

Research on the Efficiency of Chinese Municipal Solid Waste Management and Its Influencing Factors

Qin Wang

Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei
Email: 158459220@qq.com

Received: Mar. 17th, 2020; accepted: Apr. 8th, 2020; published: Apr. 15th, 2020

Abstract

Strengthening the management of urban domestic waste is an inevitable requirement for sustainable urban development and an important task to realize "beautiful China". Based on the DEA-FGLS model, the article explores the efficiency of urban domestic waste management and its influencing factors in 30 provinces in China. The results show that the efficiency of municipal solid waste management in China's provinces during the study period is relatively low. The relationship between municipal solid waste management efficiency and economic development complies with the environmental Kuznet curve. The city size, the income of municipal household waste disposal fee and the degree of marketization have a significant impact on waste management efficiency.

Keywords

Municipal Solid Waste Management, DEA-FGLS Model, Efficiency, Influencing Factors

中国城市生活垃圾管理效率及其影响因素研究

汪沁

武汉理工大学, 湖北 武汉
Email: 158459220@qq.com

收稿日期: 2020年3月17日; 录用日期: 2020年4月8日; 发布日期: 2020年4月15日

摘要

加强城市生活垃圾管理, 是城市可持续发展的必然要求, 也是实现“美丽中国”的一项重要工作。文章基于DEA-FGLS模型对我国30个省城市生活垃圾管理效率及其影响因素进行了探究。结果显示, 研究期

内我国各省城市生活垃圾管理效率水平较低，城市生活垃圾管理效率与经济的关系符合环境库兹涅曲线，城市规模、城市生活垃圾处理费收入 and 市场化程度对城市生活垃圾管理效率影响显著。

关键词

城市生活垃圾管理，DEA-FGLS模型，效率，影响因素

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

十九大报告强调“绿水青山就是金山银山”，“绿色”发展理念正被贯彻至各行各业。然而，我国大部分城市还在被“垃圾围城”所困扰。《2017 年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报》显示，2017 年中国 214 个大、中城市生活垃圾产生量为 18,851 万吨。而每堆积一万吨废物，平均占地 667 平方米。“垃圾围城”不仅浪费了稀缺的城市土地资源，而且危害生态环境，更对人们的身体健康和生活质量产生直接的负面影响。2017 年 3 月，国务院办公厅转发发改委、住建部《生活垃圾分类制度实施方案》，并通知在 2020 年年底在 46 个重点城市先行展开生活垃圾强制分类，垃圾分类的“二次革命”正式拉开序幕。2019 年 46 个重点城市将计划投入 213 亿元继续加快推进处理设施建设，为城市生活垃圾管理创造了前所未有的机遇。对我国城市生活垃圾管理效率的研究，有利于发现各省的生活垃圾管理中存在的问题，让城市生活垃圾管理效率高的省份起到示范作用，以先进带领落后，形成你追我赶的良好发展势头。研究城市生活垃圾管理效率及其影响因素，不仅能缓解我国“垃圾围城”的困境，也有利于促进经济与社会和谐发展。

城市生活垃圾治理工作已经刻不容缓。国内外现在对生活垃圾治理效率相关的论文并不多。国外学者主要对生活垃圾治理效率的研究方法主要是数据包络分析(DEA)和生命周期法(LCA)。Nicky Rogge A. B. [1]基于 DEA 模型对市政当局在处理城市生活垃圾的不同部分的成本效率进行了估算, 研究结果显示, 弗兰德市的垃圾总成本效率均值为 47.21%, 这表明弗兰德市的城市生活垃圾搜集和处理效率较低。Nicky Roggea (2012) [2]提出了一种经过调整的“共享输入”数据包络分析方法, 并用该模型评估了市政废物收集和性能。A. Suna Erses Yay (2015) [3]通过生命周期评估(LCA)方法确定影响较小的城市固体废物管理系统的环境, 研究结果表明, LCA 是一种有价值的工具, 可以帮助州长和管理者制定综合废物管理策略, 提供比策略建议更优选的环境成果。国内对生活垃圾治理效率的论文寥寥无几。目前仅有周靖承(2012) [4]和崔铁宁(2017) [5]两位学者进行了研究, 周靖承运用数据包络分析(DEA)模型对 2009 年我国 34 座城市的生活垃圾管理效率进行了评价, 发现我国大部分城市的生活垃圾管理效率较高, 但纯技术效率普遍较低, 有待提高。而崔铁宁则在周靖承的基础之上, 对 2015 年我国 30 个省的生活垃圾治理效率进行了测定, 并做了影响因素分析。研究发现, 科技水平与居民的环保意识城市生活垃圾的管理效率显著正相关。除此以外, 还有一些学者在对我国生活垃圾治理现状的研究基础之上提出了一些有助于提升生活垃圾治理效率的建议, 如田文华(2016) [6]、苏小四(2001) [7]、眭载阳(2015) [8]和冯晓星(2013) [9]综述了我国城市生活垃圾治理的现状, 揭示了现行垃圾治理体制的问题, 并从垃圾管理体系、政策制定和居民行为等方面提出了提高垃圾治理效率的建议。

目前我国对城市生活垃圾治理进行实证分析的文章不多, 且现有的实证文章对城市生活垃圾治理效

率的研究及分析较浅。基于此，文章首先建立了 BCC-DEA 模型对 2007 年到 2016 年我国城市生活垃圾管理效率进行评价。然后在此基础上，运用面板随机效应 FGLS 模型对生活垃圾管理效率的影响因素进行分析和探讨，并提出相应的建议。

2. 基于 BCC-DEA 模型的城市生活垃圾管理效率评价

2.1. 数据来源及变量选取

文章以 2007~2016 年中国 30 个省、直辖市或者自治区的面板数据作为研究样本，借鉴《2015~2016 年中国城市垃圾处理发展报告》从设施水平和公共服务能力两方面来描述生活垃圾治理效率的投入要素，具体选取垃圾处理投资和无害化处理厂数来表示设施水平，用市容环卫专用车辆设备数表示公共服务能力，并用生活垃圾无害化处理率和垃圾处理费清运量反应了生活垃圾治理的最终产出。数据均来源于国家统计局、《中国城市统计年鉴》、《中国统计年鉴》以及《中国环境统计年鉴》。鉴于数据的科学性和可得性，剔除了西藏，香港、台湾和澳门，以剩余 30 个省、直辖市和自治区作为评价对象。

2.2. 城市生活垃圾管理效率评价及分析

根据以上模型和指标体系，运用 DEAP2.1 软件对数据进行测算，采用投入导向 BCC 模型对我国 2007 年到 2016 年的城市生活垃圾管理效率进行测定，测度结果见附录 1。

2.2.1. 城市生活垃圾管理效率测度

为了更好的对各年度全国城市生活垃圾管理水平进行评价，将城市生活垃圾管理效率分为三个阶段：DEA 有效地区(效率值为 1)、高效地区(0.8~1)、低效地区(效率值低于 0.8)。2007~2016 年我国各省城市生活垃圾管理效率情况如图 1 所示。

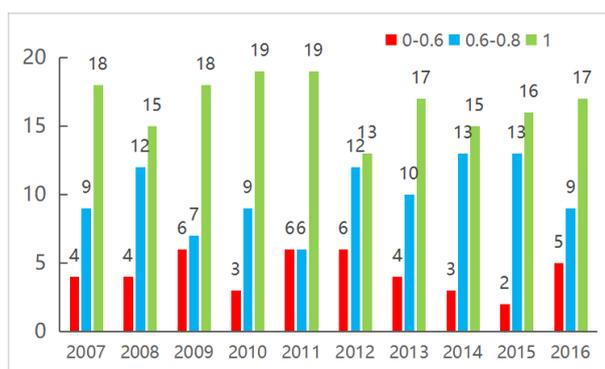


Figure 1. Histogram of China's municipal solid waste management efficiency from 2007 to 2016

图 1. 2007~2016 年我国城市生活垃圾管理效率直方图

如图 1 所示 2007~2016 年我国城市生活垃圾管理效率在 2011 年出现拐点。2007~2011 年，各地区城市生活垃圾管理效率为 1 的省、直辖市或者自治区分别有 18、15、18、19 和 19 个。与 2007~2011 年相比，2012~2016 年 DEA 有效的省份明显较少，同时城市生活垃圾管理效率介于 0.6~1 之间的省、直辖市或者自治区的数量增多。这说明 2011 年以后，部分省份的城市生活垃圾管理效率由 DEA 有效下降至高效阶段，效率值发生了下降，或者是效率值上升的省份个数低于效率值下降的个数。整体来看，2007~2016 年间，每年都有接近一半的省、直辖市或者自治区的城市生活垃圾管理有效，近三分之一的省、直辖市或者自治区的城市生活垃圾管理效率处于高效状态，仅少数省、直辖市或者自治区效率值低于 0.8。

为了对我国城市生活垃圾管理效率进行进一步分析, 计算出了 2007~2016 年我国各省、直辖市或者自治区的城市生活垃圾管理效率的平均值, 再根据前文对效率值的划分, 得到各省、直辖市或者自治区的城市生活垃圾管理效率分布图。

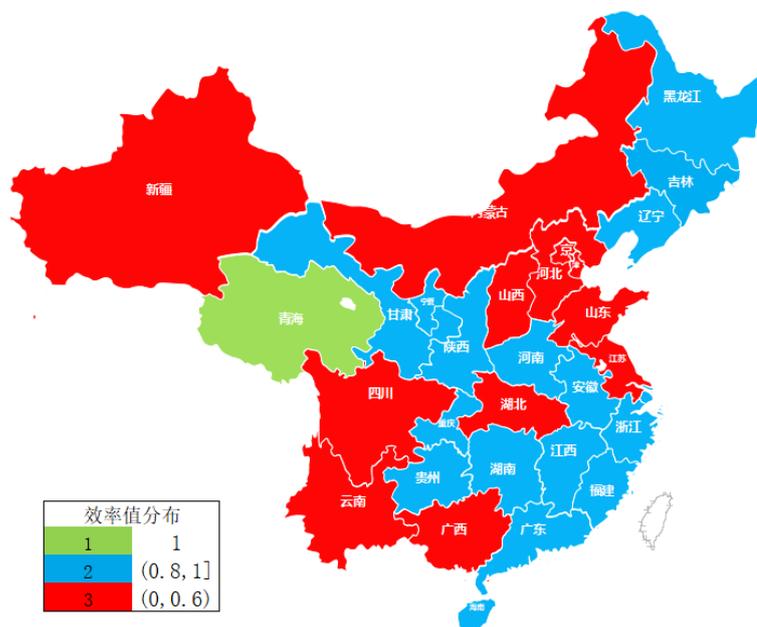


Figure 2. Distribution of urban domestic waste management efficiency
图 2. 城市生活垃圾管理效率分布图

评价一个省的城市生活垃圾管理的综合效率即技术效率时, 假设技术效率为 1, 则表示该省的 DEA 有效。假设为 0.7, 则表明该省的城市生活垃圾管理的投入有 70% 得到了重复的利用。

尽管图 1 结果显示, 每年都有近半数的省、直辖市或者自治区的城市生活垃圾管理效率为 1, 但是从图 2 中发现, 2007~2016 年城市生活垃圾管理效率为 1 的省份仅有青海。说明虽然每年都有不少省份的城市生活垃圾管理达到有效, 但是城市生活垃圾管理经验或者技术并不成熟, 效率仍然存在波动。与其他地区相比, 青海省的城市生活垃圾管理效率一直稳定的处于效率前沿面, 可以成为其他地区城市垃圾管理的学习标杆。从城市生活管理效率的投入产出指标来看, 青海城市生活垃圾管理效率高的主要原因是青海生活垃圾产生量均值在全国范围内最低, 与其他地区相比, 城市生活垃圾管理压力最小。

城市生活垃圾管理效率大于等于 0.8, 小于 1 的省份有 17 个。从图 2 可以看到, 这些省、直辖市或者自治区主要分布在东北地区、东南沿海地区和中部地区。在这些省份中, 我国城市生活垃圾管理效率均值大于 0.9 的地区从大到小依次是宁夏、广东、吉林、上海、辽宁、陕西和江西 7 个省。青海、宁夏、吉林、辽宁、陕西和江西的城市生活垃圾产生量在全国均属于较低, 在生活垃圾管理效率大于 0.9 的这 7 个省份中, 仅有广东和上海市是垃圾产生量高而垃圾管理效率也较高的省份。这说明城市生活垃圾产生量低是地区城市生活垃圾管理效率高的主要原因。换句话说, 其余地区城市生活垃圾管理效率低下主要是由于其城市生活垃圾产生量高, 超过了地区城市生活垃圾管理的最优规模。其中, 最值得一提的是, 东南沿海地区(浙江、福建和广东)以及上海近年来一直在积极实行垃圾分类相关的激励措施, 如建立“绿色账户”, 并且在垃圾焚烧发电方面均在我国具有领先优势, 尤其是上海。虽然上海垃圾产生量位居全国第一, 但城市生活垃圾管理效率仍然较高, 这说明说明上海的城市生活垃圾管理手段及技术能成为全国标杆, 值得其余地区学习和借鉴。目前, 我国垃圾处理的手段依然以卫生填埋为主, 但焚烧处理优势

日趋明显，已经成为我国“十三五”规划的重点对象。2016年我国垃圾填埋处理占垃圾无害化处理量的57.97%，焚烧占比33.82%。因此，提高地区城市生活垃圾处理能力是提高城市生活垃圾效率的重要手段。

我国城市生活垃圾管理效率低于0.8的省、直辖市或者自治区有12个。这些地区主要集中在我国北部地区和西南地区。当然，其中也包括我国经济比较发达的北京、天津以及江苏，这三个地区城市生活垃圾管理效率均值分别为0.688、0.754以及0.682。这三个地区的城市生活垃圾管理效率分别存在31.2%、24.6%以及31.8%的提升空间。这些地区经济发达，拥有丰厚的经济基础，但城市生活垃圾管理效率却很低。这些城市应该以上海为学习对象，建立相应的激励政策，鼓励居民将垃圾从源头上减量，主动进行垃圾分类。另外，提高垃圾无害化处理技术是提高城市垃圾效率提高的关键。

2.2.2. 城市生活垃圾管理效率的区域差异分析

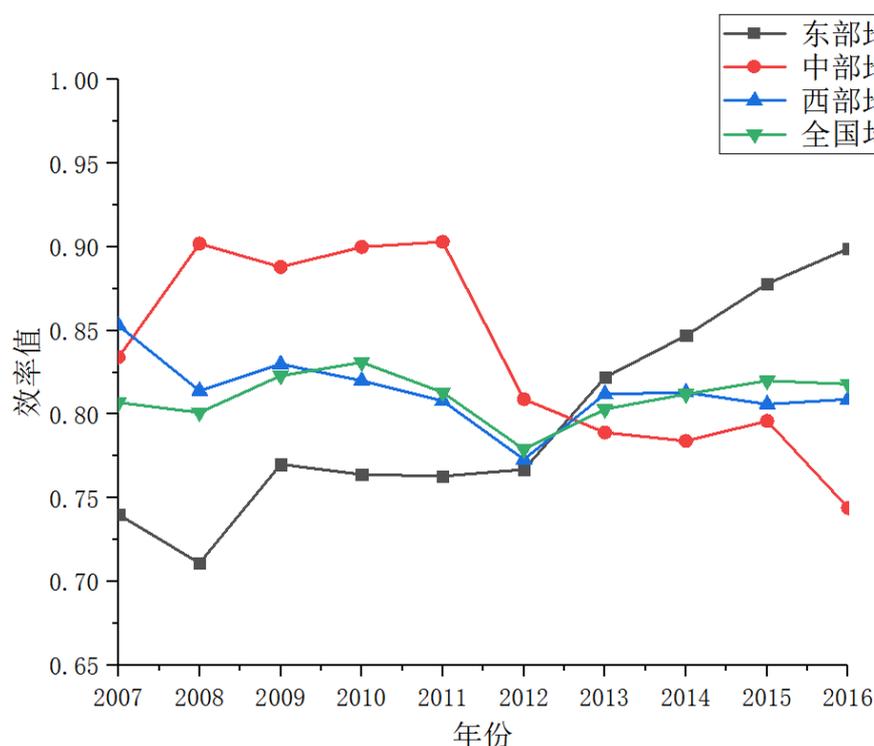


Figure 3. The average efficiency of China's three major regions from 2007 to 2016

图3. 2007年到2016年我国三大地区效率均值

如图3所示，2007年到2016年我国城市生活垃圾管理水平没有发生太大的改变。以2012年为分界点，2007年到2012年，中部地区城市生活垃圾管理效率最高且高于全国平均水平，东部地区效率最低且均低于全国平均水平，而西部地区介于东部和西部之间，与全国平均水平差不多。2012年以后，东部地区的城市生活垃圾管理效率逐渐升高，而中部地区则逐渐降低，西部地区的城市生活垃圾管理效率仍然介于两者之间。

环境库兹涅兹曲线认为，绿色经济效率与经济发展水平呈现倒U型关系。具体原因在于：低收入人群对经济建设的重视程度较高，对环境考虑较少，此时绿色经济效率较低。而高收入人群对环境的重视程度较高，社会各界会更加注重环境治理，较高的技术创新保证了资源的利用效率，因此较高的经济发展水平有利于绿色经济效率提高。如图3所示，城市生活垃圾管理与经济发展的关系符合环境库兹涅兹曲线。我国经济的发展实际趋势是东部率先崛起，中部次之。因此东部地区在2012年对经济建设的重视程度更

高，而忽略了环境污染，对城市生活垃圾管理造成了负面影响。在 2012 年以后，东部地区的经济建设程度较高，加强了对环境污染的重视，增加对城市生活垃圾管理的经济投入和技术投入，从而使我国的城市生活垃圾管理水平逐渐提高。而中部地区前期经济发展水平较低，因此城市生活垃圾管理水平高于东部地区，但是 2012 年以后，经济的发展开始对环境造成一定的压力，城市生活垃圾产生量提高，但对城市垃圾管理的重视程度没有随之提高，因此，2012 年以后我国西部地区的城市生活垃圾管理效率开始下降。

3. 我国城市生活垃圾管理效率影响因素

3.1. 模型设定

为了减少误差项存在的异方差性和序列相关性的影响，可使用广义最小二乘法(FGLS)来进行参数估计。具体的计量模型为：

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 rgdp_{it} + \beta_2 rgdp_{it}^2 + \beta_3 envi_{it} + \beta_4 fee_{it} + \beta_5 mark_{it} + \beta_6 gc_{it} + \beta_7 gc_{it}^2 + \beta_8 tech_{it} + \beta_9 fdi_{it} + \varepsilon_{it} \quad (\text{模型 I})$$

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 ps + \beta_2 envi_{it} + \beta_3 fee_{it} + \beta_4 mark_{it} + \beta_5 gc_{it} + \beta_6 gc_{it}^2 + \beta_7 tech_{it} + \beta_8 fdi_{it} + \varepsilon_{it} \quad (\text{模型 II})$$

其中，被解释变量 y_{it} 用地区的综合技术效率(y_1)表示，同时为了保证结果的稳健性，再分别以纯技术效率(y_2)和规模效率(y_3)再次回归；经济发展水平($rgdp_{it}$)用平减以后的人均 GDP 的对数表示；城市规模(ps_{it})用城镇人口规模的对数表示。环境规制($envi_{it}$)用地区城市污水排放量的对数表示；垃圾处理费(fee_{it})用城市垃圾处理费的对数表示；市场化程度($mark_{it}$)用王小鲁和樊纲的市场化指数表示；政策因素(gc_{it})指垃圾分类试点覆盖人口占总人口比重表示。科技水平($tech_{it}$)用该地区的专利授权量对数表示对外开放(fdi_{it})用实际利用外资的对数表示。 ε_{it} 表示残差。

3.2. 实证分析

根据表 1 和表 2 的回归结果，可以发现：

1) 在模型 I (Y_1)和模型 I (Y_2)以及模型 I (Y_3)中，经济发展水平均在 1%的水平上显著，且与我国城市生活垃圾管理效率存在负相关关系，而人均 GDP 的平方对我国城市生活垃圾管理效率的影响为正。根据“环境库兹涅曲线”，经济发展水平与城市生活垃圾管理效率呈现 U 型关系。即在经济发展水平低的地区，经济发展水平与城市生活垃圾管理水平呈现负相关关系，在经济发展水平高的地区，经济发展水平与城市生活垃圾管理水平呈现正相关关系。这说明我国城市生活垃圾管理全过程效率与城市的经济发展水平符合环境库兹涅曲线。

2) 城市规模(ps)与城市生活垃圾管理效率在 1%的水平上显著，且回归系数为-2.603，城市规模每增加一个单位，城市生活垃圾管理效率降低 2.603 个单位。城镇常住人口的增加，将会直接导致城市生活垃圾产生量的增加，而垃圾产生量的增加无疑给城市生活垃圾管理带来了更大的压力，这将不利于城市生活垃圾管理效率的提高。目前为止，我国大部分地区城市生活垃圾管理效率低下的主要原因都是城市生活垃圾产生量超过了地区城市垃圾管理所能负荷的数量。提高城市生活垃圾管理能力是提高城市生活垃圾管理效率的途径之一。

3) 从表 1 四个回归模型结果可以看到，环境规制($envi$)在四个模型中的结果不完全一致，这说明对我国城市生活垃圾管理效率的影响并不显著。但是从表 2 以看到，在高收入地区的回归结果中，环境规制对城市生活垃圾管理效率的回归系数为-0.123，说明在高收入的地区，城市生活污水排放量对我国城市

生活垃圾管理效率的影响为负，即城市生活污水排放量每降低一个单位，城市生活垃圾管理效率将提高0.123个单位。其主要原因是，高收入地区的政府和居民对环境污染问题更加重视，因此环境规制较高，对城市生活垃圾的管理起到了正向调节作用。低收入地区的环境规制对城市生活垃圾的管理效率影响不显著，说明低收入地区对环境污染的重视程度低，不能对城市生活垃圾的管理起到正向作用。

Table 1. Overall regression results and robustness tests
表 1. 整体回归结果及稳健性检验

	模型 I (Y ₁)	模型 II (Y ₁)	模型 I (Y ₂)	模型 I (Y ₃)
rgdp	-2.428*** (0.000)		-0.235*** (0.006)	-1.493*** (0.000)
Rgdp ²	0.108*** (0.000)		0.010*** (0.000)	0.067*** (0.000)
ps		-0.263*** (0.000)		
envi	-0.003 (0.903)	0.159*** (0.000)	-0.020*** (0.000)	0.049** (0.041)
fee	0.032*** (0.000)	0.022*** (0.001)	0.003** (0.025)	0.017** (0.014)
mark	0.615*** (0.000)	-0.138* (0.057)	0.103*** (0.000)	0.431*** (0.000)
gc	-0.004** (0.046)	-0.001 (0.732)	0.001*** (0.005)	-0.005*** (0.005)
gc ²	0.000 (0.226)	0.000 (0.761)	0.000*** (0.000)	0.000** (0.03)
tech	0.005 (0.764)	-0.004 (0.801)	0.007* (0.058)	-0.006 (0.701)
fdi	-0.020* (0.073)	0.018* (0.095)	0.007** (0.017)	-0.038*** (0.000)
_cons	11.860*** (0.000)	1.137*** (0.000)	2.035*** (0.000)	7.222*** (0.000)
Wald chi ² (8)	89.390***	166.480***	89.970***	80.250***
Prob > chi ²	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)

注：*、**和***分别表示结果在 0.1、0.05 和 0.01 的水平上显著。

4) 我国城市生活垃圾管理效率与垃圾处理费(fee)的回归系数为正，且均在 1%的水平上显著，说明垃圾处理费与城市生活垃圾管理效率正相关。其原因可能是城市生活垃圾的处理费收入是地区为了从源头减少城市生活垃圾产生量而制定的。城市生活垃圾管理效率与垃圾处理费收入存在正向相关关系，说明城市生活垃圾处理费收入对居民的垃圾产生量起到了一定的约束作用，减轻城市生活垃圾管理压力，

进而提高城市生活垃圾管理效率。

5) 市场化程度(mark)在模型 I (Y_1)和模型 I (Y_2)以及模型 I (Y_3)中均城市生活垃圾治理效率呈现正向相关关系,且均在 1%的水平上显著。说明随着市场化程度的提高,我国城市生活垃圾治理效率相对也会提高。这可能是因为随着市场化程度的不断深化,资源配置更加趋于合理,交易成本降低,市场活跃程度加大,有利于我国城市生活垃圾治理效率的提高。

6) 借鉴现有研究,利用我国第一批垃圾分类试点城市覆盖人口占该地区城镇常住人口总数的比重来衡量我国第一批垃圾分类试点政策。如表 1 所示,gc 及 gc^2 在模型 I (Y_1)和模型 II (Y_1)中的回归系数均不显著,这表明我国第一批垃圾分类试点效果不显著,对地区的城市生活垃圾管理没有起到应有的促进作用。从第一批垃圾分类试点的实际情况来看,各地区并没有将垃圾分类政策贯彻到实际行动中来,这也是我国第一批垃圾分类试点失败的原因。

7) 科技水平(tech)和对外开放水平(fdi)对我国城市生活垃圾管理效率的关系不显著。这说明我国关于城市生活垃圾管理的科技成果没有转化为城市生活垃圾管理的能力,生活垃圾管理的专利没有转化为生产力,从而导致我国的科技创新没有对生活垃圾治理效率产生作用。表 2 结果显示,在高收入地区,城市生活垃圾管理水平与对外开放水平存在正相关关系。这说明在高收入地区,我国的对外开放比较绿色化,给城市带来的负面作用低于对外开放给城市带来的正向影响。外商在给地区带来了先进的科学技术促进了地区的经济发展,更促进了城市生活垃圾管理水平的提高。

Table 2. Moderating effect of per capita income on China's municipal solid waste management efficiency

表 2. 人均收入对我国城市生活垃圾管理效率的调节效应

	高收入地区	低收入地区
envi	-0.123*** (0.000)	0.007 (0.781)
fee	0.056*** (0.000)	-0.036*** (0.002)
mark	0.647*** (0.000)	0.245*** (0.000)
gc	-0.003 (0.165)	-0.059*** (0.000)
gc^2	0.000 (0.541)	0.002*** (0.000)
tech	0.027 (0.201)	-0.015 (0.396)
fdi	0.033* (0.062)	-0.009 (0.36)
_cons	-1.595*** (0.004)	0.395 (0.214)
Wald $\chi^2(8)$	142.850	280.980
Prob > χ^2	(0.000)	(0.000)

注: *、**和***分别表示结果在 0.1、0.05 和 0.01 的水平上显著。

4. 建议

1) 完善生活垃圾处理收费制度，实现垃圾的源头减量。

根据“谁污染谁付费”的原则完善生活垃圾处理的收费制度，以成本效益确定合理的收费单价，建立起配套的垃圾收费支撑体系。明确污染越多缴费越多，以经济手段来促进生活垃圾的源头减量。

2) 深入贯彻我国第二批垃圾分类政策，将垃圾分类工作落到实处。

2017年3月住建部发布的《生活垃圾分类制度实施方案》标志着我国垃圾分类的“二次革命”正式拉开序幕。2019年7月1日，上海率先实行垃圾强制分类政策，将生活垃圾分为了干垃圾、湿垃圾、有害垃圾和可回收物，并且在强制实行垃圾分类政策之前就从各个途径对垃圾的类别进行了广泛的宣传，违者单位罚款5千~5万元，个人罚款50~200元。目前来看，效果十分显著。上海垃圾分类政策的迅速而有效地落实，为其余地区的垃圾分类政策的落实起到了良好的示范作用。垃圾分类工作的落实，不仅有利于可回收垃圾的再利用，减少垃圾的处理量，还能促进垃圾的分类清运和处理，从而提高垃圾清运和处理效率，是解决我国“垃圾围城”现状的突破口。

3) 强化环境保护政策建设，倡导发展绿色经济。

“垃圾围城”现象困扰着如今大部分城市，各地方政府要充分意识到环境保护和生活垃圾治理的重要性，不要再以牺牲环境为代价来发展经济。习总书记强调“绿水青山就是金山银山”，我们要积极贯彻绿色生活理念。各地方政府要强化环境保护政策建设，提高环境污染惩罚力度，对于那些对环境造成严重破坏的企业，要责令其进行重大整改，如有必要，可将其取缔。

参考文献

- [1] Rogge, N. and Jaeger S.D. (2012) Evaluating the Efficiency of Municipalities in Collecting and Processing Municipal Solid Waste: A Shared Input DEA-Model. *Waste Management*, **32**, 1968-1978. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.021>
- [2] Rogge, N. and De Jaeger, S. (2013) Measuring and Explaining the Cost Efficiency of Municipal Solid Waste Collection and Processing Services. *Omega-International Journal of Management Science*, **41**, 653-664. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.006>
- [3] Yay, E. and Suna, A. (2015) Application of Life Cycle Assessment (LCA) for Municipal Solid Waste Management: A Case Study of Sakarya. *Journal of Cleaner Production*, **94**, 284-293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.089>
- [4] 周靖承, 陈海滨. 基于 DEA 模型的我国城市生活垃圾管理效率评价[J]. *中国环境科学*, 2012, 32(7): 1332-1338.
- [5] 崔铁宁, 王丽娜. 城市生活垃圾管理效率评价及影响因素研究[J]. *价格理论与实践*, 2017(10): 138-141.
- [6] 田华文. 焚烧还是填埋: 城市生活垃圾末端治理的策略选择[J]. *社会科学家*, 2016(8): 79-83
- [7] 苏小四, 张贻侠, 闫静奇. 中国城市垃圾研究的典型实例——长春市垃圾普查与整治[J]. *吉林大学学报(地)*, 2001, 31(4): 376-381.
- [8] 睦载阳. 国内城市生活垃圾治理研究述评[J]. *青年时代*, 2015(14): 85-85.
- [9] 冯晓星. 科学处理缓解“垃圾围城”困局——我国城市垃圾处理问题及对策分析[J]. *环境保护*, 2013, 41(15): 41-42.

附 录

Table 1. Municipalsolid waste management efficiency in 30 provinces in China from 2007 to 2016

表 1. 2007 年到 2016 年我国 30 省城市生活垃圾管理效率

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	均值	排名
北京	0.623	0.556	0.64	0.604	0.485	0.823	0.638	0.85	0.852	0.805	0.688	25
天津	0.782	0.677	0.703	0.629	0.454	0.66	0.636	1	1	1	0.754	21
河北	0.74	0.73	0.758	0.7	0.683	0.624	0.68	0.66	0.603	0.568	0.675	27
山西	0.658	0.562	0.54	0.555	0.57	0.537	0.559	0.63	0.678	0.747	0.604	28
内蒙古	0.822	0.846	0.809	0.825	0.686	0.73	0.608	0.62	0.532	0.62	0.710	24
辽宁	1	0.794	1	0.733	0.94	0.999	1	1	1	0.964	0.943	6
吉林	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.68	0.968	4
黑龙江	1	1	1	1	1	0.772	0.656	0.693	0.52	0.598	0.824	15
上海	0.933	0.73	1	1	1	1	1	1	1	1	0.966	5
江苏	0.53	0.53	0.58	0.625	0.702	0.737	0.682	0.679	0.75	1	0.682	26
浙江	0.56	0.67	0.678	0.749	0.82	0.764	0.967	0.906	1	0.926	0.804	18
安徽	0.899	1	1	1	0.836	0.75	0.735	0.73	0.666	0.687	0.830	13
福建	0.65	0.673	0.67	0.735	0.77	0.84	0.9	1	1	1	0.824	16
江西	0.74	0.903	1	1	1	1	1	0.867	0.89	0.956	0.936	8
山东	0.55	0.66	0.587	0.628	0.56	0.52	0.542	0.505	0.694	0.73	0.598	29
河南	0.648	0.882	0.766	0.858	1	0.93	0.848	1	1	0.84	0.877	10
湖北	0.83	0.87	0.843	0.905	0.965	0.736	0.69	0.597	0.8	0.694	0.793	19
湖南	0.92	1	0.954	0.88	0.856	0.762	0.82	0.774	0.8	0.772	0.854	12
广东	0.848	0.842	0.993	1	1	1	1	1	1	1	0.968	3
广西	0.568	0.548	0.479	0.485	0.56	0.548	0.607	0.627	0.633	0.526	0.558	30
海南	1	1	1	1	1	0.543	1	0.756	0.754	0.894	0.895	9
重庆	0.635	0.654	0.55	0.674	1	0.86	0.93	1	1	1	0.830	14
四川	0.623	0.7	0.759	0.862	0.803	0.76	0.96	0.8	0.806	0.756	0.783	20
贵州	1	1	1	1	0.595	0.628	0.747	0.75	0.658	0.677	0.806	17
云南	1	0.698	0.596	0.54	0.672	0.596	0.537	0.728	0.77	0.987	0.712	23
陕西	0.975	0.77	0.955	0.936	0.876	0.959	1	1	0.978	0.95	0.940	7
甘肃	1	1	1	1	1	0.837	0.836	0.75	0.65	0.6	0.867	11
青海	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.000	1
宁夏	0.92	1	1	1	1	1	1	1	0.879	1	0.980	2
新疆	0.858	0.77	1	1	0.67	0.53	0.54	0.509	0.67	0.58	0.713	22
均值	0.810	0.802	0.829	0.831	0.817	0.782	0.804	0.814	0.819	0.819	0.813	