

湿垃圾沼渣好氧发酵堆肥对三种园林植物生长影响研究

Effects of Aerobic Fermentation and Composting of Food Waste Biogas Residue on the Growth of Three Garden Plants

王小涵 何小丽 梁 晶*
WANG Xiaohan HE Xiaoli LIANG Jing*

基金项目:
上海市绿化和市容管理局项目“湿垃圾处置固态残余物资源化利用途径研究”(编号: G200202)

文章编号: 1000-0283 (2021) 10-0058-05
DOI: 10. 12193/j. laing. 2021. 10. 0058. 009
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2021-07-26
修回日期: 2021-08-30

王小涵
1989年生/女/河北人/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/研究方向为城市绿地土壤养分循环与质量提升(上海200232)

何小丽
1983年生/女/安徽人/硕士/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/研究方向为城市土壤微生物生态过程与环境效应(上海200232)

梁 晶
1981年生/女/山西人/博士/上海市园林科学规划研究院土壤研究所所长、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教授级高级工程师/研究方向为城市土壤质量评价、修复及有机废弃物再利用(上海200232)

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: liangjing336@163.com

摘要
湿垃圾沼渣作为优质有机肥原料, 其资源化利用对提高城市垃圾消纳能力、保障城市生态环境健康具有重要意义。选取白玉兰 (*Michelia alba*)、紫薇 (*Lagerstroemia indica*) 和硫华草 (*Cosmos sulphureus*) 三种常用园林景观植物, 进行湿垃圾沼渣好氧发酵堆肥(简称沼渣堆肥)施用的盆栽试验, 研究不同用量的沼渣堆肥对土壤主要理化性质及植物生长指标的影响。结果表明, 土壤中混合沼渣堆肥后, 除电导率值外, 土壤养分与土壤酸碱度均有显著改善。沼渣堆肥用量达到30%对三种植物生长有明显的抑制作用, 植物均产生不同程度焦叶、死亡等毒害作用。沼渣堆肥用量低于20%时对植物有较好的促生作用, 沼渣堆肥用量为20%时白玉兰与硫华草长势最佳, 沼渣堆肥用量为10%时紫薇长势最佳。研究为沼渣堆肥在园林绿化养护方面的科学应用和推广提供了数据支撑。

关键词
湿垃圾沼渣; 好氧堆肥; 绿地土壤; 园林景观植物; 促生作用

Abstract
As a raw material of high-quality organic fertilizer, the resource utilization of food waste biogas residue is of great significance to improve urban waste removal and ensure the health of the urban ecological environment. In this paper, three commonly used garden landscape plants, *Michelia alba*, *Lagerstroemia indica* and *Cosmos sulphureus*, were selected to carry out potted plant experiments for the application of aerobic fermentation compost (referred to as biogas residue compost) for wet waste slag and also it to study the effect of different amounts of biogas residue composting on the main physical and chemical properties of soil and plant growth indicators. The results showed that after mixing the compost of biogas residue in the soil, the soil nutrient and soil acidity and alkalinity improved significantly, except for the conductivity value. The amount of biogas residue composting reached 30% has an apparent inhibitory effect on the growth of three kinds of plants, with different degrees of coke leaves, death, and other toxic effects. When the amount of biogas residue composting is less than 20%, it has an excellent pro-life impact on plants, when the amount of biogas residue composting is 20%, white magnolia and sulfur grass are the best, and when the amount of biogas residue composting is 10%, the purple is the best. The research provides data support for the scientific application and popularization of biogas residue compost in landscaping conservation.

Key words
food waste biogas residue; aerobic composting; green land soil; landscape plants; growth-promotion effect

活垃圾管理条例》正式实施,上海市率先进入垃圾分类处理新时代,北京、广州、深圳等地也相继启动垃圾分类工作^[1]。近年来居民湿垃圾日产量迅速增长,截至2021年8月,上海市湿垃圾日均分出量达9 200 t,较2018年底增长了130%。湿垃圾资源化利用已成为城市环境管理的热点和难点问题^[2]。湿垃圾沼渣肥料的应用和推广,能够在一定程度上解决湿垃圾等废弃物的消纳处置问题,同时有利于改善绿地土壤性质,综合提高土壤生态功能^[3]。

沼渣堆肥过程中经历腐殖化、无害化和矿质化等过程,使有机物质降解为植物可吸收利用的氮、磷、钾等化合物^[4],堆肥过程中由微生物分解有机物质产生的大量热量可有效杀灭堆料中的病原菌^[5],从而有效实现沼渣的无害化、减量化和资源化。沼渣堆肥在农田、园林绿地和植被养护等方面的应用及其对土壤环境的影响受到越来越多的关注^[6-8]。赵龙彬^[9]通过盆栽试验发现,适量添加以牛粪发酵残余物固液分离后的沼渣为原料的沼渣堆肥后,黑麦草的产量显著提高。近年来,国内学者针对湿垃圾收纳处置途径展开大量研究,如湿垃圾沼渣特性^[10]、机器成肥^[11]等。然而,国内外关于湿垃圾沼渣堆肥对绿地土壤理化特征及园林观赏植物生长影响的研究仍鲜见报道。本研究以白玉兰、紫薇和硫华草三种乔、灌、草观赏植物为研究对象,将不同用量沼渣堆肥与土壤混匀,探究沼渣堆肥对土壤理化性质和植物生长的影响,遴选最优施用剂量,为沼渣堆肥的应用和推广提供数据支撑。

1 材料和方法

1.1 试验设计

供试土壤于2020年12月采自上海植物园,土壤pH值为8.72,电导率(EC)为0.11 mS/cm,有机质含量30.96 g/kg,水解氮含量71.77 mg/kg,有效磷含量115.20 mg/kg,速效钾含量135.35 mg/kg。湿垃圾沼渣好氧发酵堆肥是湿垃圾厌氧发酵后残余的沼渣(由老港生物能源再利用中心提供)与园林废弃物按7:3比例(V:V)混合后,并配以微生物混合菌剂,进行为期60 d好氧发酵腐熟后的堆肥,简称湿垃圾沼渣堆肥,其基本理化性质为pH8.65、EC值3.79 mS/cm、有机质含量408.20 g/kg、全氮含量2.94%、含水量24.77%。分别选取长势一致的三年生的白玉兰(*Michelia alba*)、三年生的紫薇(*Lagerstroemia indica*)和当年生的硫华草(*Cosmos sulphureus*)作为供试植物进行盆栽试验。试验设置8个处理,将沼渣堆肥按体积比10%、20%、30%、50%、

60%、70%、80%与供试土壤混匀装盆,设置未使用沼渣堆肥处理作为对照(CK),种植盆大小为5 gal(口径27 cm)。白玉兰和紫薇各处理设6盆重复,硫华草各处理设8盆重复。试验于2020年12月至2021年5月在大棚内进行,各处理除沼渣堆肥用量不同外,其他管理措施相同。根据植物生长特性,于2021年5月20日对植株生长指标进行测量。其中白玉兰生长监测指标主要包括叶绿素含量、叶面积、叶片鲜重干重、株高及地径等,紫薇生长监测主要包括新枝长度、叶绿素含量、叶面积、叶片鲜重干重、株高等,硫华草苗主要测量株高和蓬径等生长指标。

1.2 样品采集和测定方法

将沼渣堆肥按各处理用量要求与土壤混匀,达到稳定状态后对土壤进行理化指标测定。使用pH计按2.5:1水土比测定土壤酸碱度,使用电导率仪按水土比5:1测定土壤电导率。将各处理土壤样品研磨并过筛,采用重铬酸钾外容量法测定有机质含量,总氮含量参照国家标准采用凯氏定氮法测定,水解氮含量使用碱解-扩散法测定,有效磷和速效钾分别使用碳酸氢钠浸提法和乙酸铵浸提-火焰光度法进行测定,以上各指标参照《森林土壤分析方法》(中华人民共和国林业行业标准LY/T1210-1275-1999)进行操作^[12]。种子发芽指数参照Sun^[13]的方法进行测定。

植株株高、地径、蓬径和新枝长度使用卷尺进行测定,叶片叶绿素含量通过叶绿素速测仪(JC-SPAD-DL)测定,叶片叶面积通过叶面积仪(Yaxin-1241)测定,植株成活率通过计数法进行计算。采集植株不同部位的叶片进行称重获得叶片鲜重,在65℃烘箱中烘至恒重后称重记录为叶片干重^[14]。植株死亡则停止生长指标监测。

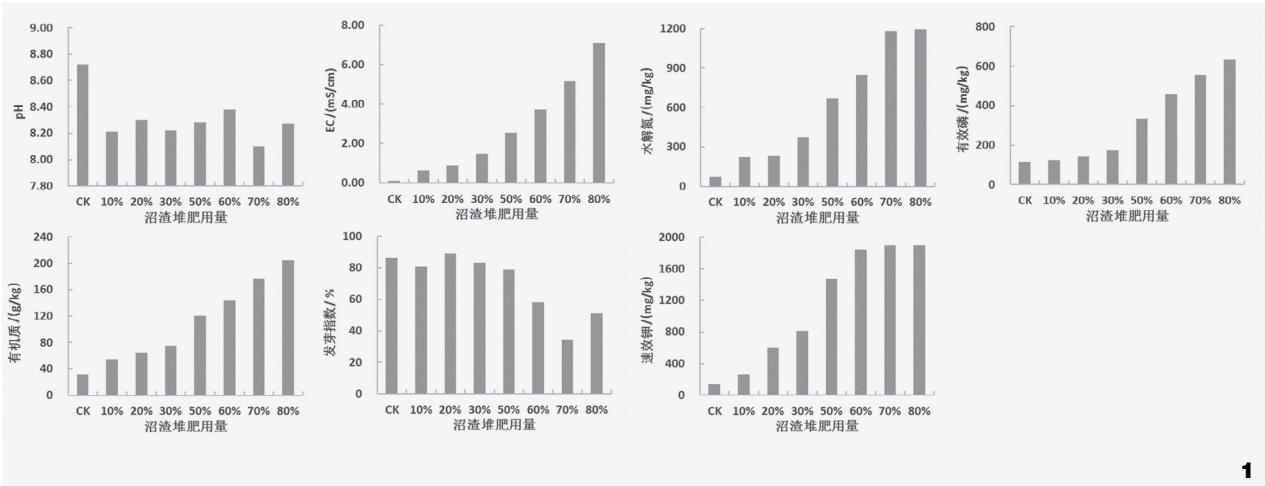
1.3 数据分析方法

应用Excel进行指标统计分析并绘制图表。

2 结果与分析

2.1 沼渣堆肥对土壤理化性质的影响

土壤理化性质与肥力水平是影响景观植物生长与观赏效果的重要因素。由图1可知,在原土中混合不同用量沼渣堆肥后,土壤理化性质发生显著变化。使用沼渣堆肥后土壤pH值整体呈下降趋势,各处理土壤pH变化范围为8.10~8.38。其中使



1

1. 不同沼渣堆肥用量对土壤理化性质的影响

用70%沼渣堆肥后土壤pH值降至最低8.10，与CK相比该处理下土壤pH下降了7.11%。沼渣经好氧发酵堆肥后，产生了腐殖酸、新的有机酸等酸性物质^[15]，可能导致沼渣堆肥与土壤混合后土壤pH降低。除混合20%沼渣堆肥处理外，混合其他用量沼渣堆肥后土壤发芽指数出现不同程度下降，其中70%沼渣堆肥处理发芽指数最低（34.44%），与CK相比该处理下发芽指数下降了60.17%。土壤EC值、有机质、水解性氮、有效磷、速效钾等指标随沼渣堆肥混合用量的升高大幅增加，80%沼渣堆肥处理中土壤养分含量最高，其有机质、水解性氮、有效磷和有效钾含量分别达到204.55 g/kg、1 195.66 mg/kg、633.08 mg/kg和1 891.92 mg/kg，与CK处理相比分别增加了560.69%、1 565.96%、449.55%和1 297.80%。试验结果表明，使用沼渣堆肥能够明显提升土壤养分含量，降低土壤pH，除电导率外其他土壤理化性质得到明显改善。《绿化种植土壤》（中华人民共和国城镇建设行业标准CJ/T340-2016）^[16]对一般植物种植土壤pH要求为5.0 ~ 8.3，EC要求为0.15 ~ 0.9，有机质含量20 ~ 80 g/kg，水解氮含量40 ~ 200 mg/kg，有效磷含量5 ~ 60 mg/kg，有效钾含量60 ~ 300 mg/kg。因此，土壤中混合沼渣堆肥用量低于20%时各理化指标符合园林种植土壤基本要求。

2.2 沼渣堆肥对白玉兰生长影响研究

白玉兰株高增长率、叶绿素含量等生长指标如表1所示。

沼渣堆肥用量20%处理白玉兰植株株高增长率、叶绿素含量、叶面积、叶片鲜重、叶片干重等指标升高幅度最大，株高增长率达11.36%，与对照组相比分别增加了22.24%、45.17%、69.65%和61.70%。试验结果表明20%沼渣堆肥处理的白玉兰较其他处理生长良好，20%沼渣堆肥处理白玉兰各项生长、生理指标优于其他处理。但生长监测过程中发现，所有试验组白玉兰均出现一定的焦叶现象，随着沼渣堆肥使用量的增加，焦叶率呈升高趋势。焦叶现象一般从叶尖开始发生，直至叶片全部。焦叶现象作为一种生理性病害，表明其受到某种生理性胁迫所致，可能与沼渣堆肥较高的EC值和肥效有关。焦叶现象随着处理堆肥用量的增加呈现递增的趋势，因此综合所有生长监测指标，沼渣堆肥施用白玉兰苗的最适用量为10%以下。

不同沼渣堆肥用量对白玉兰植株生长的影响及焦叶情况表明，沼渣堆肥用量低于20%时白玉兰生长状态良好，30%沼渣堆肥用量处理白玉兰植株出现叶片枯黄掉落现象，50%以上沼渣堆肥用量处理中白玉兰长势较差，存在植株死亡现象。试验结果表明，低于20%的沼渣堆肥用量能够促进白玉兰的生长，30% ~ 80%沼渣堆肥用量不利于白玉兰生长。

2.3 沼渣堆肥对紫薇生长影响研究

表2为不同沼渣堆肥用量对紫薇植株生长的影响。与对照组相比，10%沼渣堆肥用量处理中紫薇植株新枝长度、新枝直

表1 不同沼渣堆肥用量处理白玉兰生长指标统计

处理	株高增长率/%	叶绿素相对含量/SPAD值	叶面积/mm ²	叶片鲜重/g	叶片干重/g	存活率/%	焦叶率/%
CK	10.32a	29.40±7.11a	3097.03±518.25a	1.45±0.18a	0.47±0.04a	100a	1.52a
10%	7.55b	35.73±4.06b	3489.00±694.06b	1.67±0.30a	0.44±0.08a	100a	2.28a
20%	11.36a	35.94±2.66b	4496.05±452.74c	2.46±0.81b	0.76±0.24b	100a	3.03a
30%	3.62c	33.90±6.00b	3132.76±648.16a	1.72±0.29a	0.46±0.08a	100a	27.79b
50%	-	-	-	-	-	16b	68.29c
60%	-	-	-	-	-	33b	35.10b
70%	-	-	-	-	-	16b	36.00b
80%	-	-	-	-	-	0c	72.77c

注：“-”表示植株出现死亡，不进行指标监测。

表2 不同沼渣堆肥用量处理紫薇生长指标统计

处理	新枝长度/cm	新枝直径/mm	叶绿素含量/SPAD值	叶面积/mm ²	叶片鲜重/g	叶片干重/g	存活率/%
CK	4.77±0.77a	1.42±0.20a	48.53±3.04a	371.19±33.09a	0.34±0.04a	0.12±0.01a	100a
10%	9.68±1.56b	2.01±0.46a	52.99±5.51b	766.62±110.64c	0.77±0.15b	0.23±0.05b	100a
20%	6.25±1.57a	1.68±0.39a	45.82±1.85a	532.97±127.34b	0.36±0.04a	0.10±0.01a	66b
30%	6.53±1.56a	1.43±0.34a	45.94±9.54a	539.86±165.13b	0.46±0.08a	0.12±0.03a	83b
50%	-	-	-	-	-	-	0c
60%	-	-	-	-	-	-	0c
70%	-	-	-	-	-	-	0c
80%	-	-	-	-	-	-	0c

注：“-”表示植株出现死亡，不进行指标监测。

径、叶绿素含量、叶面积、叶片鲜重、叶片干重等指标均明显升高，分别达到102.93%、41.54%、9.19%、106.53%、126.47%和91.66%，增加幅度高于其他处理。试验结果表明，增加沼渣堆肥10%处理有利于紫薇生长，各项生长、生理指标优于其他处理，且在生长过程中没有出现叶片焦黄现象，沼渣堆肥施用紫薇苗的最适用量为10%。

应用不同数量沼渣堆肥后，紫薇植株的生长情况与对照组相比，10%沼渣堆肥用量处理紫薇生长情况较好，沼渣堆肥用量达到20%紫薇植株出现死亡现象，应用沼渣堆肥达到50%后紫薇植株几乎全部枯萎死亡。试验结果表明，10%沼渣堆肥用量能够促进紫薇植株生长，用量超过20%后对紫薇植株生长有毒害效果。

2.4 沼渣堆肥对硫华草生长影响研究

应用不同数量沼渣堆肥后硫华草生理指标如表3所示。使

用沼渣堆肥超过30%后对硫华草株高抑制作用明显，沼渣堆肥用量为70%对株高的抑制作用最强。与对照组相比，沼渣堆肥对硫华草蓬径无促进作用，用量达到30%时硫华草植株出现死亡现象。与乔木白玉兰和紫薇相比，沼渣堆肥用量在

表3 不同沼渣堆肥用量处理硫华草生长指标

处理	株高/cm	蓬径/cm	存活率/%
CK	18.88 ± 3.87a	13.25 ± 2.12a	100.0a
10%	19.13 ± 4.16a	13.06 ± 3.83a	100.0a
20%	20.56 ± 4.53a	12.50 ± 4.52a	100.0a
30%	18.07 ± 2.92a	11.06 ± 4.99a	87.5b
50%	10.13 ± 8.56b	6.81 ± 6.70b	62.5c
60%	12.25 ± 8.47b	6.69 ± 5.80b	62.5c
70%	5.00 ± 9.31c	3.63 ± 6.71c	25.0d
80%	15.50 ± 8.36a	9.31 ± 6.25b	75.0c

30% ~ 80%范围内硫华草未出现全部死亡现象，存活率平均达到56.25%，说明草本植物硫华草对沼渣堆肥的耐受性高于乔木白玉兰和紫薇。

3 结论与讨论

本研究发现，在土壤中应用沼渣堆肥能够明显提升土壤养分含量，降低土壤pH，土壤理化性质得到明显改善。沼渣堆肥在白玉兰、紫薇和硫华草三种园林观赏植物上的应用效果表明，适量沼渣堆肥对三种观赏植物的生长均具有显著的促进作用，是一种较为安全、有效的肥料，可以作为城市绿地土壤养分提升的重要来源。与葛震^[17]的研究结果相似，施用堆肥产品能够有效促进植株生长。试验结果还表明，应用较高用量的沼渣堆肥通常会対植物生长产生一定的毒害作用，甚至导致植株死亡。虽然沼渣的应用使土壤有机质、碱解氮、速效磷和有效钾等养分含量显著提高，但沼渣堆肥源头含盐量较高，向土壤中混合沼渣堆肥可能导致土壤电导率大幅度上升，进而抑制植物生长。《绿化种植土壤》（中华人民共和国城镇建设行业标准CJ/T340-2016）^[16]中要求一般园林绿化土EC值范围在0.15 ~ 0.9 mS/cm之间^[18]，有研究表明当土壤EC值超过1 mS/cm时植被会发生盐害^[19]。本研究发现沼渣堆肥用量在20%以内时，其EC值低于0.9 mS/cm，符合绿化植被生长适宜范围，不会对植被产生盐分毒害作用。沼渣堆肥中同时含有部分有机酸、氨等物质，导致过量施用沼渣堆肥会抑制植被生长^[9]。此外，沼渣堆肥源头可能有较高含量的脂肪酸和甘油三酸脂等油脂成分，过量使用沼渣堆肥导致的土壤油脂含量过高也会限制植物生长。本研究选取的供试植物为乔木白玉兰、灌木紫薇以及草本硫华草，适量沼渣堆肥对植物有着明显的促进生长的作用，施用量范围建议在0 ~ 10%范围内。在实际应用中，可根据植物特性对沼渣堆肥用量进行调整控制，使其最大限度发挥植物促生和土壤改良作用。LA

参考文献

- [1] 詹咏, 黄嘉良, 罗伟, 等. 上海市试点小区源头减量前后垃圾处理处置全链条碳足迹分析[J]. 环境工程学报, 2020, 014(004): 1075-1083.
- [2] 蒋建国, 耿树标, 罗维, 等. 2020年中国垃圾分类背景下厨余垃圾处理热点回眸[J]. 科技导报, 2021, 29(01): 261-276.
- [3] 张浪. (厨余垃圾)资源化利用[J]. 园林, 2020(06): 1.
- [4] 常志州, 马艳, 黄红英, 等. 辅以拮抗菌的有机肥对辣椒疫病生防效果的研究[J]. 土壤肥料, 2005(2): 28-30.
- [5] 张思洋. 沼渣混合堆肥及其生物有机肥对番茄青枯病防控效应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [6] 何婷婷, 华珞, 徐振剑, 等. 城市生活垃圾堆肥及其复合肥对农田CO₂、CH₄排放影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2008(003): 1153-1158.
- [7] 马琨, 王兆骞, 杜茜, 等. 城市生活垃圾堆肥对春小麦生长和土壤的影响[J]. 农业环境保护, 2000, 19(005): 312-314.
- [8] 张青青, 伍海兵, 李跃忠, 等. 堆肥对园林绿化植物生长的影响[J]. 上海农业学报, 2020, 36(06): 49-55.
- [9] 赵龙彬. 沼渣堆肥参数优化及堆肥利用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [10] 李刚, 卢明, 吴春强, 等. 上海沼渣特性及资源化利用探索[J]. 园林, 2020, 4(06): 25-29.
- [11] 毕峰, 李相儒, 韩泽东, 等. 我国农村易腐垃圾机器成肥质量评价——以杭州市为例[J]. 农业环境科学学报, 2018, 273(05): 182-188.
- [12] 国家林业局. 森林土壤分析方法: LY/T 1210-1275-1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [13] SUN Z Y, ZHANG J, ZHONG X Z, et al. Production of Nitrate-rich Compost from the Solid Fraction of Dairy Manure by a Lab-scale Composting System[J]. Waste Management, 2016, 51: 55-64.
- [14] 盖志佳, 张敬涛, 刘婧琦, 等. 低温胁迫对大豆幼苗形态生理指标及籽粒产量的影响[J]. 农学报, 2019, 9(12): 1-4.
- [15] RONALDO B S, KAZUNORI I, FUMIHITO M, et al. Characterization of Dairy Cattle Manure/Wallboard Paper Compost Mixture[J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 7285-7290.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 绿化种植土壤: CJ/T340-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] 葛振. 城市垃圾厌氧发酵沼渣堆肥及其利用研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2014.
- [18] 罗珈柠, 郑思俊, 王妍婷, 等. 原料对餐厨垃圾堆肥的影响及其绿地应用适宜性分析[J]. 环境工程学报, 2014, 8(11): 4977-4983.
- [19] 卢瑛, 甘海华, 史正军, 等. 深圳城市绿地土壤肥力质量评价及管理对策[J]. 水土保持学报, 2005(01): 153-156.