

[文章编号] 1000-2782(1999) 04-0062-05

畜禽废弃物堆肥的腐熟指标

杨毓峰, 薛澄泽, 唐新保

(西北农业大学基础科学系, 陕西杨陵 712100)

[摘 要] 研究了以鸡粪与牛粪为代表的畜禽废弃物, 在强制通风静态堆肥设备中堆肥化时, 几种化学参数的变化趋势及作为腐熟指标的可行性。结果表明: 固相 C / N, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 WSC 含量可作为畜禽废弃物堆肥的优选指标; R_1 , E_4/E_6 , 有机质中腐殖酸类物质(HS, HA, FA) 含量与 CEC 可作为该类堆肥的一般性指标; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量用作参考。

[关键词] 畜禽废弃物; 堆肥; 腐熟指标

[中图分类号] S141; X713 [文献标识码] A

好氧堆肥法是把有机废弃物处理成再生利用资源的一种有效方法, 然而把未腐熟的堆肥投入农业利用时, 将消耗作物根际土壤中的氧和烧伤作物根系, 同时还会引入低分子质量的有害物质与各种病原菌^[1]。为了保证堆肥质量, 不仅要了解土壤与作物的性质, 而且还须知道废弃物的堆肥化过程与腐熟度。目前, 国内外对污泥堆肥的腐熟指标研究较多^[1, 2], 而对畜禽粪便堆肥的腐熟指标研究较少。本研究选用我国数量多的养鸡场和养牛场排放的鸡粪和牛粪来代表畜禽废弃物, 重点研究其在好氧堆肥化过程中几种化学参数的动态变化, 评价这些参数作为腐熟指标的可行性, 旨在优选腐熟指标与制定腐熟阈值, 为集约化畜禽饲养场排放的畜禽粪便的无害化、资源化、产业化、商品化提供质量保证。

1 材料与方法

1.1 材 料

膨胀剂和调理剂^[3]分别为切成 4 ~ 5 cm 长的玉米秸秆短节和玉米糠, 粪便来源于杨陵笼养鸡场和养牛场。鸡粪堆料有 3 堆, 牛粪堆料有 4 堆, 其编号与质量配比见表 1。

表 1 畜禽粪便堆料配比

类别	编号	质量配比 (膨胀剂 调理剂 粪)	起始含水量/ (g · kg ⁻¹)	起始 C / N
鸡粪堆料	E ₁	1 7	618. 2	14. 2
	W ₁	1 1 7	636. 1	23. 4
	W ₂	1 1. 6 3. 4	613. 4	32. 1
牛粪堆料	M ₃	1 6	598. 1	27. 6
	W ₃	1 0. 5 9	621. 4	34. 0
	E ₂	1 1. 6 3	618. 3	43. 5
	M ₂	1 1. 8 1. 5	623. 1	56. 9

注: E₁ 和 M₃ 堆料不含膨胀剂。

将按表 1 质量配比的混合均匀的堆料转入强制通风静态堆肥反应池中, 通气率控制在 $0.3\text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ^[4], 每天上、下午各通气 3 h, 堆肥化周期为 35 d^[5], 春季堆沤。由于 W₁ 与 W₃ 堆料中添加剂比例少, 且又满足堆肥化最佳水分含量和 C/N 条件, 因此鸡粪堆料中选 W₁ 和牛粪堆料中选 W₃, 来研究堆肥化时各种化学参数的动态变化趋势, 剩下的各堆用于确定堆肥的腐熟阈值。

1.2 试验装置

依据 Hansen^[5]所用堆肥化设备设计出的试验装置为强制通风静态堆肥反应池 (ASP-RV), 该装置由通气系统和发酵仓两部分组成。通气系统包括鼓风机、风量调节阀、塑料软管、风速缓冲板、铁制格网及疏松材料层。鼓风机总风量为 $1\text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, 塑料软管内径为 3 cm, 通过风量调节阀把基座内的通风量调整到 $0.3\text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 。基座内的通气管管口朝下, 气体经缓冲板缓冲后均匀的分散在基座内, 然后再透过铁制格网和上面的疏松材料层给堆料供氧。疏松材料层由 5 cm 厚的膨胀剂构成。发酵仓由保温砖砌成长、宽、高各 1 m, 外加 15 cm 高的基座, 内壁涂有水泥并带有高度刻度尺。砖壁上打有测温孔、洗池排水孔和通气孔。池盖由防雨材料制成, 上带直径为 4 cm 的排气口。

1.3 测定项目

碳氮比(C/N)、水溶碳(WSC)、全氮(N)、铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)的分析见文献[6], 含量以干物质表示, 单位为 g · kg⁻¹。腐殖酸物质(HS)、富里酸(FA)、胡敏酸(HA)、E₄/E₆ 的分析见文献[7], 含量以有机质表示, 单位为 g · kg⁻¹。阳离子交换量(ECE)见文献[8], 含量以有机质表示, 单位为 cmol · kg⁻¹。测定过程采用分析质量控制。

2 结果与分析

2.1 铵态氮和硝态氮

从表 2 可以看出, 无论是鸡粪堆料 W₁ 或牛粪堆料 W₃, 在堆肥化的前 28 d, NO₃⁻-N 含量都逐渐上升, NH₄⁺-N 含量均急剧下降, 而在第 5 周, 二项指标基本趋于稳定。经过 36 d 的强制通风堆肥化, W₁ 与 W₃ 的 NO₃⁻-N 含量从开始时的 0.23 与 0.09 g · kg⁻¹ 分别增加到堆后的 1.94 与 0.72 g · kg⁻¹, 堆前同堆后相比, 堆前 NO₃⁻-N 含量甚微。W₁ 与 W₃ 的 NH₄⁺-N 含量堆后分别降到 0.27 与 0.23 g · kg⁻¹, 同堆前的 1.90 与 1.39 g · kg⁻¹ 相比, 堆后 NH₄⁺-N 含量亦很少。这种现象在其他几种鸡、牛粪堆料中也同样可以看到, 可能与堆料中硝化菌作用 NH₄⁺-N 向 NO₃⁻-N 转化有关^[5]。堆前 NO₃⁻-N 含量太少与堆后 NH₄⁺-N 含量太少, 且不受原料种类的限制, 这为评价畜禽粪便堆肥的腐熟提供了一个尺度, 这个结论同福木勒^[9]的色谱试验结果吻合。

2.2 水溶碳

水溶碳是堆料中各种微生物优先利用的碳源, 由表 2 可知, W₁ 与 W₃ 在堆肥化过程中 WSC 含量的变化趋势相同, 从总趋势上看, WSC 含量下降。由于粪便废弃物中添加有易降解物质含量高的玉米糠, 开始时 WSC 含量高, 堆肥化前 7 d, 水溶碳含量迅速下降, 在随后 3~4 d, 有机物质在微生物胞外酶的作用下开始降解, 水溶碳含量升高, 大约 10 d 后, 水溶碳含量再一次大幅度降低, 4 周以后才缓慢减小并趋于平衡。

表 2 畜禽堆料堆肥化时铵态氮、硝态氮和水溶碳的变化

$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

类别	测定项目	时间/d									
		1	2	4	7	10	14	19	23	28	36
W_1	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	0.23	0.43	0.56	0.68	1.02	1.22	1.40	1.63	1.89	1.94
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	1.90	1.76	1.49	1.14	1.03	0.88	0.54	0.34	0.29	0.27
	WSC	16.9	16.1	9.9	16.8	27.6	22.3	10.9	7.7	6.5	6.1
W_3	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	0.09	0.13	0.15	0.18	0.25	0.54	0.58	0.66	0.70	0.72
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	1.39	1.29	1.11	1.04	0.76	0.59	0.34	0.33	0.26	0.23
	WSC	17.7	16.8	14.7	4.9	20.0	17.7	10.1	7.0	6.3	5.3

2.3 碳氮比率

在堆肥化过程中,微生物利用 C 作为能源,用 N 合成细胞的原生质,大部分有机碳以 CO_2 的形式释放出来,N 被保留下来,C/N 随着堆肥化时间的增加而下降。从表 3 可以看出, W_1 与 W_3 的固相 C/N 在 28 d 以前下降较快,之后均呈缓慢下降趋势并趋于稳定,而水浸态 C/N 虽然大体上也呈下降趋势,但在堆肥化的后期仍有较大变化。

表 3 堆肥化过程中 C/N 的变化

类别	测定项目	时间/d									
		1	2	4	7	10	14	19	23	28	36
W_1	固相 C/N	23.4	23.1	22.8	21.4	19.6	17.5	16.8	16.4	15.9	15.7
	浸态 C/N	7.93	7.35	4.83	9.23	13.46	10.62	5.62	3.91	3.00	2.76
W_3	固相 C/N	34.0	32.9	30.6	24.7	21.0	19.5	19.0	18.4	17.9	17.8
	浸态 C/N	11.96	11.83	11.67	4.06	19.81	17.18	10.98	7.07	6.56	5.68

2.4 胡敏酸与富里酸

腐殖酸物质的主要成分为胡敏酸和富里酸。从表 4 可以看出, W_1 与 W_3 在堆肥化过程中 HS, HA, FA 的含量均呈稳步上升趋势。腐殖化比率 R ($R = \text{HA 含量} / \text{FA 含量}$) 能较好地描述堆肥化过程中 HA 与 FA 含量变化。由表 4 可知, W_1 与 W_3 的 R 也呈稳步上升趋势,说明高分子质量的 HA 含量增加幅度大于低分子质量的 FA。

表 4 堆肥化过程中腐殖酸与阳离子交换量的变化

时间/d	W_1						W_3					
	HS 含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	HA 含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	FA 含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	R	E4/E6	CEC/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	HS 含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	HA 含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	FA 含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	R	E4/E6	CEC/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1	126.9	31.2	95.7	0.326	8.38	68.45	138.3	60.6	77.7	0.776	8.12	56.19
2	147.2	49.2	98.0	0.502	7.81	70.58	167.5	78.3	89.2	0.878	8.04	61.60
4	151.7	50.0	101.7	0.492	8.08	75.58	182.3	81.3	101.0	0.805	7.98	66.75
7	162.7	60.1	102.6	0.586	7.89	79.49	193.8	86.9	106.9	0.813	7.88	70.64
10	187.3	80.2	107.1	0.749	7.79	84.78	209.4	101.4	108.0	0.939	7.73	77.93
14	218.4	103.3	115.1	0.897	7.45	88.22	229.6	114.8	114.8	1.000	7.62	83.60
19	274.8	150.8	124.0	1.216	7.46	97.10	243.1	125.9	117.2	1.074	7.32	93.73
23	307.9	176.9	131.0	1.350	7.28	103.60	249.3	128.2	121.1	1.059	6.99	97.68
28	336.5	201.5	135.0	1.490	7.19	115.20	263.2	143.8	119.4	1.204	6.79	101.20
36	352.3	214.9	137.4	1.560	6.95	136.60	308.2	184.1	124.1	1.483	6.75	109.30

腐殖酸物质在 465, 665 nm 处消光系数之比 E_4/E_6 能反映腐殖酸分子的稳定程度^[7]。由表 4 知,在 35 d 左右的堆沤中 W_1 与 W_3 的 E_4/E_6 呈下降趋势,这充分说明随着堆肥化时间的延长,腐殖酸物质的缩合程度和芳构化程度都在不断加强。

2.5 阳离子交换量

从表 4 知, 阳离子交换量随堆肥化时间的增加而增加, 而且同堆肥化时间呈现出较好的线性关系, W_1 与 W_3 的回归方程分别为: $CEC_{W_1} = 67.57 + 1.63t, r = 0.953$; $CEC_{W_3} = 60.19 + 15.0t, r = 0.972$ (t 是堆肥化天数)。Jacas 指出^[8], CEC 同堆肥的稳定度相关, CEC 的增加预示着堆肥稳定度的提高。

2.6 腐熟指标的优选和阈值的确定

从鸡粪堆料 W_1 与牛粪堆料 W_3 在强制通风堆肥化设备中几种化学参数的动态变化趋势看, 在堆肥化的后期能基本趋于稳定的化学参数有 $NH_4^+ - N$, WSC, 固相 C/N, 故可作为堆肥腐熟指标的优选指标; 随堆肥化进程不断增加的参数有 HS, FA, HA, R, CEC, 随堆肥化进程不断减少的参数有 E_4/E_6 , 可作为一般的堆肥腐熟指标; $NO_3^- - N$ 用作指示堆肥腐熟时由于评定的是堆前的情况, 可作为参考; 而水浸态 C/N 在堆肥化过程中不易稳定, 不宜作为腐熟指标使用。

为了确定堆肥的腐熟阈值, 根据其他几堆物料在堆肥化前后的测定数据(表 5), 制定出如下阈值: $NH_4^+ - N$ 含量 $< 0.4\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, WSC 含量 $< 6.5\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $R > 1.5$, $E_4/E_6 = 6 \sim 7$, 固相 C/N < 20 , HS 含量 $> 300\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $CEC > 110\text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 5 畜禽废弃物堆肥化前后几种化学参数的变化

物 料		NH ⁴ -N/ (g · kg ⁻¹)		WSC/ (g · kg ⁻¹)		E ₄ / E ₆		CEC/ (cmol · kg ⁻¹)	
		堆前	堆后	堆前	堆后	堆前	堆后	堆前	堆后
鸡粪	E ₁	4. 16	0. 61	14. 9	6. 3	8. 46	7. 07	73. 37	147. 95
	W ₁	1. 90	0. 27	16. 9	6. 1	8. 38	6. 95	68. 45	136. 58
	W ₂	1. 65	0. 22	19. 4	6. 2	8. 77	6. 43	66. 10	114. 47
牛粪	M ₃	1. 17	0. 34	16. 3	5. 9	8. 54	6. 63	58. 55	117. 38
	W ₃	1. 39	0. 23	17. 7	5. 4	8. 12	6. 75	56. 19	109. 30
	E ₂	1. 04	0. 40	22. 4	6. 5	8. 83	6. 81	55. 03	107. 88
	M ₂	0. 95	0. 54	24. 6	6. 3	8. 99	7. 13	52. 75	104. 98
平均值		0. 37		6. 10		6. 82		119. 79	

物 料		C/N(固相)		NO ₃ - N/ (g · kg ⁻¹)		HS/ (g · kg ⁻¹)		R (HA/FA)	
		堆前	堆后	堆前	堆后	堆前	堆后	堆前	堆后
鸡粪	E ₁	14. 2	11. 1	0. 41	1. 05	140. 7	336. 5	0. 399	1. 569
	W ₁	23. 4	15. 7	0. 23	1. 94	126. 9	352. 3	0. 326	1. 564
	W ₂	32. 1	20. 5	0. 33	1. 64	119. 8	297. 8	0. 312	1. 605
牛粪	M ₃	27. 6	13. 4	0. 07	0. 68	133. 8	308. 2	0. 776	1. 482
	W ₃	34. 0	17. 8	0. 09	0. 72	138. 3	308. 2	0. 776	1. 482
	E ₂	43. 5	24. 5	0. 08	0. 55	114. 8	295. 5	0. 713	1. 502
	M ₂	56. 9	26. 1	0. 09	0. 52	101. 3	26. 32	0. 693	1. 352
平均值		18. 40		0. 19		306. 00		1. 51	

3 结 论

在通气量为 $0.3\text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 的强制通风静态堆肥设备中, 经调理剂与膨胀剂改善的鸡粪与牛粪堆料在 35 d 的好氧堆肥化过程中各种化学参数都发生了变化。本试验表明:

C/N, E₄/E₆, NH₄⁺ - N 含量下降; CEC, NO₃⁻ - N 和 HS 含量升高; HA 含量的增加幅度大于 FA. 经筛选, 能较好反映畜禽废弃物堆肥腐熟的指标有: NH₄⁺ - N 含量, WSC 含量, 固相 C/N, HS 含量, R, CEC 和 E₄/E₆ 可作为堆肥的一般指标; NO₃⁻ - N 含量仅作为参考; 水浸态 C/N 因后期变化较大不宜作堆肥腐熟指标。

[参考文献]

- [1] Emeterio I J. Evaluation of city refuse compost maturity: A review[J]. Biological Wastes, 1989, 27: 115 ~ 141.
- [2] Garcia G. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 1992, 23: 1501 ~ 1512.
- [3] Haug R T. Composting engineering[J]. Lewis Publishes, 1993: 50 ~ 55.
- [4] Bell G R. The influence of aeration on the composting of poultry manure-ground gorncob mixtures[J]. Agric J Engng Res, 1970, 15(1): 11 ~ 16.
- [5] Hansen R G. Composting poultry manure[J]. Sci & Eng of Composting, 1995: 130 ~ 167.
- [6] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 67 ~ 91.
- [7] 李香兰. 黄土高原土壤有机质与腐殖质[M]. 陕西杨陵: 天则出版社, 1987. 115 ~ 221.
- [8] Jacas T. Cation exchange capacity variation during the composting of different material[J]. Compost Production Quality & Use, 1987: 309 ~ 321.
- [9] 福木勒. 废弃物处理工艺学[M]. 赖耿杨编译. 台湾: 台湾文书局, 1985. 219 ~ 224.

Maturity Indices of Poultry Waste Compost

YANG Yu-feng, XUE Cheng-ze, TANG Xin-bao

(Department of Basic Science, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The paper researches on the tendency changes of several chemical parameters of poultry wastes in caged chicken manure and cattle manure during composting in aerated static pile vessel, and evaluated these chemical parameter's feasibility as maturity indices. The trial indicates that NH₄⁺ - N percentage, WSC percentage and solid-state C/N are the priorly selected maturity indices for poultry waste composts, that HS percentage, HA percentage, FA percentage, humification ratio (R) and E₄/E₆, CEC are considered as common indices for the composts, and that NO₃⁻ - N percentage is regarded as reference index.

Key words: poultry wastes; compost; maturity indices