

# 基于DEA的四川省主要城市土地利用效率分析与优化设计研究

陈雍文

西南民族大学, 四川 成都

收稿日期: 2022年6月10日; 录用日期: 2022年7月1日; 发布日期: 2022年7月11日

## 摘要

本文以四川省18个主要城市为研究区域, 运用DEA-CCR模型分析了2019年四川省主要城市土地利用效率, 并对其期望产出和非期望产出进行对比分析, 给出优化设计方案。研究表明: 1) 在只考虑期望产出的情况下, 四川省主要城市土地利用经济效率整体较高, 其中成都市、攀枝花市、德阳市、绵阳市、乐山市、广安市的土地利用效率属于DEA有效, 自贡市、内江市、眉山市、宜宾市、达州市、雅安市以及资阳市虽然土地利用效率为DEA无效, 但效率值偏高, 都达到了0.8以上。2) 在考虑非期望产出的情况下, 四川省主要城市的土地利用生态效率整体偏低。巴中市和资阳市土地利用效率为DEA有效, 其中成都市的土地利用效率过低。综上, 四川省主要城市在今后的发展过程中, 要降低对生态环境的破坏, 各地应积极落实节能减排的相关政策, 同时, 加快产业转型升级, 做到可持续发展。

## 关键词

数据包络分析(DEA), 土地利用效率, 四川省主要城市

## Research on Land Use Efficiency Analysis and Optimal Design of Major Cities in Sichuan Province Based on Data Envelopment Analysis (DEA)

Yongwen Chen

Southwest Minzu University, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 10<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jul. 1<sup>st</sup>, 2022; published: Jul. 11<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

In this paper, DEA-CCR model was used to analyze the land use efficiency of 18 major cities in Sichuan Province in 2019. The expected output and unexpected output were compared and analyzed, and the optimal design scheme was proposed. The results show that 1) when only the expected output is considered, the overall economic efficiency of land use in major cities in Sichuan province is relatively high, and the land use efficiency of Chengdu, Panzhihua, Deyang, Mianyang, Leshan and Guang'an is DEA effective. Although the land use efficiency of Zigong city, Neijiang City, Meishan City, Yibin City, Dazhou City, Ya'an city and Ziyang City is invalid with DEA, the efficiency value is high, reaching above 0.8. 2) Considering the non-expected output, the land use ecological efficiency of major cities in Sichuan province is generally low. The land use efficiency of Bazhong city and Ziyang City is DEA effective, and the land use efficiency of Chengdu city is too low. To sum up, major cities in Sichuan province should reduce the damage to the ecological environment in the future development process, all regions should actively implement the relevant policies of energy conservation and emission reduction, at the same time, accelerate industrial transformation and upgrading, and achieve sustainable development.

## Keywords

Data Envelopment Analysis (DEA), Land Use Efficiency, Major Cities in Sichuan Province

Copyright © 2022 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

随着我国城市化进程的不断加快,城市建设与土地利用之间的矛盾日益突出,城市土地作为城市经济、社会和环境的空间载体,其利用效率直接影响到城市的经济发展和人居环境建设[1],如何提高城市土地利用效率成为城市管理的重要课题[2]。近年来,国内一些学者对于城市土地利用效率的研究成果颇为丰富,通过对相关文献的梳理发现不管是研究尺度、研究方法还是研究内容都在不断深入[3] [4] [5] [6]。虽然国内学者对于土地利用的效率越来越重视,产出的成果越来越多,方法和研究尺度也在不断深化,但大部分学者在对土地利用效率进行评价的过程中,主要评价土地利用所带来的期望产出而忽略了环境污染等非期望产出同样存在[7] [8] [9]。

近年来,四川省城市化工业化进程不断加快,导致四川省主要城市的可利用的耕地被居民用地、工业用地以及其他非农业用途的用地方式占用,与此同时,四川省人口增速也在不断加快,人地矛盾较为突出。因此四川省合理规划土地资源、解决土地利用结构不合理的任务迫在眉睫,这也是本文选自四川主要城市来进行土地利用效率分析的理由所在。

综上所述,本文结合四川省 18 个主要城市土地利用的相关数据对其土地利用效率进行分析,在产出结果方面同时设计期望产出和非期望产出,对这两者进行对比分析,得出结论,给出优化设计方案,对于四川省主要城市土地资源的利用和管理工作具有一定的指导和借鉴意义。

## 2. 研究方法 with 数据来源

### 2.1. 研究方法

数据包络分析(Data Envelopment Analysis 简称 DEA),适用于衡量拥有多个投入和多个产出变量的不

同决策单元的优劣,相较于传统的生产函数理论,DEA在避免主观因素和简化算法、减少误差等方面有着巨大的优越性[10]。DEA方法主要包括CCR和BCC两个模型。CCR和BCC模型分别是在CRS固定规模报酬不变模式和VRS变动规模报酬模式下评估效率,前者评估的是综合技术效率而后者则评估纯技术效率[11]。CCR模型的原则上更适用于本研究,因此采用CCR模型衡量四川省主要城市2019年土地利用效率。

DEA模型每个待评估单元(DMU)存在 $s$ 项产出 $Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{sj})$ 和 $r$ 项投入 $X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{rj})$ ,其中 $x_{mj}$ 表示第 $j$ 个UDM $j$ 的第 $m$ 个类型的输入量, $y_{lj}$ 表示第 $j$ 个的UDM $j$ 第 $l$ 个类型的输入量, $x_{mj} > 0, y_{lj} > 0, m = 1, 2, \dots, r, l = 1, 2, \dots, s$ 。具体模型如下:

$$\text{CCR} \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j + s^- = \theta_i X_i, & i = 1, 2, \dots, n, & (1) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j - s^+ = Y_j, & i = 1, 2, \dots, n, & (2) \\ \lambda_j \geq 0, & j = 1, 2, \dots, n, \\ s^+ \geq 0, & s^- \geq 0. \end{cases}$$

式中, $\theta$ 为DMU的相对效率。若 $\theta = 1, s^+ = s^- = 0$ ,则称DMU为DEA有效,即在原投入上产出达到最优;若 $\theta = 1, s^+ \neq s^- \neq 0$ ,则称DMU为DEA弱有效;若 $\theta < 1$ ,则称DMU为DEA无效。

### 2.2. 指标体系建立

考虑到近年来四川省经济发展速度加快,人均土地资源拥有量逐渐减少,人地矛盾凸显等问题,本文结合四川省主要城市的实际情况,再阅读相关文献后[12][13][14],确定投入和产出指标,如表1所示:

**Table 1.** Land use efficiency evaluation index system for major cities in Sichuan province  
**表 1.** 四川省主要城市土地利用效率评价指标体系

指标分类	指标	
投入指标	固定资产投资/亿元	
	第二产业就业人数/万人	
	工业能源消费总量/吨标准煤	
	全年供水量/万立方米	
产出指标	建成区面积/平方公里	
	期望产出	地区生产总值/亿元
	非期望产出	二氧化硫排放量/吨
		工业废水排放量/万吨
	烟(粉)尘排放量/吨	

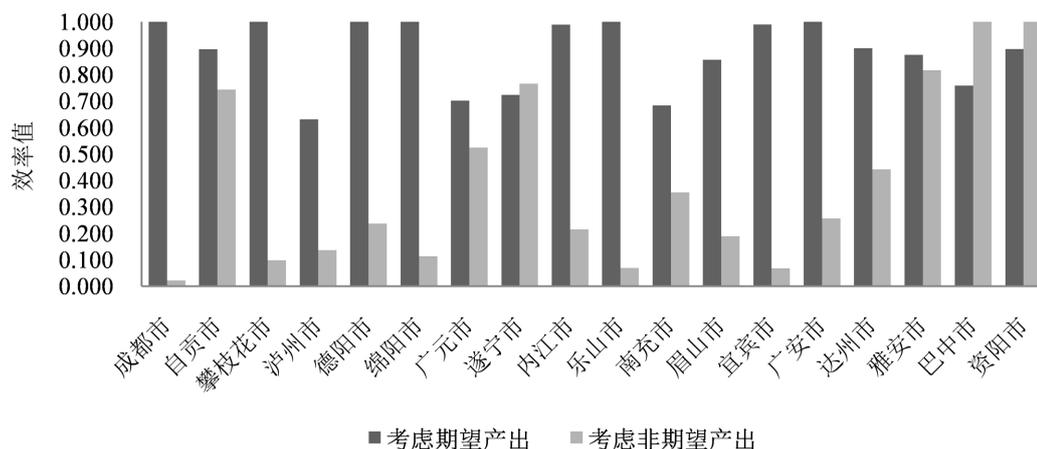
### 2.3. 数据来源

本文的数据主要来源于统计年鉴,其中期望产出和非期望产出的指标数据均来源于《中国城市统计年鉴》,第二产业就业人数、全年供水量以及建成区面积三个指标数据来源于《四川省统计年鉴》,固

定资产投资、工业能源消耗指标的数据来源于各市统计年鉴，由于广安市、遂宁市以及巴中市的工业能源消费总量的数据并未在统计年鉴里公布，因此这三个城市的相关数据是通过电话访问当地统计局的方式获取。

### 3. 结果与分析

根据所搜集的数据，运用 Deap 软件进行分析，得出四川省 18 个主要城市仅考虑期望产出的土地利用效率和考虑非期望产出的土地利用效率，并对这两者进行比较，如图 1 所示：



**Figure 1.** Comparison of the economic efficiency of land use and the Eco-efficiency of land use  
**图 1.** 土地利用经济效率与土地利用生态效率比较

通过对比图 1 可以看出，大多数城市考虑期望产出土地利用效率值(经济效率)都高于考虑非期望产出的土地利用效率值(生态效率)，其中成都市、攀枝花市、德阳市、绵阳市、内江市、乐山市、宜宾市以及广安市的考虑期望产出的土地利用经济效率远远大于考虑非期望产出的土地利用生态效率；遂宁市、巴中市以及资阳市的土地利用生态效率高于土地利用的经济效率；并未有城市在考虑期望产出和考虑非期望产出前后的土地利用效率都为 DEA 有效。

#### 3.1. 考虑期望产出的分析结果

从表 2 可以看出，在只考虑期望产出的情况下，四川省主要城市的土地利用效率总体均值较高，达到了 0.884，其中成都市、攀枝花市、德阳市、绵阳市、乐山市、广安市这 6 个城市  $\theta=1$ ， $s^- = s^+ = 0$ ，表明其土地利用效率为 DEA 有效，即 2019 年 6 个城市原投入上的产出达到最优；其他省份均为 DEA 无效，除了南充市和泸州市效率值分别只有 0.631 和 0.684 以外，其他城市的效率在都普遍偏高，在 0.702~0.990 区间内，这也说明除南充市和泸州市以外的其他城市土地利用效率较好。

进一步对 12 个 DEA 无效的评价单元进行具体分析，首先从投入的角度来看，各评价单位固定资产投资总体冗余较少，遂宁市、眉山市、达州市以及巴中市的固定资产的投入量需要进一步减少，其他城市在固定资产投资上均未出现投入冗余的现象，说明其固定资产得到了充分利用；在第二产业就业人数方面，自贡市、内江市、南充市、眉山市、宜宾市、雅安市、巴中市以及资阳市出现第二产业就业人数过多的现象，其中宜宾市、巴中市、资阳市需要大量减少第二产业就业人数，其他城市均为出现就业人数冗余情况；在工业能源消费总量上，泸州市、广元市、内江市、南充市、眉山市、宜宾市、达州市以及雅安市的能源消费投入出现冗余的情况，其中内江市和宜宾市出现过度冗余；在考虑期望产出的情况

下，所有评价单位在全年供水量上均为出现投入过剩的情况，说明水资源得到充分利用；在建成区面积上，共有 10 个城市出现过剩现象，其中自贡市和宜宾市在建成区面积需要大量减少。从产出角度来看，在考虑期望产出的情况下，四川省主要城市的产出并未出现不足的现象。

**Table 2.** Economic efficiency and optimal design of land use  
**表 2.** 土地利用经济效率及优化设计

地区	TE	固定资产投资 $s^-$	第二产业就业人数 $s^-$	工业能源消费总量 $s^-$	全年供水量 $s^-$	建成区面积 $s^-$	地区生产总值 $s^-$
成都市	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
自贡市	0.896	0.000	7.198	0.000	0.000	52.018	0.000
攀枝花市	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
泸州市	0.631	0.000	0.000	2646468.631	0.000	29.939	0.000
德阳市	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
绵阳市	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
广元市	0.702	0.000	0.000	998267.856	0.000	2.954	0.000
遂宁市	0.724	156.795	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
内江市	0.989	0.000	10.585	7214366.284	0.000	24.570	0.000
乐山市	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
南充市	0.684	0.000	9.821	2639305.567	0.000	17.468	0.000
眉山市	0.856	127.481	2.984	2020803.136	0.000	0.000	0.000
宜宾市	0.990	0.000	14.117	5754788.826	0.000	42.046	0.000
广安市	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
达州市	0.900	89.496	0.000	3809329.234	0.000	15.948	0.000
雅安市	0.876	0.000	0.692	1478029.303	0.000	5.723	0.000
巴中市	0.759	499.105	15.865	0.000	0.000	18.716	0.000
资阳市	0.898	0.000	19.956	0.000	0.000	13.969	0.000
均值	0.884	48.493	4.512	1475631.047	0.000	12.775	0.000

### 3.2. 考虑非期望产出的分析结果

在考虑非期望产出对四川省主要城市土地利用效率进行评价时，需要注意的是 DEA 方法中的 CCR 模型要求产出指标与投入指标必须正相关[15]，但本文选取的非期望产出评价指标属于负向指标，因此需要将负向指标转化为正向指标。目前，将正向指标转化为负向指标的方法较为丰富，结合与课题相关研究，决定采用一个固定值除以每个产出指标[16]，使其产出量变为正向指标，再进行数据的分析，通常情况下固定值是根据指标的原始数据来定，为了方便计算，本文采用的是 100,000 来除以指标的原始数据。

从表 3 可以看出, 在考虑非期望产出的情况下, 四川省主要城市的土地利用效率值总体较低, 均值只有 0.392, 与考虑期望产出的土地利用效率只相差较多, 这也说明非期望产出降低了土地利用的实际经济价值, 同时, 考虑非期望产出后, 只有巴中市和资阳市 2 个城市  $\theta=1$ ,  $s^- = s^+ = 0$ , 土地利用效率为 DEA 有效, 说明这两个城市近年来在节能减排方面的成效明显, 其他城市均为 DEA 无效, 四川省大多数城市在发展过程中过于重视土地利用所产出的经济效率, 而作为非期望产出的土地利用生态效率被忽视; 此外, 成都市、攀枝花市、德阳市、绵阳市、乐山市、广安市这 6 个城市在只考虑期望产出时为 DEA 有效, 但考虑非期望产出后变为无效, 特别需要注意的是成都市, 在考虑非期望产出后, 其效率值为 0.022, 以及攀枝花市为 0.097, 说明这些城市在经济发展过程中, 生态环境牺牲较大; 雅安市、遂宁市在考虑非期望产出后的土地利用效率值较高, 分别达到了 0.818 和 0.766, 其余城市效率值普遍偏低, 发展也相对落后。

**Table 3.** Eco-efficiency and optimal design of land use

**表 3.** 土地利用生态效率及优化设计

地区	TE	固定资产 投资 $s^-$	第二产业 就业人数 $s^-$	工业能源 消费总量 $s^-$	全年供 水量 $s^-$	建成区 面积 $s^-$	二氧化硫 排放量 $s^+$	工业废水 排放量 $s^+$	烟(粉)尘 排放量 $s^+$
成都市	0.022	1507.985	0.000	8268510.342	92267.527	500.327	0.000	4275.121	83.071
自贡市	0.743	0.000	0.000	396428.575	3335.218	63.791	0.000	404.063	16.835
攀枝花市	0.097	394.303	0.000	7409891.735	12106.582	59.792	14.011	26.909	0.000
泸州市	0.136	82.941	0.000	5639474.583	7540.946	65.639	105.271	952.282	0.000
德阳市	0.237	769.216	0.431	0.000	2678.347	19.958	28.361	313.829	0.000
绵阳市	0.113	0.000	0.000	3016606.492	5871.042	32.776	0.000	472.600	44.828
广元市	0.524	0.000	0.000	1217182.350	2516.547	15.026	0.000	162.557	8.864
遂宁市	0.766	249.376	0.000	2637234.814	3903.525	25.104	32.745	531.563	0.000
内江市	0.215	0.000	0.000	7517586.295	1362.899	23.678	86.610	0.000	40.669
乐山市	0.07	401.161	0.000	7796128.548	4162.325	22.480	6.362	264.398	0.000
南充市	0.354	0.000	0.000	1937887.565	3707.387	25.203	172.746	974.327	0.000
眉山市	0.188	0.000	0.000	2119132.982	1688.588	1.897	30.167	356.340	0.000
宜宾市	0.068	0.000	0.000	6383307.019	1645.280	35.374	72.223	829.335	0.000
广安市	0.257	303.877	4.715	2971579.169	138.125	0.000	23.760	295.306	0.000
达州市	0.441	78.630	0.000	5070711.963	2042.726	19.783	0.000	804.469	107.649
雅安市	0.818	0.000	0.000	1433987.090	1135.858	10.202	15.102	122.624	0.000
巴中市	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
资阳市	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
均值	0.392	210.416	0.286	3545313.862	8116.829	51.168	32.631	599.207	16.773

对于产出指标来说，由于表 3 中的产出量是负向指标转换成正向指标后需要增加的量，而本文需要的是废气废水需要减少的量，因此需要另外计算，通过阅读相关文献，决定采用朱旭森(2016)对西南地区的土地利用效率评价过程中计算废气废水减少量的计算公式[15]，具体如下：

$$s^- = y_{ij} - \frac{a}{\frac{a}{y_{ij}} + s^+} \quad (3)$$

公式中  $a = 100,000$ ，根据公式可得出废气废水的减少量，如表 4 所示：

**Table 4.** Undesired output reduction  
**表 4.** 非期望产出减少量

地区	二氧化硫排放量 减少量	工业废水排放量 减少量	烟(粉)尘排放量 减少量
成都市	0.000	9266.668	7864.279
自贡市	0.000	850.684	674.453
攀枝花市	38671.027	2796.373	0.000
泸州市	9483.898	4089.555	0.000
德阳市	3393.853	3286.405	0.000
绵阳市	0.000	1731.389	7666.471
广元市	0.000	349.293	947.348
遂宁市	764.932	1090.416	0.000
内江市	34130.020	0.000	12815.882
乐山市	8533.303	4022.903	0.000
南充市	8982.272	1429.833	0.000
眉山市	4664.426	1411.140	0.000
宜宾市	11786.324	6467.589	0.000
广安市	2435.387	739.546	0.000
达州市	0.000	987.326	11665.171
雅安市	1322.223	385.761	0.000
巴中市	0.000	0.000	0.000
资阳市	0.000	0.000	0.000
均值	6898.204	2161.382	2312.978

从表 4 中可以看出，废气废水整体排放量都出现过多的现象，这说明在四川省主要城市经济发展过程中，生态环境牺牲较大，成都市、自贡市、绵阳市、广元市以及巴中市的二氧化硫的排放量并未出现冗余，其余城市均需要减少排放量，其中攀枝花市二氧化硫的排放量需要减少 38671.027 吨，由于本身

属于工业城市, 废气废水排放需要更加严格管控, 此外, 内江市、宜宾市二氧化硫的排放量冗余也较为突出, 需要进一步加大减排力度; 对于工业废水的排放量, 除了内江市排放量并无冗余以外, 其余城市均出现冗余, 其中较为突出的是成都市, 工业废水排放过量, 需要减少 9266.668 万吨, 其余城市也需要进行减少; 对于烟(粉)尘的排放, 相比其他两项产出指标来说, 其冗余较少, 成都市、自贡市、绵阳市、广元市、内江市以及达州市出现排放过量的现象, 其中内江市和达州市较为突出, 分别需要减少 12815.882 吨和 11665.171 吨, 其余城市未出现烟(粉)尘排放过量的现象。

#### 4. 结论

1) 在只考虑期望产出的情况下, 成都市、攀枝花市、德阳市、绵阳市、乐山市、广安市的土地利用效率属于 DEA 有效, 说明这 6 个城市充分发挥了土地资源的经济效益, 经济发展最好; 此外, 自贡市、内江市、眉山市、宜宾市、达州市、雅安市以及资阳市虽然土地利用效率为 DEA 无效, 但效率值偏高, 都达到了 0.8 以上, 说明其经济发展较好, 但仍需要进一步调整; 其他城市效率值偏低, 在今后的发展过程中, 其他城市要更加注重土地利用结构的合理性, 充分发挥土地要素的效用, 同时要积极调整产业结构, 促进产业结构优化升级。本文对于在只考虑期望产出的情况给出了优化设计, 明确了投入和产出的最佳量, 为今后四川省主要城市经济发展规划提供可借鉴依据。

2) 在考虑非期望产出的情况下, 四川省主要城市的土地利用效率偏低。巴中市和资阳市土地利用效率为 DEA 有效, 说明其在经济发展过程中重视生态环境, 近年来节能减排工作成效明显, 其余城市均为 DEA 无效, 其中成都市的土地利用效率过低, 在今后的发展过程中, 要降低对生态环境的破坏, 各地应积极落实节能减排的相关政策, 同时, 加快产业转型升级, 做到可持续发展。

#### 基金项目

本项目得到西南民族大学研究生创新型科研项目(项目编号: YB2022597)资助。

#### 参考文献

- [1] 李崇明, 胡俊杰. 基于 DEA 的城市土地利用效率时空差异及影响因素分析——以吉林省 9 地市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(3): 678-686.
- [2] 周许豪, 徐梦洁, 余迹. 基于三阶段 DEA 的浙江省城市土地利用效率研究[J]. 现代城市研究, 2022(1): 99-105.
- [3] 江晨, 鲁成树, 房静. 安徽省城市土地利用效率及其时空演进分析[J]. 国土资源情报, 2021(12): 49-57.
- [4] 宋洋, Yeung Godfrey, 朱道林, 徐阳, 赵江萌. 京津冀城市群县域城市土地利用效率时空格局及驱动因素[J]. 中国土地科学, 2021, 35(3): 69-78.
- [5] 曾鹏, 邢梦昆, 秦慧玲. 中国城市群土地利用结构与效率研究[J]. 统计与决策, 2020, 36(21): 67-72.
- [6] 薛建春, 吴彤. 基于三阶段 SBM-DEA 的内蒙古城市土地利用效率评价[J]. 生态经济, 2020, 36(10): 98-103+111.
- [7] 卫晓庆, 王涛, 李嘉霖, 程贇, 刘晓艺. 京津冀地区新型城镇化对土地生态效率影响的实证分析[J]. 生态科学, 2020, 39(1): 118-127.
- [8] 谈丹, 王杰, 朱红梅, 谭雪兰. 湖南省工业用地利用效率评价分析[J]. 山东国土资源, 2019, 35(9): 74-80.
- [9] 崔玮, 朱志远, 苗建军. 碳减排压力下城市非农用地生态成本的估算及其影响因素研究[J]. 经济问题, 2016(8): 120-125.
- [10] 张宏军, 徐有为, 程恺, 张睿, 尹成祥. 数据包络分析研究热点综述[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(10): 219-228.
- [11] 夏露, 许章华. 基于 DEA 模型的沿海城市土地利用效率研究[J]. 福建广播电视大学学报, 2018(6): 72-77.
- [12] 张志会, 李松, 付笛, 綦群高. 基于 DEA 模型的河北省城市土地利用效率评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(6): 1273-1278.
- [13] 王文刚, 庞笑笑. 京津冀地区城市土地利用效率[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 563-567.
- [14] 华吉庆, 叶长盛. 基于 DEA 的广东省城市土地利用效率及其时空分异特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4):

283-288.

- [15] 简萍, 杨琦. 基于数据包络分析的西部地区土地利用效率评价[J]. 贵州科学, 2019, 37(5): 74-78.
- [16] 朱旭森. 基于 DEA 的土地利用经济效率和生态效率评价——以西南地区为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2016, 33(4): 194-200.