

海南省琼海市农村生活垃圾产生特征及就地处理实践

张 静¹, 仲跻胜², 邵立明², 何品晶²

(1.海南省环境科学研究院 固体废物管理科, 海南 海口 570206; 2.同济大学环境科学与工程学院, 固体废物处理与资源化研究所, 上海 200092)

摘 要:以海南省琼海市某村为研究对象,通过运行新建的农村生活垃圾收集处理示范工程,结合入户调查村民的社会经济状况,研究了海南省农村生活垃圾产生特征,并探讨农村生活垃圾就地处理的可行性。结果发现,以实际居住人口计的农村生活垃圾产生率约为 $0.227 \text{ kg} \cdot \text{capita}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$;其物理组分以易腐垃圾为主,占总量的 $40.4\% \pm 6.3\%$,惰性垃圾占总量的 $30.8\% \pm 6.2\%$,有毒有害生活垃圾量极少,占总量的 0.1% 。示范运行结果表明,以混合收集、人工分拣、可堆肥垃圾就地堆肥、惰性垃圾集中处置为特征的农村生活垃圾就地处理技术,减量率达到 50% 左右,无害化率达到 100% ,堆肥产品质量符合现行标准要求,具有技术可行性。示范工程的运行成本为 $304.5 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$,其中,收集 $239 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$,分拣和堆肥 $65.5 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 。按户籍人口计,年人均 18.7 元 ,仅为村民年纯收入的 0.4% 。示范工程运行得到村民的支持与欢迎,村民对垃圾收集处理付费支付意愿高达 95% ,表明实行村民付费解决长期运行费用具有可行性。

关键词:农村生活垃圾;产生特征;就地处理;海南省

中图分类号:X705 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)11-2422-06

Characteristics of Rural Household Solid Wastes and in Situ Treatment :A Case Study in Qionghai City of Hainan Province

ZHANG Jing¹, ZHONG Ji-sheng², SHAO Li-ming², HE Pin-jing²

(1.Management Division of Solid Waste, Hainan Research Academy of Environmental Sciences, Haikou 570206, China; 2.Institute of Waste Treatment & Reclamation, College of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The characteristics and management pattern of rural household solid waste (RHSW) in a village of Qionghai City in Hainan Province were investigated by operating a newly established collection and disposal system, and at the same time the socio-economic situation of villagers in the village was surveyed. Results showed that: The average output of RHSW was about $0.227 \text{ kg} \cdot \text{capita}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (calculated by resident population); The biodegradable organic fraction dominated in the RHSW components with a share of $40.4\% \pm 6.3\%$, followed by the inert fractions which comprised $30.8\% \pm 6.2\%$, while the harmful fractions only accounted for less than 0.1% ; The demonstration project used a technology characterized by combination of collecting, sorting and composting in situ. After treated by the technology, the RHSW weight was reduced by 50% , with the compost production meeting with current compost quality standards, which proven the technology was feasible. The total operating costs for the demonstration project was $304.5 \text{ yuan} \cdot \text{t}^{-1}$, while the collection costs was $239 \text{ yuan} \cdot \text{t}^{-1}$, and the sorting-composting costs was $65.5 \text{ yuan} \cdot \text{t}^{-1}$. The per capita annual cost for the demonstration project operation was 18.7 yuan (calculated by household registration population), only accounted for 0.4% of the per capita annual net income. This project had been supported by the villagers with willingness of paying for the costs which was up to 95% , which indicated the management pattern was economically feasible.

Keywords: rural household solid waste (RHSW); characteristics; treatment practice in situ; Hainan Province

农村生活垃圾(RHSW)是造成村镇环境卫生状

况恶化、形成面源污染负荷的重要污染源^[1],也是我国环境管理中长期忽视的环节。近年来,我国针对农村生活垃圾的研究与管理实践正在逐步强化,主要表现在农村生活垃圾产生特征分析与管理实践发展两个方面。

在产生特征分析方面,刘永德等^[2]依托建立的生

收稿日期:2009-08-14

基金项目:国家科技支撑计划项目(2008BAJ08B13,2006BAJ04A09)

作者简介:张 静(1972—),女,广东省五华县人,硕士,主要从事废物管理和环境影响评价方面的研究。

E-mail: hnsnow@163.com

通讯作者:何品晶 E-mail: solidwaste@tongji.edu.cn

活垃圾收集系统,对太湖流域农村的生活垃圾产生特征进行了持续的监测,发现与同区域的城市比较,农村居民产生的可收集垃圾量显著偏低,陈蓉等^[3]采用问卷调查方式,得到浙江省农村居民生活垃圾产率为 $1\text{ kg}\cdot\text{capita}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,与同区域的城市相当,郑玉涛等^[4]对京郊密云水库区域农村,采用入户调查等方法,得到旅游村、镇级村和一般村的居民生活垃圾产率分别为 0.41 、 0.39 和 $0.29\text{ kg}\cdot\text{capita}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,远低于北京城区居民的生活垃圾产率。由此可见,尽管已有了一定的农村生活垃圾产生状况数据分析积累,然而,由于其调查方法不统一,且农村的背景条件差异大,相互间的可参照性较差,还不能为管理提供可靠的依据。

在管理实践方面,主要的进展是东南沿海发达地区采用集中与分散2种模式,开始启动成片的农村生活垃圾处理设施建设。其中,集中模式与这些地区社会经济发展中的城乡一体化趋势一致,采用按县级行政区建设规模化垃圾处理终端设施,辅以覆盖全政区的垃圾收集运输体系,形成了“村收集、镇运输、县处理”的生活垃圾处理模式。分散模式则是针对上述集中模式运输成本高、不适于在人口密度较低政区应用的缺点,采取以镇或村为单元建设处理设施的方式实施。农村生活垃圾处理设施一般以填埋场为主,但由于规模效应导致经济性劣化,及村镇管理能力有限,这些填埋场的实际运行状况均与堆场无异,二次污染相当严重;另有部分区域采用的小型或露天焚烧,污染更为严重,焚烧时会产生大量的二恶英等剧毒和恶臭物质^[5]。如何发展适用于我国不同村镇条件的农村生活垃圾处理模式,仍具有极大的挑战性。

本文以具有代表性的海南农村为依托,通过建设和运行生活垃圾收集处理系统,研究海南地区的农村生活垃圾产生特征,并验证了生活垃圾就地处理的技术可行性;同时,通过对当地村民的问卷调查,结合当地社会经济、自然地理等因素,探索了适用于该区域的农村生活垃圾管理模式。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域简述

研究区域位于海南省琼海市龙江镇中洞村委会,地处万泉河中游南岸,距琼海市中心距离约30 km。村域总面积约 8 km^2 ,户籍人口3 034人。中洞村委会下辖21个居住片区(村民小组),其中的双举岭片区,有居民63户,户籍人口324人。该村是国家级文明生态村,交通方便,通讯发达,村中房屋整齐,巷道已基

本实现硬化;该村村民经济收入主要依靠种植橡胶、槟榔、椰子、冬季瓜菜等经济作物和养猪,2008年人均纯收入为4 150元,80%以上的村民建起了沼气池,用猪、牛、禽、人粪做沼气原料,利用沼气照明、煮饭,沼气渣作肥料,村民自种蔬菜,耕种方式为半机械化。该村的社会经济状况在海南省东部地区具有代表性。

1.2 研究方法

1.2.1 生活垃圾收集与就地处理流程

在研究村域建设了生活垃圾收集处理示范工程,其系统操作流程见图1。

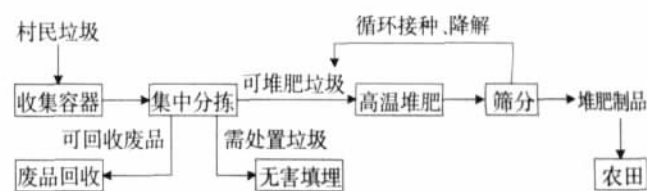


图1 村域生活垃圾收集处理系统操作流程

Figure 1 RHSW collection and disposal process of researched village

1.2.2 生活垃圾收集方法与收集率的测定

所研究村域的生活垃圾收集与处理示范工程,以两阶段的方式展开。在第1阶段,先建设服务于双举岭片区的先导工程,根据该村的住房分布特点及在太湖流域农村生活垃圾收集的实践经验^[2],采用6~8户配置一个移动式收集容器,并在村民习惯的垃圾投放点补充收集容器,共设置收集容器12个,每个容器130 L。垃圾收集操作采用定时、定点的作业方式,上午6点将容器以手推车运至分拣处理场地,清理垃圾后,清洗容器,再用于当天下午的垃圾收集。

第2阶段,服务范围扩大至整个中洞村委会下辖的21个居住片区,共设置收集容器107个,并划分为7个收集区,每区有1名收集员,负责每天下午5点前将容器放置到位,上午6点前将容器放置到指定集运点,租用机动车1辆,每天至各集运点将容器内垃圾装运至处理站。

在垃圾收集启动运行稳定后,采用对该村习惯的生活垃圾堆积点进行监测的方法测定生活垃圾收集率(R)。具体为:测定垃圾收集率之前,彻底清理或覆盖各生活垃圾堆积点,其后每7 d 1次,对各堆积点新增垃圾进行清理计量,其量为 w_1 ,在此期间收集的垃圾总量为 w_0 ,则 $R=w_0/(w_1+w_0)$ 。

1.2.3 生活垃圾处理操作

生活垃圾运至处理站后,由2名作业人员人工分

拣为:可回收废品(可出售纸、塑料、玻璃和金属等)、惰性垃圾(砖石、不可回收的塑料和玻璃等)、有害垃圾(废电池、废灯具、过期药品、农药等)及可堆肥垃圾(厨余、卫生纸、植物残余、灰渣)共 4 类;可回收废品暂存后,每月出售 1~2 次;惰性垃圾交龙江镇环卫人员外运填埋处置;有害垃圾以容器暂存,其后集中交由当地环保部门统一处置。

可堆肥垃圾在处理站分拣完成后就地进行堆肥。可堆肥垃圾与腐熟堆肥筛上物以 1:0.1~1:0.2 的比例混合后,在铺有 0.25 m 碎石的场地上堆置成条垛状进行堆肥处理。堆肥处理周期为 42 d,前 14 d,每天人工翻堆 1 次进行通风供氧;后 28 d,每周翻堆 1 次。前 14 d 不翻堆时,堆体始终以农用塑料膜覆盖保温、防雨;后 28 d,除降雨和晚上外,不进行覆盖,以充分利用自然通风供氧、干燥。处理完成后得到的腐熟堆肥进行人工筛分(20 mm×20 mm 钢丝网筛),筛下物为堆肥成品,供村民使用,筛上物作为接种物循环利用。

在堆肥的第 0、7、14、28、42 d 取样,取样方法以及含水率测定方法见《中华人民共和国城市建设行业标准 CJ/T 96—1999》。全氮测定采用半微量开氏法(《中华人民共和国农业行业标准 NY 525—2002》)。

1.2.4 生活垃圾物理组分分析方法

在每天收集的生活垃圾中取 20 kg 左右,人工分拣为不同物理组分(参照《城市生活垃圾采样和物理分析方法》(CJ/T 3039—1995))。

1.2.5 社会经济背景调查

为了解生活垃圾产生特征与农村社会经济状况的相关性,了解当地民众的环保诉求,探寻可长效运行的农村生活垃圾管理模式,配合示范工程进行了入户调查。调查内容包括:家庭收入、消费习惯、生活习惯、受教育程度、从业状况、家庭禽畜养殖、燃料的使用情况、对环境污染的认识、对生活垃圾处理的诉求、交费意愿、对堆肥产品的认识和接受程度。问卷调查覆盖了第 1 阶段先导工程服务的所有村民户。

2 结果与讨论

2.1 生活垃圾收集率与产生量

自垃圾收集启动后,每周 1 次的收集率监测结果显示 R 为 95%~99%,平均大于 97%,因此,可以认为收集量能代表收集服务村域的生活垃圾产生量。

第 1 阶段(2008 年 7 月至 2008 年 12 月)的垃圾收集量见图 2a,该阶段日均垃圾收集量为 48.8 kg,日

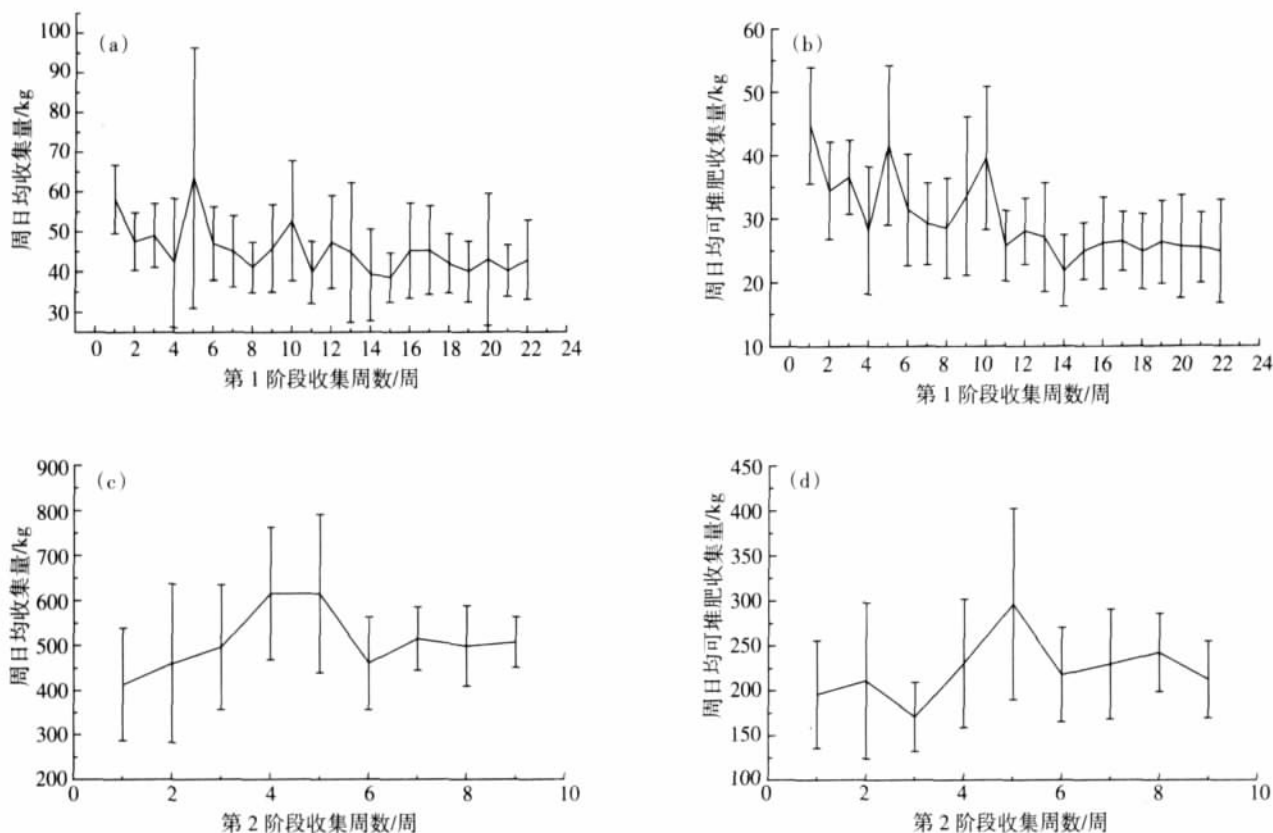


图 2 按周平均日收集生活垃圾量和可堆肥垃圾量(纵线表示变化幅度)

Figure 2 Quality of the average daily RSHW and compostable RSHW collection weekly

收集量极差为 47.8 kg, 以按每周平均的日收集量波动上下限为+30.3%和-18.4%。个别特别高的垃圾收集量主要出现在农村的红白喜事以及节庆期间。

第 1 阶段按户籍人口计的农村生活垃圾产生率为 0.151 kg·capita⁻¹·d⁻¹, 而以实际居住人口(该居住片区有 26%的户籍人口在外打工求学)计则为 0.205 kg·capita⁻¹·d⁻¹。与刘永德等^[2]研究发现的太湖流域等地农村生活垃圾产生率 0.15~0.27 kg·capita⁻¹·d⁻¹ 比较接近, 也与杨水文等^[6]对海南松涛水库流域农村研究发现的农村生活垃圾产生率 0.16 kg·capita⁻¹·d⁻¹ 的结果较为一致。

比较图 2a 和图 2b 可见, 垃圾收集量波动与可堆肥量波动基本一致。该村域垃圾量的波动主要是由瓜果蔬菜收获与消费的季节性变化引起的。

第 2 阶段(2009 年 3 月至 2009 年 6 月)的垃圾收集量见图 2c, 该阶段日均垃圾收集量为 280~800 kg·d⁻¹, 平均为 509 kg·d⁻¹, 按户籍人口计的农村垃圾产生率为 0.168 kg·capita⁻¹·d⁻¹, 按前述相同的外出人员比例, 则按实际居住人口计农村生活垃圾产生率为 0.227 kg·capita⁻¹·d⁻¹, 均略大于第 1 阶段, 可能与第 2 阶段收集范围包含街道、学校等非居民垃圾源有关。

2.2 生活垃圾物理组成

在生活垃圾收集处理期间, 第 1 阶段和第 2 阶段所收集的生活垃圾物理组成见表 1。从表 1 可见, 生活垃圾组成以易腐垃圾、灰渣为主, 两者合计占垃圾组成的 63%以上。其中, 果皮组分和厨余组分相当, 反映了海南农村的垃圾组分特征。废品类中, 塑料、纸类、玻璃等来源于包装物的组分较多, 织物等非耐用消费品类来源的较少, 既表明城市消费模式对农村的渗透, 也反映了在海南的气候条件下, 衣着等用品的消费比例低的状况。生活垃圾中以废电池为主的有害垃圾比例较稳定, 仅占 0.1%左右。

2.3 生活垃圾收集处理系统运行效果

2.3.1 生活垃圾的分拣分流效果

以第 2 阶段为例, 垃圾分拣分流的效果见图 3。由 2 名村民进行生活垃圾的分拣分流和堆肥作业。每

天实际工作时间约 6 h(含物理组成分选作业), 分拣净度达到预期要求(可堆肥垃圾纯度>90%, 可回收废品选别率>80%)。生活垃圾中的可回收废品(表 1 废品类中当地可实际交售部分, 主要是塑料、玻璃容器和金属)占收集量的 6%, 可堆肥垃圾(表 1 中易腐垃圾部分和燃料灰)占 44%, 就地处理合计减量率达 50%, 外运惰性垃圾占 50%。

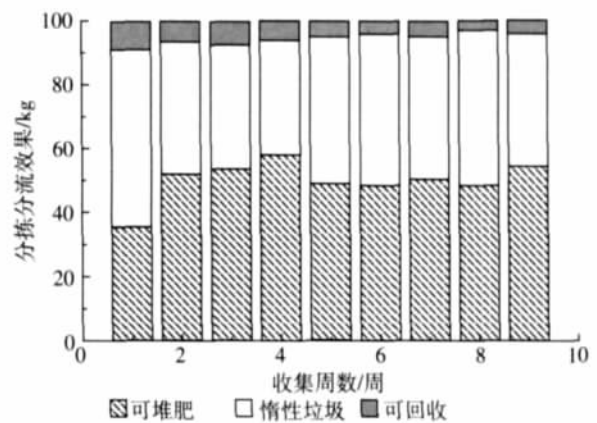


图 3 垃圾分拣分流的效果

Figure 3 Sorting efficiency of RSHW

2.3.2 堆肥处理

对各堆肥堆体前 14 d 的氧浓度和温度测试结果如图 4a 和图 4b 所示。

由图 4a 可见, 在堆肥处理的前 14 d, 堆体温度基本维持在 55~65 °C 的范围, 55 °C 以上维持时间大于 10 d, 完全可以满足无害化的要求(《城镇垃圾农用质量控制标准(GB 8172—87)》)。堆肥处理 12 d 后温度下降, 表明快速降解基本结束。与此相对应, 堆体中心的氧浓度在堆置开始的 1 d 以后, 即下降至 5% 左右, 并基本维持在 4%~6% 的范围, 直到第 13 d 后上升至 6%~7%(图 4b)。低氧浓度是微生物耗氧速率大于人工翻堆和自然通风进入堆体的氧气的结果, 且堆体维持这一浓度水平表明堆肥工艺操作方法是可行的, 氧浓度在第 13 d 以后的上升, 说明堆肥的快速降解阶段基本结束, 堆肥进入熟化阶段。不同时间堆体样品的有机物、含水率和总氮分析结果如表 2 所示。由表

表 1 生活垃圾物理组成(%)

Table 1 Physical composition of rural household solid waste(%)

组分	易腐垃圾				无机垃圾		废品						有害垃圾
	厨余	果皮	植物残余	小计	砖石	灰渣	塑料	纸类	织物	玻璃	金属	其他	
均值	16.4	17.6	6.4	40.4	2.1	23.0	13.3	7.7	1.0	3.9	0.7	5.5	0.1
范围	7.5~34.9	3.0~24.9	1.4~11.1	27.1~48.8	0.3~14.1	8.7~34.6	8.6~24.0	2.5~18.1	0.1~3.5	1.8~11.1	0.2~1.7	2.1~14.6	0.0~0.4

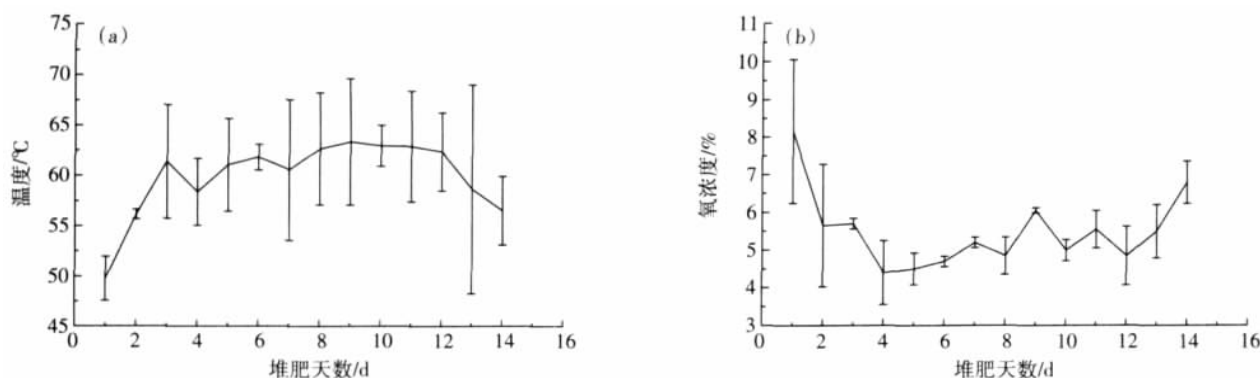


图 4 前 14 d 各堆体温度、氧浓度变化

Figure 4 Evolution of temperature and Oxygen concentration during the first 14 days

可见,堆肥过程中物料含水率和有机物含量持续下降,总氮含量在前 14 d 下降明显,应与高温条件下一定的氮挥发有关;14 d 后总氮含量稳定或略有上升,则说明在腐熟阶段,温度降低后,氮挥发受到限制,而有机物继续降解使物料总质量降低,可能相对增加了干物料中的氮含量。

堆肥 42 d 后产品的无害化相关指标测试结果(广西壮族自治区分析测试研究中心)见表 3。所有指标均符合现行生活垃圾农用标准(GB 8172—87)的要求。重金属含量因采用垃圾源头分拣,避免了有害垃圾的混入和玷污,而基本可以达到土壤环境质量标准(GB 15618—1995)的三级限值以下。

表 2 堆肥过程中物料组成的变化(%)

Table 2 Changes of the composition of composting materials during composting process(%)

堆制时间/d	含水率	有机物含量(干基)	全氮含量(干基)
0	48~62	33~49	1.2~2.9
7	29~52	24~43	1.1~2.9
14	37~46	24~33	1.0~1.5
42	32~38	20~29	1.4~2.0

表 3 堆肥产品无害化指标测试结果

Table 3 Compost product test results

检验项目	检验结果	检验方法
蛔虫卵死亡率	100%	GB 8172—1987
大肠菌值	0.04	GB 8172—1987
总镉/mg·kg ⁻¹	0.09	石墨炉原子吸收法
总汞/mg·kg ⁻¹	0.40	原子荧光
总铅/mg·kg ⁻¹	23.1	火焰原子吸收法
总铬/mg·kg ⁻¹	28.8	火焰原子吸收法
总砷/mg·kg ⁻¹	0.39	原子荧光法

2.4 村民满意度评价与支付意愿

与生活垃圾收集处理同步进行的村民意向调查结果表明,所有村民都对垃圾收集表示了支持态度,并愿意规范垃圾投放行为。在调查的 63 户村民中,除 3 户外务工者未表示意见外,60 户村民均愿意为垃圾收集处理支付必要的费用,这表明了村民对生活垃圾进行收集处理的需求,并且为今后通过村民自筹资金长期运行提供了依据。

2.5 运行经济评价

本堆肥示范工程采用人工翻堆强化通风的工艺,不耗费电能。以第 2 阶段运行结果为依据,运行耗费主要由人工费和收集车辆租用费构成。人工费包括 2 名全职人员(每天工作各 5 h 左右)和 7 名兼职人员(每天工作 1.5 h 左右),按当地经济水平,人均全职人员月工资 500 元,兼职人员月补贴人均 200 元,月人工费小计 2 400 元;日均车辆租用费 75 元(每天工作 2 h 左右),工程的月(30 d 计)运行费为 4 650 元。按实际处理量(509 kg·d⁻¹),示范工程总运行成本 304.5 元·t⁻¹。其中,收集 239 元·t⁻¹,分拣和堆肥 65.5 元·t⁻¹。运行成本按户籍人口计,年人均 18.7 元,仅为其纯收入的 0.4%,在村民合理负担的范围内。

2.6 讨论

上述实践结果表明,海南农村生活垃圾人均产生率远低于同一区域的城市,组分中易腐垃圾 40% 以上,通过人工分拣可将垃圾分类为:可回收废品、可堆肥垃圾、惰性垃圾 3 类,既可以减少 50% 左右的垃圾处置量,还可以回收部分废品和通过堆肥将易腐垃圾无害化、资源化,更重要的是,在需进一步处置的惰性垃圾(组成见表 1)中已不含生物可降解组分,实现了填埋场污染的源头控制;且外运的惰性垃圾也具有较高的热值,利于焚烧热能回收。这种就地处理方式,具

有解决我国当前农村生活垃圾处理共性问题的潜力,同时,其运行成本在村民可以承受的范围内,具有技术经济两方面的可行性。

3 结论

(1)实地研究海南省琼海市某行政村生活垃圾的产生特征,结果表明:生活垃圾产生率按实际居住人口计,为 $0.227 \text{ kg} \cdot \text{capita}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

(2)示范工程源头混合收集,末端分拣,将可堆肥垃圾就地堆肥无害化、资源化和惰性垃圾集中处置为特征的农村生活垃圾就地处理技术,经示范运行表明:减量率达到 50%左右,无害化率达到 100%,回收的堆肥质量符合现行标准要求,具有技术可行性。

(3)示范工程的运行成本为 $304.5 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$,其中,收集 $239 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$,分拣和堆肥 $65.5 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 。按户籍人口计,年人均 18.7 元,仅为其人均收入的 0.4%,在村民合理负担的范围内。工程运行期间,得到村民的支持与欢迎,入户调查显示村民具有 95%的运行费用支付意愿,表明这种农村生活垃圾处理模式具有社会与经济的可行性。

参考文献:

[1] 刘永德,何品晶,邵立明,等.太湖地区农村生活垃圾管理模式及处理技术方式探讨[J].农业环境科学学报,2005,24(6):1221-1225.

- LIU Yong-de, HE Pin-jing, SHAO Li-ming, et al. Management and treatment of rural refuse in Tailake region [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6):1221-1225.
- [2] 刘永德,何品晶,邵立明,等.太湖流域农村生活垃圾产生特征及其影响因素[J].农业环境科学学报,2005,24:533-537.
- LIU Yong-de, HE Pin-jing, SHAO Li-ming, et al. Production and feature of rural solid waste in Tailake region of China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24:533-537.
- [3] 陈蓉,单胜道,吴亚琪.浙江省农村生活垃圾区域特征及循环利用对策[J].浙江林学院学报,2008,25(5):644-649.
- CHEN Rong, SHAN Sheng-dao, WU Ya-qi. Regional characteristics of the domestic waste and its circular use in rural Zhejiang[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(5):644-649.
- [4] 郑玉涛,王晓燕,尹洁,等.水源保护区不同类型村庄生活垃圾产生特征分析[J].农业环境科学学报,2008,27(4):1450-1454.
- ZHENG Yu-tao, WANG Xiao-yan, YIN Jie, et al. Feature of rural solid waste from various types villages in sources water protection area [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(4):1450-1454.
- [5] Yasuhara A, Katami T, Okuda T, et al. Role of inorganic chlorides in formation of PCDDs, PCDFs, and coplanar PCBs from combustion of plastics, newspaper, and pulp in an incinerator[J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 36(18):3924-3927.
- [6] 杨水文,王里奥,岳建华,等.海南省松涛水库流域生活垃圾产生特征和现状[J].重庆大学学报(自然科学版),2007,30:123-126.
- YANG Shui-wen, WANG Li-ao, YUE Jian-hua, et al. Research of character and actuality of MSW in Songtao Reservoir region, Hainan Province[J]. *Journal of Chongqing University(Natural Science Edition)*, 2007, 30:123-126.