

粪便堆肥反应器载体性质变化及其对微生物影响

王洪波, 王晓昌

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要 使用锯末作为堆肥反应器的微生物载体, 研究了锯末载体性质的变化特性及其对微生物的影响。在历时 90d 的反应试验中, 每日定时定量投加粪便, 均匀混合, 控制含水率和反应温度, 对载体的总固体(TS)、灰分(Ash)、容重、孔隙度、木质素、纤维素以及好氧细菌和兼性细菌的数量进行了分析。实验结果表明, 在每日定量投加 1kg 粪便(4~5 人/d 排泄量)的条件下, TS 和 Ash 分别由最初的 0.393g/g 和 0.024g/g 增加到 0.586g/g 和 0.138g/g。TS 和 Ash 的增加导致载体容重的增加, 容重由最初的 0.052g/cm³ 增加到 0.137g/cm³。相反, 孔隙度由 92.24% 降低到 89.42%。反应前后, 载体的主要成分纤维素、半纤维素和木质素的含量分别下降了 9.5%、3.2% 和 0.86%。好氧细菌总数由 10⁹cfu/g 下降至 10⁷cfu/g, 而兼性菌数量由 10⁵cfu/g 增加到 10⁸cfu/g。由此可知, 孔隙度是保障载体通气性和微生物良好生长环境的重要条件, 由于载体通气性能下降, 好氧微生物生长条件不断恶化, 这是反应器工作周期受到限制的主要原因。

关键词 堆肥; 载体; 容重; 孔隙度; 木质纤维素

中图分类号 X705 **文献标志码** A **文章编号** 1003-6504(2009)03-0122-04

Variation Characteristics of Sawdust as Matrix in Human Feces Composting Reactor and Its Effect on Microorganisms

WANG Hong-bo, WANG Xiao-chang

(School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract : Using sawdust as microbial matrix for an aerobic composting reactor, the variation characteristics of sawdust and its effect on microorganisms were studied. In an experimental operation of reactor for 90days, human feces was fed every day with a fixed quantity, well mixed with matrix and decomposed under a ventilated condition with controlled moisture content and temperature. Daily analysis parameters included total solids (TS), ash, bulk density and porosity, lignocelluloses and number of aerobic bacteria and facultative bacteria. Results showed that daily feed of 1kg feces was equivalent to the excrement from 4 to 5 people. As a result, it was found that TS and ash increased from 0.393g/g and 0.024g/g to 0.586g/g and 0.138g/g respectively. Bulk density of matrix increased from 0.052g/cm³ to 0.137g/cm³ due to increasing of TS and ash of matrix. The porosity decreased from 92.24% to 89.42%. Contents of cellulose, hemicelluloses and lignin of sawdust decreased by 9.5%, 3.2% and 0.86% respectively. Numbers of aerobic bacteria decreased from 10⁹cfu/g to 10⁷cfu/g, facultative bacteria increased from 10⁵cfu/g to 10⁸cfu/g. It can be concluded that high porosity was beneficial for ventilation and thus enhanced metabolism of microorganism. Decrease of porosity suggested that the condition for microorganism became worse. The porosity of matrix is a determinant factor for the cycle length of a composting reactor.

Key words : composting; matrix; bulk density; porosity; lignocelluloses

堆肥(Composting)是有机固体废弃物处理的主要方法之一,它是利用自然界天然存在的微生物或人工接种微生物,对有机物进行降解,将有机物转化为类似腐殖质土壤物质的生物化学处理技术。对于好氧堆肥而言,堆肥过程主要控制参数有:温度、氧含量等。通风可用来控制堆肥过程的温度和氧含量,所以,通风被认为是堆肥系统中最重要的因素^[1]。用于处理

粪便的堆肥反应器-生态厕所是分散式卫生系统的重要子系统^[2]。这种堆肥反应器以锯末作为微生物载体和膨胀剂,最终产品富含 N、P、K 等肥分,可用作有机肥料或土壤改良剂^[3]。迄今为止的大量研究已揭示了这种堆肥反应器作为生态厕所处理人粪便时的最佳运行条件和反应器内的生物化学性质^[4-5],但对载体本身性质变化的研究报道不多^[6]。锯末作为堆肥反应器

收稿日期 2008-01-09, 修回 2008-05-05

基金项目 国家自然科学基金重大国际合作项目(50621140001)

作者简介:王洪波(1966-),男,副教授,博士研究生,主要从事固体废弃物处理技术与资源化研究(手机)13991372810(电子信箱)wanghb661228@yahoo.com.cn。

的生物载体,以其高孔隙度、高比表面积、高耐磨性,为好氧微生物的新陈代谢活动提供了适宜的条件,从而保证堆肥反应顺利进行^[7]。然而,随着堆肥反应的延续,载体的性质必然会发生变化,而这种变化也会改变微生物的生长环境并对堆肥过程产生影响。为此,本研究通过一个堆肥周期的连续实验,重点考察了载体物理性质和堆肥前后载体成分的变化规律。同时,评价了载体性质的变化对微生物的影响作用。

1 试验材料和方法

1.1 实验装置和材料

实验装置采用日本科学技术振兴机构 JST 提供的 Bio-Lux S15 型生态卫生设备,其系统构成见图 1。

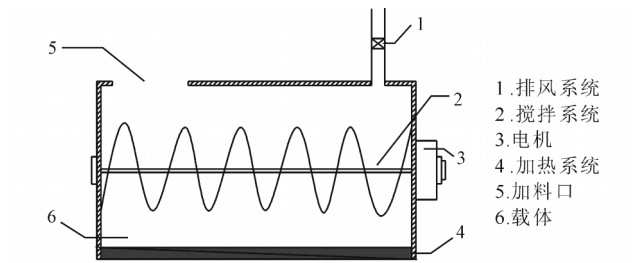


图1 堆肥反应器 (Bio-Lux S15生态厕所) 的构造示意图
Fig.1 Structure of composting reactor (Bio-Lux S15 bio-toilet)

装置安装在西安建筑科技大学,作为生物载体的锯末由西安市木材加工厂提供,实验中定量投加的粪便取自该校学生公寓,锯末和粪便的物理组分见表 1。从锯末的组分来看,纤维素是其主要成分,约占总重量的 44%,其次是木质素(35%)和半纤维素(18%),灰分和其它成分不到 4%。粪便中也含有木质纤维,但只占总重量的 6%左右。其灰分约占 11%,其余为水分和有机成分。

表 1 锯末和粪便的成分组成表

组分	纤维素	半纤维素	木质素	灰分	其他
锯末	0.437	0.179	0.347	0.018	0.019
粪便	0.007	0.029	0.027	0.11	0.827

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计和条件控制

实验周期为 90d。实验开始前向堆肥反应器中投加 0.16m³ 的锯末作为生物载体和,加水调节载体含水率至 60%左右。试验中每日监测载体含水率与温度,当含水率过低时加水调节含水率,使含水率维持在 50%~60%之间^[8-9]。每日上午 7 时定时一次性投加约 1000g 粪便(含少量尿液,平均含水率 80.1%),相当于 4~5 人/d 排泄量。加料后进行充分搅拌混合。利用自动加热装置,保持反应器内温度稳定在 55~60℃左右。

1.2.2 分析方法

每日加料前测量反应器内温度并采集样品,分析样品的含水率、容重、灰分、总固体、木质纤维素、好氧细菌和兼性细菌。含水率、总固体和灰分的测定采用烘干灼烧法^[10],容重测定采用修正的土壤环刀方法^[11],木质纤维素含量的测定采用酸水解重量分析法^[12],好氧菌采用平板计数法^[13],兼性菌采用 MPN 计数法^[14]。

2 结果与分析

2.1 载体物理性质的变化

本次实验是连续堆肥实验,每天定时向反应器内投加定量的粪便。而粪便中含有不可生物降解和缓慢生物降解的有机物及无机物^[15],这些物质的积累势必对载体的物理性质(容重和孔隙度)产生影响,导致容重和孔隙度发生变化。图 2、图 3 是一个实验周期内载体总固体、灰分、容重、孔隙度随时间的变化情况。

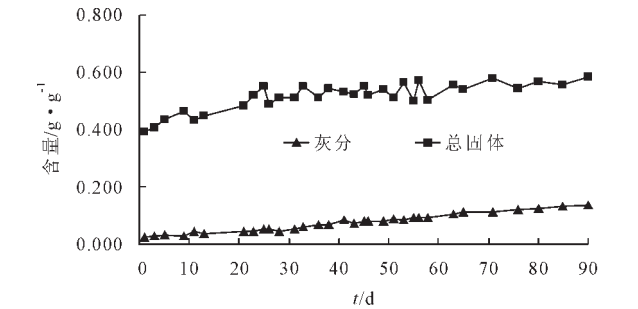


图2 载体TS和Ash随时间的变化
Fig.2 Change of TS, VS of matrix in composting process

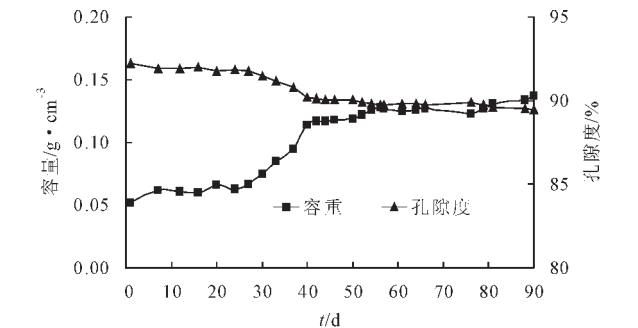


图3 载体容重和孔隙度随时间的变化
Fig.3 Change of bulk density and porosity of matrix in composting process

如图 2 所示,在整个反应周期内,载体的 TS 和 Ash 虽然略有波动,但都呈增加趋势,分别由最初的 0.393g/g 和 0.024g/g 增加到试验结束时的 0.586g/g 和 0.138g/g。TS 和 Ash 的增加可能是造成载体容重增大、孔隙率减小的主要原因。灰分的积累代表了无机物的积累,而 TS 的积累既包括无机物的积累也包括了不可生物降解有机物的积累。灰分和其它不可降解物质在反应器中不断积累,从而导致载体容重增大,与此同时这些物质粘附在载体上或进入载体的孔隙中,导致孔隙率减小。如图 3 所示,从载体的容重来

看,其变化情况明显分为三段:在最初的 25d 内,容重逐渐增大,但变化速度不快;在 25~40d 的范围内,容重增加速度明显加快,迅速从 $0.06\text{g}/\text{cm}^3$ 增加到 $0.115\text{g}/\text{cm}^3$ 左右;40d 以后,容重增大速度减缓,到 90d 的终点时增大到 $0.137\text{g}/\text{cm}^3$ 。与此相应,载体孔隙度的变化情况正好与容重相反,也存在逐渐降低、快速降低、又逐渐降低的三段。到 90d 的终点时,孔隙率从初期的 92.24%降低到 89.42%。

另外,堆肥反应器在机械搅拌的过程中载体也受到磨损,这也是载体容重增大的原因之一。对于堆肥反应器,保持高孔隙度是保障载体通气性和微生物良好生长环境的重要条件。随着反应时间的延长,孔隙度不断降低,使载体的通气性受到影响,反应器内的条件会向不利于好氧微生物的生长方向发展,这是反应器工作周期受到限制的主要原因。

2.2 载体木质纤维成分的变化

载体本身在堆肥过程中一是会受到机械磨损,二是有可能受到微生物的作用。一般来说,机械磨损只会改变载体的尺寸,不会导致其组分的变化。因此,载体组分变化若发生变化,其原因就是在微生物作用下的生物降解。为此,我们考察了载体的纤维素、半纤维素、木质素等组分反应前后的变化情况。图 4 是对反应前的新鲜载体和反应周期结束后的载体充分洗净风干后,进行纤维素、半纤维素、木质素分析的结果。

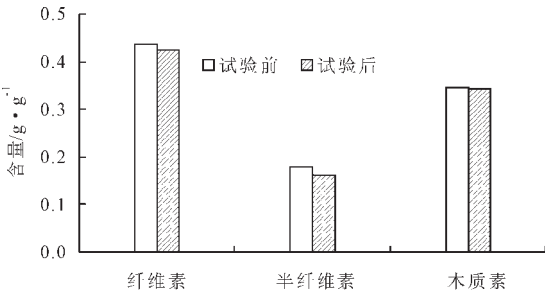


图4 载体木质纤维的始末组对比
Fig.4 Comparison of lignin cellulose and hemicellulose in the raw and composted matrix

经过 90d 的堆肥反应,半纤维素和纤维素的含量略有下降,分别为 9.5%和 3.2%,而木质素只有 0.86%,几乎没有发生降解。这一结果表明,使用锯末作为微生物载体,锯末基本上不被微生物所降解。堆肥期间只是锯末的物理性质发生了改变。

2.3 好氧、厌氧微生物的变化特性

堆肥过程是微生物的新陈代谢活动过程,而氧气是好氧堆肥过程中好气微生物代谢活动所必需的能源。因此,堆肥过程中通气性能的改变是影响好氧微生物生长环境的重要条件。图 5 是堆肥过程中好氧细菌和兼性细菌随堆肥时间的变化情况。

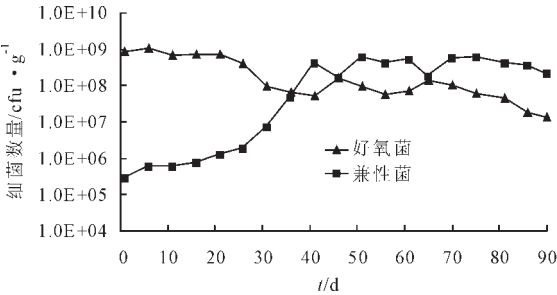


图5 好氧、兼性细菌数量随堆肥时间的变化
Fig.5 Variation of aerobic bacteria and amphotrophic bacteria in composting process

在堆肥初期,好氧细菌是优势菌群,其数量要远远高于兼性菌。随着堆肥的进行,好氧菌的数量呈下降趋势,而兼性细菌的数量呈上升的趋势。从图 5 可以看出,最初 20d,好氧菌的数量基本保持在 $10^9\text{cfu}/\text{g}$,随后呈下降趋势,下降到第 30 天的 $9.27 \times 10^7\text{cfu}/\text{g}$,第 30 天后维持在 $10^8\text{cfu}/\text{g}$ 左右基本不变,而在第 75 天后又呈下降趋势,到第 90 天下降至 $1.3 \times 10^7\text{cfu}/\text{g}$ 。而兼性细菌在堆肥初期的数量只有 $2.75 \times 10^5\text{cfu}/\text{g}$,在堆肥的前 20 天呈缓慢上升趋势,达到 $1.81 \times 10^6\text{cfu}/\text{g}$,第 20 天以后有较快的增长,上升到第 40 天的 $3.85 \times 10^8\text{cfu}/\text{g}$,第 40 天以后兼性细菌的数量基本上不发生变化,保持在 $10^8\text{cfu}/\text{g}$ 左右。这一结果说明由于载体孔隙度的下降,从而使载体通气性能下降,导致反应器中好氧菌数量减少而兼性细菌数量增加。

3 结论

本研究使用锯末作为堆肥生物反应器的微生物载体,在历时 90d 的连续反应周期内,考察了锯末的容重、孔隙度、总固体(TS)、灰分等物理参数,以及载体成分木质素、纤维素、半纤维素等成分的变化情况,并对载体性质变化对微生物的影响作用进行了评价。研究工作的主要结论如下:

- (1)堆肥反应在最初的 40d,载体的容重迅速增大,从最初的 $0.05\text{g}/\text{cm}^3$ 增加到 $0.115\text{g}/\text{cm}^3$,与此同时,孔隙度从最初的 92.24%降低到 90.18%,之后,容重的增大和孔隙度的减小仍然继续,但速度明显减缓。在整个反应周期内,载体的 TS 和灰分都不断增加。以上结果说明,由于载体的磨损和 TS 的不断积累,导致微生物生长条件不断恶化,这是反应器工作周期受到限制的主要原因。
- (2)作为载体锯末的主要成分是纤维素、半纤维素和木质素,其含量分别为 43.7%、17.9%和 34.7%。在反应过程中,载体中的这些成分减少甚微,说明锯末中的纤维素和半纤维素不易生物降解,而木质素则难以生物降解。
- (3)载体通气性能是影响堆肥过程中微生物生长环境的重要因素。由于通气性能的下降,导致堆肥过程中好氧细菌总数由 $10^9\text{cfu}/\text{g}$ 左右下降至 $10^7\text{cfu}/\text{g}$ 左

右,而兼性菌数量由 10^5 cfu/g 增加到 10^8 cfu/g。表明随着堆肥的进行,反应器的通风条件发生改变,微生物的需氧环境恶化。

[参考文献]

- [1] 常勤学,魏源送,夏世斌.堆肥通风技术及进展[J].环境科学与技术,2007,30(10):98-103.
Chang Qin-xue, Wei Yuan-song, Xia Shi-bin. Progress on technology of aeration in composting[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 30(10): 98-103. (in Chinese)
- [2] Lopez Zavala M A, Funamizu N T. On site wastewater differentiable treatment system: modeling approach[J]. Water Sci Technol, 2002, 46(6-7): 317-324.
- [3] Kitsui T, M Terazawa. Environmentally-friendly toilets for the 21st century, biotoilet[J]. In: Proceedings of the 10th ISWPC, Yokohama, : 1999, 120-121.
- [4] Miguel Angel Lopez Zavala, Naoyuki Funamizu, Tetsuo Takakuwa. Temperature effect on aerobic biodegradation of feces using sawdust as a matrix[J]. Water Research, 2004, 38: 2406-2416.
- [5] Hongbo Wang, Xiaochang Wang, Pengkang Jin, et al. Study on microbial growth characteristic and pathogenic microorganism inactivation in bio-toilet[C]. Proceedings of the 4th International Symposium on Sustainable Sanitation, Indonesia: 2006, 210-216.
- [6] Yusuke Ino, Ryusei Ito and Naoyuki Funamizu. Study of physical characterization of sawdust matrix for bio-toilet system[C]. Proceedings of the 4th International Symposium on Sustainable Sanitation, Indonesia: 2006, 290-296.
- [7] Minoru Terazawa, Toshihiro Kitsui. Sawdust Saves Globe: Environmentally Friendly Dry Toilet for the 21st Century [C]. Proceedings of the 1st International Symposium on Sustainable Sanitation, Nanjing: 2003, 9-12.
- [8] M Vikman, S Karjomaa, A Kapanen K, et al. Itävaara. The influence of lignin content and temperature on the biodegradation of lignocellulose in composting conditions[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2002, 59: 591-598.
- [9] C Liang, K C Das, R W McClendon. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend[J]. Biore-source Technology, 2003, 86: 131-137.
- [10] Miguel Angel Lopez Zavala, Naoyuki Funamizu. Effect of moisture content on the composting process in a biotoilet system[J]. Compost Science & Utilization, 2005, 13(3): 208-216.
- [11] Marc Pansu, Jacques Gautheryrou. Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods [M]. New York: Springer, 2006.
- [12] Chi Fong Feng. Emissions of Nitrous Oxide from Composts and Their Affecting Factors[D]. Taiwan: Graduate Institute of Agricultural Chemistry National Taiwan University, 2002.
- [13] Kiyohiko Nakasa, Kazuki Nag, Shuichi Karita. Microbial succession associated with organic matter decomposition during thermophilic composting of organic waste[J]. Waste Management & Research, 2006, 48-56.
- [14] Francis J Larney, L Jay Yanke, James J Miller, et al. Fate of coliform bacteria in composted beef cattle feedlot manure [J]. Environqual, 2003, 32: 1058-1515.
- [15] Miguel Angel Lopez, Zavala Naoyuki Funamizu, Tetsuo Takakuwa. Characterization of feces for describing the aerobic biodegradation of feces[J]. Environ Syst and Eng, 2002b, JSCE. No. 720/ VII-25: 99-105.

(上接第 77 页)

- [24] Jea-An Lee, Mal-Nam Kim. Isolation of new and potent poly(vinyl alcohol)-degrading strains and their degradation activity[J]. Polymer Degradation and Stability, 2003, 81: 303-309.
- [25] Ying Zhang, Yin Li, Wei Shen, et al. A new strain, *Streptomyces venezuelae* GY1, producing a poly(vinyl alcohol)-degrading enzyme[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2006, 22: 625-629.
- [26] Mori T, Sakimoto M, Kagi T, et al. Degradation of vinyl alcohol oligomers by *Geotrichum* sp. WF9101[J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 1996, 60: 1188-1190.
- [27] Mori T, Sakimoto M, Kagi T, et al. Secondary alcohol dehydrogenase from a vinyl alcohol oligomer-degrading *Geotrichum fermentans*; stabilization with Triton X-100 and activity towards polymers with polymerization degrees less than 20[J]. World J Microbiol Biotechnol, 1998, 14: 349-356.
- [28] Ines Mejia AG, Lucy Loez BO, Mulet AP. Biodegradation of poly(vinyl alcohol) with enzymatic extracts of *Phanerochaete chrysosporium*[J]. Macromol Symp, 1999, 148: 131-147.
- [29] Lopez BL, Ines Mejia AG, Sierra GL. Biodegradability of poly(vinyl alcohol)[J]. Polym Engng Sci, 1999, 39: 1346-1352.
- [30] Larking DM, Crawford RJ, Christie GBY, et al. Enhanced degradation of polyvinyl alcohol by *Pycnoporus cinnabarinus* after pretreatment with Fenton's reagent [J]. App Environ Microbiol, 1999, 65: 1798-1800.
- [31] Ding Qian, Guocheng Du, Jian Chen. Isolation and culture characterization of a new polyvinyl alcohol-degrading strain: *Penicillium* sp. WSH02-21[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2004, 20: 587-591.
- [32] Nishikawa H, Hasegawa M. Assimilation of poly(vinyl alcohol) resin[J]. Japan Kokai 77 10 483; 1977. CA 87: 11144.
- [33] Nishikawa H, Hasegawa M. Assimilation of poly(vinyl alcohol) resin[J]. Japan Kokai 77 10 482; 1977. CA 87: 11145.