

珠江流域生态补偿效率测度研究

陈思年

云南财经大学统计与数学学院, 云南 昆明

收稿日期: 2023年3月14日; 录用日期: 2023年4月13日; 发布日期: 2023年5月31日

摘要

珠江流域作为我国经济最活跃的流域之一, 对于其流域地区的生态和经济发展都具有重大意义, 为探究其生态补偿效率, 本探究通过建立三级指标体系, 共包含50个指标变量, 分别使用熵权法计算得分和熵权-TOPSIS计算排名, 通过结果得出相应结论, 一是位于珠江流域上游的云南生态补偿效率综合得分较低, 而广西的补偿效率得分较高。二是经济效率的权重较大, 但不是唯一的主要影响因素, 并基于此提出可行性建议。

关键词

珠江流域, 综合评价, TOTSIS法

Study on Measurement of Ecological Compensation Efficiency in the Pearl River Basin

Sinian Chen

School of Statistics and Mathematics, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming Yunnan

Received: Mar. 14th, 2023; accepted: Apr. 13th, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

Pearl river basin as one of the most active economic basin in China, for its ecological and economic development is of great significance, to explore the ecological compensation efficiency, this explore through the establishment of three-level index system, contains 50 index variables, using the entropy weight method to calculate score and entropy Right-TOPSIS ranking, through the corresponding conclusion, one is located in the pearl river basin upstream Yunnan ecological compensation efficiency comprehensive score is low, and the Guangxi compensation efficiency score is

文章引用: 陈思年. 珠江流域生态补偿效率测度研究[J]. 低碳经济, 2023, 12(2): 58-65.

DOI: 10.12677/jlce.2023.122008

higher. Second, the weight of economic efficiency is large, but it is not the only main influencing factor, and feasibility suggestions are put forward based on this.

Keywords

Pearl River Basin, Comprehensive Evaluation, TOTSIS Method

Copyright © 2023 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

珠江流域作为我国经济最活跃的流域之一，对于其流域地区的生态和经济发展都具有重大意义。珠江流域最大的特征就是其流经的各个省份在文化、经济等方面的发展联系密切，自古以来就是一个较为完整的发展区域，并且珠江流域拥有较多的水资源和土地资源，较为完整的生态补偿机制的建立对珠江流域的发展显得尤为重要本研究旨在建立一个衡量流域水资源生态补偿效率的指标体系，以珠江流域为例，对四省的文化、生态、经济、政治、综合和社会效率进行测度，以期探索出更有效的补偿政策和法律制度，以期实现长江流域水资源的综合利用、水资源与水生态环境的保护、流域区域的协同发展以及利益的和谐。

2. 文献综述

对于流域水资源的生态补偿研究，从流域的水环境方面，Hoekstra (2003) [1]用流域水资源的收益方的水资源价格和水量，通过使用水足迹的方法计算出该区域的生态补偿额度。Pagiola 等(2005) [2]认为可以通过对生态服务进行付款，对自然资源进行定价，从而影响上下游的生态环境，以此进行生态补偿。国外更多的是通过市场机制，利用市场进行生态补偿。其中 Jorgense 等(2001) [3]构造了效用转移激励机制，通过动态时间对跨界的水污染问题进行研究。Sarker 等(2008) [4]通过对 Brisbane 河流域对港口城市的供水成本和供水效果进行分析，发现将政府管制和市场手段配合使用，可以提升当地的水质和水量，同时增加水资源的融资渠道。Sanchez 等(2012)、Hecken 等(2012) [5]采用条件价值评估法分别对 Andean 流域和 Matiguas 河流的当地居民的支付意愿进行调查，结合当地的生态服务价值，根据下游的承受意愿进行生态补偿。随着博弈理论的发展，部分学者将其运用到流域生态补偿领域，Sheng 和 Michael [6]运用三方演化博弈模型，模拟流域上游、下游和中央在中国南水北调东线流域服务激励兼容机制中的行为交互。Mollie George (2019) [7]系统地研究了如何制定“水资源市场补偿政策”、“相关利益主体经济补偿政策”和“流域生态水生态补偿政策”，并认为通过经济补偿实现市场补偿和政府补偿，建立流域生态水生态补偿政策，有利于协调跨区域或流域利益相关者的利益。

对于研究方法，时润哲(2019) [8]等人以长江经济带为例，通过测算各省市的综合绩效、水足迹、灰水足迹，来探讨长江经济带水资源生态补偿效率的影响因素。曲超[9]等人认为区域经济活动与水资源生态活动的投入产出关系能够反映水资源生态补偿的效率。李谷成[10]运用 DEA-Malmquist 指数分析方法，对于长江经济带水资源生态补偿效率商务贡献构成研究可以借鉴农业全要素生产率分解方法。和莹等人 [11]率先提出生态补偿标准应基于水权分配思路。刘桂环则是利用水质水量进行生态补偿标准的测算。何筠等人[12]以赣江上下游城市为例，利用虚拟水，提出基于水足迹理论的生态补偿研究。

基于此, 本文将结合上述学者们研究成果的优缺点, 总结得到将评价体系设置为文化、生态、经济、政治、综合和社会效率是比较合理的, 并且使用熵权法能够更加有效的得到指标的信息熵从而更具体的判断各地区的水资源生态补偿综合效率。

3. 基础概念

3.1. 指标体系

熵权法的基本原理如下:

假设 x_{ij} 是第 i 个样本第 j 个指标的观测数据, 设 e_j 为第 j 个指标的熵值, 则

$$e_j = \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (1)$$

$$f_{ij} = x_{ij} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2)$$

式中, f_{ij} 为第 j 个指标下第 i 个样本的特征比重; x_{ij} 为第 i 个样本中第 j 项指标的观测数据; $\sum x_{ij}$ 为第 j 项指标的观测数据之和。

w_j^* 为第 j 个评价指标的熵权, 则指标熵权为:

$$w_j^* = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{i=1}^n e_j}, j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

本文考虑到生态补偿指标体系比较复杂, 在确定指标体系时, 将一级指标设置为珠江流域水资源生态补偿综合效率; 二级指标根据指标体系构建原则, 主要分为文化、生态、经济、政治、综合和社会效率, 五个维度相互协同; 三级指标: 每个指标都表示一定数值的基础变量, 具体见表 1; 在社会效率层面, X3 和 X5 的权重较大, 经济效率层面, X19 的权重较大, 生态效率层面, X26、X34、X36 和 X38 的权重较大, 文化层面则是 X42、X43、X45 和 X46 权重较大, 最后的政治效率层面则是 X47、X48 的权重较大。

Table 1. Index system

表 1. 指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	权重
水资源生态补偿综合效率	社会效率	X1 新增城镇就业量(万人)	0.0120
		X2 居民消费价格指数(%)	0.0130
		X3 自来水普及的村的比例(%)	0.0328
		X4 人均用水量(立方米/年)	0.0180
		X5 生活用水比例(%)	0.0338
		X6 垃圾集中处理村的比例(%)	0.0120
		X7 有效灌溉面积(千公顷)	0.0094
		X8 城镇居民人均可支配收入(元)	0.0164
		X9 农村居民人均纯收入(元)	0.0122
		X10 享受农村最低生活保障的人数(万人)	0.0109
		X11 社会保障和就业支出比例(%)	0.0104

Continued

水资源生态补偿综合效率	经济效率	X12 生产总值增长率(%)	0.0110
		X13 单位 GDP 耗水量(吨标准煤/万元)	0.0119
		X14 农林牧渔业增加值增长率(%)	0.0120
		X15 第三产业产值增长率(元)	0.0090
		X16 林业产值增长率(元)	0.0164
		X17 专项收入比例(%)	0.0047
		X18 农业用水比例(%)	0.0100
		X19 工业用水比例(%)	0.0244
	生态效率	X20 单位 GDP 能耗(立方米/万元)	0.0147
		X21 供水量(亿立方米)	0.0108
		X22 工业废水排放量(万吨)	0.0067
		X23 工业废水排放达标率(%)	0.0137
		X24 工业废水中 XOD 排放量(吨)	0.0490
		X25 工业废水中氨氮排放量(吨)	0.0020
		X26 工业固体废物综合利用量(万吨)	0.0162
		X27“三废”综合利用产品价值(万元)	0.0186
		X28 综合治理水土流失面积(平方公里)	0.0142
		X29 农用化肥施用量(吨)	0.0184
		X30 农药使用量(吨)	0.0179
		X31 城镇公共以及生态环境用水比例(%)	0.0138
文化效率	X32 森林覆盖率(%)	0.0148	
	X33 林业用地面积比例(%)	0.0166	
	X34 退耕还林(草)面积(公顷)	0.0309	
	X35 造林面积(公顷)	0.0243	
	X36 环境保护支出比例(%)	0.0341	
	X37 农林水事务支出比例(%)	0.0252	
	X38 治理废水资金使用(万元)	0.0343	
	X39 对环境变化的感知度(%)	0.0222	
政治效率	X40 电视覆盖率(%)	0.0221	
	X41 居民对保护环境的贡献意愿(%)	0.0224	
	X42 居民对破坏环境行为的态度(%)	0.0341	
	X43 对环境重要性的认识度(%)	0.0745	
	X44 教育支出比例(%)	0.0197	
	X45 文化教育与传媒支出比例(%)	0.0344	
	X46 科学技术支出比例(%)	0.0313	
X47 居民对目前生活状况的满足感(%)	0.0309		
X48 民主参与的满意度(%)	0.0323		
X49 制定流域水资源生态补偿相关政策召开会议频度(%)	0.0073		
X50 流域水资源生态补偿相关条例政策的出台频度(%)	0.0121		

数据来源：中国统计年鉴、中国农业年鉴、中国工业年鉴等。

3.2. 熵权 TOPSIS 法

TOPSIS 法是在 1981 年提出, 现阶段被大量学者引用。国内学者吴冲等人研究后并改进了 TOPSIS 法为熵权-TOPSIS 法。

其主要步骤为: (对某一年的指标进行介绍)

Step1: 先进性标准化处理, 具体公式见式(4):

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \quad (4)$$

x_{ij} 表示第 i 个地区的第 j 个指标值;

Step2: 熵权法求评估指标权重:

在本研究中, 通过 R 软件编写熵权代码, 进行指标权重的确定, 同时计算得熵权后的经济社会发展水平综合得分, 之后再运用 TOPSIS 法进行定量估计:

Step3: 构造规范化矩阵:

利用第二部中得到的各个指标的权重值, 得到决策矩阵 V ,

$$V = (v_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} w_1 y_{11} & \cdots & w_n y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 y_{m1} & \cdots & w_n y_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中代表 w_i 各指标权重, m 为评估的地区数, n 为评估指标数;

Step4: 确定正负理想解:

根据构造的规范化矩阵, 找出评估地区的各项指标中的最大最小值, 定义最大值为正理想解 V^+ , 最小值为负理想解 V^- 。

$$V^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) = \{\max v_{ij} | j = 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

$$V^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) = \{\min v_{ij} | j = 1, 2, \dots, n\} \quad (7)$$

Step5: 计算各个地区反应指标大小的指标数值与政府理想解之间的距离:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (8)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9)$$

Step6: 计算每个地区每个指标的综合评价价值:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, 0 \leq C_i \leq 1 (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

当 C_i 越大说明, 第 i 个地区的经济社会发展水平越好。

4. 实证结果分析

4.1. 评价得分

通过 R 语言编写代码进行计算得到 2010~2019 年广东、广西、贵州、云南流域水资源生态补偿综合效率熵权得分如图 1 所示, 贵州整体的得分都最低, 广西的得分最高, 广东的得分较云南高一些。广西

则以较高的得分处于领先的地位，直到 2017 年，其得分被广东反超，但随后广西又呈现了明显上升的趋势，在后来的时间极大可能重回领先的地位。云南则从整体上呈现先上升后下降最后趋于平稳的趋势，而贵州则呈现持续下降并最后趋于平稳的趋势。在 2010 年，广西的得分 12 左右，但贵州和云南只有 8 左右，而广东则是 10 左右。广西比广东高 4 分，比贵州和云南高 4 分左右。在 2015 年，广西的得分为 13 左右，而广东有 11.5 左右，云南有 10.8 左右，贵州则只有 6 左右，远远低于其他三个省。在 2019 年，广东变成了最高得分为 13 左右，而广西有 12 左右，这一年云南只有 8 左右，贵州依旧最低，仅仅 5 左右。从趋势线可以估计，广西会继续上升，广东继续下降，重新回到广西得分高于广东，而云南随在上升，但高不过广西广东，贵州则继续保持最低得分。

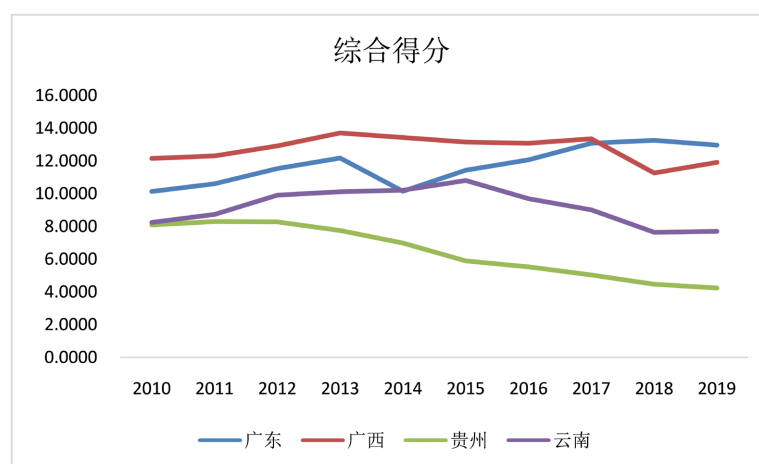


Figure 1. Composite score plot

图 1. 综合得分图

4.2. TOPSIS 排名

如表 2 所示，首先，本文可以从排名的变化中了解到不同地区之间的发展趋势和差异。例如，在 2010 年，广西获得了第一名，但在接下来的几年中排名有所下降。相比之下，贵州在这个时期的排名逐渐上升，最终在 2019 年取得了第二名。同时，广东和云南的排名相对稳定，但云南在许多年份中的排名相对较低，反映出该地区的发展水平还需要进一步提高。这些变化说明不同地区在水资源生态补偿效率存在着一定的差异。

其次，本文可以从得分的变化中识别出一些相关性和趋势。例如，贵州和广西在近年来的得分上升较快，尤其是贵州在 2011 年至 2019 年间的发展速度明显加快。这可能反映出这些地区在经济和社会等领域的进步，为未来的发展奠定了坚实的基础。与此同时，广东和云南在得分方面相对稳定，但在一些关键领域的进展还有待提高。通过比较不同地区在不同领域的得分，本文可以更好地了解它们的优劣势，以便制定更有效的政策和计划来促进各地区的发展。

除了排名和得分的变化之外，表 2 还可以用于识别出一些可能的因果关系和趋势。例如，在 2010 年，广西获得了第一名，但在接下来几年中排名下降。这可能说明该地区在某些领域的发展存在瓶颈或者受到了其他因素的影响。然而，在 2018 年至 2019 年期间，广西的排名又恢复到前十名，这可能反映出该地区采取了一些有效的措施，推动了经济和社会的进步。通过对不同地区在不同时间段内的得分变化进行深入的分析，本文可以找出某些关键时刻或者事件，了解不同地区的发展过程和趋势。

最后，表 2 还可以作为一个参考工具来促进各地区之间的竞争和协作。通过了解其他地区的得分排

名和发展情况，不同地区可以发现自己的优劣势，从而更好地制定发展计划和政策。同时，也可以借鉴其他地区的成功经验和做法，以便获得更多的启示和灵感。

Table 2. The TOPSIS ranking table

表 2. TOPSIS 排名表

年度	地区	得分排名	年度	地区	得分排名
2010	GX	1	2010	GZ	21
2019	GX	2	2012	GZ	22
2011	GX	3	2014	GZ	23
2017	GX	4	2018	GZ	24
2014	GX	5	2019	GZ	25
2016	GX	6	2013	GZ	26
2012	GX	7	2015	GZ	27
2015	GX	8	2016	GZ	28
2013	GX	9	2017	GZ	29
2018	GX	10	2010	YN	30
2013	GD	11	2011	YN	31
2012	GD	12	2012	YN	32
2014	GD	13	2013	YN	33
2011	GD	14	2014	YN	34
2018	GD	15	2015	YN	35
2010	GD	16	2016	YN	36
2016	GD	17	2017	YN	37
2017	GD	18	2018	YN	38
2019	GD	19	2019	YN	39
2011	GZ	20	2015	YN	40

5. 结论

本文基于对珠江流域生态补偿效率的测度，通过建立指标体系和熵权法计算综合得分，并且还通过熵权-TOPSIS 法对广东、广西、云南、贵州进行排名，经过分析可以得到以下结论：一是位于珠江流域上游的云南生态补偿效率综合得分较低，而广西的补偿效率得分较高。二是经济效率的权重较大，但不是唯一的主要影响因素。

结合本文研究结果，对珠江流域保护提出相关建议：1) 加快推进农业规模化发展。推进农村地区土地流转，扩大种植规模，制定相关产业发展规划。2) 加强技术推广。加强对新技术和设备的宣传，让农户和企业了解最新技术。3) 加强监管力度。对于污水违规排放或者排放不达标的企业从严从重处罚，同时对企业提供帮助鼓励使用新技术和设备。

基金项目

云南财经大学研究生创新基金项目(2022YUFEYC068)。

参考文献

- [1] Hoekstra, A.Y. (2003) Virtual Water Trade. *Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* (No. 12), UNESCO-IHF, ELFT, 12-23.

-
- [2] Pagiola, S., Arcenas, A. and Platais, G. (2005) Can Payments for Environmental Services Help Reduce Poverty: An Exploration of the Issues and the Evidence to Date from Latin America. *World Development*, **33**, 237-253. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.07.011>
- [3] Jørgensen, S. and Zaccour, G. (2001) Time Consistent Side Payments in a Dynamic Game of Downstream Pollution. *Journal of Economic Dynamics and Control*, **25**, 1973-1987. [https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(00\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1889(00)00013-0)
- [4] Sarker, A., Ross, H. and Shrestha, K.K. (2008) A Common-Pool Resource Approach for Water Quality Management: An Australian Case Study. *Ecological Economics*, **68**, 461-471. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.05.001>
- [5] Hecken, G.V., Bastiaensen, J. and Vásquez, W.F. (2012) The Viability of Local Payments for Watershed Services: Empirical Evidence from Matiguás, Nicaragua. *Ecological Economics*, **74**, 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.12.016>
- [6] Sheng, J. and Webber, M. (2017) Incentive-Compatible Payments for Watershed Services Along the Eastern Route of China's South-North Water Transfer Project. *Ecosystem Services*, **25**, 213-226. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.04.006>
- [7] George, M. (2019) Eco-Compensation Policies for Micro-Subjects of Water Resources Development. *Journal of Water Resources*, **3**.
- [8] 时润哲, 李长健. 长江经济带水资源生态补偿效率测度及其影响因素研究[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(6): 1048-1058. <https://doi.org/10.13872/j.1000-0275.2021.0110>
- [9] 曲超, 刘桂环, 吴文俊, 王金南. 长江经济带国家重点生态功能区生态补偿环境效率评价[J]. 环境科学研究, 2020, 33(2): 471-477. <https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2019.10.14>
- [10] 李谷成. 技术效率、技术进步与中国农业生产率增长[J]. 经济评论, 2009(1): 60-68. <https://doi.org/10.19361/j.er.2009.01.009>
- [11] 和莹, 常云昆. 流域初始水权的分配[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2006(3): 112-117.
- [12] 何筠, 罗红燕. 基于水足迹理论的赣江上下游城市生态补偿研究[J]. 华东经济管理, 2016, 30(12): 9-13.