

工业污泥堆肥中的重金属变化特征研究

陈 娜

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南
Email: 2418831560@qq.com

收稿日期: 2021年7月15日; 录用日期: 2021年8月16日; 发布日期: 2021年8月24日

摘 要

近年来, 城市污泥堆肥技术发展迅速, 在农用及土壤修复等方面都展现出较大的应用潜力, 但对于工业污泥的堆肥化利用的研究不多。本文概括了目前我国工业污泥的处理处置方法, 综述了工业污泥堆肥在土壤修复和园林绿化等方面的应用研究, 分析了工业污泥堆肥对土壤重金属变化的影响, 并对工业污泥堆肥未来前景进行了探讨。

关键词

工业污泥, 污泥堆肥, 重金属

Study on the Variation Characteristics of Heavy Metals in Industrial Sludge Compost

Na Chen

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui
Email: 2418831560@qq.com

Received: Jul. 15th, 2021; accepted: Aug. 16th, 2021; published: Aug. 24th, 2021

Abstract

In recent years, the technology of urban sludge composting has developed rapidly, and it has shown great application potential in agricultural and soil remediation, but there are not many studies on the composting and utilization of industrial sludge. In this paper, the present treatment and disposal methods of industrial sludge in China are summarized, the application research of industrial sludge compost in soil remediation and landscaping is summarized, the influence of industrial sludge compost on the change of heavy metals in soil is analyzed, and the future prospect of industrial sludge compost is discussed.

Keywords

Industrial Sludge, Sludge Composting, Heavy Metals

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

根据生态环境部《2016~2019年全国生态环境统计公报》，2016~2019年，我国一般工业固体废物产生量逐年上升，由2016年的37.1亿吨上升到2019年的44.1亿吨，增幅为18.7%，对固废的处理的资金投入也逐年增加，而2019年工业固废的综合利用率只有52.2%。作为一种“放错地方的能源”，工业固废还有很多可利用空间。

工业污泥作为工业固体废物中典型代表之一，随着我国工业化进程的加快，其产量也逐年增加。污泥中含有大量重金属和难降解有机物、病原体、寄生虫等，同时富含有机质和氮磷钾等营养物质。因此，污泥虽然是废物，但也有其利用价值。污泥的土地利用被认为是回收这类有机固体废物的有效途径，但污泥中的Cu、Zn等重金属可能对土壤生态系统构成严重的环境风险，进而通过食物链威胁人类健康。重金属的行为和生物有效性更多地取决于其化学形式，而不是总浓度[1]，因此，为了安全回收污泥，降低有毒金属的生物利用度是很重要的。堆肥作为一种稳定的好氧分解技术，被国内外广泛应用于污泥处理，许多研究表明，通过堆肥，污泥重金属的生物有效性随着堆肥和成熟期的延长而降低[2][3]，提高了农用污泥的无害化利用水平，减少了其对环境的污染。本文仅就工业污泥处理过程中，重金属总量及形态变化的研究进展做简单介绍，以期工业污泥资源化利用提供参考。

2. 工业污泥特性及危害

工业污泥是工厂、车间的工业废水排放后经污水处理厂处理后产生的污泥，种类复杂。工业废水来自许多行业，如造纸、发电、制革、食品加工等。污水处理过程中，约70%~90%的重金属可通过吸附或沉淀等方式富集到污泥中，导致污泥中重金属含量增加。工业污泥中的污染物，以重金属和有机质为高，兼具生活污水的属性，含有大量营养物质，除重金属外的其他污染物质与其来源相关。例如，制革和印染污泥残留大量化学物质[4]，制药污泥含有大量药物残留[5]，造纸污泥含有大量纤维物质和卤化物[6]等。复杂的污染特性使得工业污泥对环境的污染危害性更大，重金属、病原体和抗生素残留、营养元素等进入土壤和地下水可能导致水体富营养化[7]，造成环境污染，并通过食物链进入人体，对人体造成危害。若能对污泥进行处理，在去除其中有害物质的同时，生产出可供人们利用的物质，便可变废为宝。因此，工业污泥的安全、高效处置已经成为一个具有挑战性的复杂的环境问题。

2.1. 工业污泥处理与处置

污泥处理与处置的原则是减量化、无害化和资源化。目前，工业污泥最常见的三种处置方式是填埋、焚烧和农业利用。与其他处理方法相比，填埋法操作简单，成本低，是目前世界上应用最广泛的一种处理方法。但由于污泥含水率高，需要大量土地建设填埋场，且极易发生渗滤液渗漏，造成地下水污染。焚烧法处理污泥比较彻底，可以显著减少污泥量，高温可破坏其中病原物和有机化学物质。但焚烧设备能耗大，成本高，在焚烧过程中会产生二噁英等有害气体，造成大气污染，污泥中的营养物质没有得到

充分利用。与填埋和焚烧相比,污泥土地利用是我国污泥处理比较实用的选择,具有经济、简单的优点,能够利用污泥中的微量元素、氮磷钾和有机质等为植物和作物提供营养物质,提高土壤肥力。

2.2. 污泥堆肥土地利用

污泥施用于土壤受到土壤特性和污染物特性的影响很大,污泥中的污染物质容易对环境造成二次污染,包括病原体、重金属和有毒有机物[8]。新鲜工业污泥具有植物毒性,对土壤理化、生化和微生物特性有一定的影响,通过堆肥处理可以降低植物毒性、病原菌、重金属等[9],以满足安全卫生方面的要求,许多研究证明了工业污泥堆肥土地利用的可行性[10]。2021年5月,我国农业农村部发布包括《有机肥料》(NY/T 525-2021)在内的153项农业行业标准,其中禁止选用污泥作为农用有机肥的原料。虽然不能作为农用有机肥,但污泥还可以作为园林绿化、矿山修复、沙漠化土壤改良等的营养基质和调理剂。在土壤中施用堆肥污泥,能改善土壤特性,提高其通气透水性,增加土壤有机质含量和微生物量,促进植物生长[11][12][13]。

3. 工业污泥堆肥

堆肥是一种微生物对有机废物进行稳定化处理的生物过程,通常在温暖、潮湿和有氧的条件下进行,主要目的是对固体废弃物进行降解,减少对环境的危害。堆肥过程需要多种有机物质的共同作用[14],利用自然界广泛存在的细菌、真菌等微生物在特定环境中分解有机物,并产生稳定腐殖质的技术。根据微生物生存环境,污泥堆肥可分为好氧堆肥和厌氧堆肥。

好氧堆肥是在有氧环境下,利用好氧细菌和空气对污泥进行发酵处理,经历快速升温、持续高温和缓慢降温三个阶段。在堆肥过程中,污泥中的微生物群落将容易降解的有机物转化为腐殖质、简单的无机物等更稳定的组分。这个过程中产生热量,堆肥中的微生物在降解有机物时释放大量的热,使堆体的温度升高,因此,好氧堆肥又被称为“高温好氧堆肥”。污泥中的细菌和寄生虫卵等都可可在高温阶段被杀死,从而使堆肥达到卫生标准,实现污泥的无害化处理。

厌氧堆肥是在无氧环境下,利用厌氧微生物对污泥进行发酵的过程,但厌氧条件比较难以控制,微生物降解有机物的速度也非常缓慢,且容易产生大量二氧化碳、甲烷等气体。目前,污泥厌氧消化过程中有机物的沼气转化率不足45% [15],堆肥质量和效率都大不如好氧堆肥,因此在污泥堆肥领域应用较少。

4. 工业污泥堆肥重金属变化特征

污水处理过程中,约70%~90%的重金属可通过吸附或沉淀等方式富集到污泥中[16],导致污泥中重金属含量增加。随着工业废水处理技术的提高和废水的控制排放,以工业废水为主要来源的工业污泥重金属排放量逐年下降,但仍高于土壤和以生活污水为主要来源的城市污泥[17]。因此,污泥堆肥是否可进行土地利用,主要取决于污泥中的重金属。

4.1. 堆肥污泥重金属总量变化

重金属总量为重金属质量与污泥堆体总质量之比。堆肥过程中,重金属的质量不会改变,但由于有机物降解和气体、水分的挥发导致堆体质量和体积减小,从而使得重金属总量增加。一般堆肥和污泥中重金属的含量都高于土壤背景值,若将工业污泥长期施用于土壤,则可能会增加土壤中重金属含量,达到影响土壤微生物和植物的水平。一些长期的田间试验结果表明,重复施用污泥可降低土壤容重,提高土壤孔隙度,降低重金属污染,扭转土壤生物学的逆向趋势[18]。研究表明,堆肥中重金属Cd、Cu、Ni的含量高于农田,将工业污泥堆肥施用于土壤中,能够显著降低0~15 cm深度土壤的重金属浓度,且工业堆肥污泥比未添加堆肥的对照土壤效果更明显[9]。

4.2. 堆肥污泥重金属形态变化

土壤中的重金属会破坏土壤中的微生物活性,且难以去除,易在植物、动物体内积累。但重金属对环境的危害程度也与其形态有关[19],不能仅以其在污泥中的浓度论之。重金属的迁移性、生物有效性和对植物的生态毒性,在很大程度上取决于它们特定的化学形式或结合方式,因此,在评估重金属的毒性效应和迁移转化途径时,必须以这些参数为依据,而不是以总含量为参考。

许多研究表明,污泥的堆肥稳定化处理影响了重金属的可萃取性,通过堆肥产生的有机残留物可降低重金属的化学可提取性和水溶性[20],土壤经污泥改性后的中碱性 pH 值可以抑制重金属的溶解作用,进而抑制重金属的生物有效性,从而降低重金属的毒性[21],且重金属的有效性随着堆肥和熟化时间的延长而降低[22]。研究表明[23],土壤中添加堆肥可有效降低土壤中 Cu、Zn 和 Mn 的生物有效性和迁移性,提高铁锰氧化态、有机结合态比例,随着堆肥添加比例的增加,Cu 和 Mn 的有效态和可提取态较未添加堆肥的土壤有明显下降趋势。此外,还有许多研究表明,在污泥堆肥过程中添加生物炭、锯末、果皮、石灰等可减少被 DTPA 浸出的 Pb、Cu、Zn 等重金属的含量,降低重金属释放到环境中的能力[24] [25]。

5. 结语

工业污泥来源复杂,种类繁多,不同企业对工业废水的处理工艺也不尽相同。污泥堆肥技术作为工业污泥的一种处理方法,能够将污泥中的营养成分充分利用,是污泥资源化利用的最经济可行的方式。堆肥污泥中的重金属仍存在一定的环境风险,重金属总量成为限制堆肥污泥土地利用的主要因素。但总量并不能准确描述重金属对环境的影响,因此需要对堆肥污泥中重金属形态进行分析和长期的检测与评估,着眼于重金属的迁移转化过程,从而更有效地评价污泥重金属,在不影响土壤功能的情况下,延长工业污泥作为土壤改良剂的使用时间,实现污泥的资源化利用。

参考文献

- [1] 孙西宁. 污泥堆肥过程中重金属形态变化的研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2007.
- [2] Liu, Y.S., Ma, L.L., Li, Y.Q., *et al.* (2007) Evolution of Heavy Metal Speciation during the Aerobic Composting Process of Sewage Sludge. *Chemosphere*, **67**, 1025-1032. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.10.056>
- [3] Singh, R.P. and Agrawal, M. (2008) Potential Benefits and Risks of Land Application of Sewage Sludge. *Waste Management (New York, NY)*, **28**, 347-358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>
- [4] 杨义清, 梁永贤, 孙辉永, 等. 制革工业铬污染及其防治技术现状[J]. 北京皮革, 2021, 46(1): 28-35.
- [5] 陈建发. 三污泥法处理抗生素类制药废水[J]. 过程工程学报, 2019, 19(3): 644-650.
- [6] 王晖, 符斌. 造纸废水处理方法及展望[J]. 中国资源综合利用, 2005(2): 21-24.
- [7] 高德明. 污泥湿法制砖关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019.
- [8] Liu, S.X. (2014) Food and Agricultural Wastewater Utilization and Treatment. Second Edition, US Department of Agriculture, Agriculture Research Service, National Center for Agricultural Utilization Research, John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken.
- [9] Arif, M.S., Riaz, M., Shahzad, S.M., *et al.* (2018) Fresh and Composted Industrial Sludge Restore Soil Functions in Surface Soil of Degraded Agricultural Land. *Science of the Total Environment*, **619-620**, 517-527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.143>
- [10] 方文. 污泥堆肥土地利用中重金属的释放及分配研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 清华大学, 2017.
- [11] Araújo, A.S.F., Monteiro, R.T.R. and Carvalho, E.M.S. (2006) Effect of Composted Textile Sludge on Growth, Nodulation and Nitrogen Fixation of Soybean and Cowpea. *Bioresource Technology*, **98**, 1028-1032. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.028>
- [12] Araújo, A.S.F. and Monteiro, R.T.R. (2006) Microbial Biomass and Activity in a Brazilian Soil Amended with Untreated and Composted Textile Sludge. *Chemosphere*, **64**, 1043-1046. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.01.040>

- [13] Sippola, J., Mäkelä-Kurtto, R. and Rantala, P.-R. (2003) Effects of Composted Pulp and Paper Industry Wastewater Treatment Residuals on Soil Properties and Cereal Yield. *Compost Science & Utilization*, **11**, 228-237. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2003.10702131>
- [14] 程程. 城市固体废弃物处理及资源化利用的有效途径[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(4): 111-113.
- [15] 郝晓地, 唐兴, 曹达启. 剩余污泥厌氧共消化技术研究现状及应用趋势[J]. 环境工程学报, 2016, 10(12): 6809-6818.
- [16] 张灿, 陈虹, 余忆玄, 等. 我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析[J]. 环境科学, 2013, 34(4): 1345-1350.
- [17] 杨军, 郭广慧, 陈同斌, 等. 中国城市污泥的重金属含量及其变化趋势[J]. 中国给水排水, 2009, 25(13): 122-124.
- [18] Kirchmann, H., Börjesson, G., Kätterer, T., *et al.* (2017) From Agricultural Use of Sewage Sludge to Nutrient Extraction: A Soil Science Outlook. *Ambio*, **46**, 143-154. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0816-3>
- [19] 王社平, 程晓波, 刘新安, 等. 污水处理厂污泥处理过程中的潜在危害分析[J]. 市政技术, 2015, 33(2): 164-168.
- [20] Ana, F., Mercedes, L., José, S., *et al.* (2006) Ecotoxicity, Phytotoxicity and Extractability of Heavy Metals from Different Stabilised Sewage Sludges. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, **143**, 355-360. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.11.035>
- [21] Zoghalmi, R.I., Hamdi, H., Mokni-Tlili, S., *et al.* (2016) Changes in Light-Textured Soil Parameters Following Two Successive Annual Amendments with Urban Sewage Sludge. *Ecological Engineering*, **95**, 604-611. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.103>
- [22] Smith, S.R. (2009) A Critical Review of the Bioavailability and Impacts of Heavy Metals in Municipal Solid Waste Composts Compared to Sewage Sludge. *Environment International*, **35**, 142-156. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.009>
- [23] Zheljaskov, V.D. and Warman, P.R. (2004) Phytoavailability and Fractionation of Copper, Manganese, and Zinc in Soil Following Application of Two Composts to Four Crops. *Environmental Pollution*, **131**, 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.02.007>
- [24] Karimi, F., Rahimi, G., Kolahchi, Z., *et al.* (2020) Using Industrial Sewage Sludge-Derived Biochar to Immobilize Selected Heavy Metals in a Contaminated Calcareous Soil. *Waste and Biomass Valorization*, **11**, 2825-2836. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00563-z>
- [25] 周鑫, 王兴明, 储昭霞, 等. 蚯蚓-稻壳炭联合堆肥对工业污泥中重金属的影响研究[J]. 生态环境学报, 2020, 29(2): 378-387.