

田 伟,刘明庆,席运官.微生物菌剂对以猪粪和香菇菌渣为原料的快速堆肥过程的影响[J].江苏农业科学,2013,41(6):301-304.

# 微生物菌剂对以猪粪和香菇菌渣为原料的快速堆肥过程的影响

田 伟,刘明庆,席运官

(环境保护部南京环境科学研究所,江苏南京 210042)

**摘要:**为了研究外源微生物菌剂对以猪粪和香菇菌渣为原料的快速堆肥过程的影响,本研究设计了添加外源菌剂和空白对照(CK)2个处理,每个处理设置3个重复,进行了实验室规模的小型堆肥发酵试验,整个堆肥过程为期14 d,同时监测堆肥过程中温度、含水率等主要理化指标的变化。结果表明:添加外源菌剂延长了堆肥过程处于高温阶段的时间,加速了有机质的降解和水分的利用,提高了堆肥产品中全氮、全磷和全钾的相对含量,并且使水溶性重金属离子和铵态氮的含量显著下降,使种子发芽率显著提高,但对堆肥过程中 pH 值的变化影响不大。本研究首次揭示了外源微生物菌剂对以猪粪和香菇菌渣为原料的快速堆肥过程的影响,具有一定的指导意义。

**关键词:**猪粪;菌渣;堆肥;外源微生物;理化指标

**中图分类号:** S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)06-0301-04

改革开放以来,随着农村经济的迅猛发展,畜禽养殖业向规模化和产业化的方向快速转变,随之产生的畜禽粪便与日剧增<sup>[1]</sup>;另外,作为一种高蛋白、低脂肪、低能量、物美价廉的食用菌,香菇已经成为人们日常饮食中不可缺少的部分<sup>[2]</sup>,香菇栽培业发展迅速,与此同时,栽培香菇后的菌渣也越来越多,这些废弃物如果不能有效地处理,不仅造成资源的极大浪费,而且当超过环境容纳和自净范围的营养物质和重金属进入环境时,就会引起环境污染,直接威胁人类健康。

堆肥技术是由群落结构演替非常迅速的多个微生物群体共同作用而实现的动态过程,是一种有效的处理农业固体废弃物的手段,相对于焚烧和填埋具有经济环保的特性,运用堆肥技术可以在短时间内使废弃物达到无害化、减量化和资源化<sup>[3-4]</sup>。腐熟的堆肥可以改善土壤的理化性质和生物学性质,提高土壤肥力,增强作物抗逆性,提高作物产量,改善作物品质<sup>[5]</sup>。近年来,在添加外源菌剂加速堆肥进程方面的研究较多,但大多以农作物秸秆作为堆肥调节剂,而针对香菇菌渣的报道较少。香菇菌渣中木质纤维素含量丰富,具有较高的 C/N 和较低的含水率,完全符合堆肥调节剂的特性,并且在香菇栽培过程中产生了大量的菌丝体,还可以为堆肥过程提供营养物质和外源微生物。本试验以猪粪和香菇菌渣为原料,进行了实验室规模的小型堆肥发酵试验,并且对整个堆肥过程中的主要物质变化进行了研究,期望能够为以猪粪和香菇菌渣为原料的大规模的堆肥示范工程提供一定的理论依据和技术支持。

收稿日期:2012-11-14

基金项目:国家科技重大专项(编号:2009ZX07211-001)。

作者简介:田 伟(1983—),男,山东聊城人,博士,助理研究员,研究方向为固体废弃物资源化利用以及微生物生态学。E-mail:tw79210@163.com。

通信作者:席运官,博士,研究员,研究方向为有机农业、农村环保与农业循环经济等。Tel:(025)85287062;E-mail:xygofree@126.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试菌剂购于江苏省淮安大华生物科技有限公司;堆肥所用的猪粪购于江苏省句容生态园养猪场;香菇菌渣由江苏省农业科学院蔬菜研究所馈赠;整个堆肥过程在南京农业大学牌楼温室内进行。此次堆肥所使用初始物料的理化性质如表1所示。

表1 堆肥初始物料的理化性质

| 堆肥物料 | 含水率<br>(%) | 全氮含量<br>(g/kg) | 全碳含量<br>(g/kg) | C/N   |
|------|------------|----------------|----------------|-------|
| 猪粪   | 75.35      | 24.37          | 318.10         | 13.05 |
| 香菇菌渣 | 10.15      | 16.02          | 329.57         | 20.57 |

注:表中的数值为3个重复的平均值。

### 1.2 试验设计

本试验以新鲜猪粪和香菇菌渣为主要原料,按6:1的重量比例混合均匀,使初始含水率在60%~65%之间,初始C/N约为12,设置添加菌剂和空白对照(CK)2个处理,每个处理3个重复,菌剂添加量为0.5%。每个处理发酵原料为21.0 kg,充分拌匀后装入长、宽、高分别为50、40、50 cm的周转箱中,每天16:00测定堆体中心(堆体高度的1/2)和温室的温度,然后人工翻堆。在堆肥进行到第1、第5、第10、第15天时,混匀原料翻堆,任选3点进行样品采集,每个点采集的样品量均为200 g,充分混匀,分成2份,一份保存于4℃冰箱,一份自然风干。

### 1.3 测定指标以及测定方法

堆体温度使用水银温度计插入堆体中心测得,同时记录环境的温度;含水率为新鲜堆肥样品105℃烘干获得;自然风干的样品粉碎后一部分过20目筛,用于全磷、全钾的含量测定,全磷含量的测定采用浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消化钒钼黄比色法,全钾含量的测定采用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消化火焰光度计法;一部分过100目筛,采用VarioEL元素分析仪测定堆肥的全

碳及全氮的含量,并由此得到 C/N;4℃冰箱保存的样品用去离子水按肥水比 1 g:10 mL 在室温条件下于 200 r/min 水平振荡提取 2 h(可溶性重金属震荡 24 h),过滤,部分滤液用于测定 pH 值和发芽指数(GI),发芽指数的测定参考 Zucconic 等的方法<sup>[6]</sup>,具体计算公式为:发芽指数=(滤液组种子发芽率×滤液组种子发芽根长)/(对照组种子发芽率×对照组种子发芽根长)×100%。另一部分滤液于 4℃、12 000 r/min 下离心 15 min,上清液经 0.45 μm 滤膜过滤后,采用流动分析仪(BRAN+LUEBBE)测定水溶性铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N),使用 ICP-OES(Spectroflame Modula E Spectro Analytical Instruments)进行水溶性重金属离子的测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 接种微生物菌剂对堆肥过程中温度变化的影响

堆肥堆体并非完全均一,因此同一堆体的不同位置、不同层次温度相差很大,但是温度仍能反映不同阶段微生物的代谢活性,是堆肥化过程最直观也是最重要的参数。由图 1 可知,无论是空白对照还是接种微生物菌剂的处理,整个堆肥过程根据不同的温度分为升温、高温和降温腐熟等 3 个阶段,只是不同处理的每个阶段所处的时间稍有不同。空白对照和加菌处理均于第 3 天进入高温阶段(堆体温度高于 45℃),并且在堆肥的第 7 天获得最高温度,均为 63℃,之后堆体温度均有所降低,但是后期加菌处理的温度明显高于空白对照,空白对照的堆体温度在第 14 天时已经低于 45℃,进入降温腐熟阶段,而加菌处理在第 15 天时仍然高于 45℃(48.6℃),直接证明在堆肥过程中添加微生物菌剂有利于延长堆肥高温阶段的时间,这个研究结果与陈文浩等的报道<sup>[7]</sup>一致。另外,堆体温度在一定程度上受环境温度变化的影响。

Miller 曾报道堆肥化过程最佳的堆体温度范围为 52~60℃,当温度高于 63℃时,耐热微生物的活性将会迅速下降,代谢将受到严重的抑制<sup>[8]</sup>;但是堆体温度也不能太低,高于 55℃ 必须保持 3 d 以上才能杀死病原菌,达到无害化标准<sup>[9]</sup>。本试验的空白对照和加菌处理处于 55℃ 以上的时间分别为 5、7 d,完全达到了堆肥无害化的要求。

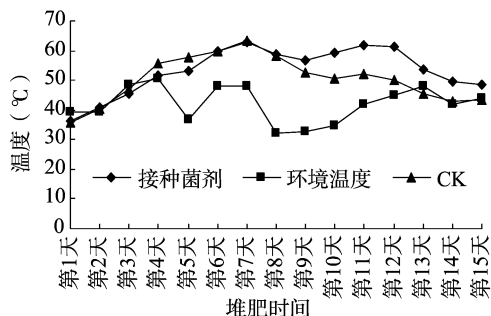


图1 堆肥过程中温度的变化

### 2.2 接种微生物菌剂对堆肥过程中含水率变化的影响

物料的含水率是影响堆肥过程的重要参数。含水率过高,整个堆体通气差,容易造成堆体局部厌氧,产生酸臭味,同时还不利于营养物质的渗出,造成养分损失;含水率过低,则容易使营养物质的传质阻力增大而导致微生物新陈代谢降低。一般情况下,最佳的含水率范围为 50%~60%<sup>[10]</sup>。如图 2 所示,随着堆肥的进行,加菌处理和空白对照的含水率均逐

渐降低,并且在第 5 天至第 15 天下降得最剧烈,第 15 天时加菌处理与空白对照分别比第 5 天减少了 21.74%、19.91 百分点,这与堆肥所处的高温阶段是相符合的,堆体处于高温阶段,微生物的代谢活动比较旺盛,有机物降解速度较快,所以水分利用和蒸发的速率也较快。到堆肥结束后,加菌处理和空白处理的含水率分别为 35.27%、38.91%。从整个堆肥过程来看,接种菌剂更有利于堆肥过程中水分的散失。

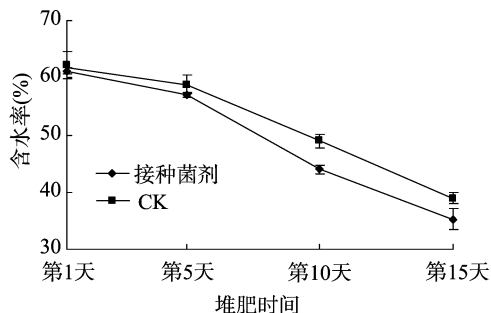


图2 堆肥过程中含水率的变化

### 2.3 接种微生物菌剂对堆肥过程中 pH 值的影响

如图 3 所示,空白对照处理与加菌处理 pH 值的变化趋势基本一致,在堆肥第 1 天至第 5 天迅速上升,第 5 天至第 15 天则维持在 7.5 左右。堆肥的 pH 值上升,一方面由于有机酸或被微生物降解利用或者挥发<sup>[11]</sup>;另一方面由于蛋白质降解,产生了大量的 NH<sub>3</sub> 释放到堆体中<sup>[12]</sup>。堆肥第 10 天接种菌剂样品的 pH 值略微高于空白对照,可能是由于添加的微生物菌剂使有机物质的代谢加强的缘故。一般情况下,pH 值并不是堆肥成功的关键因素,但是可以通过控制 NH<sub>3</sub> 的挥发来控制堆肥过程中氮元素的损失,尤其当 pH 值高于 7.5 时。因此,堆肥过程的 pH 值调节也是非常必要的。Mari 等使用天然的硫磺来解决堆肥过程中 pH 值过高的问题<sup>[13]</sup>。

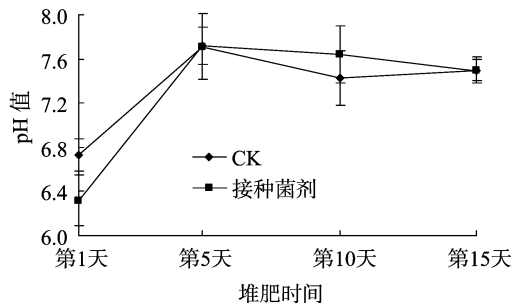


图3 堆肥过程中pH值的变化

### 2.4 接种微生物菌剂对堆肥过程中全碳、全氮含量以及 C/N 的影响

在堆肥过程中,有机质在微生物的作用下,一方面被不断被分解为 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 等小分子物质散失到环境中,另一方面有机物质被高分子化,转化为腐殖质等稳定的物质<sup>[14]</sup>。因而,在堆肥过程中,微生物代谢越活跃,有机质减少得越快。如图 4-A 所示,加菌处理和空白对照的全碳含量在堆肥过程中均逐渐降低,第 15 天的全氮含量分别比第 1 天下降了 19.19%、22.86%,并且在堆肥的第 10 天至第 15 天加菌处理的含水率下降得更加明显,这与含水率的变化基本相符。如图 4-B 所示,在整个堆肥过程中,加菌处理和空白对照的全氮含量均呈先降低后增加的趋势,第 15 天堆肥样品中全氮含

量分别达到了 29.99、27.03 g/kg,说明在堆肥过程中添加微生物菌剂更有利于维持氮元素。堆肥前期,微生物降解蛋白质类物质产生大量的氨,同时频繁的翻抛作用加大了堆体与外界环境的接触面,使部分氮以  $\text{NH}_3$  的形式挥发而使堆体全

氮含量不断减少。但是,由于堆体中水分的不断散失和有机质不断分解,总干物质重量的下降幅度明显大于全氮含量的下降幅度,最终使得干物质中全氮含量相对增加。堆肥后期,固氮菌的固氮作用也有助于堆肥中全氮含量的增加。

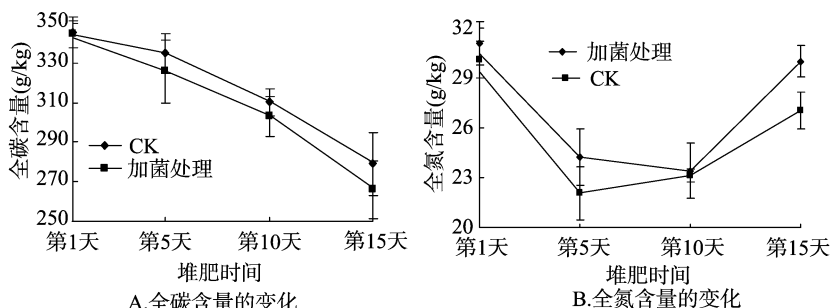


图4 堆肥过程中全碳含量和全氮含量的变化

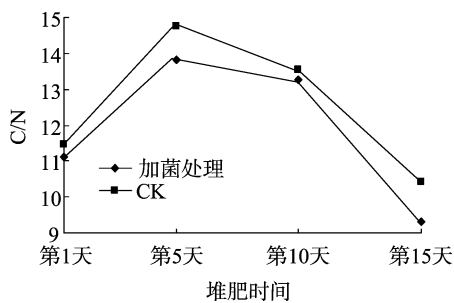


图5 堆肥过程中C/N的变化

如图5所示,在整个堆肥过程中,加菌处理和空白对照的C/N均呈现先上升后下降的趋势,本试验的研究结果与Tang等以猪粪和稻草为原料所得到的变化趋势<sup>[15]</sup>一致。堆肥前期C/N增加,主要是由初始物料的C/N过低所引起的,因为微生物合成1份细胞物质约需要1份氮源和25份碳源,因此堆肥原始物料的C/N在25~35之间更有利于堆肥,若C/N过低,氮素不能有效固定且容易大量损失<sup>[16]</sup>。但是,由于猪粪和香菇菌渣的C/N均较低,若想将C/N调节到理想的范围是不可能的,因此氮素的损失是难以避免的。另外,在整个堆肥过程中添加微生物菌剂的处理的C/N始终低于空白对照,这进一步证明了微生物菌剂的添加有利于堆肥过程中有机物的降解和氮素的维持。

#### 2.5 接种微生物菌剂对堆肥过程中氨态氮含量的影响

铵态氮包括堆体降解含氮物质产生的铵离子及翻堆产生的氨溶于水形成的铵离子。当堆体中降解含氮类物质产生的铵态氮的速率大于堆体中铵态氮转化为气态氮挥发的速率时,堆体中的铵态氮含量就会逐步增加;反之,其含量逐渐减少。在本试验中,随着堆肥时间的推进,铵态氮含量逐渐下降。在堆肥的第1天,加菌处理和空白对照的铵态氮含量分别为3.27、3.16 g/kg,堆肥结束时则分别为1.06、1.28 g/kg,铵态氮的损失率分别为67.58%、59.49%,加菌处理的铵态氮含量在堆肥初期稍微高于空白对照,可能是由外源微生物的加入以及较强的代谢活性引起的。

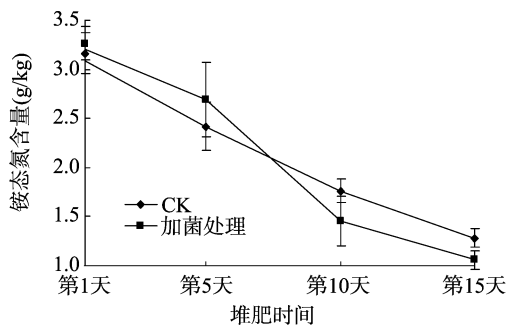


图6 堆肥过程中氨态氮的变化

#### 2.6 接种微生物菌剂对堆肥过程中全磷和全钾的影响

如图7所示,空白对照和加菌处理的全磷和全钾的相对含量在整个堆肥过程中均逐渐增加,经过14 d的快速堆肥,空白对照中的磷和钾元素的相对含量分别增加了26.86%、

19.94%,而加菌处理的磷和钾元素的相对含量分别增加了35.89%、27.29%,均明显高于空白对照处理,这可能主要是由于添加的微生物菌剂加强了堆肥的代谢活性,使有机物的分解更加彻底,该结果与不同处理堆肥样品的感官分析结果(本研究未列出)一致,加菌处理的堆肥样品与空白对照相比几乎无团块状,且颜色更深。

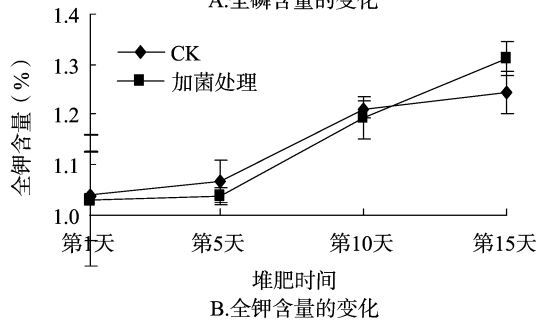
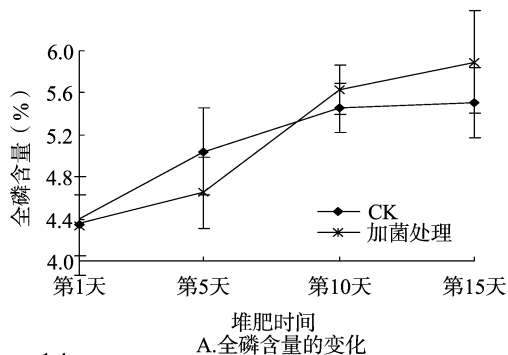


图7 堆肥过程中全磷含量和全钾含量的变化

#### 2.7 接种微生物菌剂对堆肥过程中水溶性重金属离子含量的影响

水溶性重金属离子是畜禽粪便中常见的污染物,其稳定性较差,极易被植物吸收利用,与生态安全和人类的健康息息相关。因此,本试验对以猪粪和香菇菌渣为原料的堆肥过程中的水溶性金属离子进行了研究,结果如表2所示。随着堆肥的进行,水溶性Cd、Cr、As的含量总体呈现逐渐下降的趋势(在个别时间段稍有反复),并且除空白对照中的As外,均于第15天时最低,这可能是由于堆肥过程中腐殖酸含量的增加络合了部分重金属离子。该研究结果与Tian等以牛粪和猪粪为原料的堆肥过程<sup>[17]</sup>基本相似。另外,加菌处理的水溶

性重金属离子的最终含量均低于空白对照,一方面可能是由于添加的部分微生物菌剂对重金属离子具有富集作用,另一方面则可能是由于较强的微生物代谢更有利于腐殖酸类物质的形成。在所有的堆肥样品中,均没有检测到 Pb 和 Hg。

表 2 水溶性重金属离子含量在堆肥过程中的变化

| 堆肥时间   | 空白对照干料中重金属含量(g/kg) |      |      | 加菌处理干料中重金属含量(g/kg) |      |      |
|--------|--------------------|------|------|--------------------|------|------|
|        | Cd                 | Cr   | As   | Cd                 | Cr   | As   |
| 第 1 天  | 0.32               | 0.38 | 3.01 | 0.33               | 0.38 | 2.97 |
| 第 5 天  | 0.34               | 0.36 | 2.84 | 0.38               | 0.41 | 2.64 |
| 第 10 天 | 0.32               | 0.21 | 1.09 | 0.26               | 0.20 | 0.97 |
| 第 15 天 | 0.20               | 0.19 | 1.21 | 0.18               | 0.16 | 0.85 |

注:样本量  $n$  为 3;其中 Pb、Hg 均未检测到。

2.8 接种微生物菌剂对堆肥过程中种子发芽指数

相对于其他的理化指标,发芽指数能够直接反映堆肥浸提液对植物毒性的大小。如图 8 所示,整个堆肥过程中,空白对照和加菌处理发芽指数均逐渐增加,空白对照和加菌处理的堆肥原始物料的发芽指数分别为 76.13%、77.91%;但是随着堆肥化的进行,小分子有机酸类物质一部分挥发,一部分被微生物利用,其他毒性物质如  $\text{NH}_4^+$  一部分以  $\text{NH}_3$  的状态挥发,一部分被微生物利用或通过硝化作用生成  $\text{NO}_3^-$ ,而重金属离子被大分子物质络合,种子的发芽指数迅速上升,第 10 天分别增加至 105.88%、103.21%,第 1 天至第 10 天的堆肥样品中空白对照和加菌处理的发芽指数没有明显的差异;但是第 15 天时加菌处理的发芽指数明显高于空白对照,说明加菌处理的堆肥浸提液对植物生长具有明显的促生作用。Zucconi 等认为,当发芽指数高于 50% 时,堆肥已经腐熟<sup>[5]</sup>;而 Ko 等则认为 110% 的发芽指数更适合作为以畜禽粪便为原料的堆肥腐熟的标准<sup>[18]</sup>。在本试验中堆肥发芽指数在第 1 天就达到了 70% 以上,结合其他理化指标不难发现,110% 的阈值显然更适合于以猪粪和香菇菌渣作为初始原料的堆肥化过程,因此可以认为堆肥在第 15 天时已经腐熟。

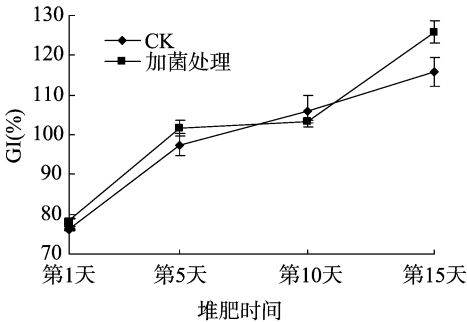


图8 堆肥过程中发芽指数的变化

3 结论

本试验直接证明了以香菇菌渣和猪粪为主要原料发酵堆肥是完全可行的。在以猪粪和香菇菌渣为原料的堆肥中添加微生物菌剂,能够延长堆肥处于高温阶段的时间,促进有机质的降解和水分的利用,并且可以明显改善堆肥产品的品质,提高其全氮、全磷和全钾的含量。添加微生物菌剂的堆肥产品中的水溶性重金属离子和铵态氮的含量明显低于空白对照,总的来说,微生物菌剂有助于去除有毒、有害物质,最直观的表现就是堆肥浸提液发芽指数的明显提高。

参考文献:

[1] 刘连生,朱洪涛,孟凡刚. 利用牛粪生产生物有机肥试验研究[J]. 科协论坛,2008(10):74.

[2] 李用芳,李学梅,李鹤宾. 香菇木屑菌渣营养成分分析及在平菇菌种生产中的应用[J]. 微生物学杂志,2001,21(3):59-60.

[3] Goyal S,Dhull S K,Kapoor K K. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity[J]. Bioresource Technology,2005,96(14):1584-1591.

[4] Castaldi P,Garau G,Melis P. Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions[J]. Waste Management,2008,28(3):534-540.

[5] He X T,Logan T J,Trainee S J. Physical and chemical characteristics of selected U. S. municipal solid waste composts[J]. Journal of Environmental Quality,1995,24:543-552.

[6] Zucconi F,Monaco A,Forte M,et al. Phytotoxins during the stabilization of organic matter[M]//Grasser J K R. Composting of agricultural and other wastes. London:Elsevier Applied Science,1985:73-88.

[7] 陈文浩,王彦杰,荆瑞勇,等. 微生物菌剂对条垛式堆肥中氮素变化的影响[J]. 农机化研究,2011,33(12):179-182,186.

[8] Miller F C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors[M]//Metting F B Jr. Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management. New York: Marcel Dekker,1992:515-544.

[9] 李国学,李玉春,李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报,2003,22(2):252-256.

[10] Gajalakshmi S,Abbasi S A. Solid waste management by composting: state of the art[J]. Environmental Science and Technology,2008,38:311-400.

[11] Mondini C,Abate M T,Leita L,et al. An integrated chemical, thermal, and microbiological approach to compost stability evaluation[J]. Journal of Environmental Quality,2003,32(6):2379-2386.

[12] Cegarra J,Albuquerque J A,Gonzalez J,et al. Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product ("alperujo") managed by mechanical turning[J]. Waste Manag,2006,26(12):1377-1383.

[13] Ioanna M,Constantinos E,Maria K,et al. Use of sulfur to control pH in composts derived from olive processing by-products[J]. Compost Science and Utilization,2005,13(4):281-287.

[14] Inbar Y,Hadar Y,Chen Y. Recycling of cattle manure:the composting process and characterization of maturity[J]. Journal of Environmental Quality,1992,22(4):857-863.

[15] Tang Z,Yu G H,Liu D,et al. Different analysis techniques for fluorescence excitation-emission matrix spectroscopy to assess compost maturity[J]. Chemosphere,2011,82(2):1202-1208.

[16] Bernal M P,Albuquerque J A,Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment:a review[J]. Bioresource Technology,2009,100(22):5444-5453.

[17] Tian W,Li L L,Liu F,et al. Assessment of the maturity and biological parameters of compost produced from dairy manure and rice chaff by excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy[J]. Biore-source Technology,2012,110:330-337.

[18] Ko H J,Kim K Y,Kim H T,et al. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure[J]. Waste Management,2008,28(5):813-820.