

# 复合微生物菌剂在有机堆肥中的应用研究

孙 干<sup>1,2</sup>, 裴宗平<sup>1,2</sup>, 涂永成<sup>1,2</sup>, 孔 静<sup>1,2</sup>, 张 鑫<sup>1,2</sup>

(1. 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221116; 2. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116)

**摘 要:**以牛羊粪和小麦秸秆为试材, 其中添加自行研制的复合微生物菌剂和购自市面的商业复合微生物菌剂, 采用高温好氧堆肥方法, 研究了不同堆肥处理条件下堆体温度、pH 值、电导率、含水率、胡敏酸含量、有机质含量、全氮含量、C/N 和种子发芽率等堆肥指标的变化。结果表明: 自研和商业复合微生物菌剂的添加均能延长堆肥的高温期, 且前者堆肥温度最高。在整个堆肥过程中, 添加复合微生物菌剂的 2 个处理含水率均低于 CK 处理, 说明二者提前进入腐熟阶段。2 种复合微生物菌剂的添加促进了堆体中有机物的分解和腐殖质的生成, 提高了种子发芽率和全氮含量。综合评价, 自研复合微生物菌剂的堆肥效果优于商业复合微生物菌剂。

**关键词:**高温好氧堆肥; 自研复合微生物菌剂; 商业复合微生物菌剂; 堆肥效果

**中图分类号:**Q 945.78; S 144 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)15-0166-05

传统堆肥法一般利用堆制原料中的土著微生物来降解有机污染物, 因而存在发酵时间长、产生臭味且肥效低等问题<sup>[1]</sup>。人工加入高效微生物菌剂可以调节菌群结构、提高微生物活性, 从而提高堆肥效率、缩短发酵周期、提高堆肥制品质量<sup>[2]</sup>。冯明谦等<sup>[3]</sup>、王卫平等<sup>[4]</sup>的研究发现接种微生物菌剂对堆肥腐熟速度、堆肥产品质量、环境影响控制都有一定促进作用。

现通过微生物试验筛选分离出取自山西大同当地牛羊粪中的解无机磷菌、解有机磷菌、解钾菌和固氮菌 4 类有益菌种, 进行纯化和扩增培养, 研制出堆肥用复合微生物菌剂。将自行研制的复合微生物菌剂和购自市面的商业复合微生物菌剂添加到牛羊粪中进行好氧堆肥试验, 并设置空白对照组(CK), 定期测定堆肥的温度、pH 值、电导率、含水率、胡敏酸含量、有机质含量、全氮含量、C/N 以及种子发芽率等指标, 对比分析不同处理条件下的堆肥效果, 从而为今后微生物菌剂在有机堆肥中的应用提供参考依据及技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试菌种主要筛选自大同刘官庄养殖场新鲜牛羊

粪及恒山油松植物根际土壤, 新鲜牛羊粪取自徐州市某养殖场, 以本地的小麦秸秆为调理剂。试验场地选择在中国矿业大学环境与测绘学院一楼绿化区, 面积约 20 m<sup>2</sup>。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 复合微生物菌剂的制备** 采用阿须贝氏(Ashby)固体培养基分离、纯化固氮菌; 采用硅酸盐细菌固体培养基分离、纯化解钾菌; 采用磷酸钙盐无机磷固体培养基分离、纯化解无机磷菌; 采用卵黄固体培养基分离、纯化解有机磷菌。分别将活化后的菌株两两相交划线接种在 LB 平板培养基上做拮抗试验, 试验表明各菌株之间均无拮抗反应。分别将解无机磷菌、解有机磷菌、解钾菌和固氮菌 4 种菌落的菌悬液 6 mL 接种于 250 mL LB 液体培养基中, 将混合的菌液置于 30℃、160 r/min 的恒温摇床中发酵培养, 每天开盖透气 0.5 h, 并测定菌群的组成和数量, 其中, 有机磷菌含量达到 10<sup>8</sup> 个/mL, 解钾菌为 10<sup>7</sup> 个/mL, 解无机磷菌和固氮菌为 10<sup>5</sup> 个/mL。

**1.2.2 堆肥试验** 堆肥采用堆体式好氧发酵技术, 堆体大小为长 1.5 m、宽 1.0 m、高 0.8 m。首先将取自农家的小麦秸秆粉碎成 2~3 cm 后加入新鲜的牛羊粪中调节堆体 C/N, 使其为 25, 并加水调节水分至 60%, 然后将堆体平均分为 3 份, 分别向其中 2 份堆体表层喷洒自研的复合微生物菌剂和商业菌剂, 添加比例为菌剂: 堆体=1:1 000, 采用人工翻堆的方式将其混匀, 并在堆体上面盖膜保温。以不添加任何复合微生物菌剂为对照。堆肥初期每天要人工翻堆一次, 堆肥后期每 3 d 翻堆一次。从堆肥第 3 天开始采样, 每 3 d 采样一次, 每次等量

**第一作者简介:**孙干(1991-), 男, 山东鱼台人, 硕士研究生, 现主要从事矿山生态修复等研究工作。E-mail:1017258079@qq.com.

**责任作者:**裴宗平(1963-), 男, 江苏丰县人, 博士, 教授, 硕士生导师, 现主要从事矿区生态修复与环境规划及地下水污染治理等教学与科研工作。E-mail:peizp689@163.com.

**基金项目:**山西省“十二五”重大专项资助项目(20121101008)。

**收稿日期:**2015-03-15

采集堆体表层、中层、深层的样品,并进行均匀混合,然后采用四分法取样品 3 kg 装入密封袋中待测。

### 1.3 项目测定

堆体温度测量采用温度计;pH 值测定采用 PhS-4A 型酸度计<sup>[5]</sup>;电导率测定采用 DDS-11AT 电导率仪<sup>[5]</sup>;含水率测定采用铝盒烘干法<sup>[5]</sup>;有机质测定采用灼烧法<sup>[5]</sup>;种子发芽率(GD)测定采用黄豆种子发芽率试验<sup>[6]</sup>;总有机碳测定采用标准重铬酸钾法<sup>[7]</sup>;含氮量测定采用凯氏定氮法<sup>[7]</sup>;C/N 由总有机碳/全氮求得。

### 1.4 数据分析

使用 Excel 2007 对试验数据进行基本处理,用 DPS 软件对数据进行显著性分析,用 Origin 8.5 进行作图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同堆肥处理条件下堆体温度的变化分析

堆肥温度变化是整个堆肥进程的宏观反应,可以直观的表现堆肥的腐熟程度,也是影响堆肥中微生物活动和取决堆肥能否顺利进行并完成的重要因素<sup>[8]</sup>。从图 1 可以看出,空白堆肥、自研菌堆肥和商业菌堆肥都表现出升温、降温和腐熟 3 个阶段,并在堆肥 21 d 进行了第 2 次发酵。在发酵第 2 天,3 种处理的堆料温度都迅速升高,达到了 65~75℃。在发酵的 3~20 d,3 种堆体的温度都超过 50℃,达到了复合堆肥的无害化卫生指标。在升温阶段,自研菌的堆肥温度最高,且持续的时间最长,波动较小,其次是商业菌堆肥。在堆肥第 21~24 天,3 种发酵处理温度都有明显回升,因为翻堆后堆体进行了第 2 次发酵,但明显低于第 1 次发酵的温度。堆肥 24~40 d 内,堆肥温度开始持续降低,自研菌堆体温度明显低于空白堆肥和商业菌堆肥温度,提前进入腐熟阶段,空白堆肥和商业菌堆肥的温度及变化趋势相当。在堆肥第 40 天时,3 种处理的堆体温度都趋于稳定,较接近环境温度,说明堆肥已经基本腐熟。从发酵的时间来看,自研菌和商业菌堆肥的发酵时间均比空白堆肥时间短,其中自研菌的发酵时间为 29 d,比 CK 缩短 11 d,而且在发酵前期,自研菌堆肥在高温期比较稳定。综上所述,在整个发酵过程中,自研菌的发酵效果最好,其次是商业菌,没有添加任何菌剂的空白对照发酵效果最差。

### 2.2 不同堆肥处理条件下堆体 pH 值的变化分析

堆肥过程中堆体微生物的有机降解活动,需要在一个适宜的酸碱条件下进行,研究认为,堆体的最适 pH 为 8~9, pH 值过高或过低都会影响堆体微生物的生长繁殖,影响堆肥进程。由图 2 可知,在整个堆肥过程中,3 组处理的堆肥 pH 值基本都处于 8~9 之间,满足了堆肥

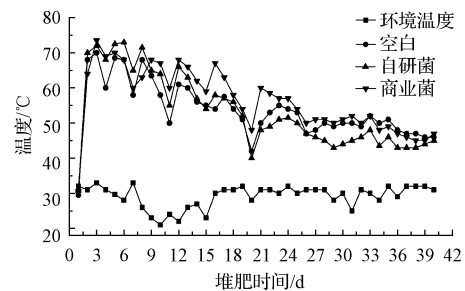


图 1 堆肥过程中堆体温度的变化

微生物降解所需要的最佳酸碱条件。其中,商业菌堆肥的 pH 值略高于空白对照组和自研菌堆肥,可能与商业菌所含的微生物种类较多有关。自研菌堆肥的 pH 值略低于对照组,可能与自研菌的微生物种类及物料的配比有关。堆肥 3~7 d,自研菌和商业菌堆肥的 pH 值出现了明显的下降,主要由于堆肥过程中产生了大量的有机酸。随着高温阶段堆肥的进行,有机酸开始大量挥发,并分解含氮有机物产生氨,使堆肥的 pH 值开始升高,并达到最高值。但随着堆肥过程的进行,生成的小分子有机酸造成 pH 值下降,同时含氮有机物产生的氨又造成 pH 值回升。所以,堆肥过程中产生的有机酸和氨是造成 pH 值下降和上升的主要原因。

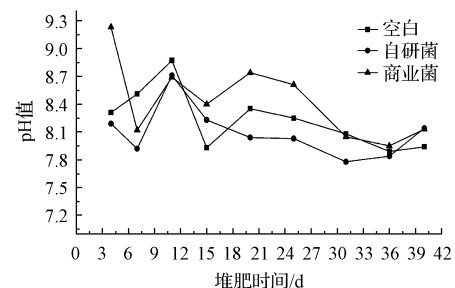


图 2 堆肥过程中堆体 pH 值的变化

2.3 不同堆肥处理条件下堆体电导率(EC)的变化分析  
堆肥 EC 反映的是堆肥中可溶性电解质铵态氮和硝态氮的总量,其值大小是评价堆肥腐熟的一个重要指标。由图 3 可知,3 个处理的 EC 变化趋势基本一致,堆

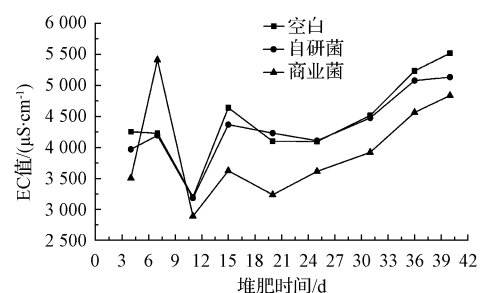


图 3 堆肥过程中堆体 EC 值的变化

肥刚开始时,EC 值较低,然后缓慢上升,高温阶段时迅速下降,降温阶段又缓慢回升。这主要是由于堆肥开始,堆体的浸提液主要来自堆体中的自由水,无机盐的含量较低。随着堆肥过程中水分的大量蒸发,堆体中的无机盐含量上升,EC 值升高。但在高温阶段,随着堆料的剧烈分解,产生的水分又使堆体中盐离子浓度降低,EC 值下降。降温阶段,随着堆体的逐渐腐熟和水分的散失,堆体 EC 值又逐渐升高。整个堆肥过程中,自研菌堆肥和空白堆肥的 EC 值大小相当,均大于商业菌堆肥的 EC 值,这可能与堆料的配比有关。

#### 2.4 不同堆肥处理条件下堆体含水率的变化分析

堆肥过程中水分对于微生物的生长繁殖和有机物质的分解是必不可少的,还可以通过水分蒸发调节堆体的温度。水分是影响堆肥效果的重要参数,含水率过高或过低,都将影响微生物的生长及活性<sup>[9]</sup>。过高会造成堆体的过分压实,造成通风供氧不畅,容易出现厌氧发酵;过低会降低微生物的降解速率,使发酵周期变长。从图 4 可以看出,自研菌的初始含水率与空白对照组相当,但堆肥过程中水分的下降速度明显快于空白对照组;商业菌的初始含水率低于空白对照组,堆肥过程中含水率的下降速度跟空白对照组相当。自研菌堆肥在第 25 天含水率已经下降到 26.1%,满足了堆肥的腐熟条件。商业菌堆肥在第 31 天下降到 27.17%,空白对照组堆肥在第 36 天才下降到 28.3%,勉强达到堆肥腐熟的条件。分析原因可能是自研菌高温阶段的温度较高且持续时间较长,水分蒸发较快,从而更早的进入腐熟,缩短了堆肥周期。

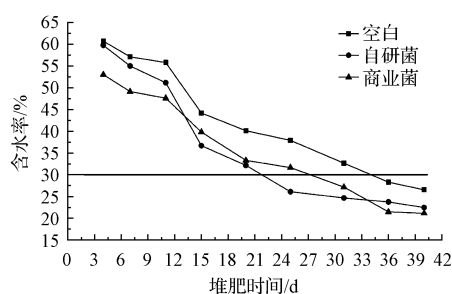


图 4 堆肥过程中堆体含水率的变化

#### 2.5 不同堆肥处理条件下堆体胡敏酸 $E_4/E_6$ 的变化分析

胡敏酸是土壤腐殖质的主要成分,胡敏酸  $E_4/E_6$  通常反应堆肥过程中腐殖质的缩合和芳构化。由图 5 可知,整个堆肥过程中 3 种处理的胡敏酸  $E_4/E_6$  整体呈上升趋势,空白对照组略有波动。随着堆肥的进行,胡敏酸  $E_4/E_6$  含量又有所下降,在堆肥后期,3 个处理的胡敏

酸  $E_4/E_6$  基本相同。但是在整个堆肥的过程中自研菌堆肥的胡敏酸  $E_4/E_6$  始终低于空白对照组和商业菌堆肥,说明加入的自研复合微生物菌剂能很好的促进腐殖质的缩合和芳构化。

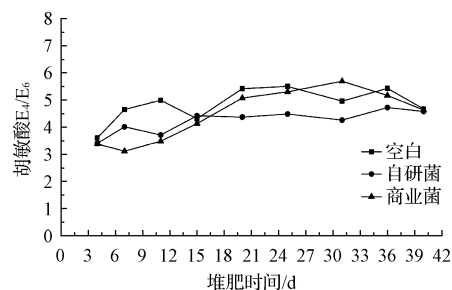


图 5 堆肥过程中堆体胡敏酸  $E_4/E_6$  的变化

#### 2.6 不同堆肥处理条件下堆体有机质含量的变化分析

堆肥过程中有机物在微生物的作用下会分解为  $CO_2$ 、水等小分子物质,并释放能量,促进堆体的升温,同时又会合成新的物质-腐殖酸。所以,在整个堆肥的过程中,堆体的有机质含量是逐渐减少的。从图 6 可以看出,在整个堆肥的过程中,空白对照组和自研菌及商业菌堆肥都呈现出整体下降的趋势。在堆肥的第 3~7 天,商业菌堆肥和空白对照组的有机质含量首先下降,可能是由于高温条件下,易降解的有机物优先被降解造成的;之后,有机质含量又逐步上升,可能由于短时间内堆体的体积变化较大造成有机质含量的回升。自研菌堆肥呈现出整体下降的趋势,波动较小,相对稳定。在整个堆肥的过程中,3 种处理的堆体有机物都得到了有效的分解,最终维持在 62%~68%,满足有机肥料的标准。其中,自研菌堆肥的有机质含量由最初的 74.02% 下降到 62.11%,下降了 16.09%,说明自研菌的微生物添加很好地促进了堆体的有机物分解,提高了堆体肥效。

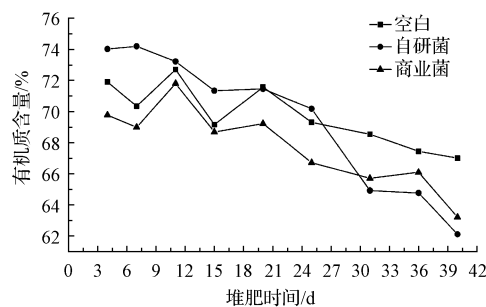


图 6 堆肥过程中堆体有机质含量的变化

#### 2.7 不同堆肥处理条件下堆体全氮含量的变化分析

氮是堆体的重要营养元素,氮含量的变化是反应堆



肥过程氮素变化的重要指标,也是反应堆体养分的重要指标。由图 7 可知,3 种处理都呈现出先下降后上升,再下降,最后再上升的变化趋势。堆肥刚开始,随着堆体温度的升高,含氮有机物在微生物的作用下,迅速转化为铵态氮,并在高温下挥发出去,造成含氮量的下降。随着堆肥的进行,有机物的大量分解导致堆体的减小,质量的减轻,造成全氮的绝对含量下降,但是相对含量呈现出上升的趋势。堆肥的整个过程中,自研菌堆肥的含氮量明显高于空白对照组和商业菌堆肥,商业菌和空白对照组相当,略高于对照组。说明自研菌中所含的固氮菌对堆肥的含氮量有很好的促进作用。

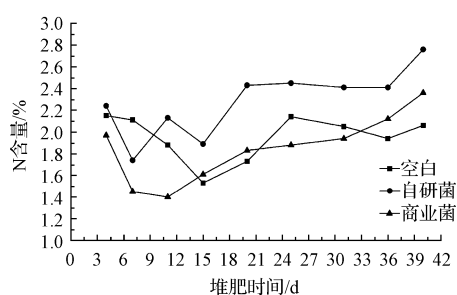


图 7 堆肥过程中堆体全氮含量的变化

## 2.8 不同堆肥处理条件下堆体 C/N 的变化分析

堆体的 C/N 是堆肥能否顺利进行的重要因素,是堆肥腐熟的一个重要评价指标,一般认为堆肥 C/N 低于 20 即达到腐熟<sup>[10-11]</sup>。在堆肥的过程中,C/N 过高或者过低都不利于堆肥的进行,过高会使铵态氮转化成氨气挥发而被损失掉,且产生臭味;过低会降低堆肥的腐熟的速度,延长堆肥腐熟所需的时间。从图 8 可以看出,在整个堆肥的过程中,3 组处理的 C/N 都保持了稳定下降的趋势。自研菌堆肥、商业菌堆肥和空白堆肥分别由原来的 24.17、25.54 和 23.4 下降到 14.09、16.54 和 14.59,都达到了腐熟的标准。自研菌堆肥和空白堆肥达到腐熟标准的时间要早于商业菌堆肥。试验中 C/N 下降,主要是因为堆肥过程中总碳和总氮都减少,且总碳的下降速度快于总氮。

## 2.9 不同堆肥处理条件下堆体种子发芽指数(GI)的变化分析

种子发芽指数是表征堆肥有无毒性的指标,不同种子对毒性的耐受程度也不同,黄豆种子 GI 达到 50% 就表示基本腐熟,大于 80% 就可认为完全没毒性。由图 9 可知,整个堆肥过程中,3 种处理的种子发芽指数都呈现稳定增长的趋势,都从开始的 0% 增长到 70% 以上,自研菌堆肥在第 20 天就达到了 50.33%,早于商业菌堆肥 5 d,空白堆肥 11 d。在堆肥第 11~41 天,自研菌

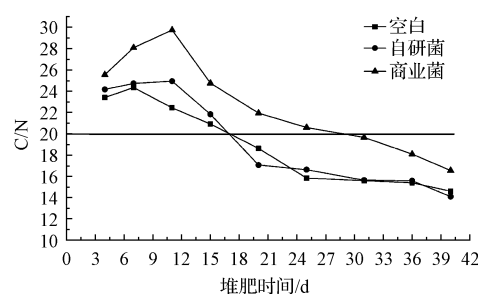


图 8 堆肥过程中堆体 C/N 的变化

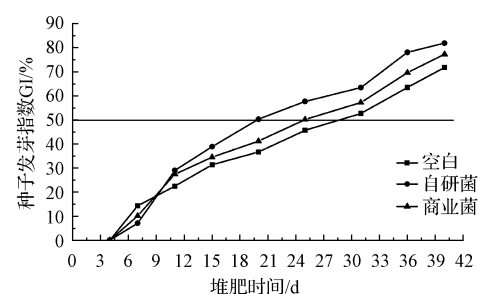


图 9 堆肥过程中堆体种子发芽指数的变化

堆肥的种子发芽指数一直优于商业菌堆肥和空白堆肥,说明自研复合微生物菌剂能快速、有效的分解有毒物质。

## 2.10 不同堆肥处理条件下堆体堆肥物理性质的变化分析

堆肥开始时为黑色,羊粪为粒状,牛粪为湿稠的泥状;堆肥第 2 天,堆体开始变成暗黑色,并有浓烈的臭味。随着试验的不断进行和翻堆次数的增加,到堆肥第 7 天时,臭味有了明显的降低,堆体开始变成块状,颜色也开始变成黑褐色。堆肥第 25 天,自研菌堆肥和商业菌堆肥基本没有臭味,物料变得干燥,呈现一定的颗粒状。堆肥第 30 天,空白对照组的堆体臭味降到跟自研菌和商业菌组相当。第 40 天堆肥结束时,3 组处理的堆体颜色都呈现黑褐色、均无明显的臭味;自研菌和商业菌堆体的堆料疏松均匀、干湿度适宜,呈明显的细粒状;对照组堆体也没有明显的臭味,但是颗粒明显粗于自研菌和商业菌组。

## 3 结论与讨论

堆肥是一个微生物全程参与和作用的过程,加入适当的外源微生物是加快腐熟的重要手段<sup>[4]</sup>。研究表明,自主研发的复合微生物菌剂和购自市面上成熟复合微生物菌剂的添加很好地促进了堆肥的腐熟,且自研菌剂优于商业菌剂。究其原因,商业菌剂为粉末状,储存时间过长,使用前需要活化;而自研菌剂为液态,且分离纯化于山西大同当地的牛羊粪便中,对恶劣环境适应性较

强,因而活性较高。在整个堆肥过程中,添加复合微生物菌剂的2种处理含水率均低于CK处理,说明提前进入腐熟阶段。2种复合微生物菌剂的添加促进了堆体中有机物的分解和腐殖质的生成,提高了种子发芽率和全氮含量。相比不加菌剂的空白堆肥,自研复合微生物菌剂不仅使堆肥初期升温加快,高温时间延长,而且促进了堆体中有机物的分解和腐殖质的生成,从而缩短了堆腐时间,提高了堆体腐熟效率。

综上所述,自研菌剂和商业菌剂均能明显缩短堆体的腐熟时间,提高腐熟效率,且自研菌剂的堆腐效果优于商业菌剂。自研菌剂的堆肥效果虽然优于商业菌剂和空白堆肥,但是试验分离纯化所得菌株多为低温菌,而且菌株种类过少,因而试验还需进一步探索完善。

#### 参考文献

- [1] 席北斗,刘鸿亮,黄国和,等.复合微生物菌剂强化堆肥技术研究[J].环境污染与防治,2003,25(5):262-264.
- [2] HAUG R T. Development of simulation models[M]//The Practical Hand-

book of Compost Engineering, Lew is Publishers, 1993; 342-436.

- [3] 冯明谦,汪立飞,刘德明.高温好氧垃圾堆肥中人工接种初步研究[J].四川环境,2000,19(3):27-30.
- [4] 王卫平,汪开英,薛智勇,等.不同微生物菌剂处理对猪粪堆肥中氨挥发的影响[J].应用生态学报,2005,16(4):693-697.
- [5] 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;86.
- [6] 魏彦红,郁继华,冯致,等.不同添加剂对牛粪高温堆肥的影响[J].甘肃农业大学学报,2012,47(3):52-56.
- [7] NY/TXXX-2001,中华人民共和国农业行业标准[S].
- [8] 徐凤花,孙冬梅,宋金柱.微生物制品技术及应用[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [9] 曾光明,黄国和,袁兴中,等.堆肥环境生物与控制[J].北京:科学出版社,2006;360-375.
- [10] EK IIND Y, KIRCHMAN H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments[J]. Carbon Turnover, Bioresource Technology, 2000, 74(2): 125-133.
- [11] 程刚,耿冬梅,马梅荣,等.生活垃圾接种堆肥中试研究[J].哈尔滨工业大学学报,2004,36(10):1417-1419.

## Application of Complex Microbial Agents on Organic Composting Process

SUN Gan<sup>1,2</sup>, PEI Zongping<sup>1,2</sup>, TU Yongcheng<sup>1,2</sup>, KONG Jing<sup>1,2</sup>, ZHANG Xin<sup>1,2</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou, Jiangsu 221116; 2. School of Environmental and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116)

**Abstract:** Taking cow dung and wheat straw as material, self-research complex microbial agent and commercial complex microbial agent were applied, using the method of high temperature aerobic composting, the pile body's index of temperature, pH, EC, moisture content, humus acid content, organic content, total nitrogen, C/N, seed germination rate under different composting process were studied. The results showed that added self-research complex microbial agent and commercial complex microbial agent could prolong high temperature of the composting, and the former was the highest. The moisture content of the treatments added complex microbial community was lower than CK treatment, showing that the two treatments got into the maturity stage in advance. Addition of two complex microbial agent could promote the degradation of organic content and generation of humus acid in the compost, and it also could improve seed germination rate and total nitrogen content. In summary, self-research complex microbial agent was better than commercial complex microbial agent during composting.

**Keywords:** high temperature aerobic composting; self-research complex microbial agent; commercial complex microbial agent; effect of composting