

杨凌城市生活垃圾重金属污染现状评价^{*}

张永涛, 张增强, 唐次来, 王娟

(西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 通过现场调研取样和理化分析, 对杨凌城区生活垃圾中重金属含量进行了为期 1 年的动态监测。结果表明, 在 12 个月(2004-03~ 2005-02)内, 5 个功能区中 Cr 和 Pb 均没有超过土壤环境质量二级标准, As, Cu, Zn 偶尔超标; 从不同的功能区污染情况综合来看, 重金属污染程度依次为燃气居民区> 事业区和工厂区> 燃煤居民区和商店等服务区> 文教区> 娱乐广场; 在 5 个不同功能区中, 将生活垃圾可腐有机物中重金属与城镇垃圾农用控制标准对比, Cr, As 和 Pb 这 3 种元素均未超标, 符合标准, 可以考虑对这 5 个功能区可腐有机物进行堆肥化处理。文章还利用单项污染指数及综合污染指数对杨凌城市生活垃圾中的重金属进行了评价, 确定了其主要污染元素, 文教区为 As 和 Cu, 其余区为 Cu 和 Zn, 并在大量调研的基础上提出杨凌城区垃圾重金属污染的防治对策。

[关键词] 城市生活垃圾; 重金属污染; 污染评价

[中图分类号] X705

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)01-0161-05

Pollution assessment of heavy metals in municipal solid waste of Yangling city

ZHANG Yong-tao, ZHANG Zeng-qiang, TANG Ci-lai, WANG Juan

(College of Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The contents of the heavy metals in municipal solid waste (MSW) of Yangling city were determined successively for one year (2004-03- 2005-02), with the method of sampling on the spot and the method of physical and chemical analysis. The results showed that the contents of Cr and As, Pb did not exceed the quality standard value of soil environment (II), As, Cu and Zn exceeded standard value occasionally in this 12 months; also the degree of the heavy metals pollution in the five function areas was given as follows: Gas consumption area > administrative areas and factory areas > coal consumption area and service area > Cultural and educational area > Entertainment area. Finally, compared with the Agriculture Control Standard of Town Refuse, the contents of Cr and Pb in the composted organic matter of MSW did not exceed the standard values and the contents of As exceeded the standard values occasionally. So the composted organic matter of MSW in the five function areas was suitable for composting disposal to produce organic compound fertilizer basically if they were treated well. And the heavy metals pollution was assessed by using the single-item pollution index and comprehensive pollution index. Then the main pollution elements and main pollutants were discussed. By investigation and research, the prevention countermeasures were proposed. Meanwhile, the effective basis would be offered to reduce and recycle innocuously the MSW.

Key words: municipal solid waste; pollution of heavy metal; pollution assessment

[收稿日期] 2005-12-28

[基金项目] 陕西省自然科学基金项目(2005C105); 陕西省科技攻关项目(2005K02-G05-04); 杨凌农业科技开发 A 类项目资助(2003JA 13)

[作者简介] 张永涛(1980-), 男, 陕西宝鸡人, 在读硕士, 主要从事固体废弃物资源化与处置研究。

[通讯作者] 张增强(1963-), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 主要从事固体废弃物处置与利用研究。E-mail: zhangzq58@126.com

城市生活垃圾是指在日常生活中或为城市日常生活提供服务的活动中产生的固体废弃物,以及法律、行政法规规定视为城市生活垃圾的固体废弃物。随着城市建设的发展和城市人口的增加,城市生活垃圾的产生量不断增加,垃圾污染已成为阻碍城市发展的严重社会问题。现阶段在处理生活垃圾的各种工艺中,都将垃圾中的重金属含量作为一个极为重要的指标^[1],尤其在生活垃圾堆肥处理工艺中,其重要地位更为突出,重金属含量是衡量堆肥产品质量的标准之一^[2]。重金属在环境中的污染特性表现为不能降解,不会消失,只发生形态和价态的变化。由于重金属迁移能力差,容易在土壤中积累,甚至可能转化为毒性更强的化合物(如甲基化合物),可以通过植物吸收而进入食物链,对人畜带来潜在的危害^[3]。因此,在处理生活垃圾的各种工艺中,若对重金属含量重视不够,将会导致与垃圾接触紧密的土壤环境、水环境、大气环境遭到二次污染。目前国内有关生活垃圾重金属污染评价的研究报道较少^[4-5],且尚未见对城市生活垃圾中重金属含量进行为期 1 年的动态监测,利用单项污染指数及综合污染指数进行重金属污染分级评价的研究报道。为此,本研究对陕西杨凌国家农业高新技术产业示范区城市生活垃圾中的重金属进行了动态监测及综合污染评价,并提出了防治对策,以期对废弃物减量化、无害化与资源化治理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

杨凌国家农业高新技术产业示范区,总面积 94 km²,总人口 14.6 万,新建区规划面积 22.12 km²,下辖县级杨陵区。示范区由国家科技部等 19 个部委(局)和陕西省人民政府联合共建,陕西省政府成立了由 34 个厅局组成的省内共建领导小组。

近年来,随着杨凌示范区拟建全国卫生城市,其城市生活垃圾的处理也提到议事日程上来。基于此,有必要对杨凌示范区的城市生活垃圾现状进行调查,为生活垃圾处理方案的选择提供依据。

1.2 研究方法

1.2.1 采样点布设和样品采集 按照城市生活垃圾采样和物理分析方法标准(CJ/T 3039-1995)进行。采样点的选择必须遵循 2 个原则:即该点垃圾应具有代表性和稳定性。在调查目的和主要功能分类的基础上,除考虑采样时间外,还要考虑采样位置。因此,在杨凌城区的康乐路东段、田园居小区、新

桥路、郜城广场和西农校区选取 5 个样点,其分别代表燃煤居民区和商店等服务区、燃气居民区、事业区和工厂区、娱乐广场和文教区 5 个不同的功能区生活垃圾中重金属的污染状况(图 1)。

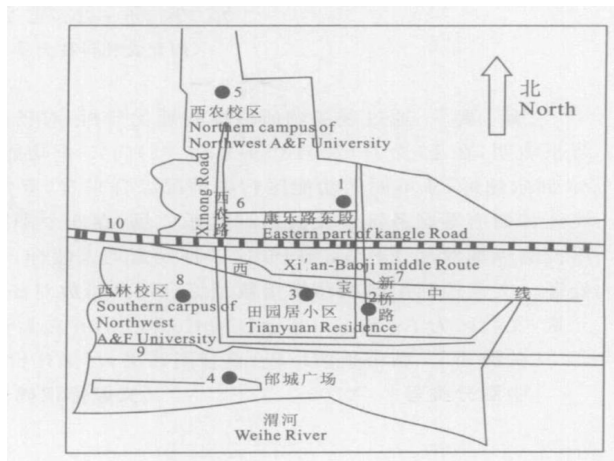


图 1 杨凌城市生活垃圾采样点的布设

1 康乐路东段; 2 新桥路; 3 田园居小区; 4 郜城广场; 5 西农校区; 6 西农路; 7 西宝中线; 8 西林校区; 9 西宝高速公路; 10 陇海铁路

Fig 1 Sampling sites of MSW in Yangling

1 East kangle road; 2 Xinqiao road; 3 Tianyuanju community; 4 Taicheng square; 5 Xinong campus; 6 Xinong road; 7 Xi'an-Baoji mid road line; 8 Xinlin campus; 9 Xi'an-Baoji expressway; 10 Lanzhou-Lianyungang railway

采样时间为 2004-03~2005-02, 为期 1 年, 每月采样 1 次, 但由于天气及其他因素影响, 测定了 9 个月的数值。将测定容重之后的垃圾样品过筛(孔径 17 mm), 按筛上可腐有机物、无机物、塑料和筛下混合物进行分类, 分装于塑料采样袋中, 并贴上标签运回实验室进行分析测定。塑料袋置于室内避风、阴凉处, 保存期不超过 24 h。用四分法取样品约 300 g 烘干, 测定含水率, 用粉碎机粉碎垃圾样品, 粒径约 1 mm, 装袋备用。

1.2.2 分析和评价方法 (1) 分析方法^[6-7]。测定方法参照国家建设部颁布的标准(CJ/T 97-1999, CJ/T 97-1999, GB/T 17138-1997)及国家城镇建设行业标准(CJ/T 101-1999)进行消解处理。其中, 总 As 含量测定采用 Ag-DDTC 法, 总 Cr 含量测定采用二苯碳酰二肼比色法, 总 Cu、总 Zn 和总 Pb 含量采用火焰原子吸收分光光度法。(2) 评价标准与方法。对于城市生活垃圾的评价, 我国并没有颁布统一的标准。因此, 本文评价采用《土壤环境质量标准》(GB 15618-95), 根据土壤适用的范围将土壤环境分为 3 类: 第一类主要适用于国家规定的自然保护

区、集中生活饮用水源地、茶园、牧场和其他保护区的土壤,土壤质量基本上保存自然背景水平;第二类主要适用于一般农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场等土壤,土壤质量基本上不对植物和环境造成危害和污染;第三类主要适用于林地土壤及高背景值土壤和矿产附近等地的农田土壤(蔬菜地除外),土壤质量基本上不对环境和植物造成危害和污染^[8-9]。优先考虑到杨凌城市生活垃圾的资源化,欲使其中的可腐有机物作为肥料施于农田土壤中,因此应评价城市生活垃圾中重金属含量水平能否对农田土壤产生影响。基于此,本文选取了土壤环境分类中第二类所对应的土壤环境质量二级标准。根据监测结果,康乐路、田园居筛上物和筛下物的水浸提液 pH 值为 6.7~7.5,故采用 pH 值为 6.5~7.5 的土壤环境质

量二级标准(见表 1)。新桥路、郃城广场、西农校区的筛上和筛下水浸提液 pH 值为 7.5~8.0,故采用 pH 值大于 7.5 的二级标准。评价方法采用常用的单项污染指数、综合污染指数进行评价。

单项污染指数,计算公式为 $P_{ij}=C_{ij}/S_i$, 式中: P_{ij} 为 j 生活垃圾样品中第 i 种重金属元素的污染指数, C_{ij} 为 j 生活垃圾样品中第 i 种重金属元素的监测值, S_i 为第 i 种重金属元素的标准值。综合污染指数,采用尼梅罗(Nemero)污染指数,其计算公式为: $P=[(P_{ave}^2+P_{max}^2)]^{1/2}$, 式中: P 为综合污染指数, P_{ave} 为生活垃圾重金属各单项污染指数(P_{ij})的平均值, P_{max} 为生活垃圾重金属各单项污染指数(P_{ij})的最大值。土壤污染分级标准见表 2, 其中 P 值越大,表示污染状况越严重。

表 1 土壤环境质量二级标准

Table 1 Quality standard of soil environment (II)				mg/kg
项目 Item s	杨凌土壤背景值 ^[10] Background value of soil in Yangling area	pH 值 pH value		
		< 6.5	6.5~7.5	> 7.5
总 As Total As	14.4	40	30	25
总 Cr Total Cr	68.1	150	200	250
总 Cu Total Cu	25.0	50	100	100
总 Pb Total Pb	15.2	250	300	350
总 Zn Total Zn	68.4	200	250	300

表 2 土壤污染分级标准^[8-9]

Table 2 Grading standard of soil pollution			
等级划定 Demarcated grade	综合污染指数 Comprehensive pollution index	污染等级 Pollution grade	污染水平 Pollution level
1	$P \leq 0.7$	安全 Safe	清洁 Clean
2	$0.7 < P \leq 1.0$	警戒线 Alarming	清洁 Hypo-clean
3	$1.0 < P \leq 2.0$	轻污染 Slightly polluted	土壤污染物超过其背景值, 视为轻污染, 作物开始受污染 The soil pollutants surpass its background value, which were regarded as slightly polluted, and the crops start to be polluted
4	$2.0 < P \leq 3.0$	中污染 Moderately polluted	土壤、作物均受到中度污染 The soil and the crops all receive moderate pollution
5	$P > 3.0$	重污染 Heavily polluted	土壤、作物受污染已相当严重 The soil and the crops are polluted quite seriously

2 结果与分析

对杨凌城市生活垃圾中的重金属含量进行测试,并计算其综合污染指数,结果见表 3。

由表 3 可以得出以下结果:

(1)从综合污染指数来看,康乐路筛上可腐有机物最大,其次为新桥路筛上可腐有机物、田园居小区筛上可腐有机物和筛下混合物、西农校区筛下混合物、郃城广场筛上可腐有机物、新桥路筛下混合物、西农校区筛上可腐有机物、康乐路筛下混合物、郃城

广场筛下混合物最小。从污染等级评价结果来看,康乐路、郃城广场筛下混合物属于尚清洁,达到了警戒线,要采取必要的措施加以防范,以防污染;其余的均属于轻污染,重金属污染已超过了土壤背景值,应采取必要手段控制或减轻污染。

(2)每个采样点生活垃圾中的重金属污染状况,代表了相应功能区中城市生活垃圾中的金属污染状况。从不同功能区的污染情况综合来看(单一功能区内生活垃圾筛上和筛下物重金属污染综合污染指数之和),重金属污染程度依次为燃气居民区>事业区

和工厂区> 燃煤居民区> 文教区> 娱乐广场。

表 3 杨凌城市生活垃圾的重金属评价结果

Table 3 Pollution evaluation of Heavy metals of M SW in Yangling

采样点* Sampling points	项目 Items	监测值(d w.)/(mg · kg ⁻¹) Monitored value (d w.)					P	等级 Grade
		As	Cr	Cu	Pb	Zn		
康乐路东段 East Kangle	筛上物 UFM	1 38~ 50 11	24 79~ 61 69	41 12~ 327 70	18 69~ 62 93	137 14~ 479 13	1 93	3
	年均值 A n n u a l m e a n	7 67	46 35	180 04	45 23	313 99		
	单项污染指数 SPI	0 058 9	0 231 8	1 800 4	0 150 8	1 256 0		
	筛下物 DFM	1 86~ 54 02	26 98~ 54 02	62 46~ 109 17	21 53~ 90 90	82 59~ 164 72	0 84	2
	年均值 A n n u a l m e a n	18 31	42 30	77 05	53 32	116 71		
	单项污染指数 SPI	0 061 0	0 211 5	0 770 5	0 177 7	0 466 8		
田园居小区 T i a n y u a n j u c o m m u n i t y	筛上物 UFM	6 62~ 34 98	14 74~ 34 98	41 12~ 273 61	9 18~ 33 21	164 98~ 392 97	1 39	3
	年均值 A n n u a l m e a n	20 30	23 06	128 82	22 64	264 95		
	单项污染指数 SPI	0 067 6	0 115 3	1 288 2	0 075 5	1 059 8		
	筛下物 DFM	6 89~ 53 10	13 03~ 29 12	119 68~ 172 90	18 10~ 87 45	199 09~ 406 43	1 59	3
	年均值 A n n u a l m e a n	22 53	20 80	147 59	55 29	274 05		
	单项污染指数 SPI	0 075 1	0 104 0	1 475 9	0 184 3	1 096 2		
新桥路 X i n q i a o r o a d	筛上物 UFM	2 44~ 31 96	10 3~ 31 96	69 88~ 271 58	37 7~ 95 44	114 4~ 635 53	1 70	3
	年均值 A n n u a l m e a n	13 35	24 92	155 33	63 83	345 35		
	单项污染指数 SPI	0 534 0	0 099 7	1 553 3	0 182 4	1 151 2		
	筛下物 DFM	3 38~ 36 77	16 06~ 47 97	67 02~ 170 55	17 40~ 93 50	90 44~ 370 94	1 19	3
	年均值 A n n u a l m e a n	18 00	35 65	104 91	72 44	209 63		
	单项污染指数 SPI	0 720 0	0 142 6	1 049 1	0 207 0	0 698 8		
邠城广场 T a i c h e n g s q u a r e	筛上物 UFM	0 8~ 14 7	17 87~ 44 55	47 2~ 250 31	7 40~ 26 64	73 42~ 656 54	1 40	3
	年均值 A n n u a l m e a n	9 16	34 05	128 73	17 74	295 64		
	单项污染指数 SPI	0 366 4	0 136 2	1 287 3	0 050 7	0 985 5		
	筛下物 DFM	3 74~ 15 07	19 38~ 46 20	33 99~ 105 59	9 51~ 67 58	38 74~ 442 48	0 78	2
	年均值 A n n u a l m e a n	9 05	38 92	67 34	34 78	198 25		
	单项污染指数 SPI	0 362 0	0 155 7	0 673 3	0 099 4	0 660 8		
西农校区 X i n o n g c a m p u s	筛上物 UFM	7 12~ 45 76	13 24~ 45 76	59 83~ 150 77	25 55~ 87 98	130 9~ 325 68	1 12	3
	年均值 A n n u a l m e a n	24 14	24 41	94 75	70 78	199 36		
	单项污染指数 SPI	0 965 6	0 097 6	0 947 5	0 202 2	0 664 5		
	筛下物 DFM	7 86~ 34 12	21 55~ 54 11	85 50~ 42 90	29 10~ 94 61	109 52~ 418 03	1 43	3
	年均值 A n n u a l m e a n	20 98	35 78	127 50	63 91	242 94		
	单项污染指数 SPI	0 839 2	0 143 1	1 275 0	0 182 6	0 809 8		

注: d w. 表示垃圾干基质量; UFM 表示筛上可腐有机物; DFM 表示筛下混合物; * 表示每个采样点有 9 个样本。
Note: d w. stands for the dry weight of M SW. UFM stands for the Upper-filter compostable organic material DFM stands for the down-filter material * 9 sampling numbers at every sampling point

(3) 根据单项污染指数评价结果可以确定主要的污染重金属元素。在燃气居民区、事业区、工厂区、燃煤居民区及娱乐广场, 主要污染元素均是 Cu 和 Zn; 在文教区, 主要污染元素是 As 和 Cu。有关城市生活垃圾不同组分中重金属的主要来源, 很多学者^[11-12]作了大量研究, 在生活垃圾各种组分中, 尘土的重金属含量最高, 塑料中的 Cd, Pb, 报纸中的 Cd, Cr, Cu, 电池中的 Hg, Zn 元素含量要远远高于其他垃圾组分中相应元素的含量。根据采样各组分实际, 杨凌城市生活垃圾中超标的 Cu, Zn 可能来源于尘土和腐蚀破损的电池, 筛上可腐有机物中超标的 Cu 可能来源于印刷纸品与塑料, 而筛下混合物中超标的 Cu, Zn, Pb, As 可能来源于尘土与一些小颗粒的

无机物。这与杨淑英等^[13]对杨凌城市生活垃圾重金属元素分析的结果基本一致。
鉴于杨凌农业高新技术产业示范区属于新型城市, 市区内很少有金属冶炼制造等造成重金属污染的企业, 并且在这 1 年内连续 9 次的采样分析中, 筛上可腐有机物(干基)中含有机质、全氮、全磷及全钾的质量分别达到了 442 7~ 749 5 g/kg, 8 0~ 13 4 g/kg, 1 2~ 2 9 g/kg 和 7 7~ 13 4 g/kg, 符合垃圾堆肥的养分条件^[14]。可以考虑对生活垃圾中可腐有机物作堆肥化处理。
将杨凌城市生活垃圾中重金属含量与城镇垃圾农用控制标准(GB 8172- 87)进行对比, 由于城镇垃圾农用控制标准中未对 Cu, Zn 2 种重金属元素

加以限定,不妨就以As, Cr, Pb 3种元素进行评价。其中城镇垃圾农用控制标准要求 $As < 30 \text{ mg/kg}$, $Cr < 300 \text{ mg/kg}$, $Pb < 100 \text{ mg/kg}$ 。在对杨凌城区5个不同功能区生活垃圾的采样分析中, Cr和Pb 2种元素均没有超标, As偶尔超标。因此,可以对这5个功能区筛上可腐有机物进行堆肥化处理,而对筛下混合物作卫生填埋处理。曾现来等^[15]对杨凌城市生活垃圾处理方案作了较为详尽的研究。

3 生活垃圾及重金属污染防治对策

根据以上分析,特提出如下控制重金属污染的建议:

(1) 提高公众环保意识,加强宣传教育。卢英方等^[16]认为,把环保意识渗透到居民的日常生活行为中,他们的举手之劳就能给周围环境的卫生水平及废物处理的提高带来成效。如在杨凌区政府机关、学校率先教育实施垃圾分类收集、提高环保意识。通过电视、广播等宣传媒体定期公布居民集中区的垃圾分类情况,积极引导、鼓励企业界加入到城市生活垃圾分类收集的队伍中,建立奖罚制度。

(2) 实施分类收集。我国目前大部分城市的生活垃圾仍采用混合收集,大量有害物质如干电池、废灯管等未经分类直接进入处理阶段,这无疑增大了垃圾中重金属的含量。因此,建议在杨凌城区街道(或人口密集区)设置写有“玻璃”、“金属”、“塑料橡胶”、“废纸类”、“旧电池”的资源分类箱,集中处理影响生活垃圾重金属含量的电池、印刷品及塑料橡胶等回收物,隔断可腐有机物与其接触的渠道,并且在干燥季节里保持街道和居民小区生活垃圾收集点周围环境的湿度,减少尘土对生活垃圾的污染,以便提高垃圾质量,进而增强生活垃圾的利用价值。

4 结 论

1) 对杨凌城区生活垃圾中重金属含量进行为期1年的动态监测结果表明:5个功能区中Cr, Pb含量均未超土壤环境质量二级标准, As, Cu, Zn 3种元素有不同程度的超标现象。

2) 利用单项污染指数及综合污染指数对5个功能区中垃圾重金属污染进行评价结果表明:重金属污染程度依次为燃气居民区> 事业区和工厂区> 燃

煤居民区> 文教区> 娱乐广场。

3) 在5个不同功能区中,将生活垃圾可腐有机物中重金属与城镇垃圾农用控制标准对比, Cr和Pb 2种元素均未超标, As偶尔超标,若加以控制,基本符合垃圾农用控制标准。可以考虑对5个功能区筛上可腐有机物进行堆肥化处理,用以生产有机肥,而对筛下混合物进行卫生填埋处理。

[参考文献]

- [1] Schreck P. Environmental impact of uncontrolled waste disposal in mining and industrial areas in central Germany[J]. *Environment Geology*, 1998, 35(1): 66-72
- [2] 蒋展鹏. 环境工程学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 462
- [3] 刘陪桐. 环境科学概论[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1995: 127
- [4] 林建伟, 王里奥, 赵建夫, 等. 三峡库区生活垃圾的重金属污染程度评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(1): 104-107
- [5] 任福民, 汝宜红, 许兆义, 等. 北京市生活垃圾重金属元素调查及污染特性分析[J]. *北方交通大学学报*, 2001, 25(4): 66-68
- [6] 郭 影, 徐晓华. 底泥中铜、铅、镉、镍的测定及对照实验[J]. *辽宁学刊: 自然科学版*, 1996, 7(3): 88-89
- [7] Zeng-Yei Hseu. Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods[J]. *Bioresour Technol*, 2004, 95: 53-59
- [8] 郑小林, 唐纯良, 郑华柳. 湛江市郊区菜园土壤重金属含量分析及其污染评价[J]. *农业环境与发展*, 2004, 21(1): 33-35
- [9] 孙 华, 孙 波, 张桃林. 江西省贵溪冶炼厂周围蔬菜地重金属污染状况评价研究[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(1): 70-72
- [10] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 329-380
- [11] 任福民, 汝宜红, 许兆义, 等. 北京市生活垃圾重金属元素调查及污染特性分析[J]. *北方交通大学学报*, 2001, 25(4): 66-69
- [12] 聂永丰. 三废处理工程技术手册固体废物卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 336
- [13] 杨淑英, 刘晓红, 张增强, 等. 杨凌城市生活垃圾中重金属元素的污染特性分析[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(1): 148-153
- [14] 赵由才. 固体废物污染控制与资源化[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 635-636
- [15] 曾现来, 张增强, 张永涛, 等. 杨凌示范区城市生活垃圾处理对策研究[J]. *环境卫生工程*, 2005, 13(6): 35-38
- [16] 卢英方, 孙向军. 中国城市生活垃圾分类收集对策探讨[J]. *环境卫生工程*, 2002, 10(1): 15-17