

# 生物质炭对城市污泥堆肥过程中碳素转化的影响

郭 炜<sup>1</sup>, 于洪久<sup>1</sup>, 于春生<sup>2</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. 林口县农业技术推广中心, 黑龙江 林口 157600)

**摘要:**为促进城市污泥土地化利用, 将生物质炭与城市污泥分别以 0、3%、5%、10% 的比例添加在城市污泥的好氧静态堆肥试验中, 研究不同配比下堆肥反应过程中含水率、总有机碳、腐殖质酸、胡敏酸、富里酸含量的动态变化。结果表明: 与对照相比, 添加生物质炭可有效增加堆肥产品中水分含量, 促进堆肥进程。各处理在堆肥末期含水率、总有机碳含量均呈下降趋势, 但处理 2(生物质炭添加量为 5%, 稻壳/城市污泥(4:1)添加量为 95%) 的含水率较对照高 5.8 个百分点, 总有机碳含量较对照高 40 g·kg<sup>-1</sup>; 各处理在堆肥结束期其腐殖质炭含量及胡敏酸炭含量明显增多, 增加量由大至小依次为处理 2>处理 3>处理 1>对照。综合各项指标, 与其它处理相比, 处理 2 即当生物质炭添加量为 5% 时, 更能促进整个堆肥过程中微生物的活性, 更能保证堆肥产品质量。

**关键词:** 生物质炭; 碳素; 城市污泥; 好氧堆肥

**中图分类号:** S141.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2017)03-0034-04 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.03.0034

近年来, 我国城镇化进程加速发展, 城市污泥产量迅速增加<sup>[1]</sup>。如何安全有效合理地处置逐年递增的城市污泥, 是当前面临的重要问题。许多研究表明城市污泥的堆肥化处理是一种绿色环保的生物处置方法, 可利用其丰富的有机质及其它植物生长的营养元素生产成一种可被广泛利用的优质肥料<sup>[2-4]</sup>, 既解决了城市污泥的环境污染问题, 又可实现它的资源化、土地化利用。

国内外许多研究表明, 城市污泥堆肥化的最大问题来源于污泥本身的特性<sup>[5]</sup>, 传统堆肥过程中普遍存在碳、氮等重要营养元素损失严重、堆肥周期长而且不彻底、堆肥腐熟度不高、堆肥产品品质差、附加值低、二次污染环境等问题<sup>[6]</sup>。近年来, 在城市污泥的堆肥化处置过程中添加生物质炭来促进其堆肥化进程是许多学者研究的热点。生物质炭具有发达的孔隙结构和强大的表面官能团, 吸水性强、通透性大, 在城市污泥的好氧堆肥过程中可以增加堆体中空气通透性, 进而有效提高堆肥的腐熟程度, 提高堆肥效率, 提升堆肥产品质量, 还可以减少城市污泥对环境的污染<sup>[7]</sup>。同

时生物质炭又是一种相对较为安全的多碳物质, 具有调节耕地土壤中酸碱度的特点, 可增加土壤碳库含量<sup>[8]</sup>。

本试验以稻壳灰为添加剂, 用仪器及化学分析相结合的方法, 研究了添加不同比例的生物质炭作为调理剂与城市污泥混合进行高温好氧堆肥试验过程中对碳素转化的影响, 为生物质炭和城市污泥资源化、肥料化应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试堆肥原料为城市污泥和稻壳, 城市污泥取自哈尔滨市某污水处理厂, 稻壳来自黑龙江五常松粳香米业公司, 生物质炭为稻壳炭(兰西县), 堆肥原料基本性质见表 1。

### 1.2 方法

**1.2.1 试验设计** 本试验采取单因素随机区组方法, 试验共设 4 个处理分别为处理 1、处理 2、处理 3 和对照 CK, 每个处理重复 3 次, 各处理的原料成分见表 2。处理 1、2、3 堆体中生物质炭的添加量分别为 3%、5%、10%, CK 不添加, 其中稻壳与城市污泥的比例为 4:1, 调节各处理的碳氮比在 20~25:1, 含水率为 65%, 将各堆体的原料混均搅拌, 堆体的长、宽、高分别为 2.0 m、1.0 m、1.0 m, 采用人工翻堆方式, 整个堆肥时间设定 45 d, 有堆肥初期和中期每 3 d 翻堆 1 次堆, 在堆肥后期每 7 d 翻 1 次堆。

收稿日期: 2017-02-27

基金项目: 黑龙江省农业科学院创新工程资助项目(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, 从事农业能源与生物肥料研究。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, 从事农业能源及生态环境等方面的研究。

表 1 堆肥原料基本性质

Table 1 Basic properties of raw materials for composting

项目 Items	城市污泥 Municipal sludge	生物质炭 Biochar	稻壳 Rice husk
pH	7.0	7.5	6.3
含水率/% Moisture content	80.00	11.00	10.06
EC/(mS·cm <sup>-1</sup> )	2.27	5.20	16.80
C/N	6.9	6.2	70.0
全氮/(g·kg <sup>-1</sup> ) Total N	33.1	2.6	6.3
全碳/(g·kg <sup>-1</sup> ) All carbon	230.5	16.24	42.3
总磷/(g·kg <sup>-1</sup> ) Total P	16.8	0.3	1.1
总钾/(g·kg <sup>-1</sup> ) Total K	4.21	1.42	8.50
总 Cu/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total Cu	340.0	0.4	-
总 Zn/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total Zn	700.0	0.5	-

表 2 堆体原料质量百分比

Table 2 Mass percentage of raw materials

处理 Treatments	生物炭添加量/% Biomass carbon addition	添加量(稻壳/城 市污泥)/% Addition(Rice husk/urban sludge)	含水率/% Moisture content
CK	0	100	65
1	3	97	65
2	5	95	65
3	10	90	65

1.2.2 测定项目及方法 堆肥升温每 3 d 取 1 次样,堆肥高温期每 5 d 取 1 次样,堆肥降温期每 7 d 取 1 次样,采用五点取样法待堆体翻匀后多点采样,每次采集样品 100 g 左右,样品分成 2 份,一份鲜样存于 4 ℃ 冰箱中用于测定含水率;另一份干燥后用于总有机碳、腐殖酸、胡敏酸等含量等测定。

堆体含水率的测定采用烘干失重法,总有机碳含量的测定采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法,腐殖酸、胡敏酸含量的测定采用重铬酸钾容量法测定<sup>[9]</sup>。

1.2.3 数据处理 所得到的数据通过 Microsoft-Excel 软件进行图表的制作处理分析。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中含水率的变化

在城市污泥的好氧堆肥发酵过程中,水分含

量的变化可以反应出堆肥过程中微生物的代谢活动情况,可直接影响堆肥产品品质。由图 1 可知,在整个堆肥过程中含水率是不断变化的,随着生物质炭的添加量不同各处理的含水率变化有所差异,但总体的变化趋势大致相同,都是呈下降趋势,表明各处理在经历了堆肥的高温期后堆体内温度较高,水分蒸发都非常大。

在整个堆肥过程中,对照 CK、处理 1、处理 2、处理 3 的水分损失量分别为 15.9%、13.0%、10.1%和 12.1%。表明添加生物质炭能够起到在堆肥过程中降低堆体中的水分蒸发量的作用。

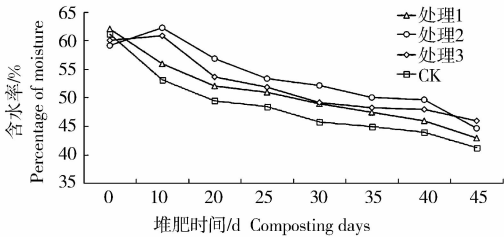


图 1 堆肥过程中含水率的变化

Fig. 1 Change of moisture content in composting

2.2 堆肥过程中总有机碳含量的变化

堆肥过程中堆体内碳素含量的高低直接决定微生物的生存活性。因此,城市污泥的高温好氧堆肥中总有机碳含量的变化可以直接反映出堆肥的腐熟程度。

由图 2 可知,各处理中总有机碳含量都呈下降趋势。堆肥结束期与初期比较,对照、处理 1、处理 2、处理 3 的总有机碳含量分别下降了 10.9%、10.3%、7.6%和 8.7%,其中处理 2 中总有机碳含量下降幅度最小,而对照下降幅度最大,表明添加生物质炭可最大程度上保证污泥堆肥过程中堆体内总有机碳的含量。

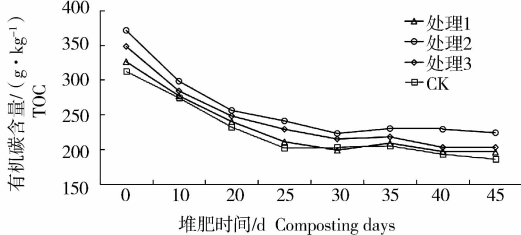


图 2 堆肥过程中总有机碳含量的变化

Fig. 2 Changes of TOC during composting

2.3 堆肥过程中腐殖酸含量的变化

堆肥中腐殖酸的组成及含量是影响堆肥产品肥效的主要因素之一,并且直接影响堆肥产品对

植物生长的肥效。由图3可知,各处理的堆体中腐殖酸含量变化趋势大致相同,并且添加生物质炭的所有处理中腐殖酸含量均高于对照处理。说明添加生物质炭会增加堆肥中腐殖质的含量。堆肥结束后腐殖酸总含量均有所增加。对照中腐殖酸增加了  $19.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 低于其它3个处理, 总体比较其增加量由大到小顺序为处理2 > 处理3 > 处理1 > CK。

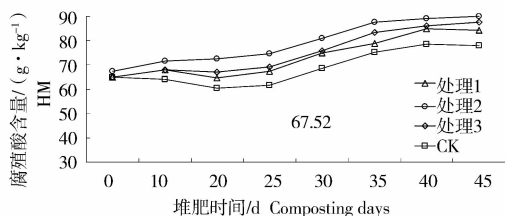


图3 堆肥过程中腐殖酸含量的变化

Fig.3 Change of HM during composting

## 2.4 堆肥过程中胡敏酸含量的变化

胡敏酸是好氧堆肥过程有机质分解后产生主要的且相对较为稳定的腐殖类物质,其含量可用来评价整个城市污泥堆肥的腐熟度及堆肥产品的品质。如图4所示,在整个堆肥过程中胡敏酸含量表现趋势大致相同,都呈增加趋势,随着堆肥的进行各处理堆体中胡敏酸含量大幅度增加。堆肥结束后对照处理中胡敏酸含量增加了  $23.77 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 添加生物质炭的处理增加了  $36.85 \sim 42.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 堆肥后期时添加生物质炭的堆体中胡敏酸含量均高于对照。各处理的堆体中胡敏酸含量由多至少依次为处理2 > 处理3 > 处理1 > 对照,表明生物质炭的添加可促进堆肥后期胡敏酸的形成,不同的添加量之间,胡敏酸含量差异较小。

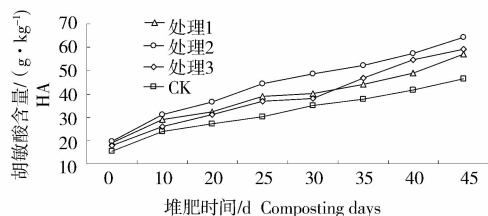


图4 堆肥过程中胡敏酸的变化

Fig.4 Change of HA during composting

## 3 结论与讨论

含水率是堆肥的重要影响因素,因为它与微生物的活性及堆体腐熟程度密切相关。本试验结

果表明,在堆肥降温期添加生物质炭的3个处理与对照相比,均比对照含水率高,这说明添加生物质炭可以增加城市污泥堆肥中堆体水分含量,这与姜晓霞等<sup>[10]</sup>在猪粪与玉米秸秆的堆肥发酵研究结果相一致。在本试验中,当生物质炭添加量为5%时,堆体中水分含量最高。

在好氧堆肥过程中堆体内微生物活动的所有能量来源于碳素物质,它被微生物直接吸收转化再利用,堆体中碳素物质的含量会强烈影响整个堆体的腐熟程度<sup>[11]</sup>。本试验结果表明,添加生物质炭可最大程度上保证堆体中碳素物质含量,在堆肥结束期,处理2的总有机碳含量下降率仅为7.6%,远小于对照。

腐殖质中含有丰富的官能团,是重要的碳素物质之一,而且腐殖质含量可影响堆肥产品品质及肥效<sup>[12]</sup>。本试验结果表明,添加生物质炭可提高堆肥末期堆体内腐殖质的含量。堆肥初期各处理中腐殖质含量差异不大,但随着堆肥的进程不断推进,各处理中腐殖质含量不断增加,这是由于各处理内的微生物在不断分解有机物质。堆肥末期,处理2的腐殖质含量最高,说明生物质炭添加量为5%时,有利于城市污泥好氧堆肥过程中腐殖质含量的提高。

胡敏酸的含量会严重影响堆体内腐殖质的质量,许多研究表明,堆体内腐殖质含量及质量的差异受堆肥初始物料组分的影响较大<sup>[13]</sup>。本试验结果表明,各处理在城市污泥的堆肥过程中胡敏酸含量都是呈增加趋势。这是因为在堆肥前期微生物的活动较为频繁,分解能力最大<sup>[14]</sup>。本试验中处理2即当生物质炭添加量为5%时,在堆肥开始的第14天胡敏酸含量迅速增加,说明处理2的腐殖化程度明显高于其它处理。

综上所述,生物质炭的添加可促进城市污泥的好氧堆肥进程,提高堆肥产品质量及品质,从而提升堆肥产品对植物生长的肥效利用率。本试验研究结果表明,处理2即当生物质炭添加量为5%时,与其它处理相比,更能使城市污泥好氧堆肥腐殖化程度趋于稳定发展,更好地保存了养分含量从而加速了堆肥进程,提高了堆肥产品附

加值。

但本试验中只对添加生物质炭对城市污泥好氧堆肥过程中的碳素含量变化做了分析讨论,而未对生物质炭的添加对城市污泥堆肥过程中碳、氮等“温室气体”的排放对空气环境的影响进行深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 国家环境保护局. GB18919-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [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] 孔祥娟,我国城镇污水处理厂污泥处理处置工作现状、问题及展望[J]. 水工业市场,2012,10(4):12-14.
- [4] 郭晓会,高山,甘明强,等. 中国城市污泥重金研究现状[J]. 环境科学学报,2014,10(34):245-251.
- [5] 陈晓英,吕芳. 谈谈城市污泥的处理及资源化利用[J]. 环境保护与循环经济,2012,1(15):38-42.
- [6] 李艳霞,陈同斌,罗维,等. 中国城市污泥有机质及养分含量与土地利用[J]. 生态学报,2003,12(21):169-173.
- [7] 秋小荣,周力,高定,等. 城市污泥堆肥化处理及其产业发展

的问题[J]. 中国给水排水,2005,5(16): 127-135.

- [8] 赵建龙,沈玉君,赵振凤,等. 城市污泥堆肥化研究进展[J]. 现代农业科技,2010,5(17): 69-72.
- [9] Dai J Y, Chen L, Zhao J F, Characteristics of sewage sludge and distribution of heavy metal in plants with amendment of sewage sludge[J]. Journal of Environmental Sciences, 2006,18(6):1094-1100.
- [10] 姜晓霞,王宝维,黄华,等. 猪粪秸秆高温堆肥过程中氮转化特征与堆肥周期探讨[J]. 环境科学学报,2011,31(11): 2511-2517.
- [11] 鲍艳宇,颜丽,姜翼来,等. 鸡粪堆肥过程中各种碳有机化合物及腐熟度指标的变化[J]. 农业环境科学学报,2005,24(4):820-824.
- [12] 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.
- [13] 李丽吉. 竹炭的添加对猪粪堆肥过程中氮素持留与温室气体减排的影响[D]. 杭州:浙江大学,2012.
- [14] 李荣华,张广杰,秦睿,等. 粉煤灰和猪粪好氧混合堆肥过程中养分转化研究[J]. 农业环境科学学报,2012,43(4): 100-105.

## Effect of Biomass Carbon on Carbon Transformation During Composting of Urban Sewage Sludge

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

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

**Abstract:** In order to promote the city land utilization of sludge, the biomass carbon and city sludge were added as the proportion of 0, 3%, 5% and 10% in city sludge aerobic static composting, composting process of dynamic change under different ratio of moisture content, total organic carbon, humic acid, humic acid, fulvic acid content were studied. The results showed that compared with the control, the addition of biochar could effectively increase the moisture content of compost products and promote the composting process. At the end of each treatment in the compost water content, total organic carbon content decreased, but the water content of treatment 2 (5% biomass carbon content, 95% rice husk / city sludge (4:1)) increased 5.8 percentage points, the total organic carbon content was higher than the control 40 g·kg<sup>-1</sup> in each treatment; the end of the period of composting humus carbon content and carbon content of HA increased significantly, the increasing amount from big to small was in turn treatment 2 > treatment 3 > treatment 1 > control. Combined with other indicators and compared with other treatments, when the biomass carbon content was 5%, the microbial activity was promoted in the whole composting process, which can ensure the quality of compost products.

**Keywords:** biomass carbon; carbon; municipal sludge; aerobic composting