

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2014.0827

杨煜强, 王坤, 黄煥林, 等. 2015. 基于生活垃圾分类的厨余垃圾采样方法研究[J]. 环境科学学报, 35(2): 570-575

Yang Y Q, Wang K, Huang H L, et al. 2015. Kitchen waste sampling method based on domestic waste classification[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 35(2): 570-575

## 基于生活垃圾分类的厨余垃圾采样方法研究

杨煜强<sup>1,2</sup>, 王坤<sup>1</sup>, 黄煥林<sup>1</sup>, 殷峻<sup>1</sup>, 沈东升<sup>1</sup>, 龙於洋<sup>1,\*</sup>, 邵晓周<sup>2</sup>, 王静<sup>2</sup>

1. 浙江省固体废物处理与资源化重点实验室, 浙江工商大学环境科学与工程学院, 杭州 310012

2. 浙江蓝图环保有限公司, 杭州 310014

收稿日期: 2014-05-05 修回日期: 2014-07-12 录用日期: 2014-07-15

**摘要:** 与复杂的混合生活垃圾相比, 厨余垃圾成分较单一, 需要针对性的采样方法. 本研究基于生活垃圾分类背景, 在《生活垃圾采样和分析方法》(CJ/T 313—2009) 的基础上, 就采样位点和采样节点数对分类存放的厨余垃圾采样的影响展开研究. 研究表明, 仅采集垃圾桶中间位点的样品不具有代表性, 不同情景应有不同的采样策略. 当厨余垃圾流节点数少于 2 时需采集所有节点, 当厨余垃圾流节点数为 3~7 时需采集 2 个节点, 而当厨余垃圾节点数为 8~18 时需采集 3 个节点, 均少于 CJ/T 313—2009 中要求的采样节点数. 厨余垃圾的总量增大, 则其最少采样节点数相应上升, 但最少采样点受到厨余垃圾流节点数的制约.

**关键词:** 厨余垃圾; 垃圾分类; 采样方法; 采样节点; 采样位点

文章编号: 0253-2468(2015)02-570-06 中图分类号: X705 文献标识码: A

## Kitchen waste sampling method based on domestic waste classification

YANG Yuqiang<sup>1,2</sup>, WANG Kun<sup>1</sup>, HUANG Huanlin<sup>1</sup>, YIN Jun<sup>1</sup>, SHEN Dongsheng<sup>1</sup>, LONG Yuyang<sup>1,\*</sup>, SHAO Xiaozhou<sup>2</sup>, WANG Jing<sup>2</sup>

1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Solid Waste Treatment and Recycling, School of Environmental Science and Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310012

2. Zhejiang Lantu Environmental Protection Co., Ltd., Hangzhou 310014

Received 5 May 2014; received in revised form 12 July 2014; accepted 15 July 2014

**Abstract:** Compared with the complicated mixed domestic waste, kitchen waste needs a designated sampling method due to its single composition. Based on the background of domestic waste classification and the standard sampling and analysis methods for domestic waste (CJ/T 313—2009), this study was carried out to investigate the effect of sampling points and positions on the classified kitchen waste's nature. It is indicated that the sample only from the middle position of container is not representative, and sampling strategy should differ with the kitchen waste points. Namely, all points should be sampled when the kitchen waste is no more than two, only two points should be sampled when it is 3 to 7, while three points must be sampled when it is 8 to 18. The sampling points are obviously less than the same scenarios defined in CJ/T 313—2009. The minimal sampling points increases with the increasing of kitchen waste amount, but the sampling position still depends on the sampling points.

**Keywords:** kitchen waste; waste classification; sampling method; sampling point; sampling position

### 1 引言 (Introduction)

我国生活垃圾的清运量逐年增加, 2009 年全国生活垃圾清运量为 15733.7 万 t, 2010 年和 2011 年则分别增至 15804.8 万 t 和 16395.3 万 t (中国统计年鉴, 2011; 中国统计年鉴, 2012). 为了缓解垃圾处理工作的压力及保护资源和能源, 我国部分地区逐

步开展了垃圾分类和回收利用的工作 (隋玉梅等, 2010; 黄宝成等, 2011; 刘国卿等, 2012). 厨余垃圾约占生活垃圾总量的 45%~65% (倪娜等, 2005; 何晟等, 2008; 陶雪峰等, 2009; 马铮铮, 2012), 其高效处理对生活垃圾的处置具有举足轻重的作用.

因生活垃圾异质性特征, 代表性样品的获取往往成为了合理而准确指导生活垃圾处理处置的关

基金项目: 国家自然科学基金 (No.41101453); 浙江省自然科学基金 (No.LY14D010001)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.41101453) and the Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. LY14D010001)

作者简介: 杨煜强 (1989—), 男, E-mail: yangyuqiang1989@163.com; \* 通讯作者 (责任作者), E-mail: longyy@zjgsu.edu.cn

Biography: YANG Yuqiang (1989—), male, E-mail: yangyuqiang1989@163.com; \* Corresponding author, E-mail: longyy@zjgsu.edu.cn

键步骤之一,为此,我国出台了《生活垃圾采样和分析方法》(CJ/T 313—2009).随着目前我国逐步推进的生活垃圾分类举措,作为垃圾中占绝对组分的厨余垃圾,其分类成效、后续处理处置等方面均有待于合理、准确而快速的采样分析予以评判和指导.然而,目前我国尚未有专门针对厨余垃圾的成熟采样方法及调查采样标准,基本沿用《生活垃圾采样和分析方法》(CJ/T 313—2009),生活垃圾的高含水量和高有机质含量基本由厨余垃圾贡献(Zhang *et al.*, 2007, Ke *et al.*, 2010),同时厨余垃圾作为生活垃圾的主要组分,其混杂性低于生活垃圾,因此,厨余垃圾的采样要求较生活垃圾存在可能的差异.基于以上因素,沿用(CJ/T 313—2009)进行厨余垃圾采样,不仅造成人力、物力的浪费,还可能会导致调查结果和实际情况存在偏差,就此本研究开展厨余垃圾的采样方法研究,以期厨余垃圾资源化处理过程中的监测分析提供准确、高效的采样方法.

## 2 材料与方法(Materials and methods)

### 2.1 采样地点

选择杭州市垃圾分类试点推行效果最佳的某大型社区为研究对象,该社区垃圾分类准确率维持在 85%左右,垃圾投放正确率达 95%以上.根据该社区特征,将其划分为 5 个片区,分别用 A、B、C、D、E 表示,其基本信息详见表 1.其中, A、D、E 的厨余垃圾中其它垃圾的含量均在 5%以下; C 分类效率稍差,不同节点之间垃圾混杂程度存在显著差异( $p < 0.05$ ); B 分类效率最差,厨余垃圾流节点中存在装其它垃圾的袋子和厨余垃圾袋共存的情况.单个厨余垃圾流节点的容量为 240 L, A 和 B 每个厨余垃圾流节点中垃圾量均超过总容量的 2/3,其余片区每个厨余垃圾流节点的垃圾量均低于总容量的 1/2,少数节点的垃圾只有总容量的 1/5 左右.

表 1 供试社区各片区基本信息

Table 1 Basic information of the tested communities

片区	厨余垃圾流节点/个	户数/户	垃圾质量/kg
A	2	400	336
B	6	879	1440
C	7	380	360
D	11	800	840
E	18	2004	1464

注:垃圾质量为厨余垃圾和其中混杂的其它未完全分类出的垃圾的总质量,采样时距上一次清运间隔为 23~25 h,因此,该垃圾质量为供试社区的日产生量.

### 2.2 采样方法

采样方法分为两部分:采样位点影响研究和采样节点数影响研究.采样时间为 2012 年 10 月中下旬.

2.2.1 采样位点的研究方案 当单个节点垃圾量超过该节点容量的 2/3 时,对该节点实行不同位点采样.由表 1 可知, A 和 B 符合不同位点采样的要求.将符合要求的每个节点分为上、中、下 3 个位点,对每个节点分别制备中间位点样品和 3 个位点混合样品,然后分别制备 2、3 和 4 个节点中间位点的混合样品及相对应的 3 个位点的混合样品.

2.2.2 采样点数的研究方案 参考 CJ/T 313—2009 设置厨余垃圾的采样节点数,当节点数为 2 时,对所有节点进行样品采集;当节点数为 6~7 时,分别对 2、3 和 4 个节点的厨余垃圾进行样品采集;当节点数为 11 时,分别对 3、4 和 5 个节点的厨余垃圾进行采样;当节点数为 18 时,分别对 3、4、5 和 6 个节点的厨余垃圾进行采样.

### 2.3 采样与制样

称量并记录每个厨余垃圾流节点垃圾的质量(包括节点内的其他垃圾),对调查范围内的所有节点的垃圾首先进行破袋,然后用夹子剔除明显的杂物,最后混匀(不同节点之间不发生混杂,分位点采样时不同位点之间不发生混杂).将充分混匀后的每个节点的垃圾首先堆成圆形,然后按照十字将其均匀四等分,舍弃其中对角的两份,余下部分重复上述步骤,直至余下部分垃圾的质量满足采样需求.每个节点均按照上述的四分法获取 5 kg 初级样品(需要分位点采样时,3 个位点分别制备样品,每一位点制得 2 kg 初级样品),然后用剪刀完成对初级样品的预破碎(破碎至 2~3 cm).最终按照节点之间的质量比和 2.2 节的研究方案获得各采样方式的代表性样品,每个样品的质量在 0.8~1.0 kg 之间.

在测定厨余垃圾相关特性之前,先将样品人工破碎至 10 mm 左右,然后投入食物搅拌机内对其进行深度破碎(5 mm 以下)和混匀.

### 2.4 样品测定

浸提液制备参照文献(Chikae *et al.*, 2006)方法,按照 1:5(湿样 20 g:蒸馏水 100 mL)的比例进行浸提,浸提温度 30 ℃,转速 130 r·min<sup>-1</sup>,时间 30 min;将浸提液进行离心,离心转速 13000 r·min<sup>-1</sup>,时间 5 min,离心之后取其上清液用于测定盐度和 pH.每个样品均制备 3 个平行浸提液.

pH 用 pH 计 (Mettler Seven Multi) 测定 (APHA, 1998); 盐度用电导率仪 (Mettler FiveEasy) 测定 (Chikae *et al.*, 2006), 最终换算成单位质量的干样中盐分的含量; 含水率用恒温鼓风烘箱 (GZX-9076 MBE) 进行测定, 在 105 °C 下烘干 5 h (Chikae *et al.*, 2006); TC 测定时, 在 600 °C 下灼烧 2 h (屈超蜀等, 1994). 所有样品均平行测定 3 次, 数据统计分析采用 SPSS Statistics 17.0.

### 3 结果与分析 (Results and analysis)

#### 3.1 厨余垃圾特性分析

厨余垃圾卫生填埋、焚烧、堆肥、厌氧消化等过程中, 含水率影响其处理处置的效率 (Chang *et al.*, 2008; Petric *et al.*, 2009). 报道显示, 厨余垃圾的 pH 和含盐量会影响生化过程 (Miller, 1992; Yang *et al.*, 2013). 厨余垃圾的有机质是其资源化的前提, TC 常用于表征厨余垃圾中有机质的含量 (Barrington *et al.*, 2002). 因此, 本研究中选择含水率、pH、盐度和 TC 作为考察指标.

分析采样结果可知, 采样社区的厨余垃圾 pH 值为  $5.20 \pm 0.29$ , 含水率为  $79.80\% \pm 3.62\%$ , TC 为  $(490.17 \pm 28.70) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (以干重计, 下同), 盐度为  $(46.44 \pm 14.21) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (以干重计, 下同). 其中, pH、含水率和 TC 值波动较小, 这可能是因为一个地区的食材往往受到地域的限制, 而厨余垃圾的特性会受到原材料的影响, 从而呈现上述特征. 但盐度变化范围较广, 没有表现出和上述 3 个指标相似的规律, 这主要是因为盐度并不完全受食物原材料的影响, 首先食物制作方式会影响食盐添加量 (毛羽扬, 1999), 其次厨余垃圾中餐后残余物和食物制作过程中产生的废弃物的比例不确定, 从而也使得厨余垃圾的盐度不确定.

研究显示, 生活垃圾的含水率一般为 55% ~ 65%, TC 为 300 ~ 400  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (李东等, 2001; 唐次来等, 2006; 赵蔚蔚, 2006; 吴亚娟等, 2012). 由此可知, 生活垃圾和厨余垃圾相比, 含水率和 TC 都要偏小, 这说明厨余垃圾和生活垃圾在理化特性上存在显著差异, 该差异主要是因为生活垃圾中存在大量的其它组分. 因此, 将厨余垃圾和生活垃圾进行区别对待, 研究针对厨余垃圾的采样方法有利于更准确地获取厨余垃圾相关特性.

#### 3.2 采样位点对采样代表性的影响

采样位点对样品特征的影响结果如表 2 所示,

可知 pH 在每次分析中都显示差异显著. 这可能是因为厨余垃圾在堆放过程中存在发酵现象, 导致 pH 发生变化 (Nair *et al.*, 2010), 而且由于位点在节点内是按照上、中、下分布的, 重力原因导致各位点的厨余垃圾的压实程度、孔隙度都存在差异, 位点越深压实程度越大、孔隙度越小 (Huet *et al.*, 2012). 同时, 每个位点的厨余垃圾产生和投放的时间存在差异, 这些都会使得每个位点的厨余垃圾发酵程度不同, 导致各位点 pH 的变化情况不同 (刘盛萍等, 2011; Huet *et al.*, 2012).

表 2 不同采样位点的显著性分析结论

Table 2 Conclusion of significance analysis with different sampling sites

采样方式	p 值			
	pH	盐度	含水率	TC
A <sub>2中</sub> &A <sub>2</sub>	0	0	0.013	0.003
B <sub>2中</sub> &B <sub>2</sub>	0	0.297	0.225	0.024
B <sub>2中</sub> &B <sub>3</sub>	0	0.911	0.567	0.141
B <sub>2中</sub> &B <sub>4</sub>	0	0.282	0.005	0.008
B <sub>3中</sub> &B <sub>3</sub>	0.033	0.309	0.994	0.208
B <sub>3中</sub> &B <sub>4</sub>	0	0.958	0.022	0.014
B <sub>4中</sub> &B <sub>4</sub>	0	0.202	0.010	0.034

注: A<sub>2中</sub>代表 A 片区 2 个节点中间采样位点, A<sub>2</sub>代表 A 片区 2 个节点 3 个采样位点, 其它以此类推; 4 个指标显著性分析结果为 3 个指标变化不显著或 4 个指标变化均不显著, 则认为两个样品之间不存在显著差异 ( $p < 0.05$ ).

对一特征相对稳定且在一定范围内波动的群体进行调查时, 样本数量进一步增加, 其所代表的特性与调查范围内整体特性的重合程度就更高 (方萍等, 2003), 意味着样本数量逐渐增大取样平行之间的差异会逐渐缩小. 根据这一现象本文通过评价采样数据之间的差异性来判断该采样数据代表的厨余垃圾采样方式是否可行. 从表 2 可知, 只有当采样节点数为 3 时, 2 个节点的中间位点和 3 个节点的中间位点的厨余垃圾特性才能够代表 3 个节点所有位点的厨余垃圾特性, 其它情况下中间位点均不能代表总体. 这主要是因为垃圾投放过程中是以家庭为单位, 同时为了保证节点的卫生状况, 最终是以袋装密封的形式完成投放, 这就决定了节点内厨余垃圾不存在自然混合的现象, 这使得对中间位点进行采样只是对出现在中间位点的几个垃圾袋中的厨余垃圾进行了采样, 实际上人为地在 1 个总体样本中划分了 1 个采样区间, 缩小了采样的范围. 由此可见, 对于厨余垃圾这种变异性较大的样品, 在不改变结果精度的前提下, 减小采样规模会

降低采样结果的代表性.因此不能用采集中间位点样品的方式来表征总体厨余垃圾的特性,在进行厨余垃圾采样时必须对节点内所有位点的厨余垃圾都进行采集.

### 3.3 采样点数对采样代表性的影响

从表 3 中 4 个指标的显著性分析结果可知,不同采样节点数之间的 pH 值最容易出现显著性差异,这可能是由于厨余垃圾流节点内的厨余垃圾在堆放期间产生了发酵现象.研究表明,发酵初期 pH 值会发生一定的下降 (O'Keefe *et al.*, 2000; Lay *et al.*, 2003; 董永亮, 2011), 而且不同厨余垃圾流节点内的厨余垃圾组成成分不同、堆放时间长短不一,这会使得不同厨余垃圾流节点内的厨余垃圾的发酵程度有所区别,从而导致了 pH 的差异.研究发现,在氧气量充足的条件下,厨余垃圾 24 h 左右 TC 值变化在 5% 左右 (Chang *et al.*, 2006).厨余垃圾在垃圾流节点的堆放时间一般不会超过 24 h,该社区的厨余垃圾均是装袋之后密闭投放,因此,在缺氧条件下厨余垃圾流节点的厨余垃圾 TC 值变化并不明显.同时,由于厨余垃圾是密闭投放的,不会因

表 3 不同采样点数的显著性分析结论

Table 3 Conclusion of significance analysis with different sampling points

节点数	采样方式	p 值			
		pH	盐度	含水率	TC
6	B <sub>2</sub> &B <sub>3</sub>	0.042	0.351	0.516	0.413
	B <sub>2</sub> &B <sub>4</sub>	0	0.974	0.094	0.649
	B <sub>3</sub> &B <sub>4</sub>	0.058	0.334	0.022	0.205
7	C <sub>2</sub> &C <sub>3</sub>	0.201	0.852	0.254	0.860
	C <sub>2</sub> &C <sub>4</sub>	0.152	0.764	0.728	0.162
	C <sub>3</sub> &C <sub>4</sub>	0.871	0.910	0.422	0.218
11	D <sub>3</sub> &D <sub>4</sub>	0.173	0.653	0.423	0.087
	D <sub>3</sub> &D <sub>5</sub>	0.007	0.054	0.332	0.459
	D <sub>4</sub> &D <sub>5</sub>	0.134	0.129	0.862	0.018
18	E <sub>3</sub> &E <sub>4</sub>	0.160	0.147	0.315	0.199
	E <sub>3</sub> &E <sub>5</sub>	0.127	0.703	0.318	0.675
	E <sub>3</sub> &E <sub>6</sub>	0.672	0.871	0.754	0.500
	E <sub>4</sub> &E <sub>5</sub>	0.007	0.354	0.920	0.119
	E <sub>4</sub> &E <sub>6</sub>	0.070	0.108	0.486	0.053
	E <sub>5</sub> &E <sub>6</sub>	0.246	0.599	0.470	0.853

注: B<sub>2</sub>代表 B 片区 2 个桶(厨余垃圾流节点)所有位置采样的结果,其它以此类推.4 个指标显著性分析结果为 3 个指标变化不显著或 4 个指标变化均不显著,则认为两个样品之间不存在显著差异 ( $p < 0.05$ ).

为蒸发导致水分的散失,因此,含水率在短时间内并不会发生明显的变化.盐分在堆放过程中并不会发生流失,因此,其在堆放期间不会发生显著变化.

由节点数为 6 和 7 的结果可知,当厨余垃圾节点数为 1~2 时,需要采集所有节点,这和生活垃圾采样要求的节点数是一致的;当垃圾节点数为 3 时,需要采集 2 个节点,比生活垃圾采样要求的节点数少 1 个;当垃圾节点数为 4~7 时,也只需要采集 2 个节点,明显少于生活垃圾采样要求的节点数(表 4).分析节点数为 11 和 18 的结果可知,3 个节点的结果能够代表 4 个节点的结果,这和节点数为 6 和 7 时的结果一致;同时可知,当厨余垃圾流节点数为 11~18 时,只需要采集 3 个节点,同样明显少于生活垃圾采样要求的节点数.

综上所述,厨余垃圾采样过程中最少采样点数的选择情况如表 4 所示.由表 4 可知,当厨余垃圾流节点数在 3~18 时,对厨余垃圾进行采样时选择的采样点数量可以少于 CJ/T 313—2009 要求的采样点数,这符合厨余垃圾组分较生活垃圾组分相对单一的现象.从统计的角度考虑调查对象自身变异性较大时,需要抽查更多的样本才能保证调查结果的可信,即生活垃圾较厨余垃圾在相同条件下需要抽查更多的样本才能获得代表性数据,这和上述结论是一致的.但当厨余垃圾流节点数少于 3 时,厨余垃圾采样点数和生活垃圾采样点数一致,并没有呈现出不同的结果,这主要是因为厨余垃圾和生活垃圾一样不属于均质的体系,从统计学意义上分析,当所调查对象本身特性变异较大且样本数较少时,不能用单一样本代表总体(方萍等, 2003);当厨余垃圾流节点数逐步增多时,需要采集的采样点数也从 2 个增加为 3 个,这是因为当总体样本数越大,且结果要求的精度不发生改变时,为了获得具有代表性的结果所需样本数就越大(方萍等, 2003).

表 4 相同垃圾流节点下厨余垃圾最少采样节点数与生活垃圾最少采样节点数的比较

Table 4 Comparison of minimum sampling nodes between kitchen waste and domestic waste under the same waste nodes

垃圾流节点数量	厨余垃圾最少采样节点数	生活垃圾最少采样节点数
1~2	所有	所有
3	2	所有
4~7	2	4~5
8~18	3	4~5

注:生活垃圾最少采样点数的结论来自于 CJ/T 313—2009.

### 3.4 垃圾质量对采样点数的影响

由表 5 可知,随着厨余垃圾总量的增加,获取代表性样品所需的最少采样点数也相应增加.其中,B 片区厨余垃圾流节点中存在装其它垃圾的袋子和厨余垃圾袋共存的情况,B 片区的垃圾质量不能代表实际厨余垃圾的质量.有研究表明,杭州市厨余垃圾占生活垃圾总量的 45.15%~56.75% (倪娜等, 2005),因此,可近似认为 B 片区的厨余垃圾质量为 720 kg.分别分析最少采样点数为 2 和 3 这两种状况可知,厨余垃圾量对最少采样点数的影响不如垃圾流节点数对最少采样点数的影响显著,这可能是因为在样品采集时同一节点内的所有垃圾都会被混匀,在实际采样过程中每个节点的垃圾就是一种较为均一的采样对象,从而将所有差异性都体现在垃圾流节点数的区别上.

表 5 垃圾质量对采样点数的影响

Table 5 Effect of the quantity of waste on minimum sampling nodes

片区	垃圾流节点数量	垃圾质量/kg	厨余垃圾最少采样点数
A	2	336	2
B	6	1440	2
C	7	360	2
D	11	840	3
E	18	1464	3

## 4 结论 (Conclusions)

1) 基于垃圾实行分类的前提,厨余垃圾采样过程中,单独采集各垃圾流节点中间层的厨余垃圾不能代表整体厨余垃圾的特性 ( $p < 0.05$ ).为了获取厨余垃圾代表性样品,当厨余垃圾流节点数为 1~2 时,需要采集所有节点;当厨余垃圾流节点数为 3 时,需要采集 2 个节点;当垃圾节点数为 4~7 时,也只需要采集 2 个节点;当厨余垃圾节点数为 8~18 时,需要采集 3 个节点.当厨余垃圾节点数为 3~18 时,厨余垃圾调查采样所需节点均少于生活垃圾采样标准 CJ/T 313—2009 中要求的采样节点数.

2) 厨余垃圾最少采样点数的选择主要受到厨余垃圾流节点数的影响,在垃圾流节点一定的情况下,厨余垃圾的量并不会左右厨余垃圾最少采样点数.

责任作者简介:龙於洋,副研究员,研究方向:固体废物处理与资源化.E-mail: longyy@zjgsu.edu.cn.

## 参考文献 (References):

- APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th ed.) [M]. Washington, DC: American Public Health Association. 276
- Barrington S, Choinière D, Trigui M, et al. 2002. SE—Structures and environment: Compost airflow resistance [J]. Biosystems Engineering, 81(4): 433-441
- Chang J I, Tsai J J, Wu K H. 2006. Thermophilic composting of food waste [J]. Bioresource Technology, 97(1): 116-122
- Chang J I, Hsu T E. 2008. Effects of compositions on food waste composting [J]. Bioresource Technology, 99(17): 8068-8074
- Chikae M, Ikeda R, Kerman K, et al. 2006. Estimation of maturity of compost from food wastes and agro-residues by multiple regression analysis [J]. Bioresource Technology, 97(16): 1979-1985
- 董永亮. 2011. 果蔬废弃物两相厌氧消化特征研究 [J]. 能源环境保护, 25(4): 19-23; 28
- 方萍, 何延. 2003. 试验设计与统计 [M]. 杭州: 浙江大学出版社. 91
- 国家统计局. 2011. 中国统计年鉴 2010 [M]. 北京: 中国统计出版社
- 国家统计局. 2012. 中国统计年鉴 2011 [M]. 北京: 中国统计出版社
- 何晟, 朱水元, 郁莉强. 2008. 苏州市生活垃圾特性分析及处理对策 [J]. 环境卫生工程, 16(6): 62-64
- 黄宝成, 张钊彬, 赵婷婷, 等. 2011. 杭州市生活垃圾分类收集实施情况调查及分析 [J]. 环境污染与防治, 33(7): 102-104; 110
- Huet J, Druille C, Trémier A, et al. 2012. The impact of compaction, moisture content, particle size and type of bulking agent on initial physical properties of sludge-bulking agent mixtures before composting [J]. Bioresource Technology, 114: 428-436
- Ke G R, Lai C M, Liu Y Y, et al. 2010. Inoculation of food waste with the thermo-tolerant lipolytic actinomycete *Thermoactinomyces vulgaris* A31 and maturity evaluation of the compost [J]. Bioresource Technology, 101(19): 7424-7431
- Lay J J, Fan K S, Chang J, et al. 2003. Influence of chemical nature of organic wastes on their conversion to hydrogen by heat-shock digested sludge [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 28(12): 1361-1367
- 李东, 顾恒岳. 2001. 重庆市主城区生活垃圾现状调查与分析 [J]. 重庆环境科学, 23(1): 67-69
- 刘国卿, 刘德全, 李志刚, 等. 2012. 深圳市垃圾分类现状和对策研究 [J]. 环境卫生工程, 20(2): 43-44; 48
- 刘盛萍, 俞志敏, 吴克, 等. 2011. 生物垃圾堆肥的影响因素及反应动力学研究 [J]. 安徽农业科学, 39(15): 8965-8966; 8971
- 马铮铮. 2012. 沈阳市生活垃圾调查及处置方式研究 [J]. 环境卫生工程, 18(2): 13-14; 18
- 毛羽扬. 1999. 食盐在烹饪调味中的作用 [J]. 中国调味品, (5): 23-24
- Miller F C. 1992. Composting as a Process based on the Control of Ecologically Selective Factors // Metting F B Jr. Soil Microbial Ecology Applications in Agriculture and Management [M]. New York: Marcel Dekker, Inc. 515-544
- Nair J, Okamitsu K. 2010. Microbial inoculants for small scale composting of putrescible kitchen wastes [J]. Waste Management, 30(6):

- 977-982
- 倪娜,洪国才.2005.杭州市城市生活垃圾物理化学特性及处置对策[J].环境卫生工程,13(5): 31-33
- O'Keefe D M, Chynoweth D P. 2000. Influence of phase separation, leachate recycle and aeration on treatment of municipal solid waste in simulated landfill cells [J]. *Bioresource Technology*, 72(1): 55-66
- Petric I, Šestan A, Šestan I. 2009. Influence of initial moisture content on the composting of poultry manure with wheat straw [J]. *Biosystems Engineering*, 104(1): 125-134
- 屈超蜀,唐炜柏,代贵.1994.城市生活垃圾处理工程[M].重庆:重庆大学出版社.25
- 隋玉梅,李振山,曲晓燕,等.2010.北京市生活垃圾分类小区垃圾桶配置的模拟计算[J].北京大学学报(自然科学版),46(2): 265-270
- 唐次来,张增强,张永涛,等.2006.杨凌示范区城市生活垃圾的理化性质及处理对策研究[J].农业环境科学学报,25(5): 1365-1370
- 陶雪峰,黄涛,杨海静,等.2009.成都市中心城区生活垃圾调查与分析[J].广东农业科学,(1): 94-96
- 吴亚娟,刘红梅,陆胜勇,等.2012.城市生活垃圾组分低温干燥特性及模型研究[J].环境科学,33(6): 2110-2117
- Yang Y Q, Shen D S, Li N, *et al.* 2013. Co-digestion of kitchen waste and fruit-vegetable waste by two-phase anaerobic digestion [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(4): 2162-2171
- Zhang R H, El-Mashad H M, Hartman K, *et al.* 2007. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion [J]. *Bioresource Technology*, 98(4): 929-935
- 赵蔚蔚.2006.大连市城市中心区生活垃圾调查与分析[J].环境卫生工程,14(6): 29-31