

畜禽粪便无害化处理的模拟试验

姚剑亭, 黄小洋, 韩亮

(1. 苏州农业职业技术学院, 江苏苏州215008; 2. 立华生物肥料有限公司, 江苏常州213168)

摘要 [目的] 利用厌氧发酵方法对畜禽粪便进行无害化处理。[方法] 优化发酵罐内混合料的初始温度、水分含量、pH值、C/N、C/P等特性参数, 对物料进行了厌氧发酵试验, 最后测定物料的营养含量。[结果] 最终产物养分N、P和K含量分别为1.78%、1.69%和1.86%, 均高于农用控制标准。[结论] 该厌氧发酵试验方法设备简单、操作方便、养分含量高、反应周期短, 有助于畜禽粪便的无害化处理。

关键词 畜禽粪便; 厌氧发酵; 无害化处理; 工艺参数

中图分类号 X705 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)12-05393-02

Simulation Test on Innocuous Treatment of Livestock and Poultry Manure

YAO Jian-ting et al (Suzhou Agriculture Vocational Technical Institute, Suzhou, Jiangsu 215008)

Abstract [Objective] The aim of this research was to study innocuous treatment of livestock and poultry manure using anaerobic fermentation. [Method] Anaerobic fermentation of mixture in fermentor and its parameters optimization, including initial temperature, moisture content, pH value, C/N and C/P, were performed and then nutrient content of the mixture was determined in the end. [Result] The results showed that the nutrient contents of N, P and K were 1.78%, 1.69% and 1.86% respectively and higher than agricultural-control standard. [Conclusion] The method of anaerobic fermentation has the advantages of simple equipment, convenient operation, higher nutrient content, shorter reaction period and was helpful for innocuous treatment of livestock and poultry manure.

Key words livestock and poultry manure; Anaerobic fermentation; Innocuous treatment; Process parameters

畜禽粪便中含有氨(NH₃)、硫化氢(H₂S)、甲硫醇(CH₄S)、脂肪族醛类等恶臭有毒物质, 这些物质会对人体的嗅觉和视觉器官造成刺激, 导致器官反应迟钝、麻木^[1]。遇到阴雨天气, 粪污中的营养元素(N、P、K)及其腐蚀质, 会随地表径流进入土壤、河流, 造成土地污染、水体富营养化和生态环境恶化。因此, 对畜禽粪便进行无害化处理, 已成为环境科学研究的热点^[2]。笔者通过优化发酵罐内混合料的初始温度、水分含量、pH值、碳氮比、碳磷比等特性参数, 对物料进行厌氧发酵试验, 以期对畜禽粪便的无害化处理提供理论依据。

1 材料与试验方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂。材料: 畜禽粪便; 稻草。试剂: 重铬酸钾(K₂Cr₂O₇)标准溶液: 称取经过130℃烘3~4 h的重铬酸钾25 g, 溶解于400 ml水中, 必要时可加热溶解, 冷却后稀释至1 ml/L, 摇匀备用; FeSO₄标准溶液: 称取(FeSO₄ × 7H₂O) 30.00 g, 加水稀释至0.1 ml/L; 邻啡罗啉指示剂: 称取硫酸亚铁0.695 g和邻啡罗啉1.56 g溶于100 ml水中, 摇匀备用; 钼酸铵(NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O; 过硫酸钾(K₂S₂O₈); 去离子水或同等纯度水。

1.1.2 仪器与设备。凯氏定氮仪; 721型分光光度计; pH SJ-3F型pH计; Model 183总有机碳测定仪; WFX-210原子吸收分光光度计; GC 7890型气相色谱仪(TCD); HTA型转鼓浓缩一体脱水机; FZ-C型发酵罐(自带温控器和搅拌器); SJ型移位搅拌机; D420型粉碎机; DWT带式干燥机; KY3510型颗粒饲料制粒机; BK-280F型包装机。

1.2 方法

1.2.1 试验工艺流程。

将畜禽粪便和稻草(稻草由D420型剪切式粉碎机粉碎

成50 mm)按1.5:1比例配制, 用SJ型移位搅拌机翻抛均匀混合, 放入FZ-C型发酵罐中加水厌氧发酵后, 经脱水粉碎、除臭烘干、蒸汽糊化、造粒干燥、冷却包装、成品入库等工艺, 实现无害化处理畜禽粪便, 其试验工艺流程见图1。

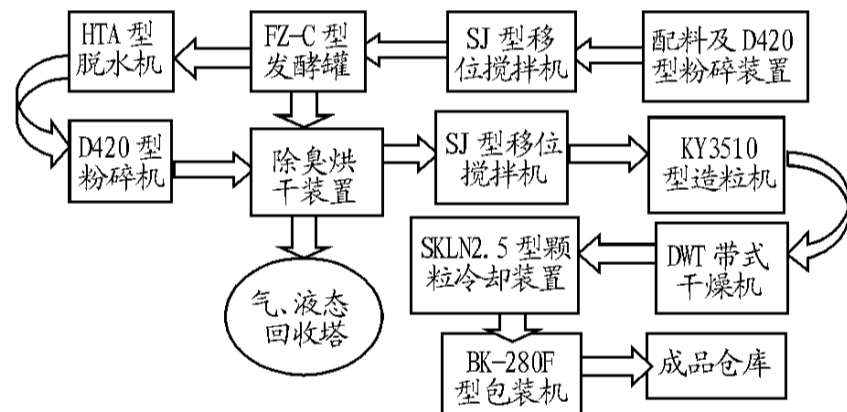


图1 畜禽粪便无害化处理工艺流程

Fig.1 Innocuous treatment of livestock wastes flow chart

1.2.2 试验特性参数控制与测定。

1.2.2.1 碳氮比和碳磷比的控制与测定。加入粪便或稻草调节C/N值至26~28, 用Model 183仪和凯氏定氮仪测定; 加入Ca₃(PO₄)₂调节C/P值至43~48, 用Model 183仪和721型分光光度计测定。

1.2.2.2 酸碱度和水分含量的控制与测定。取混合料3 g, 加20 ml去离子水, 充分震荡, 放置25 min, 待固液分层后, 用NaOH和H₂SO₄溶液, 调节物料初始酸碱度至6.8~8.3, 用pH计测定。物料经多点取样, 台秤称重, 放入105℃的恒温箱中烘6 h, 冷却减重后, 将物料初始含水率调至60%~65%。

1.2.2.3 搅拌速度和温度的控制与测定。在FZ-C型发酵罐中, 物料有机质的降解速度取决于厌氧微生物的代谢活动。为克服活性污泥与反应物发生分离、分层等现象而延长反应周期, 确保厌氧微生物不断接触新食料, 提高其反应速度, 将发酵罐内的物料进行每小时2次均速搅拌。在物料初始液化阶段, 将发酵罐温度至45℃左右, 停留时间2~3 d; 物料酸化阶段停止加温, 停留时间2~3 d; 物料产甲烷阶段, 尽量将温度控制在55~65℃间, 停留时间1~2 d。

1.2.3 处理前后物料的养分含量测定。取24.8 kg 干重熟料进行多点取样检测。有机质:称取粉碎物料3 g 放入坩埚中,在马福炉550~600 ℃中灼烧2~3 h,至灰化后减重,即为有机质含量;TN:首先蒸馏试样,然后用凯氏定氮仪测定其含量; P_2O_5 :采用钼酸铵分光光度法测定; K_2O :利用WFX-210原子吸收分光光度计测定。最后,将N、P、K含量与农用控制标准进行比较。

1.2.4 物料累积产气率的测定。采用GC 7890型气相色谱仪(TCD),测定不同发酵时间段的累积产气率。

2 结果与分析

2.1 发酵特性参数测定与分析 厌氧发酵罐内物料的碳氮比(C/N)、碳磷比(C/P)、初始温度、水分含量、pH值等特性参数都将对厌氧菌的代谢活动、有机质分解、反应状态和成品肥效产生直接或间接地影响。发酵过程中物料特性参数变化情况如表1所示。

2.1.1 碳氮比和碳磷比的变化。禽畜粪便和稻草混合料(以下简称物料)的C/N值将直接影响厌氧微生物的繁殖数量、有机质分解和成品肥效。为满足物料发酵时微生物对碳素、氮素和磷的营养要求,促进纤维分解,提高发酵速率,将

物料均匀混合后,将初始C/N值调节至26~28,C/P值至43~48。由表2可知,物料的C/N值和C/P值,发酵前后明显减少,原因可能是由于,随着厌氧菌的代谢活动的加强和菌体的繁殖增生,消耗了大量的碳元素,使得物料的C/N值和C/P值减低。

2.1.2 酸碱度和水分含量的变化。物料的pH值,是直接影 响生化反应能否进行的重要因素之一^[3]。由表2可知,在初始液化阶段,物料的pH值为7.90左右;到了酸化阶段,随着产氢产乙酸细菌群的无氧发酵的加强,pH值降到了6.52左右;物料产甲烷阶段由于乙酸、丙酸和甲醇等有机化合物分解成简单无机化合物(CO_2 、 H_2O 、 CH_4 、N、 K_2O 、 P_2O_5)消耗了一定的 H^+ 使得物料的pH值略微升高到6.92。水是微生物生长、繁殖以及生化反应必不可少的溶质^[4]。物料含水率过高,厌氧微生物因浓度过低,有机养分不足而降低其繁殖数量;相反,物料含水率过低,厌氧菌种的生物生长,氧化还原等活动环境不仅受到限制,物料发酵腐熟和杀虫灭菌效果也将受到影响。因此,物料初始含水率调至60%~65%,由表2可知,物料水分含量有发酵前62.23%升高到了75.18%,原因可能是有机质不断被微生物分解,产生了大量 H_2O 分子。

表1 发酵过程中物料特性参数的变化

Table 1 The change of material characteristic parameter in fermentation process

| 项目 Item | 物料水分 % Mixture content of mixture | 有机质 % Organic matter | 温度 Temperature | pH值 pH value | C/N | C/P |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|-------|-------|
| 液化阶段 Liquefied stage | 62.23 | 89.57 | 45.21 | 7.90 | 28.14 | 45.13 |
| 酸化阶段 Acidified stage | 68.15 | 48.61 | 55.34 | 6.52 | 23.23 | 27.34 |
| 产甲烷阶段 Methane stage | 75.18 | 36.29 | 68.42 | 6.92 | 14.33 | 15.14 |

注:表内数据均为N=6的平均值。

Nte: The data is the average of N=6 in the table.

2.1.3 发酵过程中温度的变化。物料温度控制取决于厌氧发酵时的状态。为满足液化阶段纤维素分解菌、脂肪分解菌、蛋白质水解菌的生存与繁殖,物料液化阶段,将发酵罐预加温至45 ℃左右,停留时间2~3 d;物料酸化阶段因产氢产乙酸细菌群起作用,反应温度将逐渐自然上升至55 ℃以上,此时可停止加温,停留时间2~3 d;物料产甲烷阶段由于乙酸、丙酸和甲醇等有机化合物分解成简单无机化合物(CO_2 、 H_2O 、 CH_4 、N、 K_2O 、 P_2O_5)时,温度将继续上升至60~65 ℃之间,有时因气候原因,温度将继续上升至70 ℃左右。为确保多出肥少产气,笔者认为,应采用放气降温,缩短物料停留时间的方法,将温度控制在55~65 ℃间,停留时间1~2 d为宜。

表2 物料处理前后养分含量测定

Table 2 Content determination of nutrient pre and post material processing

| 项目 Item | 有机质 Organic matter | TN | P_2O_5 | K_2O |
|--|-----------------------|------|----------|--------|
| 处理前 Before processing | 89.57 | 1.03 | 0.43 | 0.31 |
| 处理后 After processing | 45.29 | 1.78 | 1.69 | 1.86 |
| 农用控制标准 Agricultural control standard | 35 | 0.5 | 0.3 | 1 |

2.2 物料养分含量的测定与分析 由表2可知,物料经厌氧发酵后,除有机质含量因被微生物分解由89.57%下降到

45.29%外,N、P、K含量分别由1.03%、0.43%、0.31%提高到了1.78%、1.69%和1.86%,明显高于农用控制标准,具有十分明显的资源化利用价值。

2.3 物料累积产气率的测定 由图2可知,物料在发酵罐中连续高温45~55 ℃,停留7~8 d,仅获100~110 ml/kg混合气体。这说明此时物料反应已进入产甲烷阶段,其有毒有害成分已被细菌、真菌、放线菌等微生物降解。同时也表明,可通过缩短物料酸化阶段的停留时间,来实现少产气多出肥的目的。

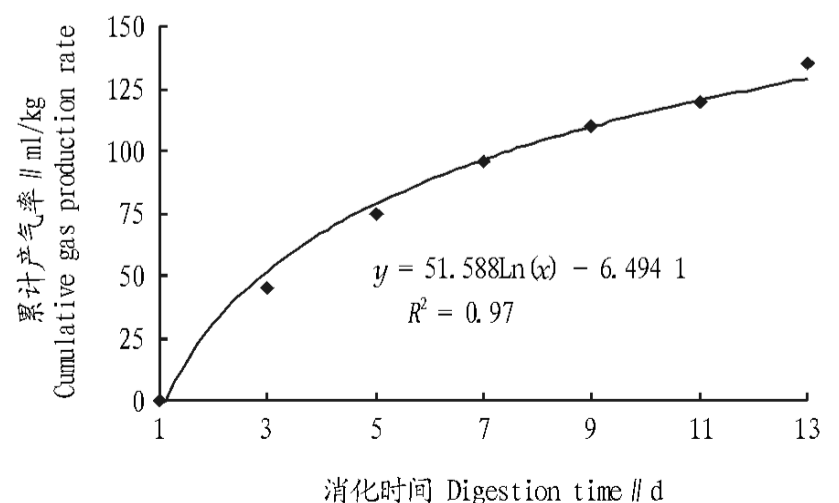


图2 累积产气率与消化时间的关系

Fig. 2 The relationship between gas production rate and digestion time (下转第5397页)

算法生成聚类图。

2 结果与分析

2.1 BOX PCR 扩增情况 各供试菌株经过 BOX PCR 后, 获得了较多的遗传谱带, 条带数在 10 ~ 20 条, 分子量大小分布在 0.4 ~ 3.0 kb, 菌株之间的差异能够被区分开来; 90 株供试菌株共有 31 种 BOX PCR 图谱类型, 表明与南苜蓿和天蓝苜蓿共生的根瘤菌具有丰富的遗传多样性, 部分菌株的 BOX PCR 图谱如图 1。

2.2 聚类分析结果 采用 UPGMA 算法对 BOX-PCR 指纹图谱进行聚类, 获得聚类树状图(图 2)。聚类图显示, 在 40% 的相似性水平上, 所有供试菌株及标准菌株聚为一群; 而在 69% 的相似性水平上, 供试菌株则更细地分为 7 个遗传群, 除分离自楚雄州禄丰县金山镇天蓝苜蓿的根瘤菌 SWF67371 单独成群外, 其余菌株基本上按宿主及采集地聚在一起, 但也有交叉。群 1 的菌株全部是分离自玉溪市江川县路居镇天蓝苜蓿根瘤的根瘤菌; 群 3 的 10 株菌与标准菌株 *Enisfer meliloti* USDA 1002^T 聚在一群, 它们都分离自德宏州盈江县的南苜蓿根瘤; 群 7 包含 64 株菌, 除 SWF66320、SWF67343、SWF65116 和 SWF67370 4 株菌的宿主为天蓝苜蓿外, 其余 60 株菌的宿主都为南苜蓿; 在 4、5、6 遗传群中, 除 SWF67340 的宿主为南苜蓿外, 其他菌株的宿主都为天蓝苜蓿, 但群 4、5、6、7 中按采集地聚群的情况并不明显; 采自不同地域的菌株能够聚为一群, 表明这类菌株的分布范围较广; 标准菌株 162K68(*R. leguminosarum* bv. *Tifdii*) 及 CCBAU2609^T(*Mesorhizobium huakuii*) 聚为一群, 而 USDA6^T(*Bradyrhizobium japonicum*) 和 USDA2370^T(*R. leguminosarum* bv. *viciae*) 则单独分开。

3 讨论

在该研究中, BOX-PCR 能够很好地区分与南苜蓿及天蓝苜蓿共生的根瘤菌菌株间的差异性, 供试的 90 株菌中, 绝大多数按宿主及采集地聚群, 未按宿主聚群的菌株往往是来源于同一采集地或距离相近采集地。南苜蓿和天蓝苜蓿在不同地理环境中会与不同种的根瘤菌菌株结瘤, 而在同一地理区域内, 分别与它们结瘤的根瘤菌菌株却可能极为相似。该

研究中, 南苜蓿在德宏州盈江县主要与群 3 内的菌株结瘤, 而在楚雄州则主要与群 7 内的菌株结瘤; 群 2 中的菌株 SWF67340 和 SWF67344 以及群 7 中的 SWF67343 和 SWF67347, 虽然宿主植物不同, 但它们之间的 BOX-PCR 图谱相似性都为 100%, 这说明宿主及生态地理环境对根瘤菌的影响深刻, 也更加证实了陈文新等^[5]的观点。

此外, 采自两个相距较远的地点的菌株间也会有具有较高的 BOX-PCR 图谱相似性。SWF66437 和 SWF67487 两株菌的采集地直线距离 320 km 左右, 并且两地的海拔、气候类型等均有显著差异, 但它们的 BOX-PCR 图谱相似性却为 90%, 同时聚在了群 6 中, 表明这种类型的菌株的适应性较强, 分布范围较广。

由于 BOX-PCR 技术的性质, 所揭示的各供试菌株间的差异仅在种及种以下水平上适用。在该试验中, 标准菌株 162K68(*R. leguminosarum* bv. *Tifdii*) 及 CCBAU2609^T(*Mesorhizobium huakuii*) 聚在一起, 而分属于不同属的标准菌株之间也表现出了较高的相似性, 这都表明仅靠 BOX-PCR 来进行种以上的分群是不准确的。该研究中供试菌株在种、属以上分类单元上的差异性还有待进一步研究。

云南省多样的生态地理环境及众多的豆科植物种类孕育了丰富的根瘤菌资源, 先从采集不同生态环境的苜蓿根瘤开始, 并分离保存根瘤菌, 再针对不同苜蓿品种筛选出固氮效率高的根瘤菌, 研制根瘤菌接种剂, 将具有巨大的生态和经济效益。

参考文献

- [1] THEARTH KOEUTH, JAMES VERSALOVIC, LUPSKI JAMES R. Differential subsequence conservation of interspersed repetitive *Streptococcus pneumoniae* BOX elements in diverse bacteria[J]. *Genome Research*, 1995, 5: 408 - 418.
- [2] 杨凤环, 李正楠, 姬惜珠, 等. BOX-PCR 技术在微生物多样性研究中的应用[J]. *微生物学通报*, 2008, 35(8): 1282 - 1286.
- [3] VINCENT J MA. *Manual for the practical study of root nodule bacteria*[M]. Edinburgh: Backwell Scientific Publications, 1970.
- [4] 林万明. 细菌分子遗传学分类鉴定法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990: 58 - 59.
- [5] 陈文新, 汪恩涛, 陈文峰. 根瘤菌-豆科植物共生多样性与地理环境的关系[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(1): 81 - 86.

(上接第 5394 页)

3 结论与讨论

笔者通过调节发酵罐内混合料的初始温度、水分含量、pH 值、C/N、C/P 等特性参数, 对物料进行了厌氧发酵试验。检测结果表明, 发酵初始液化阶段时, C/N 值控制在 26 ~ 28, C/P 值为 46 ~ 48, 温度控制在 45 左右, 水分含量为 60% ~ 65%, pH 值为 6.8 ~ 8.3。温度视发酵阶段的不同, 发酵罐应该调节到相应的温度。该方法得到的物料养分 N、P、K 含量分别为 1.78%、1.69% 和 1.86%, 均高于农用控制标准, 具有十分明显的资源化利用价值。发酵过程中, 采取了适时放气降温, 缩短物料停留时间, 可以多出肥少产气, 提高肥效。

本次厌氧发酵试验, 方法简单, 操作方便, 物料反应周期短, 有助于禽畜粪便的无害化处理和农村生态环境的改善。试验中所产生的沼液与砻糠、草木灰或其他植物梗、茎、叶混

合配制成营养土, 可广泛应用于花卉、园林、草坪植被等方面。为了达到有机肥料出厂的国家标准^[5](制粒含水量应 20%), 在制粒前, 增加了一台 HTA 型转鼓浓缩一体脱水机, 先脱去约 30% 左右的水分后, 然后放入 KY3510 型制粒机蒸汽糊化制粒, 用 SKLN2.5 型逆流式冷却器, 将颗粒料冷却至 3 ~ 5, 使出厂的有机肥颗粒达到国家标准。有关混合气体的甲烷分离, 有待于今后设备的进一步完善, 目前暂时与沼液一起由回收塔收集、冷却液化后, 用于营养土的配制。

参考文献

- [1] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥与有机肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [2] 魏振枢, 杨永杰. 环境保护概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [3] 金维续. 中国有机肥[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [4] 贾小红, 黄元芳, 徐建堂. 有机肥料加工与施用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [5] 沈其荣. 土壤肥料概论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.