

猪粪堆肥化处理的物质变化及腐熟度评价

黄国锋^{1,2}, 吴启堂¹, 孟庆强¹, 黄焕忠³

(1 华南农业大学环境科学与工程研究室, 广东 广州 510642; 2 广东省环境保护监测中心站, 广东 广州 510045;
3 香港浸会大学生物系, 香港 九龙塘)

摘要: 研究了初始 C/N(m_C/m_N) 分别为 29 和 16 的 2 种不同条件对猪粪堆肥化处理的物质变化和腐熟度的影响, 结果表明: 水溶性有机 C/N、固相 C/N、水溶性有机碳及水溶性 NH_4^+-N 浓度均随着堆肥化的进行而降低。种子发芽指数的评价结果表明: 初始 C/N 为 29 时, 猪粪经过 49 d 的堆肥后达到成熟, 而 C/N 为 16 的处理则需要 63 d 以上才能达到腐熟要求。过高的盐分含量是导致低 C/N 条件下堆肥产品植物毒性较高的原因之一。考虑到堆肥腐熟度受多方面化学因素的影响, 建议以种子发芽指数作为有机固体废物堆肥腐熟度的评价指标。

关键词: 猪粪; 堆肥; 腐熟度; C/N

中图分类号: X713

文献标识码: A

近年来, 由于集约化生产规模的不断扩大, 禽畜粪便的产生量日益巨大。新鲜的禽畜粪便含有大量不稳定有机质, 极易腐烂分解, 产生恶臭, NH_3 和 H_2S 等气体, 对环境产生极大的污染; 它还含有大量致病微生物, 危害人的身体健康; 另外, 禽畜粪便还含有大量的 N 和 P 等无机养分, 这些养分流失到水体后, 会造成水体富营养化, 严重影响水生生物的生长和繁殖。在香港, 每年产生 22 000 t 猪粪, 新界地区径流污染中有 70% 是由猪场排出的废物引起, 已造成了严重的环境问题^[1]。猪粪含有丰富的植物营养元素, 是一种良好的有机肥源。高温好氧堆肥化是减量化、稳定化和无害化处理利用有机固体废弃物的有效手段之一。成熟的堆肥用作有机肥料不仅能够增加作物产量, 改善农产品的品质, 由于其有机物含量丰富, 它还是一种良好的土壤改良剂, 可以改善土壤的理化性质。未腐熟的堆肥施到土壤中, 由于有机物的强烈分解, 消耗根际土壤中的氧气并产生有机酸等植物毒性物质, 妨碍作物的正常生长。因此, 堆肥产品施用之前, 有必要进行腐熟度评价, 它是堆肥产品质量及其安全农用的保障。

堆肥的腐熟度受堆肥温度、通风条件、湿度和 C/N(m_C/m_N) 等因素的影响, 其中 C/N 是最重要的影响因素之一。有机固体废物堆肥化处理的最适宜 C/N 为 25~30, 由于有机废物的 C/N 一般较低, 因而在进行堆肥前要加入一定量 C/N 较高的调理剂

加以调节。Bhamidimarri 等^[2]认为, 木屑是一种良好的调理剂, 它不仅有很强的吸湿性, 还能有效增加堆体的空隙度。笔者在此研究了初始 C/N 为 29 和 16 时, 猪粪和木屑混合堆肥的物质变化及腐熟度评价。同时, 探讨了减少调理剂(木屑)的用量、降低堆肥原料的成本、低 C/N 条件下混合堆肥的可行性。

1 材料与方法

1.1 猪粪堆肥化处理

本实验是在香港嘉道理农场进行的。猪粪采自香港大埔养猪场, 木屑购自深圳一家木材加工厂, 其物理化学性质见表 1。处理 1 中猪粪和木屑的鲜质量比为 3:2.5, 混合物料的初始 C/N 约为 29; 处理 2 中猪粪和木屑的鲜质量比为 4:1, 混合物料的初始 C/N 约为 16。为增加堆体的空隙度, 按体积比为 10% 加入小木块作为膨胀剂, 堆肥前与堆肥物料混合均匀。本实验采用条垛堆结构, 堆的体积为 $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$, 堆肥时间为 63 d。堆肥开始后, 当温度升到 60°C 时第 1 次翻堆, 堆肥前 7 周每 3 d 翻堆 1 次, 之后每 7 d 翻堆 1 次。堆肥开始时, 混合物料的湿度控制在 60%~70%。每天通过插进堆体的温度计记录早晚的温度, 并以其算术平均值描述堆肥温度的变化。分别于 0、3、7、14、21、35、49 和 63 d 各采集 3 个平行样品, 用保鲜袋密封并现场保存于 4°C 冰罐中。部分样品风干后过 0.25 mm 筛, 密封保存, 以备分析。

表 1 堆肥物料的物理化学性质

Tab. 1 Physicochemical parameters of raw materials

物料 raw materials	pH	盐分 EC/(dS·m ⁻¹)	w(水分 moisture)/%	w(总碳 total C)/%	w(总氮 total N)/%	C/N
猪粪 pig manure	8.12	3.82	68.3	36.6	3.24	11.3
木屑 sawdust	5.55	0.02	50.2	46.5	0.07	664

1.2 化学分析项目及方法

新鲜堆肥样品用去离子水按土水比 1:10(以干质量计)浸提 1 h 后,用 Orion 920 SE pH 计测定悬浮液的 pH 值,用 Orion 160 电导仪测定 EC 值.然后,在 4℃低温条件下,12 000 r·min⁻¹离心 15 min,过 0.45 μm 纤维树脂滤膜,收集滤液用作以下项目的分析.水溶性 NH₄⁺-N 用靛酚蓝比色法直接测定.水溶性碳用 SHIMADZU TOC-5000 A 分析仪直接测定.水溶性 NO₃⁻-N 以镉柱还原法测定,水溶性 T-N 用以上滤液经消化后用靛酚蓝比色法测定,水溶性有机 N 以水溶性 T-N 减去水溶性 NH₄⁺-N 和水溶性 NO₃⁻-N 计算所得.堆肥样品的 T-C 以风干样用重铬酸钾外加热法测定,T-N 用凯氏定氮法测定.

1.3 种子发芽指数的测定

培养皿内垫 1 张滤纸,均匀放入 10 颗水堇(*Lepidium sativum* L.)种子,加入以上浸提滤液 5.0 mL,在 25℃黑暗的培养箱中培养 48 h 后,计算发芽率并测定根长,然后用以下公式计算种子的发芽指数^[3].每个样品做 3 个重复,同时以去离子水作空白试验.

发芽系数= $\frac{\text{处理的发芽率} \times \text{处理的根长}}{\text{空白的发芽率} \times \text{空白的根长}} \times 100\%$.

2 结果与分析

2.1 温度和 pH 值变化

如图 1-a 所示,处理 1 在堆肥 3 d 后,温度迅速上升到 50℃以上,并开始进入高温分解阶段,处理 2 则需要 7 d 的时间,而且处理 1 的最高温度为 69℃,略高于处理 2 的 60℃,这表明 C/N 为 29 更有利于微生物的生长和繁殖.堆肥化温度变化主要有 3 个阶段,分别为升温阶段、高温阶段和冷却后熟阶段.其中,高温阶段是高温好氧堆肥化处理有机固体废弃物的关键阶段,大部分有机物在此过程中氧化分解,堆肥物料中几乎所有的致病微生物在此过程中被杀死而达到稳定化.温度过低时,有机物的分解速度会减慢;温度过高时,微生物的活性受到抑制,同样不利于堆肥的顺利进行.有研究显示,堆肥的最适宜温度在 50~60℃之间,也有人认为城市固体废物堆肥的最适宜温度为 65~70℃^[4].在本实验中,温

度控制在 60℃左右.此过程中,微生物消耗环境营养物质和堆肥中的其他水溶性组分,不断生长和繁殖,并放出大量的热量,因而高温阶段会持续一段较长的时间.处理 1 的高温阶段(>50℃)持续了 40 d,而处理 2 仅持续了 32 d.处理 2 中较低的温度和较短的高温持续时间可能是由于在低 C/N 的条件下,有效碳源不足而抑制了微生物的生长和活性所致.

2 个处理的 pH 变化有相同的趋势,但出现峰值的时间有所差异,pH 峰值与温度峰值的出现基本一致,如图 1-b.初始阶段,随着温度的升高,pH 迅速上升,堆肥后期,pH 明显下降.这可能是由于有机氮在微生物的作用下发生强烈的矿化分解,并产生大量 NH₃而引起堆肥 pH 值的显著提高.在堆肥的后期,由于硝化细菌活性的增强,硝化作用释放的 H⁺不断增多,另外,由于堆肥过程中有机物的分解而产生的有机酸也可能是导致堆肥后期 pH 下降的原因.在整个堆肥过程中,处理 2 具有相对较高的 pH,这可能是由于猪粪带碱性,而且处理 2 中含有较高比例的 N 而使 NH₃的产生量相应较大所致.

2.2 水溶性有机碳(DOC)

堆肥至 35 d 前,2 个处理的 DOC 迅速下降,如图 1-c 所示.处理 1 DOC 的初始值为 13 221 mg/kg,63 d 堆肥结束时下降到 3 942 mg/kg,减少 70%,而处理 2 DOC 的初始值为 10 723 mg/kg,堆肥结束时下降到 5 352 mg/kg,减少 50%.表明堆肥化过程中,微生物的分解活动剧烈,特别是 C/N 为 29 的处理 1. Garcia 等^[5]提出腐熟堆肥的 DOC 含量(w)应少于 0.5%.处理 1 在堆肥进行到 49 d 时,DOC 含量低于 5 000 mg/kg,而处理 2 在 63 d 时,DOC 含量仍大于 5 000 mg/kg.根据这一评价标准,处理 1 经过 49 d 堆肥化处理便达腐熟化,而处理 2 则需要 63 d 以上才能达到腐熟要求.

2.3 水溶性 NH₄⁺-N

图 1-d 表明,堆肥的最初 7 d,2 个处理的水溶性 NH₄⁺-N 都有明显的上升.这是因为随着温度的升高,微生物氨化作用的增强使 NH₄⁺-N 在第 7 d 时到达最高值.之后,由于 NH₃的挥发和微生物对氮的固定作用, NH₄⁺-N 含量不断下降.处理 1 在堆肥进行到 49 d 时, NH₄⁺-N 的含量为 371 mg/kg,而

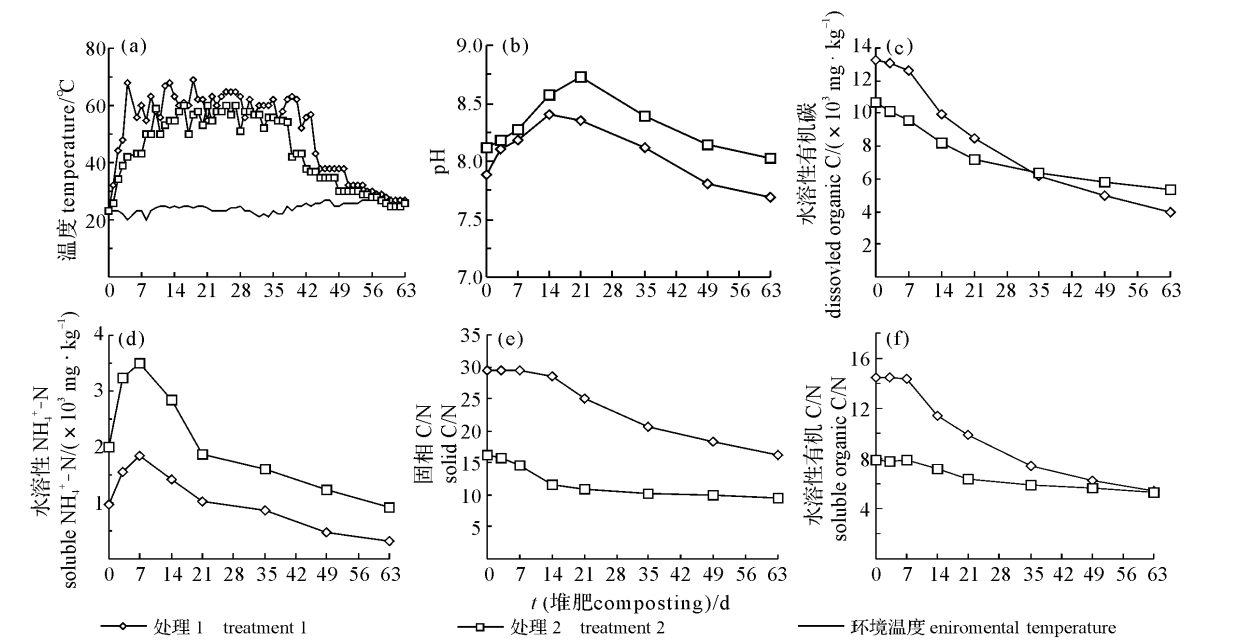


图 1 堆肥过程中的物理、化学变化

Fig. 1 The physical—chemical changes during composting

处理 2 在 63 d 时为 912 mg/kg. Zucconi 等^[6]认为, NH_4^+-N 含量的下降, 指示了堆肥的腐熟过程, 成熟堆肥的 NH_4^+-N 含量应小于 400 mg/kg. 根据这一标准, 处理 1 经过 49 d 即可达到腐熟, 而处理 2 则需要 63 d 以上才可以达到腐熟化的要求. 但是, 由于 NH_4^+-N 的浓度变化受温度、pH、微生物代谢、通气条件和氮源条件的影响, 这一参数通常只作为堆肥腐熟度的参考, 不能作为堆肥腐熟度评价的绝对指标.

2.4 固相和液相中的 C/N

图 1—e 中, 处理 1 的初始 C/N 为 29.4, 49 d 时下降为 18.3, 堆肥结束时为 16.3; 处理 2 的初始 C/N 比为 16.2, 堆肥结束时下降为 9.4. Hirai 等^[7]提出, 若堆肥起始的 C/N 为 25~30, 当其降到 20 左右或以下时, 可以认为堆肥已达腐熟. 根据这一标准, 处理 1 在 49 d 时已达成熟, 处理 2 由于其初始 C/N 较低, 仅为 16.2, 而不能用此标准来进行评价. 由于不同原料的性质有很大差异, C/N 不能作为评价堆肥腐熟与否的绝对指标. Morel 等^[8]建议采用 $T=(\text{终点 C/N})/(\text{初始 C/N})$ 来评价城市垃圾堆肥的腐熟度, 并提出当 T 值小于 0.60 时堆肥达到腐熟. 本研究中, 处理 1 的 T 值为 0.55, 处理 2 为 0.58, 若以小于 0.60 为评价标准, 则经过 63 d 的堆肥后, 处理 1 和处理 2 均已达成熟. 但是, 不同物料的性质有很大差异, 适合于猪粪堆肥腐熟度评价的 T 值水平及其可行性还有待进一步的研究.

水溶性有机 C/N 是由堆肥中 DOC 含量与水溶性有机 N 的比值算得. 图 1—f 为堆肥水溶性有机

C/N 的变化情况. 经过 49 d 的堆肥, 处理 1 的水溶性有机 C/N 从 14 降到 6, 而处理 2 则从 8 下降到 5.2. Chanyasak 等认为^[9], 由于堆肥过程中微生物主要消耗水溶性组分, 因而堆肥的水溶性有机 C/N 可以作为堆肥腐熟度的评价指标, 而且不受物料差异的限制. 他还提出, 当堆肥的水溶性有机 C/N 下降为 5~6 时, 表明堆肥已达腐熟. 根据这一标准, 处理 1 在 49 d 时已达成熟, 而处理 2 达到腐熟只需 35 d.

2.5 种子发芽指数 (GI)

如图 2 所示, 处理 1 的 GI 在堆肥开始时为 14%, 14 d 时降至最低, 仅为 3%. 而处理 2 在堆肥的前 21 d, GI 几乎为 0. 这可能是堆肥初始阶段, 高浓度 NH_3 和小分子有机酸的释放, 抑制了种子的发芽. 随着堆肥的进行, 2 个处理的 GI 均显著上升, 至 63 d 堆肥结束时, 处理 1 达 85%, 处理 2 仅为 46%. Zucconi 等^[3]认为, 当水藓的 GI 达到 50% 时, 表明堆肥已达腐熟, 其植物毒性被认为已降至植物能够忍耐的水平. 实验结果表明, 处理 1 经过 49 d 堆肥后, 已达腐熟, 但处理 2 则需要 63 d 以上. 这一结果与水溶性 C/N 的评价结果有很大差异, 这表明堆肥的植物毒性不仅仅受某一个化学因素的影响, 它有可能还受堆肥盐分等因素的影响. 处理 2 的 EC 值在整个堆肥过程中都保持着较高的水平, 在 63 d 堆肥结束时为 3.29, 明显高于处理 1 为 1.43 的水平, 这可能是由于高盐分的猪粪(表 1)在处理 2 中的加入量较高而引起. 所以, 在本实验中, 过高的 EC 值也是影响堆肥植物毒性的一个抑制因素.

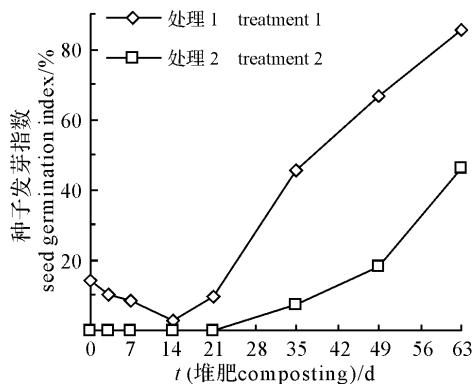


图2 堆肥过程中的种子发芽指数变化

Fig. 2 The changes of seed germination index during composting

从以上结果可以看出,应用不同的化学指标进行猪粪堆肥腐熟度评价时,得到不同的评价结果,这是因为堆肥的腐熟度受很多因素的综合影响,单个化学指标的评价只能片面地反映某个阻碍因素的作用.因此,不能用单一的化学指标评价有机固体废弃物堆肥的腐熟度.笔者认为,堆肥产品最终将用作有机肥进行作物的生产,种子发芽指数是一个生物指标,它综合反映了堆肥产品的植物毒性,被认为是最敏感、最可靠的堆肥腐熟度评价指标.

3 结论

猪粪与木屑混合堆肥在 C/N 为 29 的条件下,采用每 3 d 翻堆 1 次的供氧方式,经过 49 d 堆肥化处理后,可得到腐熟的堆肥产品.但在初始 C/N 为 16 时,氮素不足引起微生物活性受抑制,堆肥达腐熟需要 63 d.另外, C/N 为 16 的条件下,过高的盐分也抑制了种子的正常发芽.评价有机固体废弃物堆肥的腐熟度时,单一化学指标评价方法是片面的和不科学的.种子发芽指数作为一项综合的生物指标,是

最具说服力的堆肥腐熟度评价指标.

参考文献:

- [1] TIQUILA S M, TAM N F Y, HODGKISS I J. Microbial activities during composting of spent pig manure sawdust litter at different moisture contents [J]. *Bioresource Technology*, 1996, 55: 201—206.
- [2] BHAMIDIMARRI S M R, PANDEY S P. Aerobic thermophilic composting of piggery solid wastes [J]. *Water Science and Technology*, 1996, 33: 89—94.
- [3] ZUCCONI F, FORTE M, MONAC A, et al. Biological evaluation of compost maturity [J]. *Biocycle*, 1981, 22: 27—29.
- [4] BACH P D, SHODA M, KUBOTA H. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continuously mixed isothermal reactor [J]. *Journal of Fermentation Technology*, 1984, 62: 285—292.
- [5] GARCIA C, HERNANDEZ T, COSTA F. Changes in carbon fractions during composting and maturation of organic wastes [J]. *Environmental Management*, 1991, 15: 433—439.
- [6] ZUCCONI F, de BERTOLDI M. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste [A]. de BERTOLDI M, et al. *Compost: production, quality and use* [C]. Essex: Elsevier Applied Science, 1987. 30—50.
- [7] HIRAI M F, CHANYASAK V, KUBOTA H. A standard measurement for compost maturity [J]. *Biocycle*, 1983, 24: 54—56.
- [8] MOREL T L, CONLIN F, GERMON J, et al. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost [A]. GASSER J K R. *Composting of agricultural and other wastes* [C]. New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. 56—72.
- [9] CHANYASAK V, KUBOTA H. Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation [J]. *Journal of Fermentation Technology*, 1981, 59: 215—219.

Substance Changes and Maturity Evaluation During Pig Manure Composting

HUANG Guo-feng^{1,2}, WU Qi-tang², MENG Qing-qiang², WONG Huan-zhong³

(1 Lab. of Envir Sci and Engineering, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China; 2 Environmental Protection Monitoring Center of Guangdong Province, Guangzhou 510045, China; 3 Dept. of Biol., Hong Kong Baptist Univ., Hong Kong, China)

Abstract: The physical—chemical changes and maturity evaluation during pig manure composting at initial C/N ratio of 29 and 16 respectively were studied in this research. The results showed that the content of soluble organic C/N ratio, solid C/N ratio, dissolved organic carbon (DOC), and soluble NH_4^+-N decreased after composting, which reflected the maturation process during pig manure composting. The seed germination index (GI) showed that pig manure compost at initial C/N ratio of 29 reached mature after composting for 49 days, while the compost at initial C/N ratio of 16 needed longer time than 63 days for further composting. In this study, the over-high content of salt in the compost at initial C/N ratio of 16 might contribute to the stronger phytotoxicity. Maturity of compost was influenced by lots of factors, so using a single chemical index for its evaluation was unilateral and unscientific. The seed germination index is the recommended index for maturity evaluation of solid organic waste compost.

Key words: pig manure; compost; maturity; C/N ratio

【责任编辑 周志红】