

餐厨废弃物与生活污泥协同厌氧消化后沼渣的资源化利用途径探索

张有仓, 刘东, 陈恒宝, 许立群, 杨易 (镇江市水业总公司, 江苏镇江 212001)

摘要 目的 探究生物炭土资源化利用途径, 解决其消纳的问题。方法 以镇江市生活污泥与餐厨废弃物协同厌氧消化后的生物炭土为研究对象, 研究生物炭土用于苗木栽培基质、花卉栽培基质、屋顶绿化栽培基质的最佳比例。结果 生物炭土用于苗木栽培基质的最佳比例为 40%~50%, 用于室外盆栽花卉基质的最佳比例为 50%, 用于室内盆栽花卉基质的最佳比例为 10%。园林绿化废弃物的堆肥产品与蛭石、珍珠岩按照 2:1:0.5 混配后的基质可以满足屋顶绿化的要求。结论 餐厨废弃物与生活污泥协同厌氧消化后沼渣——生物炭土可作为苗木栽培、花卉栽培、屋顶绿化栽培的基质。
关键词 生物炭土; 资源化; 基质
中图分类号 S210.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)01-0067-04

Exploration of Recycling Application of Biogas Slurry (biogas) after the Coprocessing Anaerobic Digestion of Kitchen Waste and Sewage Sludge
ZHANG You-cang, LIU Dong, CHEN Heng-bao et al (Zhenjiang Water Industry Company, Zhenjiang, Jiangsu 212001)
Abstract [Objective] To study the utilization of biochar resources and solved its problems. [Method] Taking the biochar after the coprocessing anaerobic digestion of kitchen waste and sewage sludge of Zhenjiang city to be the subject of research, the optimum proportion of biochar for seedling cultivation substrate, flower cultivation substrate and roof greening substrate were studied. [Result] The results showed that the optimum biochar compost application ratios were 40%~50% when it as cultivated substrate of nursery stock, and it was obtained at 50% or 10% biochar compost ratio for cultivated flowers substrate of outdoor or indoor. In addition, the substrate of the biochar and garden waste compost were mixed vermiculite and perlite in accordance with the ratio of 2:1:0.5 can be covered with the requirements of green roof plants. [Conclusion] Kitchen waste and sewage sludge anaerobic digestion biogas—synergistic biological carbon soil can be used as matrix seedling planting, flower cultivation and green root cultivation.
Key words Biochar; Resource recovery; Substrates

DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2018.01.020

随着沼气工程的迅猛发展,生物炭土和沼液产生量日益增大,其资源化利用已成为制约厌氧消化推广应用的瓶颈^[1]。生物炭土的园林利用既可以促进植物的生长,又可以避开有害物质进入食物链循环,因而是目前最主要的土地利用形式^[2]。目前,由于生物炭土产品加工成本较高、溢价能力有限,我国生物炭土园林利用仍面临出路不畅的问题,很多城市仍未找到合适的污泥处置途径^[3-4],生物炭土的处理仍以焚烧和填埋为主。

镇江市餐厨废弃物与生活污泥协同处理项目采用“餐厨源头预处理+污泥热水解+餐厨与污泥高含固厌氧消化+沼气提纯+沼渣深度脱水干化”工艺^[5],其中沼渣经过“螺旋挤压+竖式板框压滤”后含水率达到 55%~60%。为了进一

步提高沼渣的脱水率,采用“太阳能干化工艺”,在翻抛机运输沼渣的过程中,以太阳能和地暖为热源,对沼渣进行不断的混合、破碎、干化和稳定,干化场末端沼渣——生物炭土含水率达到 40%~50%。该项目产生生物炭土约 41 t/d(含水率 40%),而其资源化利用成为亟待解决的关键问题。笔者从生物炭土的消纳及其附加值的提高两个方面研究了生物炭土资源化利用的途径。

1 材料与方法

1.1 供试材料 试验地点位于镇江市水业总公司厂区试验基地,试验土壤取自厂区绿化区域的黄土,生物炭土取自干化场末端。其基本性质见表 1。

表 1 黄土与生物炭土的基本性质
Table 1 The basic character of loess and biochar soil

养分含量//Nutrient content//%								
项目 Item	pH	EC μS/cm	氮 Nitrogen	全磷 Total phosphorus (P ₂ O ₅)	全钾 Total potassium (K ₂ O)	有机质含量 Organic matter content//%		
黄土 Loess	7.07	0.06	1.59	0.03	0.79	2.32		
生物炭土 Biochar soil	7.51	1.52	4.11	1.55	1.91	41.70		
项目 Item	重金属含量 Heavy metal content//mg/kg							
	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Hg
黄土 Loess	28	91.6	24.8	36	70	0.22	11.80	0.22
生物炭土 Biochar soil	316	300.0	51.2	34	69	0.11	8.52	0.97

苗木栽培采用底盘之间 60 cm、围边高度 60 cm 的透气

性控根容器,每盆装基质 120 kg。控根容器底盘为筛状结构,侧壁为凸凹相间的形状,外侧顶端有小孔,这种结构的设计既有利于主根的缠绕,又有助于对侧根进行“空气修剪”。苗木的品种选取为桂花、枇杷,枇杷选取树径约 3 cm 左右,

作者简介 张有仓(1977—),男,陕西西安人,高级工程师,从事污水处理运营管理和科技研究。
收稿日期 2017-10-28

人工修剪成相同的形状;选取高度、冠径大体相近的桂花作为研究对象。

盆栽容器采用直径 25 cm、高 18 cm 的塑料盆,每盆装基质 3 kg。花卉的品种选取广东万年青、吊兰及三色堇。

1.2 试验方法

1.2.1 生物炭土用于苗木栽培基质。苗木栽培试验在室外绿化区域进行。共设 6 个处理,生物炭土与黄土经过 10 mm 筛网过滤后按照不同重量比(0、20%、30%、40%、50%、70%、100%)配成 6 种栽培基质,并设计空白对照(CK)。每处理 10 次重复。

1.2.2 生物炭土用于花卉栽培基质。花卉盆栽试验在温室中进行,温度为 20~25℃,相对湿度为 45%~50%。共设 8 个处理,生物炭土与黄土粉碎经过 3 mm 筛网过滤后按照不同重量比(0、10%、20%、40%、50%、60%、80%和 100%)配成 8 种栽培基质,并设计空白对照(CK)。每处理 5 次重复。

1.2.3 生物炭土用于屋顶绿化栽培基质。生物炭土与园林绿化废弃物按照 6:4(干重)进行好氧堆肥,堆肥后的产物粉碎后过 3 mm 筛网过滤,并与蛭石、珍珠岩按照 2:1:0.5 进行混配。设计 2 种市场销售屋顶绿化栽培基质 NPK₁、NPK₂ 对照进行佛甲草育苗试验。

佛甲草的育苗试验在室外露天环境下进行。将基质平铺在育苗盘中,基质平铺厚度为 5 cm,每种基质试验面积 1 m²,将佛甲草剪成 5 cm 的长度后垂直种植于基质中,栽培结束后统计佛甲草的鲜重、叶长、叶宽、株高、分枝数等指标,考察不同基质中佛甲草的生长情况。

1.3 测定项目与方法 pH 采用电位法测定;有机质、总氮、总磷、全钾分别采用重铬酸钾氧化-外加加热法、紫外分光光度法、碱熔-钼锑抗比色法、电感耦合等离子体发射光谱法测定;Cd、Pb 含量采用石墨炉原子吸收分光光度法测定;Hg 含量采用原子荧光法测定;Cr、As、Cu、Zn、Ni 含量采用电感耦合等离子体原子发射光谱法测定;电导率采用电导法测定^[4]。

基质容重、持水量采用环刀法测定;比重采用比重瓶排水法测定^[4]。

$$\text{基质的总孔隙度}(\%) = (1 - \text{容重} / \text{比重}) \times 100$$

$$\text{基质的持水空隙度}(\%) = \text{持水量} \times \text{容重} \times 100$$

$$\text{基质的通气孔隙度} = \text{总孔隙度} - \text{持水孔隙度}$$

1.4 数据统计 采用 SPSS 22 对苗木、花卉及佛甲草的生长指标的差异性进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 生物炭土用于苗木栽培基质

2.1.1 不同基质比例对桂花生长的影响。由表 2 可知,添加 20%~100% 的生物炭土后,桂花高度、冠幅的增加量均高于 CK。可见,生物炭土可有效促进苗木的生长,缩短苗木的生长周期。生物炭土添加比例为 40% (炭土:黄土=1:1.5) 时,高度、冠幅的增加量最大,最有利于桂花的生长,添加比例 50% 次之。随着生物炭土比例的增大,高度、冠幅的增加量反而减少,可能是由于生物炭土中 Cu、Zn 含量较高,抑制了桂花的生长。

表 2 不同生物炭土比例对桂花生长的影响

Table 2 Effect of different proportion of biochar on growth of *Osmanthus fragrans*

比例 Proportion//%	增加高度 Increase height//cm	增加冠幅 Increase crown//cm
0(CK)	11.75 b	8.26 b
20	20.30 ab	15.34 b
30	23.38 ab	23.00 a
40	32.14 a	29.75 a
50	28.13 a	23.88 a
70	25.75 ab	18.75 ab
100	14.62 b	12.50 b

注:同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column indicates significant differences 0.05 levels among different treatments

2.1.2 不同基质比例对枇杷生长的影响。由表 3 可知,生物炭土比例为 40%、50% (生物炭土:黄土=1:0.5、1:1) 时,枇杷苗木的高度、叶片数、冠幅、地径增加量均高于其他比例。该试验采用控根容器和生物炭土,可以有效控制主根的生长,使侧根布满容器周围,为植株的生长提供良好条件,缩短苗木的生长周期,且有利于苗木的移栽。

表 3 不同基质比例对枇杷生长的影响

Table 3 Effect of different proportion of biochar on growth of *Eriobotrya japonica*

比例 Proportion %	苗木高度 Seedling height//cm	叶片数 Leaf number 个	增加分枝数 Increased branch number//个	冠幅 Crown width//cm	地径增加量 Increment of ground diameter//cm
0(CK)	216.58 c	314.62 d	18.64 c	128.64 c	0.28 d
20	248.63 ab	606.10 b	27.88 ab	171.50 ab	0.56 b
30	241.75 b	569.75 b	26.50 ab	163.25 b	0.79 a
40	256.78 a	686.99 a	28.25 a	185.63 a	0.81 a
50	248.25 ab	672.87 a	28.25 a	180.50 a	0.73 ab
70	247.50 ab	404.95 cd	23.14 b	175.00 ab	0.52 c
100	233.14 b	480.25 c	23.38 b	141.75 c	0.47 b

注:同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column indicates significant differences at 0.05 levels among different treatments

2.2 生物炭土用于花卉栽培基质

2.2.1 不同基质比例对三色堇生长的影响。由表 4 可知,添加生物炭土可有效促进三色堇的生长,延长花期。在生物炭土比例为 10%~50% 时,随着生物炭土比例的增高,三色

堇植株的高度、花朵数、鲜重均呈增加趋势;在生物炭土比例为 50% 时,三色堇的植株高度、花朵数均达到最大值;生物炭土比例为 100% 时,三色堇的花期最长。研究表明,过高的重金属含量可以降低植物叶片中叶绿素的含量,破坏类囊体结

构,从而抑制光合作用,诱导羟基自由基等活性氧物质,引发脂质和蛋白质过氧化作用,干扰植物的生长^[8-9]。而 50% 的生物炭土能满足三色堇养分需求。

表 4 不同基质比例对三色堇生长的影响

Table 4 Effect of different proportion of biochar on growth of *Viola tricolor*

比例 Proportion//%	增加高度 Increased height//cm	花期 Florescence//d	花朵数 Flower number//个	鲜重 Fresh weight//g
0(CK)	0.84 d	94 c	6 d	26.82 d
10	2.08 c	142 b	65 c	59.75 cd
20	3.05 bc	154 b	71 b	74.36 c
40	3.47 b	165 ab	90 ab	106.47 a
50	4.26 a	176 a	113 a	118.25 a
60	3.26 b	147 b	85 b	82.62 b
80	2.24 c	172 ab	67 c	81.82 b
100	2.85 bc	184 a	56 c	97.54 ab

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著
Note: Different lowercase letters in the same column indicates significant differences at 0.05 levels among different treatments

2.2.2 不同基质比例对吊兰与广东万年青生长的影响。由表 5、6 可知,添加一定比例的生物炭土可促进吊兰、广东万年青的生长,当生物炭土的添加比例 10% 时,最大叶长、增加分枝数、鲜重增加量均高于其他比例,有利于吊兰和广东万年青的生长;生物炭土添加比例超过 10% 后对吊兰和万年青出现一定抑制作用。刘强等^[10]用污泥堆肥研究了高羊茅和万寿菊的生长情况,结果表明,污泥使用比例为 0~10% 和 0~5% 时最有利于其生长,超过该比例后对其生长产生抑制作用,这与该研究结果基本一致。

表 5 不同基质比例对吊兰生长的影响

Table 5 Effect of different proportion of biochar on growth of *Chlorophytum comosum*

比例 Proportion//%	最大叶长 Maximum leaf length//cm	最大叶宽 Maximum leaf width//cm	增加分枝数 Increased branch number//个	鲜重 Fresh weight//g
0(CK)	28.76 bc	1.72 ab	8 b	44.75 bc
10	35.82 a	1.74 ab	21 a	78.48 a
20	33.46 a	1.85 a	12 b	71.56 a
40	30.65 b	1.72 ab	8 b	50.14 b
50	29.71 b	1.68 b	6 b	56.72 b
60	30.48 b	1.75 ab	8 b	43.26 bc
80	28.53 bc	1.68 b	5 c	35.73 c
100	26.85 c	1.72 b	1 c	34.35 c

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著
Note: Different lowercase letters in the same column indicates significant differences at 0.05 levels among different treatments

表 6 不同基质比例对广东万年青生长的影响

Table 6 Effect of different proportion of biochar on growth of *Aglaonema modestum*

比例 Proportion//%	高度增加量 Height increment//cm	最大叶长 Maximum leaf length//cm	最大叶宽 Maximum leaf width//cm	鲜重 Fresh weight//g
0(CK)	1.92 c	12.53 b	8.42 b	87.13 c
10	3.50 a	14.16 a	9.10 a	132.36 a
20	2.45 b	13.25 a	9.05 a	120.25 a
40	2.20 b	12.66 b	9.14 a	96.82 b
50	2.28 b	11.90 b	8.76 b	104.99 b
60	2.06 bc	12.40 b	9.03 a	89.52 c
80	1.80 c	11.17 bc	7.98 b	74.94 d
100	1.34 c	9.02 c	5.47 c	43.68 e

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著
Note: Different lowercase letters in the same column indicates significant differences at 0.05 levels among different treatment

2.3 生物炭土用于屋顶绿化栽培基质 该研究表明,高干脱水后的生物炭土含水率达到 40%~50%,种子发芽指数达到 88.5%,其他指标均符合《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》(GB/T 23486—2009) 的标准,可以直接作为园林苗木和室内盆栽花卉的基质。但生物炭土中有机质含量仅为 31.1%~36.8%,低于《有机肥料》(NY525—2012) 的要求,且在密封的环境中存在微臭的现象。而园林绿化废弃物中含有丰富的有机物,C/N 较高,与生物炭土进行好氧堆肥既可以解决生物炭土有机质含量低、存在微臭的问题,又可以将园林绿化废弃物资源化利用。

堆肥产品与蛭石、珍珠岩按照 2:1:0.5 进行混配后的屋顶绿化基质的基本理化性质见表 7。由表 7 可知,基质的容重、总孔隙度、持水孔隙度均与市场销售的屋顶绿化营养基质相差不大,满足屋顶绿化营养土质轻、透水、疏松透气的要

求。有机质、总氮、总磷的含量高于 NPK₁、NPK₂,为后期佛甲草的生长提供充足的营养。

由表 8 可知,栽培基质中佛甲草的分枝数、枝长、叶长和鲜重均高于 NPK₁、NPK₂,说明栽培基质可以满足佛甲草的生长。

表 7 不同基质的理化指标

Table 7 Main physical properties of different substrate

处理 Treatments	pH	容重 Bulk density g/mL	总孔隙度 Total porosity // %	持水孔隙度 Water holding pore // %	通气孔隙度 Ventilation pore // %	有机质含量 Organic matter content // %	总氮含量 Total nitrogen content // %	总磷含量 Total phosphorus content // %
栽培基质 Culture substrate	6.97	0.30	65.02	34.36	30.66	45.99	3.20	0.80
NPK ₁	6.82	0.28	61.28	31.85	29.43	42.35	2.10	0.40
NPK ₂	6.56	0.34	60.03	27.29	32.74	36.07	2.20	0.30

表 8 不同基质中佛甲草的生长情况

Table 8 Effect of different substrate on growth of sedum lineare

处理 Treatments	分枝数 Branch number // 个	枝长 Branch length // mm	单分枝叶数 Single branch leaf number // 个	叶长 Leaf length mm	叶宽 Leaf width mm	鲜重 Fresh weight // g
栽培基质 Culture substrate	1.62 a	55.42 a	17.25 a	16.38 a	4.70 c	34.69 a
NPK ₁	1.43 b	42.76 b	13.08 b	12.94 b	4.23 b	27.92 c
NPK ₂	1.48 b	46.85 c	10.56 c	12.75 b	5.38 a	29.56 b

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column indicates significant differences in 0.05 levels between different treatments

3 结论

(1) 该研究结果表明,采用透气性控根容器与生物炭土配比的基质可有效促进桂花、枇杷的生长,缩短其生长周期。当生物炭土比例为 40% ~ 50% 时,桂花、枇杷的各项生长指标最优,最有利于其生长。

(2) 生物炭土对于花卉生长有促进作用。对于三色堇等室外盆栽花卉,生物炭土的最佳添加比例为 50%; 对于广东万年青、吊兰等室内盆栽花卉,生物炭土的最佳添加比例为 10%。

(3) 园林绿化废弃物堆肥产品与蛭石、珍珠岩按照 2:1:0.5 的比例进行混配后形成的基质可以有效促进佛甲草的生长,能替代市场销售的屋顶绿化营养土基质。

参考文献

葛振,魏源送,刘建伟,等. 沼渣特性及其资源化利用探究 [J]. 中国沼

气,2014,32(3):74-82.

王新,周启新,陈涛,等. 污泥土地利用对草坪草及土壤的影响 [J]. 环境科学,2003,24(2):50-53.

刘洪涛,张悦. 国情背景下我国城镇污水处理厂污泥土地利用的瓶颈 [J]. 中国给水排水,2013,29(20):2-4.

陈祥,徐福银,包兵,等. 污泥处理产物和产品园林利用的分析 [J]. 积水排水,2017,43(6):41-44.

黄宏伟,许峰. 镇江市试点餐厨垃圾和污泥协同处理 [J]. 环境卫生工程,2015,23(1):7-12.

青岛市城市排水监测站. 城市污水处理厂污泥检测方法: CJ/T 221—2005 [S]. 北京: 中国标准出版社,2006.

丛晓峰,刘立成,王宇超,等. 不同干扰对城市绿化用地土壤物理性质的影响 [J]. 中国农学通报,2015,31(28):166-172.

MAKSYMIEC W. Effects of copper on cellular processes in higher plants [J]. Photosynthetica,1997,34(3):321-343.

赵广琦,沈烈英,王智勇,等. 城市污泥堆肥对 12 种花灌木生长的影响 [J]. 西北林学院学报,2011,26(5):87-90.

刘强,陈玲,邱家洲,等. 泥堆肥对园林植物生长及重金属积累的影响 [J]. 同济大学学报(自然科学版),2009,38(6):870-875.

mass and bioenergy,2015,73:186-194.

ARA ÚJO S,BOAS M A V,NEIVA D M,et al. Effect of a mild torrefaction for production of eucalypt wood briquettes under different compression pressures [J]. Biomass and bioenergy,2016,90:181-186.

ARA ÚJO S,BOAS M A V,NEIVA D M,et al. Effect of a mild torrefaction for production of eucalypt wood briquettes under different compression pressures [J]. Biomass and bioenergy,2016,90:181-186.

梁广元,张芊,孙毅,等. 毛竹焙烧炭成型工艺优化及其燃烧特性研究 [J]. 林业工程学报,2016,1(6):75-81.

CHEN W H,PENG J H,BI X T. A state-of-the-art review of biomass torrefaction,densification and applications [J]. Renewable and sustainable energy reviews,2015,44:847-866.

ADAMS P W R,SHIRLEY J E J,MCMANUS M C. Comparative cradle-to-gate life cycle assessment of wood pellet production with torrefaction [J]. Applied energy,2015,138:367-380.

(上接第 36 页)

ADAPA P K,TABIL L G,SCHOENAU G J. Compression characteristics of non-treated and steam exploded barley,canola,oat and wheat straw grinds [J]. ASABE journal of applied engineering in agriculture,2010,26(4):1-16.

ADAPA P,TABIL L,SCHOENAU G,et al. Pelleting characteristics of selected biomass with and without steam explosion pretreatment [J]. International journal of agricultural and biological engineering,2010,3(3):62-79.

CHEN W H,KUO P C. Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose,cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass [J]. Energy,2011,36(2):803-811.

ARTEAGA-PÉREZ L E,GRANDÓN H,FLORES M,et al. Steam torrefaction of Eucalyptus globulus for producing black pellets: A pilot-scale experience [J]. Bioresource technology,2017,238:194-204.

BENAVENTE V,FULLANA A. Torrefaction of olive mill waste [J]. Bio-