

西北半干旱区蚯蚓堆肥对污泥理化性质的影响

臧兰兰, 张松林* (西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃兰州 730070)

摘要 [目的]为西北半干旱地区城市污泥资源化利用提供科学依据。[方法]以兰州为例研究西北半干旱区蚯蚓堆肥直接处理新鲜脱水城市污泥并探讨堆肥过程中污泥理化性质的动态变化。[结果]堆肥过程中 pH 值趋于中性, 最终降至 7.02, EC 值增加, 最终增加了 2.79 倍; 堆肥产物中的有机质含量明显降低, 最终降低了 34.29%; 速效氮、速效磷和速效钾含量总体呈增加趋势, 分别增加了 87.83%、66.36% 和 19.28%。[结论]可见, 在西北半干旱区城市污泥蚯蚓堆肥实现了城市污泥的稳定化, 使得城市污泥中营养元素的植物利用有效性提高。

关键词 污泥; 蚯蚓堆肥; 理化性质

中图分类号 X705; S147.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)34-13194-03

Effect of Vermicomposting on Physico-chemical Properties of the Sewage Sludge in Northwest Semi-arid Areas

ZANG Lan-lan et al (College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract [Objective] The aim was to provide a scientific basis for the reuse utilization of sewage sludge in northwest semi-arid areas. [Method] The variation of physical and chemical properties in the fresh dewatered sewage sludge during vermicomposting was studied in northwest semi-arid areas as a case of Lanzhou city. [Results] As a result, at the end of the experiment, the pH value closed to 7 and declined to 7.02, but the EC values increased by 2.79 times; the organic matter content of the vermicomposting product was significantly reduced and decreased by 34.29%; and the content of available nitrogen, phosphorus and potassium as a whole increased by 87.83%, 66.36% and 19.28%, respectively. [Conclusion] Thus, the vermicomposting process could lead to the stabilization of the sewage sludge and the improvement of the availability of nutritional elements for plant growing in the vermicomposting products in northwest semi-arid areas.

Key words Sewage sludge; Vermicomposting; Physi-chemical properties

随着城市工业化与人们生活水平的提高, 城市污水的排放量越来越高, 至 2012 年, 我国的污水排放量已达 684.6 亿 t^[1]。而在城市污水处理过程中难免会产生副产物, 其中最主要的即为约占污水质量 1% ~ 2% 的污泥^[2]。而如何处理污泥也成为越来越现实的问题, 早期在大部分发展中国家处置污泥的方法一般是填埋。但可填埋的空间是有限的, 因此如何对污泥进行无害化、资源化、减量化、稳定化处理是摆在该领域内研究人员的首要课题^[3]。由此污泥的另一种处理方式土地利用也逐渐受到研究人员的青睐。

作为非均质体的污泥的成分非常复杂, 主要是由细菌菌体、有机残片、胶体和无机颗粒等组成。其虽然含有丰富的营养物质如 N、P、K 等无机元素及有机质, 但是其也包含重金属、盐类、少量的病原微生物和寄生虫卵及难降解的有机物等, 如果不经过适当处理而进行土地利用则会对环境造成更为严重的二次污染^[4]。我国正处于发展中阶段, 城市污泥的排放量会越来越高, 同时农业生产在我国国民经济生产中也占有主要地位, 因此如何以适当有效的农业土地利用方式来处理污泥也成为研究的热点。

城市污泥蚯蚓堆肥 (Vermicomposting) 是污泥无害化处理的有效途径。其是在蚯蚓的生态功能的基础上, 将污泥研磨、消化, 最终以蚓粪的形式排出并利用的一种污泥处理与利用方式。国内外许多学者采用赤子爱胜蚓处理城市污泥^[5-9], 但将赤子爱胜蚓直接投加到新鲜脱水城市污泥中进行蚯蚓堆肥并针对西北半干旱区探讨期间污泥理化性质动

态变化的研究却鲜见报道。笔者以兰州为例在新鲜脱水城市污泥中直接投加赤子爱胜蚓, 研究蚯蚓堆肥过程中污泥理化性质的变化, 旨在为西北半干旱地区城市污泥资源化利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试蚯蚓为赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*), 由西北师范大学地理与环境科学学院实验室培养。选用无环带、健康、活性好, 体长 3 ~ 5 cm, 个体体重约 100 ~ 200 mg 的蚯蚓进行试验。供试污泥为甘肃省兰州市安宁七里河污水厂新鲜脱水污泥, 其基本理化性质为: pH 7.92, 电导率 (EC) 0.52 S/m, 含水率 71.11%, 有机质 33.71%, 速效氮 2.30 g/kg, 速效磷 1.07 g/kg, 速效钾 3.63 g/kg。

1.2 试验设计 在温度 20 ~ 27 °C、湿度 50% 以上的条件下直接向装有 10 kg 新鲜城市污泥的网格型塑料筐内投加 300 条赤子爱胜蚓, 进行为期 35 d 的蚯蚓堆肥试验。设 3 个重复, 每周取样 1 次。取得样品后, 风干, 保存在 4 °C 冰箱中, 尽快分析其理化性质。以初始污泥为对照。

1.3 分析方法 以常规理化分析方法测定污泥的 pH 值、EC、有机质、速效氮、速效磷和速效钾含量^[10]。所有数据均采用 Microsoft Excel for Windows 2007 和 SPSS 18.0 统计软件进行统计, 对试验数据进行单因素方差分析 (ANOVA)。

2 结果与讨论

2.1 堆肥过程中 pH 值的动态变化 pH 值大小是影响堆肥效果的重要因素之一。如图 1 所示, 投加蚯蚓后, 堆肥过程中污泥的 pH 值与原污泥相比显著降低且表现出显著差异 ($P < 0.05$), 污泥 pH 从 7.92 降至 7.02, 与 Yadav 等^[11]、Garg 等^[12] 和王艳等^[13] 的研究结果一致。蚯蚓处理后污泥 pH 值降低可能与污泥降解过程中微生物新陈代谢产生的有机酸和蚯蚓呼吸代谢产生的 CO₂ 有关^[14]。也有学者认为, pH 值

基金项目 国家自然科学基金 (51068025)。

作者简介 臧兰兰 (1991 -), 女, 浙江温州人, 硕士研究生, 研究方向: 环境化学。* 通讯作者, 教授, 从事环境化学和固废处理与资源化研究。

收稿日期 2013-11-04

降低还与堆肥过程中磷和氮矿化为正磷酸盐和亚硝酸盐/硝酸盐有关^[15]。蚯蚓调节 pH 值的能力可能与蚯蚓食道分布的钙腺密切相关,钙腺可分泌过剩的碳酸盐或钙,从而中和

有机酸来自动调节外部环境和食物条件以及蚯蚓体内的酸碱平衡^[16]。堆肥结束后污泥 pH 值为 7.02,与赤子爱胜蚓选择 pH 值在 7.0~8.0 的土壤环境一致^[17]。

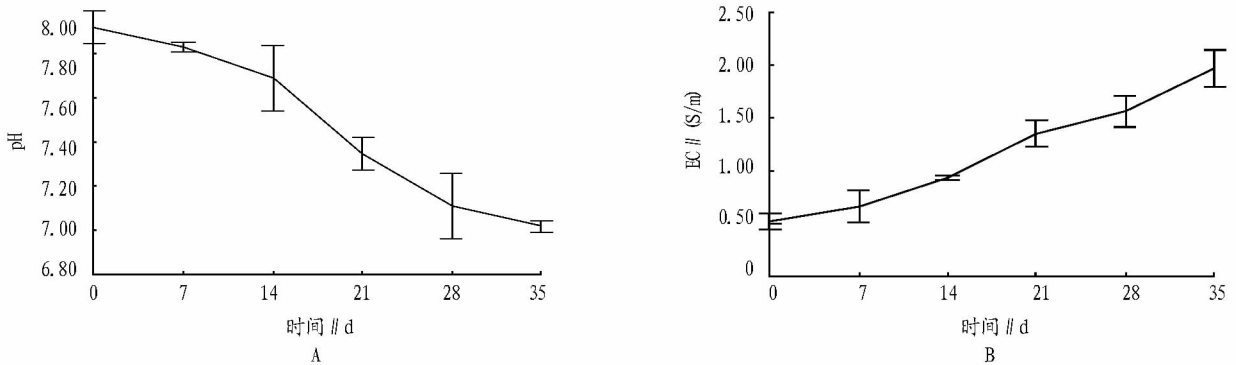


图1 堆肥过程中污泥 pH(A)和 EC 值(B)的动态变化(I代表标准偏差)

2.2 堆肥过程中 EC 值的动态变化 EC 值的大小代表溶液导电能力的大小,是衡量污泥中水溶性盐含量的指标,EC 值越高,污泥中带电离子和分子的浓度就越大,农用时则可能成为作物生长的限制因素。如图 1 所示,投加蚯蚓后污泥的 EC 值与原污泥相比显著增加且表现出显著差异($P < 0.05$),堆肥结束后 EC 值增加了 2.79 倍,与 Yadav 等^[11]、Garg 等^[12]和王艳等^[13]的研究结果一致。这表明城市污泥经蚯蚓堆肥后其中可溶性离子含量增加,可能是因为蚯蚓及其体内微生物的活动使有机物分解,提高了污泥的矿化度,从而释放出无机离子和矿物盐(如铵、磷、钾)等所致^[18-20]。

2.3 堆肥过程中有机质的动态变化 有机质是微生物生长必不可少的碳源和能源,也是微生物所需各种营养元素的重要来源,因此其是微生物赖以生存和繁殖的基本条件。有机质的变化可在一定程度上反映污泥处理的进程。如图 2 所

示,投加蚯蚓后污泥的有机质含量显著降低且表现出显著差异($P < 0.01$),堆肥结束后有机质含量降低了 34.29%,可见蚯蚓对城市污泥中有机质的分解利用非常明显,这与 Kh-wairakpam 等^[18]的研究结果相似。污泥中有机质含量的降低可能是由于蚯蚓和微生物的协同作用,蚯蚓改善基质中微生物的生存条件和氧的供应,促进微生物对有机物的降解^[21]。蚯蚓肠道可调节微生物的生物活性及群体结构,从而提高微生物种群的繁殖速度及呼吸代谢活性^[22],在一定程度上强化了微生物对有机物的降解作用,提高了有机物的降解速率。由图 2 还可看出,堆肥过程中有机质的降解主要发生在前中期,主要是因为堆肥初期微生物大量繁殖,迅速利用污泥中易降解的有机物,而后期由于剩余的多为难降解有机物,从而导致有机质降解缓慢^[23]。也有学者提出,在城市污泥蚯蚓堆肥过程中一部分有机质作为 CO_2 损失掉^[13]。

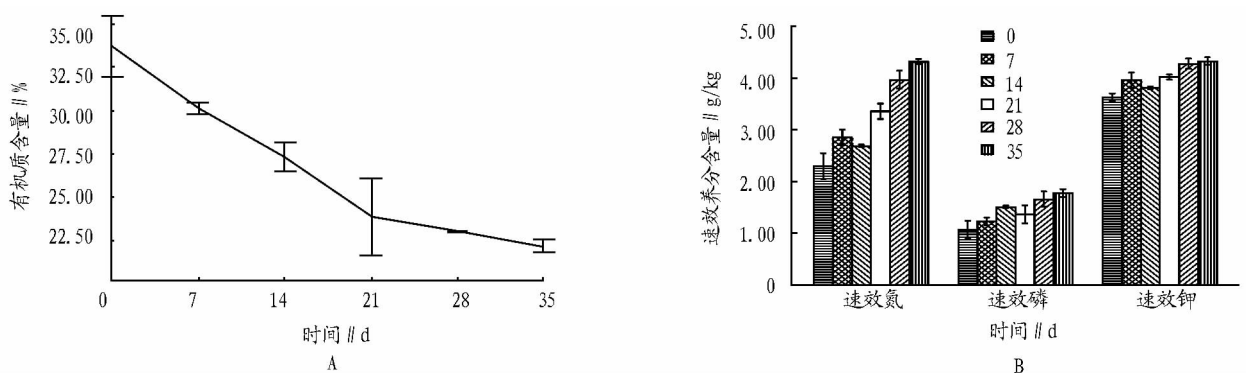


图2 堆肥过程中污泥的有机质(A)和速效养分(B)含量的动态变化

2.4 堆肥过程中速效氮、速效磷和速效钾的动态变化 速效养分含量对城市污泥农用十分重要。速效氮含量可作为土壤速效氮素供应水平的指标之一^[24],其包括能被植物直接吸收利用的硝态氮和铵态氮。如图 2 所示,投加蚯蚓后污泥中速效氮的含量先增加后减少再增加,总体呈增加趋势且表现出显著差异($P < 0.05$),堆肥结束后速效氮含量增加了 87.83%。投加蚯蚓后污泥中的速效氮含量增加可能是因为一方面蚯蚓自身分泌的尿液、粘液、酶和生长素增加了速效氮含量,另一方面微生物在蚯蚓活动过程中通过对氮转化的

媒介作用增加有机氮的矿化,使有机氮转变为硝态氮保留在基质中,从而增加速效氮含量^[20,25]。也有学者认为蚯蚓和微生物代谢活动对有机物质的消减可能使堆肥产物中速效氮的相对含量增加^[26]。而 7~14 d 速效氮含量的减少可能是因为,在没有外来氮源情况下速效氮中的铵态氮以 NH_3 形式逸出所致^[13]。

速效磷含量可直接反映有机肥的肥效,因为植物能直接吸收利用这种形式的磷形,所以其对堆肥产物的农业应用具有重要的意义。蚯蚓堆肥处理后的产物速效磷含量越高,施

用于农田后可提供给土壤和农作物的可直接利用的磷素越多,对农作物的增产作用越明显。如图 2 所示,投加蚯蚓后污泥中速效磷的含量先增加后减少再增加,总体呈现增加趋势且表现出显著差异($P < 0.01$),堆肥结束后速效磷含量增加了 66.36%。初期,可能是因为有机质的矿化使速效磷浓缩及微生物代谢产生的有机酸有助于有机磷的溶解两方面的原因增加了速效磷含量^[27]。之后,速效磷含量的减少可能是因为微生物利用速效磷大量繁殖和生长,从而使一部分磷转化为缓效磷^[23]。后期,可能是由于磷的浓缩和大量微生物的死亡,使磷被释放^[23],从而使速效磷含量增加,也可能是因为蚓粪及蚓体分泌物具有较高的磷酸酶活性,使缓效磷转化为速效磷^[28]。但对速效磷含量增加的原因,国内外学者有不同的想法。Ghosh 等^[29]认为,蚯蚓堆肥处理可使不易被植物直接利用的磷形式转化为容易被植物直接吸收利用的磷形式,且主要是由于微生物的间接刺激作用及蚯蚓体内酶对污泥的直接作用导致了堆肥后产物磷的增加。还有学者认为随着堆肥的进行,腐熟污泥中会逐渐形成大量的能与铁、铝等金属和磷酸盐形成螯合物的腐植酸,从而使难溶性磷从污泥中释放出来,最终导致了堆肥产物中速效磷含量的提高^[30]。也有学者认为蚯蚓和微生物代谢活动对有机物质质量的消减作用可能使堆肥产物中速效磷的相对含量增加^[26]。

速效钾含量是衡量堆肥肥效的一个重要指标,此种钾形式是植株可直接利用的形式。如图 2 所示,投加蚯蚓后污泥中速效钾含量先增加后减少再增加并趋于稳定,总体呈增加趋势且表现出显著差异($P < 0.01$),堆肥结束后速效钾含量增加了 19.28%。Pramanik 等^[31]和 Sharma^[32]认为,污泥中速效钾含量提高的主要机制是由于污泥分解过程中微生物产酸(碳酸和硝酸等),致使污泥中不溶性钾转化为可溶性钾即速效钾,同时蚯蚓肠道中大量微生物种群的存在也会对钾含量的提高起重要作用。也有学者认为微生物和蚯蚓的代谢活动导致的有机物质质量的消减可能使堆肥产物中速效钾的相对含量增加^[26]。

3 结论

(1)城市污泥蚯蚓堆肥试验表明,用蚯蚓直接处理城市污泥是可行的,可作为污泥稳定化、资源化的有效方法之一。在处理污泥的同时还可获得蚯蚓这种高蛋白动物饲料。

(2)城市污泥蚯蚓堆肥过程中堆肥 pH 值趋于中性,EC 值始终呈升高趋势,堆肥 14 d 后堆肥产品施入土壤后不会产生盐分毒害问题。

(3)城市污泥蚯蚓堆肥所得堆肥产品的有机质含量明显降低,堆肥产品实现了稳定化。

(4)堆肥过程结束后,堆肥产品中的速效氮、速效磷和速效钾含量均上升,城市污泥中营养元素的植物利用有效性得到了较大的提高。

参考文献

[1] 中华人民共和国环境保护部. 2012 中国环境状况公报[EB/OL]. (2013-05-28) http://jcs.mep.gov.cn/hjzl/zkgb/2012zkbg/201306/t20130606_253423.htm.
[2] 孙玉焕,杨志海. 我国城市污水污泥的产生及研究概况[J]. 广西轻工

业,2007,4(4):72-74.
[3] 郝小地,张璐平,兰荔. 剩余污泥处理/处置方法全球概览[J]. 中国给水排水,2007,27(20):1-5.
[4] 高红莉,周文宗,张铭,等. 城市污泥的蚯蚓分解处理技术研究进展[J]. 中国生态农业学报,2008,16(3):788-793.
[5] 孙颖,桂长华,孟杰. 接种蚯蚓堆肥处理压滤污泥的试验研究[J]. 中国给水排水,2006,22(21):35-38.
[6] 吴敏,杨健. 蚯蚓生态床处理剩余污泥[J]. 中国给水排水,2003,19(5):59-60.
[7] 白春节. 低繁殖量蚯蚓养殖法处理剩余污泥的可行性研究[J]. 安全与环境学报,2006,6(6):9-12.
[8] NDEGWA P E, THOMPSON S A. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids[J]. Bioresour Technol,2001,76(2):107-112.
[9] KOCIK A, TRUCHAN M, ROZEN A. Application of willows and earthworms in sewage sludge treatment[J]. Soil Biol,2007,43:327-331.
[10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000.
[11] ANOOP YADAV, GARG V K. Feasibility of nutrient recovery from industrial sludge by vermicomposting technology[J]. Journal of Hazardous Materials,2009,168:262-268.
[12] PAYAL GARG, ASHA GUPTA, SANTOSH SATYA. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study[J]. Bioresource Technology,2006,97:391-395.
[13] 王艳,鄢海印,杜亚琴,等. 蚯蚓堆肥处理对不同物料农化性质的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(6):3416-3418.
[14] HAIMI J, HUHTA V. Capacity of various organic residues to support adequate earthworm biomass for vermicomposting[J]. Biol Fert Soils,1986,2:23-27.
[15] NDEGWA P M, THOMPSON S A, DAS K. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids[J]. Bioresource Technology,2005,71:5-12.
[16] 黄福珍. 蚯蚓[M]. 北京:农业出版社,1982:75-79,107-110.
[17] EDWARDS C A, LOFTY J R. Biology of Earthworm[M]. London: Chapman and Hall,1977:143-147.
[18] KHWAIRAKPAM M, BHARGAVA R. Vermitechnology for sewage sludge recycling[J]. J Hazard Mater,2009,161:948-954.
[19] GUPTA R, GARG V K. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting[J]. J Hazard Mater,2008,153:1023-1030.
[20] HARTENSTEIN R, HARTENSTEIN F. Physicochemical changes effected in activated sludge by the earthworm *Eisenia foetida*[J]. Journal of Environmental Quality,1981,10(3):377-382.
[21] GUNADI B, EDWARDS C A. The effect of multiple application of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia foetida*[J]. Pedobiologia,2003,47:321-330.
[22] 吴敏,娄山杰,杨健,等. 蚯蚓生物滤池的污泥减量效果及其影响因素[J]. 同济大学学报:自然科学版,2008,36(4):514-518.
[23] 刘新安,王社平,郑琴,等. 城市污泥堆肥过程及重金属形态分析研究[J]. 中国农学通报,2012,28(8):217-222.
[24] 王声瑜. 大平 2 号蚯蚓养殖技术要点[J]. 河南水产,1994(1):17-18.
[25] VIEL M, SAYAG D, ANDRE L. Optimization of agricultural, industrial waste management through in-vessel composting[M]. Essex: Elsevier Applied Science,1987:230-237.
[26] 刘玉奇. 蚯蚓处理城市生活污水的技术研究[J]. 科技与企业,2012(2):105-106.
[27] 魏自民,席北斗,赵越,等. 城市生活垃圾外源微生物堆肥对有机酸变化及堆肥腐熟度的影响[J]. 环境科学,2006,27(2):376-380.
[28] 张威. 蚯蚓处理不同畜禽粪便和秸秆组合试验研究[D]. 长春:东北师范大学出版社,2008:22-23.
[29] GHOSH M, CHATTOPADHYAY G N, BARAL K. Transformation of phosphorus during vermicomposting[J]. Bioresource Technology,1999,69:149-154.
[30] ERICH M S, FITZGERALD C B, PORTER G A. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2002,88(1):79-88.
[31] PRAMANIK P, GHOSH G K, GHOSAL P K, et al. Changes in organic-C, N, P and K and enzyme activities in bermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants[J]. Bioresour Technol,2007,98:2485-2494.
[32] SHARMA K S. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms[J]. Bioresour Technol,2003,90:169-173.