

基于 PSR 模型的洞庭湖区水环境治理绩效评价

傅晓华¹ 阳文林¹ 傅泽鼎² 曹俭³ 王赫¹ 杨欣欣¹¹

(1. 中南林业科技大学 生态环境管理与评估中心, 湖南 长沙 410004;

2. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南 长沙 410114;

3. 甘肃煤田地质局, 甘肃 兰州 730000)

【摘要】: 洞庭湖是中国第二大淡水湖泊, 是长江经济带重要组成部分, 论文以湖南境内洞庭湖区水环境治理绩效为研究对象, 基于改良 PSR 框架模型, 筛选 14 项水环境相关指标构建湖区水环境治理绩效指标体系。测算 2010—2019 年 21 个“县域单元”水环境治理水平。结果表明: (1) 准则层中权重值由大到小依次为状态值(0.462)、压力值(0.285)、响应值(0.253), 表明水环境治理过程中, 状态环境是最能反映治理绩效。(2) 湖区水环境治理总体呈现良好趋势, 但不明显, 年均增长率区间为(-0.92%~1.92%), 说明治理力度即响应水平还有待提升。(3) 洞庭湖区水环境治理绩效呈现出“东西两边高中部低”整体趋势, 远离湖区(上游)水环境治理绩效好于中心湖区(下游)治理绩效的分布特征。

【关键词】: 水环境治理绩效 洞庭湖区 PSR 模型

【中图分类号】: X52; X196; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)08-168-08

湖泊流域生态作为一种特殊的生态系统, 是保障河流生态流量的重要屏障, 在生态体系中具有重要河流功能与湿地生态价值, 是环境保护和生态治理的重要内容^[1]。洞庭湖是坐落于长江流域中游的中国第二大淡水湖泊, 亚热带内陆湿地的典型代表^[2], 吞吐长江, 吸纳湘江、资水、沅江、澧水“四水”, 成为支撑长江经济带最关键的湖泊之一。洞庭湖区(27° 39' N~29° 51' N, 111° 19' E~113° 34' E)湿地总面积约为 2416.47km², 占湖区总面积 55.77%^[3]。作为长江之“肾”和“胃”, 洞庭湖承担着气候调节、滞洪调蓄、水资源供给、生物多样性保护等多种生态功能与河流湿地功能^[4,5]。在人类活动强烈干扰和自然演化的双重作用下, 湖区湿地环境与生态系统趋于退化。新时代以来, 尤其是 2014 年国务院正式批复洞庭湖生态经济区规划以来, 湖南省委、省政府高度重视湖区生态环境治理, 水资源环境得到一定程度好转, 对其好转进行量化评价即环境绩效评价, 是洞庭湖区水环境治理的重要参考依据。环境绩效评价是通过选择指标、收集和分析数据以及持续审查和改进, 以促进环境目标实现的管理决策过程^[6]。对洞庭湖区生态环境治理绩效进行测评, 是检验政府依法行政的绩效, 评估生态治理技术水平的效果, 也是对洞庭湖区“两山论”实践效果的量化评估。

中国地域广阔, 水环境治理绩效与所处地理环境、自然资源禀赋、环境管理目标方向以及地方政府管理等关系密切。使用统一指标体系和评估标准必然导致针对性不强, 评估结果偏差会比较大。尤其是湖区环境绩效评估涉及的因素较多, 是一个复杂、

作者简介: 傅晓华, 博士, 教授, 工程师, 研究方向为生态环境管理与评估。E-mail:t20031513@csuft.edu.cn

基金项目: 湖南省重点领域研发计划“环洞庭湖水环境综合治理与资源绿色利用技术创新示范”子课题 5-2“水环境管理体制构建与示范”(2019SK2191)

综合的过程^[7]。目前,洞庭湖水环境治理效果参差不齐,虽总体呈现改善态势,但尚未根本改善环境治理与保护的问题。通过对区域水环境治理进行有针对性的绩效评价,有助于度量水环境治理成效和及时反馈水环境治理实践工作中的优点与不足,也可以检验河长制、湖长制实施效果^[8]。

作为长江经济带的重要支撑湖泊,洞庭湖区生态环境保护是国家发展战略的重要组成部分。“一湖四水、生态优先”和湖南 1 号工程的“三年行动计划”是长江经济带绿色发展战略的重要内容。洞庭湖区流域面积为 60500km²,湖南省境内面积约 46322km²。基于研究可行性和获取数据的真实性,选取湖南省境内洞庭湖区作为评价主体:包括岳阳市、常德市、益阳市和长沙市望城区,共计 26 县/区。截至 2019 年 12 月,评价区域常住人口 1429.35 万人,城镇化率为 53.95%。时间节点以 2010 年为基点,评价单元基于“县域单元”,是目前洞庭湖区评价最细化的地理单元;评价内容是洞庭湖区水环境治理绩效,因为水资源是洞庭湖区的核心资源,水环境治理绩效能准确反映出该区域生态环境治理现状和发展趋势,抓住了主要矛盾,也在一定程度上弥补国家“重城市轻农村”的环境评价短板。通过水环境绩效评价,以期能为长江经济带乃至全国湖区提供一个评价样本,为促进洞庭湖区经济社会与人口资源环境全面协调可持续发展提供数据支撑。

1 文献综述

环境治理绩效相关研究起端于 20 世纪 80 年代末的风险评估,之后关于人类健康和生态风险评估逐步增多,均包含生态治理和环境保护效果的相关评价,是现在环境治理绩效评价工作的重要内容。如今,生态风险评估更是执行环境治理绩效分析的一项有用的工具^[9]。

Managi & Kaneko 通过非参数法计算 1992—2003 中国环境管理绩效,肯定环境绩效评价在环境管理中的重要性^[10]。联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(U.N.Economic and Social Commission for Asia and the Pacific)认为治理不仅包括国家及其正式的行政机构,也包括各种形式非正式的“习惯”与“常规”,“治理”应该是一种新的思考视角,更为关注不同的利益相关群体在决策和实施决策中相互作用的过程^[11],环境治理绩效除了治理结果(状态)之外,区域对环境的响应也是十分重要的。

关于水环境治理绩效研究,Henriques 等^[12]利用 DPSIR 模型预测 2050 年英格兰和威尔士水环境治理绩效,认为坚持长期生态环境保护与绿色发展,虽短期内难以达到环境治理的显著改善,但环境逐步变好到 2050 年有实质性改善,所以环境治理绩效评估是一个常态过程。章恒全等^[13]基于模糊层次分析提出城市水环境治理的绩效评价是一个多层次、多因素的综合评价问题。宋国军和金书秦^[14]对淮河流域水环境保护绩效进行评估,此后王亚华和吴丹^[15]对淮河流域水环境管理绩效进一步进行动态评价。马业文^[16]基于平衡记分卡的方法,从社会、经济、生态方面构建水环境治理评估体系。孟旭彤和宋川^[17]从人居环境、生态环境、生产经济生态保护等方面评价农村生态环境治理绩效。水环境绩效评价中常用的模型有可拓物元模型^[18,19]、平衡记分卡^[20]、DPSIR 模型^[21,22]和 PSR 模型^[23,24]等。众多关于水环境评估或治理绩效的模型或方法,为洞庭湖区水环境治理绩效评估提供良好思路和基础。

近来对环境治理绩效评估呈现普遍趋势,但大多文献和学者成果也表明,不是区域不同类别环境评估目标、指标和方法等差别是很大的。结合湖区实践和湖南水环境治理现状,选用 PSR 模型对洞庭湖区水环境治理绩效进行评价。PSR 模型从人类活动对环境施以压力(pressure)影响到生态环境质量和自然资源数量的状态(state),进而社会通过生态环境政策、经济政策、部门政策以及通过意识和行为变化而对环境变化做出反应即响应(response)^[25]。杨俊等^[26]基于 PSR 框架模型构建了省域水环境治理绩效评价指标体系,并进行实证研究。万炳彤等^[27]基于 PSR 模型拓展为 DPSIRM 模型,结合未确知测度模型与障碍诊断模型构建区域水生态文明建设绩效评价指标体系。杨光明等^[28]基于 PSR 框架模型对三峡库区生态安全进行评价并提出政策建议。唐倩倩^[29]运用 PSR 模型构建湘江水环境绩效审计评价指标体系。

众多文献中对水环境治理绩效评价方面做了各方面探索,扩充了理论体系探索出不少模型和方法,综述大量文献成果可知,在研究单元方面主要是围绕省域、流域的水污染治理治理展开较大层面研究,在评估方面绝大多数偏向于较大区域或环境整体效

果，这些评估方法和模型对中观层面和小环境或某个具体要素的治理绩效评估提供了很好的基础和借鉴。根据国家中长期规划和生态文明建设指标更需要将生态环境研究尺度细化，县域单元是连接城市和农村的最重要载体，评估县域单元具有重要研究意义。在研究视角上，围绕水环境承载力、水环境生态安全、水环境审计开展的评估研究很多，对水环境综合治理绩效水平的研究还有很大空间。基于县域单元开展洞庭湖区水环境治理绩效研究，对洞庭湖生态经济区和湖南生态环境治理能够提供重要的数据支撑，也为类似湖泊提供一个水环境治理评估的参考样本。

2 指标体系构建及计算步骤

2.1 水环境 PSR 评估模型改进

借鉴相关研究成果和结合洞庭湖区实际情况，选用 PSR 模型并加以改进评价洞庭湖区水环境治理绩效。相对湖区水环境治理绩效而言，PSR 模型相对明确且可操作性强，遵循因果的逻辑顺序从评估者到被评估对象都易于接受。尤其是对于单因子评估，该模型有着因果关系直接的优势，故而评价出来的结果是比较确定和客观的。基于相关研究基础和前期成果，对 PSR 模型基于洞庭湖区水环境治理实际情况进行改良，建立适合洞庭湖区域的水环境治理绩效评价的 PSR 模型。在改进的 PSR 模型中，P 代表社会经济发展、人类活动、水资源量变化给水环境治理带来的压力，S 反映在人类活动压力下生态环境与自然资源的现实状况，R 代表人类对湖区水环境的改善做出的进一步响应。改良 PSR 模型通过政策调整等措施来促进洞庭湖水环境目标的完成，如安全饮水工程、水质断面考核等。

2.2 指标筛选与数据来源

2.2.1 评价单元

县域既是新农村建设重要组成部分，也是提升社会现代化的重要切入点。洞庭湖区在湖南省境内现有 26 个县市区，为评估的确定性以及更趋向于实际情况，岳阳、常德、益阳三市市区作为一个“县域单元”予以评价，因为都是地级市，下设的区无论从地理区域面积还是环境特征等相似性强，且三个市区面积、地理成分、环境变化等还不如一个独立的县制单元。所以把岳阳楼区、云溪区、君山区统归为岳阳市区，武陵区、鼎城区统归为常德市区，桃花源区是刚从桃源县划分出来归为常德市直接管辖，但基于研究期间的地理区域特征和时间特征(2019 年以前)归为桃源县，资阳区、赫山区、大通湖区统归为益阳市区。如此，评价区域归纳为 21 个“县域单元”。

2.2.2 指标筛选及属性

环境绩效评价倾向于“政绩”范畴，评价结果更多基于官方视角解读。所以指标的认可性是关键，对此，选用指标以中国统计年鉴的统计指标、湖南省统计年鉴的统计指标、各县区国民经济和社会发展统计公报里的统计指标为基准指标。如此既能对应行政指标得到各评价单元的认可，又更具有统一性和对比性。同时参考《洞庭湖生态环境专项整治三年行动计划(2018—2020 年)》《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》等政策性文件设立的目标，实际上也是官方目标。遵循科学性、客观性、可操作性等原则，从压力、状态、响应三方面构建评价湖南省洞庭湖区水环境治理绩效指标体系(表 1)，保证数据可测度、可跟踪、可对比。

表 1 湖南省洞庭湖区农村水环境治理绩效评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标意义	指标属性
洞庭湖区水环境治理绩效	压力(P)	人均水资源量/(m ³ /人)	人均水资源量增加，水环境压力越小	正

		城镇化率/%	人口聚集对水环境产生的压力	负
		第三产业占比/%	一二产业(高耗水)的降低	正
		乡村人口数/万人	水环境压力随用水量增加而增加	负
		化肥施用量/吨	农业面源污染的主要污染源之一	负
	状态(S)	年降水量/mm	反映当地水资源状况	正
		有效灌溉面积/千公顷	水资源有效利用程度	正
		森林覆盖率/%	反映生态环境状况	正
		水库容量/万 m ³	反映当地水资源状况	正
		农作物播种面积/千公顷	播种面积越广, 耗水量越高	负
	响应(R)	水质断面监测达标率/%	衡量区域综合水质状况	正
		农村安全饮水覆盖率/%	反映居民用水安全	正
		环境行业职工人数/人	政府对水环境治理的重视程度	正
		农林牧渔总产值/万元	通过水环境治理, 实现经济优化升级	正

2.2.3 数据来源

数据来源于2010—2019年的《湖南统计年鉴》《长沙市统计年鉴》《岳阳市统计年鉴》《常德市统计年鉴》《益阳市统计年鉴》《湖南农村统计年鉴》和各个县区国民经济和社会发展统计公报以及各个县区的人民政府网站发布的官方数据。但仍有小部分数据未找到直接数据,采用实地调查数据和询问当地政府数据再使用推算法或加权平均法得出。其中,益阳市辖区内的大通湖区缺乏水库容量数据,未将该区该项指标纳入统计范围。

2.3 计算方法与步骤

2.3.1 数据标准化处理

由于湖区水环境绩效评估涉及指标的重叠性比较大,但各指标表征表述方式和计量单位又差异较大,为方便各指标相互比较和测算,必须对指标数据进行标准化(归一化)处理。常用数据标准化方法包括极差法、单目标渐进法和多目标渐进法。极差法由指标数据最大值、最小值作为归一化依据,单目标渐进法选用每个指标唯一目标值进行归一化处理,双目标渐进法在单目标渐进法的基础上进行改进,选取设定不同目标值作为归一化依据^[30]。基于湖区评价指标的数据类型和特征,结合指标属性,选用极差法:

$$A_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{ij(\min)}}{X_{ij(\max)} - X_{ij(\min)}} \quad (1)$$

正向指标:

$$A_{ij} = \frac{X_{ij(\max)} - X_{ij}}{X_{ij(\max)} - X_{ij(\min)}} \quad (2)$$

负向指标:

式中: X_{ij} 为指标数值, $X_{ij(\max)}$ 与 $X_{ij(\min)}$ 为指标的最大值和最小值。为了后续赋权结果准确性, 标准化后值为 0 的指标加上 0.001。其中, $0 < A_{ij} \leq 1$ 。

2.3.2 熵权法确定权重

确定湖区水环境治理绩效指标权重在评估工作中是最关键步骤, 选用指标赋权方法直接关系到评估结果有效性和可信度。熵权法是一种客观赋权法, 测算熵值确定指标权重, 即通过度量数据的有效信息量来确定权重, 该方法适用于多指标综合评价。

采用熵权法以确定指标权重。通过公式(1)~(2)对指标数值标准化后, 计算第 j 项指标下, 第 i 个评价对象的特征比重 P_{ij} 和信息熵值 E_j :

$$P_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^m A_{ij}} \quad (3)$$

$$E_j = \frac{1}{-\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (4)$$

式中: E_j 为第 j 个指标的信息熵值, m 为被评价对象个数, n 为评价指标的个数。计算出熵值即可求出各指标权重 W_j :

$$W_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j} \quad (5)$$

2.3.3 绩效指数计算

得出指标权重后, 采用加权求和综合评分法(式 6), 计算洞庭湖区水环境治理绩效, 依据测算分值评估治理绩效。分值越高, 表示水环境治理绩效越好, 反之则反然。

$$WEGPI = \sum_{i=1}^n W_j A_{ij} \quad (6)$$

式中: W_j 为第 j 个指标的权重, A_{ij} 为第 j 个指标的标准化值。

3 评价结果

3.1 指标权重分值与分析

采用熵权法公式(3)~(5)求得湖南省洞庭湖区水环境治理绩效评价指标体系各年份各指标的权重, 由 2010 年、2011—2015

年、2016—2019年分别代表“十一五”“十二五”“十三五”三个时间段排列。准则层中权重值由大到小依次为状态值0.462、压力值0.285、响应值0.253(表2)。

基于测算,准则层中状态(S)权重值最大,为0.432,是体现水环境治理绩效最关键因子。年降水量、森林覆盖率、水库容量均为正向指标且权重随时间呈上升趋势,表明洞庭湖区生态环境良好且有优化趋势。压力层(P)权重值处于上升趋势,5个压力指标中有4个指标呈上升趋势,指标权重的上升造成压力指标的波动,由熵权法特性可知:指标数据波动越大,则提供信息越多,即所占权重越高,表明对水环境治理造成的压力越大。响应层(R)是提升洞庭湖区水环境治理绩效的直接措施,其权重系数呈下降趋势,说明政策响应的程度相越来越弱,水质断面监测达标率指标权重呈现波动上升趋势,表明洞庭湖区水环境治理中水质是处于最核心地位,应予以重视。

表2 洞庭湖区水环境治理绩效评价指标权重

时间	2010年		2011—2015年		2016—2019年		平均值		
准则层	权重	指标层权重	权重	指标层权重	权重	指标层权重			
压力(P)	0.272	人均水资源量	0.096	0.270	0.105	0.306	0.108	0.285	0.105
		城镇化率	0.036		0.038		0.043		0.040
		第三产业占比	0.028		0.027		0.037		0.031
		乡村人口数	0.059		0.05		0.066		0.057
		化肥施用量	0.053		0.05		0.053		0.052
状态(S)	0.432	年降水量	0.052	0.453	0.064	0.481	0.074	0.462	0.067
		有效灌溉面积	0.045		0.044		0.045		0.045
		森林覆盖率	0.059		0.062		0.062		0.062
		水库容量	0.241		0.24		0.24		0.245
		农作物播种面积	0.035		0.043		0.043		0.044
响应(R)	0.296	水质断面监测达标率	0.016	0.276	0.034	0.213	0.026	0.253	0.029
		农村安全饮水覆盖率	0.092		0.075		0.023		0.056
		环境行业职工人数	0.141		0.125		0.118		0.124
		农林牧渔总产值	0.047		0.043		0.046		0.045

3.2 治理绩效指数计算

基于权重值,依据公式(6)计算出洞庭湖区水环境治理绩效综合得分,得到洞庭湖区2010—2019年21个县域单元水环境治理绩效综合分值,同时核算WEGPI同比增长率,以明晰反映出历年水环境治理绩效水平变化(表3)。

表 3 洞庭湖区水环境治理绩效评价结果

地区	2010 年	2011—2015 年	2016—2019 年	平均值	均值排名	年均增长率
常德市区	0.363	0.339	0.372	0.355	8	1.28%
津市市	0.256	0.270	0.263	0.266	18	-0.62%
安乡县	0.229	0.246	0.239	0.242	20	1.06%
汉寿县	0.273	0.306	0.286	0.295	15	-0.35%
桃源县	0.474	0.530	0.530	0.525	3	0.73%
临澧县	0.310	0.349	0.357	0.348	10	0.88%
石门县	0.495	0.559	0.536	0.543	2	0.30%
澧县	0.350	0.413	0.389	0.397	5	0.05%
益阳市区	0.290	0.304	0.280	0.293	16	-1.65%
安化县	0.606	0.650	0.708	0.669	1	1.56%
桃江县	0.300	0.342	0.372	0.350	9	0.14%
南县	0.206	0.230	0.266	0.242	20	1.89%
沅江市	0.260	0.281	0.310	0.290	17	0.29%
岳阳市区	0.418	0.405	0.388	0.399	4	0.04%
华容县	0.247	0.266	0.270	0.266	18	0.60%
平江县	0.307	0.364	0.376	0.363	7	1.85%
湘阴县	0.294	0.330	0.377	0.345	11	-0.24%
岳阳县	0.275	0.315	0.348	0.324	13	1.92%
临湘市	0.387	0.376	0.388	0.382	6	-0.67%
汨罗市	0.297	0.338	0.347	0.338	12	-0.57%
望城区	0.328	0.333	0.281	0.312	14	-0.92%

由表 3 可知，常德市治理绩效水平较高，其中桃源县、石门县表现优异，津市、华容县表现较差，益阳市治理水平较低，但安化县治理绩效水平为评价区域内第一名，岳阳市、长沙市望城区治理水平居中。

从 21 个评价单元的水环境治理绩效整体趋势来看，虽存在不同程度增长，表明 10 年间湖区水环境治理取得一定成效，但整体效果不理想，且绩效最优与最劣之间水平差距较大。尤其是 2016 年，16 个评价单元出现水环境治理绩效明显下降，其中岳阳市有 7 个区域分值呈现下降趋势，其原因可能与 2016 年 3 月份的湖南省特大跨省生态环境污染案存在关联^[81]。

4 水环境治理绩效时空分析

4.1 时间演变进程分析

将 2010—2019 年十年期间水环境治理绩效综合得分值采用折线图，把 21 县域单元按照 4 个城市即常德、益阳、岳阳、长沙进行区间结合均值指数进行比较，对其时间动态变化进行直观分析。

4.1.1 常德市

由表 3 和图 1 可知，常德市 8 个评价单元水环境治理绩效指数都呈现比较平稳的波动趋势，表明水环境治理绩效在一个相对稳定区间内起伏，并没有明显好转。石门县与桃源县远超均值水平，在评价区域 21 个单元中位列第二第三，且略有上升趋势，表明该两县治理绩效优良。常德市区由 2010 年 0.363 上升到 2019 年 0.407，是常德市水环境治理绩效明显好转的单元，说明在一定程度上还在延伸环境治理“重城市轻农村”的惯性。安乡县、津江市、汉寿县水环境治理绩效较差，是常德市倒数前三名，且 10 年后治理绩效得分值还是基本上是原地不动，说明生态环境治理力度相对较差。

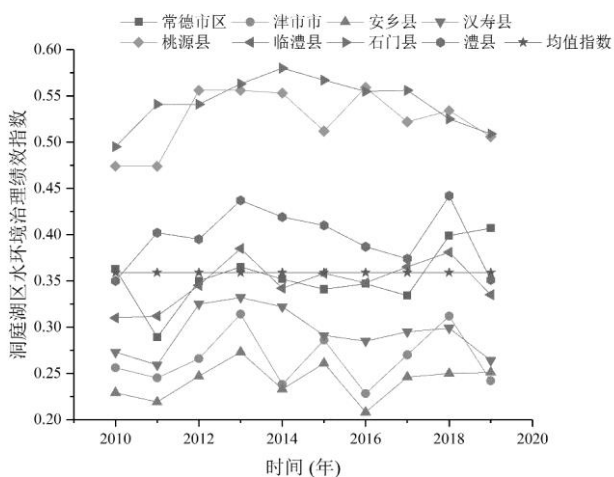


图 1 常德市水环境治理绩效比较(2010—2019 年)

4.1.2 益阳市

由表 3 和图 2 可知，益阳市 5 个评价单元中，安化县整体上是上升的，在洞庭湖区 21 个评价单元中排名第一，水环境治理绩效就远高于均值，且年均增长率在所有县区中也排名靠前，但 2017 年又开始下降。桃江县 2010—2016 年明显上升，2017—2019 年又显著下降。益阳市辖区、南县、沅江市 3 个单元一直处于均值下，表明益阳市水环境治理绩效是偏低的，说明益阳市水环境治理政策响应相对缓慢。南县是益阳市里治理绩效得分最低的县区，但时间序列上整体呈现上升趋势。在南县调研也说明该问题，当地居民认可 10 年来水环境问题得到改善，水环境治理绩效年均增长率名列前茅。益阳市一个接近普遍的问题就是 2017 年以来各县区都呈现下降趋势，这应该不是一个县区的问题，可能是益阳市政策导向原因，而且该导向应该是在 2017 年以前。

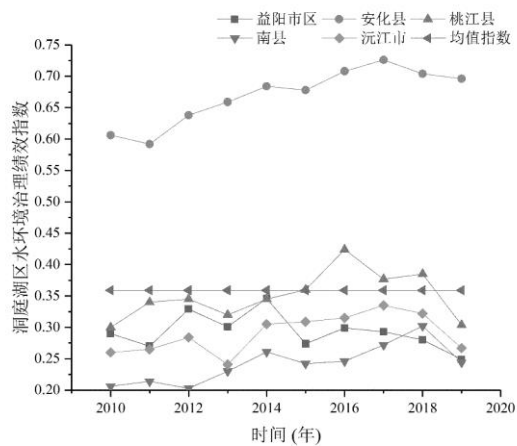


图2 益阳市水环境治理绩效比较(2010—2019年)

4.1.3 岳阳市

由表3和图3可知，岳阳市7个评价单元在洞庭湖区21评价单元中处于中等偏下的位置，除华容县以外其他6个单元的波动趋势有一定的相似性。岳阳市区、临湘市呈波动下降趋势，年均增长率较低，但其总体排名处于岳阳市的前列，说明该两个单元的生态环境状况本底还是比较好的，但政府所采取应对措施略显不足。华容县在岳阳市内排名倒数第一，该县人均水资源量低，化肥施用量高，森林覆盖率较低且水库容量呈减少趋势，表明生态环境较差和农业生产活动是限制华容县水环境治理绩效提高的重要原因。

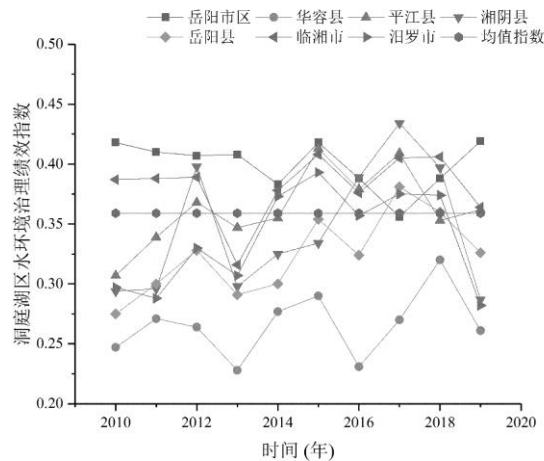


图3 岳阳水环境治理绩效比较(2010—2019年)

4.1.4 长沙市望城区

由表3和图4可知，望城区呈波动下降趋势，由2010年0.328下降至2019年0.302。这与望城区从2011年划为长沙市第六区，在长沙市统一安排下，市区不少企业转移到望城区，同时由县转区和购房政策等原因，望城区人口增加较快导致人口密度

高。城市污水排放量加大和人口增加等因素，造成望城区环境治理绩效为“压力型下降”。

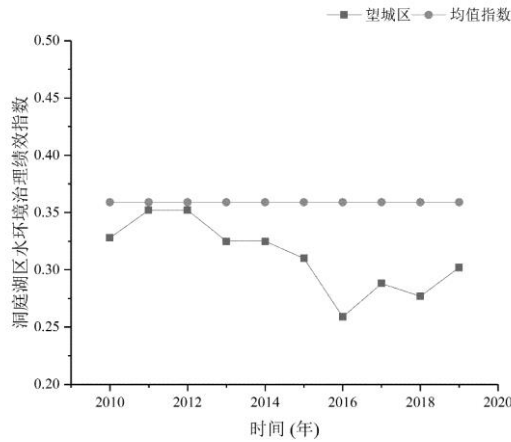


图4 长沙市望城区水环境治理绩(2010—2019年)

4.2 空间分布特征分析

将前述公式计算出的洞庭湖区水环境治理评价绩效分值导入 ArcGIS10.2 软件，通过几何间隔分级法将洞庭湖区环境治理绩效分值划分为五个等级，分别为：0.463~0.708、0.363~0.463、0.314~0.363、0.290~0.314 和<0.290，该五个等级分别对应各评价单元等级为好、较好、一般、较差和差的水环境治理绩效水平。利用 ArcGIS10.2 软件绘制了以 2010 年、2015 年和 2019 年为时间断面的洞庭湖区水环境治理绩效总指数的空间分布图(图 5)，用不同深浅度的颜色表明治理绩效水平，颜色越深表明治理绩效越好，反之亦然。

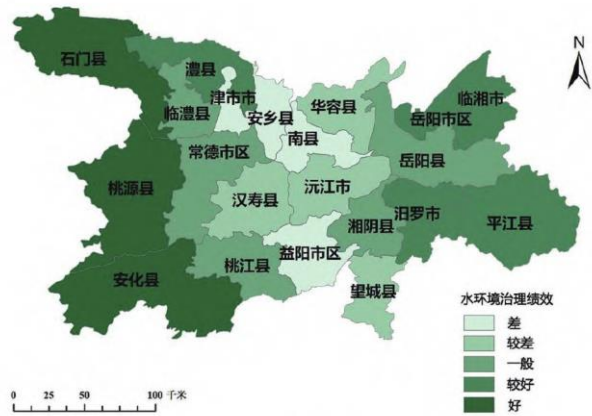
湖区水环境治理总体呈现比较好的趋势，但趋势不明显。2010 年水环境治理绩效等级为较好及以上的单元有 8 个，但 10 年后数量还是没有增加。总体上“十一五”到“十二五”是呈现相对良好的态势，这与新时期以来最严厉的环境政策和 2014 年年底之前申报洞庭湖生态经济区有关，但生态经济区获批之后的“十三五”期间似乎出现了反弹，对“十四五”是重大的考验。空间特征上，水环境治理绩效比较好的单元主要分布于西洞庭湖区，少数在东洞庭湖区的岳阳市区和临湘市。洞庭湖区水环境治理绩效呈现出“东西两边高中部低”的整体趋势，远离湖区(上游)水环境治理绩效好于中心湖区(下游)治理绩效的分布特征。表明上游水环境治理政策执行到位，中下游在水环境治理方面还需加大执行力度。

通过空间分布图不仅能看出整体的变化趋势，还能反映各县区的水环境治理绩效水平的变化快慢^[32]。2010 年有 8 个县区水环境治理绩效等级为差，位于湖区中部与东部。但经过“十二五”期间水环境治理和 2014 年洞庭湖生态经济区建设，2015 年水环境治理绩效明显提升，绩效水平差的单元数量缩减为 4 个。“十二五”期间，全国生态环境污染治理投资总量逐年增加，2014 年全国生态环境污染治理投资为 9575.5 亿元，是 2010 年(6654.2 亿元)的 1.4 倍，洞庭湖区治理力度也基本上与国家保持一致。短期内环保资金大量投入呈现出显著的短期效果，到 2019 年虽仍高于“十一五”时期绩效水平，但水环境治理绩效水平又呈现小幅度下降。这在一定程度上表明水环境治理绩效水平提升不完全是投入资金推动，是长期综合治理过程。

水环境治理绩效与生态环境本底息息相关，安化县、石门县、桃源县三县水环境治理绩效得分一直较高，与该区域内水资源充足、森林覆盖率高、城镇化率低和第二产业比例低等原因密切相关。政府大力推进绿色转型加强生态文明建设也是水环境治理绩效的关键因素。安化县推进茶旅文一体化，发展绿色循环经济，培育生态农业；石门县率先制定文明卫生村标准，2016 年与中联重科签订湖南首个县域全环境治理战略合作框架协议；桃源县坚持“生态立县”培育和发展生态旅游，推动产业升级。



(a)洞庭湖区水环境治理绩效空间分布(“十一五”时期)



(b)洞庭湖区水环境治理绩效空间分布(“十二五”时期)



(c)洞庭湖区水环境治理绩效空间分布(“十三五”时期)

图5 洞庭湖区水环境治理绩效总指数的空间分布图

根据空间比较分析而知,洞庭湖区的核心水域即中部地区,水环境治理绩效差强人意。主要原因在于核心水域位于洞庭湖水体区域,种植与养殖业对水体污染严重,农业面源污染导致地表水质较差。同时缺水问题严重,如南县统计资料表明其自然性缺水严重,地表径流量从1956—2010年衰减幅度超过80%^[33],洞庭湖水体的工程性缺水也是关键诱因,上游荆江裁弯、三峡工程

运行导致的洞庭湖水面面积大幅减少。绩效评价结果也凸显了个体利益与公共利益之间的矛盾，洞庭湖核心区域的协调治理不佳，水体两边是不同行政区，污染难以追责，造成洞庭湖区的“公地悲剧”。如何建立并有效实施公共规则也成为今后提升洞庭湖水环境质量的關鍵。

5 结语

基于县域单元选取 14 项关联指标建立湖南省洞庭湖区水环境治理绩效评价体系，采用熵权法确定权重，运用加权平均求和法测算每个县域的绩效指数，结合绘图软件进行湖区水环境治理绩效的时间和空间差异性研究分析。得出以下参考与建议：

(1) 县域单元水环境治理绩效评价提升了评价的准确性和针对性。任何评估工作的准确性与有效性都与统计数据密切相关，建议管控已有的县域甚至乡镇数据，及时向上级单位汇总，提升信息检索效率。同时加大信息公开力度，以保证评估结果的时效性和准确性。

(2) 结合 GIS 空间分布图可知，2010—2019 年 10 年间，洞庭湖区水环境治理绩效并无明显提升。但从环保部门和财政部门了解到，10 年期间投入的治理资金是逐年上升的，说明环境投入资金并没有收获应得效果，从响应指标权重呈下降趋势也印证了该问题。说明政府水环境保护意识和水环境治理措施仍需加强，建议经济层面从发展生态农业、生态工业以及生态旅游业等绿色产业入手，基于长远目标制定洞庭湖保护措施。

参考文献：

- [1] 落志筠. 生态流量的法律确认及其法律保障思路[J]. 中国人口·资源与环境, 2018(11): 102-111.
- [2] 庄大昌, 董明辉. 洞庭湖区湿地生态旅游资源开发模式研究[J]. 人文地理, 2002(1): 73-76.
- [3] 梁旻轩, 谢正磊, 毛德华, 等. 1980 年以来 5 个时期洞庭湖区国际重要湿地景观动态研究[J]. 湿地科学, 2020(1): 40-46.
- [4] 张光贵, 王丑明, 田琪. 三峡工程运行前后洞庭湖水质变化分析[J]. 湖泊科学, 2016(4): 734-742.
- [5] Han Q Q, Zhang S H, Huang G X, et al. Analysis of long-term water level variation in Dongting Lake, China[J]. *Water*, 2016, 8(7): 306.
- [6] Tian Z, Zheng B, Wang L, et al. Effects of river-lake interactions in water and sediment on phosphorus in Dongting Lake, China[J]. *Environmental Science & Pollution Research International*, 2017, 24(7): 1-11.
- [7] 张梅, 吴永涛, 石磊, 等. 农村环境绩效评估指标体系研究[J]. 环境保护, 2020(16): 56-60.
- [8] 史玉成. 流域水环境治理“河长制”模式的规范建构——基于法律和政治系统的双重视角[J]. 现代法学, 2018(6): 95-109.
- [9] Madhu P. What is good governance[J]. *Social Science Research Network Electronic Journal*, 2011, 92 (Supplement s253): 459-461.

-
- [10]Managi S,Kaneko S.Environmental performance and returns to pollution abatement in China[J].Ecological Economics,2009,68(6):1643-1651.
- [11]OECD.OECD core set of dicators for environmental performance reviews[R].Paris:OECD,1993.
- [12]Henriques C,Garnett K,Weatherhead E K,et al.The future water environment—Using scenarios to explore the significant water management challenges in England and Wales to 2050[J].Science of The Total Environment,2015,512-513C:381-396.
- [13]章恒全,王旭华,谢丹.基于模糊层次分析的城市水环境治理绩效评价[J].统计与决策,2006(22):60-62.
- [14]宋国君,金书秦.淮河流域水环境保护政策评估[J].环境污染与防治,2008(4):78-82.
- [15]王亚华,吴丹.淮河流域水环境管理绩效动态评价[J].中国人口·资源与环境,2012(12):32-38.
- [16]马业文.水环境治理绩效评价指标体系研究——基于平衡记分卡的方法[J].湖北农业科学,2020(11):191-194.
- [17]孟旭彤,宋川.河北省北部山区农村生态环境治理及绩效评价[J].中国农业资源与区划,2018(10):57-61.
- [18]丰景春,杨卫兵,张可.基于可拓物元模型的农村水环境治理绩效评价[J].社会科学家,2015(10):86-90.
- [19]张志君,陈伏龙,龙爱华,等.基于可拓云模型的干旱区水资源安全评价——以石河子垦区为例[J].干旱区研究,2020(4):847-856.
- [20]黄征.基于平衡记分卡的农村水环境治理绩效的指标体系设计及评价研究[J].环境科学与管理,2015(12):62-66.
- [21]李玉照,刘永,颜小品.基于 DPSIR 模型的流域生态安全评价指标体系研究[J].北京大学学报(自然科学版),2012(6):971-981.
- [22]曹琦,陈兴鹏,师满江.基于 DPSIR 概念的城市水资源安全评价及调控[J].资源科学,2012(8):1591-1599.
- [23]彭兰香,李佳丽,刘婷.基于绩效棱柱和 PSR 模型的水环保绩效审计评价体系构建研究——以浙江省“五水共治”为例[J].财经论丛,2015(5):67-73.
- [24]诸大建.可持续性科学:基于对象—过程—主体的分析模型[J].中国人口·资源与环境,2016(7):1-9.
- [25]徐浩田,周林飞,成遣.基于 PSR 模型的凌河口湿地生态系统健康评价与预警研究[J].生态学报.2017(24):8264-8274.
- [26]杨俊,刘艳玲,周靖承,等.省域水环境保护政策实施效果评价的指标体系构建与实证研究[J].中国环境管理,2018(4):61-67.
- [27]万炳彤,鲍学英,赵建昌,等.区域水生态文明建设绩效评价及障碍诊断模型的建立与应用[J].环境科学,2021(4):2089-2100.

-
- [28]杨光明, 陈也, 张帆, 等. 基于 PSR 模型的三峡库区生态安全评价及动态预警研究[J]. 生态经济, 2021(4): 209-214.
- [29]唐倩倩. 基于 PSR 模型的湘江水环境绩效审计评价研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2020.
- [30]解钰茜, 张林波, 罗上华, 等. 基于双目标渐进法的中国省域生态文明发展水平评估研究[J]. 中国工程科学, 2017(4): 60-66.
- [31]史卫燕. 湖南特大跨省环境污染案追踪 [N/OL]. (2017-01-16). http://www.xinhuanet.com/2017-01/16/c_112032344.htm.
- [32]朱靖, 余玉冰, 王淑. 岷沱江流域水环境治理绩效综合评价方法研究[J]. 长江流域资源与环境, 2020(9): 1995-2004.
- [33]杨红艳, 张正贤, 侯利平. 南县水资源利用存在的问题与对策措施[J]. 湖南水利水电, 2015(1): 82-84.