

吉林省农村生活垃圾收运体系运行效率评价

王静静¹, 于博洋¹, 张赢月², 李宣蓉¹, 高明¹, 窦天聪³, 冯艳春^{1*}, 李忠和^{1*}

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 长春市市政工程设计研究院有限责任公司, 长春 130000; 3. 长春市人民政府军用饮食供应站, 长春 130022)

摘要:“十四五”时期, 国家生态文明建设将进入新的关键阶段, 提升生态环境保护水平, 进一步提升资源利用率, 对农村生活垃圾收运处置体系的发展提出了更为严苛的要求。农村生活垃圾收运体系建设是实现垃圾资源化与无害化处理的基础保障, 对推进美丽乡村建设具有重要意义。本研究以吉林省37个县(市)农村生活垃圾收运体系实地调研数据为依据, 运用数据包络分析(DEA)方法, 剖析吉林省农村生活垃圾收运体系综合效率、纯技术效率和规模效率, 综合评价吉林省农村垃圾收运体系运行状况与运行效率, 识别存在的问题, 分析成因, 并给出相应的对策建议, 以期为吉林省农村生活垃圾收运处置体系建设与完善提供参考。

关键词:数据包络分析(DEA); 农村生活垃圾; 收运体系; 运行效率; 吉林省

中图分类号: X799.3

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)01-0085-08

Evaluation on the Operational Efficiency of Rural Domestic Waste Collection and Transportation System in Jilin Province

WANG Jingjing¹, YU Boyang¹, ZHANG Yingyue², LI Xuanrong¹, GAO Ming¹, DOU Tiancong³, FENG Yanchun^{1*}, LI Zhonghe^{1*}

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. Changchun Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Changchun 130000; 3. Changchun Municipal People's Government Military Catering Supply Station, Changchun 130022, China)

Abstracts: During the "14th Five-Year Plan" period, the construction of national ecological civilization will enter a new critical stage. Improving the level of ecological environment protection and further enhancing resource utilization have put forward stricter requirements for the development of rural household waste collection, transportation and disposal systems. The construction of rural solid waste collection and transportation system is the fundamental guarantee for achieving waste resource utilization and harmless treatment, and is of great significance for promoting the construction of beautiful rural areas. Based on the field survey data of rural domestic waste collection and transportation system from 37 counties (cities) of Jilin Province, this study used Data Envelopment Analysis (DEA) model to analyze the comprehensive efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency of rural domestic waste collection and transportation system of Jilin Province. We comprehensively evaluated the operation status and efficiency of rural domestic waste collection and transportation system of Jilin Province, identifying the existing problems and analyzing the causes. Corresponding countermeasures and suggestions were given in order to provide reference for the construction of the collection, transportation and disposal system of rural domestic waste in Jilin Province.

Key words: Data Envelopment Analysis (DEA); Rural domestic waste; Collection and transportation system; Operating efficiency; Jilin Province

收稿日期: 2023-07-03

基金项目: 吉林省科技厅工程院院地合作项目(2020-JL-11)

作者简介: 王静静(1987-), 女, 助理研究员, 博士, 从事农业工程咨询研究。

通讯作者: 冯艳春, 女, 硕士, 副研究员, E-mail: fengyc2007@126.com

李忠和, 男, 博士, 研究员, E-mail: 251089688@163.com

随着经济的快速发展,农村生活垃圾的产生量逐年累增,农村生活垃圾已经成为影响农村人居环境的重要因素,环境隐患日益突出。“十四五”时期,生态文明建设进入新的关键阶段,提升生态环境保护水平,进一步提升资源利用率,对农村生活垃圾收运处置体系的发展提出了更为严苛的要求,顺应“双碳”政策,生活垃圾收运处置体系建设势在必行^[1-2]。目前,城市生活垃圾已逐步建立了遵循减量化、资源化、无害化原则并符合源头分类、中端运输、末端治理要求的垃圾收运处理体系^[3],但农村生活垃圾具有体量大、分布广、收集难等特点^[4],平均收运效率不及城市十分之一^[5]。农村生活垃圾治理工作是稳步推进农村人居环境整治的关键,完善农村生活垃圾收运体系将有效改善农村人居环境,促进资源回收利用,加快实现资源节约、环境友好“两型社会”^[6-7]。

数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)是一种数量分析方法,它基于多项投入和产出指标,并运用线性规划的方法对可比性强的同类型评价单元进行相对有效性的评价。广泛运用于全要素评价、能源系统能效评价、工业污染治理效率评价、环境治理水平评价等领域^[8-10]。近年来,DEA法被用于评价生活垃圾处理方面,如对欧盟成员国、“一带一路”国家整体垃圾收运体系的管理效率、回收性能、处理效率的评价^[11-15];对我国城市生活垃圾收运体系的管理、处理效率、建设规模方面的评价等^[16-20]。然而,目前对于农村生活垃圾收运体系运行效率的研究大多停留在对其中某一环节的单一因素评价,如村镇垃圾转运效率、农户参与对垃圾处理效果的影响、经济效益评估等^[21-24],缺少基于多因素的农村生活垃圾收运体系综合效率评价。

本研究基于吉林省全域范围内农村生活垃圾收运体系营运现状调研数据,运用DEA法通过对收运处置基础设施投资总额、设备投资总额、收集点、环卫车辆、转运站数量等多投入要素进行分析,综合评价吉林省东、中、西部地区各县(市)农村生活垃圾收运体系运行状况,剖析存在的问题,为我省农村生活垃圾收运体系建设与完善提供相应对策建议。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

本研究涉及的数据来源于实地调研数据,通过报表填报、现场调研等方式收集吉林省50个县

(市)的收运处置体系数据,选取其中37个参与吉林省农村生活垃圾治理的县(市)调研数据作为评价数据。

1.2 研究方法

1.2.1 包络分析法(DEA)

数据包络分析法(DEA)由美国运筹学家Copper等在1978年提出^[25],根据多项投入、产出指标,通过数学规划来确定经济上的最优点,以折线将最优点连接形成一条效率前沿的包络线,将所有决策单元(DMU)的投入、产出映射于空间寻找其边界点,以特定的有效率为基准,给予每个决策单元相对的绩效指标,得出每个DUM相对于其他单元综合效率的数量指标,对DUM间的相对有效性进行排序,作出相对有效性评价,进而发现降低无效率的方法^[26]。

1.2.2 DEA评价模型的建立

DEA模型体系中,C²R模型主要用于评价DMU的综合效率,综合效率等于技术效率和规模效率的乘积,BC²模型主要可用于评价DMU的技术有效性^[27]。

本研究基于上述两个模型,模型建立如下^[28]:

设有n个同类型DUM, $x_j=(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$ 和 $y_j=(y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$ 分别表示第j(j=1, 2, ..., n)个决策单元DUM_j的输入量和输出量; $v=(v_1, v_2, \dots, v_m)^T$ 和 $u=(u_1, u_2, \dots, u_s)^T$ 分别为m种输入和s种输出对应的权向量,即得在权系数 $v \in E^m, u \in E^s$ 之下,投入 $v^T x_j$, 产出 $u^T y_j$ 时的产出、投入之比, DUM_j的效率评价指标 h_j :

$$h_j = \frac{u^T y_j}{v^T x_j} \leq 1$$

使用Charnes-Cooper变换将分式规划为等价的线性规划形式(P):

$$\max \mu^T y_0$$

线性规划的对偶规划(D)为:

$$\min \theta$$

$$s. t. \begin{cases} \omega^T x_j - \mu^T y_j \lambda_j \geq 0, & j = 0, 1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \lambda_j \geq 0, & j = 0, 1, 2, \dots, n \\ \theta \text{ 无约束} \end{cases}$$

式中, θ 表示DMU_j离有效前沿面的径向优化量, λ_j 表示通过现行组合构造一个有效的决策单元DMU_j的组合比例,若 $\lambda/\theta < 1$,则DMU的效益递增(IRS);该值越小,则效益递增趋势越显著,进一步加大投入,产出将会显著提升;若 $\lambda/\theta = 1$,则

DMU的效益不变(CRS);若 $\lambda/\theta > 1$,则DMU的效益递减(DRS),随着该值的增大,效益递减趋势愈加明显,增加资源投入无法带来相应比例效益的增加即投入无意义。

1.2.3 评价指标的选取

为分析吉林省农村生活垃圾收运体系运行效果,本研究基于调研数据,在农村生活垃圾收运体系投入方面选取6项指标:农村生活垃圾收运处置基础设置投资、设备投资额、年运行经费、收集点数量、环卫车数量和转运站数量;选取2项指标作为产出指标:年处理生活垃圾量和实际日处理能力(见表1)。

表1 农村生活垃圾收运处置体系运行效率评价指标

| 投入指标 | 产出指标 |
|---------|-------------------------|
| 基础设施投资额 | 年处理生活垃圾量 实际日处理能力 |
| 设备投资额 | |
| 年运行经费 | |
| 收集点数量 | |
| 环卫车辆数量 | |
| 转运站数量 | |

2 吉林省农村生活垃圾收运体系投入、产出指标统计描述分析

2.1 投入指标

2.1.1 基础设施设备投资额与年运行经费

吉林省不同区域县(市)评价单元调研数据如图1所示。吉林省不同地区基础设施设备投资额平均值均表现为中部地区(长春市、吉林市和四平市)最高,西部地区(松原市和白城市)次之,东部地区(通化市、白山市和延边州)最低;中部生活垃圾年运行经费最高(4 025.77万元),东部地区(2 127.60万元)高于西部地区(1 851.92万元)。东部地区延边州基础设施投资额最高,为2 848.67万元;通化市的设备投资额与年运行经费均最高,分别为2 188.68万元和2 702.33万元。中部地区长春市的基础设施设备投资额与年运行经费均高于吉林市和四平市,其中基础设施投资额为36 972.33万元。西部地区松原市基础设施投资额显著高于白城市,但其年运行经费低于白城市。

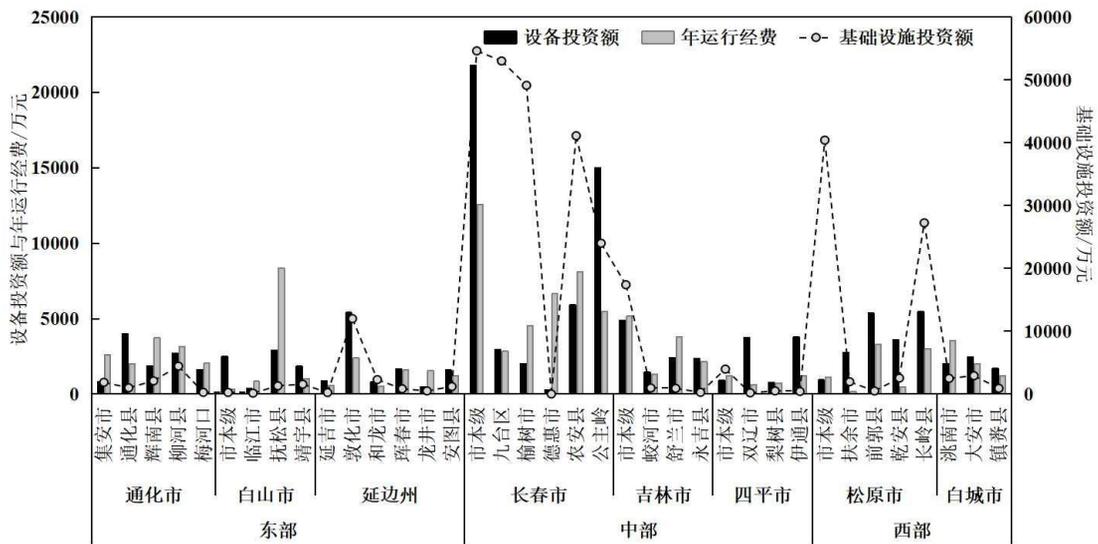


图1 基础设施设备投资额与年运行经费

2.1.2 垃圾收集点与转运站情况

如图2所示,吉林省垃圾收集点以垃圾桶为主,垃圾池(房/箱)为辅;中部地区垃圾收集点数量最多,各县(市)平均值为37 055个;西部地区次之(11 043个);东部最少,收集点平均数量为7 016个。中部地区垃圾收集点平均数量由高到低依次是长春市、吉林市和四平市,其中吉林市市本级的垃圾收集点数量最多,为66 738个。调研结果显示,东、中、西部地区垃圾转运站的平均

数量分别是8个、16个和13个;中部地区长春市市本级垃圾转运站86个,明显高于其他县(市)。

2.1.3 垃圾运输环卫车情况

吉林省东部地区平均环卫车保有量397辆,中部地区1 109辆,西部地区445辆;长春市垃圾运输车总量最高,为1 854辆,其中榆树市4 749辆车,高于其余县(市)(图3)。长春市和白山市电动车数量多于人力车,长春市电动车数量为1 230辆,其余各个地级市环卫车类型均以人力车为主。

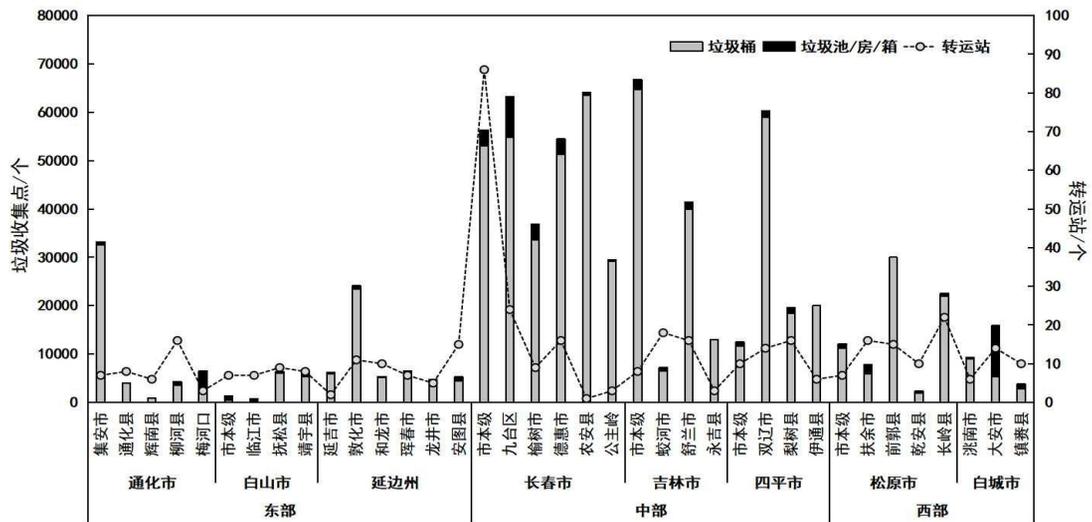


图2 垃圾收集点与转运站情况

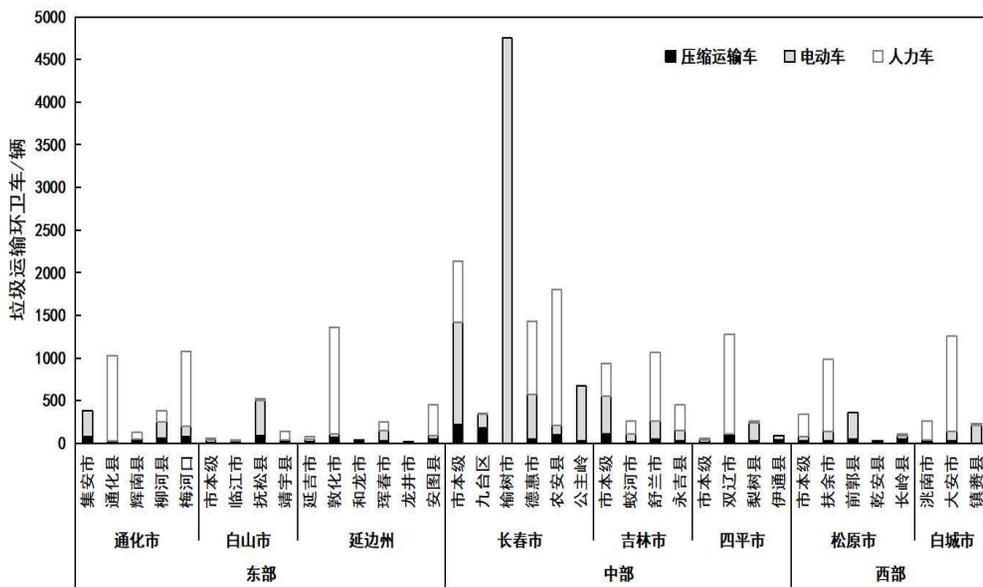


图3 垃圾运输环卫车情况

2.2 产出指标

吉林省东部城市年处理垃圾量平均值为2.00万t,中部为6.00万t,西部为3.00万t;东、中、西部地区各个县(市)垃圾实际处理能力分别为84.00 t/日、449.00 t/日和313.00 t/日(图4)。中部地区垃圾年处理量和实际处理能力均最高,其中德惠市年处理垃圾量最高,为14.60万t,长春市市本级实际处理垃圾能力最高,为3 550.00 t/日。

3 结果与分析

3.1 综合效率分析

综合效率是对参与农村生活垃圾治理的县(市)的资源配置能力、资源使用效率等多方面能力的综合衡量与评价,综合效率为1(DEA有效),表示资源投入产出的技术与规模同时有效。吉林

省37个县(市、区)综合效率平均值为0.75,表明农村生活垃圾收运处置体系总体上投产比较低。东、中、西部地区综合效率平均值分别为0.68、0.83、0.73,说明中部地区的资源配置综合能力高于西部和东部地区;东中西部地区DEA有效的县(市)占比分别为33.33%、35.71%和50.00%,西部地区占比最高,但位于西部的前郭、大安、镇赉等效率指数偏低,说明西部地区存在更为显著的发展不平衡现象(图5)。梅河口市、白山市市本级、临江市、抚松县、延吉市、德惠市、农安县、公主岭市、四平市市本级、梨树县、松原市市本级、扶余市、长岭县和洮南市14个县(市)达到了DEA有效,占比37.84%,表明这些县(市)在现有的资源配置下,已经实现了最大产出和最优规模,即在目前的条件下找到了资源投入和

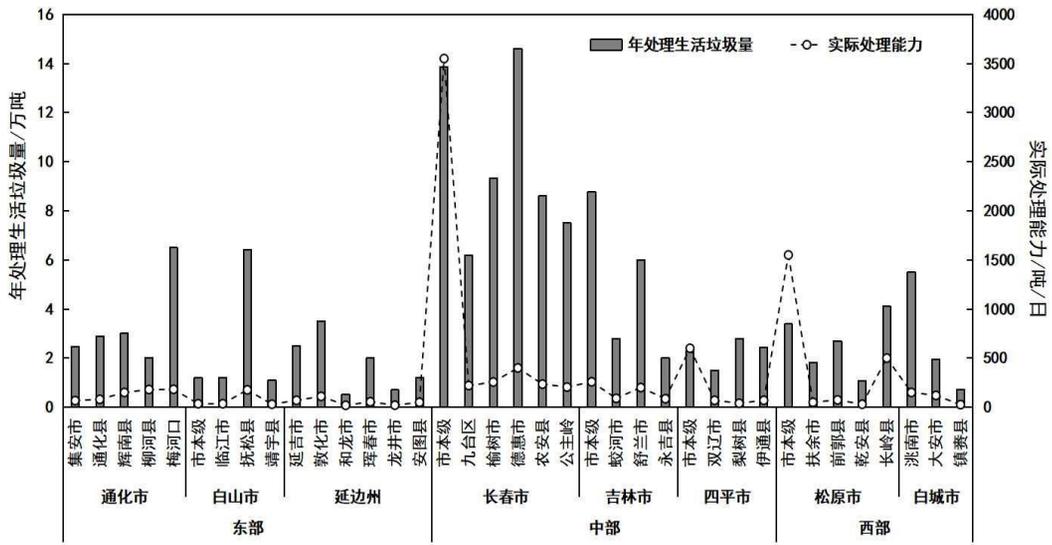


图4 年处理生活垃圾量与实际处理能力

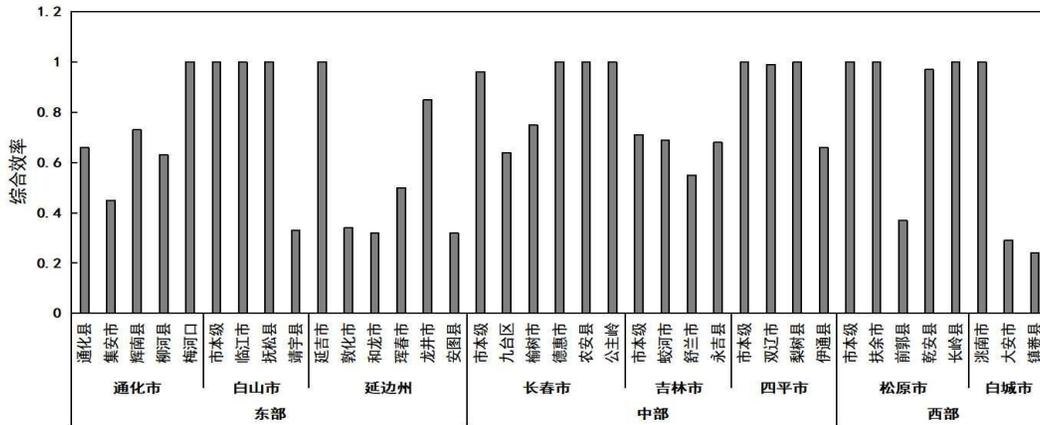


图5 综合效率评估结果

产出的最佳平衡点。DEA无效的县(市)占比62.16%,说明由于不同县(市)的经济发展情况、政府管理监督能力、农村生活垃圾处理技术水平等方面的不同,导致其在综合效率方面的差异,存在资源投入过多、规模不恰当或者资源未充分利用的状况。

3.2 纯技术效率分析

纯技术效率代表县(市)管理水平和技术创新及应用等因素导致的生产效率水平。如图6所示,吉林省37个县(市)平均值为0.83,高于综合效率平均值0.75;东、中、西部地区纯技术效率结果等于1(即DEA技术有效)的县(市)占比分别为46.67%、57.14%和62.50%,这可能与中西部平原地区人口较多、经济较为发达,农村生活垃圾处理硬件资源配置较为完善,体系较为健全,东部山区地形复杂、道路条件较差、经济较为落后,导

致纯技术效率整体偏低有关。梅河口市、白山市市本级、临江市等20个县(市)DEA技术有效,通过使投入相对于产出达到最低或使产出相对于投入达到最高,可以实现投入和产出比率的最大化,并削除投入冗余和产出的情况,即使削减部分投入,现有产出水平也可能会保持不变。尽管和龙市、龙井市、长春市市本级、九台区、双辽市、乾安县等6地DEA技术有效,但其综合效率DEA无效,表示在当前的技术应用水平上其投入资源的使用效率高,提升重点在于如何更好地发挥规模效益。榆树市等17个参与吉林省农村生活垃圾治理的县(市)DEA技术无效,占比45.95%,表明这些地区存在着不同程度的投入冗余和产出不足。

3.3 规模效率分析

规模效率是指在当前的技术水平下实际生产

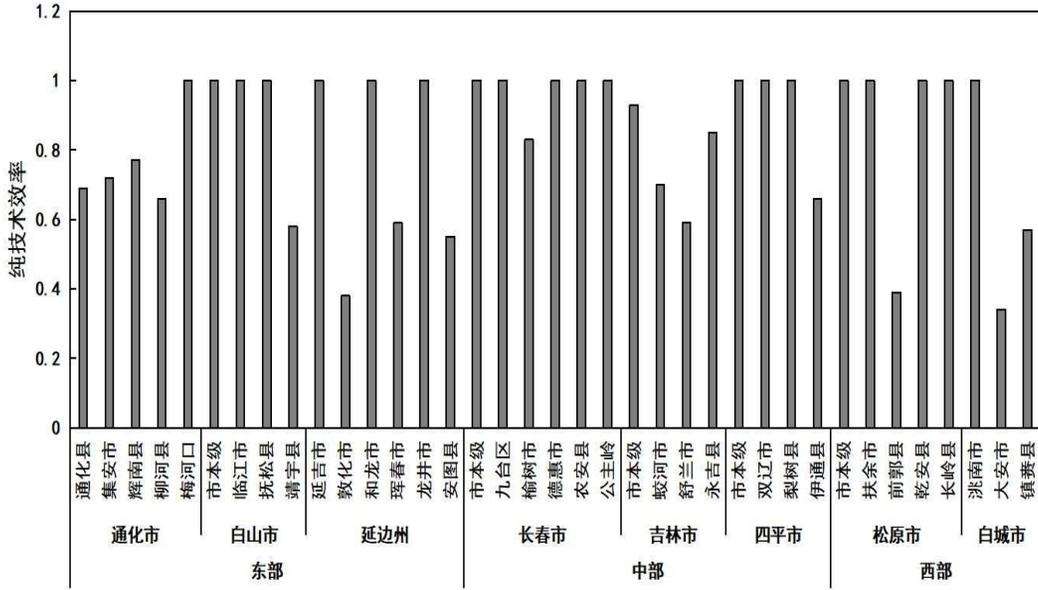


图6 纯技术效率评估结果

规模与最优生产规模的差距,通过其判断是否需要扩大或者缩小规模来提高其运行效率。规模效率评估结果如图7所示。37个县(市)平均值为0.88,表明参与吉林省农村生活垃圾治理的37个县(市)整体规模效率水平并不低;东、中、西部地区规模效率平均值分别为0.84、0.93、0.90,中西部地区规模效率较高。德惠市、农安县、公主岭市、四平市市本级、梨树县、白山市市本级、临江市、抚松县、松原市市本级、扶余市、长岭县、洮南市、

延吉市、梅河口市、伊通县等15个县(市)DEA规模有效,占比40.54%,说明这15个县(市)的资源分配更加均衡,投入和产出配置得当。这种现象可以归因于这些县(市)在研发能力方面更为出色,高效地利用资源,投入更多的资金和精力进行研发,从而获得更多的研究成果。伊通县是唯一规模效率DEA有效而技术效率DEA无效的决策单元,说明该县可能存在对应资源利用不合理,先进技术应用推广不足和管理不当的问题。

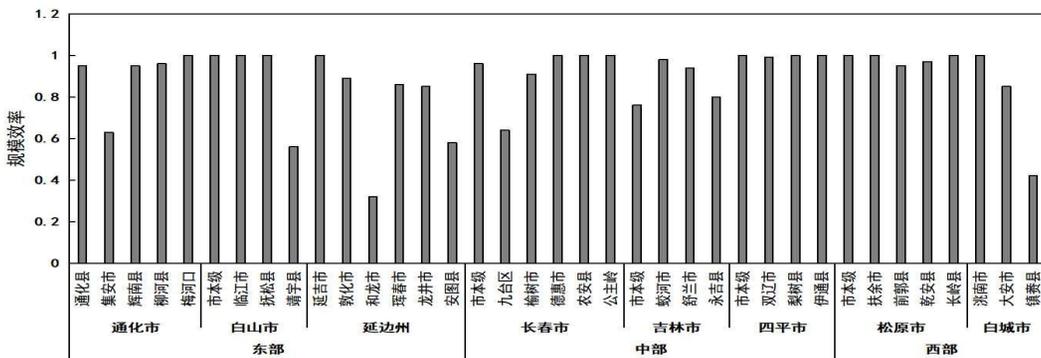
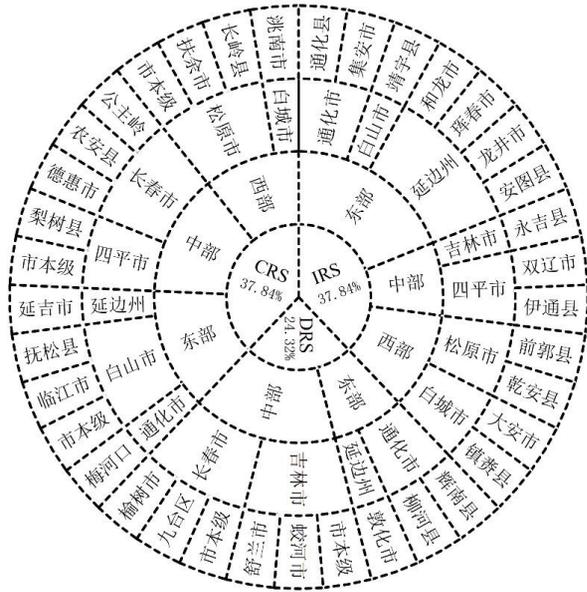


图7 规模效率评估结果

3.4 规模报酬分析

吉林省37个县(市)农村生活垃圾收运处置体系运行的规模报酬情况如图8所示。梅河口市等14个县(市)规模报酬不变(CRS),表明其已经达到了最佳的资源利用效率,不需要在投入上再进行增减。通化县等14个县(市)处于规模报酬递增(IRS)状态,表明这些县(市)农村生活垃圾收运处置体系的投入水平尚未达到实现效益最大化

的规模水平,若增加一定的投入比例,其产出比例会在相对较高的水平上增加,即正处于产出增加的比例大于资源投入增加的比例的状态;规模效率递增县(市)中,东部地区占比50.00%,说明东部地区潜力较大。辉南县等东中部地区9个县(市)处于规模报酬递减(DRS)状态,表示这些县(市)农村生活垃圾的收集、运输和处理基础设施已经超过了能够实现最大效益的限度,当投入比



注:DRS为规模报酬递减;IRS为规模报酬递增;CRS为规模报酬不变

图8 农村生活垃圾收运处置体系运行的规模报酬情况

例增加时,产出比例将在较低水平上增加,即资源投入的速度超过产出的速度,会产生边际收益递减效应。因此,应该谨慎控制或减少对农村生活垃圾收运处理体系的资源投入。

4 主要结论与对策建议

4.1 主要结论

(1)吉林省农村生活垃圾收运体系投入、产出指标均表现为中部地区最高、西部次之、东部最低;吉林省农村生活垃圾收运体系运行效率总体水平不高,中部地区的资源配置综合能力高于东西部地区,但西部地区各县(市)发展不平衡现象更加明显。

(2)各县(市)农村生活垃圾收运处置体系运行发展不平衡问题严重。14个县(市)DEA有效,未达到DEA有效的县(市)综合效率最低的是镇赉县,远低于平均水平。部分县(市)需要加以改进的是投入和产出的比率,大部分县(市)存在投入和产出比例不合理的现象,继而导致规模效益逐年递减。

(3)公主岭市、延吉市、农安县、德惠市等经济发展水平相对较高的县(市)农村生活垃圾收运处置体系运行效率高于经济发展水平较低的县(市),经济发展水平越高,其对农村生活垃圾收运处置体系的投入、产出水平也越高。

4.2 对策建议

(1)加强农村生活垃圾治理的基础设施建设。

建议要加强基础设施建设,投入充足的资金成本,购买足量的垃圾桶,在指定的区域放置大型垃圾桶,以满足农村生活垃圾全量收集的需求。垃圾桶的选择应考虑垃圾分类需求,以便对垃圾进行有效分类;对一些污染性较严重的垃圾要进行彻底清除,对现有的生活垃圾要做好清理;做好规划环境设计和维护,为基础设施建设提供更有效的物质保障。

(2)提高农村生活垃圾治理的资金投入金额。吉林省每个乡镇年约需支付100万元的垃圾处理费用,这笔费用仅够支付基础设施投资、保洁人员劳务费以及运输车辆的维修费等。吉林省农村垃圾的收运处理缺少资金的支持,无法像发达地区一样,按照统一资源化回收模式进行处理。建议加大资金投入、购买服务和鼓励社会资本投入等途径提高农村生活垃圾治理效率,确保农村生态环境得到有效保护。

(3)加强对科学研究的投入和先进设备的投资。建议从方法、技术、设备等手段进行逐一提升改进,从而补齐吉林省农村地区生活垃圾收运处置方面的科研短板。首先,建议政府部门与地方高校和科研单位机构进行合作,促进先进的科研成果向实际应用中转化,有针对性地提高农村生活垃圾处理水平。其次,根据目前调研情况,吉林省农村地区大多数的垃圾转运车都是电动车,这种车辆在运输垃圾的过程中极易导致垃圾泄露,从而造成二次污染。因此,为提高垃圾收运工作效率,建议优先采用密闭垃圾压缩车这类新型的垃圾转运设备。最后,建议相关部门加强对专业型技术人才的培养,建立具有较强环保意识、掌握先进技术的生活垃圾资源化处理团队,依靠科学的手段解决垃圾处理问题,改善人居环境。

(4)加强环保宣传提升环保意识。依靠农村地区广大群众,提高民众环保意识,提升农村生活垃圾治理效率。建议采取以下措施来提高农户对抗生活垃圾污染危害意识:在村内张贴宣传标语条幅,以直观的形式传达当前环保工作的总基调;召开村内会议,借此机会向农户普及生活垃圾处理的正确方法和重要性;分派专业人员对村民进行农村生活垃圾收运处置相关知识的教育科普工作,指导村民进行垃圾分类。督促村民在日常生活中养成环保的生活习惯,对环境保护的认识付诸行动,从而提高农村生活垃圾回收处理的效率,以此达到节本增效的目的。

参考文献:

- [1] 张和平. 双碳背景下新能源技术发展现状及展望 [J]. 现代化工, 2022, 42(8): 7-9.
- [2] 王 宾, 于法稳. “十四五”时期推进农村人居环境整治提升的战略任务[J]. 改革, 2021(3): 111-120.
- [3] 贾小梅, 董旭辉, 于 奇, 等. 我国农业农村污染治理与监管体系主要问题及对策建议[J]. 中国环境管理, 2019, 11(2): 10-13, 17.
- [4] 操建华. 乡村振兴视角下农村生活垃圾处理[J]. 重庆社会科学, 2019(6): 44-54.
- [5] Yang Q, Fu L M, Liu X X, et al. Evaluating the Efficiency of Municipal Solid Waste Management in China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(11): 2448.
- [6] 姜利娜, 赵 霞. 农村生活垃圾分类治理: 模式比较与政策启示—北京市4个生态涵养区的治理案例为例 [J]. 中国农村观察, 2020(2): 16-33.
- [7] 李裕瑞, 曹丽哲, 王鹏艳, 等. 论农村人居环境整治与乡村振兴[J]. 自然资源学报, 2022, 37(1): 96-109.
- [8] 郑思雨, 周苏洋, 邱 玥, 等. 基于改进三阶段数据包络分析法的省域全要素能效评价方法[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(14): 5329-5342.
- [9] 赵乐冰, 王 蕾, 万 灿, 等. 基于数据包络分析法的城市综合能源系统分环节能效评价[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(17): 132-141.
- [10] 尹怡诚, 刘云国, 许乙青, 等. 基于DEA的中国工业污染治理效率[J]. 环境工程学报, 2015, 9(6): 3063-3068.
- [11] Halkos, Petrou K N. Assessing 28 EU member states' environmental efficiency in national waste generation with DEA [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 208: 509-521.
- [12] Svidronova M M, Merickova B M. Efficiency of waste management in municipalities and the importance of waste separation [J]. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2022, 24(6): 2644-2655.
- [13] Lo Storto C. Effectiveness-efficiency nexus in municipal solid waste management: A non-parametric evidence-based study [J]. Ecological Indicators, 2021, 131: 108185.
- [14] Ye M, Jin Y A, Deng F M. Municipal waste treatment efficiency in 29 OECD countries using three-stage Bootstrap-DEA model [J]. Environment Development and Sustainability, 2022, 24(9): 11369-11391.
- [15] Zhao C, Zhang H, Zeng Y, et al. Total-Factor Energy Efficiency in BRI Countries: An Estimation Based on Three-Stage DEA Model [J]. Sustainability, 2018, 10(2): 278.
- [16] 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.
- [17] 薛立强, 高 骏. 基于数据包络分析(DEA)模型的城市生活垃圾运输和处理效率评价[J]. 城市, 2022(5): 59-68.
- [18] 汤李琛, 陈 宓, 张 巍. 基于硬件投入产出效益分析的上海市生活垃圾分类政策评价[J]. 中国环境科学, 2022, 42(10): 4939-4945.
- [19] 刘蔚玲, 肖黎娜, 林剑艺, 等. 基于DEA-Malmquist的我国城市生活垃圾管理效率评价[J]. 中国环境科学, 2020, 40(7): 3196-3203.
- [20] 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.
- [21] 谢吉徽. 基于转运费用-DEA两阶段法的村镇垃圾转运效率研究[J]. 物流科技, 2018, 41(1): 57-60, 72.
- [22] 赵 霞, 师浩森, 王家琦, 等. 基于DEA模型的生活垃圾转运站评价方法研究[J]. 太原科技大学学报, 2022, 43(6): 560-565, 570.
- [23] 许骞骞, 王成军, 张书赫. 农户参与对农村生活垃圾分类处理效果的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(2): 223-231.
- [24] 孙 翔, 黄如晖, 朱婧霖, 等. 基于DEA模型的农村生活垃圾处理工程环境及经济效益评估[J]. 农业工程学报, 2018, 34(16): 190-197.
- [25] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [26] 马占新. 数据包络分析方法的研究进展 [J]. 系统工程与电子技术, 2002(3): 42-46.
- [27] 甄 苓. 用于度量决策单元效率的DEA中连续的C²R模型 [J]. 中国软科学, 2008(1): 131-134.
- [28] 魏权龄. 数据包络分析(DEA) [J]. 科学通报, 2000(17): 1793-1808.

(责任编辑:王 昱)