

# 生物质炭在城市污泥好氧堆肥中的研究进展

郭 炜<sup>1</sup>, 于洪久<sup>1</sup>, 李玉梅<sup>2</sup>, 于春生<sup>3</sup>, 刘 杰<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 农村能源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 林口县农业技术推广中心, 黑龙江 牡丹江 157600)

**摘要:** 生物质炭含有丰富的营养元素, 具有孔隙发达、吸附性强、比表面积大等特点, 为解决近年来城市污泥堆肥处理研究中的热点问题, 介绍了生物质炭的基本特性, 综述了生物质炭在城市污泥好氧堆肥过程中对堆体基本性质、堆肥效果及产品安全等方面的研究进展, 生物质炭能提高城市污泥堆肥效率, 降低其堆肥产品中重金属的生物有效性, 但在大规模应用前还需要做进一步深入细致的研究。

**关键词:** 城市污泥; 好氧堆肥; 生物质炭; 堆肥效果

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2016)03-0147-04 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.03.0147

随着我国城市化进程的不断加快, 城市污泥的产生量急剧增加, 随之而来的环境问题, 已迫在眉睫。城市污泥中含量较多的是水, 此外还含有多种有机质、病原菌及重金属等有害物质, 如若处置不当进入生态环境, 会给大气、土壤及人类带来严重的污染及危害<sup>[1]</sup>。目前, 城市污泥的处置方法主要有焚烧、填埋、海洋倾倒以及土地利用 4 种, 前 3 种方法由于存在成本高、带来二次污染、处置条件限制性过多等原因, 在实际应用中存在诸多问题<sup>[2]</sup>。大量的研究表明, 城市污泥中含有丰富的有机质、氮、磷等营养元素, 堆肥化处理后的城市污泥可以优化土壤结构、增加土壤肥效, 促进作物的营养生长<sup>[3]</sup>。城市污泥堆肥处理的优点是工艺简单, 成本低, 无二次污染, 因此说堆肥化是实现城市污泥减量化、无害化、资源化利用的一种有效手段。但由于城市污泥中水分、氮含量过高, 常规的好氧堆肥处理, 会出现堆体的 C/N 值过低、升温慢, 周期长, 脱水率低, 发酵效果不理想等问题<sup>[4]</sup>。

近年来, 生物质炭作为一种新型高效安全的功能型材料而被广泛应用于土壤修复、环境安全等领域<sup>[5]</sup>。生物质炭具有良好的稳定性、发达的

孔隙度、强大的表面官能团以及较强的吸附力。因此, 许多学者开展了在城市污泥的好氧堆肥中加入生物质炭作为调理剂的研究<sup>[6]</sup>。本文介绍了生物质炭的基本结构, 以及生物质炭对城市污泥好氧堆肥的基本性质及品质方面的影响, 旨在为生物质炭在城市污泥堆肥发酵中的应用提供参考。

## 1 生物质炭简介

### 1.1 生物质炭的概念

生物质炭一般是指由碳含量丰富的生物质在乏氧或完全厌氧条件下通过高温裂解而生成的固体物质。常见的制备原料有: 农作废弃物、畜禽粪便、木屑、糖渣等<sup>[7]</sup>。同一种原料在不同温度下热裂解产生的生物质炭的理化性质不同<sup>[8]</sup>。

### 1.2 生物质炭的结构

生物质炭主要由芳香族化合物及单质碳元素组成, 其中 60% 以上的组分是碳, 此外还含有较多的氮、磷、钾等营养元素, 由于碳原子之间的亲和力和力很强大, 使得生物质炭具有强大的稳定性, 生物质炭化后又形成了很大的比表面积, 这都使得生物质炭为城市污泥堆肥过程中微生物的活动提供了强大的空间<sup>[9-10]</sup>。

### 1.3 生物质炭的酸碱性

一般情况下, 生物质炭呈碱性。厌氧热裂解的温度越高其产物中碱的含量越高, 碱性也越强。YUAN<sup>[11]</sup>等研究表明, 在同一温度下, 不同原料制备而成的生物质炭中碱含量差异较大, 说明生物质炭的酸碱性受原料影响较大。可能由于不同的制备原料在生长过程中对养分的吸收情况不

收稿日期: 2016-01-13

基金项目: 黑龙江省农业科技创新工程资助项目(2014 ZD002)

第一作者简介: 郭炜(1982-), 女, 黑龙江省哈尔滨市人, 硕士, 助理研究员, 从事农业废弃物堆肥研究。E-mail: guoweixinwei@126.com。

通讯作者: 刘杰(1974-), 男, 黑龙江省延寿县人, 博士, 研究员, 从事农业微生物肥料及生物环境与能源工程等方面的研究。

同,而导致体内的碱基含量不同,因此热裂解后形成的生物质炭中含碱量也不同。碱性较强的生物质炭可以在城市污泥堆肥过程中提高堆肥过程的 pH。

## 2 生物质炭对城市污泥好氧堆肥的影响

### 2.1 生物质炭对堆肥基本性质的影响

2.1.1 温度 堆肥过程中温度指标非常重要,可以基本反应出堆肥的进程以及堆肥最终产品的安全质量。城市污泥的堆肥过程就是微生物将有机物分解成无机物的过程,在此过程中会产生大量的热量,一般情况下,堆肥的温度应控制在 45~65℃,其它温度会减慢微生物的生长代谢<sup>[12]</sup>。

李映廷<sup>[13]</sup>等研究发现,在城市污泥的堆肥处理中添加小麦秸秆生物炭,第 2 天堆体温度达 69.5℃,进入高温期,而未添加小麦秸秆生物炭的堆体则需要 4 d 才能进入高温期。孙文彬<sup>[14]</sup>等研究表明,在城市污泥堆肥中添加生物质炭可以明显提高堆体温度,使高温期提前,进而提高堆肥效率。有学者认为,生物质炭因为其独特的结构特点,可以为堆肥反应的微生物活动提供良好的空间场所,丰富的碳含量为微生物的代谢提供了充足的能量来源,因此生物质炭提高了微生物的活性,促进了堆肥化过程中温度的提升,推动了堆肥反应进程<sup>[15]</sup>。综上所述,在城市污泥的堆肥处理过程中添加生物质炭能够起到提升堆体温度的目的,这样即可杀灭城市污泥中的病原菌又有利于堆体腐殖化进程。

2.1.2 pH 堆肥化过程中 pH 的变化将影响堆体中微生物的生长繁殖以及生命代谢,pH 过高或过低都会影响堆体中有机质的分解速度。城市污泥堆肥的 pH 范围一般在 7.5~8.5<sup>[16]</sup>。

多数生物质炭呈碱性,其 pH 与制备原料热裂解过程中的温度有关<sup>[17]</sup>。唐行灿<sup>[18]</sup>等研究表明,在堆肥过程中 700℃ 热裂解而成的生物质炭添加量越多,土壤的 pH 越高。李映廷<sup>[13]</sup>等研究表明,在城市污泥的堆肥过程中添加生物质炭对堆体内 pH 变化无太大影响。而李丽劼<sup>[19]</sup>、Wang<sup>[20]</sup>等研究表明,添加竹炭会提高猪粪堆肥最终产品的 pH。综上所述,生物质炭对堆体 pH 的影响因堆体原料不同而差异较大。

2.1.3 含水率 在城市污泥的好氧堆肥过程中,含水率是非常重要的一个物理指标。含水率值是影响好氧堆肥成败的关键,在城市污泥的好氧堆

肥过程中,水份可以促进有机物质溶解,同时还可以调节堆体的温度。

Liang<sup>[21]</sup>等研究表明,城市污泥堆肥过程中控制含水率在 60%~70% 可使微生物活性达到最大。李映廷<sup>[13]</sup>等研究表明,在城市污泥堆肥过程中添加生物质炭会使堆肥前期的含水率下降。综上所述,生物质炭对城市污泥堆肥过程中温度的提升有明显的促进作用。

2.1.4 C/N 碳和氮的比值是堆肥的基本特征之一,比值过高,会使微生物因缺氮而生长受限,比值过低又会使堆肥过程中氮元素损失过大,降低堆肥产品品质及肥效<sup>[22]</sup>。有学者研究表明,城市污泥堆肥处理过程中 C/N 在 20~30,最适宜堆肥进行<sup>[23]</sup>。李映廷<sup>[13]</sup>等研究表明,在 C/N 值较低为 13 时,会降低城市污泥的堆肥反应进程。

### 2.2 生物质炭对堆肥效果、品质及安全的影响

2.2.1 氮素转化影响 城市污泥的堆肥化过程中,堆体内氮的含量是衡量堆肥产品农业利用价值的重要因素之一。同时,堆肥产品中氮素含量水平是影响土壤肥力、作物生长产量的重要指标。整个堆肥处理过程中氮素的转化可以概括为氮素的固定以及氮素的释放两个方面<sup>[24-25]</sup>。

有研究表明,城市污泥堆肥化处理过程中氮素的损失量约为 68%,畜禽粪便最高约为 77%<sup>[26]</sup>。因此在堆肥过程中添加生物质炭等作为调理剂可以有效控制城市污泥堆肥过程中氨气的挥发以及氮素的转化。Ekland 等在城市污泥中添加不同含量的生物质炭来进行堆肥试验,结果表明,添加生物质炭的堆肥比未加生物质炭的堆肥处理中氮素损失率降低<sup>[27]</sup>。Zhang<sup>[28]</sup>等研究表明,在城市污泥的堆肥处理中添加 12% 的生物质炭,可以显著提升堆肥产品中氮素含量。这与贺亮<sup>[29]</sup>、Wang<sup>[30]</sup>等研究结果相同。综上所述,在城市污泥的堆肥处理中,生物质炭的添加可以有效控制堆肥产品中氮素的损失。

2.2.2 磷素转化影响 城市污泥经堆肥处理后,其产品中含有丰富的有机质及磷等作物生长所必需的营养元素,因此堆肥产品的土地利用,可以有效提高土壤肥力,促进作物生长。

贾程<sup>[31]</sup>等研究表明,由于生物质炭具有巨大的比表面以及丰富的官能团,添加后可以提升堆肥过程中无机态磷向有机态磷的转化速率,从而提高堆肥产品中有效磷的含量。这与赵素芬<sup>[32]</sup>、

单德鑫<sup>[33]</sup>等在猪粪和牛粪的堆肥过程中研究结果一致。综上所述,城市污泥处理中添加生物质炭有助于提高堆肥产品中磷含量。

2.2.3 重金属的影响 城市污泥堆肥产品在农业利用中一个最敏感的问题就是重金属问题,这也是限制城市污泥大规模土地化利用的最主要因素。而目前研究认为,在城市污泥的堆肥产品中含量最高的是 Zn 和 Cu。通常情况下,游离态和水溶态 Zn、Cu 的生物有效性较高。在城市污泥堆肥处理中添加一定量的生物质炭,虽不能降解重金属的总含量,却可以通过改变重金属的存在形态而降低重金属向植物的迁移效率<sup>[34-35]</sup>。

杨玉荣<sup>[36]</sup>等在城市污泥的堆肥处理中添加不同比例的生物质炭,结果表明,堆肥产品中重金属的总含量没有变化,但其中重金属的生物有效性明显降低。Chen<sup>[37]</sup>等在猪粪的堆肥处理中添加不同比例的竹炭,结果表明堆肥产品中 Cu 的生物有效性均有所降低,这说明竹炭对猪粪堆肥产品中的 Cu 有很好的钝化作用。这与郑国砥<sup>[38]</sup>等在猪粪堆肥试验的结论一致。综上所述,由于生物质炭具有较强的吸附力、发达的孔隙以及丰富的官能团结构,有助于改变重金属在堆肥产品中的存在形态,从而降低了堆肥产品中重金属对生物的有效性。

### 3 结论

我国污泥的产生量正在迅速增加,合理的对城市污泥进行处置,亟待解决。另一方面,城市污泥营养丰富,是优质肥料的原料,堆肥化处理是实现城市污泥资源化利用的有效方式。堆肥处理过程中存在许多问题,如城市污泥含水量过高,密度过大等,虽然添加生物质炭可有效解决城市污泥的堆肥效率低、发酵不彻底等问题,但仍存在许多问题需要进一步深入探究:(1)不同原料及工艺制备而成的生物质炭性状差异较大,因此,对城市污泥堆肥的影响不同;(2)生物质炭的原料易得,但其制备过程要求严格,因此应研发出一种成本低且易制得的生产工艺;(3)城市污泥成分复杂且差异性较大,而生物质炭市场价格较高,因此在城市污泥的堆肥过程中添加生物质炭的研究很难具有广泛的实际应用价值。随着这些问题的探究,将会为生物质炭在城市污泥堆肥处理的应用提供更多的参考依据。

### 参考文献:

- [1] 包家强. 污水处理厂污泥堆肥工艺探讨[J]. 农业科学研究, 2008, 29(4): 41-45.
- [2] 郭瑞, 陈同斌, 张悦, 等. 不同污泥处理与处置工艺的碳排放[J]. 环境科学学报, 2011, 31(4): 673-679.
- [3] 杭世珩, 史骏. 全国城镇污水厂污泥处理处置规划的技术路线研究[C]. 中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会, 2011.
- [4] 弓凤莲, 杨义, 于淑婷, 等. 市政污泥堆肥过程参数变化及腐熟度综合评价[J]. 中国给水排水, 2014, 30(21): 128-131.
- [5] 吕微, 蒋剑春, 刘石彩, 等. 生物质炭成型燃料的制备及性能研究进展[J]. 生物质化学工程, 2010, 44(5): 48-52.
- [6] 邱虎森, 王翠红, 盛浩. 生物质炭对土壤温室气体排放影响机制探讨[J]. 湖南农业科学, 2012(11): 49-52.
- [7] 黄超, 刘丽君, 章明奎. 生物质炭对红壤性质和黑麦草生长的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 1994(2): 46-48.
- [8] 侯艳伟, 曾月芬, 安增莉. 生物炭施用对污染红壤中重金属化学形态的影响[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2011, 42(4): 460-466.
- [9] 袁金华, 徐仁扣. 生物质炭对酸性土壤改良作用的研究进展[J]. 土壤学报, 2012, 44(4): 541-547.
- [10] 徐慧忠. 固体废弃物资源化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [11] Yuan J H, Xu R K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol[J]. Soil Use and Management, 2011, 27: 110-115.
- [12] 徐红, 樊耀波, 贾智萍, 等. 时间温度联合控制的强制通风污泥堆肥技术[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 53-55.
- [13] 李映廷. 低碳氮比下生物质炭对高温好氧堆肥的影响[J]. 西南大学学报, 2012, 10(2): 103-107.
- [14] 孙文彬. 作物秸秆与城市污泥高温好氧堆肥过程中碳氮磷及重金属转化研究[J]. 西南大学学报, 2010, 6(1): 111-115.
- [15] 马闯, 赵占楠, 赵继红, 等. 污泥堆肥过程中致臭挥发性有机物的产生和释放[J]. 2014, 30(17): 113-115.
- [16] 候月卿, 赵立欣, 孟海波, 等. 生物炭和腐植酸类对猪粪堆肥重金属的钝化效果[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 205-215.
- [17] 牛俊玲, 郑宾国, 梁丽珍. 餐厨垃圾与麦秸混合堆肥中碳素物质变化规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(3): 626-630.
- [18] 唐行灿. 生物炭修复重金属污染土壤的研究[J]. 山东农业大学学报, 2013(4): 16-21.
- [19] 李丽劼, 李艳霞, 韩杰, 等. 堆肥腐殖质的形成和变化及其对重金属有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2001, 12(4): 593-596.
- [20] Wang J, Kanasawa T. Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize[J]. Soil Sci Plant Nutr, 2000, 46(1): 43-51.

- [21] Johannes Lehmann, Jose Pereira da Silva Jr., Christoph Steiner, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments[J]. Plant and Soil, 2003, 249: 343-357.
- [22] 秦莉, 沈玉君, 李国学, 等. 不同 CN 比堆肥碳素物质变化规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(7): 1388-1393.
- [23] 李昂, 孙丽娜, 李鹏. 市政污泥堆肥过程中微生物群落的动态变化[J]. 环境工程报, 2014, 8(12): 5445-5450.
- [24] 王守红, 葛骁, 卞新智, 等. 菌菇渣和秸秆对生活污泥好氧堆肥的影响[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(2): 324-328.
- [25] 赵由才. 生活垃圾资源化原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [26] 逮延军. 吴星五城市生活垃圾和污泥混合堆肥中氮素变化规律研究[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(2): 59-63.
- [27] Eklind M J, Gronli M. The art, science and technology of charcoal production[J]. Industrial and Engineering Chemistry, 2003, 42: 1619-1640.
- [28] Zhang Z, Wang J J. Influence of humic substances on bio-availability of Cu and Zn during sewage sludge composting[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(17): 8022-8026.
- [29] 贺亮. 不同秸秆与城市污泥好氧堆肥过程中重金属质量分数及形态变化[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2012, 34(3): 90-94.
- [30] Wang P, aldoni G, al Re L, et al. Effects of 15 years sludge application on ropland[J]. Water Practice & Technology, 2007, 21(1): 10-18.
- [31] 贾程. 污泥与秸秆堆肥过程中氮、磷形态变化研究[D]. 广州: 中山大学, 2009.
- [32] 赵素芬. 不同填充料对城市污泥堆肥过程中氮磷素转化的影响[J]. 西南师范大学学报, 2007(32): 63-67.
- [33] 单德鑫, 许景钢, 李淑芹, 等. 牛粪堆肥过程中有机氮的动态变化[J]. 中国土壤肥料, 2008(1): 40-43.
- [34] 何绪生, 张树清, 余雕, 等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 16-25.
- [35] 谢祖彬, 刘琦, 许燕萍, 等. 生物炭研究进展及其研究方向[J]. 土壤, 2011, 43(6): 857-861.
- [36] 杨玉荣, 穆国俊, 魏静, 等. 重金属在污泥堆肥过程中的变化[J]. 农业环境科学学报, 2006(25): 226-228.
- [37] Chen T J, Condon L M. Biochar and the nitrogen cycle: Introduction[J]. Journal of Environmental Quality, 2010, 39: 1218-1223.
- [38] 郑国砥, 陈同斌, 高定, 等. 好氧高温堆肥处理对猪粪中重金属形态的影响[J]. 中国环境科学, 2005, 25(1): 6-9.

## Research Progress of Biomass Charcoal in Aerobic Composting of Sewage Sludge

GUO Wei<sup>1</sup>, YU Hong-jiu<sup>1</sup>, LI Yu-mei<sup>2</sup>, YU Chun-sheng<sup>3</sup>, LIU Jie<sup>1</sup>

(1. Rural Energy Resources Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Soil and Fertilizer Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 3. Linkou County Agricultural Technology Promotion Center, Mudanjiang, Heilongjiang 157600)

**Abstract:** Biomass charcoal have rich nutrients, with developed pore, strong adsorption and large specific surface area characteristics, in order to solve the hot spot in the study of urban sludge compost treatment in recent years, the basic characteristics of biomass carbon were introduced, biomass carbon was summarized in the process of city sludge aerobic composting of basic properties of the pile body, compost effect and the safety of products, the research progress of biomass carbon could improve the efficiency of urban sludge compost, reduce the biological effectiveness of heavy metals in the composting products, but it also need to detailed research before large scale further.

**Keywords:** urban sludge; aerobic composting; biomass charcoal; effect of compost

欢 迎 订 阅