

城市生活垃圾产生的影响因素及未来趋势预测 ——基于省际分区研究

王琛¹,李晴¹,李历欣²

(1.北京科技大学 东凌经济管理学院,北京 100083;2.中国石油集团 海洋工程有限公司,北京 100028)

摘要:城市生活垃圾作为城市发展过程中的衍生物,可持续的垃圾管理及科学的垃圾处理方式成为近年来学界和政策研究的重点。其中,了解城市生活垃圾的产生机制、估算其产量趋势是决定处理方式的基础。为探究城市生活垃圾与社会经济因素的互动产生机制,选取居民消费结构等社会经济影响因素,以2008—2018年中国30个省级行政区的面板数据为分析依据,基于对不同省份经济、消费因素的分区聚类研究,构建三个经济—消费省份组别的城市生活垃圾产生机制的分区模型。在此基础上,结合逼近年份的最小二乘法和多元线性回归对不同分区的代表性省份进行垃圾产量预测。研究结果显示:第一,居民的消费结构对于城市生活垃圾的产生具有显著影响,其中居住消费支出对垃圾产生具有显著的负面影响;第二,随着垃圾处理基础设施投资的增加,城市生活垃圾的产生量减少,说明有效的相关投资可以改善目前的垃圾现状;第三,浙江省、湖南省、四川省到2020年都面临着相对于自身发展水平较为严峻的城市生活垃圾压力,而且部分地区如四川省虽然当前面临的垃圾总量不大,但是由于其存在较大的经济发展前景,未来垃圾产生量的增长速度较快。

关键词:城市生活垃圾;消费支出结构;聚类分析;省际面板数据

中图分类号: X705

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2020)01-0049-08

城市化、经济发展、人民生活水平的提高以及生活方式的改变导致了城市生活垃圾(Municipal Solid Waste, MSW)产生量持续增长,这一现象在发展中国家表现得尤为明显。由于庞大的人口基数和人口的持续增长,中国成为垃圾的高产国。根据经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)的统计,2016年中国城市固体垃圾产生量达到了2.34亿吨,与1996年相比增幅为88%。为在中国实现城市可持续发展以及城市生活垃圾循环再利用的目标,无害化的垃圾处理技术和垃圾能源化技术成为目前亟需突破和研究的重要议题。然而,由于生活垃圾处理的相关设备和设施往往需要高昂投资,城市生活垃圾的处理模式不仅要着眼于当前状况,更要基于生活垃圾产量的发展趋势进行超前规划与部署。因此,在城市生活垃圾管理过程中,对于垃圾产生的影响因素进行建模分析,并以此为基础进行产量预测是相当重要的问题。多数学者认为,城市生活垃圾的增长与GDP、人口数和居民收入密切相关^[145]。近年来,一些学者的研究表明,消费水平是影响城市生活垃圾产生的重要因素^[249]。Ogunjuyigbe等^[3]的研究进一步指出,居民消费结构也会对城市生活垃圾的总量和组成有着重要影响。基于社会经济影响因素,尤其是消费支出模式,本文可以更加准确地探索出中国不同地区城市生活垃圾产生的未来趋势,以期政府部门选择最为适当的垃圾管理策略提供理论参考。

总之,对于城市生活垃圾产生机制的清晰把握和垃圾产量的精确预测是提高垃圾管理方式的重要前提。本研究聚焦于消费结构对城市生活垃圾的影响,根据经济和消费指标将中国除港、澳、台和西藏地区外的30个省份聚类分析分为三组,识别出不同地区城市生活垃圾产生的地区异质性的影响因素,并以此为基础,利用线性回归模型来预测三个不同分区省份2020年的垃圾产量。根据影响因素对城市生活垃圾产量进行建模分析可以提供较为准确的未来垃圾产生量的预测数据^[4468-469],一方面可以为城市生活垃圾处理技术或模式的经济可行性、技术可行性、资源利用潜力分析提供研究基础;另一方面,也为政策管理部门制定相关政策,进行城市环境管理规划、合理引导居民的环保意识提供借鉴。

收稿日期: 2019-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于居民行为的城市生活垃圾能源化影响机理、实施路径及策略研究”(71803007);教育部人文社会科学规划项目“可持续发展背景下城市生活垃圾管理模式研究”(18YJC630170);北京市哲学社科规划项目“碳配额约束下企业低碳发展模式优化研究——以京津冀地区制造业为例”(17JDGLA010);中央高校基本科研业务费“城市固体废弃物能源化模式研究”(FRF-BD-19-006A)

作者简介: 王琛(1986—),女,博士,讲师,E-mail:chenwang@ustb.edu.cn

一、文献综述

对城市生活垃圾产生机理相关的现有文献进行整理和总结,选取的影响因素、分析模型和方法以及相应的参考文献如表1所示。

一些学者分析了社会经济因素与城市生活垃圾产量之间的关系,如GDP^{[5]174[6]1182}、家庭或人均可支配收入^{[7]448[8]72}、消费支出^{[4]470[2]49}等。例如,Wang和Geng^{[9]180-181}选取中国31个省份的面板数据来揭示第三产业增加值占GDP的比重,以及城市人均可支配收入对城市生活垃圾处理过程中产生的CO₂排放具有正向且间接的影响。而收入的影响在不同国家关于城市生活垃圾的影响中存在异质性,Chen^{[7]448-450}用宏观收入数据分析收入对于垃圾产量的影响,发现随着人均可支配收入的增长,人均城市生活垃圾产量先是减少,随后第二阶段垃圾产量增长,最后又减少。并且在研究中也发现,收入水平对于消费模式和城市生活垃圾产量及回收量也有影响。利用抽样调研数据,Qu等^{[10]2623}将家庭收入分为三个组别来分析不同家庭生活垃圾的产生,认为中等收入家庭比低收入和高收入家庭将产生更多的家庭生活垃圾。

除消费整体水平外,一些学者也逐渐开始探索消费结构对生活垃圾产生量的影响,比如有学者分析居民在食品和衣着的消费支出对城市生活垃圾产量的影响机理^{[4]470[2]49[1]253}。Oribe-Garcia等^{[12]28-29}的研究为城市生活垃圾影响因素的分析提供了新的思路,他们通过相似的社会经济特征将城市分为不同组别,建立不同区域城市生活垃圾产生的模型,其结果表明,人口密度和失业率都会对城市生活垃圾有减少的效应。

通过对现有文献的梳理,可以发现当前关于城市生活垃圾影响因素的研究普遍关注居民消费和收入总量,对于消费结构的影响研究甚少,无法清晰地展示不同消费支出项目对于垃圾产量的贡献,也导致单纯从收入和消费总量考虑垃圾产生机制是无法对未来垃圾变化趋势进行可靠预测的。从研究方法上看,数据来源比较广泛,包括微观调研数据和宏观省际统计数据等;多元回归模型、空间误差模型等都有使用,并且学者普遍利用社会经济因素指标聚类分析不同分组中影响垃圾产量的因素。

在现有研究的基础上,本文创新点如下:第一,本文聚焦于消费支出结构对于城市生活垃圾的影响;第二,根据经济和消费指标将中国30个省份聚类分析分为三组,以便识别出不同地区影响城市生活垃圾产生地区异质性的影响因素;第三,利用线性回归模型来预测三个不同分区省份2020年的垃圾产量。本文在已有研究基础上,为精确地把握城市生活垃圾的产生特征及组成,重点考虑居民消费行为和消费支出结构。借鉴前人研究思路,将中国30个省份按照经济和消费指标进行聚类分组,针对不同省份分组建立对应的垃圾产生影响因素模型,探究地区异质性与不同影响因素和相同影响因素产生的不同效应的关系。

二、数据及研究方法

(一)数据来源

本文的研究范围为中国除港、澳、台地区和西藏自治区之外的30个省级行政区,数据来源于2008—2018

表1 城市生活垃圾典型的影响因素总结

因素	数据收集		模型和方法		参考文献
	层次	类型	模型	方法	
GDP	国家	面板数据	MLR和L	RA	Lu等 ^{[5]174}
	省级	面板数据	MLR	GMM	Wang和Geng ^{[9]180}
	市级	时间序列	PA	PA	徐礼来等 ^{[6]1181}
收入	市级	调研数据	—	ANOVA	Qu等 ^{[10]2619}
	市级	面板数据	MLR	EKC	Chen ^{[7]448}
家庭规模	市级	调研数据	MLR	ANOVA&RCA	Gu等 ^{[8]68-72}
教育	居民	调研数据	—	—	何德文等 ^[13]
消费支出	市级	截面数据	MLR	RS&Q	Bosire等 ^{[4]470}
	省级	调研数据	LR	CA	Han等 ^{[2]49-51}
人口密度	市级	截面数据	SEM&SL	SE	Hage等 ^{[11]250-251}
城市建成区面积	市级	面板数据	MLR	CA&OLS	Oribe-Garcia等 ^{[12]28-29}
	省际	面板数据	MLR	OLS	赵艳等 ^[14]
失业率	市级	截面数据	SEM&SL	SE	Hag等 ^{[11]253}
城市化	市级	调研数据	MLR	ANOVA&RCA	Thanh等 ^[15]
产业结构	省级	面板数据	MLR	CA&GMM	Wang和Geng ^{[9]180}

注:模型:LR—线性回归模型;MLR—多元线性回归模型;PA—路径分析模型;SEM—空间误差模型;SL—空间滞后模型;L—logistic模型;F—模糊模型;方法:OLS—最小二乘法;RCA—等级相关性分析;RS—随机抽样;Q—调查问卷;CA—相关性分析;PA—路径分析;SE—空间计量;EKC—环境库兹涅兹曲线;RA—回归分析;GMM—广义矩估计;SAR—空间自回归;GWR—地理加权回归。

年《中国统计年鉴》和《城乡建设统计年鉴》。基于省际面板数据,本文研究了城市生活垃圾的产生与社会经济相关影响因素之间的关系。文中涉及的经济及消费指标,例如GDP、城镇居民家庭平均每人全年衣着、食品消费支出等都将2007年作为基期进行平减,消除不同年份价格波动的影响。为清晰显示不同社会经济影响因素与城市生活垃圾产量的相关性,本文调整了相关数据的计量单位,详细的变量描述性统计如下。

1.被解释变量。城市生活垃圾产量(MSW)为本文的被解释变量,但由于垃圾产生量的宏观数据在中国无法直接获取,所以本文利用城市垃圾清运量来代表各省份每年的垃圾产生量。尽管垃圾清运量可能少于真实的垃圾产生量,但是它可以反映出城市生活垃圾产生的总体趋势,同样具有研究价值。

2.解释变量。消费支出结构是本文关注的核心解释变量,由城镇居民家庭平均每人全年衣着、食品、居住消费支出衡量。消费模式和食品支出是垃圾产生的重要影响因素,而且消费模式和生活方式的转变会造成垃圾的产量和组成成分的变化^[6]。然而,很少将消费支出结构作为解释变量研究其对于垃圾产量的影响。本文中消费支出结构由城镇居民家庭平均每人全年食品(FC)、衣着(CC)、居住(HC)消费支出三个指标进行衡量。中国不断上涨的住房成本对于居民的消费总量和消费结构会产生极大的影响^[7],因此中国的居住支出被视为影响垃圾产生的创新性影响因素,引入到模型中并关注其对于垃圾产量的影响。

3.控制变量。为得到稳健的回归结果,本文在不同分区模型中引入以下四个可能对垃圾产量存在影响的控制变量:(1)各省份国内生产总值(GDP);(2)垃圾处理投资额(WDI),垃圾处理投资额是城市市政公用设施建设投资的重要组成部分,由于本文选择垃圾清运量代表垃圾产生量,所以将垃圾处理投资额作为控制变量十分必要;(3)第三产业增加值占GDP比重(TIP),Wang和Geng^{[9][8]}认为,产业结构尤其是第三产业由于提供了大量家庭消费商品,与垃圾产生有着紧密的关系;(4)城镇环境基础设施建设投资总额(LMEF),垃圾产生与城镇环境有着密切的互动关系,随着地区对于城市环境基础投资额的增加,相关垃圾回收、利用以及市民对于垃圾的观念都会受到影响。本文选用滞后一期的城镇环境基建投资额来分析其对垃圾产量的影响。所有变量的描述性统计如表2所示。

表2 变量的描述性统计

变量	单位	平均值	最小值	最大值	标准误差
城市生活垃圾产生量(MSW)	万吨	580.3	63.6	2 644.5	426.6
城镇居民家庭平均每人全年食品支出(FC)	元	4 057.1	2 600.4	8 125.7	1 005.2
城镇居民家庭平均每人全年衣着支出(CC)	元	1 189.8	452.9	1 929.6	260.7
城镇居民家庭平均每人全年居住支出(HC)	元	1 099.5	641.9	1 873.2	265.5
国民生产总值(GDP)	百亿元	162.7	8.0	742.2	137.4
垃圾处理投资额(WDI)	亿元	5.0	0.01	88.1	134.2
第三产业增加值占GDP比重(TIP)	%	42.8	28.6	80.6	9.3
城镇环境基础设施建设投资总额(LMFF)	亿元	135.4	3.7	1 262.7	134.2

(二)方法及模型构建

1.聚类分析。考虑到中国不同省份经济消费情况的异质性对于城市生活垃圾的不同影响,本文使用人均GDP和城镇居民家庭人均全年消费支出的平均值对30个省份进行聚类分析。参考Ahmad和Dey^[18]的研究,本文使用K-mean聚类方法将30个省份相对均匀地分为高、中、低经济消费水平分组,来反映影响城市生活垃圾产生的经济和消费因素的地区异质性。此聚类算法应用迭代方法,通过最小化距离函数 θ 将数据分组为预先设定的 k (此处 $k=3$)个聚类数

$$\theta = \sum_{i=1}^n \|d_i - C_j\|^q \quad (1)$$

其中, C_j 是第 j 个聚类的中心,并且是与数据目标 d_i 最接近的中心; n 是数据中包含的元素数量; q 是定义距离函数属性的整数。对于数值数据集,群集中心可以由每个特征的平均值表示。

2.分区模型的回归分析。由于中国省份间的经济和消费水平的地区异质性,不同分区的城市生活垃圾产量具有不同的影响因素,同时即使相同的影响因素也可能具有不同的影响机理。所以,本文将从上述提到的变量中选取相应变量构建垃圾产量的三个分区模型:

$$\text{分区模型 1} \quad MSW_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 CC_{it} + \beta_3 HC_{it} + \beta_4 GDP_{it} + \beta_5 WDI_{it} + \beta_6 TIP_{it} + C_i + Y_t + u_{it} \quad (2)$$

$$\text{分区模型 2} \quad MSW_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 CC_{it} + \beta_3 HC_{it} + \beta_4 GDP_{it} + \beta_5 WDI_{it} + \beta_6 LMEF_{it} + C_i + Y_t + u_{it} \quad (3)$$

$$\text{分区模型 3} \quad \text{MSW}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{FC}_i + \beta_2 \text{CC}_i + \beta_3 \text{HC}_i + \beta_4 \text{GDP}_i + \beta_5 \text{WDI}_i + \beta_6 \text{TIP}_i + C_i + Y_i + u_i \quad (4)$$

3.城市生活垃圾未来趋势预测。在城市生活垃圾未来产量趋势的预测过程中,本文将对于经济发展水平、居民消费和基础设施水平等因素采用一元线性回归预测法,对于城市生活垃圾产量采用多元线性回归预测法,在垃圾产量的预测过程中同时考虑时间因素和多种社会经济因素的影响。首先,由于上文中提及的社会经济、消费及基础建设等影响因素与垃圾产量都随时间推移而增长,故本文将逼近垃圾年产量的最小二乘法应用于影响因素的预测。根据上述影响因素 2007 年的数据作为计算基数的第一年,预测 2018—2020 年的影响因素未来取值。使用逼近年份的最小二乘法计算对应给定变量 X (预测年度)和 Y (预测的影响因素数据取值),该回归曲线的方程为

$$Y = a + bX \quad (5)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (7)$$

其中, Y 为预测年份的影响因素数据取值; X 为预测年度; x_i 为计算预测值基数的年度; y_i 为各年度影响因素取值^[9]。根据以上原理,计算出每年每种影响因素数据的斜率和截距,再将 a 、 b 带入式(5),计算出各年份的影响因素预测值。

以 GDP 为例,选取三个不同分区代表省份浙江省、湖南省和四川省,按照此方法对影响因素进行预测,结果如表 3 所示。

表 3 2018—2020 年浙江省、湖南省、四川省预测 GDP 及 a 、 b 值

单位:百亿元

省份	2018 年			2019 年			2020 年		
	预测值	a	b	预测值	a	b	预测值	a	b
浙江	444.8	156.1	24.1	470.6	152.7	24.5	496.2	150.1	24.7
湖南	281.7	72.3	17.5	300.3	70.1	17.7	318.5	69.0	17.8
四川	316.7	79.4	19.8	338.0	76.4	20.1	358.3	76.1	20.2

进而,将通过上述最小二乘法得到的每个影响因素 2018—2020 年的预测值代入到相应分区的多元回归模型之中,进行城市生活垃圾的产量预测,这样可以综合考虑经济发展水平、居民生活水平以及基础设施建设对于未来垃圾产量的影响,无须设定预测参数,以减少主观因素对于预测结果精准性的影响^[20]。

4.城市生活垃圾产量预测效果评估。本文中 2018—2020 年的垃圾产量预测效果由平均绝对百分比误差(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)和 R^2 两个指标进行评价。其中, y_i 是观测到省份的真实值; f_i 是省份 i 的预测值; n 是观测值的数量^{[12]30}。MAPE 可以使用所获取的数据来反映从预测值到观察到的真实值的偏差程度。MAPE 越小,预测能力越好。MAPE 为

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - f_i}{y_i} \right| \quad (8)$$

三、回归结果及分析

(一)聚类结果

本文使用 K -mean 聚类方法将 30 个省份根据人均 GDP 和城镇居民人均消费支出的平均值分为三个聚类组,结果如下:

- 1.高经济高消费聚类组:共包括北京、天津、内蒙古、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东 10 个省份。
- 2.中经济中消费聚类组:共包括吉林、重庆、黑龙江、河北、湖北、山西、陕西、河南、湖南、青海、新疆、宁夏 12 个省份。
- 3.低经济低消费聚类组:共包括四川、安徽、海南、甘肃、广西、云南、贵州、江西 8 个省份。

(二)分区模型回归分析结果

首先,对三个分区面板数据均进行 LSDV 检验,发现三个模型均存在地区效应和时间效应;再根据 Hausman 检验的结果, P 值为 0.000,认为三个模型都应该使用固定效应模型。故本文将采取固定效应模型

进行对于三个分区模型的分析,估计结果如表4所示。

中经济—消费分区模型的拟合度较低,原因可能在于排除了不同地区垃圾产生背后的一些独特的解释变量。与Oribe-Garcia等^[23]的研究中出现的情况和处理方法类似,当前选定的社会经济因素还不能完全解释中经济—消费分区模型解释能力较差,但因为分区模型中的变量呈现的显著性和相关关系,可以认为中经济—消费分区模型拟合度低对于估计结果的影响不大。

1.从本文核心关注的消费支出结构的分区回归结果来看,食品消费支出(FC)对于三个分区模型的城市生活垃圾产量均起到正向且显著的影响,这与前人的研究结论一致^{[23][46][47]-474};食品消费支出在高、中、低经济—消费垃圾产量影响因素的分区模型中系数分别为0.235、0.353和0.320,说明随着居民对于食品消费支出的增加,城市生活垃圾产量也有增长的趋势。衣着消费支出在高、中经济—消费分区起到的作用不显著,在低经济—消费分区模型中对于垃圾产量有着显著的负向作用。这一现象可能是由于与食品相比,衣着转化为生活垃圾的周期较长。就衣着消费的属性而言,衣物及纺织品在垃圾分类中属于可回收垃圾;相比较于食品支出产生的食品垃圾,衣着本身的回收再利用以及交换性,衣着消费支出转化为纺织品垃圾存在不确定性和时间上的滞后性;同时,由于近年来对于旧衣物回收捐赠行为的重视与鼓励,住宅区及校园周边存在衣物回收箱、捐助箱等设施,衣着直接转化为生活垃圾的比例又大大减少,因此,衣着消费支出在三个分区模型中发挥着或不显著或负向的效应。

居住消费支出作为本研究中新引入的解释变量,在三个分区模型中,居住消费支出的系数分别为-1.121、-1.117以及-1.041,说明居住消费支出对城市生活垃圾产生量均存在着显著且负向的影响。食品、衣着、居住消费支出作为代表各省份居民消费模式的变量被引入到城市生活垃圾产量模型中,食品和衣着消费支出往往被学者视为重要的城市生活垃圾产生源而加以考虑,但是居住消费支出作为中国居民关心的支出项目,往往会影响到居民的实际可支配收入,住房支出可能对家庭造成较大负担,影响城镇居民的实际可支配收入^[21]。在经济发展水平较高的地区,如北京和上海,住房支出占居民消费总支出的30%以上,而在四川或安徽等存在发展潜力的省份,这一比例也接近20%。因此,居住消费支出的存在占据了可支配收入的一定比重,实际上减少了其他直接产生垃圾的消费支出项目,进而减少了垃圾产生。

2.控制变量中,国民生产总值(GDP)在三个分区模型中的回归系数显著为正,意味着经济发展对城市生活垃圾的产量增加具有明显的驱动作用,与现有研究结论一致^{[1][46-48][22]}。

垃圾处理投资额(WDI)在高经济—消费分区模型中的回归系数显著为负,而在中、低经济—消费分区模型中对于城市生活垃圾产量的影响并不显著。根据《2018年中国城市建设统计年鉴》,截至2017年年末,仅北京、辽宁、广东等高经济—消费分区省份的垃圾处理投资额超过10亿元,中、低经济—消费分区省份垃圾处理投资额大多为5亿元以下。这在一定程度上解释了垃圾处理投资额在高经济—消费分区模型对于垃圾清运量起到显著的作用,且随着这些省份的垃圾清运与处理日渐成熟,垃圾处理体系日益完善,垃圾分类和回收再利用比例逐渐提高,这些省份垃圾清运总量可能进一步减少。城镇环境基础设施建设投资总额(LMEF)在低经济—消费分区模型中的回归系数显著为负,说明对于这类经济发展和基础设施建设仍有较大发展空间的省份来说,关注城镇环境基础设施建设、增加相关投资额力度可以有效减少不必要的生活垃圾产生,如增加分类垃圾回收箱设置、完善垃圾循环利用渠道等措施,均是减少城市生活垃圾产生的有效途径。

3.控制变量中,第三产业增加值占GDP比重(TIP)在高低经济—消费模型中呈现显著,但不同的影响其作用不同。在低经济—消费分区中,TIP的系数为2.37,说明其对垃圾产量有正向影响,与Wang和Geng^{[9][181-183]}的研究结论具有一致性。由于第三产业提供的产品和服务与家庭收入和支出密切相关,因此较高的TIP意味着消费更多的商品,导致城市生活垃圾的增加。然而在高经济—消费分区模型中,TIP系数为-4.012,表示

表4 分区面板模型回归估计结果

变量	分区模型1	分区模型2	分区模型3
FC	0.235*(2.83)	0.353*** (5.81)	0.320** (4.71)
CC	0.014(0.11)	-0.099(-0.87)	-0.411*(-2.59)
HC	-1.121*** (2.83)	-1.117*** (-9.66)	-1.041*** (-7.83)
GDP	2.213*** (9.36)	1.198*** (4.56)	1.829*** (15.18)
WDI	-1.279** (-4.06)	-2.594 (1.43)	-1.510 (-0.84)
TIP	-4.012** (-3.48)	—	2.37* (3.16)
LMEF	—	-0.187* (-2.66)	—
常数项	860.496*** (15.69)	384.932*** (9.18)	153.259*** (9.09)
R ²	0.810	0.310	0.900

注:***、**、*分别表示系数检验1%、5%、10%显著。

TIP 对于这些省份中的垃圾产量具有负向影响。这可能是由于高经济—消费省份第三产业成熟和可持续发展的废物收集系统以及对资源节约的长期重视。例如,北京市政府要求第三产业提高可再生资源回收的效率和水平,促进垃圾分类和可再生资源回收系统的综合开发,扩大可再生资源回收功能的覆盖范围。在这种情况下,TIP 的增长可能会减少这些省份的城市生活垃圾产量。

(三)城市生活垃圾未来趋势预测

本文分别在高、中、低经济—消费分区中选取了浙江、湖南、四川三个省份为代表,利用逼近年份的最小二乘法(Ordinary Least Square, OLS)和三个分区模型对 2018—2020 年城市生活垃圾产量进行预测。浙江、湖南、四川均属于高、中、低经济—消费分区中垃圾产量较大的省份,面临相对于自身发展水平而言较为严峻的城市生活垃圾压力。三个省份使用分区模型进行多元回归预测的预测能力评估结果如表 5 所示。

从表 5 中可以看出,三省份 2007—2017 年的真实值和预测值间的 MAPE 为 10% 左右,拟合程度为 0.99,意味着使用

三个分区模型对浙江、湖南、四川三省进行垃圾产量未来值进行多元线性回归预测的精确度较好。但需要注意的是,福建、河北、广西三省的 MAPE 较差,原因可能是由于生活垃圾排放量与经济发展水平的关系存在地区差异^[23-24],这些省份的城市生活垃圾产生量超前或滞后于其社会经济的发展,或者有一些尚无法观测的因素导致其城市生活垃圾的产生量有独特的趋势。为确保预测的准确性,此处选取浙江、湖南、四川三省对垃圾产量的未来趋势预测进行讨论。2018—2020 年三省的垃圾产量预测结果如图 2 所示。到 2020 年,浙江省的城市生活垃圾产量将达 1 536.9 万吨,湖南省将达 823.5 万吨,四川省将达 1 129.6 万吨。虽然三省份的经济发展程度存在差异,但均面临生活垃圾产量逐年增加的环境压力。以浙江省为例,根据《浙江省城市生活垃圾分类“十三五”规划》浙江省 2015 年城市日均垃圾清运量为 3.52 万吨/天,而根据预测值到 2020 年浙江省城市日均垃圾清运量需达到 4.27 万吨/天,这无疑会给垃圾处理带来巨大的压力,也会对人们生活空间产生极大影响。

虽然浙江省 2016—2020 年的垃圾产量一直处于三省最高,但四川省这五年间的垃圾产量增长速度最快,增长率为 17.3%。通常认为,经济与消费发展程度与城市生活垃圾的产生正相关,然而本研究发现属于低经济—消费分区的四川省将面临着最高的垃圾增长率,未来的垃圾产量将不容忽视。四川省虽然目前处于低经济—消费分区,但是其具有较大的经济发展潜力。随着经济的发展,如果没有实施相关的废物管理措施,城市生活垃圾也将大幅增长。所以目前一些生活垃圾总量压力较小的地区也需要特别注意,像四川省这样经济发展潜力巨大的省份,应提前考虑城市生活垃圾管理战略。

表 5 分区模型的预测能力评估

单位:万吨

年份	浙江省		湖南省		四川省	
	真实值	预测值	真实值	预测值	真实值	预测值
2007	772.0	975.7	511.2	561.2	548.5	610.9
2008	806.8	1 008.6	542.8	580.5	551.0	632.6
2009	925.6	1 037.7	511.9	594.2	590.1	666.9
2010	959.0	1 088.7	505.2	610.8	656.0	701.1
2011	1 018.1	1 130.8	531.6	642.5	669.0	743.1
2012	1 055	1 166.6	565.4	660.3	702.8	787.9
2013	1 123.3	1 220.2	616.8	676.2	750.7	827.9
2014	1 229.1	1 260.4	600.8	693.0	780.0	871.7
2015	1 332.6	1 313.4	638.2	715.8	823.6	919.5
2016	1 433.5	1 357.5	681.6	738.9	886.7	962.9
2017	1 454.6	1 409.1	764.9	769.0	989.9	1 009.4
MAPE	0.096 9		0.095 7		0.103 1	
R ²	0.996 5		0.994 6		0.994 8	

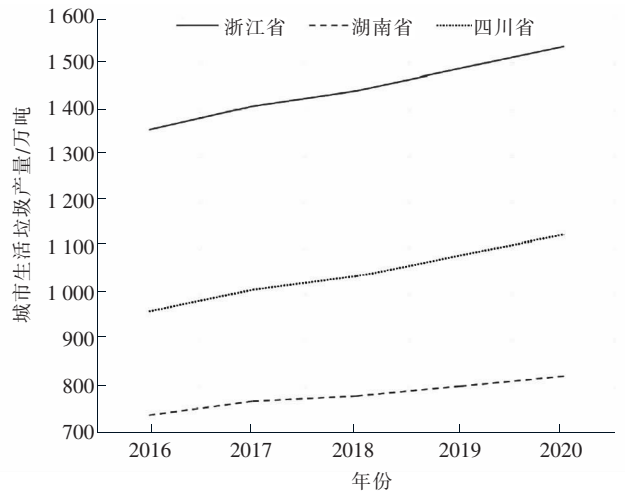


图 1 浙江、湖南、四川三省 2018—2020 年垃圾产量预测

四、结论及政策建议

本文根据经济和消费指标将中国除港、澳、台和西藏自治区外的其他 30 个省份进行聚类分析,形成高、中、低经济—消费区三个分组,构建三个城市生活垃圾产量的影响因素分区模型。本文重点关注每个分区模

型中的消费支出结构对于城生活垃圾产量的影响,并纳入经济发展、基础设施等控制变量以保证回归分析估计结果的准确性。结果表明,从消费支出结构上看,食品消费支出对于三个分区的生活垃圾产量均有显著且正向的影响,居住消费对垃圾产量均有显著且负向的影响,而衣着消费支出对于垃圾产量的作用并不明显。从控制变量上看,随着GDP逐年增加,垃圾产量也逐年上升;垃圾处理投资额在高经济—消费分区有着显著且负向的影响,城镇环境基础建设投资在中经济—消费分区有显著负向作用;而第三产业增加值占GDP比重在高低经济—分区模型中分别起着阻碍和促进垃圾产量增长的作用,说明发展水平较高的省份通过管控第三产业垃圾产生可以有效控制城市生活垃圾。通过逼近年份的OLS回归和多元线性回归相结合的预测方法,本文对于浙江、湖南、四川三省2018—2020年的垃圾产量进行预测,试图为垃圾处理模式的选择以及相关环境管理政策的制定提供参考借鉴。以上结论的重要启示如下:

1.基于本文对于居民消费支出模式中食品、衣着、居住消费支出的分析,三种消费支出分别对于城市生活垃圾产量存在正向、不显著或负向的影响,因此在制定垃圾能源化政策时应充分考虑该地区居民消费支出结构及相对应的城市生活垃圾的组成与总量。各省份应依据城市生活垃圾组成与物化性质的变化趋势,依据资源回收利用优先、垃圾能源化为支撑的原则进行城市生活垃圾管理。根据不同省份的垃圾治理目标可以采取不同的策略,如在经济发达、人口密集、土地资源紧缺并且需要大力发展垃圾能源化的省份可以通过居民消费支出结构的相关数据预测产生的厨余垃圾和可焚烧垃圾的成分,进而确定每年采取堆埋和焚烧的垃圾量;在需要控制垃圾总量的省份,可以通过引导居民减少食物浪费、加大衣着等消费品的回收再利用力度降低这些省份面临的生活垃圾总量攀升的压力。居住支出与城市生活垃圾产量之间的影响机理方面,可通过完善生活垃圾产量影响因素模型,为精确预测未来垃圾产量,选择最合适的垃圾处理方式提供支持。

2.调整垃圾处理额,优化城镇环境基础设施建设的合理部署,也可作为城市生活垃圾管理的重要手段。特别是对于具有较大经济发展潜力,且当前垃圾治理的基础设施相对不完善的省份来说,相关基础设施投资可以有效地促进垃圾能源化和垃圾回收再利用。研究表明,垃圾源头分类收集与回收可使垃圾中纸张、织物、塑料等组分的比例下降,尤其是塑料组分可显著减少50%左右,厨余垃圾成为垃圾的主要组成部分^[29]。因此,通过建设城市中厨余垃圾、可回收垃圾、有害垃圾、其他垃圾四分类垃圾桶和垃圾焚烧、堆埋场,不仅可以有效加大垃圾回收利用率和能源化效率,而且通过强有力的垃圾分类政策还能引导居民树立环保意识与节约意识,从源头达到控制垃圾产生量的目标。

3.来自不同经济消费水平的省份,2018—2020年浙江、湖南、四川三省都将面临逐年攀升的城市生活垃圾总量。面对这种情况,可持续的垃圾管理体系十分重要。而且目前一些垃圾总量压力较小的省份也需要特别注意。在具有明显经济发展潜力且垃圾产量增速较高的省份,如四川省,应提前考虑城市生活垃圾管理战略。经济发达省份的城市生活垃圾管理经验可以为其他省份提供一个很好的参考。上海市从2019年7月份起实施的《上海城市生活垃圾管理条例》将垃圾分类纳入法治框架,明确规定个人混合投放垃圾最高可罚200元,并且限制旅游餐饮业使用一次性制品^[26]。各省份应结合自身实际,进行全过程的垃圾管理,做到单位和个人要进行源头分类,收运企业要分类收集和运输,最后处置企业要分类处置。只有在源头进行垃圾分类,才能为垃圾不同成分的能源化方式的选择做好准备。

参考文献:

- [1] 皇甫慧慧,李红艳.城市生活垃圾产生量的影响因素分析[J].科技与管理,2018,20(4):44-49.
- [2] HAN Z,LIU Y,ZHONG M,et al. Influencing factors of domestic waste characteristics in rural areas of developing countries[J]. Waste Management,2018,72:45-54.
- [3] OGUNJUYIGBE A S O,AYODELE T R,ALAO M A. Electricity generation from municipal solid waste in some selected cities of Nigeria:an assessment of feasibility,potential and technologies[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2017,80:149-162.
- [4] BOSIRE E,OINDO B,ATIENO J V. Modeling household solid waste generation in urban estates using socioeconomic and demographic data,Kisumu city,Kenya[J]. Scholars Journal of Arts,Humanities and Social Sciences,2017,5(5):468-477.
- [5] LU J W,ZHANG S,HAI J,et al. Status and perspectives of municipal solid waste incineration in China:a comparison with developed regions[J]. Waste Management,2017,69:170-186.
- [6] 徐礼来,闫祯,崔胜辉.城市生活垃圾产量影响因素的路径分析——以厦门市为例[J].环境科学学报,2013,33(4):1180-1185.

- [7] CHEN C C. Spatial inequality in municipal solid waste disposal across regions in developing countries[J]. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2010, 7(3): 447–456.
- [8] GU B, WANG H, CHEN Z, et al. Characterization, quantification and management of household solid waste: a case study in China[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2015, 98: 67–75.
- [9] WANG Z, GENG L. Carbon emissions calculation from municipal solid waste and the influencing factors analysis in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 104: 177–184.
- [10] QU X, LI Z, XIE X, et al. Survey of composition and generation rate of household wastes in Beijing, China[J]. *Waste Management*, 2009, 29(10): 2618–2624.
- [11] HAGE O, SANDBERG K, SODERHOLM P, et al. The regional heterogeneity of household recycling: a spatial–econometric analysis of Swedish plastic packing waste[J]. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 2018, 11(3): 245–267.
- [12] ORIBE–GARCIA I, KAMARA–ESTEBAN O, MARTIN C, et al. Identification of influencing municipal characteristics regarding household waste generation and their forecasting ability in Biscay[J]. *Waste Management*, 2015, 39: 26–34.
- [13] 何德文, 金艳, 柴立元, 等. 国内大中城市生活垃圾产生量与成分的影响因素分析[J]. *环境卫生工程*, 2005(4): 7–10.
- [14] 赵艳, 葛新权, 李晓非. 城市生活垃圾产生量的影响因素分析[J]. *统计与决策*, 2016(23): 91–94.
- [15] THANH N P, MATSUI Y, FUJIWARA T. Household solid waste generation and characteristic in a Mekong Delta city, Vietnam[J]. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(11): 2307–2321.
- [16] RAMACHANDRA T V, BHARATH H A, KULKARNI G, et al. Municipal solid waste: generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 82: 1122–1136.
- [17] 张冲. 房价上涨对居民消费影响分析——机制分析、模型构建与实证检验[D]. 大连: 东北财经大学, 2017.
- [18] AHMAD A, DEY L. A k–mean clustering algorithm for mixed numeric and categorical data[J]. *Data & Knowledge Engineering*, 2007, 63(2): 503–527.
- [19] 曾藏, 潘畅, 周仲恺, 等. “最小二乘法”对安徽省城市生活垃圾产量预测研究及影响因子分析[J]. *环境与发展*, 2018, 30(9): 120–122+124.
- [20] 鲁宝智. 《城市生活垃圾产量计算及预测方法》修订编制研究[J]. *环境卫生工程*, 2017, 25(3): 19–21.
- [21] LAU K M, LI S M. Commercial housing affordability in Beijing, 1992–2002[J]. *Habitat International*, 2006, 30(3): 614–627.
- [22] 姜丽兰. 江苏省城市生活垃圾产生量的影响因素分析[J]. *环境卫生工程*, 2017, 25(1): 48–50.
- [23] 崔铁宁, 王丽娜. 城市生活垃圾排放量与经济增长关系的区域差异分析[J]. *统计与决策*, 2018, 34(20): 126–129.
- [24] 李漱玉, 杨璐明. 地区经济增长——基于城市生活垃圾面板数据的研究[J]. *科技经济市场*, 2019(4): 55–57+60.
- [25] 孟小燕. 城市生活垃圾分类回收系统多主体行为模拟与政策分析[D]. 北京: 清华大学, 2017.
- [26] 罗楠. 上海生活垃圾分类治理模式探索[J]. *城乡建设*, 2019(8): 16–19.

The Influencing Factors and Forecasting of Municipal Solid Waste Generation —Based on Provincial Clustering Analysis

WANG Chen¹, LI Qing¹, LI Lixin²

(1. Donlinks School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. Offshore Engineering Company Limited, CNPC, Beijing 100028, China)

Abstract: Municipal solid waste (MSW) is the derivative of urban development. Sustainable waste management and scientific disposal methods have become the focus in academic researches and policy design. Among them, understanding the generation mechanism of municipal solid waste and estimating future trend of MSW are the basis for determining the proper disposal methods. Based on the provincial panel data, this paper has used Chinese residents' consumption structure during 2008–2018 to explore the MSW generation mechanism. Three MSW generation models for these three economic – consumption provincial groups are built. On the basis of local models, this paper has combined the ordinary least square (OLS) and multiple linear regression (MLR) to forecast the MSW generation of provinces in different regions. The conclusions of this paper are as follows: firstly, the consumption structure of residents has a significant impact on the generation of municipal solid waste, among which housing expenditure has a significant negative impact on the MSW generation; secondly, with the increase of MSW infrastructure investment, MSW generation volumes decrease, indicating that effective related investment can improve the current garbage situation; thirdly, Zhejiang, Hunan and Sichuan province will all face severe pressure of urban household waste by 2020 compared with their own development level. Although the total volume of waste faced by some regions is not large at present, due to the great economic development potential, the growth rate of MSW in the future will be fast, such as Sichuan province.

Key words: municipal solid waste generation; consumption patterns; clustering analysis; provincial panel data

[责任编辑:孟青]