

刘 飞,周 岭. 棉秆木醋液对牛粪堆肥过程中  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  排放的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(9):364-369.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.09.117

# 棉秆木醋液对牛粪堆肥过程中 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 排放的影响

刘 飞,周 岭

(塔里木大学机械电气化工程学院/新疆维吾尔自治区普通高等学校现代农业工程重点实验室/  
塔里木大学南疆农业机械化研究中心,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**为研究不同浓度棉秆木醋液对畜禽粪便高温堆肥的温室气体排放的调控作用,以牛粪和锯末为试验材料,用生物质热裂解试验装置热解棉秆得到的木醋液作为添加剂,在自制的发酵仓内进行好氧堆肥试验,检测添加不同浓度木醋液对牛粪堆肥过程中温室气体排放情况和碳损失率。结果表明:在堆肥物料中添加木醋液对提高升温速率、缩短堆肥时间、降低碳损失率均有明显效果;与其他处理组相比,添加 3% 的棉秆木醋液对堆肥过程中  $\text{CH}_4$  产生有显著抑制作用,降低了 15% 左右,对  $\text{CO}_2$  的排放抑制作用  $3\# > 2\# > 1\#$ 。

**关键词:**棉秆;好氧堆肥;温室气体;木醋液;粪便

**中图分类号:**S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)09-0364-06

全球每年产生大约 80 亿 ~ 100 亿 t 固体废弃物,其中有有机固体废弃物占了很大比例<sup>[1]</sup>。如果不能及时有效地处理这些有机固体废弃物,将会对环境生态系统产生危害,制约经济发展,影响人类生活。近年来,随着堆肥技术的发展,一方面有效合理地处理了有机固体废弃物,并获得有机肥料,减少了化肥的使用量;另一方面却产生了温室气体和臭气,增加了温室气体浓度、污染环境、降低堆肥产品质量,成为制约堆肥化的主要因素<sup>[2]</sup>。堆肥是实现废弃物减量化、资源化、无害化的主要技术途径。在堆肥过程中,有机态氮的降解及其硝化、反硝化作用会产生一定量的  $\text{N}_2\text{O}$ ,其产生量约占堆肥总氮质量的 0.2% ~ 6%,  $\text{CH}_4$  的产生量约占堆肥总碳质量的 0.8% ~ 6%<sup>[3]</sup>,其 100 年温室效应分别是  $\text{CO}_2$  的 25 倍和 298

倍<sup>[4]</sup>。 $\text{NH}_3$  是堆肥过程中产生臭气和降低堆肥产品质量的主要原因<sup>[2]</sup>。

国内外学者对堆肥过程中温室气体的排放已开展了广泛的研究。Chowdhury 等报道低通风速率和添加生物炭能够显著降低  $\text{NH}_3$  和  $\text{CH}_4$  的挥发<sup>[5]</sup>。赵晨阳等研究发现翻堆频率显著提高了猪粪堆肥过程中温室气体和  $\text{NH}_3$  的排放<sup>[6]</sup>;而江滔等发现冬季翻堆能够显著降低  $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{CH}_4$  的排放<sup>[7]</sup>。目前关于堆肥过程温室气体的减排主要集中在堆肥条件的调节和控制<sup>[5-10]</sup>,也有学者通过混合堆肥<sup>[11-12]</sup>、添加过磷酸钙<sup>[3]</sup>、明矾和沸石<sup>[13]</sup>、蚯蚓辅助堆肥<sup>[14]</sup>达到温室气体减排的目的。木醋液(wood vinegar & pyrolygneous acid)具有促进生物生长、土壤消毒、杀菌、防虫、防腐、保鲜等作用,在农牧业应用广泛。Chen 等只是在猪粪堆肥中添加竹炭和竹木醋液,结果发现有效地减少了氮素挥发并钝化了铜、锌重金属<sup>[15]</sup>。目前关于添加木醋液在调节种子发芽和根的生长<sup>[16-18]</sup>、杀菌<sup>[19-20]</sup>和育肥猪<sup>[21-22]</sup>方面已有很多研究,但是对堆肥过程温室气体影响的研究相对较少。本试验以牛粪为研究对象,通过添加不同浓度梯度的棉秆木醋液,对比研究堆肥过程  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放和其他指标变化规律,探讨添加不同浓度木醋液对牛粪堆肥的处理效果并提供实践参考。

收稿日期:2014-09-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:51266014);新疆生产建设兵团博士基金(编号:2011BB0123)。

作者简介:刘 飞(1987—),男,硕士研究生,主要从事有机质资源化利用方面的研究。E-mail:lfqust@163.com。

通信作者:周 岭(1972—),女,博士,教授,主要从事生物质资源化开发与利用。E-mail:zhoul-007@163.com。

[15]王 瑛,孟亚利,陈兵林,等. 麦棉套作棉花根际非根际土壤微生物和土壤养分[J]. 生态学报,2006,26(10):3485-3490.

[16]孙 磊,陈兵林,周治国. 麦棉套作 *Bt* 棉花根系分泌物对土壤速效养分及微生物的影响[J]. 棉花学报,2007,19(1):18-22.

[17]刘广才. 不同间套作系统种间营养竞争的差异性及其机理研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2005.

[18]宋亚娜,Marschner P,张福锁,等. 小麦/蚕豆,玉米/蚕豆和小麦/玉米间作对根际细菌群落结构的影响[J]. 生态学报,2006,26(7):2268-2274.

[19]曹 慧,杨 浩,孙 波,等. 太湖流域丘陵地区土壤养分的空间变异[J]. 土壤,2002,34(4):201-205.

[20]张恩和,黄高宝,黄 鹏. 不同供磷水平下粮豆间套种植对根系

分布和根际效应的影响[J]. 草业学报,1999,8(3):35-38,60.

[21]刘均霞,陆引罡,远红伟,等. 玉米、大豆间作对根际土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 贵州农业科学,2007,35(2):60-61,64.

[22]胡举伟,朱文旭,张会慧,等. 桑树/大豆间作对植物生长及根际土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(5):1423-1427.

[23]Anna K B,Richard P D. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology & Biochemistry,1999,31(11):1471-1479.

[24]方 晰,田大伦,武雨花,等. 植被修复对锰矿渣废弃地土壤微生物数量与酶活性的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(4):221-226.

1 材料与方法

1.1 试验原料

试验设在塔里木大学动物科技学院试验站,堆体物料由牛粪和锯末组合而成,按质量比 17.8 : 1 混合。牛粪取自该试验站,试验站的牛主要以麦秸和干草等粗饲料为主食;锯末购自阿拉尔市某木材加工厂。物料的初始性质见表 1。

表 1 堆肥物料初始性质

原料	含水率 (%)	TOC (g/kg)	TN (g/kg)	pH 值	EC (mS/cm)
牛粪	48.51	200.6	7.31	5.24	0.88
锯末	7.14	355.9	0.75	6.80	0.98

试验中的木醋液由生物质热裂解试验装置热解棉秆得到。热解装置见图 1。将风干棉秆直接放入热解装置内,每次进料 1 kg,起始温度 20 ℃,终止温度 500 ℃,热解 2 h。气体经冷凝装置冷凝为液体,在出口收集到的木醋液为粗木醋液,静置沉淀后取上清液,即为试验所用棉秆木醋液。木醋液的理化性质见表 2。

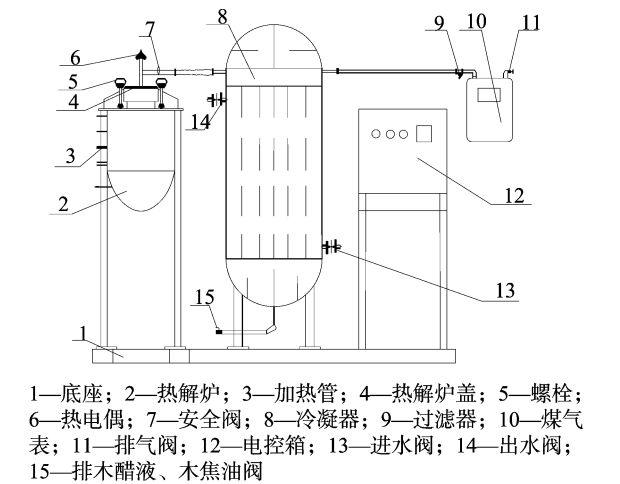


图1 生物质热裂解试验装置

表 2 棉秆木醋液理化性质

含水率 (%)	pH 值	密度 (kg/L)	焦油 (%)	表面张力 (N/m)
83.69	4.84	0.97	1.46	0.035
酸类 (%)	酮类 (%)	醇类 (%)	醛类 (%)	酚类 (%)
28.05	8.51	19.96	7.17	35.09

1.2 堆肥装置设计

堆肥装置系统结构如图 2 所示。反应器内部尺寸为 0.6 m×0.6 m×0.6 m,外部尺寸为 1 m×1 m×1 m,保温层材料为聚乙烯泡沫板。在堆体中心距离底部 15 cm、30 cm、45 cm 处放置温度传感器(Pt100 电阻);同样在每一层高度上均匀布置 3 个气体采集点,从中心到边缘分别为 1、2、3 号位置(图 2),在箱壁一侧同等位置打孔,插入 PVC 管用于导出气体;反应器底部有通风管道。试验采用 4 组规格相同的反应器。

1.3 试验设计

堆肥试验从 2014 年 1 月开始,持续 11 周。试验设置 3 个处理组,1 个对照组,处理组根据堆肥物料的起始质量设 3

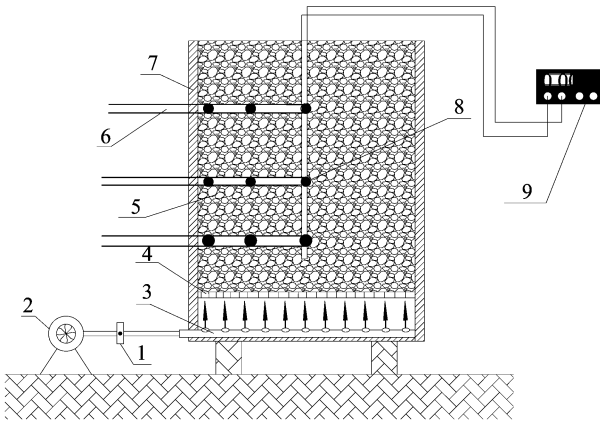


图2 试验堆肥装置

个不同棉秆木醋液水平,分别为 0.5%、1.7% 和 3.0% (木醋液添加量均为木醋液与堆肥物料鲜质量的比值)。具体原料配比如下:CK,牛粪 66 kg + 锯末 3.69 kg + 水 23.8 kg;1#,牛粪 66 kg + 锯末 3.69 kg + 水 23.8 kg + 0.5% 棉秆木醋液;2#,牛粪 66 kg + 锯末 3.69 kg + 水 23.8 kg + 1.7% 棉秆木醋液;3#,牛粪 66 kg + 锯末 3.69 kg + 水 23.8 kg + 3.0% 棉秆木醋液。

堆体温度超过 60 ℃时通风 30 min,前 4 周每周翻堆 1 次,以后每 2 周翻堆 1 次,翻堆前采集堆体不同位置的试样并保存在 4 ℃下。

1.4 测定项目与方法

堆体温度每天测量 3 次计算平均温度;总有机碳用重铬酸钾外加热法测定<sup>[23]</sup>。

温室气体和 O<sub>2</sub> 均采用静态箱法采集气体,前 4 周每 2 d 采集 1 次,以后逐渐隔 4~7 d 采集 1 次。其中翻堆前 1 d 和翻堆后 2 d 采集气体。采集的气体样品用 Agilent 公司生产的 7890B 气相色谱仪分析气体样品中 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 的浓度,其中氢火焰离子化检测器(flame ionization detector, FID)检测 CH<sub>4</sub>,热导检测器(thermal conductivity detector, TCD)检测 CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub>。

堆肥有机质的损失量计算公式<sup>[2]</sup>:

$$OM_{Lossj} = \frac{(OM_i - OM_j)}{OM_i(1 - OM_j)} \times 100\%。$$

式中:OM<sub>i</sub>为堆肥 j d 有机质的损失量,%;OM<sub>i</sub>为堆肥开始时有有机质百分含量;OM<sub>j</sub>为堆肥第 j 天有机质百分含量。

2 结果与讨论

2.1 棉秆木醋液对堆肥温度变化的影响

温度是表征堆肥进程的参数,温度的变化情况反映堆肥化程度。图 3 至图 5 分别为不同浓度水平处理下堆体各层温度的变化情况。从图 3 至图 5 中可以看出,不同浓度水平处理堆体温度变化都经历类升温期、高温期和降温期 3 个阶段。但是不同浓度水平处理和对照组在不同阶段和不同位置存在显著差异。

在升温期阶段,处理组比对照组先到达高温期,提前进入高温期不仅杀死物料中的病原菌,减少恶臭气体的产生,而且能够缩短堆肥周期。本试验中处理组 3#提高了堆体的温度,

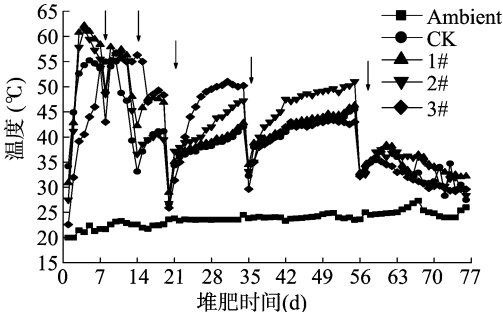


图3 牛粪堆肥过程上层(距底部 45 cm)温度变化情况

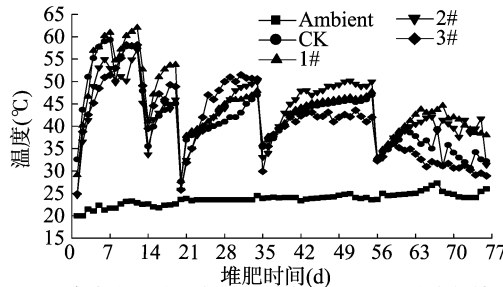


图4 牛粪堆肥过程中层(距底部 30 cm)温度变化情况

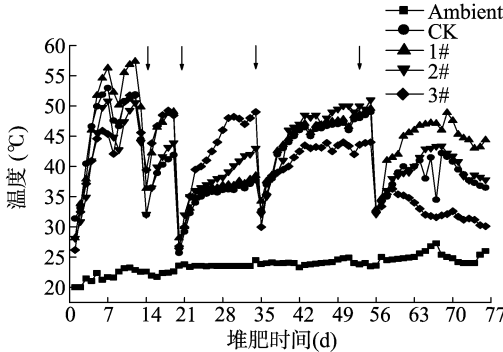


图5 牛粪堆肥过程下层(距底部 15 cm)温度变化情况

并提前进入腐熟阶段,这表明高浓度木醋液的添加可加速堆肥进程,缩短堆肥周期,与陈英旭在用竹炭和竹醋液处理猪粪时结论一致<sup>[15]</sup>。

2.2 棉秆木醋液对堆肥中  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  排放特征的影响

$\text{CH}_4$  的产生是在厌氧条件下,由甲烷菌还原  $\text{CO}_2$  或含碳有机物产生的; $\text{CO}_2$  是微生物新陈代谢的主要产物,畜禽粪便堆肥损失大约 50% 的总碳。图 6 至图 8 分别为堆肥上、中、下层  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放情况。整体来看,堆体中  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的变化趋势基本一致,但各处理组间差异显著。

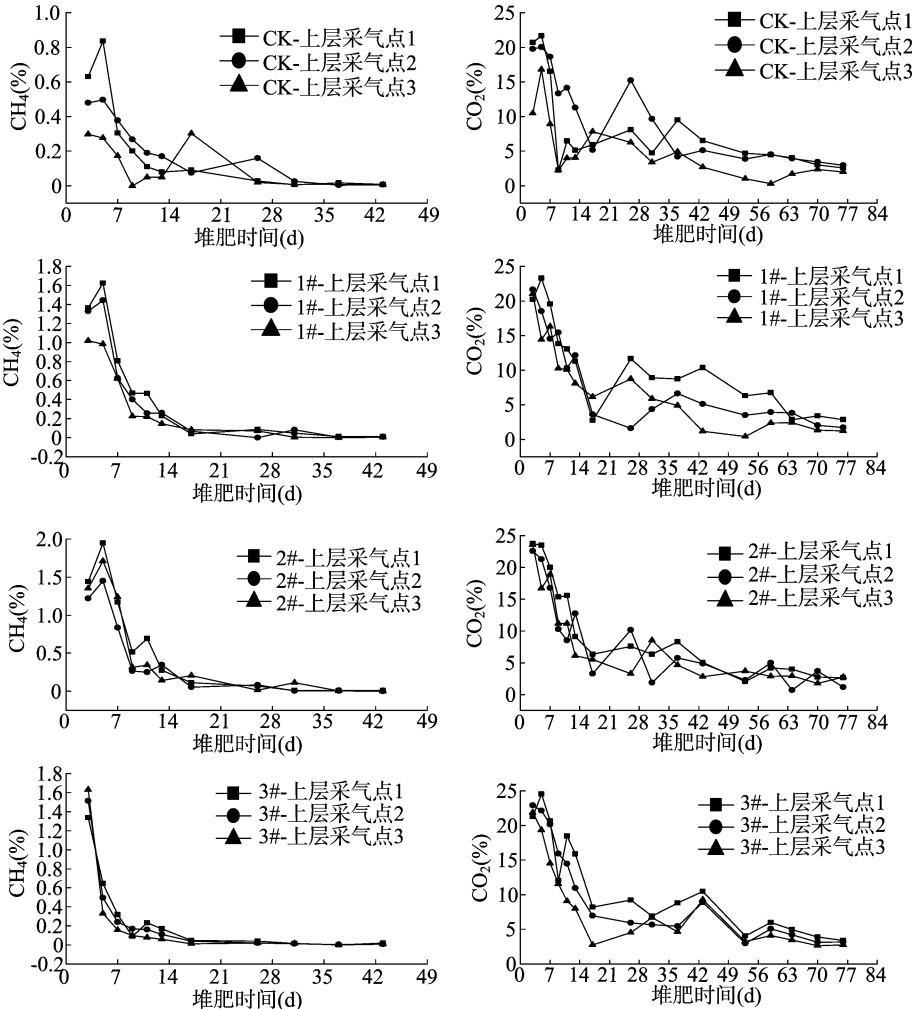
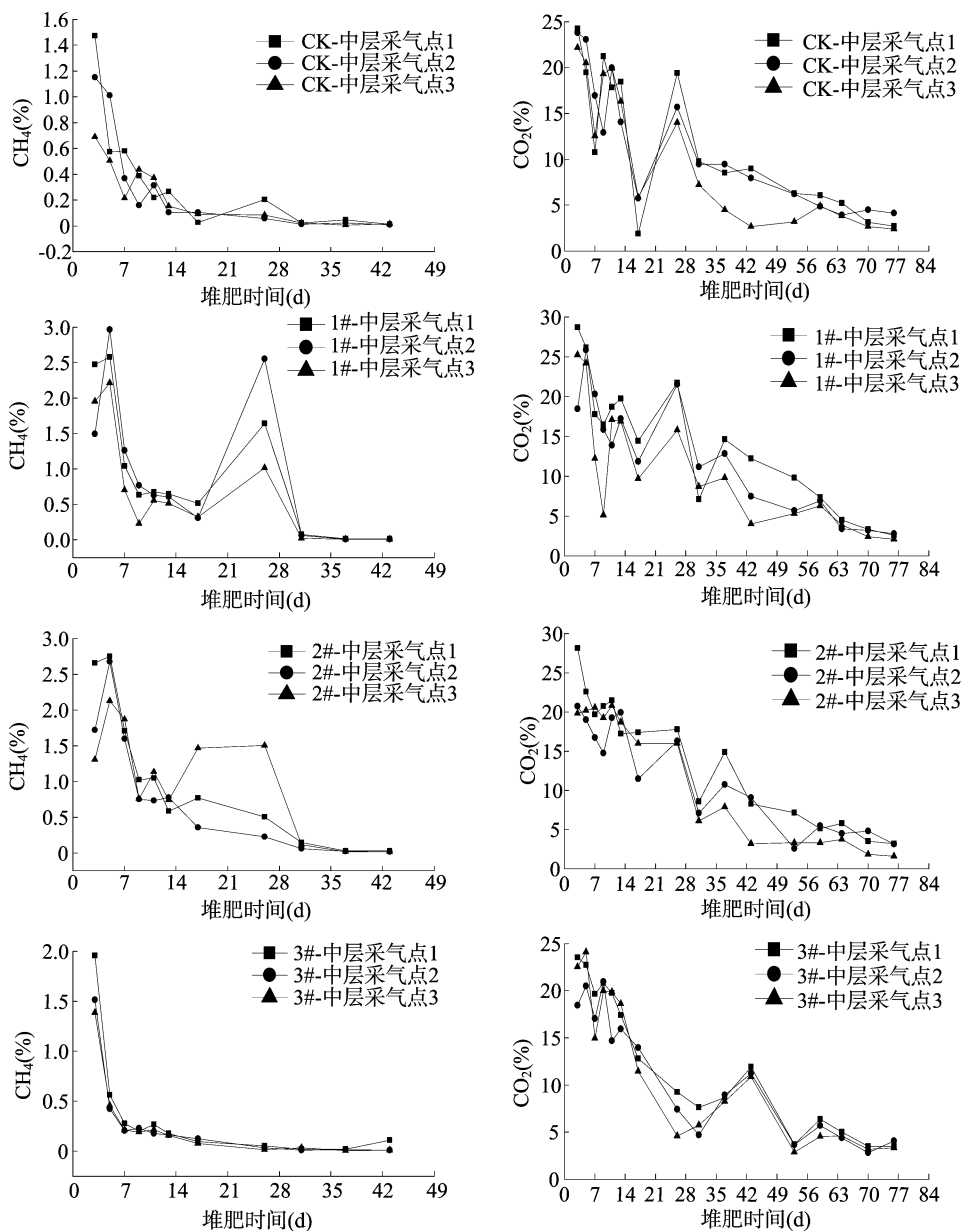


图6 堆体上层 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 排放情况

图7 堆体中层  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  排放情况

在堆体上层,升温期  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放量达到峰值,随后下降,在前 7 d,中心点  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  排放较多,在这个时间段,说明温度与  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  排放成正相关,可能与堆肥初期大量微生物快速繁殖并发生生化反应有关。在前 7 d,3 个处理相对对照有促进  $\text{CH}_4$  排放的作用,3 个处理组试验在 2 周后  $\text{CH}_4$  排放基本为零,说明有抑制  $\text{CH}_4$  排放的作用,3#处理组在 7 d 后就抑制了  $\text{CH}_4$  排放。 $\text{CO}_2$  在前 7 d 释放量最大,占到 16%~24%,随后迅速下降,14 周后缓慢下降,3#处理组在第 7 周后进一步抑制  $\text{CO}_2$  的排放,维持在 2% 左右。从整体上看木醋液处理后  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放基本稳定,波动不大,根据图形的斜率可知, $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放随着木醋液浓度的增大抑制作用就越强,说明木醋液的添加有利于减少  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放。

在堆体中层,3#处理组的  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放规律与上层基本一致,其他试验组规律呈现一致,在 3 周后都出现  $\text{CH}_4$

第二个峰值。 $\text{CH}_4$  出现第二个峰值可能与翻堆调节含水率有关,导致堆体空隙率降低造成厌氧。 $\text{CO}_2$  在翻堆后出现不同程度的增加,很可能与翻堆后微生物新陈代谢增强有关。与对照组相比,处理组  $\text{CO}_2$  的排放量有不同程度的抑制,3#在 2 周后使  $\text{CO}_2$  排放量降低到 5% 以下。

$\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  在堆体下层的排放规律与中层相一致,下层中心位置  $\text{CH}_4$  的排放量高于其外侧,而  $\text{CO}_2$  在 2 号位置排放量较大。3#处理组与上层、中层  $\text{CH}_4$  排放规律一致。

值得注意的是 3#处理组在 7 d 后开始抑制  $\text{CH}_4$  排放,前 7 d  $\text{CH}_4$  的排放量要高于对照组; $\text{CO}_2$  排放规律与之类似,并且 1#和 2#处理组在堆肥的前几天  $\text{CH}_4$  排放量的峰值比对照组高,最后又表现出抑制其排放的情况。对此,可能的解释是棉秆木醋液成分复杂,本身的酸性物质一方面腐蚀牛粪颗粒表层形成空隙;另一方面杀死某些细菌,造成某一菌种占优势;另外木醋液可能起到表面活性剂的作用,改善降解体系的

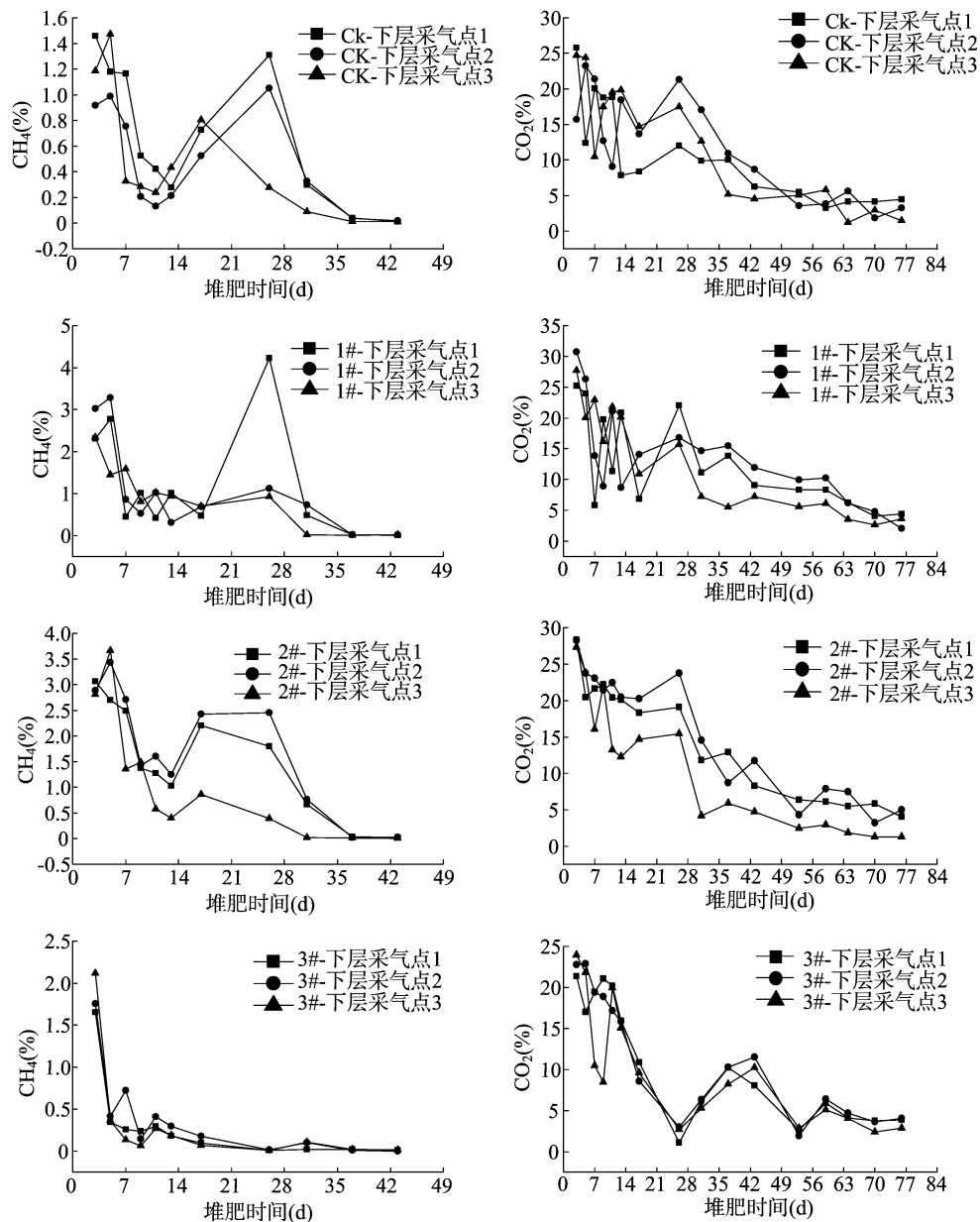


图8 堆体下层 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放情况

微环境,是综合作用的结果<sup>[17]</sup>。

2.3 物料平衡及温室效应分析

堆肥过程中总碳损失率如表 3 所示。从表 3 可以看出,在前期碳损失量最大,对照组比其他处理组损失量高出 14% ~ 26%,与前期 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 排放量大大吻合。随着木醋液浓度的增加,碳损失量降低,堆肥结束碳损失量比对照组减少 34%,提高了堆肥产品中有机质的含量。

堆肥过程中产生的 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 均是主要温室气体,目前对有机废气物降解产生 CO<sub>2</sub> 的温室效应的计算方法存在争议<sup>[25]</sup>,就 CH<sub>4</sub> 排放情况来说,高浓度木醋液使总温室气体排放量显著降低,比对照组减少 15% 左右。添加 3% 棉秆木醋液可以缩短堆肥周期、减少温室气体、提高堆肥品质。

3 结论

本研究结果表明,在好氧堆肥中,添加棉秆木醋液可以提

表 3 堆肥物料碳元素损失

处理	位置	TOC 损失率(%)		
		13 d	34 d	76 d
CK	上层	21.7 ± 8.83	36.4 ± 2.08	54.1 ± 2.25
	中层	21.5 ± 4.76	30.0 ± 4.27	54.0 ± 2.50
	下层	20.2 ± 4.31	26.4 ± 2.78	54.9 ± 1.80
1#	上层	17.0 ± 3.94	22.6 ± 4.26	50.9 ± 0.93
	中层	17.5 ± 2.61	21.4 ± 8.29	51.2 ± 2.28
	下层	16.8 ± 3.54	22.0 ± 7.44	49.3 ± 3.99
2#	上层	18.6 ± 2.35	31.9 ± 4.19	46.9 ± 5.05
	中层	17.5 ± 2.81	21.8 ± 4.05	43.2 ± 5.70
	下层	16.5 ± 4.56	16.4 ± 4.05	43.3 ± 1.37
3#	上层	16.8 ± 2.3	28.4 ± 6.74	36.9 ± 0.85
	中层	16.0 ± 4.53	21.4 ± 1.86	37.9 ± 2.50
	下层	15.8 ± 0.92	22.7 ± 2.84	35.6 ± 4.60

注:  $P < 0.05, n = 3$ 。

高堆肥温度,缩短堆肥周期。

添加棉秆木醋液能够有效降低牛粪堆肥  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放。添加 3% 的棉秆木醋液  $\text{CH}_4$  总排放量比对照组减少 15% 左右。

添加 3% 的棉秆木醋液能够显著降低堆肥过程中碳损失率,提高堆肥品质。

综上所述,畜禽粪便堆肥过程中添加 3% 的棉秆木醋液能够降低温室气体排放、提高堆肥品质。热解棉秆制取木醋液为农业废弃物的合理利用提供了可能,在生物质资源利用中具有一定的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 席北斗,魏自民,刘鸿亮. 有机固体废弃物管理与资源化技术 [M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [2] Haug R T. The practical handbook of compost engineering [M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993.
- [3] 罗一鸣,李国学, Schuchardt F, 等. 过磷酸钙添加剂对猪粪堆肥温室气体和氨气减排的作用 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (22): 235 - 242.
- [4] Parry M L, Canziani O F, Paluti J P, et al. IPCC fourth assessment report: climate change 2007: contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 212 - 213.
- [5] Chowdhury M A, de Neergaard A, Jensen L S. Potential of aeration flow rate and bio-char addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting [J]. Chemosphere, 2014, 97: 16 - 25.
- [6] 赵晨阳,李洪枚,魏源送,等. 翻堆频率对猪粪条垛堆肥过程温室气体和氨气排放的影响 [J]. 环境科学, 2014, 35 (2): 533 - 540.
- [7] 江滔, Schuchardt F, 李国学. 冬季堆肥中翻堆和覆盖对温室气体和氨气排放的影响 [J]. 农业工程学报, 2011, 27 (10): 212 - 217.
- [8] Zhang H Y, Li C P, Li G X, et al. Effect of spent air reusing (SAR) on maturity and greenhouse gas emissions during municipal solid waste (MSW) composting - with different pile height [J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 16 (16): 59 - 69.
- [9] Jiang T, Schuchardt F, Li G, et al. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting [J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, 23 (10): 1754 - 1760.
- [10] Shen Y, Ren L, Li G, et al. Influence of aeration on  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{NH}_3$  emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture [J]. Waste Management, 2011, 31 (1): 33 - 38.
- [11] 沈洪艳,张相锋,董世魁,等. 餐厨垃圾和绿化废弃物好氧堆肥过程中温室气体排放研究 [J]. 河南农业大学学报, 2013, 47 (2): 202 - 205.
- [12] Cayuela M L, Sánchez - Monedero M A, Roig A, et al. Biochemical changes and GHG emissions during composting of lignocellulosic residues with different N - rich by - products [J]. Chemosphere, 2012, 88 (2): 196 - 203.
- [13] Bautista J M, Kim H, Ahn D H, et al. Changes in physicochemical properties and gaseous emissions of composting swine manure amended with alum and zeolite [J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2011, 28 (1): 189 - 194.
- [14] 杨帆,李国学,江滔,等. 蚯蚓辅助堆肥处理蔬菜废弃物及其温室气体减排效果 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (16): 190 - 196.
- [15] Chen Y X, Huang X D, Han Z Y, et al. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting [J]. Chemosphere, 2010, 78 (9): 1177 - 1181.
- [16] Mu J, Uehara T, Furuno T. Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants [J]. Journal of Wood Science, 2003, 49 (3): 262 - 270.
- [17] Zhou L, Jiang E C, Li B S. Effect of wood vinegar on seed germination and water implantation of corn [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 16 (2): 6 - 11.
- [18] Kadota M, Niimi Y. Effects of charcoal with pyroligneous acid and barnyard manure on bedding plants [J]. Scientia Horticulturae, 2004, 101 (3): 327 - 332.
- [19] Saberi M, Hassan A, Sarpeleh A, et al. Wood vinegar as a biological product for managing *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis - cucumerinum* [J]. Canadian Journal of Plant Protection, 2013, 1 (4): 129 - 133.
- [20] Wititsiri S. Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata* [J]. Songklanakarin J Sci Technol, 2011, 33 (3): 349 - 354.
- [21] Wang H F, Wang J L, Wang C, et al. Effect of bamboo vinegar as an antibiotic alternative on growth performance and fecal bacterial communities of weaned piglets [J]. Livestock Science, 2012, 144 (1/2): 173 - 180.
- [22] Yan L, Kim I H, Huh K. Influence of bamboo vinegar supplementation on growth performance, apparent total tract digestibility, blood characteristics, meat quality, fecal noxious gas content, and fecal microbial concentration in finishing pigs [J]. Livestock Science, 2012, 144 (3): 240 - 246.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1981: 438 - 441.
- [24] Rabl A, Benoist A, Dron D, et al. How to account for  $\text{CO}_2$  emissions from biomass in an LCA [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, 12 (5): 281.