

王攀,任连海,甘筱.城市餐厨垃圾产生现状调查及影响因素分析[J].环境科学与技术,2013,36(3):181-185. Wang Pan, Ren Lian-hai, Gan Xiao. Investigation and output factors analysis of restaurant garbage for cities in China[J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(3): 181-185.

城市餐厨垃圾产生现状调查及影响因素分析

王攀, 任连海*, 甘筱
(北京工商大学食品学院, 北京 100048)

摘要 在我国选取有地域代表性的 4 个城市:青岛、嘉兴、贵阳、西宁,通过问卷与实地跟踪形式调查各城市餐厨垃圾产量,并分析了 4 个城市餐厨垃圾成分特征。结果表明,青岛、嘉兴、贵阳、西宁 4 个城市餐厨垃圾产量分别为 265、163、579 和 355 t/d。4 个城市餐厨垃圾的含水率、可燃物含量、营养物含量分别为 73.67%~78.27%、0.93%~2.48%、9.04%~15.59%。其中西宁和贵阳餐厨垃圾中的油脂含量相对较高,青岛和嘉兴餐厨垃圾中的杂物含量相对较多。应用灰色关联度分析法计算了餐厨垃圾产量的影响因素,如人口数量、性别比例、人均 GDP、城市居民人均消费支出和食品人均消费支出与产生量的关联度,各影响因素与餐厨垃圾产量的关联度大小依次为城市人口>性别比例>食品人均消费支出>人均 GDP>城市居民人均消费支出。

关键词 餐厨垃圾; 产量调查; 成分分析; 灰色关联分析

中图分类号: X323 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1003-6504.2013.03.038 文章编号: 1003-6504(2013)03-0181-05

Investigation and Output Factors Analysis of Restaurant Garbage for Cities in China

WANG Pan, REN Lian-hai*, GAN Xiao

(School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Qingdao, Jiaxing, Guiyang and Xining were chosen as the cities on behalf of different districts of China. The investigation of restaurant garbage output was carried out by the form of questionnaires and on-site tracking, and the components of restaurant garbage of four cities were analyzed. Investigation results show that restaurant garbage outputs of Qingdao, Jiaxing, Guiyang, and Xining are estimated as 265, 163, 579 and 355 t/d. Water contents, combustibles contents and nutrient contents of restaurant garbage in the four cities are 73.67%~78.27%, 0.93%~2.48%, 9.04%~15.59% respectively. Oil contents of restaurant garbage in Xining and Guiyang, and sundries contents of restaurant garbage in Qingdao and Jiaxing are relatively high. The gray relational analysis method was used to calculate the relational degree between the output and effect factors, such as population size, sex ratio, GDP per capita, per capita consumption of city people, per capita food consumption. The relational degree between effect factors and restaurant garbage output is in the order as population size> sex ratio> per capita food consumption > GDP per capita > per capita consumption of city people.

Key words: restaurant garbage; output survey; component analysis; gray relational analysis

随着中国国民经济的持续增长、城市化进程的不断加快和人民生活水平的迅速提高,城市餐饮业日益繁荣,加之人们聚餐的习惯和不良的饮食风气,致使中国城市餐厨垃圾的产量越来越大,由此带来严重的环境问题和健康风险^[1]。餐厨垃圾是指家庭、餐饮服务、单位供餐等活动中产生的食物残渣和废料^[2]。饭店、食堂等餐饮业的餐厨垃圾具有产生量大、来源多、分布广的特点,也是我国餐厨垃圾的主要产生源^[3]。

目前,已有学者对国内一些城市餐厨垃圾的处理方式及管理政策方面进行过调研^[4-5],但缺少餐厨垃圾产生量的统计数据,餐厨垃圾的成分及产量影响因素也未作详细分析。地域不同饮食特色也不同,所产生的餐厨垃圾产量及成分也不相同,因此了解和掌握具有代表性城市餐厨垃圾的产量及成分,开展餐厨垃圾的调研工作非常必要。本文选取 4 个国内代表性城市——青岛、嘉兴、贵阳和西宁,其中青岛位于北方东

《环境科学与技术》编辑部 (网址)http://fjks.chinajournal.net.cn (电话)027-87643502 (电子信箱)hjkxyjs@126.com

收稿日期: 2012-09-20, 修回: 2012-12-03

基金项目: 国家环境保护公益性行业科研专项(201109035), 北京工商大学青年启动基金项目(QNJ2012-23)

作者简介: 王攀(1983-),女,讲师,博士,主要从事固体废弃物资源化利用研究 (电子信箱)wangpan024@163.com * 通讯作者 (电子信箱)renlian-hai@yahoo.com.cn。

部地区,以海鲜和鲁菜为主,是沿海城市以及北方东部城市的代表;嘉兴位于南方东部地区,是江浙菜系的代表;贵阳位于西南地区,是川菜的代表;西宁位于西北地区,是以牛羊肉为主的清真菜系的代表。4个城市在一定程度上代表了我国东南西北的饮食特色,其产生的餐厨垃圾成分也相应地在4个地域有一定代表性。通过对以上4个城市餐饮业的餐厨垃圾状况进行调查,分析餐厨垃圾产量和成分,可有助于了解全国餐厨垃圾产生状况。

该研究调查范围为4个城市主城区的餐饮单位,根据调查结果估算4个城市餐厨垃圾产量,分析各城市餐厨垃圾成分特点,并应用灰色关联度分析法对餐厨垃圾产量的影响因素进行分析,为城市餐厨垃圾的处理与循环利用提供基础数据。

1 餐厨垃圾调查及分析方法

1.1 产生量调查方法

为获得4个城市餐厨垃圾的产量情况,采用发放调查问卷与跟踪走访相结合的调查方式。问卷内容包括餐厅名称、餐厅类型、地址、所属菜系类别、餐桌数、餐厨垃圾产生量等。调查范围为4个城市的各主城区,其中青岛包括市南区、市北区、李沧区和四方区;西宁包括城东区、城西区、城北区和城中区;嘉兴包括南湖区和秀洲区;贵阳包括南明区、云岩区、小河区、花溪区、白云区 and 金阳新区。根据各城市卫生部门提供的信息,将餐饮单位分为大型(桌数 ≥ 30 台)、中型(15台 \leq 桌数 < 30 台)、小型(桌数 < 15 台)饭店和企事业单位食堂4类。

此次调研在2012年6-7月进行,为各城市夏季餐厨垃圾产生现状,由季节不同而造成的餐厨垃圾差异情况将在下一步调研工作中分析讨论。为保证每个城市收回100份有效调查问卷,在各个城市选取了120家餐饮单位进行调查,其中大型饭店24家、中型饭店24家、小型饭店48家、食堂24家,在城市各区进行布点调查。青岛、西宁、嘉兴和贵阳分别收回有效调查问卷103份、110份、101份和109份。各类型餐饮单位餐厨垃圾日产量的平均值乘以相应餐饮单位的数量即得该类型餐饮单位餐厨垃圾日产量,各类型餐饮单位餐厨垃圾产量之和即为某城市餐厨垃圾日产量。

1.2 餐厨垃圾成分检测

从每个城市调查的大、中、小型饭店及食堂4类餐饮单位中分别选择接近该类型餐厨垃圾产量的平均值,并且能代表当地饮食特色的餐饮单位作为餐厨垃圾采样点,共选取10家,按调查问卷中各类型饭店

的比例选择采样单位,其中包括大型饭店2家、中型饭店2家、小型饭店4家、食堂2家。每个采样点采集500g,采集后立即送当地实验室进行成分分析。分析指标包括含水率、含油率、可燃物含量、营养物含量及杂质含量的测定。含水率依据GB/T 5009.3-2003进行检测;含油率依据GB/T 14772-2008,采用索氏提取法检测;可燃物包括废纸、废塑料等,采用重量法检测;杂物包括玻璃、金属、骨头等,采用重量法检测;营养物包括淀粉、蛋白质、纤维素等营养物质,根据差量法计算。

1.3 灰色关联度计算方法

首先建立灰色关联模型,以4市每天产生的餐厨垃圾量为参考数列,以各影响因素的值为比较数列,然后求它们之间的关联度。关联度越大,说明该因素对餐厨垃圾产量影响越大,反之越小。具体计算方法如下。

1.3.1 灰色关联系数^[6]

设有参考数列 $X_0 = \{x_0(k) | k=1, 2, \dots, n\}$ 以及比较数列 $X_i = \{x_i(k) | k=1, 2, \dots, n\} (i=1, 2, \dots, m)$,则:

$$\varepsilon_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + p \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + p \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式(1)中 $\varepsilon_i(k)$ 为 X_i (城市餐厨垃圾产量)与 X_0 (餐厨垃圾影响因素)在第 k 个城市的关联系数, $\min_i \min_k$ 为两级最小差, $\max_i \max_k$ 为两级最大差, $p \in (0, 1)$ 为分辨系数,一般取0.5。

1.3.2 灰色加权关联度

由于获得的关联系数过多,信息分散,不便于进行比较,所以需要将每一个比较数列的关联系数集中体现到一个数值上,即灰色加权关联度,其计算方法如下:

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \varepsilon_i(k) \quad (2)$$

式(2)中 r_i 为第 i 个评价对象相对于最佳对象的灰色加权关联度, r_i 越大,则表明 x_i 对 x_0 的影响越大。当 $p=0.5$ 时,评价标准为 $r_i \leq 0.5$ 时, X_i 对 X_0 几乎没有影响; $0.6 > r_i > 0.5$ 时, X_i 对 X_0 有一定影响; $0.8 > r_i > 0.6$ 时, X_i 对 X_0 影响较大; $r_i > 0.8$ 时影响非常大。

2 调查结果与分析

2.1 各城市餐厨垃圾产量分析

4个城市餐厨垃圾产生源的数量见表1。由表1可知,青岛、西宁、嘉兴和贵阳各主城区餐厨垃圾产生单位总数分别为5165家、4070家、1518家和7430

家。通过对每个城市调查问卷中各种类型饭店所产生的餐厨垃圾量进行计算,得出各类型饭店餐厨垃圾产量的平均值(表2),再根据当地卫生局提供的各类型餐饮单位数量估算出各城市餐厨垃圾的日产量,其中青岛265 t、西宁355 t、嘉兴163 t、贵阳579 t。餐厨垃圾日产量调查结果经青岛、嘉兴、贵阳的垃圾管理部门以及西宁市餐厨垃圾处理厂核实,数据符合实际产量情况。

表1 4城市餐厨垃圾产生源

Table 1 The restaurant waste source of four cities

项目	青岛	西宁	嘉兴	贵阳
大型饭店	232	56	75	164
饭店数量	1 111	202	258	617
中型饭店	3 307	3 472	940	5 692
小型饭店	515	340	245	957
食堂	5 165	4 070	1 518	7 430
总计				

注:各城市餐饮单位数据由当地卫生局提供。

表2 4城市餐厨垃圾产生量

Table 2 Restaurant waste output of four cities

项目	青岛	西宁	嘉兴	贵阳
大型饭店	153	257	179	224
垃圾平均产生量	95	144	126	122
中型饭店	29	80	75	65
小型饭店	54	100	191	101
食堂	265	355	163	579
餐厨垃圾日产量/t·d ⁻¹	208	120	120	304
人口/万	0.13	0.30	0.14	0.19
人均垃圾日产量/kg·(人·d) ⁻¹				

注:人口指各城市主城区第六次人口普查的总人口数。

2.2 各城市餐厨垃圾成分分析

餐厨垃圾成分是制订餐厨垃圾管理政策和处理技术的重要参数。根据目前国内餐厨垃圾利用情况以及可能的资源化利用途径,确定各城市餐厨垃圾成分测定指标为含水率、含油率、可燃物含量、杂质及营养物质含量。如果含水率过高,填埋处置将造成渗滤液量大幅增加,焚烧处理则需要耗费大量能量蒸干水分;与其他生活垃圾混合处理,则会显著增加其他生活垃圾的处理难度和处理成本等。含油率测定是为了确定餐厨垃圾中可回收的废油脂数量,而废油脂是餐厨垃圾中价值最高的再生资源之一,废油脂回收量越高,餐厨垃圾资源回收价值越高。可燃物含量及热值高低则决定该类废弃物采取焚烧处理或制取垃圾衍生燃料的可行性^[7]。杂质含量代表难以资源化和减量化处理而必须进行填埋处置的物质含量。营养物质是指餐厨垃圾中的碳水化合物、蛋白质等成分,这些营养物质可通过发酵生产蛋白饲料或沼气、氢气等能源,其含量高则决定利用微生物技术处理餐厨废弃物的可行性^[8]。

不同地域的居民有各自的饮食特色,所产生的餐厨垃圾组分也不尽相同。从表3中可看出,4个城市所产餐厨垃圾含水率在73.67%~78.27%之间,含水率均较高。4个城市餐厨垃圾的可燃物含量在0.93%~2.48%之间,可燃物含量低而水分含量较高,不易采取焚烧处理工艺。西宁和贵阳所产餐厨垃圾中油脂含量较高,这2个城市应加强对餐厨废油的管理和回收利用,避免“地沟油”返回餐桌所带来的食品安全问题。青岛和嘉兴的杂物含量较高,主要因为这2个城市居民食用水产品而产生的壳类物质较多,可考虑将这些贝壳类物质分选出来生产附加值较高的产品。4个城市餐厨垃圾的营养物含量在9.04%~15.59%之间,可利用微生物技术,如利用厌氧发酵工艺将其资源化利用。

表3 4个城市餐厨垃圾成分

Table 3 Restaurant waste components of four cities (%)

城市	含水率	含油率	可燃物含量	杂物含量	营养物含量
青岛	75.51	5.53	0.93	5.35	12.67
西宁	78.27	9.31	1.91	1.47	9.04
嘉兴	73.67	3.37	1.40	5.96	15.59
贵阳	75.47	8.78	2.48	1.00	12.27

2.3 餐厨垃圾产量与影响因素的关联度分析

2.3.1 影响因素的确定

餐厨垃圾的产生是一个复杂的系统,受很多因素的影响,一般分为3大类:(1)内在因素,主要指直接导致垃圾产量变化的因素,如人口数量、人口性别比例、居民生活水平等;(2)社会因素,主要指社会行为准则、社会道德规范、法律规章制度等;(3)个体因素,主要是指个体的生活习惯、行为方式、受教育程度等^[9]。因为后2类影响因素难以进行定量分析,所以该研究只分析人口数量、性别比例、居民生活水平这些因素对餐厨垃圾产量的影响。人口数量和性别比例是简单明了的数据指标,但居民生活水平是一个综合的因素,可通过多个经济指标来反映,如经济发展水平、人均消费支出、食品人均消费支出等。通过对各因素进行分析,影响餐厨垃圾产生量的主要因素如下:

(1)人口数量。一般来说,聚居人口越多,城市规模越大,产生的餐厨垃圾量也会越多。

(2)人口性别比例。性别比例对餐厨垃圾产量有一定的影响,男女饮食习惯有别,因此,对产生餐厨垃圾产生的贡献不同。

(3)经济发展水平。经济发展水平在一定程度上决定了城市居民的生活水平,而生活水平提高会使人均日产生餐厨垃圾量增加,并使餐厨垃圾中有机物平均含量相应增加。在此,以人均GDP代表各个城市的

经济发展水平。

(4)城市居民人均消费支出。城市居民人均消费支出提高对人们生活水平和餐厨垃圾产量有一定的影响,餐厨垃圾主要产生于城市物流过程的消费环节,城市居民的消费水平高低与消费趋向对餐厨垃圾的产生有直接的影响。

(5)食品人均消费支出。食品消费支出包括主食、副食、其他食品、在外饮食和食品加工费支出。食品人均消费支出增长可能是居民在饭店就餐次数增加所致,因此餐厨垃圾产量也与食品人均消费支出存在一定关系。

从所调查的餐厨垃圾总量看,贵阳>西宁>青岛>嘉兴,但从人均产量看,则为西宁>贵阳>嘉兴>青岛。贵阳市辖区人口最多,每天产生的餐厨垃圾总量也越多,西宁市辖区人口数少于青岛,但餐厨垃圾产量远高于青岛。嘉兴和青岛的经济发展水平较高,但是其餐厨垃圾产量低于经济发展水平相对落后的西宁和贵阳。这表明餐厨垃圾产量不只与人口数量、经济发展水平有关,还受人口性别比例、城市居民人均消费支出、食品人均消费支出等因素的影响。

餐厨垃圾的产量受以上诸多因素的影响,这使得它的状态具有模糊性、不完全性和非确知性,属于灰色系统。仅依靠定性分析和一般的数学评价方法,很难做出合理、准确的判断,因此采用灰色系统理论来研究各因素对餐厨垃圾产量的影响^[10]。

2.3.2 灰色关联度分析

以青岛、西宁、嘉兴、贵阳 4 市每天产生的餐厨垃圾量为参考数列(X_0),由城市人口(X_1)、人口性别比例(X_2)、人均 GDP(X_3)、城市居民人均消费支出(X_4)和食品人均消费支出(X_5)组成比较数列(见表 4),考查以上各因素对餐厨垃圾产量的影响。

表 4 4 个城市餐厨垃圾产量及有关因素数值
Table 4 Restaurant waste outputs and values of impact factors

城市	数列	青岛	西宁	嘉兴	贵阳
餐厨垃圾产生量 * /t·d ⁻¹	X_0	265	355	163	579
城市人口/万	X_1	208	120	120	304
人均 GDP/元·a ⁻¹	X_2	65 016	28 446	51 003	25 941
人口性别比	X_3	100.55	107.22	100.58	110.84
城市居民人均 消费支出/元	X_4	17 531	9 420	16 522	12 939
食品人均消费支出 /元	X_5	6 486	3 863	5 582	4 905

注 * 由调查问卷统计得出,其他因素的数据来自各城 2010 年年鉴。

由表 4 可知,各因素的意义不同,其数据的量纲也不一定相同,并且数值大小的数量级相差悬殊,这样在进行比较时就难以得到正确的结果。因此,对原

始数据需要消除量纲,原始数据的变化方法一般用均值化和初值化变换。在这里采用初值化法对表 4 进行变换,即分别用原始序列的第一个原始数据去除后面的各个数据,得到其倍数数列(见表 5),新数列中各数为无量纲,数值大于 0。以此按式(1)计算关联系数 ε_i ($i=1,2,3,4,5$),得到表 6。

表 5 4 个城市餐厨垃圾产量及各因素的初值变换表
Table 5 The initial-value transformation of restaurant waste output and impact factors

城市	变量	青岛	西宁	嘉兴	贵阳
餐厨垃圾量	Y_0	1	1.340	0.615	2.185
城市人口	Y_1	1	0.577	0.577	1.462
人均 GDP	Y_2	1	0.438	0.784	0.399
人口性别比	Y_3	1	1.066	1.000	1.102
城市居民人均消费支出	Y_4	1	0.537	0.942	0.738
食品人均消费支出	Y_5	1	0.596	0.861	0.756

表 6 关联系数表
Table 6 The correlation coefficient

系数	青岛	西宁	嘉兴	贵阳
ε_1	1	0.539	0.959	0.552
ε_2	1	0.497	0.841	0.333
ε_3	1	0.766	0.699	0.452
ε_4	1	0.527	0.732	0.382
ε_5	1	0.545	0.784	0.385

根据式(2)求得 $r_1=0.763$, $r_2=0.668$, $r_3=0.729$, $r_4=0.660$, $r_5=0.679$,灰色关联顺序为 $r_1>r_3>r_5>r_2>r_4$ 。通过以上的计算得出,对餐厨垃圾产量影响从大到小的因素依次为:城市人口>人口性别比>食品人均消费支出>人均 GDP>城市居民人均消费支出。由关联度分析结果看出,影响餐厨垃圾产量的主要因素是人口,嘉兴、青岛、贵阳市的餐厨垃圾产量均随人口数量增多而增大,而西宁市人口少于青岛,餐厨垃圾产量反而较多。另外性别比例也是影响餐厨垃圾产量的重要因素,受传统文化的影响,男性在外就餐的人数和次数都高于女性。贵阳和西宁的男女性别比例均较高,因此产生的餐厨垃圾也较多。

3 结论

(1)将 4 个城市的餐饮单位分为大、中、小型饭店和企事业单位食堂进行调查,通过对调查问卷所得数据的分析统计得出青岛、西宁、嘉兴和贵阳餐厨垃圾的产生量分别为 265、355、163 和 579 t/d。

(2)不同地域饮食特色不同,餐厨垃圾成分也不尽相同。总体来看,西北地区和东南地区城市所产生的餐厨垃圾中油脂含量较高,应加强对废弃油脂的管理和回收利用;东部和南部沿海城市所产餐厨垃圾中杂物含量较多;4 个区域所产餐厨垃圾中营养物质含量

在 9.04%~15.59%之间,营养物较丰富适合通过厌氧发酵等微生物技术将其资源化利用。

(3)餐厨垃圾的产量受诸多因素的影响,通过灰色关联度分析,将各因素对餐厨垃圾产量影响的大小进行量化,得出对餐厨垃圾产量影响的大小顺序为:城市人口>人口性别比>食品人均消费支出>人均GDP>城市居民人均消费支出。城市的餐厨垃圾管理部门可由此明确餐厨垃圾产量的重要影响因素,从而因势利导地做好餐厨垃圾的管理和处置工作。

[参考文献]

- [1] Wu T, Wang X M, Li D J, et al. Emission of volatile organic sulfur compounds (VOSCs) during aerobic decomposition of foodwastes[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, 44(39): 5065-5071.
- [2] 张保霞,付婉霞.北京市餐厨垃圾产生量调查分析[J].*环境科学与技术*, 2010, 33(S2): 651-654.
Zhang Bao-xia, Fu Wan-xia. The investigation and analysis on per capita output of food waste in Beijing[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(S2): 651-654. (in Chinese)
- [3] 任连海,聂永丰.餐厨垃圾管理的现状、问题及对策[J].*中国环保产业*, 2010(12): 45-49.
Ren Lian-hai, Nie Yong-feng. Status, problems and countermeasures in management of food and kitchen wastes[J]. *China Environmental Protection Industry*, 2010(12): 45-49. (in Chinese)
- [4] 林鸿胜.上海市餐厨垃圾管理的立法分析[J].*城市管理*, 2005

(上接第 124 页)

表面积来增强其代谢活性,但是低强度超声波对细胞、酶、基因、生物大分子的作用机制需要进一步探索。

[参考文献]

- [1] William G Pitt, S Aaron Ross. Ultrasound increases the rate of bacterial cell growth[J]. *Biotechnol Prog*, 2003, 19, 1038-1044.
- [2] 刘红,何韵华,张山立,等.微污染水源水处理中超声波强化生物降解有机污染物研究[J].*环境科学*, 2004, 25(3): 57-60.
- [3] Costa M C, Mota S, Nascimento R F, et al. Anthraquinone-2,6-disulfonate (AQDS) as a catalyst to enhance the reductive decolorization of the azo dyes Reactive Red 2 and Congo Red under anaerobic conditions[J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(1): 105-110.
- [4] A B dos Santos, J Traverse, F J Cervantes, et al. Enhancing the electron transfer capacity and subsequent color removal

(2): 68-70.

Lin Hong-sheng. Analysis on the law making of rubbish management for Shanghai restaurants and kitchens[J]. *Journal of Shanghai Polytechnic College of Urban Management*, 2005(2): 68-70. (in Chinese)

- [5] 刑汝明,吴文伟,王建明,等.北京市餐厨垃圾管理对策探讨[J].*环境卫生工程*, 2006, 14(6): 58-61.
Xing Ru-ming, Wu Wen-wei, Wang Jian-ming, et al. Discussion on food residual management countermeasure in Beijing[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2006, 14(6): 58-61. (in Chinese)
- [6] 袁嘉祖.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社, 1991.
- [7] 汪群慧,马鸿志,王旭明,等.厨余垃圾的资源化技术[J].*现代化工*, 2004, 24(7): 56-59.
Wang Qun-hui, Ma Hong-zhi, Wang Xu-ming, et al. Resource recycling technology of food wastes[J]. *Modern Chemical Industry*, 2004, 24(7): 56-59. (in Chinese)
- [8] 刘晓英,李秀金,董仁杰,等.北京市餐厨垃圾产生状况及厌氧发酵产气潜力分析[J].*可再生能源*, 2009, 27(4): 61-65.
Liu Xiao-ying, Li Xiu-jin, Dong Ren-jie, et al. Study on kitchen waste production and biogas production potential in Beijing [J]. *Renewable Energy Resource*, 2009, 27 (4): 61-65. (in Chinese)
- [9] 向盛斌.城市居民生活垃圾影响因素分析及产量预测[J].*环境卫生工程*, 1998, 6(1): 7-12.
- [10] 陈芝兰,陈庆华,张江山.厦门市生活垃圾的灰色预测与分析[J].*环境科学与技术*, 2007, 30(9): 72-74.

in bioreactors by applying thermophilic anaerobic treatment and redox mediators [J]. *Biotechnology and Bioengineering*. 2005, 89(1): 42-52.

- [5] Van der Zee F P, Bisschops I A E, Lettinga G, et al. Activated carbon as an electron acceptor and redox mediator during the anaerobic biotransformation of azo dyes[J]. *Environ Sci Technol*, 2003, 37(2): 402-408.
- [6] Wang J, Yan B, Zhou J T. Biodegradation of azo dyes by genetically engineered azo reductase[J]. *Journal of Environmental Science*, 2005, 17(4): 545-550.
- [7] 焦玲.醌化合物强化 *S. xenophaga* QYY 和 *B. cereus* JL 对偶氮染料脱色的研究[D].大连:大连理工大学, 2008: 2-33.
- [8] J Rau, HJ Knackmuss, et al. Effects of different quinoid redox mediators on the anaerobic reduction of azo dyes by bacteria[J]. *Environ Sci Technol*, 2002, 36: 1497-1504.
- [9] Van der Zee, FP. Application of redox mediators to accelerate the transformation of reactive azo dyes in anaerobic bioreactors[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2001, 75(6): 691-701.