

上海湿垃圾沼渣特性及资源化利用探索

Research on the Characteristics and Resource Utilization of Food Waste in Shanghai

李刚 卢明 吴春强 陈平*

LI Gang LU Ming WU Chunqiang CHEN Ping*

基金项目:

上海市自然科学基金“生物炭堆肥中多环芳烃降解及其土壤-作物系统中的迁移机制研究”(编号: 19ZR1451400)

文章编号: 1000-0283 (2020) 06-025-05

DOI: 10.12193/j.laing.2020.06.025.005

中图分类号: TU986

文献标识码: A

收稿日期: 2020-04-24

修回日期: 2020-05-05

摘要

研究分批选取上海市实施垃圾分类后产生的湿垃圾沼渣, 对其进行基本理化检测、营养指标检测、腐熟度检测和重金属检测。结果显示, 湿垃圾沼渣的pH值范围为8.19~8.47; EC值范围为2.91~7.28 mS/cm; 有机质的范围为31.86%~92.64%; 总养分范围为5.71%~10.26%; 腐殖质范围为183.79%~372.27%; 发芽指数范围为4.5%~6.7%; 重金属铬的范围为25.3~32.7 mg/kg、砷的范围为3.17~10 mg/kg、镉的范围为ND~1.4 mg/kg、汞的范围为ND~0.8 mg/kg、铅的范围为11.0~27.9 mg/kg, 说明湿垃圾沼渣的有机质和总养分含量较高, 重金属含量较低; 沼渣具有较高的营养成分和较低的生物毒性, 具有良好的资源化利用潜力。但是较高的pH值和EC值影响了沼渣的再利用, 同时极低的腐殖质含量和发芽指数说明沼渣具有较高的植物毒性, 不能直接施用于土壤。如将沼渣施用于土壤, 需进一步提升沼渣的腐熟程度, 降低pH值和EC值含量。

关键词

湿垃圾; 沼渣; 资源化利用

Abstract

The research selected batches of wet garbage biogas residues generated by the implementation of garbage classification in Shanghai and conducted necessary physical and chemical testing, nutrition index testing, maturity testing, and heavy metal testing. The results show that the pH range of wet garbage biogas residue is 8.19~8.47, the EC ranges 2.91~7.28 mS/cm, the range of organic matter is 31.86%~92.64%. Besides that, the entire nutrient ranges 5.71%~10.26%, germination index ranges 4.5%~6.7%, the heavy metal chromium ranges 25.3~32.7 mg/kg, the arsenic ranges 3.17~10 mg/kg, the cadmium ranges from ND to 1.4 mg/kg, the mercury ranges from ND to 0.8 mg/kg, and lead ranges 11.0~27.9 mg/kg. All the above indicates that wet garbage biogas residue with higher organic matter and total nutrient content, lower heavy metal content, biogas residue have higher nutritional content and lower biological toxicity, has good resource utilization potential. However, the higher pH and EC affect the reuse of biogas residue. Simultaneously, the shallow humus content and germination index indicate that biogas residue has high phytotoxicity and cannot directly apply to the soil. If the biogas residue needs to apply to the earth, it is necessary to improve the biogas residue's maturity further and reduce the pH and EC content.

Key words

wet garbage; biogas residue; resource utilization

李刚

1968年生/男/上海南汇人/上海老港废弃物处置有限公司生物能源再利用中心工程师, 上海生物能源再利用中心负责人/从事湿垃圾的处置、科研、运营管理(上海201302)

卢明

1980年生/男/福建莆田人/硕士/上海老港废弃物处置有限公司生物能源再利用中心经济师/从事餐厨垃圾资源化处置技术与研究开发(上海200232)

陈平

1984年生/男/浙江乐清人/博士/上海市园林科学规划研究院、上海城市困难立地绿化工程技术研究中心、城市困难立地生态园林国家林业局重点实验室工程师/研究方向为有机废弃物再利用(上海200232)

*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: cp@shsyky.com

随着城市化进程加快, 城市垃圾产量与日俱增, 2018年, 200个大中城市生活垃圾产生量21 147.3万T, 处置量21 028.9万T, 处置率达99.4%。上海生活垃圾产生量居全国第一, 产生量为984.3万T, 约为全国的4.7%^[1], 其中生活垃圾中50%以上为湿垃圾, 且逐年增长。应对日益严峻的“垃圾围城”现象, 2019年7月1日起, 《上海市生活垃圾管理条例》正式开始施行。2019年8月,

上海市的湿垃圾分出量为9 200 T/d, 约为2月湿垃圾分出量的2倍, 而由此产生的沼渣产量在700 T/d左右, 并随着垃圾分类的不断推进呈快速上升趋势。

湿垃圾沼渣含有大量有机质、腐殖酸、粗蛋白、氨基酸等营养成分, 具有很高的再利用研究价值。但是受技术、资金、管理水平等因素的制约, 而且其成分复杂, 因此相关沼渣特性及资源化利用的研究较少。本研究选取上海实行垃圾分类后的湿垃圾产生的沼渣进行研究, 分析沼渣特性及其资源化利用, 以期上海湿垃圾沼渣的利用提供理论依据, 为上海乃至全国垃圾分类后的资源化利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

上海老港生物能源再利用中心使用上海市中心城区的餐厨垃圾作为原料, 原料中含有的有害成分相对较少, 且经过预处理设施, 去除了其中的大部分杂质。考虑上海浦东黎明有机固废处理厂与上海老港生物能源再利用中心的餐饮垃圾处置

工艺均采用湿式厌氧工艺, 因此在老港生物能源再利用中心暂未生产沼渣之前, 采用黎明有机固废处理厂处置餐饮垃圾后的沼渣作为原料, 进行沼渣成分分析与研究。

研究采集了三批次沼渣, 均为来自上海城区的湿垃圾厌氧发酵20天后的产物。其中, 第一批样品的采集时间为2019年8月6日, 第二批样品的采集时间为2019年8月19日, 第三批样品的采集时间为2019年10月9日。

1.2 仪器及设备

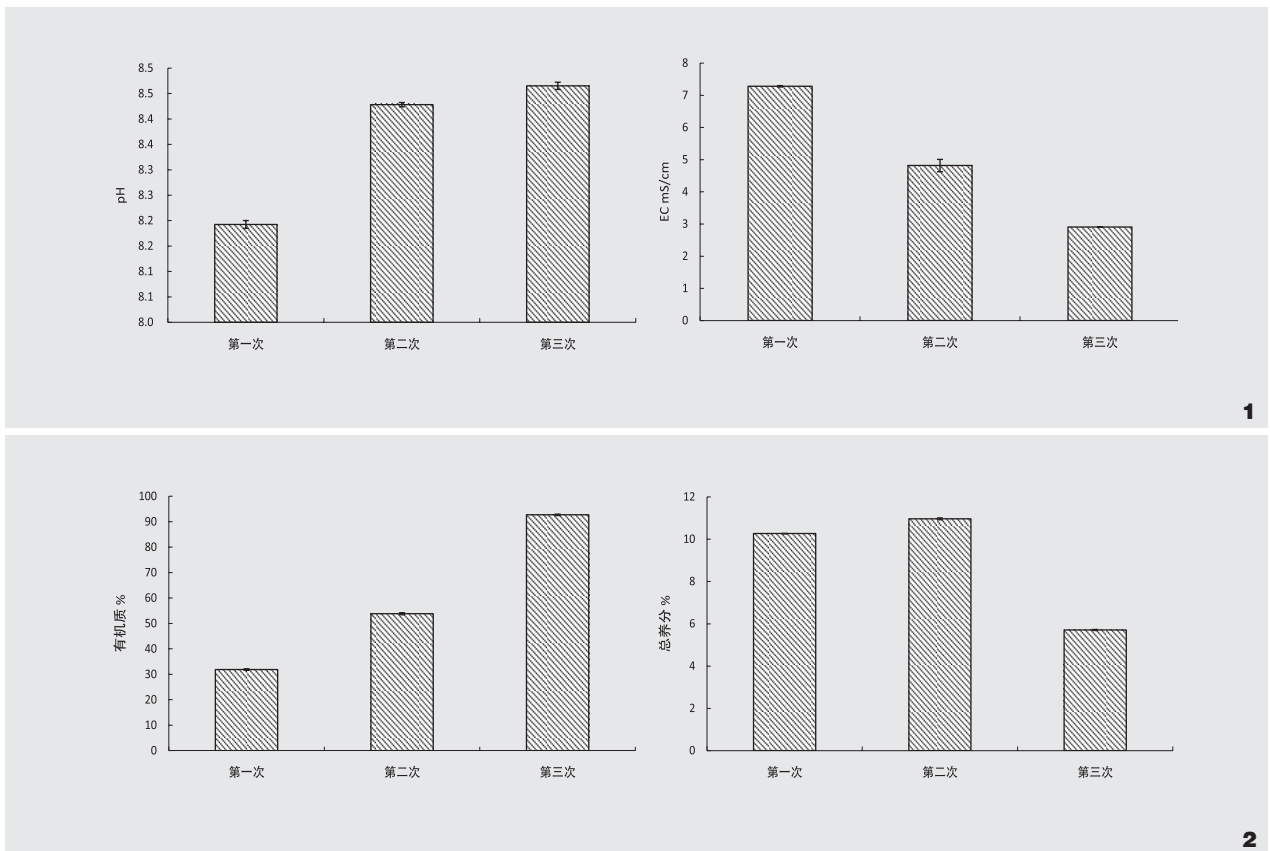
实验使用的仪器及设备有: pH值计、电导率分析仪、分析天平、具塞比色管、分光光度计、恒温干燥箱、恒温定时消煮炉、傅里叶红外光谱仪、高速万能粉碎机、陶瓷纤维马弗炉、元素分析仪、培养皿、恒温干燥箱高温灭菌锅。

1.3 实验方法

针对不同的测试内容, 采用不同的实验方法及标准(表1)。采用Microsoft Excel 2010软件对数据进行整理和统计分析。

表1 湿垃圾沼渣检测指标与检测方法

检测指标	检测方法	参考标准
pH值	电位法 (2.5:1水土比)	LY/T 1239
EC值	电导率法 (5:1水土比)	LY/T 1251
含水量	真空烘干法	NY/T 302
有机质	重铬酸钾容量法 (100℃水浴)	NY 525
全氮 (N计)	蒸馏法	NY 525
全磷 (P ₂ O ₅ 计)	钒钼酸铵比色法	NY 525
全钾 (以K ₂ O计)	火焰光度法	NY 525
C/N比	有机碳 (重铬酸钾容量法 (100℃水浴))	NY 525
全氮	(蒸馏法)	NY 525
发芽指数	生物毒性法	GB23486
腐殖酸	焦磷酸钠浸提液—重铬酸钾氧化法	LY/T 1238
氯离子	硝酸银滴定法	LY-T 1251-1999
钠离子	火焰光度法	LY-T 1251-1999
总汞	冷原子吸收分光光度法	GB/T17136
总铬	火焰原子吸收分光光度法	GB/T17137
总镍	火焰原子吸收分光光度法	GB/T17139
总镉	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T17141
总铅	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T17141
总砷	原子荧光法	GB/T 22105.2



1. 湿垃圾沼渣的pH值和EC值
2. 湿垃圾沼渣的有机质和总养分

2 结果与讨论

2.1 沼渣理化特性——pH、EC和含水量

由图1可知，三次采样的pH范围为8.19 ~ 8.47，呈碱性。Nakasaki等认为pH值为6.5 ~ 7.5是微生物（特别是细菌和放射菌）生长最合适的酸碱度^[2]，微生物可以高效分解有机物。

EC的范围为2.91 ~ 7.28 mS/cm，其与含盐量有关，一般认为EC值应低于3.5 mS/cm才不会对作物生长构成危害，其值过大，施入田间后会影响作物的正常生长。但是，当EC低于此值时，EC值越高，表示其含有的营养元素越多^[3]。

2.2 沼渣营养指标——有机质和总养分

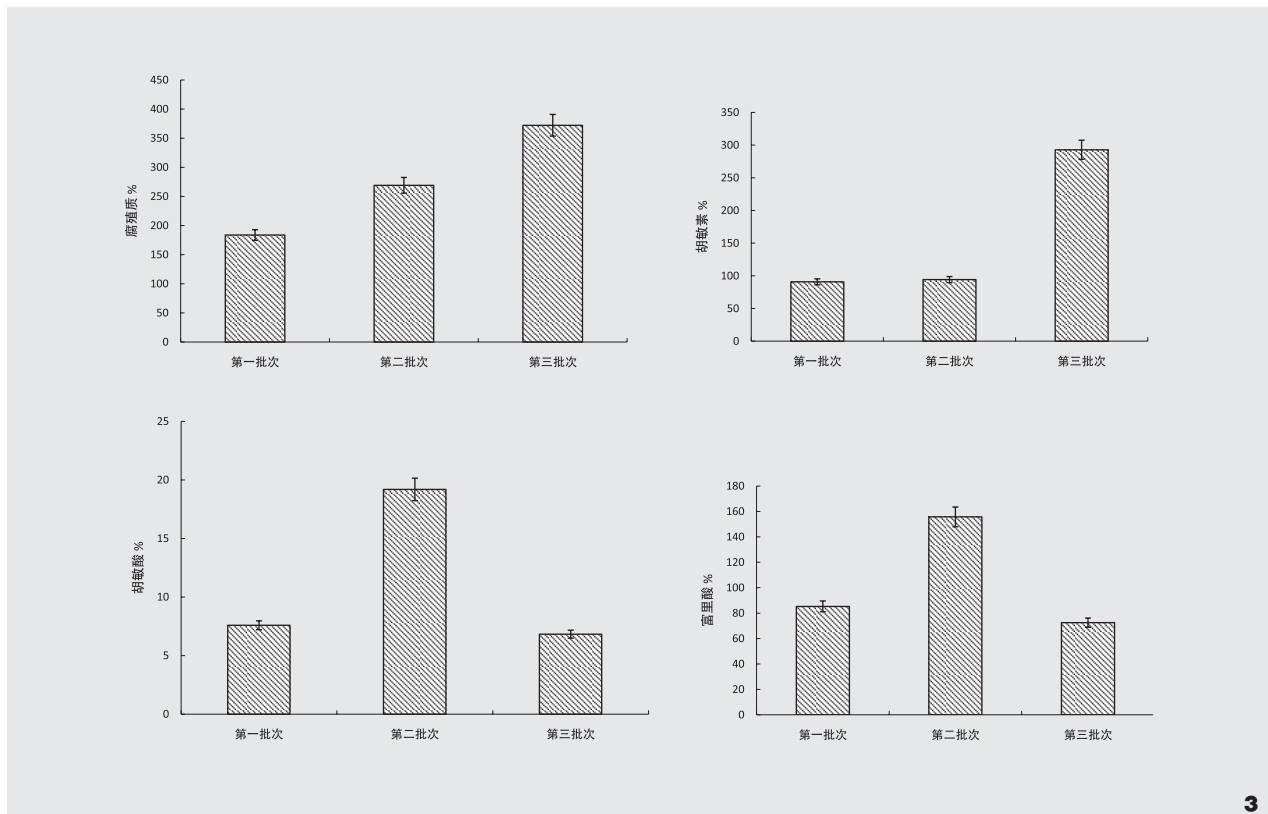
由图2可知，有机质的范围为31.86% ~ 92.64%。有机质含量代表微生物可利用的碳源量。随着微生物的新陈代谢和矿化

作用，碳源被消耗，转化成CO₂、腐殖质等小分子物质，同时释放出能量。有机质含量越高，说明沼渣能被利用的成分越多。根据《有机肥料》的标准，一般有机肥料的有机质需大于45%，绿化用有机基质的标准会稍低^[5]。

总养分包含全碳、全氮和全磷含量，其范围为5.71%~10.26%。与有机质类似，总养分也反映了沼渣能被微生物代谢利用的组分含量。根据《有机肥料》的标准要求，有机肥料的总养分需大于5%。综合有机质和总养分指标可知，湿垃圾沼渣的营养成分较高，资源化利用潜力较大，可以通过二次处理后，作为有机肥和有机基质施用。

2.3 沼渣腐熟指标——腐殖质和发芽指数

沼渣作为湿垃圾厌氧发酵的产物，其腐熟程度也决定了



3. 湿垃圾沼渣的腐殖质含量

沼渣后续利用的范围。腐殖质是衡量腐熟程度的重要指标，是有机质在微生物作用下形成的复杂大分子有机化合物，具有很高的稳定性，可分为胡敏酸、富里酸和胡敏素三部分。

由图3可知，湿垃圾沼渣的腐殖质范围为183.79%~372.27%，其中胡敏酸（HA）的范围为6.83%~19.20%，富里酸（FA）的范围为72.55%~155.75%，胡敏素（HM）的范围为90.85%~292.88%。腐殖质中胡敏酸的含量较低，富里酸其次，胡敏素的含量较高。根据腐殖化指数（HI）和腐殖化率（HR），公式如下：(1) $HI=HA/FA$ ；(2) $HR=HA/(FA+HM)$ ，当HI值达到1、HR值为1.4时表示二次好氧发酵产物已腐熟^[6]。

沼渣的腐殖质检测结果表明，三次的HI和HR均远远小于腐熟要求。同时三次发芽指数的范围为4.5%~6.7%，远远小于50%，说明湿垃圾厌氧发酵后的沼渣未腐熟，具有较大的植物毒性。

2.4 沼渣重金属含量

由表2可知，三批次沼渣的重金属含量较低，铬的范围为25.3~32.7 mg/kg，砷的范围为3.17~10 mg/kg，镉的范围为ND~1.4 mg/kg，汞的范围为ND~0.8 mg/kg，铅的范围为11.0~27.9 mg/kg。远远低于《有机肥料》和《绿化用有机基质》的限值要求，这为沼渣的后期加工提供了便利。

2.5 沼渣再利用探索

随着城市化的快速发展，人们对城市绿化景观的要求越来越高，绿地作为城市景观中唯一接近于自然的生态系统，由于强烈的人为干扰，城市绿地土壤的物理、化学性质发生了显著的改变，存在土壤紧实、容重大、通气孔隙差、有机质含量和土壤肥力低下等缺陷，使其处于营养严重匮乏的状态，并使其生态功能发生转化或彻底丧失，影响城市树木、

表2 沼渣重金属含量 (mg/kg)

指标	第一批	第二批	第三批	NY525	GBT33891		
					I	II	III
铬	25.3	32.7	27.9	≤150	70	200	300
砷	10	7.33	3.2	≤15	10	20	35
镉	ND	ND	1.4	≤3	1.5	3	5
汞	ND	ND	0.8	≤2	1	3	5
铅	11.3	11.0	27.9	≤50	120	300	400

注：ND为低于检出限

花草的生长。而沼渣富含有机质等营养，利用沼渣加工生产的高效有机复合肥具有肥效高，可增加和更新土壤有机质，促进微生物繁殖，改善土壤的理化性质和生物活性，可防病抗虫害和改良土壤的独特性能。因此，改善湿垃圾沼渣处理工艺，提升沼渣的质量，并将沼渣合理应用在绿林地土壤上，将会大大提升城市绿林地的生态效果和功能。

另一方面，从经济价值角度考虑，如果能将每年产生的3.65万吨沼渣制作成优质有机肥或者营养土，按照目前市场上的优质颗粒固定有机肥或者营养土每吨500~1000元计算，其年产值将达到1825万~3650万元左右，并且还将有效缓解其二次污染对周边环境造成的不良影响。

因此对沼渣如何实现资源循环再利用，不仅具有较高的经济价值，还可以减少对环境的污染，实现资源的循环利用，对创建资源节约型、环境友好型社会具有重要意义。本研究中碳氮比(C/N)是指有机物中总碳含量与总氮含量的比值^[7]。适当的碳氮比例，有利于微生物的繁殖和分解。湿垃圾沼渣样品结果表明沼渣未腐熟，需要进一步腐熟，因此沼渣的C/N含量，直接影响了沼渣的继续腐熟和再利用。三次沼渣样品的C/N范围为4.3~8，通常认为C/N介于25~30时，有利于沼渣堆肥再利用。因此，后期如需通过堆肥化继续腐熟沼渣样品，可能需要提高C/N比。

3 总结

本研究选取上海实施垃圾分类后产生的湿垃圾，厌氧发酵后产物沼渣，通过基本理化检测、营养指标检测、腐熟度检测和重金属检测。结果显示，湿垃圾沼渣含有较高的有机质、总养分含量及较低的重金属含量，但是pH值和EC值较高，腐殖质含量和发芽指数极低，说明湿垃圾沼渣具有较高

的营养成分和较低的生物毒性，具有良好的资源化利用潜力。但是其植物毒性较高，不能直接施用于土壤。建议进一步提升沼渣的腐熟程度，降低pH值和EC值含量后再应用。■

参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 2019年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报[EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/gtfwwrfz/>.
- [2] Nakasaki K, Muramoto T. Relationship between Organic Matter Decomposition and Odorous Compounds' Emission during Thermophilic Composting[J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 2003, 36(10): 1194-1200.
- [3] 李胜华, 陈伟玲. 不同堆置措施对园林废弃物堆肥的影响[J]. 杭州化工, 2011, 41(2): 5-7+11.
- [4] NY 525 2012 有机肥料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [5] GBT 33891-2017 绿化用有机基质[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [6] 姚武, 顾燕青, 巫阳, 等. 畜粪堆肥过程中腐殖质形成特征研究进展[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2014(5): 517-522.
- [7] 次仁吉保, 赵联芳, 王成, 等. 添加菌剂和不同C/N对葡萄枝条堆肥效果的影响[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(2): 71-74.