

筛分及添加人粪尿处理对垃圾堆肥性质的影响

丁湘蓉¹, 李国学², 李玉春³

(1. 北京市海淀区环境卫生服务中心, 北京 100086; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 3. 北京市垃圾渣土管理处, 北京 100067)

摘要: 以北京南宫堆肥厂腐熟垃圾堆肥为原料, 通过筛分和添加人粪尿两种深加工处理方法, 对堆肥产品性质的影响进行了研究。结果表明, 腐熟垃圾堆肥经筛分深加工处理后的筛上物有机物含量高于筛下物; 12 mm 筛上物垃圾堆肥的 C/N 比高于筛下物垃圾堆肥, 12 mm 筛下物和 5 mm 筛下物垃圾堆肥的 C/N 比差异不显著; 经过筛分处理后, 钾的含量随着粒径的降低而增大, 而磷、铁、钙、镁、钠、锰、铜、锌和重金属镉、铅、铬的含量随着粒径的减小呈下降趋势。添加人粪尿深加工处理不会提高垃圾堆肥的有机碳含量, 可以提高总氮含量, 降低 C/N 比值; 添加人粪尿的 12 mm 筛下物和 5 mm 筛下物两种堆肥产品中磷和钾以及各种微量元素都有相应的增加, 并且与对照比较, 铅和铬的含量差异不大, 镉的含量略有下降; 添加人粪尿的 12 mm 筛下物和 5 mm 筛下物两种堆肥产品中镉、铅和铬均低于垃圾农用卫生标准(GB8172-87)。

关键词: 垃圾堆肥; 筛分; 人粪尿; 堆肥性质

中图分类号: S141.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2004)01-0122-06

Effects of Screening and Adding Night Soil on Characteristics of MSW Compost

DING Xiang-rong¹, LI Guo-xue², LI Yu-chun³

(1. HaiDian District Environmental Sanitation Management Center in Beijing, Beijing 100086, China; 2. College of resource and environment science, China Agriculture University, Beijing 100094, China; 3. Beijing Solid Waste Administration Department, Beijing 100067, China)

Abstract: Using MSW compost as testing materials from NanGong Composting Plant, the effects of screening and adding night soil on characteristics of MSW compost were studied. The organic matter content and C/N ration of oversized compost (12mm screen) in screen in the matured compost were higher than those of undersized compost1 (12mm screen), while no significant difference of C/N ratio between undersized compost1 and undersized compost2 (5mm screen) was found. After screening, the contents of K increased with the decreasing of granularity, while the contents of P, Fe, Ca, Mg, Na, Mg, Cu, Zn and heavy metal (Cd, Pb and Cr) tended to decrease. Adding night soil in the further process increased the contents of TN and decreased the C/N ratio of garbage compost while contents of TOC showed no significant increase. P, K and microelement of undersized compost1 and compost2 adding night soil all increased correspondingly. Compared with the control, the contents of Cd showed a little decrease, but there were no obvious difference of the contents of Pb and Cr. The contents of heavy metal elements, such as Cd, Pb and Cr were below the health standards.

Keywords: MSW compost; screening; night soil; characteristics

随着北京市城市规模不断扩大, 人口日益增长, 城市生活垃圾的排放量在逐渐增大, 其物理组成、化学和营养特性也随着经济发展和人民生活水平的提

高发生着较大变化。据统计, 2001年, 北京市的生活垃圾产生量为 402 万 t, 预计到 2007 年将达到 453 万 t, 其中可堆肥物(包括食品类、纸类、木竹等)含量达到 80% 以上^[1,2]。但是长期以来, 城市垃圾综合处理与利用(主要指垃圾堆肥处理)发展比较缓慢, 以北京市为例, 截止到 2002 年进行垃圾堆肥处理的垃圾数量占垃圾总产生量百分比不足 10%^[1,3]。其主要原因首先是垃圾本身性质决定的, 目前北京市垃圾收集还主要采用混合垃圾收集方法, 因此垃圾中还混有各种

收稿日期: 2003-05-11

基金项目: 北京市市政管委中德北京额外咨询项目北京固体废弃物处理与处置技术分析; 北京市市政府顾问团项目绿色奥运城市垃圾污染控制战略研究

作者简介: 丁湘蓉(1976—), 女, 硕士研究生, 主要从事废弃物处理与资源化研究。

各样非生物可降解成分,主要包括灰土和砖瓦、塑料、玻璃和金属等,约占垃圾总量的 40% ~ 25%^[4];其次,北京市垃圾资源回收使得部分可生物降解部分如纸类剩余量很少。因此经过收集、运输、转运等环节后真正到垃圾堆肥厂的可生物降解部分还要有所下降,估计下降 40% ~ 50%;此外,北京市现有的垃圾堆肥厂由于缺乏与后续堆肥技术相配套的垃圾分检的前处理技术以及堆肥产品的深加工技术,造成垃圾堆肥成分复杂、质量较低,垃圾堆肥市场一直处于低迷状况^[5]。垃圾堆肥中含有较高的无机杂质,如玻璃、石头、砖瓦、煤灰和其它杂质,长期施入这种垃圾堆肥,会使土壤明显酸化,物理性状变劣,土壤保水保肥能力大大降^[6]。本研究以南宫堆肥厂垃圾堆肥产品为原料,通过筛分和添加人粪尿两种深加工处理方法对堆肥产品理化性质的影响进行了探索,为垃圾堆肥和深加工处理提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

供试垃圾堆肥为北京市大兴区南宫垃圾堆肥厂经高温隧道发酵和后发酵处理的垃圾堆肥。南宫堆肥厂堆肥的垃圾原料来自于宣武区和丰台区。在进入堆肥厂前经马家楼转运站进行筛分预处理后,产生 15 ~ 60 mm 的垃圾堆肥原料,再运送到南宫堆肥厂进行堆肥处理。堆肥工艺为:高温阶段(隧道发酵)(14 d)、后熟化阶段(21 d),最终熟化阶段(21 d),总计 8 周。其中经过高温阶段和后熟化阶段腐熟的堆肥经过 25 mm 筛分后产生的筛下物堆肥产品,再经过 21 d 最终熟化处理后(其理化性质见表 1),进入深加工处理

表 1 南宫堆肥厂垃圾堆肥产品理化性质

Table 1 The physical and chemical properties of MSW compost in NanGong composting plant

垃圾堆肥	有机质/%	全氮/%	C/N	全磷(P ₂ O ₅ %)	全钾(K ₂ O%)	pH	E _c × 10 ⁴ /μs · cm ⁻¹	发芽率指数 GI/%	容重/t · m ⁻³
<25mm	25.4	0.578	25.8	0.613	0.682	7.53	0.486	60.5	0.465

子进行筛分,分别计算各粒径级别的重量和百分含量,同时对各粒径级别的石头、玻璃、塑料等组成进行测定。

1.4 测定指标与方法

(1)测定指标:垃圾堆肥容重;垃圾堆肥物理组成包含塑料、石头、玻璃、金属和杂物;总有机碳(TOC);全氮(TN);全磷(TP);全钾(TK);微量元素和重金属。

(2)测定方法:垃圾堆肥容重采用重量法;取 1 kg 鲜样手选法测定物理组成;取 100 g 鲜样以 1:5 固液

工序。

1.2 深加工试验方法

从 2001 年 10 月至 2002 年 12 月,按 4 个季节的变化,针对南宫堆肥厂如下堆肥样品进行多点混合采样,然后再进一步混合取其中 2 kg 样品。采集的样品有:经过 25 mm 滚筒筛处理的筛下物堆肥(该堆肥不直接用于农地利用);25 mm 筛下物堆肥经过 12 mm 弹跳筛处理后产生的 > 12 mm 和 <12 mm 堆肥和进一步经过 5 mm 的筛分处理获得 <5 mm 堆肥产品;以及添加 30% 和 50% 人粪尿并经过 4 ~ 5 d 短期发酵后处理产生的 <12 mm 和 <5 mm 两种深加工堆肥产品。人粪尿液的性质见表 2 所示。对堆肥鲜样进行含水率、物理组成和 pH 等项目进行测定。风干样品经粉碎过 1 mm 筛后,用于进行物理和化学性质以及营养特性的分析测定。

表 2 人粪尿养分含量(鲜基,%)

Table 2 The content of nutrients in night soil waste (fresh basis, %)

分析含量	水分	pH	有机碳	全氮	C/N	全磷	全钾
含量	90.3	7.80	2.498	0.643	3.431	0.106	0.187
分析项目	钙	镁	钠	铜	锌	铁	锰
含量	0.253	0.074	0.163	4.986	21.24	294.5	46.05

1.3 垃圾堆肥物理组成的测定

(1) <12 mm 堆肥的物理组成

将 <12 mm 垃圾堆肥样品先过 2.5 mm 筛,筛上物再进行手工分拣,并记录下各类成分的比例和重量。

(2) 垃圾堆肥粒径组成

按从大到小的顺序对 <25 mm 的垃圾堆肥供试样品,分别利用 12.0, 10.0, 5.0, 2.5, 1.0, 0.5 mm 的筛

比浸提,滤液用来测定 pH, pH 用 pH S - 3C 型 pH 计; TOC 采用磷酸浴外加热重铬酸钾氧化法; TN 采用浓硫酸 - 高氯酸消煮,凯氏定氮法; TP、TK 及中微量元素用浓硫酸 - 高氯酸消煮后等离子体测定仪(ICP)法测定。

2 结果与讨论

2.1 垃圾堆肥物理组成分析

目前,南宫堆肥厂经过最终熟化产生的 <12 mm 堆肥产品,虽经过弹跳筛和硬物料分选机筛分,但是

表3 <12mm 堆肥产品的物理组成(%)

Table 3 The physical composition of undersized compost of 12mm

项目	塑料	杂物	石头	玻璃	金属	<2.5mm
第1次取样	0.03	23.8	3.49	0.55	0.10	72.03
第2次取样	0.17	36.5	21.2	0.59	0.01	41.53
第3次取样	0.25	39.14	10.1	0.55	1.18	48.78
第4次取样	0.30	35.7	28.5	0.94	0.95	33.61
平均	0.188	33.8	15.8	0.658	0.56	49.0

其中仍含有不利于土壤理化性质的杂质等(表3)。如<12mm堆肥产品中肉眼能分辨的塑料、杂物、石头、玻璃和金属等杂质,其含量分别为0.188%,33.8%,15.8%,0.658%和0.56%,其中杂质和石头含量比较高,含量达49.6%。而不能进一步进行分选的部分只占总量的50%左右。说明现代化垃圾堆肥处理过程中仍不能完全有效去除垃圾中非土壤性质的杂质成分。如果长期施用该垃圾堆肥或者施用量过大,都会使土壤质地变粗,造成漏水漏肥问题^[7,8]。

一般地,<5mm垃圾堆肥产品由于更接近土壤

表4 不同粒径垃圾堆肥产品的物理组成

Table4 The physical composition of different granularmetric compost

粒径	质量/g	在<12样品中所占的百分比/%	石头质量/g	玻璃质量/g	塑料质量/g
10~12mm	50	5	3.796	2.034	0.762
5~10mm	320	32	44.90	2.655	1.489
2.5~5mm	280	28	3.330	0.910	0.090
0.5~2.5mm	210	21	0	0	0
<0.5mm	140	14	0	0	0
总数	1000	100	52.03	5.599	2.341

表5 筛分和添加人粪尿处理垃圾堆肥pH值的影响

The effect of screening and adding night soil on pH of MSW compost

项目		春季	夏季	秋季	冬季
>12mm	不加入粪尿	7.58±0.113	7.03±0.17	7.555±0.007	7.58±0.057
<12mm	不加入粪尿	7.48±0.028	7.065±0.021	7.99±0.099	7.55±0
	加30%人粪尿	7.42±0.028	6.845±0.049	7.27±0.014	7.33±0.127
<5mm	不加入粪尿	8.09±0	8.095±0.035	7.36±0.028	7.73±0.085
	加30%人粪尿	7.2±0	7.41±0.042	6.745±0.021	—
	加50%人粪尿	—	7.21±0.042	7.155±0.007	—

是改变了堆肥粒度的大小,而对堆肥性质本身没有什么改变。而垃圾堆肥经过添加人粪尿后,pH值略有降低,这是因为人粪尿中因含有尿酸、氨基酸等多种有机酸,而呈弱酸性^[9]。

2.2.2 筛分和添加人粪尿处理对有机碳(TOC)的影响

从表6中可以看出,>12mm垃圾堆肥TOC值

团粒结构,在表现性能上更易于为人们接受。因为在土壤学上,通常把直径在10~0.25mm的水稳性团粒含量的多寡作为判别土壤结构的好坏,其含量越高,土壤结构越好,反之则差。从表4中不同粒径垃圾堆肥产品的物理性质可以看出,5~12mm的堆肥产品中石头重量占<12mm堆肥产品石头总重的93.6%,玻璃重量占<12mm堆肥产品玻璃总重的83.7%,塑料重量占<12mm堆肥产品塑料总重的96.2%。而<5mm的堆肥组分中这3种成分含量很低,所以建议将大于5mm的颗粒全部剔除,采取这一工艺措施后,大量的石头、玻璃、塑料等杂质将被去除,C/N比将得以改善,堆肥的营养成分得到提高。因此,城市垃圾堆肥加工成<5mm的产品是可以接受的,这种堆肥产品施入土壤中不会造成土壤渣化,不会使土壤物理结构变差。

2.2 垃圾堆肥深加工的效果

2.2.1 筛分和添加人粪尿处理对pH值影响

从表5中可以看出,垃圾堆肥pH值随着堆肥粒径的减少没有什么显著的变化,这是因为筛分作用只

要比<12mm垃圾堆肥TOC值高,这是因为经过筛分,颗粒大的、轻质的有机物质大部分存在于>12mm垃圾堆肥中,<12mm垃圾堆肥无机杂质比较多,而<5mm垃圾堆肥是由<12mm垃圾堆肥经过破碎和筛选出来的堆肥,同样由于筛分的原因,<12mm垃圾堆肥的容重低于<5mm垃圾堆肥,因此<12mm垃圾堆肥的TOC值略高于<5mm垃圾堆肥。从这些

结果可以看出,通过筛分处理,筛上物有机物含量远远高于筛下物。而垃圾堆肥经过添加人粪尿处理后,由于人粪尿中有机碳含量比较低,因此添加人粪尿的垃圾堆肥的有机碳含量与不添加人粪尿的垃圾堆肥的有机碳含量相异不大或略低于不添加人粪尿的垃圾堆肥,这是因为人粪尿有机碳含量低,氮素含量较高,由于“起爆效应”的影响使堆肥中有机碳的矿化速率快^[9-11],所以对增加堆肥有机质作用不大,甚至还有减少作用。

2.2.3 筛分和添加人粪尿处理对全氮的影响

表 6 筛分和添加人粪尿处理对垃圾堆肥 TOC 值的影响

Table 6 The effect of screening and adding night soil on TOC of MSW compost

项目	春季	夏季	秋季	冬季	容重/ $t \cdot m^{-3}$	
> 12 mm	23.58 ± 2.046	19.20 ± 0.253	17.71 ± 1.973	17.33 ± 0.435	0.328	
<12 mm	不加人粪尿	10.29 ± 0.572	12.1 ± 0.223	9.48 ± 0.071	10.11 ± 0.648	0.588
	加 30% 人粪尿	10.24 ± 0.308	9.50 ± 0.114	9.06 ± 0.184	9.74 ± 0.102	—
<5 mm	不加人粪尿	9.8 ± 0.211	10.89 ± 1.527	9.44 ± 0.46	8.11 ± 0.269	0.717
	加 30% 人粪尿	9.06 ± 0.275	9.59 ± 0.1	8.7 ± 0.233	—	—
	加 50% 人粪尿	—	8.89 ± 0.469	8.19 ± 0.028	—	—

表 7 筛分和添加人粪尿处理对垃圾堆肥 TN 值的影响

Table 7 The effect of screening and adding night soil on TN of MSW compost

项目	春季	夏季	秋季	冬季	
> 12 mm	0.9 ± 0.029	0.72 ± 0.022	0.64 ± 0.011	0.49 ± 0.007	
<12 mm	不加人粪尿	0.51 ± 0.097	0.51 ± 0.077	0.41 ± 0.012	0.40 ± 0.012
	加 30% 人粪尿	0.62 ± 0.004	0.55 ± 0.020	0.46 ± 0.002	0.58 ± 0.023
<5 mm	不加人粪尿	0.45 ± 0.056	0.48 ± 0.036	0.37 ± 0.009	0.32 ± 0.024
	加 30% 人粪尿	0.48 ± 0.075	0.50 ± 0.028	0.39 ± 0.006	—
	加 50% 人粪尿	—	0.52 ± 0.008	0.43 ± 0.005	—

表 8 筛分和添加人粪尿处理对垃圾堆肥 C/N 比的影响

Table 8 The effect of screening and adding night soil on C/N ratio of MSW compost

项目	春季	夏季	秋季	冬季	
> 12 mm	26.08	26.22	27.85	35.31	
<12 mm	不加人粪尿	20.23	23.63	22.91	25.23
	加 30% 人粪尿	16.64	17.02	19.51	16.78
<5 mm	不加人粪尿	21.94	22.63	25.54	25.31
	加 30% 人粪尿	18.88	19.17	22.52	—
	加 50% 人粪尿	—	17.05	18.84	—

筛上物中主要以 C/N 比较高的塑料、纸张等组分为主,而筛下物除了富含砂土类外,可能含有较多的 C/N 比较低的果核、细堆肥等。而 <5 mm 垃圾堆肥是由 <12 mm 垃圾堆肥磨碎后筛分出来的,所以 C/N 相差不大。而垃圾堆肥经过添加人粪尿后,C/N 略有减少,这是因为人粪尿中 C/N 小。

2.2.5 筛分和添加人粪尿处理对磷钾及微量元素和

从表 7 中可以看出,与 TOC 值具有同样结果和原因,> 12 mm 垃圾堆肥由于富含有机质,因此其 TN 含量要比 <12 mm 垃圾堆肥高。而 <5 mm 垃圾堆肥是由 <12 mm 垃圾堆肥磨碎后筛分出来的,所以 TN 值相差不大。而垃圾堆肥经过添加人粪尿后,TN 值略有增加,这是因为人粪尿中含有较多的氮素。

2.2.4 筛分和添加人粪尿处理对碳氮比的影响

从表 8 中可以看出,> 12 mm 垃圾堆肥 C/N 要比 <12 mm 垃圾堆肥 C/N 高。主要原因是除了筛上物中有机物含量比筛下物要高外,更重要的是轻质的

重金属的影响

从表 9 中可以看出经过筛分处理后,钾的含量随着粒径的降低而增大,即 > 12 mm 的垃圾堆肥钾的含量最小,其次是 <12 mm 垃圾堆肥,而 <5 mm 垃圾堆肥最高,这是由于粒径越小,无机组分的含量越大,即矿物质成分越大,而钾主要存在于矿物质成分中。相反磷主要存在于有机成分中,所以随着粒径的减小而

表9 筛分和添加人粪尿处理对磷钾及微量元素和重金属的影响

Table 9 The effect of screening and adding night soil on P, K and microelement and heavy metal of MSW compost

项目	> 12 mm	<12 mm		<5 mm		
		不加入粪尿	加入粪尿	不加入粪尿	加 30% 人粪尿	加 50% 人粪尿
K ₂ O/%	0.611	1.011	1.301	1.345	1.366	0.885
	0.000*	0.008	0.030	0.033	0.060	0.021
P ₂ O ₅ /%	0.638	0.380	0.382	0.336	0.353	0.417
	0.012	0.013	0.009	0.000	0.008	0.024
Fe/%	0.790	0.773	0.788	0.673	0.684	0.723
	0.058	0.080	0.039	0.013	0.032	0.022
Ca/%	4.151	3.610	3.660	2.877	3.518	3.420
	0.067	0.037	0.205	0.170	0.168	0.059
Mg/%	0.635	0.610	0.638	0.427	0.523	0.572
	0.035	0.007	0.057	0.023	0.054	0.002
Na/%	0.549	0.453	0.459	0.430	0.493	0.501
	0.016	0.001	0.069	0.007	0.012	0.006
Mn/mg · kg ⁻¹	175.4	171.1	196.0	169.3	193.4	197.5
	5.677	12.977	11.099	4.870	4.923	2.696
Cu/mg · kg ⁻¹	93.11	64.14	65.89	57.17	78.42	81.27
	1.316	1.361	4.740	0.854	4.416	0.035
Zn/mg · kg ⁻¹	297.9	241.7	254.2	173.1	258.5	271.1
	6.123	1.346	6.577	7.991	6.698	7.527
Cd/mg · kg ⁻¹	0.432	0.335	0.194	0.144	0.117	未检出
	0.001	0.036	0.012	0.002	0.020	-
Pb/mg · kg ⁻¹	33.18	18.59	24.23	14.85	21.51	20.76
	1.638	0.424	0.378	0.248	0.574	1.552
Cr/mg · kg ⁻¹	29.72	29.39	42.13	28.20	31.78	35.95
	1.020	2.665	1.570	1.593	2.568	2.322

注: * 为标准差

降低。中微量元素 Ca、Mg、Fe、Na、Mn 和重金属 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn 的含量也随着粒径的减小呈下降趋势,这主要是由于这些微量元素和重金属主要存在于有机物中所致,而随着堆肥粒径的下降,由于容重增大,无机组分含量增加,而有机质的含量呈明显的下降趋势(见表6)。

有文献报道^[12, 13]有效态重金属主要存在垃圾堆肥颗粒较细的组分中,这种结果的主要原因是垃圾堆肥经粉碎处理后测定结果,并且粒径范围在 2 mm 以下。本试验垃圾堆肥未经粉碎处理,同时粒径较粗,在 25 mm 以下,而且测定的重金属是总含量,所以结果也是不同的。从添加人粪尿的 <12 mm 和 <5 mm 两种堆肥产品中,氮、磷、钾、微量元素及重金属元素含量的变化可以看出,由于人粪尿中含有一定量的氮、磷、钾和微量元素,所以 <12 mm 和 <5 mm 的垃圾堆肥添加人粪尿后,磷和钾以及各种微量元素都有相应的增加。<12 mm 和 <5 mm 垃圾堆肥及其添加人粪尿处理得产品中重金属 Pb、Cr 的含量差异不大,而 Cd 的含量略有下降,这是因为添加人粪尿后,含水

量增加,堆垛中可能出现淋滤作用,这主要是因为重金属 Cd 在土壤或堆肥中是最容易迁移的一种重金属^[14]。但添加人粪尿的 <12 mm 和 <5 mm 2 种堆肥产品中 Pb、Cr 和 Cd 的含量均低于垃圾农用卫生标准(GB8172-87)^[15]。

3 结论

(1) 垃圾堆肥 pH 值随着堆肥粒径的减少变化不显著,经过添加人粪尿后,pH 值略有降低。

(2) 通过筛分处理,筛上物有机物含量远远高于筛下物,即 > 12 mm 垃圾堆肥 TOC 和总氮含量最高,<12 mm 垃圾堆肥居中,<5 mm 最低。> 12 mm 垃圾堆肥的 C/N 比高于 <12 mm 垃圾堆肥,<12 mm 和 <5 mm 垃圾堆肥差异不显著。添加人粪尿对垃圾堆肥的有机碳含量影响不大,可以适当提高总氮含量,降低 C/N 比值。

(3) 筛分处理后,堆肥中钾的含量随着粒径的降低而增大。磷主要存在于有机成分中,随着粒径的减小而降低。微量元素 Fe、Ca、Mg、Na、Mn、Cu、Zn 和重

金属 Cd、Pb、Cr 的含量随着粒径的减小呈下降趋势。

(4) 添加人粪尿的 <12 mm 和 <5 mm 两种堆肥中磷和钾以及各种微量元素含量均有增加。添加人粪尿处理和对照之间重金属 Pb、Cr 的含量差异不大, 而 Cd 的含量略有下降。添加人粪尿的 <12 mm 和 <5 mm 两种堆肥产品中 Pb、Cr 和 Cd 均低于垃圾农用卫生标准(GB8172-87)。

参考文献:

[1] 李国学, 黄 斌. 北京市生活垃圾处理与利用现状的调查和评价 [J]. 中国农业大学学报, 1999, 4: 103 - 108.

[2] 张 峥. 试论适合我国国情的城市垃圾处理技术和方法 [J]. 环境卫生工程, 1997, 3.

[3] 刘克锋, 石爱平, 等. 北京市城区近郊区生活垃圾成分调查及可农用品性分析 [J]. 农业环境保护, 2002, 21(3): 232 - 236.

[4] 贺立源, 陈建军, 等. 城市垃圾堆肥的质量及其应用效果评价 [J]. 华中农业大学学报, 1996, 15(6): 552 - 558.

[5] 刘京媛. 我国城市垃圾处理政策、趋向及市场化分析 [J]. 中国环保产业, 1999, 12: 14 - 15.

[6] 李国学, 张福锁, 固体废物堆肥化与有机复混肥生产 [M], 北京: 化学工业出版社, 2000.

[7] 唐永良, 高坤林, 等. 生活垃圾堆肥对花生和猕猴桃生产品质的影响及其改土效果 [J]. 应用与环境生物学报, 1995, 1(4): 364 - 370.

[8] 王建民, 等. 垃圾堆肥在北方潮土地区的农用研究 [J]. 应用与环境生物学报, 1995, 1(4): 379 - 386.

[9] 彭克明, 等. 农业化学(总论) [M]. 北京: 农业出版社, 1980.

[10] Kayhanian M, Tchobanoglous G. Computation of C/N ratios for various organic fractions [J]. *BioCycle*, 1992, 33(5): 123 - 128.

[11] Morel T L, Colin F, Germon J C, Godin, et al. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In: Gasser J K R, Elsevier, eds. *Composting of Agriculture and other wastes* [M] London & New York: Applied Science publishers, 1985. 56 - 72.

[12] Petruzzilli G, Szymural, Lubrano L et al. Chemical speciation of heavy metals in different size fractions of compost from solid urban wastes [J]. *Environmental Technology Letter*, 1989, 10: 521 - 526.

[13] 蒋晓惠. 垃圾堆肥中重金属离子研究 [J]. 四川师范学院学报, 1999, 20(1): 31 - 35.

[14] 李天杰, 等. 土壤环境学: 土壤污染防治与土壤生态保护 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.

[15] 叶伊兵, 等. 中国环境保护标准汇编 环境质量与污染物排放 [M], 北京: 中国标准出版社, 2000.