

Aerobic Fermentation of Okara and Maize Stover as Affected by Different Input Measures under Natural Ventilation Condition

Lingling ZENG¹, Ayako OYA¹, Xitian YANG¹, Lei MIAO¹, Shinyichi SAKAI²

¹College of Resources & Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou, China, 450002

²Agricultural faculty, Shinshu University, Nagano, Japan, 399-4501

Email: xitianyang@yahoo.com.cn, bxfl218@163.com

Abstract: Aerobic fermentation of Okara and maize straw with different input measures was attempted in box facility for 90 days. Input measures were designed in three methods: (I) fully input Okara, maize stover and Composite Bacillus (CB) layer by layer at one time; (II) continuously input Okara, maize stover and CB layer by layer every day until 10 days; (III) fully input the mixture of Okara, maize stover and CB at one time. The results showed that with the commencement of the input, the temperature of material increased quickly and peaked at the third day. High temperature ($\geq 50^\circ\text{C}$) could last for a period of 6~15d. And the aerobic fermentation process could last for a period of 24~36d, in which the material volume reduced correspondingly. Reduction ratio of material volume was highest in box II and lowest in box I. Along with the fermentation process, material pH increased from 5.6 to 6.2~6.6, C/N ratio and conductivity decreased gradually. Microbial activity peaked at 30d and then decreased.

Keywords: okara; maize stover; aerobic fermentation; Composite Bacillus

自然通风条件下不同投放方式对豆制品废弃物和玉米秸秆好氧发酵的影响

曾玲玲¹, 大矢绫子¹, 杨喜田¹, 苗蕾¹, 酒井信一²

¹河南农业大学资源与环境学院, 郑州, 中国, 450002

²信州大学农学部, 长野, 日本, 399-4501

Email: xitianyang@yahoo.com.cn, bxfl218@163.com

摘要: 把豆渣和玉米秸秆按照不同投放方式设置 3 个简易发酵箱进行为期 90 d 的好氧发酵。I: 豆渣+玉米秸秆+杆菌复合菌, 分层一次性投放; II: 豆渣+玉米秸秆+杆菌复合菌, 分层连续性投放; III: 豆渣+玉米秸秆+杆菌复合菌, 混合后一次性投放。结果表明: 原料投放后各发酵箱内温度开始急速上升, 第 3 天达到发酵期的最高温度, 且高温期 ($\geq 50^\circ\text{C}$) 可持续 6~15 d; 发酵过程一般可持续到 24~36 d, 原料体积也在这个时期出现相应的减少。90 d 后以 II 号箱减少的最多, I 号箱减少的最少; 随着发酵时间的变化, pH 逐渐升至 6.20~6.60, C/N 和电导率逐渐减小, 微生物活性在发酵 30 d 时最大, 然后又开始下降。

关键词: 豆渣; 玉米秸秆; 好氧发酵; 杆菌复合菌

1 引言

豆渣作为豆制品行业和植物蛋白质工厂的废弃物, 每年多达百万吨以上。然而豆渣因为其含水量高、保质期短的特性, 使得豆渣的利用受到一定的限制。好氧发酵是实现有机废弃物资源化处理的有效途径之一。影响

好氧发酵的因素很多, 如温度, C/N 和氧含量等, 而通风可用来控制发酵过程中的这些影响因素, 因此, 通风被认为是好氧发酵过程中最重要的影响因子^[1]。常见的通风方式有自然通风, 翻堆和强制通风等。强制通风会造成温度, 含水率分布不均的情况, 翻堆虽能使堆料、水分、温度和氧气达到均质化, 同时使发酵体的温度降低, 从而导致发酵不完全, 影响发酵效果。如何针对豆渣的高含水率和致密的特性, 对其进行好氧发酵是目前

资助信息: 国家重大水专项子课题 (2009ZX07210-004-01)

通讯作者: 杨喜田, 1965 年生, 河南长垣人, 教授, 博士, 主要从事生态恢复方面的研究。Xitianyang@yahoo.com.cn

亟欲解决的难题。本研究以豆渣作为基础原料,利用玉米秸秆来调节水分和通气状况,通过自然通风,使其在简易发酵箱进行好氧发酵,以期今后的有机废弃物的减量化、无公害处理与资源化利用依据。

2 材料与方法

2.1 供试材料

试验于 2006 年 5 月在河南省郑州市河南农业大学校区内进行。豆渣由郑州市世通食品有限公司提供,含水率为 78.5%; 秸秆采用河南农业大学科技园区作物收割后粉碎的玉米秸秆,含水率 12.8%; 发酵促进剂使用日本信州大学研制的杆菌复合菌,含水率 17.0%。

2.2 试验方法

简易发酵箱是由木板制作的底面积为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$, 高为 1.5 m 木箱。木箱的盖做成一定坡度,防止下雨时雨水进入。底部是用竹片十字交叉组成的不完全封闭的通气孔。木箱放置时使底部不接触地面,悬空 20 cm, 便于底部通风。

试验按不同配置和投放方式共设置 3 个发酵箱, I.将豆渣, 秸秆和复合菌按秩序分 10 层投放, 一次性投放完毕(图 1); II.将秸秆, 豆渣和复合菌按秩序分层每天投放一次, 共投放 10 d(图 1); III.把豆渣和秸秆混合, 并加入复合菌充分搅拌, 一次性投放。秸秆和豆渣各 600 L, 复合菌的使用量按照原料体积的 1/10 进行添加, 含水率统一调整为 60%。

2.3 指标测定与方法

在原材料全部投放后,温度变化用电子温度计(日本, ESPEC THERMO RECORDER RT-10)测定, 将探头放在堆体内, 投放原料后每 3 天读取一次数据, 发酵 60 d 后, 每 10 天读取 1 次; 体积变化通过简易发酵箱内壁的高度线记录原料的高度并计算总体积, 测定时间与温度一致; 电导率、pH 值、有机碳、全氮、微生物活性于全部投放后测定, 以后每隔 30 天测定 1 次。电导率(EC)采用电导率仪(上海产 DDSJ-308A)测定。有机碳采用重铬酸钾—硫酸亚铁滴定法测定。全氮采用半微量凯氏法测定。微生物活性用 FDA 加水分解测定法分析。

3 结果与分析

3.1 不同发酵箱内的温度随时间的变化

由图 1 可知,3 个发酵箱在原料投放后的 3 d 内均迅速升温, 最高可达 $70.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 经过一段高温期($\geq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$)后, 温度又有开始逐渐降低的趋势。其中 II 发酵箱在高温期以后, 温度虽有所降低, 但发酵箱的温度一直到第 57 天才降至 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。III 在高温期后, 温度有所下降, 但一直接近环境温度。II 和 III 分别在投放原料后 30, 33 d 时温度下降到环境温度以下。此外, 3 个发酵箱中, I 的高温期为 6 d, II 的高温期达 15 d, III 的高温期达 12 d。

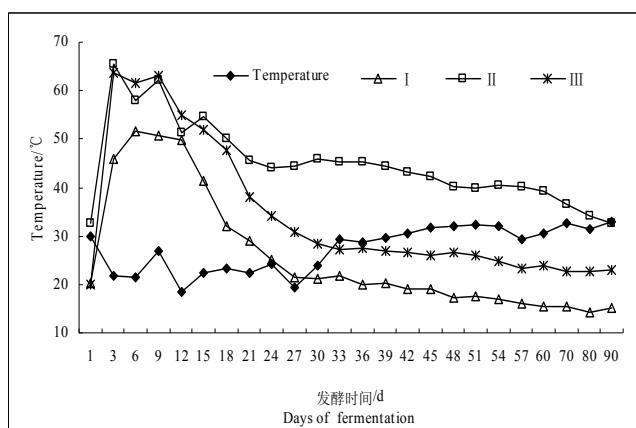


图 1 不同发酵箱内原料温度随时间变化

Figure 1. The change of material volume in different fermentation box with time

3.2 不同发酵箱内的原料体积随时间的变化

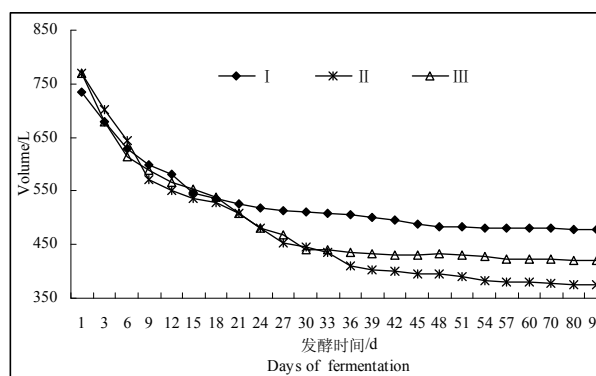


图 2 不同发酵箱内原料体积随时间变化

Figure 2. The change of volume in different fermentation box with time

由图 2 可知, 各发酵箱内的总体积随时间变化都出现相应的减少, 且变化相对都集中在投放原料后 24~36 d。其中 I 的体积变化主要集中在前 24 d, 比投

放后发酵箱内的原料总体积减少了 29.5%；II 的体积变化主要集中在集中在前 36 d，比投放后发酵箱内的原料总体积减少了 46.6%，；III 的体积变化主要集中在集中在前 30 d，比投放后发酵箱内的原料总体积减少了 42.6%。在原料投入 90 d 后，发酵箱内的原料体积分别减少了 34.9%，51.3%，45.3%。

3.3 不同发酵箱内的 pH 随时间的变化

pH 的变化是反映发酵过程的重要参数之一。因为过高或过低的 pH 值都会影响发酵的效率和质量^[2]。材料投放完毕后，3 个发酵箱内的 pH 值在 5.40~5.60 之间（图 3），随着好氧发酵的进行，pH 逐渐升高，发酵 30 d 后，各发酵箱的 pH 在 5.80~6.00，在发酵 90 d 后，pH 值均在 6.20~6.60 之间。

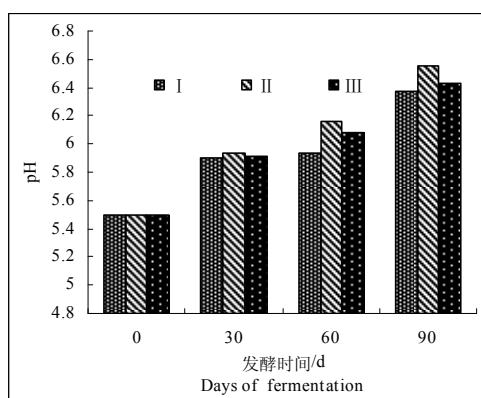


图 3 不同发酵箱内的 pH 值随时间变化

Figure 3. The change of pH value in different fermentation box with time

3.4 不同发酵箱内的电导率随时间的变化

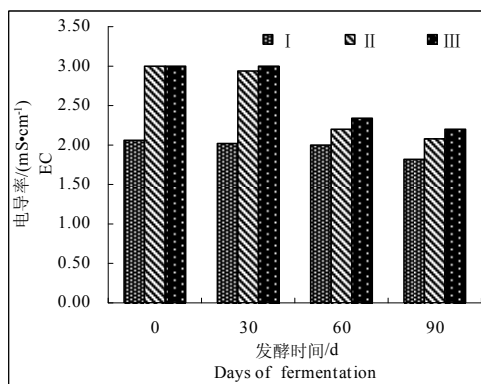


图 4 不同发酵箱内的电导率随时间变化

Figure 4. The change of electrical conductivity in different fermentation box with time

电导率在一定程度上与溶液含盐率呈正相关^[3]。随着好氧发酵的进行，3 个发酵箱的电导率都呈现下降的趋势（图 4），这是由于随着 CO_2 、 NH_3 的挥发，以及胡敏酸物质含量的升高和阳离子交换量的升高，使得 EC 值下降^[4]。尤其是高温期过后，电导率出现明显的下降。从投放原料完毕到发酵 90 d 后，3 个发酵箱内的电导率分别降低到 1.82，2.08，2.21 $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，3 个发酵箱之间差异不显著。3 个发酵箱最终的电导率值均在 4.0 $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以下，因此认为对植物生长无害，不会产生盐分毒害问题^[4]。

3.5 不同发酵箱内的微生物活性随时间的变化

好氧发酵实际上就是微生物的活动过程，因此微生物活性也是分析发酵过程及腐熟度的指标之一。由图 5 可知，原料投放完毕时，3 个发酵箱内的微生物活性在 0.10~0.15 之间，随着发酵的进行，3 个箱内的微生物活性出现先升高后下降的趋势。发酵的前 30 d，由于秸秆和豆渣不断为复合菌提供大量的碳和氮，使微生物活性迅速增加，3 个发酵箱的微生物活性分别增加了 101%，183%，183%；随着发酵进行，原材料逐渐腐熟，微生物活性也开始逐渐下降。而 II 发酵箱内因采用多次添加原料的方法，使得该发酵箱内通气状况较好，发酵时间持续较长，且温度下降缓慢，使该发酵箱的微生物活性一直较其它 2 个发酵箱高。

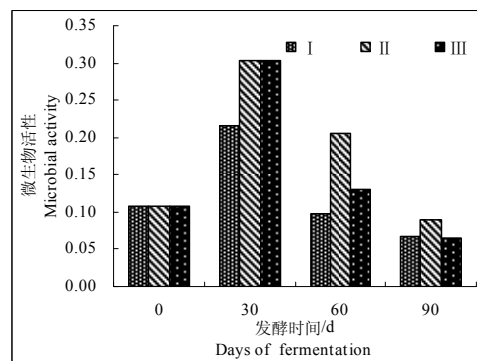


图 5 不同发酵箱的微生物活性随时间变化

Figure 5. The change of microbial activity in different fermentation box with time

3.6 不同发酵箱内的 C/N 随时间的变化

碳是微生物的能源，氮是微生物的营养物质，在好氧发酵过程中，微生物消耗了大量的碳水化合物，因此其 C/N 也随之变化。由图 6 可知，3 个发酵箱内的 C/N 随着好氧发酵的进行都呈现下降的趋势。高温

期后, II 的 C/N 降低幅度最大, 为 19.9%; III 次之, 为 12.08%; I 最小, 为 7.57%。这也与温度和微生物活性的表现一致。II 采用了分层连续投放的方式, 通风状况良好, 因此高温期持续时间最长, 微生物活性在高温期也是最高, 导致消耗的碳源最多, 而 I 因为一次性投放层次太多, 加上豆渣本身高含水率和致密的特性, 使得自然通风无法进入发酵箱内部, 导致好氧发酵不完全。3 个发酵箱内 C/N 从 16.93 分别下降到 11.52, 9.74, 9.68。

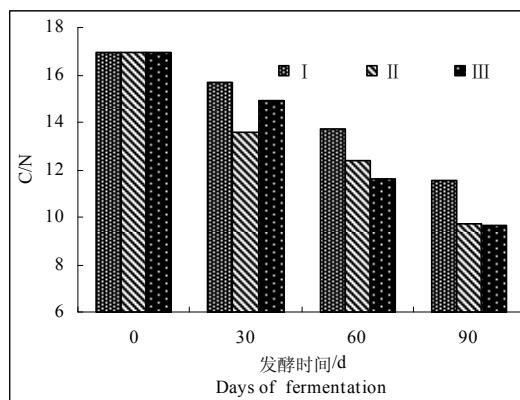


图 6 不同发酵箱内的碳氮比随时间变化

Figure 6. The change of C/N in different fermentation box with time

4 结论与讨论

原料投放完毕后 3 d, 3 个发酵箱开始迅速升温, 最高温度可达 70.1 °C。温度是好氧发酵过程中最重要的影响因素之一, 也是判断其能否达到无害化要求的最重要指标之一^[5]。一般认为, 堆体温度在高温期保持 5 d, 就能达到灭害要求, 也是保证堆肥腐熟的重要条件。3 个发酵箱的高温期 (≥ 50 °C) 持续 6~15 d, 达到灭菌要求。此外, III 发酵箱在高温期以后, 温度虽有所降低, 但发酵箱的温度一直在第 57 d 才降至 40 °C, 这可能与原料的投放方式有关, 因为是连续投放原料, 发酵箱内的通气状况较好, 使发酵箱内一直进行高温好氧发酵。而 II 的温度相对较低, 可能是出现通气不良状况, 导致反应不完全。

发酵箱内的体积变化主要集中在高温发酵期, 即投放原料后 24~36 d, 各发酵箱的体积比投放原料后的总体积分别减少了 29.5%, 46.6%, 42.6%, 以后又逐渐趋于稳定。90 d 后, 体积减少量大小为 II>III>I。表明好氧发酵主要集中在前 36 d, 此后温度开始逐渐下降, 发酵渐渐结束, 体积也趋于稳定。

pH 的变化是反映堆肥过程的重要参数。适宜的 pH 区间可以使微生物有效发挥, 保留堆体的有效 N, 减少 N 的损失^[2]。3 个发酵箱的 pH 值随着好氧发酵的进行呈现逐渐升高的趋势。发酵 90 d 后, 各发酵箱的 pH 值在 6.20~6.60 之间, 是好氧发酵的最适区间。从整个发酵过程来说, 发酵箱的 pH 值偏低, 这也受投放的原料影响。

EC 的大小与堆肥的含盐量有关, EC 值过大会影响植物的生长^[6]。随着发酵的时间变化, 3 个发酵箱内的电导率在 1.82~2.21 mS·cm⁻¹ 之间, 因此认为不会对植物产生盐分毒害问题, 但因为 4 个发酵箱在原料投放完毕时的电导率均低于 4.0 mS·cm⁻¹, 故无法仅凭电导率来判断好氧发酵是否结束。

堆体中微生物的活性变化常被用作评价堆肥腐熟度。而温度又是微生物生命活动的标志, 其变化表征了有机物的降解进程[邹德勋]。随着好氧发酵地进行, 微生物活性在 30 d 时, 即高温期达到高峰, 以 II 的微生物活性最高, 然后开始逐渐下降。

微生物活性越高, 消耗的碳水化合物约多, 碳源被消耗, 转化成 CO₂ 或腐殖质, 总碳量下降, 全氮相对增加。因此, 3 个发酵箱的 C/N 随着时间变化出现逐渐降低的趋势, 发酵 90 d 后, 碳氮比的大小在 9.68~11.52 之间。高温期后, 3 个发酵箱的 C/N 降低幅度从大到小依次为: II, III, I, 这也与温度和微生物活性的表现一致。

References (参考文献)

- [1] Diaz M J, Madejon E, Lopez F, et al. Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process[J]. Process Biochemistry, 2002, 37, 1143-1150.
- [2] Jimenez E I, Carcia V P. Composting of domestic refuse and sewage sludge. I: Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation-exchange capacity [J]. Resource, Conservation and Recycling, 1991, 65:43-49.
- [3] LIU Chenglun, XU Longjun, XIAN Xiaohong, et al. Relation between concentration of salt in aqueous solution and its conductivity [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 1999, 22(2):126-130
刘成伦, 徐龙君, 鲜晓红, 等. 电导法确定水溶液中盐的浓度 [J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 1999, 22 (2) : 126-130
- [4] QIN Li, LI Yu-chun, LI Guo-xue, et al. Maturity indexes and operational parameters during composting municipal solid waste[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(12): 189-194.
秦莉, 李玉春, 李国学, 等. 城市生活垃圾堆肥过程中腐熟度指标及控制参数[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 189-194.
- [5] Yue Bo, Chen Tongbin, Huang Zechun, et al. Simulation on the influence of temperature variety of pile on ambient temperature during sewage sludge composting[J]. Acta Scientiae Cir-

cumstantiae. 2005, 25(11): 1476-1483.

岳波, 陈同斌, 黄泽春, 等. 城市污泥堆肥过程中气温对堆体温度影响的模拟[J]. 环境科学学报, 2005, 25(11): 1476-1483.

- [6] Fang M, Wong J W C. Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge com-

posting [J]. Bioresource Technology, 1999, 106: 83-89.

- [7] Zou Dexun, Wang Qunhui, Sui Kejian, et al. Aerobic composting effect of kitchen garbage and spent mushroom substrate [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 269-273.

邹德勋, 汪群慧, 隋克俭, 等. 餐厨垃圾与菌糠混合好氧堆肥效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 269-273.