

Study of Water Resources Carrying Capacity in Yuxi City

Hongling Zhao*, Junxu Chen, Qi Yi#, Jian Zhou

International Joint Research Center for Karstology, College of Resources Environment and Earth Sciences, Yunnan University, Kunming Yunnan
Email: zhaohl0432@163.com, #yiqi@ynu.edu.cn

Received: Aug. 14th, 2017; accepted: Aug. 24th, 2017; published: Sep. 5th, 2017

Abstract

Water resources carrying capacity assessment has a great significance for the safety management and sustainable utilization of water resources and the development of city construction. We took Yuxi counties as the case study and selected evaluation indexes to assess the water resources carrying capacity in normal, dry and wet years by the fuzzy comprehensive assessment model based on "entropy". The results show that there is a significant temporal and spatial heterogeneity on the water resources carrying capacity in Yuxi. The water resources carrying capacity decreases gradually from east to west. The eastern counties of Yuxi in the normal and dry years which are Chengjiang, Jiangchuan, Tonghai and Huaning belong to the low bearing area. Xinping, Yuanjiang located in the west and central Hongta district belong to the medium carrying capacity district. In the wet year, the eastern county of Tonghai and Jiangchuan, central county of Yimen is low carrying capacity. Xinping located in the west belongs to high carrying capacity area. And the rest of counties belong to medium bearing capacity area. The water resources carrying capacity is depend on the endowment and supply-demand ratio of water resources, the degree of economic development and ecological environment.

Keywords

Water Resources Carrying Capacity, Spatial Heterogeneity, Fuzzy Comprehensive Evaluation Model, Yuxi City

玉溪市水资源承载力研究分析

赵红玲*, 陈俊旭, 易琦#, 周键

云南大学资源环境与地球科学学院, 国际喀斯特联合研究中心, 云南 昆明
Email: zhaohl0432@163.com, #yiqi@ynu.edu.cn

收稿日期: 2017年8月14日; 录用日期: 2017年8月24日; 发布日期: 2017年9月5日

作者简介: 赵红玲, 女, 硕士生。研究方向: 水文过程与水资源配置。

*第一作者。

#通讯作者。

摘要

本文以完善玉溪市水资源的安全管理、实现水资源可持续利用为目的,以玉溪市县级行政区为研究对象,选取评价指标并利用基于“熵权”的模糊综合评价模型,对玉溪市平水年、枯水年、丰水年水资源承载力进行研究。结果表明:玉溪市水资源承载力存在显著时空异质性,空间总体上呈现“西高东低”的格局,丰水年水资源承载力最高,枯水年与平水年承载力相近。其中位于玉溪市东部的澄江县、江川区、通海县、华宁县在平水年和枯水年属于低承载地区,西部新平县、元江县和中部红塔区属于中承载力地区。丰水年东部通海县、江川县及中部易门县属低承载力区,西部的新平县属高承载力地区,其余各县为中承载力地区。玉溪市的水资源承载力与各区当年的水资源禀赋、供需状况、经济发展程度、生态环境状况密切相关。

关键词

水资源承载力, 模糊综合评价模型, 熵权法, 玉溪市

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化进程不断加快,水资源短缺制约社会经济发展问题日益突出。水资源承载力是水资源安全的重要度量,也是水资源管理的基础。因此,为实现社会的可持续发展,进行水资源承载力评价十分必要。国外关于水资源承载力的研究较少,一般将其纳入资源承载力的研究之中。我国关于水资源承载力的研究始于20世纪80年代。国内学者就水资源承载力提出了不同定义,如施雅凤认为水资源承载力是指某一地区的水资源,在一定社会历史和科学技术发展阶段,在不破坏社会和生态系统时,最大可承载容纳的农业、工业、城市规模和人口的能力,是一个随着社会、经济、科学技术发展而变化的综合目标[1]。龙腾锐提出水资源承载力是在一定的时期和技术水平下,当水管理和社会经济达到最优化时,一定区域的水生态系统自身所能承载的最大可持续人均综合效用水平[2]。本文将采用夏军等人提出的定义,即“水资源承载力是指在一定的社会经济条件下,水资源可最大供给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水的能力”[3]。玉溪市水资源承载力的相关研究成果很少,如杜鹃、雷艳娇、符裕红等对云南各州市水资源承载力进行研究,将玉溪市作为整体进行分析,在尺度细化、典型年分析、方法量化及评价综合性上还需要进一步加强[4][5][6]。考虑到水资源承载力的动态变化和综合性,采用一种客观定权的模糊综合评价对水资源承载力研究更为科学。因此本文基于熵权法构建水资源承载力模糊综合评价模型,以玉溪市的区县为对象,进行玉溪市各区县典型年水资源承载力进行研究。该研究可望为玉溪市水资源合理开发利用和可持续发展提供决策依据。

2. 研究区概况

玉溪市是“一带一路”战略中,通往南亚、东南亚的重要通道,同时是滇中重要的经济发展区,2014年玉溪市人均GDP居云南省第二位。全市包括红塔区、江川区、澄江县、通海县、华宁县、易门县、峨山彝族自治县(峨山县)、新平彝族傣族自治县(新平县)、元江哈尼族彝族傣族自治县(元江县)9个县(区),总面积为 1.53×10^4 km², (图1)。玉溪市年均降水量为670~2412 mm,汛期水资源量占全年的70%以上。人均水资源量1889 m³,红塔区、江川县、通海县等坝区县人均水资源量均不足1000 m³,空间分布极不均。加之近年来极端天气及城市化进程加快,玉溪市对水资源需求加大,水资源安全保障受到威胁。

$$A = \frac{\sum_{j=1}^3 b_j^k \cdot a_j}{\sum_{j=1}^3 b_j^k} \tag{1}$$

式中： a_j 为各等级的权重系数，为了突出占优势等级的作用，对 a_j 进行0~1之间赋值，取 $a_1 = 0.95, a_2 = 0.5, a_3 = 0.05$ ，评价分值越高，表示水资源承载力越高。其中 b_j 为各等级隶属度，可由公式(2)得到。

$$\bar{B} = w_i R = [b_1, b_2, \dots, b_n] \tag{2}$$

式中： w_i 为各评判因素的权重，由公式(3)、(4)得到，其中 $0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i \leq 1, R = [r_{11}, r_{12}, \dots, r_{im}]$ 为各个评价因素的评判决策矩阵，由公式(5)~(8)得到。

$$\begin{cases} H_i = -K \sum_{k=1}^n f_{ik} \ln f_{ik} \\ f_{ik} = \frac{r_{ik}}{\sum_{k=1}^n r_{ik}} \\ K = \frac{1}{\ln n} \end{cases} \tag{3}$$

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \tag{4}$$

式中： H_i 为第 i 个指标的熵值， f 为指标值比重， f_{ik} 为第 i 个指标下第 k 个评价单元的指标值比重， K 为与评价单元有关的系数，其中 $i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$ 。当 $f_{ik} = 0$ 时令 $f_{ik} \cdot \ln f_{ik} = 0$ 。

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m1} & \dots & r_{mm} \end{bmatrix} \tag{5}$$

评价矩阵置 R 中， r_{ij} 表示某因素对应等级 j 的隶属函数，其值可根据各评判因素的实际数对照各因素的分级指标来推求(6)~(8)。各评判因素的 V_1 和 V_2 等级的临界值为 K_1 ， V_2 和 V_3 的临界值为 K_3 ， V_2 等级区间中点值为 K_2 ， $K_2 = (K_1 + K_3)/2$ 。对于负向指标，各评语等级相对隶属度函数的计算公式只需将公式(6)~(8)右端 u_i 区间号“ \leq ”改为“ \geq ”，将“ $<$ ”改为“ $>$ ”计算。其中 $r_{i1} = U_{v1}(U_i), r_{i2} = U_{v2}(U_i), r_{i3} = U_{v3}(u_i) (i = 1, 2, \dots, 8)$ 。

$$U_{v1} = \begin{cases} 0.5 \left(1 + \frac{k_1 - U_i}{K_2 - U_i} \right) & U_i > K_1 \\ 0.5 \left(1 - \frac{U_i - k_1}{K_2 - K_1} \right) & K_2 < U_i \leq K_1 \\ 0 & U_i \leq K_2 \end{cases} \tag{6}$$

$$U_{v2} = \begin{cases} 0.5 \left(1 - \frac{k_1 - U_i}{K_2 - U_i} \right) & U_i > K_1 \\ 0.5 \left(1 + \frac{U_i - k_1}{K_2 - K_1} \right) & K_2 < U_i \leq K_1 \\ 0.5 \left(1 + \frac{K_3 - U_i}{K_3 - K_2} \right) & K_3 < U_i \leq K_2 \\ 0.5 \left(1 - \frac{K_3 - U_i}{K_2 - U_i} \right) & U_i \leq K_3 \end{cases} \tag{7}$$

$$U_{v3} = \begin{cases} 0.5 \left(1 + \frac{K_3 - U_i}{K_2 - U_i} \right) & U_i \leq K_3 \\ 0.5 \left(1 - \frac{U_i - K_3}{K_2 - K_3} \right) & K_3 < U_i \leq K_2 \\ 0 & U_i \geq K_2 \end{cases} \quad (8)$$

根据指标构建的独立性、可操作性、可比性、代表性等原则，结合前人对云南省州县水资源承载力评价指标的选取及该区水资源存在的问题，最终确定本区的评价指标为三大类别，即：供需指标、社会经济指标、生态环境指标(表 1)。供需指标数据来自 2014 年《玉溪市水资源公报》，其余指标来自 2014 年玉溪市各区县统计年鉴。指标划分等级主要参考国际标准及云南省各州县水资源承载力评价研究指标分级标准。

4. 结果与讨论

4.1. 评价结果

由上述方法得到玉溪市各县水资源承载力得分，并进行分级(表 2)。最终由图 2，玉溪市水资源承载力在平水年、枯水年、丰水年都呈现“西高东低”的格局，各分区承载力综合得分在 0.18~0.68 之间。在平水年和枯水年位于玉溪市东部的澄江县、江川区、通海县、华宁县属于低承载力地区，西部新平县、元江县和中部的红塔区属于中承载力地区。丰水年东部通海县、江川县及中部易门县属低承载力区，西部的的新平县属高承载力地区，其余各县为中承载力地区。玉溪市水资源承载力的空间分布，与当地水资源禀赋、社会经济发展水平及生态环境状况相一致。位于西部的的新平县与元江县均具有丰富的水资源，且对水资源需求小。如丰水年年份，两县的人均水资源量分别为 5198.2 m³/人、5486.2 m³/人，达到全国平均水平的两倍多。产水模数为各区县中最高，分别达到 33.5 × 10⁴ m³/km²、41.7 × 10⁴ m³/km²。江川县、澄江县、通海县位于玉溪市东部，人均水资源仅为 402.7 m³/人、

Table 2. Classification of water resources carrying capacity
表 2. 水资源承载力分级

水资源承载力	级别
0 ≤ WVI < 0.4	低承载
0.4 ≤ WVI < 0.6	中承载
0.6 ≤ WVI ≤ 1	高承载

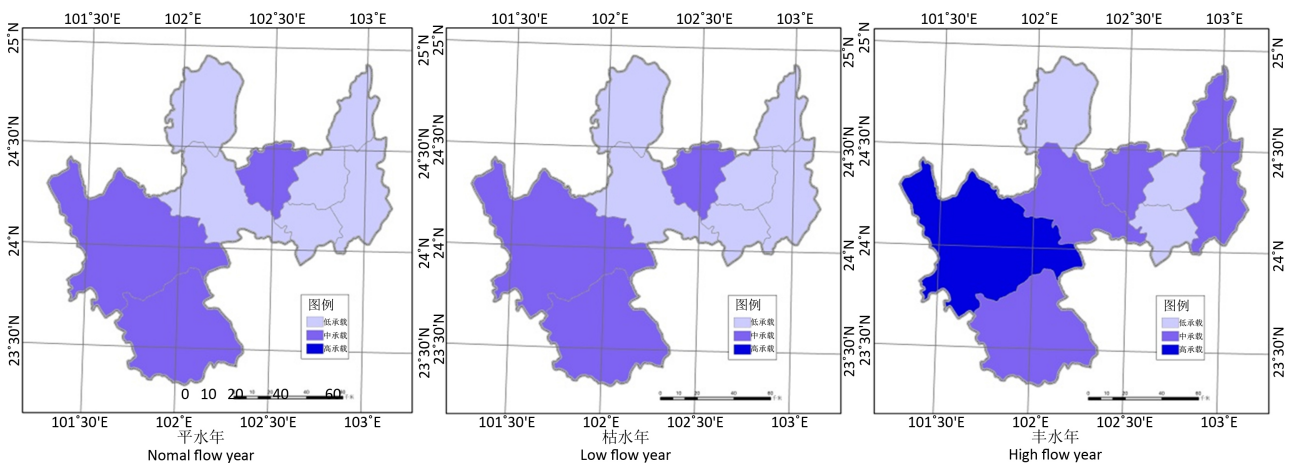


Figure 2. Distribution of water resource carrying capacity of Yuxi's counties
图 2. 玉溪市各区县承载力空间分布

799 m³/人、446.7 m³/人，三县森林覆盖率均不足 50%；人口密度分别达到 327 人/km²、185 人/km²、396 人/km²，远远高于其余各县。而水资源禀赋虽较差的红塔区，由于人均 GDP 达到 141339 元/人，森林覆盖率达 52.5%，因此承载力属中度承载力地区。

历年各区县水资源承载力中新平县最高，以丰水期为例，从水资源供需情况来看，新平县自身水资源丰富，产水模数为 33.5×10^4 m³/km²，居玉溪市第二位，但该区水资源供需比为 8.0，供过于求。从社会经济发展程度来看，该区人口密度小，仅为 65 人/m²，为全市人口密度最小区，反应抗旱能力的指标，有效灌溉面积远远大于其余各区县。在生态环境方面，该区森林覆盖率达 60%，水土流失治理面积居首位，水资源开发利用水平低，水资源成为该区发展的优势资源。在各区县中承载力最低的为江川县，人口密度为 327 人/km²，人口压力大，人均占有水资源量小，仅为 402.6 m³/人。社会经济发展落后，人均 GDP 为全市最低，23,624 元/人，森林覆盖率不到 50%，水资源供给无法满足生活生产需要，水资源成为地区可持续发展的阻碍。

此外，玉溪市水资源承载力在不同年份具有异质性，丰水年承载力最高，枯水年与平水年承载力相近。与其他年份相比，丰水年新平县由中承载力区跨越到高承载力区。澄江县、华宁县、峨山县由弱承载力区跨度到中承载力区。平水年、枯水年、丰水年各区县水资源承载力分别为 0.23~0.54，0.18~0.57，0.29~0.68。不同年份水资源承载力与当年水资源状况和社会经济发展程度密切相关。丰水年水资源丰富，经济发展程度高，2014 年红塔区人均 GDP 达 141,339 元，为 2005 年的两倍多。降水量为 904.1 mm，为 2005 年的 1.8 倍。枯水年与平水年相比，虽水资源匮乏，但经济发展程度更高，2010 年红塔区产水模数仅为 2005 年一半，但人均 GDP 达 2005 年两倍多。因此平水年与枯水年水资源承载力程度相当。

4.2. 结果可靠性及应用讨论

通过对玉溪市各区县水资源承载力进行评价，本文得出对于水资源禀赋好、社会人口压力小、生态环境优越的地区和年份，水资源承载力高，水资源开发利用程度最低，潜力最大，可兴修中小水利工程加强水资源开发。对于水资源供需矛盾突出，但社会经济发展较好的地区如枯水年红塔区，属中度承载力地区。水资源开发利用潜力小。对于水资源稀缺，且经济发展缓慢、生态环境恶劣的年份和地区，水资源承载力低，如平水期江川县。水资源开发利用程度很高，潜力很小，水资源紧缺时需要外部调水。

与以往玉溪市的水资源研究相比，本文在前人的基础上，取得一些进展，可望为玉溪市各区县制定水资源管理措施提供理论支撑。杜鹃等通过模型对云南各市水资源承载力进行研究，得出玉溪市整体处于二级水资源承载力，即水资源开发利用程度较高，潜力较小，开发条件很困难。本文将玉溪市细化到各区县，对典型年水资源承载力进行分析得出不同区县不同年份承载力差异性较大，大部分区县属于承载力中度地区，结果更科学。与陈俊旭等人对玉溪市水资源脆弱性研究相比，本文在研究玉溪市水资源时考虑生态环境因素，同时利用模糊综合评价法，更真实、全面的反应了玉溪市的水资源特点。

5. 结论

玉溪市水资源承载力存在时空差异。总体表现为“西高东低”的格局，丰水年承载力最高，枯水年与平水年承载力相近。其中，平水年和枯水年玉溪市东部的澄江县、江川区、通海县、华宁县属于低承载地区，西部新平县、元江县和中部红塔区属于中承载力地区。丰水年东部通海县、江川县及中部易门县属低承载力区，西部的新平县属高承载力地区，其余各县为中承载力地区。玉溪市的水资源承载力与各区当年的水资源禀赋、供需状况、经济发展程度、生态环境状况相一致。

基金项目

国家重点研发计划(2016YFC0502500/2016YFC0502502)；NSFC-云南联合基金(U1502233)。

参考文献 (References)

- [1] 施雅风, 曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
SHI Yafeng, QU Yaoguang. The water resources carrying capacity and rational use of Urumqi River Basin. Beijing: Science Press, 1992. (in Chinese)
- [2] 龙腾锐, 姜文超, 何强. 水资源承载力内涵的新认识[J]. 水利学报, 2004(1): 38-45.
LONG Tengrui, JIANG Wenchao and HE Qiang. New understanding of the connotation of water resources carrying capacity. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(1): 38-45. (in Chinese)
- [3] 夏军. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 262-269.
XIA Jun. The measurement of water resources security: A study and challenge on water resources carrying capacity. Journal of Natural Resources, 2002, 17(3): 262-269. (in Chinese)
- [4] 杜娟, 骆华松, 胡志丁. 云南省水资源承载力评价[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(1): 46-50.
DU Juan, LUO Huasong and HU Zhiding. Evaluation of water resources carrying capacity in Yunnan province. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2010, 21(1): 46-50. (in Chinese)
- [5] 雷艳娇, 葛强. 云南省地市(州)水资源承载力模糊综合评判[J]. 人民珠江, 2016, 37(4): 21-24.
LEI Yanjiao, GE Qiang. Fuzzy comprehensive evaluation of water resources carrying capacity of Yunnan province (prefecture). Pearl River, 2016, 37(4): 21-24. (in Chinese)
- [6] 符裕红, 丁剑宏, 李季孝, 等. 云南省金沙江流域水资源承载能力评价分析[J]. 中国农村水利水电, 2010(6): 15-19.
FU Yuhong, DING Jianhong, LI Jixiao, et al. Evaluation of the water resources capacity of Jinshajiang River Basin in Yunnan province. China Rural Water and Hydropower, 2010(6): 15-19. (in Chinese)