

岷沱江流域水环境治理绩效综合评价方法研究

朱靖 余玉冰 王淑¹

(成都理工大学 商学院, 四川 成都 610059)

【摘要】: 为全面研究生态文明背景下岷沱江流域水环境治理成效, 该研究从水生态保护与修复、水污染治理与控制、水资源开发利用和社会经济承载 4 个维度构建评价指标体系, 先采用灰色关联分析法和均方差决策法建立组合权重, 再通过加权综合指数法和理想解模型对 2011~2017 年岷沱江流域 10 个主要地级市的水环境治理绩效进行动态评价, 最后利用 ArcGIS10.5 软件进行评价结果的时空分异性的可视化。研究表明: 在水环境综合管理下, 岷沱江流域水环境治理绩效水平呈上升的趋势。空间分布上, 虽岷沱江流域上、中、下游的水环境治理绩效整体水平差异性逐渐缩小, 但流域中各地级市在水污染治理与水资源开发利用上存在明显的差异性, 今后岷沱江流域应重点控制水污染和优化水资源配置, 统筹流域可持续发展的水环境管理。

【关键词】: 岷沱江流域 水环境治理绩效 灰色关联分析 均方差决策法 理想解模型

【中图分类号】: X821 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2020)09-1995-10

随着城市化和工业化的快速发展, 城市工业、生活污水的肆意排放、用水量过耗及水生态环境恶化等问题严重影响到了流域水环境的可持续发展。虽然政府部门已积极出台了多项与水环境保护与治理相关的法规、政策, 但治理效果却呈现为局部明显改善、整体尚未遏制。因此, 我们有必要构建一套完善的水环境治理绩效评价体系, 并借助适应大数据时代的科学统计测度方法, 对流域水环境治理政策效果进行评估, 有利于辨别治理过程中存在的不足, 为科学制定水环境保护规划和管理政策提供经验和建议。

关于环境治理绩效研究, 有学者定义为“治理主体通过治理过程对问题解决的最终影响”^[1]。水环境提供和承载了人类生存与社会发展的物质场所, 同时也承受着人类对其严重破坏的压力。因此, 对水环境治理绩效评价是为了度量政府作为治理主体对水环境治理的投入产出结果和管理行为的成效, 以及反映水环境治理给流域所辖区社会经济与资源环境发展带来的长远影响。

目前, 国内外学者从不同的视角研究流域水环境治理绩效, 构建综合评价指标内容, 运用科学的评价方法来量化评价水环境治理政策的绩效成果。联合国经济合作与发展组织(OECD)、美国环境保护署(USEPA)等国际组织和机构先后开展流域水环境评价研究^[2,3]。从不同研究视角来看, 主要涉及流域水环境管理绩效评价^[4,5]、水环境承载力评价^[6,7]、水生态健康评价^[8,9]、水污染防治绩效评价^[10~12]和水环境治理绩效审计评价研究^[13,14];从构建评价指标内容来看, Henrique 将水文、环境、生活水平和政策四类指标与压力、状态和响应(PSR)模型相整合形成一个定量、动态流域可持续性指标体系^[15];Peteretal 按照湖泊流域治理制度、管理

¹**作者简介:** 朱靖(1974~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境资源经济与会计。E-mail:493007304@qq.com

余玉冰, E-mail:827283581@qq.com

基金项目: 四川省社科规划项目(SC18TJ009);成都理工大学高等教育人才培养质量和教学改革项目(JG183017);地方本科高校创新创业教育研究基地项目(201810616042)

系统、互动、信息和适应系统这五个层次将相关指标进行整合,以确定、检验和分析湖泊流域水资源管理绩效^[16];国内研究者大多从经济、社会、生态、污染治理、水资源管理等层面选取指标对城市、流域水环境治理绩效的评价,分析城市经济、社会与水环境之间的内在联系^[17~20]。从评价方法来看,国内外常用的有客观评价法如生命周期评估法(LCA)^[21,22]、主成分分析法^[23]、模糊综合评价法、熵权法、灰色关联分析法^[24]、DEA 模型^[25]等评估城市和流域的水环境治理情况;还有两种主要主观评价法即层次分析法^[26]、德菲尔法^[27]分析城市污水治理绩效和河流饮用水源安全的评估;以及主客观方法相结合的运用评价滇池水环境质量^[28]。

虽然有很多对淮河、长江、太湖等流域水环境治理绩效评价的研究,而且主要围绕流域、城市水污染治理展开水资源质量、水环境承载力的评估,但是很少有专门研究岷沱江流域的水环境综合绩效水平;除此之外,国内外对水环境治理绩效定量化的统计测度方法有很多,但其模型、指标选取和实践应用均处在不断完善过程中,由于缺乏统一的评价标准,也导致降低了评价结果的准确性。

基于上述分析,本文以四川省岷沱江流域主要地级市为例,在基于河长制实施治理目标下,从水生态保护与修复、水污染治理与控制、水资源开发利用和社会经济承载四个层面构建水环境治理绩效评价指标体系,运用灰色关联分析法和均方差决策法建立联合赋权模型,以及利用线性加权平均原则和改进的理想解模型进行 2011~2017 年水环境治理绩效探索和治理绩效水平的优劣对比研究,并借助 ArcGIS 技术软件,进行岷沱江流域空间差异性动态分析。

1 研究方法

1.1 研究区域

岷江和沱江为长江上游的一级支流,是四川盆地内部区域最重要的水系。岷沱江流域总面积约为 $15.14 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占四川省国土面积的 31.26%, 其年均降水量在 1000~1600mm 左右, 年均水资源总量为 978.87 亿 m^3 , 丰富的水资源为流域辖区内城市发展和居民生活提供了充足的物质保障。岷江流域主要城市有成都、雅安、眉山、乐山和宜宾, 沱江流域主要城市有成都、德阳、内江、自贡、资阳和泸州, 如图 1 所示。该流域大中型城市较多, 工业集聚化发展快, 同时四川省位于长江经济带的上游, 因此也凸显了岷沱江流域在四川省经济发展中的重要战略地位。但随着城市化集聚扩张和工业增速加快, 也给岷沱江流域造成了严重的水环境负担。在四川省六大水系中, 岷沱江流域水系(I~III)类水质比例最低, 年均 43.6%, 其干支流呈现轻、中度污染。四川省政府虽出台了对岷沱江流域水污染治理监测以及沿河工业减排等措施, 但是整治效果不容乐观。鉴于此, 本文通过对岷沱江流域十个主要地级市水环境治理绩效水平的研究, 反映水环境治理存在的问题和探究不同区域的水环境分异性, 因地制宜地制定水环境综合管理措施, 促进流域的经济、社会和环境的可持续性发展。

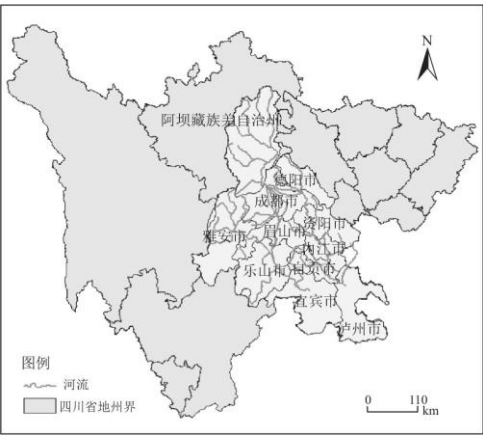


图 1 岷沱江流域位置图

1.2 构建指标体系

水环境治理绩效评价是对水环境治理政策实施后取得的效果进行测量的一种系统程序,而且多采用综合评价法,即建立指标体系、选择评价模型、确定权重对水环境治理绩效进行综合评价的方法^[29]。为了能够准确地评估岷沱江流域的水环境治理绩效,首先需要建立切合实际的反映水环境治理绩效的指标体系,这也是整个绩效评估中面临的第一个重难点。

本研究在参考了前人研究的基础之上,根据四川省 2017 年全面推行河长制实施的主要任务和目标,从水生态保护与修复反映水与生态环境的平衡和改善、水污染治理与控制反映水质和污染的变化、水资源开发利用反映各类产业和居民生活对水资源的配置和利用、社会经济承载反映对水环境的治理能实现经济与环境的可持续发展促使人们生活水平的提高和改善区域生存环境、提高人口承载力、影响城镇化水平这 4 个方面选取了 20 个指标,同时运用主成分分析法验证所选指标的合理性,然后采用主题框架以突出水环境的核心主题,构建了岷沱江流域的水环境治理绩效评价指标体系,具体见表 1。

表 1 岷沱江流域水环境治理绩效评价指标体系

目标层	指标层	选取意义	属性
水生态保护与修复	建成区绿化覆盖率(%)	反映城市生态对水环境的改善状况	正
	森林面积覆盖率(%)	反映对流域地表蓄水的影响	正
	水土流失治理面积(km ²)	反映流域水土保持恢复效果	正
	生态环境用水率(%)	反映生态用水程度,提高水生态环境功能	正
	地下水用水率(%)	反映地下水生态用水平衡	负
水污染治理与控制	饮水水源地水质(III类)以上达标率(%)	反映流域居民用水安全现状	正
	地表水监测断面水质(III类)以上达标率(%)	反映流域水环境水质现状	正
	废水中 COD 排放量(t)	反映经济发展对流域水污染的影响	负
	废水中氨氮排放量(t)	反映经济发展对流域水污染的影响	负
	总废水排放量(万 t)	反映经济发展对流域水污染的影响	负
水资源开发利用	工业万元增加值用水量(m ³ /万元)	反映工业生产用水现状	负
	农业均亩灌溉用水量(m ³ /亩)	反映农业生产灌溉耗水情况	负
	万元 GDP 用水量(m ³ /万元)	反映整体经济用水效率	负
	城镇人均日生活用水量(L/d)	反映城镇居民生活的用水情况	负
	水资源开发利用率(%)	反映流域地表水资源使用现状	负
社会经济承载	恩格尔系数(%)	反映水环境状况对居民生活满意程度影响	负
	城镇居民人均可支配收入增长率(%)	反映水环境治理对城镇居民生活水平影响	正
	人均 GDP(元/人)	反映区域经济发展对水环境的驱动	正

	城镇化率(%)	反映流域水环境治理对城镇化的发展影响	正
	人口密度人(km ²)	反映流域水环境治理对人口承载力影响	正

1.3 评价方法

本研究主要运用灰色关联分析法和均方差决策法对评价指标体系进行赋权,然后通过加权综合指数法,确定岷沱江流域的水环境治理绩效指数。

1.3.1 灰色关联分析法

灰色系统理论是由邓聚龙教授创立的一门基于数学理论的系统工程科学^[30]。灰色关联理论的基本思想是根据序列曲线几何形状的相似度判断其关联度,相似度越高,表明序列关联度越大,反之越小^[31]。因此灰色关联分析法通过各指标之间发展态势的相似程度来衡量指标相对权重大小。具体计算步骤如下:

①确定评价样本与理想样本:

岷沱江流域主要地级城市的各指标值构成评价样本,记为 $X_{ij}(t)$ ($i=1, 2, \dots, n; j=0, 1, \dots, m; t$ 为评价时期),表示第 t 时期岷沱江流域第 j 个城市第 i 个指标值;当 $j=0$ 时表示第 t 时期岷沱江流域第 i 个指标值;根据指标意义,确定指标最优值,建立理想样本,记为 X_i 。

②数据标准化处理(采用极差标准化法):

正向指标:

$$y_{ij}(t) = (X_{ij}(t) - X_{ijmin}) / (X_{ijmax} - X_{ijmin}) \quad (1)$$

负向指标:

$$y_{ij}(t) = (X_{ijmax} - X_{ij}(t)) / (X_{ijmax} - X_{ijmin}) \quad (2)$$

式中: $y_{ij}(t)$ 为第 t 时期岷沱江流域第 j 个城市第 i 个指标的标准值; X_{ijmin} 为第 j 个城市第 i 个指标最小值; X_{ijmax} 为第 j 个城市第 i 个指标的最大值。

③计算关联系数:

以各指标的标准化值构成参考序列 $X_j(t)=[X_{1j}(t), X_{2j}(t), \dots, X_{nj}(t)]$ 。而理想样本的标准化值构成比较序列 $X_i=[X_i, X_i, \dots, X_i]$ 。

$$\Delta_{ij}(t) = |X_i - X_{ij}(t)| \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; t \text{ 为评价时期}) \quad (3)$$

极小差：

$$\Delta_{ij}(t) \min = \min_i \min_j |X_{i0} - X_{ij}(t)| \quad (4)$$

极大差：

$$\Delta_{ij}(t) \max = \max_i \max_j |X_{i0} - X_{ij}(t)| \quad (5)$$

关联系数：

$$r_{ij}(t) = \frac{\Delta_{ij}(t) \min + \rho \Delta_{ij}(t) \max}{\Delta_{ij}(t) + \rho \Delta_{ij}(t) \max} \quad (6)$$

式中： ρ 为分辨系数，一般取值为 0.5。

$$r_{ij} = \frac{1}{t} \sum_{t=1}^n r_{ij}(t)$$

④计算关联度：

$$w_{1ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ij}$$

⑤求权重系数：

式中： w_{1ij} 为岷沱江流域第 j 个城市第 i 个指标值的权重值。

1.3.2 均方差决策法

均方差决策法是确定综合评价中权重的另一种赋权法，它通过计算随机变量的均方差来反映随机变量离散程度^[32]。本文将指标体系中各单一评价指标数据进行标准化处理后作为随机变量，取其均方差，然后将单一均方差进行归一化处理，最后得到各评价指标的权重系数。具体计算步骤如下：

$$E(y_{ij}) = \frac{1}{t} \sum_{t=1}^n y_{ij}(t) \quad (7)$$

①求随机变量的均值：

$$\sigma(Q_{ij}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij}(t) - E(y_{ij}))^2} \quad (8)$$

②求 Q_{ij} 的均方差：

$$w_{2ij} = \sigma(Q_{ij}) / \sum_{i=1}^n (Q_{ij}) \quad (9)$$

③求权重系数：

1.3.3 确定水环境治理绩效指数

结合灰色关联分析法和均方差决策法求得的权重,求两者权重值的均值,即为组合权重;然后采用加权综合指数法,确定岷沱江流域不同时期水环境治理绩效指数。用公式表示为:

$$W_{\bar{y}} = \frac{w_{1\bar{y}} + w_{2\bar{y}}}{2}, \quad (10)$$

$$WEPI_j(t) = \sum_{i=1}^n W_{\bar{y}} \times y_{ij}(t)$$

式中: W_{ij} 表示组合权重; w_{1ij} 和 w_{2ij} 分别为灰色关联分析法和均方差决策法所得的权重; $WEPI_j(t)$ 为第 t 时期岷沱江流域第 j 个城市的水环境治理绩效指数。

1.3.4 流域水环境治理绩效水平优劣对比分析

通过综合评价法确定岷沱江流域各个地级市的各指标绩效指数,并构造时序多指标综合评价矩阵及结合改进理想解模型^[33]对流域各地级市之间的水环境治理绩效水平进行优劣比较分析。先构造时序多指标综合评价矩阵即: $WEPI=[WEPI_j(1), WEPI_j(2) \cdots, WEPI_j(n)]$,根据理想解模型,再用欧式范数作为距离的程度,第 t 时期流域评价值 $WEPI_j(t)$ 到正理想点 $\max WEPI_{ij}(t)$ 的距离 S^+_{jj} 与 $WEPI_j(t)$ 负理想点 $\min WEPI_{ij}(t)$ 的距离 S^-_{jj} 为:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_t [WEPI^+(t) - WEPI_{ij}(t)]^2} \\ S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_t [WEPI_{ij}(t) - WEPI^-(t)]^2} \\ WEPI^+(t) = \max\{ [WEPI_j(t) | \\ \quad j = 1, 2, \cdots, g] \} \\ WEPI^-(t) = \min\{ [WEPI_j(t) | \\ \quad j = 1, 2, \cdots, g] \} \\ \sum_{i=1}^n \lambda_t = 1 \\ \lambda_{t+1} = \lambda_t + \Delta\lambda \\ C_j = S_j^- / (S_j^+ + S_j^-) \end{array} \right. \quad (11)$$

式中: $WEPI^+(t)$ 为流域不同时期水环境治理绩效指数的正理想解集合矩阵; $WEPI^-(t)$ 为负理想解集合矩阵; λ_t 是对应不同时期时间权重,由于距离现在越近,水环境治理绩效水平应相对越好,所以赋予更大的权重,使用等差数列赋权方法确定 λ_t 的权重, $\Delta\lambda$ 为等差数列的公差, C_j 则为流域第 j 个城市水环境治理绩效水平。

1.3.5 流域水环境治理绩效维度的平均贡献度

在确定不同时期岷沱江流域的地级市各个准则层的水环境治理绩效指数基础上,可计算出各个准则层对流域水环境治理绩效指数的平均贡献度,用公式表示为:

$$M_{jk} = \sum_{t=1}^n \frac{WEPI_{jk}(t)}{WEPI_j(t)} / n \quad (12)$$

式中: M_{jk} 为第 k 个准则层对岷沱江流域第 j 个地级市水环境治理绩效指数的评价贡献度 ($k=1, 2, 3, 4$ 表示水生态保护与修复、水污染治理与控制、水资源开发利用和社会经济承载 4 个维度)。

1.4 数据来源

四川省地级市行政区域数据取自全国 1:3000 万行政区域图, 岷沱江水系数据来自长江流域 1:700 万水系图; 4 个维度中的各评价指标数据来源于 2012~2018 年主要地级市《统计年鉴》、《四川统计年鉴》、2011~2017 年主要地级市《水资源公报》、《环境统计公报》、《环境质量公报》、以及相关文献和四川省政府部门网站公开信息的整理。其中岷沱江流域的数据是用 10 个主要城市 2011~2017 年各指标数据的平均值来表示。

2 研究结果与分析

2.1 水环境治理绩效评价结果

通过上述的综合评价方法计算得到 2011~2017 年岷沱江流域及流域内 10 个主要地级市的水环境治理绩效指数, 如图 2 和表 2 所示。从图 2 中看出在“十二五”、“十三五”期间岷沱江流域整体的水环境治理绩效指数呈不断上升趋势, 且 2014 年以后超过了年均值绩效指数, 这是受益于四川省政府部门对该流域水环境治理的高度重视和有针对性政策措施的投入, 使得岷沱江水环境整体质量得到了提高, 也体现出水环境治理的成效性。而从 4 个维度绩效指数得出除水生态保护与修复指标处于明显增长变化之外, 其余 3 个维度绩效指数变化不明显, 且均在 0.2 以下。这也表明了在对岷沱江流域水环境治理中, 水生态的修复成效最显著, 在岷沱江流域水环境治理绩效中贡献度最高; 而对水污染治理的作用收效甚微, 再加上不能合理地开发利用水资源, 势必阻碍整个流域经济社会的可持续性发展。

表 2 反映了岷沱江流域 10 个主要地级市的水环境治理绩效指数随时间变化特征。在 2011 年至 2017 年间只有泸州和宜宾两个城市的水环境治理绩效一直保持着上升, 其余各个城市的绩效指数都存在上下波动的增长趋势。根据平均值显示, 各个城市的绩效指数基本在 0.49~0.57 之间, 绩效指数均值较低是内江和宜宾两个城市, 而绩效均值较高为雅安和资阳。根据图 2 和表 2 岷沱江流域和各地级市水环境治理绩效指数变化结果, 采用改进的理想解模型对流域内各城市之间进行了水环境治理绩效水平的横向比较如图 3 所示, 2011~2017 年期间, 整体上雅安、资阳、乐山等地区的绩效水平较高, 而内江、宜宾的水环境治理绩效水平最差, 而且绩效最优与最劣之间水平差距较大, 这与上述综合评价绩效指数均值结果基本相一致。

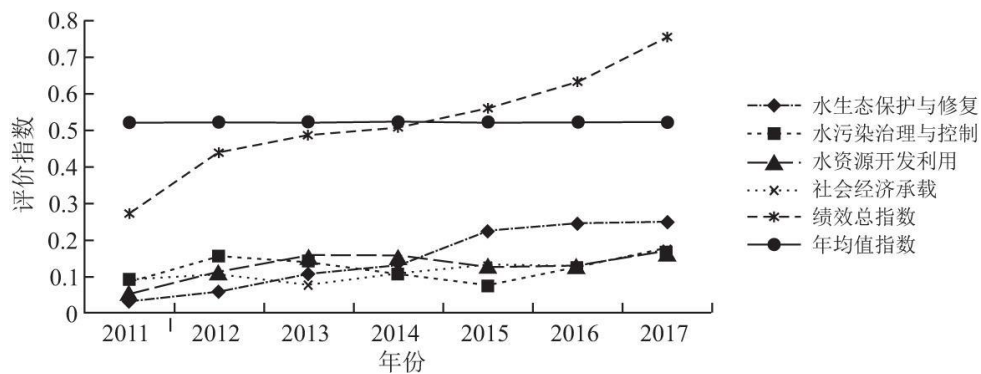


图 2 2011~2017 年岷沱江流域水环境治理绩效指数动态变化

表 2 2011~2017 年各地级市水环境治理绩效指数变化

年份	成都	自贡	泸州	德阳	内江	乐山	眉山	宜宾	雅安	资阳
2011	0.4277	0.4723	0.3374	0.3116	0.3332	0.2737	0.2858	0.3071	0.4296	0.4239
2012	0.5212	0.5516	0.3583	0.4230	0.4591	0.4005	0.4336	0.3876	0.5495	0.5227
2013	0.4622	0.5123	0.4472	0.5102	0.4594	0.4428	0.4411	0.4290	0.4958	0.4727
2014	0.6216	0.5762	0.5261	0.5648	0.4606	0.6001	0.5307	0.4306	0.5873	0.6223
2015	0.5767	0.5277	0.5789	0.6013	0.4389	0.6147	0.4700	0.4779	0.6021	0.5768
2016	0.5541	0.4894	0.6718	0.5943	0.5592	0.7366	0.6949	0.6988	0.6773	0.5533
2017	0.6072	0.5788	0.7425	0.7014	0.6091	0.6707	0.7174	0.7582	0.6008	0.6059
平均值	0.5380	0.5298	0.5232	0.5295	0.4742	0.5342	0.5105	0.4985	0.5632	0.5397
均值排名	3	5	7	6	10	4	8	9	1	2
年均增长率%	7.49	4.21	14.21	15.06	11.62	17.62	18.90	17.16	6.70	7.25

从年均增长率来看, 泸州、德阳、内江、乐山、眉山和宜宾的绩效指数年均增长率都在 10% 以上; 而成都、自贡、雅安和资阳的年均增长率在 4%~7.5% 之间。由此可见, 各个地级市之间的水环境治理绩效无论在不同时期的分析中还是在整体变化上都存在明显的差异性。

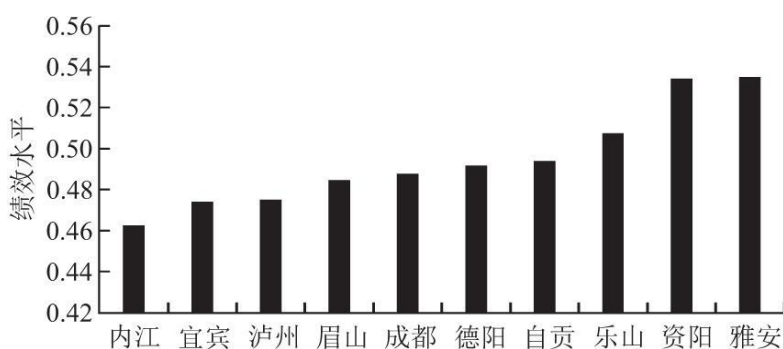


图 3 岷沱江流域各地级市的水环境治理绩效水平优劣对比

2.2 水环境治理绩效各维度的平均贡献度

依据岷沱江流域水环境治理绩效的总体变化及 4 个维度绩效指数的变化, 可得出各个维度对沿江流域各城市水环境绩效指数的平均贡献度如图 4 所示。水污染治理与控制对自贡、泸州、乐山、宜宾和雅安的水环境治理绩效指数的贡献度最高, 均在 30% 左右; 而成都、德阳、内江和资阳这几个城市的水资源开发利用、社会经济承载和水污染治理与控制 3 个维度对绩效总指数的贡献度均在 26% 左右; 而水生态保护与修复和水污染治理与控制这两个维度对眉山的贡献度最高, 分别为 26.03% 和 25.59%。同时

得出,水生态保护与修复对岷沱江流域的平均贡献率最高,而社会经济承载对岷沱江流域的平均贡献率最低,分别为 26.55%和 23.45%。

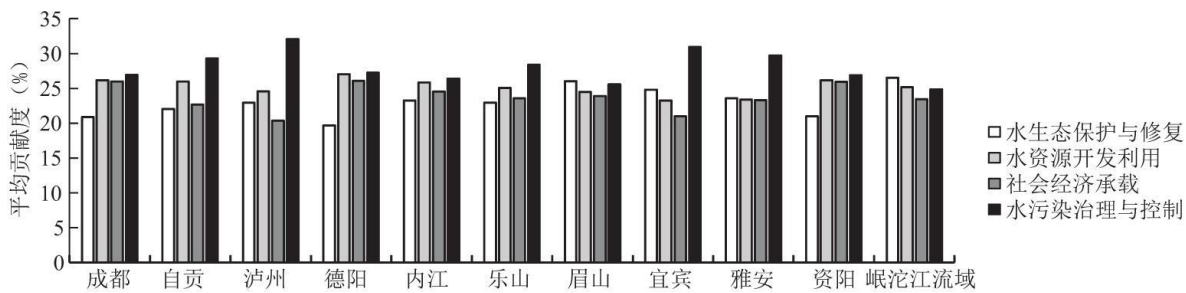


图 4 岷沱江流域各地级市 4 个维度对水环境治理绩效指数的平均贡献率

2.3 空间分布特征

利用 ArcGIS10.5 软件绘制了 2011、2014 和 2017 年岷沱江流域水环境治理绩效总指数和 2011 与 2017 年的各维度指数的空间分布图,如图 5 和图 6 所示。空间分布图 5 显示:岷沱江流域城市水环境治理绩效水平由上游高于下游分布明显转变为了整体流域城市绩效水平提高,且逐渐缩小差距的变化特征。2011 年流域城市的水环境治理绩效指数较低,一些城市的绩效水平在 0.27 左右;但经过“十二五”、“十三五”期间的对岷沱江流域水环境的治理,到 2017 年整体水环境绩效水平得到大幅度上升,各城市的绩效指数均在 0.57 以上。此外,从图中不仅能看出整体的变化趋势,还能反映各城市的水环境治理绩效水平的变化快慢。



图 5 岷沱江流域水环境治理绩效总指数空间分布

图 6 是从水环境治理绩效 4 个维度分别呈现出 2011 和 2017 年的岷沱江流域的空间分布现状。水生态保护与修复指数 2011 年以流域南部自贡和宜宾市最高,成都、德阳、资阳次之,而雅安、乐山和泸州最差,主要原因为水蚀型水土流失严重,地下水开采过量导致;但随着对水生态环境修复和改善,整个流域森林覆盖率有所提高,水土保持得到明显改善,地下水开采控制在红线之内,所以 2017 年流域内西部和泸州的水生态指数取得显著的提高。

水污染治理与控制指数 2011 年岷沱江流域的西南部高于西北部,即岷江水质优于沱江水质,其中成都是省会城市,而德阳、资阳和内江经济发展速度快,污水排放量大,严重影响城市水环境质量。虽然近几年四川省相关环保部门针对岷沱江流域制定了主要水污染物排放标准,尤其是限定了污染排放浓度和重点行业排污值,但是从 2017 年的结果显示看只有流域下游有所改善,岷沱江流域上中区域城市水污染问题依然很严峻,甚至有些城市指数没有改善反而下降。由此反映出岷沱江流域的水环境污染是该流域亟待重点治理的问题。

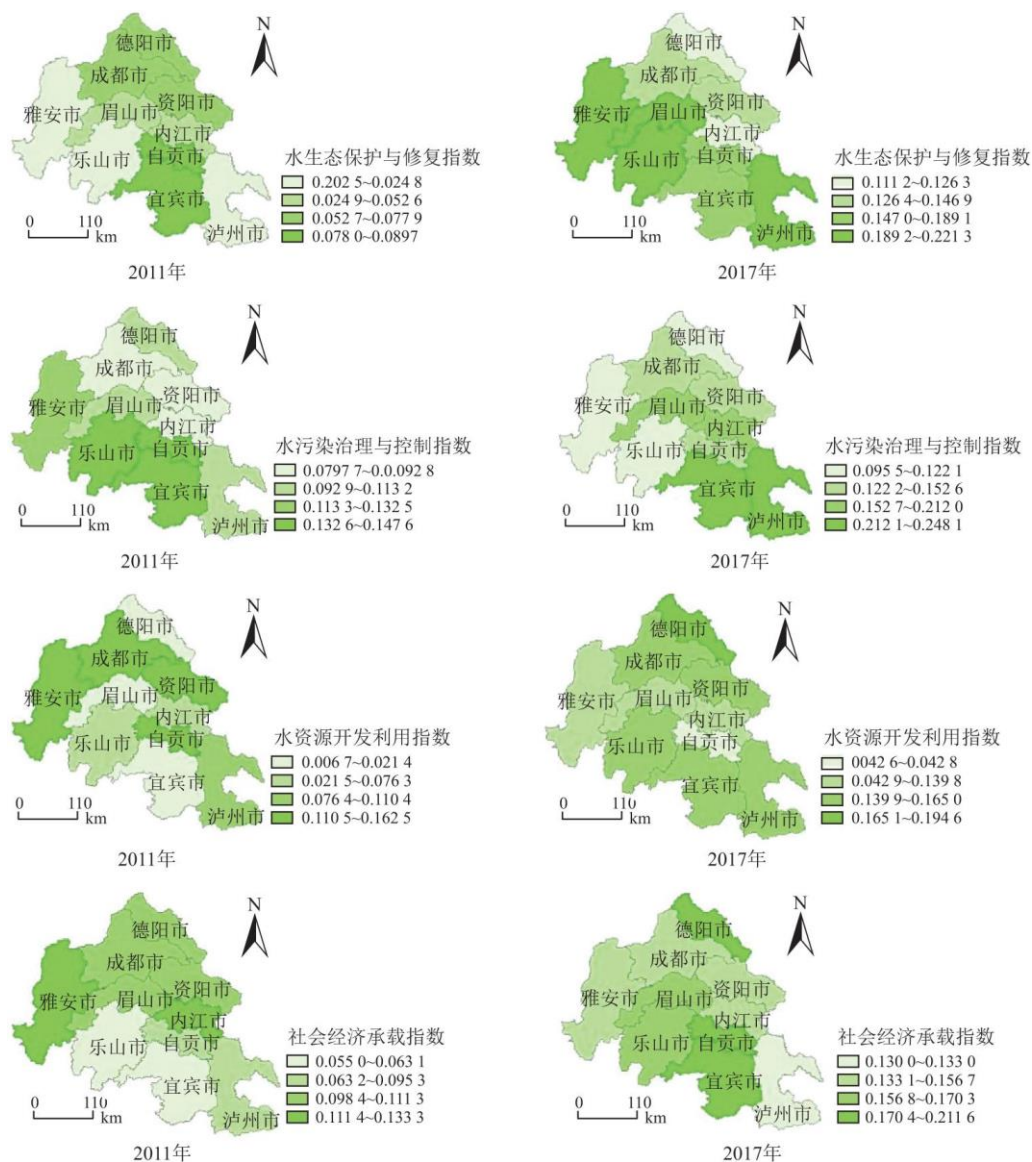


图 6 岷沱江流域水环境治理绩效各维度的空间分布

水资源开发利用指数变化趋势与总体绩效指数分布特征类似,由 2011 年流域北高南低,到 2017 除自贡市下降明显之外,大部分城市变化差异性不大,但整体指数数值偏低。主要原因在于岷沱江流域具有优越的地理位置,工业集中,农业发达,人口集聚扩张,城镇居民生活、工业用水和农业灌溉需水量也在不断增加;据统计,成都、自贡、德阳和内江等城市的水资源利用率达到了 50% 以上,甚至一些城市面临着严重缺水的现状,导致流域城市的水资源供给失衡。

社会经济承载指数呈现出由上游流域逐渐向中下游改善的分布趋势,2017 与 2011 年相比整体指数都得到了提高,其中变化最明显的为乐山和宜宾两个城市。水资源环境的质量与区域的社会经济发展相辅相成,通过流域水环境的整治,势必调整产业结构,优化资源配置,促进区域经济发展,提高城镇化水平。因此岷沱江流域的水环境治理的成效也直接影响到整个流域内城市社会经济的承载力。

3 结论与建议

3.1 结论

本研究基于社会经济与环境可持续发展理念和推行实施河长制目标,在明确水环境治理绩效评价的含义基础上,从水生态保护与修复、水污染治理与控制、水资源开发利用和社会经济承载四个视角,建立岷沱江流域水环境治理绩效综合评价体系。并采用灰色关联分析法和均方差决策法建立组合权重模型确定权重,运用加权综合指数法对水环境治理绩效的测算,最后进行流域水环境治理绩效的时间和空间差异性研究分析。得出如下结论:

(1)评价方法上,运用灰色关联分析法和均方差决策法计算出组合权重,避免单一方法下量化结果与定性分析结果的偏差。同时运用改进理想解模型对2011~2017年期间通过综合评价法测算的岷沱江流域各城市治理绩效指数结果的验证和绩效水平的优劣分析,均得出雅安、资阳、乐山的整体绩效水平较高,而宜宾、内江的整体绩效水平最低,说明本文构建的岷沱江流域水环境治理绩效评价体系的可行性。最后运用GIS技术对评价结果可视化的分析,直观反映岷沱江流域内不同城市在不同时期下的水环境治理绩效和各维度指数的动态变化趋势,也直接表明水环境治理在不同区域存在明显的差异性。

(2)岷沱江流域总体实证研究表明,2011~2017年期间,岷沱江流域水环境治理绩效指数保持持续增长的趋势,由0.2715增长到0.7546,年均增长率达到19.89%。同时,岷沱江流域十个主要地级城市水环境治理绩效指数均有不同程度的提升,但从水环境绩效均值以及年均增长率来看,流域内各城市绩效水平差距明显。这也说明了对岷沱江流域的水环境治理在整体上虽取得了一定的成效,但是在局部区域的治理上还存在明显的不足。

(3)岷沱江流域各维度指标实证研究表明,水生态保护与修复对流域水环境治理绩效水平的贡献最大,而水污染治理与控制、水资源开发利用和社会经济承载三个维度对整体绩效水平影响较小。从2011~2017年期间各维度在流域的空间分布显示来看,水生态保护与修复和社会经济承载两个维度的增长变化明显,而水污染治理与控制和水资源开发利用两个维度的变化缓慢,绩效水平相比偏低。因此得出,水污染治理和水资源合理配置是岷沱江流域水环境治理的重中之重,这将影响城市社会经济的发展质量和制约流域生态文明建设的进程。

(4)从岷沱江流域水环境治理绩效动态评价结果来看,尽管岷沱江流域及流域内主要地级市水环境治理绩效水平都有所提高,但是流域辖区内绩效水平空间分层差异明显,反映出岷沱江流域整体水环境治理还存在缺陷,应根据各差异性进行系统治理。

3.2 建议

针对上述对岷沱江流域水环境治理绩效评价研究所反映的问题,一是应建立岷沱江流域水污染治理的长效机制,尤其严格控制流域中上游支流COD、氨氮等水污染物排放标准和加大对城市污水处理设施的投入建设;二是通过调整该流域内工业密集城市产业结构,并严格控制工农业、居民生活用水量,使流域水资源供需达到均衡;三是既要在地级市为单位进行各辖区流域水环境的差异化科学整治,同时也要考虑从全方位角度统筹整个流域水环境规划治理,最终实现岷沱江流域的经济与环境可持续发展。

参考文献:

[1]包国宪,保海旭,张国兴.中国政府环境绩效治理体系的理论研究[J].中国软科学,2018(6):181-192.

[2]RUZICKA I. Conceptual framework for an environmental performance assessment (EPA) system for GMS countries [C]. National Performance Assessment and Strategic Environmental Phase II, 2003.

[3]United States Environmental Protection Agency. Index of watershed indicators: An overview [C]. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Washington, 2002.

-
- [4] GALLEGAYALA J, JUIZO D. Performance evaluation of River Basin Organizations to implement integrated water resources management using composite indexes [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2012, 50(51):205-216.
- [5] MAHON R, FANNING L, MCCOOEY P. Assessing governance performance in transboundary water systems [J]. *Environmental Development*, 2017, 24:146-155.
- [6] BU H, WAN J, ZHANG Y, et al. Spatial characteristics of surface water quality in the Haicheng River (Liao River basin) in Northeast China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 70(6):2865-2872.
- [7] YANG J F, LEI K, KHU S, et al. Assessment of water environmental carrying capacity for sustainable development using a coupled system dynamics approach applied to the Tieling of the Liao River Basin, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(9):5173-5183.
- [8] 王文杰, 张哲, 王维, 等. 流域生态健康评价框架及其评价方法体系研究(一)——框架和指标体系 [J]. *环境工程技术学报*, 2012, 2(4):271-277.
- [9] 杜飞, 王世岩, 刘畅, 等. 基于水生态区的黑河流域水生态健康评价研究 [J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2017, 15(6):478-484.
- [10] 周亮, 徐建刚. 大尺度流域水污染防治能力综合评估及动力因子分析——淮河流域为例 [J]. *地理研究*, 2013, 32(10):1792-1801.
- [11] MISHRA B K, REGMI R K, MASAGO Y, et al. Assessment of Bagmati river pollution in Kathmandu Valley; Scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development [J]. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 2017, 9(10):67-77.
- [12] OZLEM T D, ILKER T, MUSTAFA M, et al. The use of water quality index models for the evaluation of surface water quality; A case study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey [J]. *Water Quality Exposure and Healthy*, 2013, 5:41-56.
- [13] 黄昌兵. 次级河水环境治理绩效审计评价研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [14] 季瑶. 绿色经济背景下水环境治理绩效审计研究——DC 为例 [D]. 安徽: 安徽财经大学, 2017.
- [15] HENRIQUE M L, CHAVES S A. An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index [J]. *Water Resource Management*, 2007, 21:883-895.
- [16] COOKEY P E, DARNSAWASDI R, RATANACHAI C. Performance evaluation of lake basin water governance using composite index [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 61:466-482.
- [17] 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, 22(12):32-38.
- [18] 吴丹, 王亚华. 中国七大流域水资源综合管理绩效动态评价 [J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(1):32-38.

-
- [19]冉欣,孙世军,冯江,等.基于污染物总量控制的流域水环境管理绩效优化研究——以吉林省招苏台河流域为例[J].南水北调与水利科技,2018,16(04):128-145.
- [20]姜明栋,沈晓梅,王彦滢,等.江苏省河长制推行成效评价和时空差异性研究[J].南水北调与水利科技,2018,16(3):201-208.
- [21]LEMO D, DIAS A C, GABARRELL X, et al. Environmental assessment of an urban water system[J]. Cleaner Production, 2013, 54: 157-165.
- [22]MAHGOUB E S M, STEEN N P V D, ABU-ZEID K, et al. Towards sustainability in urban water: A life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City, Egypt[J]. Cleaner Production, 2010, 18 (10-11): 1100-1106.
- [23]陈亚玲,韩璐,盛建国.基于主成分分析的城市水环境管理综合评价——以京津冀为例[J].环境保护科学,2018,44(3):16-19.
- [24]刘秀丽,涂卓卓.水环境安全评价方法及其在京津冀地区的应用[J].中国管理科学,2018,26(3):160-167.
- [25]李晓莉,陈健.市场化改革背景下中国城市污水治理效率研究[J].干旱区资源与环境,2019,33(4):140-144.
- [26]潘护林.基于 IWRM 视角的污水治理绩效综合评价研究——以浙江省为例[J].中国环境管理,2016,2:59-62.
- [27]李艳红,成静清.基于 AHP 与 Delphi 法的河流型饮用水水源地安全保障建设指标体系构建[J].江西水利科技,2018,44(2):140-145.
- [28]刘丽萍,赵世民,张宇,等.滇池水环境质量综合评价方法[J].中国环境监测,2019,35(4):101-108.
- [29]郭倩,汪嘉杨,张碧.基于 DPSIRM 框架的区域水资源承载力综合评价[J].自然资源学报,2017,32(3):484-493.
- [30]范芹.灰色关联模型下长江经济带生态环境评价[J].统计与决策,2018,24:117-119.
- [31]朱琳.城市水环境承载力评估模型及应用研究[D].山东:山东师范大学,2018.
- [32]蓝希,刘小琼,郭炎,等.“长江经济带”战略背景下武汉城市水环境承载力综合评价[J].长江流域资源与环境,2018,27(7):1433-1443.
- [33]吴丹.流域水利发展水平评价方法研究——以淮河流域为例[J].资源科学,2016,38(7):1323-1335.