与 CK 比较明显提高，处理 CF、POF、FOF 和 ROF 的 Shannon-Wiener 指数分别提高到 3.334 0、3.454 0、3.388 6 和 3.381 6，丰度由 25 提高到了 30 以上，施肥能提高土壤中细菌群落的多样性尤其是施用有机肥。采用邻接法(Neighbor joining)通过软件 Quantity One 对 DGGE 图谱进行相似分析，可将 5 个处理分为 3 大类型(图 4)，CK 和 CF 群落结构相似，为第一种类型；POF 单独为第二种类型；FOF 和 ROF 群落结构相似，为第三种类型。施入外源有机肥料可能明显改变土壤的细菌群落结构，而施入化肥对土壤的细菌群落结构影响不大。不同的有机肥对土壤群落结构改变是不同的，常规猪粪有机肥和不同来源的发酵床熟化垫料有机肥对土壤群落结构改变存在差异，不同来源的发酵床熟化垫料有机肥对土壤群落结构改变比较相似。

表 3 不同样品细菌的多样性指数、丰度和均匀度  
Table 3 Shannon-Wiener index ( $H$ ), Richness ( $S$ ) and Evenness ( $E_H$ ) of the bacterial popularity

| 指标    | CK      | CF      | POF     | FOF     | ROF     |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $S$   | 25      | 31      | 34      | 32      | 32      |
| $H$   | 3.186 4 | 3.334 0 | 3.454 0 | 3.388 6 | 3.381 6 |
| $E_H$ | 0.966 8 | 0.983 9 | 0.979 5 | 0.977 7 | 0.975 7 |

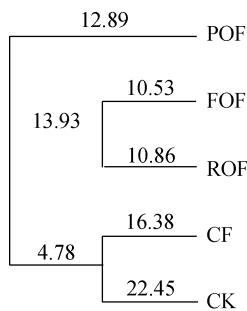


图 4 DGGE 图谱系统分析  
Fig. 4 DGGE systems analysis of 16S rDNA profiles of bacterial communities in soil samples

运用 PCR-DGGE 技术对土壤中细菌群落进行分析具有明显的优势，但是其分辨率易受诸多因素影响，PCR-DGGE 技术不能将样品中所有的 DNA 片段进行分离，只能分离样品中的优势种群，而且这些 DNA 片段容易受 PCR 条件的影响产生偏差<sup>[24-25]</sup>。尽管 PCR-DGGE 技术存在一些不足，但到目前为止仍然是一种比较常见的研究不同环境中微生物群落变

化的工具。蒋小芳等<sup>[26]</sup>的试验表明施用菜粕堆肥、猪粪堆肥和中药渣堆肥后，显著提高了土壤微生物量碳、氮含量，明显改变了土壤的微生物区系。徐永刚等<sup>[27]</sup>在长期定位试验土壤中发现不同施肥处理的细菌 16S rDNA 多数条带分布相同，但其数量受到施肥的影响；长期施用有机肥促进潮棕壤细菌群落结构的多样性，而施用化肥处理则降低了其多样性。本研究利用 PCR-DGGE 技术分离辣椒成熟期的土壤，结果表明施肥能够改变土壤中微生物多样性，施用有机肥对土壤微生物多样性改变的效果比化肥大；不同来源的有机肥(常规猪粪有机肥与发酵床熟化垫料有机肥)对土壤中微生物区系改变方向不一样，来源接近的有机肥(FOF 和 ROF)对土壤微生物区系改变趋势一致。

### 3 结论

发酵床熟化垫料经过再次高温堆置发酵后形成的有机肥总养分含量为 50 g/kg 以上，重金属和粪大

肠杆菌含量符合行业标准, 蛔虫卵死亡率 95% 以上, 可以作为一种商品有机肥产品使用。在等氮量施用条件下, 发酵床熟化垫料有机肥 ROF 和 POF 施用后辣椒产量达到  $3 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ , 与化肥和常规有机肥 POF 的产量相当; 与 CF 比较, ROF 和 POF 能提高辣椒品质、改善土壤肥力、提高土壤中速效氮含量。5 个处理细菌群落结构可大致分为 3 种类型, CK 和 CF 群落结构相似, POF 单独一类, FOF 和 ROF 群落结构相似, 施肥能够改变土壤中微生物多样性, 施用有机肥对土壤微生物多样性改变的效果比化肥大; 不同来源的有机肥对土壤中微生物区系改变方向不一样, 来源接近的有机肥对土壤微生物区系改变趋势一致。

### 参考文献:

- [1] 王远孝, 李雁, 钟翔, 黄进, 王恬. 猪用发酵床的研究与应用[J]. 家畜生态学报, 2007, 28(6): 139-142
- [2] 胡海燕, 于勇, 张玉静, 徐晶, 孙建光. 发酵床养猪废弃垫料的资源化利用评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 252-258
- [3] 蓝江林, 刘波, 唐建阳, 郑雪芳, 叶耀辉. 基于微生物发酵床养猪模式的生态安全探讨[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 324-326
- [4] Philippea FX, Laitat M, Canart B, Vandenheede M, Nicks B. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter[J]. Livestock Science, 2007, 111(122): 144-152
- [5] 朱洪, 常志州, 叶小梅, 费辉盈. 基于畜禽废弃物管理的发酵床技术研究: 高湿热季节养殖效果评价[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 354-358
- [6] 王诚, 张印, 王怀忠, 郭建凤, 武英. 发酵床饲养模式对猪舍环境、生长性能、猪肉品质和血液免疫的影响[J]. 山东农业科学, 2009, 11: 110-112
- [7] 盛清凯, 王诚, 武英, 郭建凤, 赵红波, 张桂芝. 冬季发酵床养殖模式对猪舍环境及猪生产性能的影响[J]. 家畜生态学报, 2009, 30(1): 82-85
- [8] 秦枫, 潘孝青, 顾洪如, 徐小波, 杨杰, 刘鏊. 发酵床不同垫料对猪生长、组织器官及血液相关指标的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(1): 130-134
- [9] 中华人民共和国农业部. 有机肥料标准(NY-525 2012)[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 180-181
- [11] Luo J, Ran W, Hu J, Yang XM, Xu YC, Shen QR. Application of bio-organic fertilizer significantly affected fungal diversity of soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(6): 2 039-2 048
- [12] 罗佳, 蒋小芳, 孟琳, 黄启为, 徐阳春, 沈其荣, 杨兴明. 不同堆肥原料的有机无机复合肥料对油菜生长及土壤供氮特性的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(1): 97-106
- [13] Mitali D, Todd VR, Laura GL. Diversity of fungi, bacteria and actinomycetes on leaves decomposing in a stream[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2007, 73(3): 756-767
- [14] Luo HF, Qi HY, Zhang HX. Assessment of the bacterial diversity in fenvalerate-treated soil[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2004, 20: 509-515
- [15] 中华人民共和国农业部. 畜禽粪便无害化处理技术规范(NY/T 1168-2006) [S]. 北京: 中国农业出版社, 2006
- [16] 国家质量监督检验检疫总局. 蔬菜中硝酸盐限量(GB 19338-2003)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003
- [17] 崔红艳, 许维成, 孙毓民, 牛俊义, 方子森. 施用有机肥对土壤水分、胡麻产量和品质的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 307-312
- [18] 颜明娟, 林琼, 吴一群, 张辉, 蔡顺香, 陈子聪. 不同施肥措施对茶叶品质及茶园土壤环境的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(3): 452-456
- [19] 田小明, 李俊华, 王成, 褚贵新, 危常州, 郑倩, 邓世伟. 连续 3 年施用生物有机肥对土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 土壤, 2014, 46(3): 481-488
- [20] 张北赢, 陈天林, 王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11): 182-187
- [21] 邵兴芳, 徐明岗, 张文, 黄敏, 周显, 朱平, 高洪军. 长期有机培肥模式下黑土碳与氮变化及氮素矿化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 326-335
- [22] 王常慧, 邢雪荣, 韩兴国. 草地生态系统中土壤氮素矿化影响因素的研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2 184-2 188
- [23] 王秋君, 张小莉, 罗佳, 黄启为, 沈其荣, 杨兴明. 不同有机无机复混肥对小麦产量、氮效率和土壤微生物多样性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1 003-1 009
- [24] Muyzer G, Waal EC, Uitterlinden AG. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction amplified genes encoding for 16S rRNA[J]. Appl. Environ. Microbiol., 1993, 59: 695-700
- [25] Muyzer G, Smalla K. Application of denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology[J]. Antonie van Leeuwenhoek, 1998, 73: 127-141
- [26] 蒋小芳, 罗佳, 黄启为, 徐阳春, 杨兴明, 沈其荣. 不同原料堆肥的有机无机复混肥对辣椒产量和土壤生物性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 766-773
- [27] 徐永刚, 宇万太, 马强, 周桦. 长期不同施肥制度对潮棕壤微生物生物量碳、氮及细菌群落结构的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2 078-2 085

## Effect of Organic Fertilizer from Deep-litter Pig Rearing on Pepper Yield and Soil Microbial Diversity

LUO Jia, LIU Li-zhu, WANG Tong, LIU Hai-qin, YAN Shao-hua, LU Xin,  
FAN Ru-qin, ZHANG Zhen-hua\*

(*Institute of Agricultural Resource and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences,  
Nanjing 210014, China*)

**Abstract:** With the enhancement of environmental policies and farmers' consciousness of environmental protection, deep-litter pig rearing technology has gradually accepted by farmers. However, difficulties in reuse of deep-litter restricted the extensive application of the pig rearing technology. In this study, two types of deep-litters were used to produce organic fertilizer with high-temperature composting (FOF and ROF). The total nutrient content (N, P and K) was higher than 50 g/kg. The contents of heavy metals and *Escherichia coli* did not exceed the standard. Mortality rate of ascaris egg was higher than 95%. All indexes conform to the standard of commercial organic fertilizer. Pepper yield in the treatment with deep-litter organic fertilizer was comparable to those with chemical fertilizer (CF) and conventional organic fertilizer (POF). The results of PCR-DGGE showed that bacteria diversity in the five treated soils could be classified into three clusters. Soil bacterial communities of CF and control belonged to the same cluster, while POF was in the second cluster. The soil bacterial communities of FOF and ROF were in the third cluster. Fertilization could affect soil microbial diversity. The application of organic fertilizers could alter soil bacterial communities, while the application of CF had little effect on soil bacterial communities. Organic fertilizers produced from various sources had different effects on soil bacterial communities, and those with similar origin had similar effect on soil bacterial communities.

**Key words:** Deep-litter pig rearing; Organic fertilizer; Pepper; Soil microbial diversity