

Evaluation of Ecological Safety of Water Resources in Changchun

Ruyue Huang, Peng Chen

College of Tourism and Geographical Science, Jilin Normal University, Siping 136000, China

长春市水资源生态安全评价

黄茹月¹, 陈鹏¹

吉林师范大学旅游与地理科学学院, 四平 136000, 中国

Abstract

As China's population continues to grow and the rate of economic development continues to increase, the environment of water resources has been severely damaged, resulting in a serious shortage of water resources. This has become one of the important factors constraining urban development. Therefore, the research on water resources ecological security evaluation is Today's social research is an important topic. Taking Changchun as the research area, based on the connotation, characteristics and research methods of water resources ecological security, the evaluation index system of ecological security of water resources in Changchun is constructed. The evaluation method will adopt the "pressure state response" framework model (PSR, Pressure State Response). On the basis of the construction of the evaluation index system of water resources ecological security, the analytic hierarchy process is used. The weight of each index is calculated to provide basis for achieving the goal of ecological security assessment of water resources in this study. The results show that the water resources ecology in Changchun is relatively safe, but it is at a critical point of low safety, and it needs effective governance in the future.

Keywords: water resource; Ecological safety of water resources; Evaluation index system

摘要

随着我国人口不断增长, 经济发展速度的不断提高, 水资源环境遭到严重破坏, 从而导致水资源严重短缺, 这已经成为制约城市发展的重要因素之一, 所以进行水资源生态安全评价研究是当今社会研究的重要话题。以长春市为研究区, 从水资源生态安全的内涵、特点以及研究方法出发, 构建了长春市水资源生态安全评价指标体系, 评价方法将采用“压力-状态-响应”框架模型(PSR, Pressure State Response), 在构建水资源生态安全评价指标体系基础上, 利用层次分析法计算各指标权重, 为实现本研究的目标水资源生态安全评价提供依据。研究结果发现长春市水资源生态相对较安全, 但已经处于低安全的临界点, 需要在以后进行有效的治理。

关键词: 水资源; 水资源生态安全; 评价指标体系

1. 引言

近几年, 生态环境恶化、人口激增、工农商等行业快速增加, 城市不断扩张, 导致水资源日益短缺。20世纪90年代, 水资源已经成为战略性资源, 被各国列为“国家发展战略”重要目标。我国经济、社会的快速发展, 对水资源的需求不断增加, 也存在着水资源短缺现象。水资源安全问题能否解决, 关系到国民、社会, 乃至国家繁荣兴旺, 因此, 水资源生态安全必须

引起我们高度重视。水资源生态安全是强调满足社会经济发展对水资源的需求，同时需要满足社会经济可持续发展这一长远目标。为了实现该目标，需构建水资源生态安全体系，建立可靠的供水保障体系和机制，有效的保护水环境，治理水灾，确保各种水工程安全。本文水资源生态安全评价的研究可为长春市的生态环境和社会经济的可持续发展提供科学依据。

1 国内外研究现状

1.1 国外研究现状

据2006年3月22日在墨西哥城第四届世界水资源论坛上对外公布的《世界水资源开发报告》：全球用水量在20世纪增加了6倍，增长速度是人口增速的2倍，有11人缺水，26亿人无法保证用水卫生；大部分地区的水质正在下降，这些地区的淡水物种和生态系统的多样性正在迅速衰退，其退化速度往往快于陆地和海洋系统；90%的自然灾害与水有关；到2030年全球粮食需求将提高55%，将需要更多的灌溉用水，而这部分用水已经占到全球人类淡水消耗的近70%，水资源安全问题日趋恶化。国际社会十分重视水资源安全问题的研究，特别是20世纪90年代以后，国际有关组织实施了一系列国际水科学计划，如国际水文计划、世界气候研究计划、国际地圈生物圈计划，全球能量与水分循环21世纪研究计划等，目的是从全球、区域和流域不同尺度和交叉学科途径，探讨环境变化下的水资源安全问题。

国外主要通过评价水资源压力来评价水资源生态安全方面的问题。英国苏格兰资源利用研究所应用系统动力学理论，建立了提高人口承载能力备选方案模，ECCO (Enhancement of Carrying Capacity Options) 模型。该模型在“一切都是能量”的假设前提下，模拟不同发展策略下，人口与资源环境承载力之间的弹性关系，从而确定了以长远发展为目标的发展优选方案。目前在国际上通用的衡量水资源压力的宏观单指标中，最具代表性的有两个：一是区域人均水资源量；二是

水资源开发利用程度。除了上述两个单指标外，国外水资源生态安全评价领域常用的指标还有水贫困指数(WPI)^[1-2]。国外在水资源安全方面还有其他方面许多的研究，主要集中在水循环、水文情势控制、水污染、生态环境需水和干旱缺水等方面。其中以水功能为基准的研究方法有很多，通用的研究方法主要有：传统的流量计算方法（又称标准流量法）；基于水力学基础的水力学法；基于生物学基础的栖息地法；基于水污染控制的污染预算法等。

1.2 国内研究现状

国内对水资源生态安全领域的研究起步于本世纪初，在建立指标体系时，大多数学者主要采用分类指标进行分析，将水资源生态安全分为多个子安全系统，如经济安全、生态安全、饮水安全等，少数学者从水资源总体出发选择指标，建立指标体系。也有少数学者从总体上选取指标进行水资源生态安全的评价。吴国庆(2001)在研究区域农业可持续发展的生态安全时，从资源生态环境压力、资源生态环境质量和整治建设能力3个方面建立3层指标体系，利用各指标与“不安全标准值”的比较来建模，最后综合得出区域的“生态不安全度”。国内对水资源安全的研究大致可分为3个阶段：①20世纪80年代以前主要是探讨河道枯、洪流量，涉及环境用水问题。

②20世纪80年代到20世纪90年代，在进行水量的研究同时，针对水污染日益严重问题，国务院也提出了《关于防治水污染技术政策的规定》，对水污染的防治研究提出了技术路线，但主要集中在宏观战略方面的研究。

③20世纪90年代以来，1998年大洪水等一系列问题，国家提出了治水新思路对于区域水资源安全的评价，韩宁平等构建了一个既有定量目标又有定性目标的结构性与非结构性相结合的多层次指标体系，采用半结构性决策方法进行整体评价^[3-4]。

通过了解国内外对水资源生态安全评价的研究现状,可以发现目前国际上对水资源生态安全评价主要通过评价水资源压力,而国内学者大部分采用分类指标进行分析,只有少数学者通过选择指标建立体系来研究水资源生态安全问题。本研究也采用建立指标体系的方法来研究水资源生态安全,但同时采用定性分析与定量分析相结合的层次分析法以及“压力-状态-响应”框架模型,构建了评价模型,从而建立了安全准则,通过水资源安全指数等级,可以对研究区水资源生态安全进行有效治理。

2 研究区概况及数据来源

2.1 研究区概况

长春地处中国东北平原腹地松辽平原,西北与松原市毗邻,西南和四平市相连,东南与吉林市相依,东北同黑龙江省哈尔滨市接壤,是东北地区天然地理中心、是重要节点城市之一。长春位于北纬 $43^{\circ} 05' \sim 45^{\circ} 15'$, 东经 $124^{\circ} 18' \sim 127^{\circ} 05'$; 居北半球中纬度北温带。

截至 2016 年末,长春市户籍总人口为 753.4 万人。其中,市区人口 437.8 万人,3 县(市)人口 315.6 万人。长春市多年平均降水量 560mm,年平均径流深 68.2mm,年平均蒸发量为 858.6mm,超过降雨量 298.6mm; 降雨年际变化明显,60 年代平均降水量为 576.3mm,70 年代平均降水为 553.2mm。80 年代平均为 586.1mm 降水量最少的年份平均为 369.9mm,最多的年份平均为 667.9mm。年内各月降水量差别也很大,汛期 6-9 月份降水量占全年降水量的 77.2%,七、八月份占全年降水量的 50.6%; 在市域范围内,降水在地区分布不均匀,由东南向西北递减^[5]。

2.2 数据来源

本文是以 GIS 为操作平台,收集、整理和规范了城市水资源历史数据,环境背景数据和经济社会数据等属性数据,以及卫星遥感图、城市基础地理信息图,城市规划图,土地利用图等空间数据。

3 水资源生态安全研究方法

3.1 文献综合法

为了更好的构建水资源生态安全评价指标体系,收集与整理了水资源生态安全相关的文献、数据以及资料,筛选能够准确表达水资源生态安全评价各指标,为构建水资源生态安全评价指标体系提供依据。

3.2 层次分析法

层次分析法是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性与定量分析的决策方法。该方法具有系统、简洁与灵活等特点^[6-7]。

3.3 德尔菲法

德尔菲法主要是通过专家小组给出其通过分析得来的预测行家意见。专家小组通过组内组外相互多次的协商,能使得专家小组给出的由研究得来的预测性意见趋于集中,从而专家小组根据分析的发展趋势得出有效的预测行结论。

3.4 数学模型

在对本论文的研究中,主要采用的数学模型“压力-状态-响应”框架模型,此模型能够有效地对水资源生态安全进行精确地评价。该数学模型主要说明的是随着国内人口的不断增长、经济社会的快速发展,这些不可避免的问题将给水资源以巨大压力。本研究在构建水资源生态安全评价指标体系基础上,利用层次分析法计算各指标权重,为实现本研究目标水资源生态安全评价提供依据。

4 长春市水资源生态安全评价指标体系构建

4.1 构建原则

本研究的构建原则有科学性原则、实用性原则、系统性原则、可行性原则和发展性原则。科学性原则的目的是系统、科学有效地把水资源生态安全的基本特征淋漓尽致地展现出来,每一项指标要科学有效的反映水资源生态安全的基本特征,同时

每一项本身都应有合理的表示范围，避免与其它指标之间的关联和含义范围的重叠^[8]。实用性原则要求各指标应具备可测性、易获取性及统计数据要确保权威性。系统性原则在构建评价指标体系过程中需要明确相应的评价层次，构建层次分明的水资源生态安全评价指标体系。水资源生态安全评价指标系统筛选需要满足具有一定的代表性，能够明确的表征评价内容。评估指标体系应确保在实现数量和质量组合的同时适当考虑数据的可用性和可靠性以及量化指标的可行性。各指标体系的设计及评价指标的选择必须以科学性为原则，各评价指标应该具有典型代表性，不能过多过细，使指标过于繁琐，相互重叠，指标又不能过少过简，避免指标信息遗漏，出现错误、不真实现象。根据构建原则，为指标体系的构建提供依据。

4.2 指标体系构建

指标是复杂事件或系统的信号，是一组反映系统特性或显示发生何件事情的信息，是从数量方面说明一定社会总现象的某种属性或特征，它可以是数量概念，也可以是具体数值，既有定性的指标又有定量的指标，既有动态的指标又有静态的指标。筛选出具有代表性的指标，并按其特征进行组合，就构成水资源安全的评价指标体系，从而能够从整体上反映区域水资源安全的基本状况^[9]。同时按照指标体系构建原则及考虑实际情况，从水资源的社会、经济和生态安全等方面出发，对长春市水资源生态安全评价指标进行了筛选，并构建水资源生态安全评价指标体系（表1）。

4.3 评价模型构建

评价模型采用的是定性定量分析相结合的层次分析法，它是解决复杂系统中多层次、多结构、单目标安全评价的较好方

表1 水资源生态安全评价指标体系

目标层	制约层	要素层	指标层	权重	
水资源生态安全评价指标体系	压力	人口压力	人口密度	0.029508	
			人口自然增长率	0.032734	
	社会发展压力	水资源压力	人均GDP	0.044596	
			城市化率	0.050097	
			年总降水量	0.037585	
	状态	水资源利用率	人均资源占有量	0.029462	
			地下水利用率	0.061416	
			河湖水利利用率	0.032809	
			饮用水利用率	0.063033	
			工业废水排放达标率	0.053069	
		水环境状况	水质	河流污染强度	0.033460
				河流断流率	0.078264
				区域内坡度率大于等于25度	0.049799
				森林覆盖率	0.078264
				城市污水处理率	0.040700
	建设能力	状态改善指标	水土流失治理率	0.062286	
			城市人均绿地	0.035674	
			环保投资占GDP比重	0.056176	
			每万人中科技人员所占比重	0.050720	
			退耕还林面积	0.044932	
可持续性指标	可持续性指标	新能源使用率	0.035401		

法^[10-11]。同时采用“压力-状态-响应”框架模型，在构建水资源生态安全评价指标体系基础上，利用层次分析法计算各指标权重，各指标安全指数计算过程如下，从而构建了评价模型：

已知 x_{ij} 为第 j 年的第 i 项指标，设 $P(x_{ij})$ 为 x_{ij} 的指标安全指数，且 $0 \leq P(x_{ij}) \leq 1$ ，又知 XS_i 为第 i 项指标的阈值，则 x_{ij} 的指标安全指数 $P(x_{ij})$ 确定方法如下：

- (1) 对于效益型指标
当 $x_{ij} > 0$ 且 $XS_i > 0$ 时

$$P(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & x_{ij} \geq XS_i \\ \frac{x_{ij}}{XS_i}, & x_{ij} < XS_i \end{cases} \quad (1)$$

当 $x_{ij} < 0$ 且 $XS_i < 0$ 时

$$P(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & |x_{ij}| \leq |XS_i| \\ \frac{x_{ij}}{XS_i}, & |x_{ij}| > |XS_i| \end{cases} \quad (2)$$

当 $XS_i < 0 < x_{ij}$ 时 $P(x_{ij})=1$ (3)

当 $x_{ij} < 0 < XS_i$ 时 $P(x_{ij})=0$ (4)

(2) 对于成本型指标

当 $x_{ij} > 0$ 且 $XS_i > 0$ 时

$$P(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & x_{ij} \leq XS_i \\ \frac{XS_i}{x_{ij}}, & x_{ij} > XS_i \end{cases} \quad (5)$$

当 $x_{ij} < 0$ 且 $XS_i < 0$ 时

$$P(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & |x_{ij}| \geq |XS_i| \\ \frac{XS_i}{x_{ij}}, & |x_{ij}| < |XS_i| \end{cases} \quad (6)$$

当 $x_{ij} < 0 < XS_i$ 时 $P(x_{ij})=1$ (7)

当 $XS_i < 0 < x_{ij}$ 时 $P(x_{ij})=0$ (8)

生态安全指数模型:

按照上述公式 (1) - (8) 给出计算公式, 通过对各指标安全指数计算, 可得出水资源生态安全指数 $P(x_{ij})$ 。具体指数模型如下:

$$S(x_{ij}) = w_i \cdot P(x_{ij}) \quad (9)$$

因此, 要计算第 j 年的水资源生态安全指数 $S(x_j)$ 模型如下:

$$S(x_j) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P(x_{ij}) \quad (10)$$

4.4 安全准则建立

水资源生态安全指数计算完成后, 需要对计算结果进行等级划分, 而划分等级的标准就成为了重点。为了确定水资源生态安全变化是否在正常范围内, 依据上述模型计算结果水资源生态安全指数和某一年的综合生态安全指数, 综合考虑将水资源生态安全指数划分为四个等级, 见表 2。

表 2 水资源生态安全指数划分标准

不安全	低安全	较安全	高安全
低于 0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	高于 0.8

利用上述指标体系与模型计算出研究区水资源生态安全指数 (2017 年) 为

0.697334, 说明长春市水资源生态相对较安全, 但已经处于低安全的临界点, 需要在以后进行有效的治理。

5 结论与讨论

5.1 结论

水是人类不可缺少的自然资源之一, 亦是战略性资源与社会资源, 因此, 水资源安全问题便成为一个国家的重中之重。本文根据构建原则构建了长春市水资源生态安全评价指标体系以及评价模型的构建, 实现了长春市水资源生态安全评价研究。研究表明长春市水资源生态相对较安全, 但是其安全指数较低, 需要进行有效治理, 防止出现生态环境恶化等问题。

5.2 讨论

由于论文研究的时间有限, 加上研究区一些相关重要数据无法获取等实际情况的限制, 所以对长春市水资源生态安全评价的研究不够深入。应该利用物联网、云平台、大数据等技术建立全国水资源安全监控平台, 实现水资源安全的网络化综合安全管理, 消除水资源安全的诸多隐患。

致谢

本研究得到了国家社会科学基金项目 (41501557) 的资助。

参考文献

- [1] 张晓岚, 刘昌明, 高媛媛, 王红瑞. 水资源安全若干问题研究. 中国农村水利水电, 2011(01):9-13.
- [2] Sullivan C, Calculating a water poverty index. WorldDevelopment, 2002, 30(7): 1195-1210.
- [3] 贾绍凤, 张士锋. 海河流域水资源安全评价. 地理科学进展, 2003, 22(04):379-387.
- [4] 刘杰, 林少华, 赵伟丽. 水资源安全浅析与展望. 能源与环境, 2011(01):19-20.
- [5] 张朋飞. 长春市水资源承载力研究. 吉林大学, 2008.
- [6] 李仰斌, 畅明琦. 水资源安全评价与预警研究. 中国农村水利水电, 2009(01):1-4.
- [7] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论. 北京: 中国人民大学出版社, 1990, 1-18.

- [8] Chen P, Zhang J Q, Sun Y Y, Liu X
J. Wargamemapping and implementation
for emergency evacuation of residents in
urban waterlogging disaster. *Journal of
Risk Analysis and Crisis
Response*, 2018, 8(1): 43-51.
- [9] 谢志高, 刁树峰, 徐建军, 葛萌. 城市水资源安全评估及保障措施研究. *地下水*, 2014, 36(04): 243-246.
- [10] 王远坤, 夏自强, 曹升乐. 水安全综合评价方法研究. *河海大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(6): 618-621.
- [11] 杨博, 南昊. 我国水资源现状及其安全对策研究. *太原学院学报(自然科学版)*, 2016, 34(01): 9-12.