

木薯皮和鸡粪的堆肥化利用研究

侯宪文, 李勤奋, 陈 炫, 李光义, 邹雨坤

(中国热带农业科学院 环境与植物保护研究所, 海口 571101)

摘 要: 由于木薯皮含有大量的纤维素等难分解物质, 且其碳氮比值较高, 难以直接利用。本研究以木薯皮和鸡粪为原料进行高温堆肥发酵, 研究了堆肥化过程中理化性质的变化情况及堆肥腐熟程度。结果表明: 在堆肥发酵过程中, 温度变化呈先上升后下降趋势, 到后期已趋近于初始温度; 而含水率变化不大。各处理的 pH 值在发酵结束时为 7.3~7.5。水溶性有机碳含量随着堆肥化进行而降低; 而水溶性氮含量的变化受通气状况和氮源条件的影响较大。纤维素酶活性在堆肥初期增加, 然后逐渐降低。考虑到堆肥腐熟度受多方面因素的影响, 判断堆肥腐熟度时应根据多种指标(包括生物学、化学、物理学指标)综合判断。

关键词: 堆肥; 腐熟度; 理化性质; 纤维素酶活性; 木薯皮

中图分类号: X71 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2014)03-0478-06 doi:10.11654/jaes.2014.03.011

The Study on Composting Utilization of Cassava Bark and Chicken Manure

HOU Xian-wen, LI Qin-fen, CHEN Xuan, LI Guang-yi, ZOU Yu-kun

(Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Environment and Plant Protection Research Institute, Haikou 571101, China)

Abstract: The cassava bark contains a lot of cellulose and other refractory material as well as high carbon nitrogen ratio, which is difficult to be used directly. A composting system using cassava bark and chicken manure was conducted to probe transforming characteristics during composting process. The results evidenced that the temperature showed the trend of “increase-decrease” among four composts, drew close to the initial temperature at the later period. Moisture content was no significant difference during the time course. The final pH value of each processing was 7.3~7.5 by the end of fermentation. The content of water-soluble carbon(WSC) decreased with composting, reflecting the maturation process during cassava bark composting. And water-soluble nitrogen(WSN) content was strongly influenced by ventilation conditions and nitrogen source conditions. The cellulase activity increased in the early stage and decreased gradually in the later stage. Since many factors impacting the compost maturity, it should be evaluated by various parameters including biological, chemical and physical parameters.

Keywords: composting; maturity; physical chemical parameters; cellulase activity; cassava bark

木薯是国际三大薯类作物之一, 是除谷类和豆类作物外最重要的粮食作物, 广泛种植于热带和部分亚热带地区, 木薯块根富含淀粉, 是主要的收获物, 淀粉除可生产酒精外, 还广泛应用于食品、造纸、化工、纺织、药品、化妆品等产业。木薯在我国主要用于生产淀粉和酒精, 是我国最大的生物能源产业, 也是我国第五大热作产业。木薯皮是木薯深加工后留下来的废弃物, 木薯皮约占鲜薯产量的 10%(含少量泥沙), 不仅

产生量大且利用较困难, 而随意堆置、丢弃或直接进入农田往往引发较大的环境问题。高温好氧堆肥是目前资源化处理有机固体废弃物最有效的途径之一^[1], 新鲜有机质经过一段时间的氧化分解后, 形成性质稳定的、对农作物无毒害的堆肥产品。但木薯皮的 C/N 达 110 以上, 而鸡粪的 C/N 为 10 左右, 如果将两者进行混合后将有利于发酵进程的完成^[2-3]。关于堆肥过程中条件控制(温度、氧气、pH 值、C/N 等)和工艺参数选择方面已有很多研究^[4-6]。堆肥过程是在微生物及其分泌的酶作用下进行的, 不同物料的物理化学性质有很大的差异, 不同的堆肥条件也会对堆肥过程中各性质变化产生很大的影响^[7-9]。本研究以木薯皮为原料, 采用好氧堆肥技术研究了其在不同发酵阶段的物理

收稿日期: 2013-11-29

基金项目: 现代农业产业技术体系项目(nycyt-x-17); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203072-04)

作者简介: 侯宪文(1978—), 男, 副研究员, 博士, 主要从事废弃物资源化利用和热带农业生态环境保护研究。

E-mail: kohouxw@163.com

化学性质和纤维素酶活性的变化,在此基础上探讨了与有机物关系最为密切的碳氮有关的腐熟度评价指标,为以后木薯皮的资源化利用提供理论依据和数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

木薯皮取自海南省琼中县松涛淀粉厂,基本性质:粒(片)径多为(5~25)×0.1 mm, pH 值 6.65,有机质 73.61%,氮含量 0.381%,水溶性碳 1.71%,水分 79.4%。一般微生物分解有机质的适宜碳氮比是 25,选择鸡粪作为 C/N 的调节剂,接种剂为“京圃园”有机废物发酵菌剂。

1.2 试验设计

木薯皮含有大量的纤维素等难分解物质,且其碳氮比值较高,难以直接堆置发酵,因此以干鸡粪为氮源,调节物料的 C:N=25:1,添加 0.3% 的微生物菌剂,将菌剂和各种原料充分混匀后倒入堆肥池中进行堆制,人工翻堆,每 7 d 翻堆 1 次。5 d 左右进行取样分析。共设 4 个处理:处理 1 为木薯皮+菌剂;处理 2 为木薯皮+鸡粪;处理 3 为木薯皮+菌剂+鸡粪;处理 4 为木薯皮。

强制通风堆肥反应器为长方体型水泥池,堆肥池长 2.5 m、宽 1.2 m、高 1.2 m。每个堆肥单元为 1.25 m×1.2 m×1.2 m,体积约为 1.8 m³。池底铺设 PVC 管连接鼓风机,管上铺设有孔镀锌板,堆肥过程中用抽风机实行间歇式机械通风。

1.3 测定方法

温度:不锈钢探头插入堆体中部 40~50 cm 深处,用 JM624 数显温度计测定。水分:采用减重法(烘箱

温度为 105 ℃, 3 h)测定。pH 值:取 1:10 (W/V) 的水浸提液,用 pH 计(HANAN pH-213)测定。水溶性物质测定:称取新鲜堆肥样品,用去离子水按肥(干重)水比 1:10 在室温条件下 250 r·min⁻¹ 振荡 1 h,以 4000 r·min⁻¹ 离心 10 min,上清液过滤备用。水溶性碳含量采用重铬酸钾-浓硫酸法;水溶性氮含量采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定。纤维素酶活性测定方法参照严昶升著作中的方法^[10],采用蒽酮比色法测定,用堆肥(干重计)产生葡萄糖的量表示 μg·g⁻¹·h⁻¹。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2003 和统计软件 DPS7.05 进行数据处理和分析。

2 结果与讨论

2.1 堆肥过程中温度和含水量的变化

堆体温度是反映堆肥体内微生物活性变化的重要指标,在一定程度上可反映堆料的腐熟程度。堆肥温度通常是在开始的 3~5 d 从环境温度迅速上升至 60~70 ℃,并持续一段时间后逐渐下降^[11-12]。在图 1 中,添加鸡粪的处理在堆置发酵 1 d 后堆体温度就达到 50 ℃以上,到第 3~5 d 时,即达 65 ℃以上;而不加鸡粪处理则升温缓慢且温度低于加鸡粪处理,可见适当补充鸡粪有助于发酵进程。第 6 d 测温后翻堆,各处理温度均下降 10 多度,但翻堆后 1~2 d 的温度会上升的比翻堆前高。这可能是在固体物料中微生物移动性差,微生物菌群周围的底物逐渐分解减少,使分解活性逐步降低;翻堆使得堆体内微生物重新移动定位,改善了菌群周围的底物和通气状况,使分解活动重新旺盛而升温,所以堆肥过程中翻堆很重要。各处理的高温期维持了 10~20 d,之后逐渐下降到 31 d 时

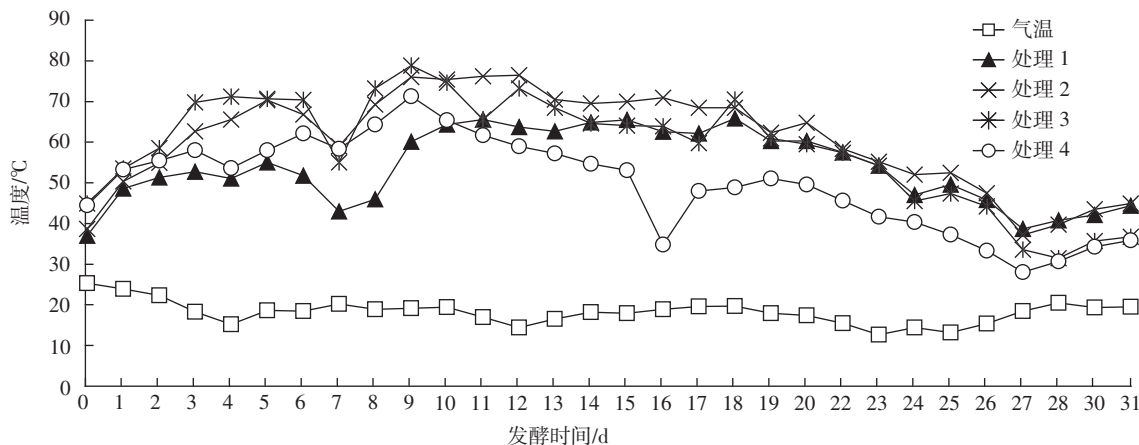


图 1 木薯皮堆肥过程中温度的变化

Figure 1 Change of the temperature during cassava bark composting

已趋近于初始发酵温度,其中加鸡粪处理的温度下降要比其他处理缓慢,概因其堆体中可供微生物利用底物充足,微生物活动较旺盛所致。在降温阶段,随着可分解底物的不断减少,微生物的活动减慢,即使翻堆后温度也不再上升,当其趋近于环境温度时,表明易分解有机质的分解接近完全,堆肥可被认为已达稳定^[13]。

堆体的含水量过高会影响微生物的区系及其代谢活动,进而影响堆肥化进程。在本研究中,木薯皮原料含水量为79.4%,添加干鸡粪显著降低了堆体的含水量,从而加快了堆肥发酵进程,使其温度迅速上升。在高温期水分略有上升,可能是微生物活动旺盛分解产生水分较多所致。在堆肥过程中,除微生物本身的需要外,大部分水分通常随热量损失和排放气体损失掉。但直到31 d结束,各处理的含水量与初始时比较并没有大幅的减少(图2)。可能是堆体物料的片状结构不利于水分的散失,而大孔隙结构又可以保持足量的氧气供给微生物代谢活动。

2.2 堆肥过程中 pH 值的变化

堆体的 pH 值受原料性质差异的影响较大,如图3所示,木薯皮的初始 pH 值为 6.65,而添加鸡粪显著提高了 pH 值。添加鸡粪处理在堆肥发酵初期 pH 值逐渐上升,降温期则缓慢下降;而不加氮处理则呈上升趋势,20 d 后稳定在 7.0 以上。一般微生物活动最适宜的 pH 值是中性或弱碱性,pH 值太高或太低都会使堆肥化进程遇到困难,而腐熟的堆肥一般呈弱碱性。各处理堆体的 pH 值到 31 d 时在 7.3~7.5,各处理间无显著差异,可以认为堆肥已基本腐熟^[13]。

2.3 堆肥过程中水溶性碳、氮的变化

水溶性碳是堆肥微生物最直接的碳源,是能够被微生物直接用来合成自身生命体的重要组成部分,有机物料中起始有效态碳及分解过程中产生的碳库强烈地影响整个分解过程。它是一类组分非常复杂,既含低分子量物质(如游离的氨基酸和糖类)又含各类大分子成分(如酶、氨基糖、多酚和腐植酸等)的混合

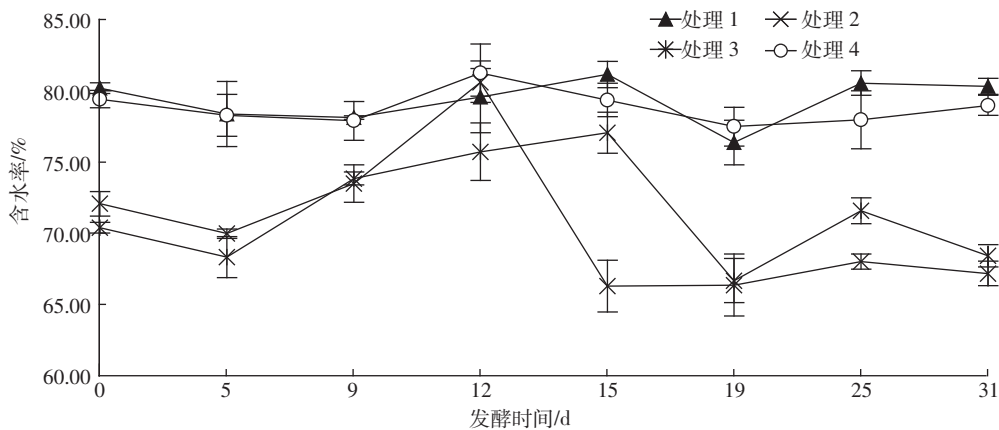


图2 木薯皮堆肥过程中水分的变化

Figure 2 Change of the water content during cassava bark composting

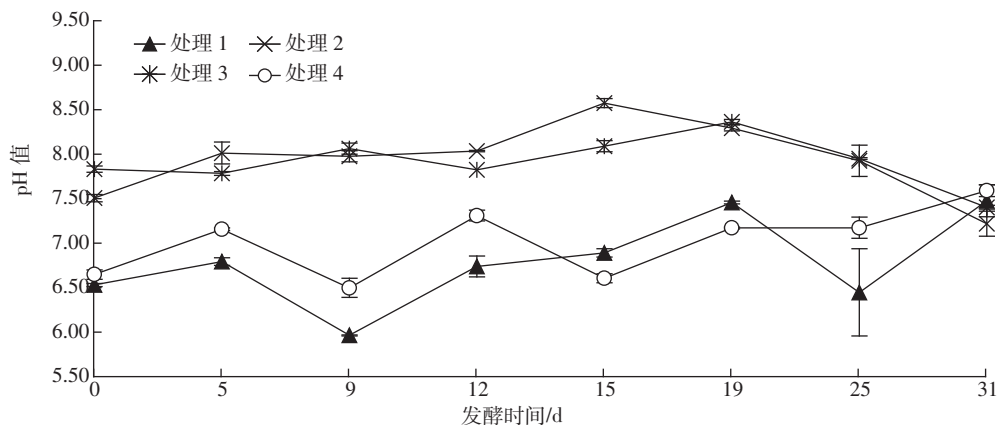


图3 木薯皮堆肥过程中 pH 的变化

Figure 3 Change of pH during cassava bark composting

物。其量的表征是通过测定有机物料经浸提过滤后溶液中的总有机碳量。在本试验4个处理中,处理2和处理3的水溶性碳含量在发酵前期逐渐上升,而后期缓慢下降;处理1和处理4的水溶性碳含量呈缓慢减少趋势。可能是因为处理2和处理3补充鸡粪后,微生物活性增强,原料中的易分解含碳化合物的分解速度大于水溶性碳被微生物吸附或吸收利用速度;之后,随着易分解物质的减少,分解产生的水溶性碳亦逐渐减少。到31 d发酵结束时,各处理的水溶性碳含量为9.8~14.2 g·kg⁻¹。

水溶性氮主要包括无机态氮和易分解的、比较简单的有机态氮,它是铵态氮、硝态氮、氨基酸、酰胺和易水解的蛋白质的总和^[13]。图5中可以看出,发酵前5 d水溶性氮含量上升,尤其是添加含氮物质较多的鸡粪处理,堆体温度越高,微生物活动越强,使得难溶性有机氮化合物快速转化分解为水溶性氮化合物,最终矿化为无机态的氨态氮等,氨态氮的累积也造成了pH值的升高(图3)。不加鸡粪处理中的水溶性氮含

量变化趋于缓慢上升趋势,到堆置31 d时达0.3~0.4 g·kg⁻¹。同时,加鸡粪处理在第1次翻堆后堆体的持续高温使更多的NH₃逸出,导致了第5~9 d水溶性氮含量明显下降。而随着翻堆供氧操作的进行,有机氮化合物不断矿化为氨态氮,氨态氮的累积引起NH₃挥发而造成水溶性总氮含量的起伏变化。有机氮转化为氨态氮导致的氨气挥发是静态好氧堆肥过程中氮素的主要损失途径^[3,9]。因此,适当的控制翻堆次数有助于减少氮素损失。

2.4 堆肥过程中纤维素酶活性的变化

堆肥过程中纤维素的降解与碳素的代谢密切相关,纤维素酶活性的变化可以反映堆肥过程中碳素物质的降解情况^[7]。在本研究中,处理1、4的纤维素酶活性变化趋势比较一致,处理2、3的变化趋势一致,对照和单加菌剂处理在整个堆肥过程中纤维素酶活性比较高,而添加鸡粪的处理似乎对纤维素酶活性变化有较大影响(见图6),与未添加鸡粪处理间有显著差异。木薯皮原料中存在相当数量的纤维素分解菌,因

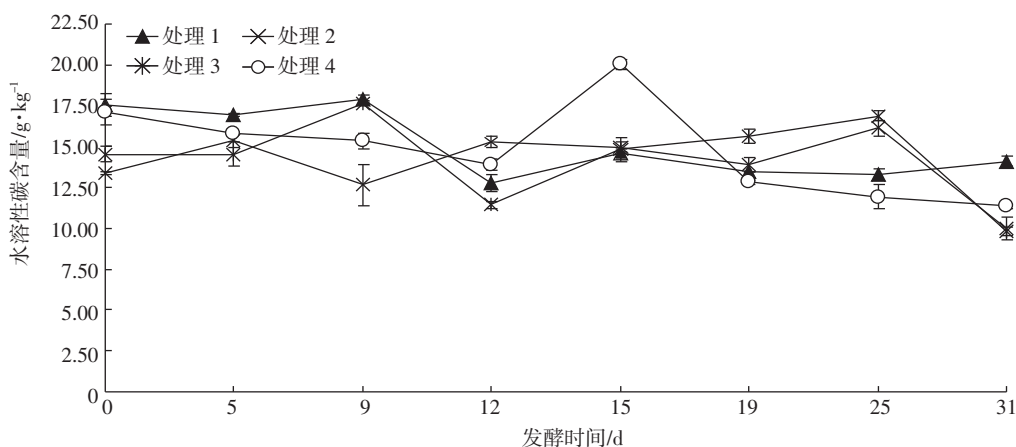


图4 木薯皮堆肥过程中水溶性碳的变化

Figure 4 Change of water-soluble carbon during cassava bark composting

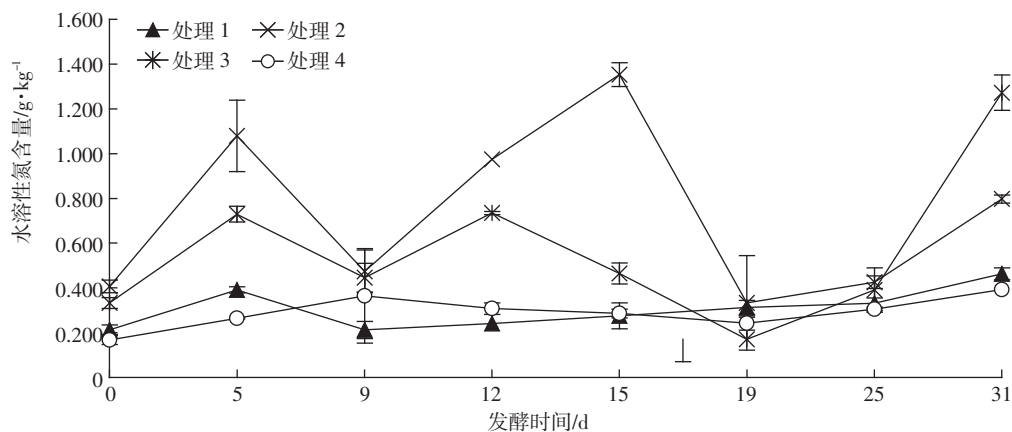


图5 木薯皮堆肥过程中水溶性氮的变化

Figure 5 Change of water-soluble nitrogen during cassava bark composting

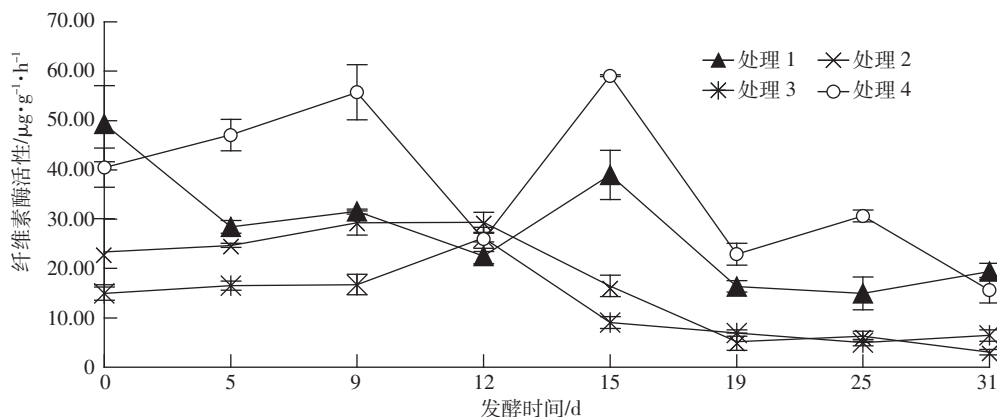


图6 木薯皮堆肥过程中纤维素酶活性的变化

Figure 6 Change of cellulase activity during cassava bark composting

而对照的纤维素酶活性初始值相对较高,在升温期,酶活性逐渐增大,高温期之后逐渐降低并趋于稳定;添加菌剂处理的纤维素酶活性初始值最高,之后呈逐渐降低趋势。分泌纤维素分解酶的微生物是一个群体,包括多种微生物,堆肥过程中纤维素酶活性的变化可能是这一微生物群体不同种类数量消长的结果^[7]。在升温期,纤维素酶活性缓慢上升,在第9~12 d时出现峰值,之后逐渐降低并趋于稳定。可能是随着堆体温度上升,嗜热微生物、中温微生物均随之增多,其活性也逐渐增大,但纤维素酶活性的增加滞后,在堆料达到最高温度1~3 d后才出现纤维素分解酶活性高峰;在冷却腐解期,随着腐殖化过程的进行,大量有机物和矿质养分的耗尽,纤维素酶活和温度都趋于下降。

2.5 木薯皮堆肥腐熟度综合评价

高温好氧堆肥是目前资源化处理有机固体废弃物最有效的途径之一,堆肥稳定度和腐熟度是堆肥产品的质量指标,其评价对于确保堆肥产品的安全施用具有重要意义^[1]。不同物料的物理化学性质有很大的差异,另外,不同的堆肥条件也会对堆肥的过程产生很大的影响,因而堆肥的腐熟度受很多因素的综合制约,其评价指标也因此而多种多样^[13]。在本研究中,木薯皮与干鸡粪混合的处理降低了堆体的含水量,并提高pH值至偏碱性,有助于发酵进程的迅速启动,从温度的变化即可反映出发酵进程。经过高温阶段后,堆肥中的大部分有机质已被分解,堆肥已没有强烈的恶臭,几乎所有的病原微生物已被杀死,不会对周围环境和人体健康造成危害,堆肥已达稳定。因此,温度被认为是堆肥稳定度评价最简便快捷的指标,当其趋于环境温度时,表明堆肥已达稳定^[13]。

添加干鸡粪增加了堆体的水溶性碳、氮,堆肥产

品质主要取决于有机物质的稳定程度,而碳素是有机物质最重要的组成成分。有研究发现^[14],堆肥过程中水溶性有机物的变化较之固相组更能灵敏反映堆肥腐熟状况。Bernal等^[15]将水溶性碳含量 $<17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 作为堆肥腐熟的指标,Hue等^[16]建立的指标为 $<10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。根据Bernal等的标准,本试验的2个处理从刚开始就处于腐熟状态,这显然不合理。所以,要根据具体不同堆肥物料,确定相应的腐熟指标值来进行评价^[13,17]。

添加干鸡粪处理的初始纤维素酶活性较低,并一直低于未添加干鸡粪的处理,可能是鸡粪的添加稀释降低了纤维素分解菌的浓度或抑制了纤维素酶活性,也可能是干鸡粪改变了木薯皮堆肥物料的组成而降低了纤维素酶活性。梁东丽等^[18]研究也表明,在堆肥过程中纤维素酶活性次序为牛粪>猪粪>鸡粪,与物料中有机物的含量有一定的关系。佐证了本试验中添加干鸡粪会降低纤维素酶活性。

综上所述,木薯皮堆肥物料组成影响其堆肥过程中的物理化学性质等的变化,应用不同的指标进行木薯皮堆肥腐熟度评价会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,不能用单一的指标评价有机固体废弃物堆肥的腐熟度,应根据堆体物料的物理指标、化学指标和生物学指标综合判断。

3 结论

(1)在堆肥发酵过程中,温度变化呈先上升后下降趋势,到后期已趋近于初始温度;而含水率变化不大。各处理的pH值在堆肥发酵结束时为7.3~7.5。

(2)水溶性有机碳含量随着堆肥发酵进行而降

低;而水溶性氮含量的变化受通气状况和氮源条件的影响较大。纤维素酶活性在堆肥初期增加,然后逐渐降低。木薯皮堆制发酵约 20 d 就已基本腐熟。

(3)添加干鸡粪降低了木薯皮堆体的水分,提高了 pH 值;但同时也相应降低了纤维素酶活性。而添加有机物腐熟菌剂对促进木薯皮的腐熟没有明显效果,可能和木薯皮和鸡粪本身携带较丰富的微生物有关。

(4)温度、水溶性碳和纤维素酶活性可以作为木薯皮堆肥腐熟度的重要评价指标。但由于受多方面因素的影响,判断堆肥腐熟度时应根据多种指标(包括生物学、化学、物理学指标)综合判断比较适宜。

参考文献:

- [1] 杨国义, 夏钟文, 李芳柏, 等. 不同填充料对猪粪堆肥腐熟过程的影响[J]. 土壤肥料, 2003(3): 29-33.
YANG Guo-yi, XIA Zhong-wen, LI Fang-bai, et al. Effect of different bulking agents on the maturity of pig manure composting[J]. *Soil and Fertilizer*, 2003(3): 29-33.
- [2] 龚建英, 田锁霞, 王智中, 等. 微生物菌剂和鸡粪对蔬菜废弃物堆肥化处理的影响[J]. 环境工程学报, 2012, 6(8): 2813-2817.
GONG Jian-ying, TIAN Suo-xia, WANG Zhi-zhong, et al. Effect of inoculation and poultry dung on composting of vegetable residues[J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2012, 6(8):2813-2817.
- [3] 何云龙, 谢桂先, 刘 强, 等. 添加鸡粪对烟草废弃物高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 湖南农业科学, 2013(5): 49-52.
HE Yun-long, XIE Gui-xian, LIU Qiang, et al. Effect of adding chicken manure on high-temperature composting process of tobacco waste[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2013(5):49-52.
- [4] Miguel A L Z, Naoyuki F, Tetsuo T. Modeling of aerobic biodegradation of feces using saw dust as a matrix[J]. *Water Research*, 2004, 38:1327-1339.
- [5] 郑卫聪, 王 俊, 王晓明, 等. 不同堆置措施对园林有机废弃物堆肥有机物降解的影响[J]. 华南农业大学学报, 2012, 33(1):28-32.
ZHEN Wei-cong, WANG Jun, WANG Xiao-ming, et al. Effects of different disposing measures on the organics degradation during the organic garden waste composting[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2012,33(1):28-32.
- [6] 吴华山, 郭德杰, 马 艳, 等. 添加羊、兔粪及稻草对猪粪堆肥腐熟进程的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(1):58-64.
WU Hua-shan, GUO De-jie, MA Yan, et al. Effect of sheep manure, rabbit manure and straw on pig manure composting[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(1):58-64.
- [7] 谷 洁, 李生秀, 秦清军, 等. 氧化还原类酶活性在农业废弃物静态高温堆腐过程中变化的研究[J]. 农业工程学报, 2006,22(2):138-141.
GU Jie, LI Sheng-xiu, QIN Qing-jun, et al. Changes of oxidation and reduction enzymes of agricultural waste materials during composting in high temperature and static state[J]. *Transactions of CSAE*, 2006, 22(2): 138-141.
- [8] 赵洪颜, 李 杰, 刘晶晶, 等. 沼液堆肥和牛粪堆肥发酵过程中酶活性及理化指标变化的差异[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(2):153-157.
ZHAO Hong-yan, LI Jie, LIU Jing-jing et al. Differences of enzyme activities and physicochemical indexes in biogas slurry compost and cattle manure compost[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18(2):153-157.
- [9] 张晓倩, 许修宏, 王 晶, 等. 添加木质素降解菌对堆肥中酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(4):843-847.
ZHANG Xiao-qian, XU Xiu-hong, WANG Jing, et al. Effect of inoculating lignin degradation strains on enzymic activities in composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(4):843-847.
- [10] 严超升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京:农业出版社, 1988.
YAN Yong-sheng. Research method of soil fertility [M]. Beijing: Agricultural Press, 1988.
- [11] Ekland Y, Kirchmann H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments II. Nitrogen run-tover and losses [J]. *Bioresource Technology*, 2000, 74: 125-133.
- [12] Tiquia S M, Tam N F Y. Co-composting of spent pig litter and sludge with forced-aeration[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 72:1-7.
- [13] 黄国锋, 钟流举, 张振钿, 吴启堂. 有机固体废弃物堆肥的物质变化及腐熟度评价[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5):813-818.
HUANG Guo-feng, ZHONG Liu-ju, ZHANG Zhen-tian, et al. Physicochemical changes and maturity evaluation of solid organic waste compost[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5):813-818.
- [14] Chanyansak V K, Carbon H. Organic nitrogen ration in water extracts as a measure of compost degradation[J]. *J Ferment Technology*, 1981, 59: 215-221.
- [15] Bernal M P, Paredes C, Cegarra M A J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes[J]. *Biore-source Technology*, 1998,63(1): 91-99.
- [16] Hue N V, Liu J. Predicting compost stability[J]. *Compost Science Utilization*, 1995,(3):8-15.
- [17] 朱能武. 好氧堆肥的代谢酶变化和生物毒性物质的降解[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2005, 33(11):6-9.
ZHU Neng-wu. Variation of metabolic enzymes and degradation of phytotoxicity materials in aerobic composting[J]. *Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition)*, 2005, 33(11): 6-9.
- [18] 梁东丽, 谷 洁, 秦清军, 等. 农业废弃物静态高温堆肥过程中纤维素酶活性的变化[J]. 环境科学学报, 2009, 29(2):323-329.
LIANG Dong-li, GU Jie, QIN Qing-jun, et al. Cellulase activities of agricultural waste materials during static composting at high temperature [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(2): 323-329.