

蚯蚓堆制处理对牛粪性状的影响

李辉信, 胡 锋, 仓 龙, 陈庆青, 何 锋

(南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 在最适的湿度和接种密度条件下, 室内接种赤子爱胜蚓处理未腐熟牛粪, 同时以不接种蚯蚓的未腐熟牛粪和自然堆制的腐熟牛粪为对照, 研究了蚯蚓堆制处理对牛粪性状的影响。结果表明, 赤子爱胜蚓处理显著增加了未腐熟牛粪中矿质氮和速效磷的含量, 提高了碱性磷酸酶的活性, 降低了微生物量碳、氮的含量和脲酶的活性, 对蔗糖酶活性无显著影响。赤子爱胜蚓处理的牛粪中细菌在短期内(15 d内)数量显著增加, 真菌和放线菌的数量变化不明显。蚯蚓处理产物与自然堆制的腐熟牛粪对照相比较, 矿质氮和速效钾要高于腐熟牛粪, 但速效磷无显著差异; 微生物量碳氮和酶活性均显著高于自然腐熟牛粪; 细菌、真菌和放线菌的数量也高于自然腐熟牛粪, 但波动较大。

关键词: 蚯蚓堆制处理; 赤子爱胜蚓; 牛粪

中图分类号: X713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2004)03-0588-06

Effect of Vermicomposting on Characteristics of Cattle Manure

LI Hui-xin, HU Feng, CANG Long, CHEN Qing-qing, HE Feng

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Vermicomposting is a new type technique for treating organic waste in the world, but little information on the characteristics of vermicomposts can be found. *Eisenia foetida* (a popular commercial variety) was used and inoculated in the raw cattle manure under optimal moisture and inoculation density in laboratory at 20°C. Characteristics of cattle manure were studied after vermicomposting for two months, using the raw uncomposted cattle manure without earthworm and natural composting cattle manure as the controls. The results showed that the *Eisenia foetida* developed and reproduced well in the 60 incubation days. *Eisenia foetida* increased significantly the content of mineral nitrogen and available phosphorus, promoted the activity of alkaline phosphatase, decreased the number of microbial and the activity of urease, but had no significant effect on sucrase in the raw uncomposted cattle manure. Numbers of bacteria significantly increased in the vermicomposting treatment for the first 15 days, while fungi and actinomyces changed insignificantly between the two treatments, which implied that the earthworm was favorable to the maturity of raw cattle manure and increased the mineralization. Compared with natural composting without earthworm, vermicomposting significantly increased the content of mineral nitrogen and available potassium, microbial biomass C and N and the activity of urease, alkaline phosphatase and invertase. These results suggested that vermicomposting was a better way for treating organic waste, by decreasing the nutrient loss and enhancing the active matter in the composting process.

Keywords: vermicomposting; *Eisenia foetida*; cattle manure

随着农业集约化生产的快速推进, 农业废弃物尤其是畜禽粪越来越多。对于这些农业废弃物的处理方法也在不断发展。有机废弃物的蚯蚓堆制处理

(vermicomposting)是从 20 世纪 80 年代发展起来的一项新型的生物处理技术^[1, 2]。这种新的处理技术是将传统的堆肥法与生物处理相结合, 利用蚯蚓的诸多优良特性对有机废弃物进行处理并以蚓粪的形式排出。但多年的研究^[3-11]侧重于对蚯蚓堆制处理的蚓种选择和处理条件的探索上, 而且研究比较粗放。对于蚯蚓处理后有机废物理化性质的变化缺乏系统和有效的研究, 而这些研究对于蚯蚓处理后有机物料的农肥化有着重要的意义。

收稿日期: 2003-10-20

基金项目: 江苏省科技厅农业开发计划(BL2000031); 江苏省农业厅三项工程项目(S(01)44)

作者简介: 李辉信(1964—), 男, 江西吉安人, 博士, 副教授, 主要研究方向为土壤生态和农业生态, E-mail: huixinli@njau.edu.cn

联系人: 胡 锋, E-mail: fenghu@njau.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试蚯蚓: 赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*), 由南京江宁区秣陵镇农村生态实验站提供。

供试物料: 未腐熟牛粪 (用 N_0 表示) 取自南京农

业大学的牧场, 将新鲜牛粪从牧场取回风干, 挑除杂质, 将大块捻碎并过 5 mm 孔径的筛子, 备用。腐熟牛粪 (用 N_1 表示) 是利用上述新鲜牛粪进行自然堆制 2 个月, 腐熟后取回风干, 碾碎过 5 mm 孔径的筛子, 备用。供试牛粪的基本化学性质见表 1。

1.2 试验设计及采样

表 1 供试牛粪的基本化学性质

Table 1 Basic chemical properties of the cattle manure studied

物料	pH	有机碳/ $g \cdot kg^{-1}$	全氮/ $g \cdot kg^{-1}$	全磷/ $g \cdot kg^{-1}$	全钾/ $g \cdot kg^{-1}$	碳/氮
N_0	8.38	215.60	10.65	5.96	2.59	20.2
N_1	9.04	330.57	16.97	12.41	5.26	19.5

以未腐熟牛粪 (N_0) 为培养基质, 接种赤子爱胜蚓。以不接种蚯蚓的未腐熟牛粪和腐熟牛粪为对照, 对照处理为 3 个重复, 分别用 N_0CK , N_1CK 表示; 接种蚯蚓处理为 4 个重复, 用 $N_0 + E$ 表示。

试验采用上口直径为 18 cm、下底直径为 10 cm、高 15 cm、底部有透水孔的塑料钵, 底部放有纱网防止蚯蚓逃逸。每钵放物料 100 g (风干重), 接种蚓重为 240 ~ 260 $mg \cdot 条^{-1}$, 每钵接种 8 条^[12], 总生物量在 2 g 左右, 接种后在钵口蒙上细纱布防逃。试验期间每隔 3 d 浇 1 次水, 未腐熟牛粪水分含量控制为 700 $g \cdot kg^{-1}$, 腐熟牛粪水分含量控制为 650 $g \cdot kg^{-1}$, 温度控制在 20 $^{\circ}C$ ^[12]。

采样分 4 次, 分别在接种蚯蚓 15、30、45 和 60 d 后进行。取样时将钵中的样品缓慢倒出, 仔细挑出其中的成蚓、蚓茧和幼蚓, 对成蚓进行计数和称重, 对蚓茧和幼蚓进行计数, 并对蚯蚓的生长和繁殖等指标进行计算和统计分析。将处理后的物料混匀, 装入透气的聚乙烯袋中密封, 放入 4 $^{\circ}C$ 的冰箱中保存。鲜样测定项目包括硝态氮、铵态氮、脲酶、蔗糖酶、磷酸酶, 微生物量碳、氮, 细菌、真菌、放线菌数量, 干样测定项目包括速效磷、速效钾。

1.3 蚯蚓生长、繁殖的测试方法^[8]

日增重倍数: (处理一定天数后蚯蚓总重量 - 初始蚓重) / (初始蚓重 \times 处理天数)

日增殖倍数: (处理一定天数后蚯蚓总条数 - 初始蚯蚓条数) / (初始蚯蚓条数 \times 处理天数)

式中蚯蚓总条数包括成蚓数、幼蚓数和蚓茧数, 每个蚓茧按 1 条蚯蚓计算, 处理时间以 d 计, 蚓重以 g 计。

1.4 样品分析方法

1.4.1 有机碳的测定 (固体稀释法)^[13]

称取 0.500 g 过 20 目的风干样和灼烧土 4.500

g, 混合均匀。从混合样中称取 0.100 0 ~ 0.110 0 g 放入到硬质玻璃管中, $K_2CrO_4 - H_2SO_4$ 外加热氧化法, 硫酸亚铁回滴, 邻啡罗啉作指示剂。

1.4.2 pH 值的测定^[13-14]

pH 计测定, 水与样品质量比为 10:1。

1.4.3 全氮、全磷、全钾的测定

采用常规方法^[15]。

1.4.4 速效养分的测定

硝态氮、铵态氮取鲜样测定, 用 0.05 $mol \cdot L^{-1}$ 硫酸提取, Zn - $FeSO_4$ 还原蒸馏法^[14]; 速效磷用干样测定, 0.5 $mol \cdot L^{-1}$ 碳酸氢钠浸提, 钒钼黄比色法; 速效钾用 1 $mol \cdot L^{-1}$ 乙酸铵浸提原子吸收法测定^[13]。

1.4.5 微生物量碳氮的测定

取鲜样测定, 氯仿熏蒸 - 0.5 $mol \cdot L^{-1} K_2SO_4$ 浸提法。其中, 微生物量碳用氧化滴定法, 即提取液在酸化条件下, 用重铬酸钾氧化, 硫酸亚铁回滴, 邻啡罗啉作为指示剂; 微生物量氮采用提取液全氮消化, 凯氏蒸馏法。

1.4.6 酶活性的测定^[19]

用鲜样测定, 脲酶 - 氧化镁蒸馏法; 碱性磷酸酶 - 磷酸苯二钠比色法; 蔗糖酶 - 3, 5 - 二硝基水杨酸比色法。

2 结果与讨论

2.1 蚯蚓堆制处理中赤子爱胜蚓的生长和繁殖特性分析

由于在利用蚯蚓处理有机废弃物时, 蚯蚓的生长和繁殖直接影响到处理效果, 因而有必要对蚯蚓的生长和繁殖进行统计, 表 2 即为统计结果。

表 2 的数据表明, 随着培养时间的延长, 赤子爱胜蚓在培养 30 d 后其日增重倍数和平均个体重就达到最大, 即从刚投放时的平均个体重 0.25 g 达到

表 2 未腐熟牛粪中赤子爱胜蚓的生长和繁殖情况

Table 2 Growth and reproduction of Eisenia foetida in uncomposted cattle manure

处理时间/d	日增重倍数	平均个体重/g	日增殖倍数
15	0.081 7 ± 0.003 6b	0.558 ± 0.014c	0.025 0 ± 0.014 4c
30	0.122 1 ± 0.001 7a	0.704 ± 0.010a	0.151 4 ± 0.002 4b
45	0.094 3 ± 0.007 7b	0.605 ± 0.021b	0.189 8 ± 0.001 6a
60	0.117 6 ± 0.005 5a	0.695 ± 0.026a	0.136 8 ± 0.005 2b

注: 同一列中字母相同表示无显著性差异, 字母不同表示有显著性差异 ($P \leq 0.05$), 多重比较采用 Duncan's 法, 下同。

0.70 g, 此后其日增重倍数和平均个体重开始缓慢下降并逐渐平稳。蚯蚓的繁殖在培养 15 d 后即已开始, 在第 45 d 达到最强, 此时日增殖倍数达到最大 (0.189 8), 随后蚯蚓的繁殖也开始下降。从以上的分析可以看出, 在未腐熟牛粪中, 赤子爱胜蚓不仅生长良好而且繁殖旺盛, 在 60 d 的培养时间内蚯蚓的生长和繁殖均经历了一个先增加后略有降低最后趋于平稳的过程。

2.2 接种蚯蚓对牛粪矿质氮的影响

从表 3 的数据可以看出, 赤子爱胜蚓对未腐熟牛粪中氮素的矿化作用非常明显。在处理 15 d 后, 赤子爱胜蚓通过对未腐熟牛粪的吞噬和消化, 将未腐熟牛粪中的有机氮迅速转化为铵态氮, 铵态氮的数值远高于未腐熟牛粪对照 (N_0CK), 这说明蚯蚓处理加快了未腐熟牛粪中的氮素转化。在随后的 45 d 时间内, 铵态氮的值迅速降低, 与 N_0CK 基本持平, 说明蚯蚓处理所产生的铵态氮在好氧的条件下转化成了硝态氮。表 3 中硝态氮的含量迅速增加证实了蚯蚓处理产生的铵态氮向硝态氮方向转化。在蚯蚓处理 15 d 时硝态氮的值比 N_0CK 还低, 但在随后的时间内, 硝态氮的值迅速上升, 达到了 N_0CK 的 1~2 倍, 在处理 45 d 后硝态氮的值达到高峰, 随后有所下降并趋于稳定。以上的分析显示蚯蚓处理 ($N_0 + E$) 显著提高了未腐熟牛粪中氮素的矿化, 并且可能还增强了氨化细菌和硝化细菌的活性^[20-21]。蚯蚓处理 15 d 时, 物料硝态氮值比 N_0CK 还低, 可能的原因尚不清楚。是否是

蚯蚓对硝态氮的利用导致了硝态氮的减少, 还有待于进一步的研究。

蚯蚓处理后的物料与自然腐熟牛粪对照 (N_1CK) 相比, 铵态氮在蚯蚓处理初期显著高于 N_1CK , 到处理后期开始逐渐与 N_1CK 接近, 60 d 时各处理铵态氮的值为 $N_0CK > N_0 + E > N_1CK$ 。蚯蚓处理后硝态氮的值迅速升高, 从 30 d 开始就显著高于 N_1CK , 到 45 d、60 d 达到了 N_1CK 的 3~5 倍。从矿质氮的总量来看, 蚯蚓处理后的物料矿质氮含量在处理 15 d 时与 N_1CK 持平, 30 d 时显著高于 N_1CK , 到 45 d、60 d 则达到了 N_1CK 的 2~3 倍, 这表明蚯蚓堆制处理产物氮素的有效性要显著优于传统堆制产品。

蚯蚓处理未腐熟牛粪的结果分析表明, 蚯蚓处理可以明显加快未腐熟牛粪中有机氮的矿化, 显著提高矿质氮的含量。未腐熟牛粪经蚯蚓处理后的物料中矿质氮含量显著高于自然腐熟牛粪中的矿质氮含量, 这主要是由于传统的高温堆制会损失一定量的氮素, 而蚯蚓堆制处理会显著减少氮素的损失。以上分析表明蚯蚓堆制处理不仅能提高氮素的矿化效率, 同时也能减少氮素的损失, 说明蚯蚓堆制处理对氮素的矿化和保持具有一定的优越性。

2.3 接种蚯蚓对牛粪速效磷和速效钾的影响

从表 4 的数据可以看出, 蚯蚓处理未腐熟牛粪后, 物料中的速效磷含量均比 N_0CK 要高, 且有显著性差异。这是因为磷素和氮素一样, 它们的很大一部分处于有机化合状态, 在蚯蚓处理过程中, 蚯蚓和微

表 3 赤子爱胜蚓处理对牛粪矿质氮的影响 ($mg \cdot kg^{-1}$)Table 3 Effect of vermicomposting on mineral nitrogen of cattle manure ($mg \cdot kg^{-1}$)

处理	铵态氮				硝态氮				矿质氮			
	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d
N_0CK	119.1 ± 33.1c	118.8 ± 8.2ab	86.7 ± 5.4a	117.9 ± 5.1a	192.9 ± 33.3a	408.9 ± 54.6c	526.8 ± 6.1b	561.6 ± 63.2b	312.0 ± 45.4b	520.7 ± 40.0c	613.5 ± 7.2b	679.5 ± 46.4b
	447.0 ± 106.3a	142.6 ± 12.3a	69.3 ± 4.5b	105.5 ± 8.0a	46.4 ± 8.0c	691.7 ± 48.5a	1 226.8 ± 269.5a	1 069.2 ± 204.7a	493.3 ± 85.1a	834.3 ± 41.2a	1 296.1 ± 186.0a	1 174.7 ± 153.5a
N_1CK	296.6 ± 55.1b	130.4 ± 37.2a	51.6 ± 43.9c	85.9 ± 22.1b	124.4 ± 42.5ab	475.4 ± 76.5b	287.6 ± 48.3b	358.1 ± 89.2b	421.0 ± 23.5a	605.8 ± 83.3b	339.2 ± 38.3c	471.0 ± 59.8b

表 4 赤子爱胜蚓处理对牛粪速效磷和速效钾的影响($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)Table 4 Effect of vermicomposting on available phosphate and potassium of cattle manure($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

处理	速效磷				速效钾			
	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d
N_0CK	2 681.1 ± 97.3b	2 389.0 ± 58.4c	2 518.8 ± 56.2b	2 583.7 ± 97.3b	670.8 ± 14.2b	954.7 ± 16.2a	941.5 ± 9.5a	943.7 ± 5.6a
$\text{N}_0 + \text{E}$	3 083.4 ± 175.6a	2 616.2 ± 29.7b	2 823.8 ± 59.5a	2 908.2 ± 148.7a	882.0 ± 168.4a	959.7 ± 4.4a	907.9 ± 5.1b	925.6 ± 13.1b
N_1CK	2 999.0 ± 151.2a	2 836.8 ± 118.4ab	2 824.8 ± 187.3a	2 856.3 ± 154.5ab	636.3 ± 11.9b	630.1 ± 7.1b	637.2 ± 10.1c	626.5 ± 9.6c

生物的联合作用加快了有机物质的分解,从而促进了未腐熟牛粪中磷的矿化。但与 N_1CK 相比,蚯蚓处理后的速效磷含量虽有增加的趋势,但无显著性差异,这表明蚯蚓处理对磷的矿化仅达到了传统堆制的效果。

一般来讲,在植物残茬中,钾并不像氮和磷一样紧密地结合于有机化合物中,因而对钾的释放来说,比起那些被结合的氮和磷的矿质化过程来,微生物的分解并不起主要作用,但在植物残茬的分解过程中仍然会有一部分钾在微生物的作用下释放出来^[22]。表 4 的数据表明,接种蚯蚓处理 15 d 时牛粪中速效钾含量显著高于 N_0CK ,30 d 处理持平,到 45 d、60 d 时其含量低于 N_0CK 。这个现象表明在蚯蚓处理初期蚯蚓和微生物的联合作用使植物残茬的一部分钾释放出来,从而使其值高于 N_0CK ;到处理中后期速效钾的值逐渐减少,直至比 N_0CK 要低,这可能是释放出的一部分钾重新被微生物固定利用。蚯蚓处理的速效钾含量在各个时期均高于 N_1CK ,且差异显著,这可能是由于传统的堆制过程导致了钾素的损失。胡秀仁等^[23](1990)的研究表明,蚯蚓处理对不同生活垃圾中速效钾含量均无显著影响,这可能与物料成分和处理条件有关。

2.4 接种蚯蚓对牛粪微生物量碳、氮的影响

蚯蚓与微生物的相互作用是一个非常复杂的过程,关于蚯蚓活动究竟是促进还是抑制微生物的活性一直没有定论^[24]。蚯蚓处理有机废弃物时会影响有机物料中微生物的数量和活性,进而影响有机物质的分解和有效养分的释放,而微生物量既是土壤有效养分的供应源又是储存库,因此明确蚯蚓对微生物量的影响对于确定蚯蚓堆制处理的效果,明确其机制具有重要意义。

从图 1 可以看出,未腐熟牛粪经蚯蚓处理后,其微生物量碳的值比 N_0CK 低,且除了 15 d 的处理没有显著性差异外,其余均有显著性差异。图 2 微生物量氮的数值也有同样的趋势,经过蚯蚓处理的未腐熟牛粪的微生物量氮也比 N_0CK 低。这说明蚯蚓处理不仅

没有提高未腐熟牛粪的微生物量碳、氮,反而降低了其中的微生物量碳、氮,这与 Devliegher W(1995)^[21,25]的研究相似。

从图 1、图 2 还可以看出,自然腐熟牛粪对照处理的微生物量碳、氮均比未腐熟牛粪和蚯蚓处理后的牛粪要低。这表明随着堆制过程的进行,微生物量碳、氮总是呈下降趋势,无论是蚯蚓堆制还是传统堆制都呈现这一趋势。微生物量碳、氮的变化可能是因为蚯蚓处理促进了被微生物固持的养分的释放和牛粪中微生物群体的年轻化,增强了微生物的代谢商和活性^[21],也就是说蚯蚓处理虽然降低了总微生物量碳、氮,但却可能提高了活性的微生物量碳、氮。

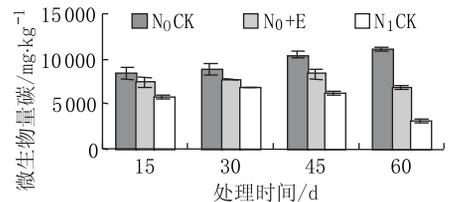


图 1 赤子爱胜蚓处理对牛粪微生物量碳的影响

Figure 1 Effect of vermicomposting on microbial biomass C of cattle manure

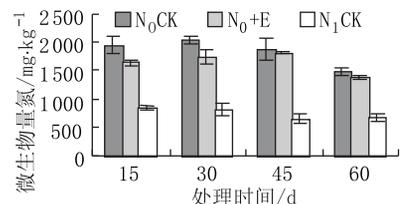


图 2 赤子爱胜蚓处理对牛粪微生物量氮的影响

Figure 2 Effect of vermicomposting on microbial biomass N of cattle manure

2.5 接种蚯蚓对牛粪中微生物数量的影响

从表 5 的数据可以看出,未腐熟牛粪经蚯蚓处理后与 N_0CK 比较,细菌的数量有一个先快速增加,再围绕对照上下波动,最后与对照持平的过程。有关研究表明^[20],蚯蚓粪便中细菌数量的增加是暂时的,一定时间(158 d)后又恢复到原土中细菌数量的水平。但这是对土壤而言的,在有机质含量丰富的牛粪中,

表5 赤子爱胜蚓处理对牛粪中三大类菌的影响

Table 5 Effect of vermicomposting on the numbers of bacteria, fungi and actinomyces of cattle manure

处理	细菌/ $\times 10^8 \cdot g^{-1}$				真菌/ $\times 10^2 \cdot g^{-1}$				放线菌/ $\times 10^6 \cdot g^{-1}$			
	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d
N ₀ CK	3.1	5.1	9.9	3.8	30.8	1.7	86.3	20.4	9.7	2.5	2.1	8.5
N ₀ +E	77.0	1.3	12.0	3.9	15.8	1.3	50.5	8.8	9.6	1.9	10.2	8.6
N ₁ CK	2.2	6.1	4.2	5.3	7.0	5.8	20.8	9.2	3.1	1.8	5.2	6.0

蚯蚓处理后牛粪中的细菌数量会增加更多,而且增加持续的时间也更长。结果显示接种蚯蚓处理 15 d 时,细菌数量是对照的 20 倍。但随着时间的延长,最终恢复到对照的水平。蚯蚓处理后牛粪中的真菌数量比对照低,这可能是蚯蚓的活动(例如蚯蚓对真菌的吞食等)引起的^[26,27]。放线菌的数量在蚯蚓处理前后没有明显的变化(除 45 d 处理时间有一个显著的提高),这说明蚯蚓处理对未腐熟牛粪中的放线菌数量没有显著影响。

N₁CK 与 N₀CK 和 N₀+E 处理的微生物数量相比,三大微生物种群虽然时有波动,但总体来说其细菌、真菌、放线菌的数量均比 N₀CK 和 N₀+E 低。这说

明传统堆制使得牛粪中的微生物数量呈下降趋势,而蚯蚓处理相比之下虽然对真菌和放线菌无显著的促进作用,但却对细菌数量有一个短期(15 d)的显著促进作用,这对提高蚯蚓处理后物料的生物活性很有意义。

2.6 接种蚯蚓对牛粪中酶活性的影响

一般认为土壤中的酶大部分来自微生物,但土壤动物和植物对土壤酶活性也有非常大的贡献,这已为很多研究所证实^[1,19,20,28]。本文着重考查参与碳、氮、磷循环的 3 种重要酶活性(蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶)在牛粪的蚯蚓堆制过程中的变化。

从表 6 的数据可以看出,与 N₀CK 相比,未腐熟牛

表6 赤子爱胜蚓处理对牛粪中酶活性的影响(mg·kg⁻¹·h⁻¹)Table 6 Effect of vermicomposting on the enzyme activity of cattle manure(mg·kg⁻¹·h⁻¹)

处理	脲酶				蔗糖酶				磷酸酶			
	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d	15 d	30 d	45 d	60 d
N ₀ CK	1 741.4 ± 62.7a	1 758.5 ± 15.6a	1 125.8 ± 17.1a	925.0 ± 74.5a	0.435 ± 0.025a	0.358 ± 0.008a	0.367 ± 0.020a	0.465 ± 0.017a	16.26 ± 0.31a	19.82 ± 0.07a	19.41 ± 0.69b	19.46 ± 0.37b
	1 449.7 ± 86.6b	1 274.7 ± 11.5b	597.9 ± 23.7b	519.1 ± 27.9b	0.428 ± 0.014a	0.353 ± 0.003a	0.388 ± 0.008a	0.484 ± 0.011a	17.62 ± 0.49a	21.48 ± 0.33a	21.09 ± 0.57a	20.68 ± 0.53a
N ₀ +E	480.1 ± 47.3c	486.0 ± 24.0c	291.1 ± 20.0c	279.6 ± 6.0c	0.117 ± 0.012b	0.085 ± 0.008b	0.082 ± 0.001b	0.128 ± 0.006b	10.9 ± 0.18b	13.31 ± 0.29b	13.87 ± 0.56c	13.16 ± 0.02c

粪经过蚯蚓处理后脲酶显著降低,至第 45, 60 d 脲酶的值趋于稳定,说明蚯蚓处理降低了未腐熟牛粪中脲酶的活性。虽然蚯蚓处理后脲酶活性降低,但与土壤中的脲酶活性相比仍然较高,而脲酶是一种专性较强的酶,土壤中脲酶活性过高或过低均是尿素氮损失的原因之一,脲酶活性过高会加速尿素的分解,而当脲酶活性过低时对于渗透性强的土壤施用尿素会导致氮素的大量淋失^[19],因此从这个角度来看蚯蚓处理后未腐熟牛粪中脲酶活性的降低也可以看作是一种有利的变化。与 N₁CK 比较,未腐熟牛粪无论是否经过蚯蚓处理,其脲酶活性都要显著高于自然腐熟牛粪,这表明蚯蚓处理和传统堆肥方法均会降低物料的脲酶活性,但传统堆制的方法尤为明显。

未腐熟牛粪经蚯蚓处理后,碱性磷酸酶的值均比对照高,特别是 45, 60 d 处理的碱性磷酸酶活性要显

著高于对照,这可能是蚯蚓的分泌作用或蚯蚓与微生物的联合作用所造成的^[27,28]。碱性磷酸酶活性的提高显然有利于提高蚯蚓处理产物作为有机生物肥料的品质,这也是传统堆制所无法达到的效果。表 6 的数据还表明, N₀CK 和 N₀+E 中的碱性磷酸酶活性均比 N₁CK 中高,且差异显著,这说明传统的堆制方法会降低物料中的碱性磷酸酶活性。

蔗糖酶活性能够反映土壤的呼吸强度,其酶促产物——葡萄糖是植物、微生物的营养源。从表 6 中蔗糖酶的数据来看,未腐熟牛粪经蚯蚓处理后蔗糖酶活性呈现先降低后升高的趋势,但与 N₀CK 差异不显著。然而, N₀CK 和 N₀+E 处理中蔗糖酶活性要显著高于 N₁CK 中的蔗糖酶活性,这同样说明了传统堆制会显著降低蔗糖酶的活性,从而降低堆制后物料的生物活性。上述分析表明,蚯蚓处理降低了未腐熟牛粪中

脲酶的活性,提高了碱性磷酸酶的活性,对蔗糖酶活性无显著影响。蚯蚓处理虽然降低了未腐熟牛粪中脲酶的活性,但仍高于 N₁CK 中的脲酶活性;蚯蚓处理的未腐熟牛粪中碱性磷酸酶活性为 N₁CK 中磷酸酶活性的 1 倍多,而蔗糖酶的活性则达到了 3~4 倍。这些结果都说明蚯蚓堆制处理后物料的酶活性要远优于传统的高温堆制处理,由此可见蚯蚓堆制处理是一种很有前途的有机废弃物的处理方法。

参考文献:

[1] Lee KE. Earthworms: Their ecology and relationships with soil and land use [M]. Australia: Academic Press, 1985: 15 - 16.

[2] 邱江平. 蚯蚓及其在环境保护上的应用: III. 蚯蚓在处理有机废弃物和生活污水上的应用[J]. 上海农学院学报, 2000, 18(1): 53 - 58.

[3] Kaplan DL, Hartenstein R, Neuhauser EF, et al. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia Foetida*[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1980, 12(4): 347 - 352.

[4] Elvira C, Sampedro L, Nogales R. Suitability of sludges from dairy and paper industries for growth and reproduction of *Eisenia andrei*[J]. *Pedobiologia*, 1998, 43 (6): 766 - 770.

[5] Nogales R, Melgar R, Guerrero A, et al. Growth and reproduction of *Eisenia andrei* in dry olive cake mixed with other organic wastes[J]. *Pedobiologia*, 1999, 43 (6): 744 - 752.

[6] Ndewa PM, Thomposon SA. Effects of C - to - N ratio on vermicomposting of biosolids[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 75 (1): 7 - 12.

[7] Dominguze J, Edwards CA. Effect of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia Foetida* (Oligochaete) in pig manure[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, 9 (3/4): 743 - 746.

[8] 胡秀仁, 卢晓清. 蚯蚓对生活垃圾肥效影响的研究 [J]. 重庆环境科学, 1990, 12(1): 45 - 48.

[9] 薛进军, 刘其昌, 余德才. 蚯蚓处理石灰法造纸废水沉降物试验 [J]. 农业环境保护, 1998, 17(6): 266 - 267.

[10] 廖新, 吴银宝, 谢贺清, 等. 不同蚯蚓对猪粪、牛粪利用特性及生长繁殖比较[J]. 福建畜牧兽医, 1999, 4: 8 - 9.

[11] 刘艳玲, 马忠海, 黄丽华. 室内蚯蚓养殖技术条件初探[J]. 微生物学杂志, 2000, 20(3): 63 - 64.

[12] 仓龙, 李辉信, 胡锋, 等. 赤子爱胜蚓处理畜禽粪的最适湿度和最适接种密度研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(3): 38 - 42.

[13] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学技术出版社, 1983. 73.

[14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.

[15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 424 - 427, 231 - 233.

[16] 沈其荣, 王瑞宝, 王岩, 等. 有机堆肥制作中生物化学变化特征[J]. 南京农业大学学报, 1997, 20(2): 51 - 57.

[17] Martens R. Limitation in the application of the fumigation technique for biomass estimations in amended soils[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1985, 17 (1) : 57 - 63.

[18] Ocio J A, Brookes P C. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1990, 22 (5) : 685 - 694.

[19] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986. 274 - 312.

[20] 张立宏, 许光辉. 微生物和蚯蚓的协同作用对土壤肥力影响的研究[J]. 生态学报, 1990, 10(2): 116 - 120.

[21] 张宝贵, 李贵桐, 申天寿. 威廉环毛蚓对土壤微生物量及活性的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 168 - 172.

[22] M. 亚历山大. 土壤微生物学导论 (广西农学院农业微生物教研组译)[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

[23] 张宝贵. 蚯蚓与微生物的相互作用[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 556 - 560.

[24] Devliegher W, Verstraete W. *Lumbricus terrestricus* in a soil core experiment: Nutrient enrichment processes (NEP) and gut - associated processes (GAP) and their effect on microbial biomass and microbial activity[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 27(4): 1573 - 1580.

[25] 黄福珍. 蚯蚓[M]. 北京: 农业出版社, 1982.

[26] Edwards CA, Lofty JR. *Biology of Earthworms*[M]. London: Chapman and Hall Press, 1977.

[27] 关松荫. 土壤酶活性影响因子的研究: I. 有机肥料对土壤中酶活性及氮磷转化的影响[J]. 土壤学报, 1989, 26(2): 72 - 78.

[28] Tomti V, Grappelli, Galli E. The hormone - like effect of earthworm casts on plant growth[J]. *Biology and fertility of Soil*, 1988, 5 (4) : 42 - 44.