

香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥的效果

杨海君¹, 金红玉¹, 肖为², 肖路², 刘亚宾¹, 谭菊³

(1. 湖南农业大学 植物保护学院, 湖南 长沙 410128;

2. 湖南锦佳环保科技有限公司, 湖南 长沙 410129; 3. 长沙市环境监测中心站, 湖南 长沙 410001)

摘要: [目的] 实现两种城市固体废弃物盾构脱水泥和香樟树枝堆肥产物同时最大化处置与利用, 从而推进园林绿化废弃物与城市盾构污泥资源化产品的应用。[方法] 以盾构脱水泥与香樟树枝堆肥产物分别按照 25 : 1, 30 : 1, 20 : 1, 25 : 1 比例(质量比)调配一级、二级草坪种植土与一级、二级花坛种植土, 考察 4 种比例下共堆肥过程中阴离子表面活性剂 AES 的降解特征以及堆肥发酵产物的主要元素含量与盆栽试验。[结果] 盾构脱水泥与香樟树枝堆肥产物分别以 25 : 1, 30 : 1, 20 : 1, 25 : 1 比例堆肥 20 d 的产物均满足《绿化种植土壤 CJ/T340-2016》一级、二级草坪种植土与一级、二级花坛种植土要求。共堆肥明显促进了盾构脱水泥中主要污染物 AES 的降解, 堆肥 20 d 后产物中 AES 表面活性剂含量均下降了 75.24% 以上。盆栽试验结果发现, 堆肥终产物一级草坪土与二级草坪土种植马尼拉种子的发芽率分别为 92% 与 86%; 一级花坛土中移栽杜鹃与二级花坛土中移栽满天星的成活率均为 100%。[结论] 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥混合共堆肥, 不仅有利于盾构脱水泥的环保处置, 堆肥后可进行二次利用, 而且促进了盾构泥中 AES 的降解, 降低了盾构脱水泥中 AES 对环境的危害。

关键词: 香樟树枝; 盾构脱水泥; 堆肥; 土壤元素含量; 盆栽试验

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)02-0188-05

中图分类号: S141.4, X713

文献参数: 杨海君, 金红玉, 肖为, 等. 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥的效果[J]. 水土保持通报, 2020, 40(2): 188-192. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.02.027; Yang Haijun, Jin Hongyu, Xiao Wei, et al. Efficiency of Co-compost of *Cinnamomum camphora* branch compost and shield decement [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(2): 188-192.

Efficiency of Co-compost of *Cinnamomum Camphora* Branch Compost and Shield Decement

Yang Haijun¹, Jin Hongyu¹, Xiao Wei², Xiao Lu², Liu Yabin¹, Tan Ju³

(1. College of Plant Protection, Hu'nan Agricultural University, Changsha, Hu'nan

410128, China; 2. Hu'nan Jinjia Environmental Protection Technology Co., Ltd, Changsha,

Hu'nan 410129, China; 3. Changsha Environmental Monitoring Center Station, Changsha, Hu'nan 410001, China)

Abstract: [Objective] Two kinds of municipal solid waste, shield decement and *Cinnamomum camphora* branch, were disposed and utilized to the maximum at the same time, in order to promote the application of landscaping waste and urban shield sludge recycling products. [Methods] The products of shield decement and *Cinnamomum camphora* branch compost were treated with a proportion of 25 : 1, 30 : 1, 20 : 1, 25 : 1, respectively. Proportion (quality ratio) was used to prepare grade 1 and grade 2 lawn planting soil and grade 1 and grade 2 flower bed planting soil. The degradation characteristics of AES during composting and the nutrient element content of composting fermentation products and pot experiments were then investigated. [Results] The compost products of decement and composting of *Cinnamomum camphora* branches with the ratios of 25 : 1, 30 : 1, 20 : 1 and 25 : 1 (mass ratio) for 20 d met the requirements of grade I and II lawn planting soil and grade I and II flower bed planting soil in "green planting soil CJ/T340-2016". Co-composting

收稿日期: 2019-09-24

修回日期: 2019-12-06

资助项目: 湖南省自然科学基金项目“加拿大一枝黄花入侵机制及其防控研究”(2018JJ5015); 长沙市雨花区科学技术局(雨财发[2018]50号)

第一作者: 杨海君(1974—), 男(汉族), 湖南省长沙市人, 博士, 教授, 主要从事环境污染与治理研究。Email: 1227677453@qq.com。

通讯作者: 谭菊(1983—), 女(汉族), 湖南省岳阳市人, 硕士, 工程师, 主要从事环境监测研究。Email: 12374811@qq.com。

significantly promoted the degradation of AES, which was the main pollutant in shield decement, and the content of AES surfactant in the products after 20 days of compost decreased by more than 75.24%. The results of pot experiment showed that the germination rate of Manila seeds planted in primary and secondary turf soil was 92% and 86%, respectively. The survival rate of transplanted azalea in first-grade and second-grade flower bed soil was 100%. [Conclusion] The composting product of *Cinnamomum camphora* branch mixed with shield demulsification is not only beneficial to the environment friendly disposal of shield demulsification, but also can be reused after composting, promotes the degradation of AES in shield demulsification mud, and reduces the harm of AES in shield demulsification to the environment.

Keywords: *Cinnamomum camphora* branch; shield decement; compost; element contents; pot experiment

城市轨道交通建设过程中产生的大量盾构渣土以往采取矿洞填埋与消纳场堆积处理。但渣土中含有盾构施工过程中加入的大量 AES 化学药剂^[1-6],如果采取简单填埋与堆积处置往往会污染周边水体与土壤,产生安全隐患^[7-9]。因此,亟需寻求一种高效且环境友好的盾构渣土处置方式。基于此,部分企业对盾构渣土采取砂石分离处置,不仅减少了渣土堆存量,而且实现了城市固体废弃物资源化再利用^[8-10]。但采取絮凝、破乳、沉淀和板框压滤等处理后的泥块含水率仍在 40%~60%之间,因其结构紧密,通透性差,难以自然干化,后期处置量仍较大;加之,盾构脱水泥块来源于地下深层土,土壤贫瘠、紧实、容重大、通透性差,不适宜直接用作绿化种植土与垫层土。由此,解决盾构脱水泥的就地就近处置问题成为当前国内城市固体废弃物处置的难点与热点。通过堆肥来实现废弃物再利用是解决废弃物危害的最有效途径,在城市园林绿化废弃物处理方式上,近年来,部分研究者开展了绿化废物与城市污泥、畜禽粪便、餐厨垃圾等的堆肥研究^[11-18]。然而,盾构脱水泥不同于城市污泥、畜禽粪便与餐厨垃圾等,直接以园林绿化废弃物与盾构脱水泥进行堆肥无法顺利进行,以消纳盾构脱水泥为目的二段式堆肥研究尚未见报道。为解决盾构脱水泥的就地就近消纳难题,同时实现南方城市园林绿化主要废物香樟树枝的资源化利用,本研究以粉碎的香樟树枝与鸡粪最佳配比好氧堆肥终产物为原料^[19],根据中国城镇建设行业绿化种植土壤标准(CJ/T340-2016)中草坪土与花坛土各指标及其含量要求^[20],将盾构脱水泥与香樟树枝堆肥产物(质量比)分别以 25:1,30:1,20:1,25:1 比例调配一级、二级草坪种植土与一级、二级花坛种植土,考察了 4 种比例下共堆肥过程中 AES 的降解特征,开展了各配比下堆肥发酵 20 d 的营养元素含量及堆肥产物的盆栽试验研究,以期获得较好堆肥效果,并实现两种城市固体废弃物同时最大化处置与利用,从而推进园林绿化废弃物与城市盾构污泥资源化产品的应用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

盾构脱水泥来自湖南省长沙市某环保公司,产品指标分别为含水率 59.52%,N 0.17%,P 0.16%,K 1.02%,挥发性固体(VS)2.30%、脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸钠(AES)含量 51.21 mg/kg;粉碎香樟树枝与鸡粪最优比例条件下堆肥产物来源本实验室^[19],含水率 46.06%,N 4.90%,P 1.24%,K 2.69%,VS 70.77%,三大类微生物总计: 14.07×10^7 个/g,其中细菌数 9.77×10^7 个/g,真菌数 1.75×10^7 个/g,放线菌数 2.55×10^7 个/g。

1.2 供试试剂

按规范方法配制试剂: AES 储备液、AES 标准液、亚甲基蓝溶液、洗涤液、100 $\mu\text{g/ml}$ 氮(NH_4^+-N)标准溶液、50 $\mu\text{g/ml}$ 磷标准溶液、100 $\mu\text{g/ml}$ 钾标准液、钒钼酸铵试剂 A 液与 B 液、甲醛-EDTA 遮掩剂、3% (m/v) 四苯硼钠、奈氏试剂、100 g/L 酒石酸钠溶液、100 g/L KOH 溶液、0.1% 酚酞指示剂。

1.3 供试仪器

DHG-9053A 电热恒温鼓风干燥箱;UV-1200 可见分光光度计紫外光谱仪;WT6002 分析天平;SX-5-12D 箱式电阻炉;WT6002 分析天平;THZ-312 恒温摇床。

1.4 试验设计

1.4.1 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥发酵及产物评价 ①物料混合。根据中国城镇建设行业绿化种植土壤标准(CJ/T340-2016)中草坪土与花坛土各指标要求^[20],结合香樟树枝与鸡粪最佳比例堆肥产物与盾构脱水泥中元素含量,一级与二级草坪种植土以 25:1 与 30:1(脱水盾构土:香樟树枝堆肥产物,质量比)混合并搅拌均匀;一级与二级花坛种植土以 20:1 与 25:1(脱水盾构土:香樟树枝堆肥产物,质量比)混合并搅拌均匀。②建堆。以搅拌均匀的混合物料在水泥地面上堆成基部长 5.0 m,宽 1.5 m,高 1.5 m 的条垛。每个处理设置 3 个平行,共 12 个堆体。③堆肥发酵。混合后的堆料每间隔 5 d 翻堆

一次,共发酵 20 d。④堆肥产物应用与评价。以共堆肥发酵 20 d 后的产物为研究对象,开展盆栽种植试验,在一级与二级草坪土中均种植马尼拉草(*Zoysia matrella*);在一级与二级花坛土中分别移栽杜鹃(*Rhododendron simsii*)与满天星(*Gypsophila paniculata*),每组设置 3 个平行。在种植试验的第 0,5 与 30 d 分别测定草种发芽率、植株高度以及地上部分与地下部分生物量,并观察植株生长情况。

1.4.2 样品采集与测定 ①堆肥样品采集。每间隔 5 d 采集一次样品,即在粉碎香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥混合堆肥后的第 0,5,10,15 和 20 d 分别采集样品,在堆体中心部位采用五点法取样,混合均匀后采用四分法留样 200 g,样品于 4 ℃冰箱保存,测定样品中 AES 含量。堆肥结束后(20 d)测定产物中 N,P,K 以及 VS 含量。②种植试验样品采集。于种植试验的第 0,5 和 30 d 测定植株的高度、地上部分与地下部分生物量以及草种发芽率,并观察记录植株生长情况。

1.5 样品测定方法

(1) 阴离子表面活性剂 AES 的测定参照《水质阴离子表面活性剂的测定亚甲蓝分光光度法(GB7494-37)》^[21]。

(2) 样品中挥发性固体(VS)含量的测定^[22]。在好氧堆肥的分析过程中,常用挥发性固体(volatile solids, VS)的含量来表征堆料中有机质的含量^[23]。取一只洗净烘干后的陶瓷坩埚,称量并记录其质量 m_4 ;取适量烘干后的样品放入陶瓷坩埚中,称量并记录样品与陶瓷坩埚的总质量 m_5 ;再将陶瓷坩埚放入马弗炉中 600 ℃下灼烧至恒重,取出陶瓷坩埚放入干燥器内待冷却至室温,再次称量陶瓷坩埚与样品的总质量 m_6 ,按下列公式计算样品中挥发性固体含量(VS)。

$$VS = \frac{m_5 - m_6}{m_5 - m_4} \times 100\% \quad (1)$$

(3) 样品中主要元素含量的检测方法^[22]。样品消解:取 2.0 g 经研磨过 60 目筛后的干样品放入 50 ml 三角瓶中,加少许超纯水润湿(1.0~2.0 ml),加入 5.0 ml 98% 的浓硫酸,静置过夜(瓶口放置弯颈漏斗)。在电热炉上加热至冒白烟,取下三角瓶,稍冷后滴入 10 滴 30% 的 H_2O_2 ,摇匀,再次加热至冒白烟,再取下三角瓶,待稍冷后滴入 5~10 滴 H_2O_2 ,直至消煮液无色清亮后,将消煮液转入 50 ml 容量瓶中,用超纯水定容,过滤,作为样品元素含量待测液。采用奈氏比色法检测样品中氮含量;钒—钼酸铵比色法检测样品中磷含量;四苯硼钠比浊法检测样品中钾含量^[22]。

元素含量以质量分数表示,按下列公式计算:

$$TN(P,K)\% = \frac{c \times V \times 0.0001}{m} \quad (2)$$

式中: c 为由标准曲线查到的显色液中 N(P,K)浓度($\mu\text{g/ml}$); V 为显色液体积,50 ml; D 为分取倍数,定容体积/分取体积; m 为样品质量(g)。

(4) 堆肥前后物料的种子发芽率与发芽指数的检测方法^[24]。取鲜样与蒸馏水按 1:10 的质量比混合后震荡 0.5 h 后过滤,取滤液进行测定,选用马尼拉草种子进行萌发试验。取两张滤纸放于培养皿底部,将 20 粒饱满,大小基本一致的马尼拉草种子置于其上,吸取 5.0 ml 滤液置于培养皿中。将培养皿放入恒温培养箱中 25 ℃培养 2 d,以超纯水作空白对照,观察并记录种子的发芽率,并用直尺测量种子根长,计算发芽指数(GI):

$$GI = \frac{\text{处理样的发芽率} \times \text{处理样的平均根长}}{\text{对照样的发芽率} \times \text{对照样的平均根长}} \quad (3)$$

(5) 植株高度的测定。每个试验组中随机选取 3 株进行测定,用量程为 0—100 cm 的软尺测量植株高度。

(6) 植株地上部分与地下部分生物量的测定。测量时随机选取 10 cm × 10 cm 的样方,3 次重复。紧贴地面将样方内的植物地上部分刈割后,装入纸质信封袋内。刈割后将样方内的地下部分全部取出(保证根须完整),放入纱布袋中用水冲洗干净,晾干后装入纸质信封袋内。将装有地上部分与地下部分的纸质信封袋于 65 ℃烘干 24 h 至恒重,取出放入玻璃干燥器冷却至室温后用天平称重。

1.6 数据分析

试验测定数据用 IBM SPSS Statistics 21 进行统计分析,使用 Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥过程中 AES 含量的变化

香樟树枝与鸡粪堆肥产物中仍含有部分微生物,这些微生物在香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥混合共堆肥发酵过程中降解堆料中的 AES。共堆肥发酵过程中 AES 含量变化如图 1 所示。从图 1 可知,一级、二级草坪土和一级、二级花坛土中 AES 的含量随堆肥进程而逐渐降低,在第 20 d,一级、二级草坪土和一级、二级花坛土中的 AES 含量分别由堆肥初期的 7.23,7.62,6.90,7.19 mg/kg 降为 1.71,1.87,1.62,1.78 mg/kg,下降率均在 75% 以上;而未进行共堆肥的盾构脱水泥中 AES 含量降幅较小,仅下降了

37.71%。由此表明香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥混合共堆肥,不仅有利于部分盾构泥的处置,而且促进了盾构泥中 AES 的降解。

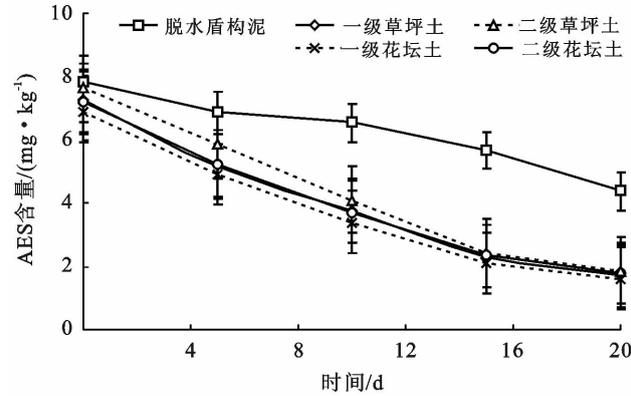


图 1 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥过程中 AES 含量的变化

2.2 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥终产物中主要元素的含量

以香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥按一定比例(质量比)混合共堆肥发酵 20 d 后一级、二级草坪土

与一级、二级花坛土主要元素含量结果见表 1。从表 1 可知,4 组种植土挥发性固体(VS)含量在 45.1~55.6 g/kg 之间,N 含量在 3.2~4.0 g/kg 之间,P 含量在 1.9~2.1 g/kg 之间,K 含量在 10.7~11.0 g/kg 之间,土壤中 VS、N 等含量均满足《绿化种植土壤 CJ/T340-2016》要求。考虑同时实现盾构脱水泥与园林绿化废弃物最大化处理并取得较好的堆肥效果,建议园林绿化废弃物堆肥产物与盾构脱水泥按 25:1 的比例(质量比)混合共堆肥。

2.3 盆栽试验

以香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥发酵 20 d 产物的一级、二级草坪土种植马尼拉草种,而一级、二级花坛土中分别种植杜鹃花与满天星,结果见表 2。从表 2 可知,一级草坪土(25:1)与二级草坪土(30:1)中,马尼拉草种子发芽率分别为 92%与 86%,30 d 后马尼拉草生长良好;一级花坛土(20:1)中移栽杜鹃花与二级花坛土(25:1)中移栽满天星后 30 d 的成活率均为 100%,且均生长良好,株高与生物量均有增大,说明香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥产物可作为绿化种植土。

表 1 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥终产物调配绿化挥发性固体(VS)等含量

土壤类型	等级	盾构脱水泥:香樟树枝堆肥产物(质量比)	VS	N	P	K
草坪土	一级	25:1	49.3±2.1	3.5±0.3	2.0±0.2	10.8±0.3
	二级	30:1	45.1±2.5	3.2±0.1	1.9±0.3	10.7±0.3
花坛土	一级	20:1	55.6±3.2	4.0±0.2	2.1±0.1	11.0±0.4
	二级	25:1	49.3±2.1	3.5±0.3	2.0±0.2	10.8±0.3

表 2 堆肥终产物盆栽试验结果

时间/d	土壤类型	等级	种植植物	株高/cm	生物量(干重)/g		生长情况
					地上部分	地下部分	
0	草坪土	一级	马尼拉草	0	0	0	—
		二级	马尼拉草	0	0	0	—
	花坛土	一级	杜鹃花	25.0±1.2	14.71±1.15	10.79±0.52	移栽成活
		二级	满天星	24.0±1.3	13.68±1.83	11.78±0.76	移栽成活
5	草坪土	一级	马尼拉草	3.9±0.8	0.58±0.13	0.43±0.06	发芽率 92%
		二级	马尼拉草	4.1±0.7	0.62±0.11	0.48±0.07	发芽率 86%
	花坛土	一级	杜鹃花	25.0±0.9	15.34±2.14	10.36±0.88	生长良好
		二级	满天星	24.5±1.1	15.61±1.83	12.82±1.25	生长良好
30	草坪土	一级	马尼拉草	6.8±0.5	1.35±0.15	0.98±0.14	生长良好
		二级	马尼拉草	6.5±0.4	1.12±0.17	0.87±0.08	生长良好
	花坛土	一级	杜鹃花	26.0±1.4	16.51±1.03	10.62±1.35	生长良好
		二级	满天星	28.0±1.3	17.13±0.92	13.35±1.10	生长良好

3 讨论与结论

(1) 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥分别以质量比 1:25 与 1:30 共堆肥发酵 20 d,终产物中 N,

P、K、有机质含量分别满足《绿化种植土壤 CJ/T340-2016》中草坪土的一级、二级质量标准;香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥分别按质量比 1:20 与 1:25 共堆肥 20 d,终产物中 N、P、K、有机质含量满足《绿化

种植土壤 CJ/T340-2016》花坛土的一级、二级质量标准。

(2) 香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥共堆肥明显促进了盾构脱水泥中主要污染物 AES 的降解,堆肥 20 d 后,堆肥产物中 AES 表面活性剂含量下降率均在 75.24% 以上。

(3) 两段式堆肥产物盆栽试验结果表明,盾构脱水泥联合城市园林绿化废物与鸡粪二段式堆肥产物可用作园林绿化植物种植土。二段式堆肥终产物一级草坪土(25:1,脱水盾构土:香樟树枝堆肥产物,质量比)与二级草坪土(30:1,脱水盾构土:香樟树枝堆肥产物,质量比)中,马尼拉种子发芽率分别为 92% 与 86%;一级花坛土(20:1,脱水盾构土:香樟树枝堆肥产物,质量比)中移栽的杜鹃与二级花坛土(25:1,脱水盾构土:香樟树枝堆肥产物,质量比)中移栽的满天星成活率均为 100%。

综上所述,香樟树枝堆肥产物与盾构脱水泥混合共堆肥,不仅有利于盾构脱水泥的环保处置,堆肥后产物可进行二次利用,而且促进了盾构泥中 AES 的降解,降低了盾构脱水泥中 AES 对环境的危害。

[参 考 文 献]

- [1] 朱考飞,张云毅,薛子斌,等.盾构渣土的环境问题与绿色处理[J].城市建筑,2018(29),108-110.
- [2] 陈观连.地铁盾构渣土合理化处置探讨[J].中外建筑,2019(1),206-207.
- [3] 汪辉武.全风化花岗岩土压平衡盾构泡沫渣土改良技术试验研究[D].陕西 西安:西安交通大学,2018.
- [4] 郑忠.表面活性剂的物理化学原理[M].广东 广州:华南理工大学出版社,1995.
- [5] 周莉,刘波. PEP 与阴离子表面活性剂复配体系泡沫性能的研究[J].功能高分子学报,2001,17(4):461-464.
- [6] Lisa M, Mike M M. Characterizing the influence of stress on foam conditioned sand for EPB Tunneling [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2017, 18(9):454-465.
- [7] 殷跃平,李滨,王文沛,等.深圳“12·20”渣土场灾难滑坡成灾机理与岩土工程风险控制研究[J].Engineering, 2016,2(2):176-216.
- [8] 段安娜.关于加强地铁盾构渣土管理和无害化处置的提案[EB/OL].(2017-03-01)[2019-03-03].<http://www.csdca.org/detail/52>.
- [9] 谢发之,李海斌,李国莲,等.盾构渣土基碳复合陶粒的

制备及除磷性能[J].应用化学,2017,34(2):211-219.

- [10] 杨钊,贺祖浩,刘毅,等.福州地铁过江通道泥水盾构弃浆在壁后注浆材料中的再利用[J].现代隧道技术,2019,56(03),192-199,205.
- [11] 王瑞莹.园林废弃物资源化利用技术及机理的研究[D].江苏 苏州:苏州大学,2017.
- [12] 吕子文,方海兰,黄彩娣.美国园林废弃物的处置及对我国的启示[J].中国园林,2007(8):90-94.
- [13] 连鹏,范周周,郭东鑫,等.城市污泥与园林废弃物混合堆肥施用对林地土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J].环境科学学报,2018,38(7):2842-2848.
- [14] Dorota K, Ewa K. Organic matter transformations and kinetics during sewage sludge composting in a two-stage system [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(23):10951-10958.
- [15] 王权.添加剂对猪粪好氧堆肥过程的影响及其机制研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [16] 司莉青,陈利民,郑景明,等.城市污泥与园林废弃物堆肥混合添加对土壤改良的影响[J].草业科学,2018,35(1):1-9.
- [17] Barbara S, Michele P, Fabrizio A. Evaluation of hormone-like activity of the dissolved organic matter fraction(DOM) of compost and digestate [J]. Science of the Total Environment, 2015,514(2):314-321.
- [18] 王晓君,温文霞,潘松青,等.辅料比例对餐厨垃圾好氧堆肥及微生物特性的影响[J].环境工程学报,2016,10(6):3215-3222.
- [19] 刘亚宾.城市园林绿化废物与鸡粪好氧堆肥及其在盾构污泥资源化过程中的应用[D].湖南 长沙:湖南农业大学,2019.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部.CJ/T340-2016 绿化种植土壤[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [21] 国家环境保护局.GB/T7494-87 水质阴离子表面活性剂的测定:亚甲蓝分光光度法[S].北京:中国标准出版社,1987.
- [22] 朱雅琪,王珊,柳勇,等.腐秆剂用量、含水量及初始碳氮比对水稻秸秆腐解性能的影响初探[J].生态环境学报,2019,28(3),601-611.
- [23] Chefetz B, Hatcher P G, Hadar Y, et al. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste [J]. Journal of Environmental Quality, 1996,25(4):776-785.
- [24] 农业部.NY525-2012,有机肥料标准[M].北京:中国农业出版社,2012.