

牛明芬,于海娇,武肖媛,等.猪粪秸秆高温堆肥过程中物质变化的研究[J].江苏农业科学,2014,42(9):291-293.

猪粪秸秆高温堆肥过程中物质变化的研究

牛明芬¹,于海娇^{1,2},武肖媛¹,邹桂芝³,王思博¹,梁文娟¹

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁沈阳 110168; 2. 中国科学院沈阳应用生态研究所,辽宁沈阳 110164;

3. 辽宁省清原满族自治县农业广播学校,辽宁清原 113300)

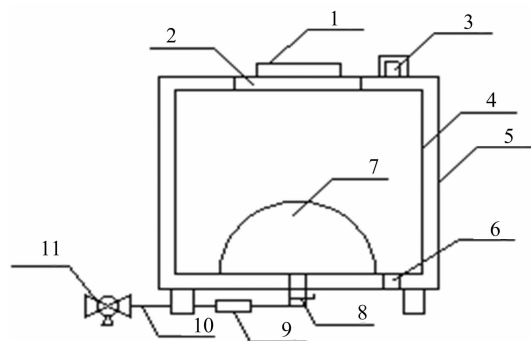
摘要:将猪粪与秸秆通过调节水分至配比 3:1 (以鲜重计),采用机械强制通风、人工翻堆的静态高温堆肥方式,研究过程中各项指标的变化以及达到腐熟的情况。在堆肥进行的 24 d 中,根据温度的变化取 8 次样品进行分析。结果表明,至堆肥结束,铵态氮呈先上升后下降趋势,含量较初期减少 82%,而硝态氮呈逐渐上升趋势,含量增加 20%,水溶性有机碳呈递减趋势,总氮呈先下降后上升的趋势,液相水溶性有机碳与总氮的比值 C/N 由最初的 2.1 降到 0.5,温度、pH 值、WSC/TN、种子发芽指数 *GI* 已趋于稳定,初步认为堆肥 24 d 时腐熟基本完全,堆肥中氮素和碳素分别在升温期和降温期损失最大。猪粪与秸秆混合堆肥,水分是不可忽视的重要指标,物料高水分会使微生物发生厌氧反应,引发臭气,降低分解率,因此堆肥之前最好根据水分设计出一个初始配方,获得合适的 C/N,后期可以通过加水来调节。建议在堆肥初期一次发酵时加大通风量,经常翻堆,在堆肥后期二次发酵时,由于易分解有机物反应基本结束,应适当减少通风量,减少翻堆次数,以确保高品质的堆肥产品。

关键词:猪粪;秸秆;堆肥;腐熟;温度;pH 值;铵态氮;硝态氮;发芽指数

中图分类号: S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0291-03

近年来,随着我国畜牧业的不断发展,畜禽粪便的排放量日益增大。这些粪便处置不当或者不经过任何处理就排放的话,对大气、土壤、环境会造成严重的污染,同时也给畜牧场的环境卫生以及人类的健康带来威胁。秸秆是农业生产过程中所产生的副产品之一,是主要的农村能源,也被用于造纸、饲料、肥料以及建筑材料,除此之外,还有相当一大部分秸秆被荒弃或者直接焚烧,不仅浪费资源,而且污染环境。目前,好氧堆肥是处理有机废弃物最常用的方法,畜禽粪便等经过堆肥过程的高温发酵后,能成为对农作物无害并且可以改良土壤的肥料^[1]。同时,畜禽粪便堆肥后还田利用,能够对土壤进行改良,抑制病菌,减轻土传病害^[2]。然而,在好氧堆肥过程中由于畜禽粪便的来源不同,堆肥物料的组成存在较大的养分差异,最突出表现在碳氮比(C/N)上,堆肥前需要进行调节以便使堆肥 C/N 保持在 25 左右^[1]。秸秆作为最常见的有机碳源是进行堆肥 C/N 调节的主要物料来源,因此将秸秆和畜禽粪便堆肥过程相结合是在堆肥基础上对秸秆进行资源化的有效途径,对秸秆与畜禽粪便混合堆肥过程中物质变化情况进行研究,将为确定相关工艺参数,提高堆肥效率提供重要的技术支撑,对我国农业的可持续性发展有着不可替代的作用。

试验装置如图 1 所示,为小型模拟堆肥装置,是有机玻璃制成的密闭容器,长 300 mm,宽 240 mm,高 360 mm,堆肥外套电热毯进行保温,装置底部安装曝气盘进行强制通风,空气泵连接曝气盘进行间歇式通风,采用人工翻堆,装置底部留有排液管收集滤液。



1—孔盖;2—堆肥进料口;3—排气管;4—容器壁内层;5—容器壁外层;6—排液管;7—曝气盘;8—阀门;9—气体流量计;10—通气管;11—空气泵

图1 小型模拟堆肥装置

1 材料与方法

1.1 试验装置

收稿日期:2014-04-23

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07202008)。

作者简介:牛明芬(1967—),女,博士,教授,主要从事固体废弃物资源化利用研究。E-mail:836580304@qq.com。

通信作者:于海娇,硕士研究生,主要研究方向为固体废弃物资源化利用。E-mail:yuhaijiao.love@qq.com。

1.2 试验初始条件及配比

本试验所用新鲜猪粪取自辽宁省沈阳市十里河村农户,秸秆经粉碎后处理成粒径 1~3 cm 的小段。试验于 2014 年春季在中国科学院生态研究所进行。堆肥原料基本性质见表 1。

表1 堆肥原料基本性质

材料	含碳量 (%)	含氮量 (%)	C/N	含水率 (%)
猪粪	43.6	2.4	17.9	70.1
秸秆	49.1	0.9	56.5	6.1

1.3 试验方法

1.3.1 采样及方法 本试验中以猪粪作为堆肥填料,并利用玉米秸秆进行堆肥 C/N 调节,堆体总质量 15 kg,堆高 25 ~ 35 cm,将堆肥原料混合均匀,混合后物料含水率为 55% 左右,装置外面包裹电热毯以保证堆体内部温度,人工翻堆 3 d/次,机械间歇式通风,前 4 d 每 3 h 通风 30 min,之后每 6 h 通风 30 min。堆体中心插入数字温度计,每天 10:00、16:00 记录堆体温度,取平均值。分别在 0、2、4、8、12、16、20、24 d 各采集 3 个平行样,用密封袋封存并保存在冰箱冷藏,一部分样品经自然风干后过 100 目筛网,以备分析。

1.3.2 检测项目及分析方法 将 3 个平行新鲜样品混匀后取 1 g 放在锥形瓶中,按水肥比 10 : 1 用去离子水浸提 1 h 后,用 Orion 868 型 pH 计测定 pH 值。取风干后过 100 目筛网堆肥样品 1 g 放在离心管中,加入 50 mL 去离子水,3 000 r/min 离心 15 min,过 0.45 μm 纤维树脂滤膜,以备分析。水溶性铵态氮、硝态氮含量用凯氏定氮仪法测定,水溶性碳(WSC)、总氮(TN)含量用 analysis Multi N/C 3100 型 TOC/TN 分析仪器直接测得。最后进行种子发芽指数的测定。

2 结果与分析

2.1 温度与 pH 值

堆肥内部温度变化既能反映微生物所具有的活性,又是堆肥稳定和无害的重要标志。由图 2 可以看出,堆肥 3 d 后迅速升温至 50 $^{\circ}\text{C}$ 以上,从堆肥初始的升温阶段迅速进入了高温阶段,温度变化比较敏感。高温阶段反映堆肥前原料配比以及预处理的好坏,也是有机物在堆肥过程中氧化分解的关键阶段,温度过高、过低都不利于堆肥进行。从变化曲线可以看出,堆体温度在堆肥 3 d 达到 50 $^{\circ}\text{C}$ 后,持续了 7 d,堆肥 10 d 后温度迅速下降,堆肥 12 d 时温度下降到 38 $^{\circ}\text{C}$,随后温度有所回升,经过小幅度上升之后,堆肥 14 d 后开始下降,最后与环境温度保持一致。堆肥升温期是 0 ~ 3 d,高温期为 4 ~ 10 d,降温期为 11 ~ 18 d,稳定期为 19 ~ 24 d,可以从温度变化曲线判断堆肥的进行情况,高温堆肥符合卫生指标 GB 7959—1987《粪便无害化卫生标准》的要求。

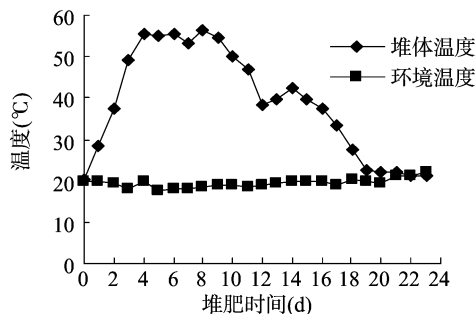


图2 堆肥温度的变化

由图 3 可知,堆肥原料的初始 pH 值为 7.2,呈中性,pH 值在堆肥 2 d 后下降到 5.8,随后开始上升,16 d 后达到了 pH 值最大值 8.5,到堆肥结束 pH 值保持在 7.0 ~ 8.0 之间。初期堆肥中微生物分解有机氮,增加了酸性物质,使得 pH 值下降;之后随着有机物质的分解,溶解在堆肥中得 NH_4^+ 增加,碱性增强,在高温阶段嗜热微生物代替中温微生物进行降解活动,此时铵态氮也迅速积累,使 pH 值达到了最高值;而后较

高的 pH 值使得氨气逸出堆体,物料有机物分解产生的有机酸增加,使得堆体 pH 值下降。pH 值的变化呈先降后升的趋势,在堆肥完成之前 pH 值在 8.5 ~ 9.0 之间,最终的成品 pH 值在 7.0 ~ 8.0 之间。

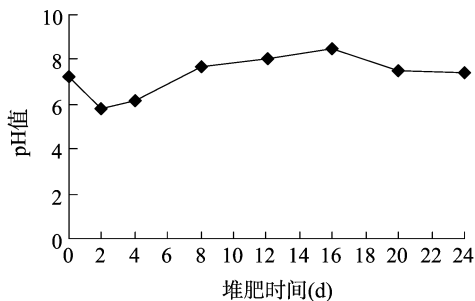


图3 堆肥 pH 值的变化

2.2 水溶性铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)和硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)

在初期堆肥一次发酵时,有机物在微生物的作用下迅速降解,由于初期含水率比较高,因此生成的氨通过溶解作用以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 离子的形式存在,铵态氮含量不断增加,在堆肥 4 d 后达到了最高值,由图 4 可知,铵态氮含量由初期的 2.13 g/kg 迅速增加到了 3.52 g/kg,增加了 65%,至高温期开始有下降的趋势,堆肥 12 d 后降到 1.15 g/kg,在堆肥 4 ~ 12 d 铵态氮含量损失达 67%,可能是因为在高温环境下,物料中的水汽蒸发,引起 NH_3 大量挥发。在堆肥 12 d 左右开始的二次发酵的过程中, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的变化规律类似于一次发酵,但作用机理不同。一次发酵是在微生物的作用下进行,二次发酵是在硝化细菌的作用下进行,进一步氧化成硝态氮,因此铵态氮含量回升至 16 d 出现一个小的峰值(1.56 g/kg)后开始下降,并稳定不变到堆肥结束,这时铵态氮含量为 0.38 g/kg,一般认为堆肥腐熟后铵态氮含量下降到小于 400 mg/kg,符合堆肥腐熟的标准^[3]。铵态氮最后损失比较多,可能是因为强制机械通风不利于铵态氮的累积^[4],加快了氨气的逸出。从图中变化曲线可以看出,铵态氮经过短暂的上升呈逐渐下降的趋势。

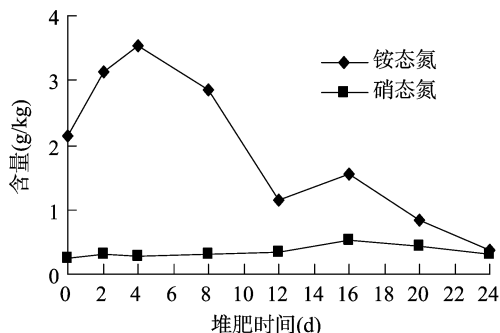


图4 水溶性铵态氮和硝态氮的含量变化

硝化与反硝化的速率差决定硝态氮的含量,在高温好氧堆肥中硝化作用占主导地位,堆肥开始硝态氮含量很少,仅为 0.25 g/kg,在升温期小幅度增加到 0.29 g/kg,在堆肥进入高温阶段,由于属于嗜温细菌的硝化细菌对高温特别敏感,因此严重抑制硝化细菌的硝化作用,在堆肥 4 ~ 12 d 中硝态氮含量一直很低,保持在 0.30 g/kg 左右。在堆肥二次发酵中,硝化作用的条件合适,硝态氮含量不断增加,16 d 后增加到

0.53 g/kg,是初始含量 2 倍左右,之后缓慢下降,到堆肥完成时含量变为 0.30 g/kg。总体来说硝态氮在堆肥过程中有所增加,符合堆肥腐熟度的标准。

2.3 水溶性碳(WSC)、总氮(TN)及液相碳氮比(C/N)

液相 C/N 是堆肥中的水溶性碳与总氮量的比值,图 5 描述了这一过程的变化。本试验在堆肥初期为了使其营养平衡,加入了富碳物质秸秆,减少了 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在物料中的积累,有较少氨气挥发,还能够更好地吸附铵态氮,从而可以很好地降低氮的损失。堆肥过程中水溶性碳呈逐渐减少趋势,因为它是微生物活动的直接碳源,被微生物直接利用。WSC 在升温期变化缓慢,初值为 13.2 g/kg,24 d 后堆肥完成时减少到 2.3 g/kg,减少了 83% 左右,表明在堆肥过程中,微生物进行了剧烈的分解作用。Garcia 等提出堆肥腐熟后的水溶性有机碳应小于 0.5%^[5],本研究结果符合这一评价标准。

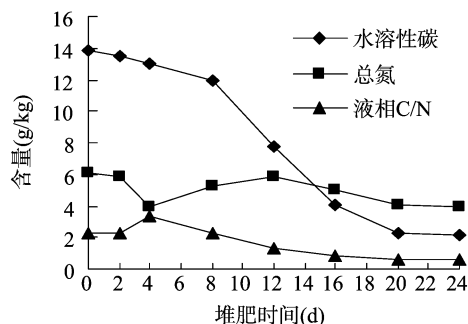


图5 水溶性碳、总氮含量和液相C/N的变化

由图 5 可知,总氮整体呈先降低再升高后降低的趋势,含量由最初的 6.3 g/kg 在 4 d 后骤降到 3.1 g/kg,然后回升,在 12 d 后达到峰值 5.7 g/kg,然后开始下降,曲线变化比较平缓,到堆肥完成时降到 4.9 g/kg,比初期减少了 22% 左右。

由图 5 还可以看出,液相 C/N 24 d 后堆肥完成时降到 0.5 左右。微生物在堆肥过程中主要消耗的是水溶性物质,碳和氮的变化也是堆肥的主要特征,而且变化不易受物料限制,因此液相的 C/N 比可以用来评价腐熟的程度。合适的碳氮比可以减少氮的损失,因此在堆肥预处理时将 C/N 调节到合适的值很关键。文献报道液相的 WSC/TN 应小于 0.7^[6],本试验的最后结果符合这一数据,表明物料腐熟完全,符合标准。

2.4 种子发芽指数

种子发芽指数可以反映物料的植物毒性,是可靠敏感的评价腐熟度的指标。由图 6 可以看出,在堆肥初期,有机酸与高浓度 NH_3 的产生,严重抑制了种子发芽,使得在试验开始阶段种子发芽指数 (GI) 几乎为零,随着堆肥的进行,抑制作用减弱,GI 呈逐渐上升趋势,并且在堆肥完成时已经趋于稳定,保持在 70% ~ 90% 的范围。Zucconi 等认为,一般情况下,GI > 50%,堆肥产品的毒性已经降到种子可以忍受的程度;GI > 85%,堆肥产品已经无毒性,堆肥腐熟完全^[7]。

3 结论

猪粪与秸秆混合堆肥,水分是不可忽视的重要指标,物料

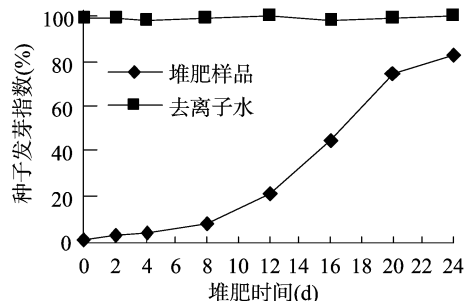


图6 种子发芽指数 (GI) 的变化

高水分会使微生物发生厌氧反应、引发臭气、降低分解率,因此堆肥之前最好根据水分设计出一个初始配方,获得合适的 C/N,后期可以通过加水来调节。

对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、C/N、GI 等变化的研究表明,堆肥启动后 24 d 已基本腐熟,发酵分一次发酵和二次发酵 2 个阶段,建议在堆肥初期一次发酵时加大通风量,经常翻堆;在堆肥后期的二次发酵时,由于易分解有机物反应基本结束,适当减少通风量,减少翻堆次数,可确保堆肥产品具有高品质。

在本次 24 d 的堆肥过程中,堆肥温度逐步上升到 55 ℃ 以上,堆肥高温在 50 ℃ 以上持续了 7 d,满足了堆肥高温无害化卫生标准,且 pH 值作为评价腐熟度的必要条件,最终稳定在 7.0 ~ 8.0 之间。

至堆肥结束,铵态氮呈先上升后下降趋势,含量较初期减少 82%;而硝态氮呈逐渐上升趋势,含量增加 20%;水溶性有机碳呈递减趋势,总氮呈先下降后上升的趋势,液相水溶性有机碳与总氮之比由最初的 2.1 降到 0.5,堆肥中的氮素和碳素分别在升温期和降温期损失最大。

参考文献:

- [1] 吴银宝,汪植三,廖新伟,等. 猪粪堆肥腐熟指标的研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(2):189-193.
- [2] 沱胜之. 沱胜之书[M]. 北京:科学出版社,1956.
- [3] Bernal M P, Sanchez - Monedero M A, Cegarra J, et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes[J]. Bioresource Technology, 1998, 63(1):91-99
- [4] Sartaj M, Fernandes L, Patni N K. Performance of forced, passive, and natural aeration methods for composting manure slurries[J]. Trans of the ASAE, 1995, 40(2):457-463.
- [5] Garcia C, Hernandez T, Costa F. Changes in carbon fractions during composting and maturation of organic wastes [J]. Environmental Management, 1991, 15(3):433-439.
- [6] 李艳霞,王敏健,王菊思. 有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标[J]. 环境科学,1999,20(2):99-104.
- [7] Zucconi F, Forte M, Monac A, et al. Biological evaluation of compost maturity[J]. Biocycle, 1981, 22(4):27-29.