

# 成都市水资源承载力评价及差异分析

马宇翔<sup>1,2</sup>, 彭立<sup>1</sup>, 苏春江<sup>1</sup>, 王旭熙<sup>1,2</sup>, 徐定德<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**以成都市及其各区县为研究对象,评估成都市水资源承载力及其利用水平,并探究其内部区域差异。评价结果表明:从成都市总体情况来看,成都市实际经济规模超过水资源系统最大承载力,而实际人口规模小于水资源系统最大承载力,其承载力指数和协调指数分别为1.734 9、0.672 4,水资源的开发利用略有超载,可持续性不高;从区域内区县来看,其水资源可支撑的经济规模、人口规模,承载力指数和协调指数上呈现出较大差异。西部区县的承载力指数低于东部区县,水资源系统受到的压力较小,承载能力较强;西部区县协调指数同样低于东部区县,说明西部区县水资源利用方式有待改善,利用效率有待提高。

**关键词:**水资源系统;承载力;评价指标体系;差异分析;成都市

**中图分类号:**TV213

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2015)06-0159-08

## Evaluation and Regional Differences of Water Resources Carrying Capacity of Chengdu

MA Yuxiang<sup>1,2</sup>, PENG Li<sup>1</sup>, SU Chunjiang<sup>1</sup>, WANG Xuxi<sup>1,2</sup>, XU Dingde<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** We built economical scale and population size assessment models to evaluate regional water resources carrying capacity of Chengdu and the districts, and the structural index model to evaluate structural state of water resources system. The results showed that the actual economical scale exceeded water resources maximum carrying capacity, and the actual population size is less than it. Carrying capacity index and coordination index of Chengdu are 1.734 9 and 0.672 4, respectively. From the district perspective, the economical scale, population size, carrying capacity index and coordination index showed the great differences. The carrying capacity index and coordination index of western district are lower than those of the eastern district, which means that its carrying capacity is stronger and the efficiency of water resource need be improved.

**Keywords:** water resource system; carrying capacity; evaluation index system; difference analysis; Chengdu

水资源是人类生产与生活活动的重要物质基础,是区域经济发展基础性的自然资源和战略性的经济资源。随着社会的不断进步和经济的不断发展,人们对水的质量和数量的需求越来越高,水资源往往成为制约社会经济发展的“瓶颈”因素。

国际上,关于水资源承载力单项研究成果较少,一般将其纳入资源承载力区域规划及可持续发展理论中,偏重于水资源管理的经济手段与政策措施研究<sup>[1-3]</sup>。20世纪80年代末,国内学者提出水资源承载力的概念<sup>[4]</sup>。之后,有学者对水资源承载力进行深入研究。冯耀龙等人将水资源承载力定义为在一定时期内,在某种环境状态下(现状的或拟定的),以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续

发展为原则,以维护生态环境良性发展为条件,在水资源得到充分合理开发利用下,区域水资源对该区域人类社会经济活动支持能力的阈值(极限值)<sup>[5]</sup>。段青春等在对分析前人的观点之后,将区域水资源承载力定义为“区域在一定经济社会和科技发展水平条件下,以生态、环境健康发展和社会经济可持续发展协调为前提的区域水资源系统能够支撑社会经济可持续发展的合理规模”<sup>[6]</sup>。同时,学者们也提出了多种水资源承载力的量化研究方法,如系统动力学方法,主成分分析法,模糊评价法以及神经网络模型等<sup>[7-9]</sup>;研究内容涉及水资源人口承载规模,水资源综合承载力评价以及不同方法水资源承载力模型的对比分析等<sup>[10-12]</sup>。

水资源承载能力从用水的角度来说明水资源能够支撑经济发展的程度,以水量作为约束,若用水量超过了水资源承载能力,不仅影响经济社会的发展,也会导致水环境恶化,从而降低了水环境承载能力。

成都市作为四川省省会和西南地区的核心城市,既是辐射带动整个西南地区经济发展的区域核心,也是大量资源的汇聚消耗中心,其水资源概况、利用情况和承载能力较为复杂且值得研究。本文将成都市划分为 15 个研究单元,探究成都市总体以及各区县水资源供给和利用状况,选取反映区域水资源承载力的影响因素指标,建立评价指标体系,综合评价成都市水资源承载力及其内部差异。

## 1 水资源承载力评价指标及模型

### 1.1 评价指标体系结构框架

根据水资源承载力评价的目的,将指标设计分为承载性指标和结构性指标两类。承载性指标描述的是在区域水资源的可利用量的基础上,能够支撑的经济规模和人口数量,用最大经济规模和最大人口数量表示;结构性指标包括承载力指数和协调指数两大指标,其中承载力指数又由支持力指标和压力指标构成<sup>[13]</sup>。

承载性指标能直观反映区域水资源承载力的大小;结构性指标反映的是水资源社会经济系统结构状态的指标,也是衡量区域水资源开发利用是否合理以支持社会经济可持续发展的重要指标。其中,承载力指数反映水资源系统的承载状态,协调指数反映区域水资源系统与社会、经济及生态环境系统的协调状况。即是说,区域水资源承载力由水资源承载力的能力、所处的承载状态和协调状况 3 个方面的指标构成,三者相互补充完善,共同构成水资源承载力的评价指标体系。指标体系结构框架如图 1 所示。

根据前述设计的指标体系,区域水资源承载力( $F$ )计算表达式为:

$$F=[F_e, F_p, CCI, CHI] \quad (1)$$

式中: $F_e, F_p$ ——水资源承载的经济规模和人口规模; $CCI, CHI$ ——承载力指数和协调指数。

### 1.2 承载性指标设计

(1) 区域水资源支撑的经济规模。区域水资源支撑的经济规模是区域水资源承载力承载性指标之一,它是区域国内生产总值 GDP 与生产这些 GDP 所消耗的水量之比。当所消耗的水量等于区域水资源可利用量,此时水资源承载的经济规模就是最大经济规模。

区域水资源支撑的经济规模计算表达式为:

$$F_e=GDP/W_D \quad (2)$$

式中: $F_e$ ——单位水量支撑的经济规模,它是研究区域全部最终产品的总和与生产这些产品所用的水量

之比( $\text{元}/\text{m}^3$ ); $W_D$ ——社会系统、经济系统用水总量( $10^4 \text{ m}^3$ );GDP——用水为  $W_D$  时所产生的国内生产总值(万元)。

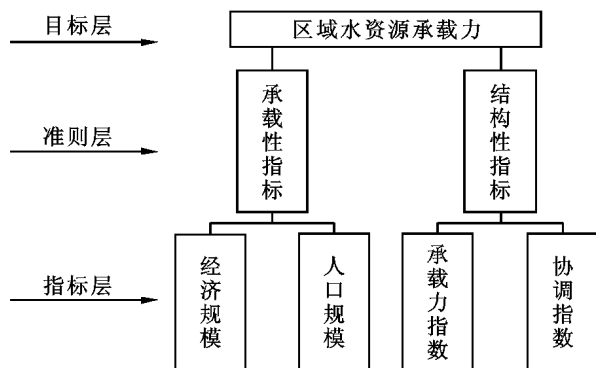


图 1 评价指标体系结构框架

如果计算区域水资源承载的最大经济规模,其表达式为:

$$F_{em}=GDP/W_D \cdot W_s \quad (3)$$

式中: $F_{em}$ ——区域水资源承载的最大经济规模( $10^4$  元); $W_s$ ——区域水资源可利用量( $10^4 \text{ m}^3$ )。

(2) 区域水资源支撑的人口规模。区域水资源支撑的人口规模是表示水资源承载力的另一个重要承载性指标,它是根据研究区域某阶段所处的社会发展水平和该阶段国内生产总值进行计算的。由于社会发展水平不同,人们的消费水平是不一样的。因此,水资源支撑的人口规模是和社会发展水平相联系的。社会发展水平用人均占有 GDP 指标反映。

根据我国社会经济发展现状和战略目标,参考国外有关社会发展的阶段划分,社会发展水平可划分为温饱型、初步小康、中等小康、全面小康、初步富裕和中等富裕 6 个阶段,其相应的人均 GDP 下限分别为 3 000, 6 300, 13 000, 24 000, 34 000, 62 000 元。

区域水资源支持的人口规模计算表达式为:

$$F_p=GDP/[GDPP] \quad (4)$$

式中: $F_p$ ——某一社会发展水平,区域可利用水资源量转化成全部产品所能供养的人口规模,即水资源承载的最大人口规模; $[GDPP]$ ——某一社会发展水平的人均占有 GDP 的下限指标。

### 1.3 结构性指标设计

(1) 承载力指数。承载力指数是反映水资源社会经济系统承载状态的指标,它是水资源系统(承载力的支持系统)与其所承载的社会、经济及生态环境系统(承载力的压力系统)相互比较的结果。

承载力指数(CCI)的计算公式为:

$$CCI=CCP/CCS \quad (5)$$

式中:CCS——水资源系统的支持力指数;CCP——水资源系统的压力指数。

当  $CCI > 1$ , 水资源系统的压力  $CCP$  大于支持力  $CCS$ , 说明水资源系统超载; 当  $CCI = 1$ , 表示水资源系统的压力与支持力平衡, 水资源承载力达到最大承载能力; 当  $CCI < 1$ , 表示水资源系统的压力小于支持力。

承载力指数反映水资源的承载状况。为了保证社会经济的可持续发展, 就应保证水资源社会经济系统的压力不超过支持力, 即承载力指数  $CCI \leq 1$ 。

(2) 协调指数。协调指数  $CHI$  是评价水资源系统社会经济系统的协调状况, 即可持续发展状况。设计指标既要反映水资源的变化对社会、经济、生态环境各子系统状态的影响, 又要体现水资源社会经济系统总体协调状况, 是反映系统结构状态的指标。应当包括人均耕地面积、单位耕地水资源量、人均用水量、万元 GDP 耗水及其他资源综合指数等指标。其值越大表明系统的协调状况越好, 变化范围在 0~1 之间。

#### 1.4 综合计算模型

结构性指标的计算包括单项指标的计算、各层指标的计算和结构性指标目标值的计算。单项指标值的计算按表 1 计算公式进行, 然后进行归一化处理。

(1) 各层指标的计算各层指标的计算模型为:

$$Y = \sum_i \omega_i X_i \quad (6)$$

式中:  $Y$ ——各层指标的综合评价;  $X_i, \omega_i$ ——第  $i$  个指标评价值和指标因子的权重。指标权重的计算选用熵权法。

(2) 权重的确定。熵权法是一种在综合考虑各因素提供信息量的基础上计算一个结构性指标的数学方法。作为客观综合定权法, 其主要根据各指标之间的关联程度及其传递给决策者的信息量大小来确定权重<sup>[14-15]</sup>。其作为一种客观赋权法, 在一定程度上减少主观因素带来的偏差, 其确定权重的基本原理和操作步骤如下:

假设有  $n$  个样本,  $m$  个指标构成的矩阵为:

$$R' = (r'_{ij})_{m \times n} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

式中:  $r'_{ij}$ ——第  $j$  个样本在第  $i$  个指标上的统计值。为消除指标间不同单位的影响, 对  $R'$  进行标准化, 得到各指标标准化矩阵。由于标准化后数据  $r_{ij}$  受  $r'_{ij}$ 、 $\min |r'_{ij}|$  和  $\max |r'_{ij}|$  的影响, 因此采用极值法对统计数据进行标准化。设标准化后的矩阵为  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ , 标准化公式为:

其中, 对与计算目标正向相关的指标:

$$r_{ij} = \frac{r'_{ij} - \min_j |r'_{ij}|}{\max_j |r'_{ij}| - \min_j |r'_{ij}|} \quad (7)$$

对与计算目标逆向相关的指标:

$$r_{ij} = \frac{\max_j |r'_{ij}| - r'_{ij}}{\max_j |r'_{ij}| - \min_j |r'_{ij}|} \quad (8)$$

对统计数据进行标准化后就可计算各指标的

息熵。第  $i$  个指标的熵  $H_i$  可定义为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot \ln f_{ij} \quad (9)$$

式中:  $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, k = \frac{1}{\ln n}$  (当  $f_{ij} = 0$  时,  $f_{ij} \cdot \ln f_{ij} = 0$ )

在指标熵值确定后就可根据下式来确定第  $i$  个指标的熵权  $\omega_i$ :

$$\omega_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (10)$$

各评价对象在指标上的值相差越大, 其熵值越小; 而熵权越大, 说明该指标向决策者提供的有用信息越多。它并不表示某评价研究中某指标在实际意义上的重要性, 而是在给定被评价对象集后各种评价指标值确定的情况下, 各指标在竞争意义上的相对激烈程度系数。从信息角度考虑, 它代表该指标在该问题中提供有用信息量的多寡。

## 2 成都市水资源承载力评价

### 2.1 研究区概况与数据来源

成都位于四川盆地西北边缘山地向盆地过渡的地带。地势走向为西北向东南由高渐低, 地形以平原为主。成都属长江上游岷江、沱江流域, 岷江流域面积占全市流域面积的 70.4%, 沱江流域占 29.6%。在自然形成和人为改造的双重因素下, 如今成都市内水系充分发育, 河流沟渠纵横交错, 水域面积达 752.5 km<sup>2</sup>, 约占全市总面积的 6%<sup>[16]</sup>。

成都水资源总量比较丰富, 可供利用的水量较充足, 其水资源的形成、补给和存在主要有降水、地表径流、地下水和境外来水等几种形式。其中: 多年平均降雨量 1 114 mm, 多年平均当地水资源总量 86.07 亿 m<sup>3</sup>, 地下水资源量约 32.93 亿 m<sup>3</sup>, 可开采量约 21.96 亿 m<sup>3</sup>。过境水资源量丰富, 总量为 181.05 亿 m<sup>3</sup>, 其中岷江过境水资源量为 147.3 亿 m<sup>3</sup>。

近年来, 成都市城市化进程加快, 人口增加, 经济发展迅速, 用水量激增。加之, 河道水污染加剧以及河流生态整体恶化等各种水问题逐渐显现。根据《2013 年成都市环境质量白皮书》所述, 成都市地表水水质总体为轻度污染, 80 个地表水监测断面, I—II 类、III 类、IV 类、V 类、劣 V 类水质比例分别为 27.5%, 45.0%, 6.3%, 5.0% 和 16.3%, 主要污染指标为氨氮、总磷和生化需氧量, 主要污染河段出现在岷江水系的府河、沙河、江安河、白河和沱江水系的毗河。

综上所述, 成都市水资源总量比较丰富, 但是其水资源利用是否超载, 水资源利用水平是否合理, 区域差异怎样, 都是值得探讨的问题。本文在研究单元处理上, 考虑到成华区、武侯区、金牛区、青羊区和锦

江区属于中心城区,社会经济关系联系紧密,且发展水平和用水结构相近,本研究将其归为一类(五城区),其余研究单元仍按照行政单元(区县)来确定,最终将成都市划分为 15 个研究单元。本研究中,经济统计数据来自《2013 年成都统计年鉴》、《2013 年四川省统计年鉴》,水资源和环境数据来自《2013 年成都水资源公报》、《环境年鉴》,部分空间数据来自地球系统科学数据共享平台,并通过 ArcGIS 软件计算获得。研究数据基准年为 2012 年。

其中,15 个研究单元和成都市基本情况如表 1 所示。

2.2 评价指标选择

在构建水资源承载能力综合评价指标体系时,需要考虑以下原则:科学性、动态与静态结合性、定性与定量结合性、可比性、可行性原则<sup>[17]</sup>、科学性和简约性原则<sup>[18]</sup>等。根据成都市发展现状,考虑社会、经济和生态环境等方面的因素,以及资料的可获得性,本文共选取 5 大类共 27 项指标,作为成都市水资源承载力结构性指标的评价体系。式中:选用  $D_1—D_7$  七项指标进行综合计算分析,用以反映水资源支持力;选用  $D_8—D_{11}$ ,  $D_{12}—D_{14}$ ,  $D_{15}—D_{20}$  十三个指标分别

反映社会、经济及生态环境三方面对水资源系统产生的压力;选用  $D_{21}—D_{27}$  七个指标进行综合分析,反映区域水资源系统的协调度。具体指标见表 2。

表 1 成都市基本情况

研究单元	总面积/ km <sup>2</sup>	总人口/ 万人	国内生产总值/ 万元	水资源总量/ 亿 m <sup>3</sup>	人均水资源量/ m <sup>3</sup> /人
五城区	465	336.7	31866900	1.55	46.04
龙泉驿区	556	59.9	6314031	1.71	285.48
青白江区	379	41.4	2763777	1.63	393.72
新都区	496	69.0	4560464	1.84	266.67
温江区	276	37.8	3023492	1.18	312.17
金堂县	1156	88.9	2022955	4.14	465.69
双流县	1068	94.2	6790674	3.66	388.54
郫县	437	51.3	3255925	1.95	380.12
大邑县	1284	51.9	1328605	12	2312.14
蒲江县	580	26.4	797616	3.82	1446.97
新津县	329	30.9	1699372	1.36	440.13
都江堰市	1208	61.2	2081844	14.35	2344.77
彭州市	1421	80.5	2130944	13.23	1643.48
邛崃市	1377	66.0	1504281	10.85	1643.94
崇州市	1089	67.2	1634347	8.73	1299.11
全市	12121	1163.3	64423811	82.01	704.98

表 2 成都市水资源承载力结构性指标设计

目标	领域	指标	指标计算公式
承载力指数	支持力指数指标层 C <sub>1</sub>	单位面积水资源量 D <sub>1</sub>	当地水资源量/国土面积(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )
		地表水资源可开发利用率 D <sub>2</sub>	当地水资源可利用量/当地水资源量(%)
		过境水利用率 D <sub>3</sub>	过境水利用量/过境水量(%)
		水资源利用率 D <sub>4</sub>	生产生活用水量/当地水资源量(%)
		径流系数 D <sub>5</sub>	径流量/降雨量(%)
		人均水资源量 D <sub>6</sub>	当地水资源总量/总人口(m <sup>3</sup> /人)
		径流形状指数 D <sub>7</sub>	区域径流长度/区域周长(%)
	社会压力指标层 C <sub>2</sub>	人口密度 D <sub>8</sub>	总人口/国土面积(人/km <sup>2</sup> )
		城市人口比例 D <sub>9</sub>	城市人口/总人口(%)
		生活用水定额 D <sub>10</sub>	生活用水量/总人口[L/(d·人)]
		建设用地所占比重 D <sub>11</sub>	建设用地面积/国土面积(%)
	经济压力指标层 C <sub>3</sub>	人均 GDP D <sub>12</sub>	GDP 总量/总人口(万元/人)
		GDP 增长率 D <sub>13</sub>	该年与前一年 GDP 的增长率(%)
		第一产业比例 D <sub>14</sub>	第一产业产值/GDP 总量(%)
		洪水径流比重 D <sub>15</sub>	洪水量/多年平均地表水资源量(%)
	生态环境压力指标层 C <sub>4</sub>	万元 GDP 污水排放 D <sub>16</sub>	污水排放量/GDP 总量(t/万元)
		森林覆盖率 D <sub>17</sub>	森林面积/国土面积(%)
		水土侵蚀面积比重 D <sub>18</sub>	水土侵蚀面积/国土面积(%)
		污水处理率 D <sub>19</sub>	污水处理量/污水产生量(%)
		生态环境用水比例 D <sub>20</sub>	生态环境用水量/平均水资源量(%)
协调指数	综合协调指标层 C <sub>5</sub>	人均耕地面积 D <sub>21</sub>	耕地面积/总人口(hm <sup>2</sup> /人)
		单位耕地水资源量 D <sub>22</sub>	当地水资源量/耕地面积(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )
		人均用水量 D <sub>23</sub>	用水总量/总人口(m <sup>3</sup> /人)
		灌溉面积耕地面积比 D <sub>24</sub>	灌溉面积/耕地面积(%)
		万元 GDPCOD 排放量 D <sub>25</sub>	COD 排放量/GDP 总量(t/万元)
		单位工业增加值用水 D <sub>26</sub>	工业用水总量/工业增加值(m <sup>3</sup> /万元)
		万元 GDP 耗水 D <sub>27</sub>	用水总量/GDP 总量(m <sup>3</sup> /万元)

2.3 成都市水资源承载力评价

计算成都市各区域水资源承载力的承载性指标,首先明确各区域用水情况,计算研究区域生产生活和生态用水,然后将用水情况与这些用水所生产的国内生产总值相结合,根据公式(2—5)计算区域水资源承载的经济规模和人口规模。在计算水资源承载的最大人口规模时,应先分析确定衡量社会发展水平的人均 GDP 指标。

依据本文对水资源承载力结构性指标的设计,需

要分别对成都市 15 个研究单元的水资源系统支持力、水资源承载的压力以及综合协调指数进行统计计算。根据公式(7—10)确定指标权重,最终通过公式(6)计算出 CCP、CCS、CHI 的综合值。其中,对水资源系统压力指数,应先计算社会、经济及生态环境各自的压力指标,并认为水资源系统受到三方面的压力同等重要,通过取平均值综合计算压力指标。计算结果如表 3 所示:

表 3 成都市水资源承载力计算结果

研究单元	单位水量支撑的经济规模/(元·m <sup>-3</sup> )	水资源承载的最大经济规模/万元	水资源承载的最大人口规模/万人	单位人口承载的经济规模/(元/人)	承载力指数	协调指数
五城区	317.5	3270354	514.0	9712.96	3.5105	0.4684
龙泉驿区	443.4	5453833	102.0	91048.96	4.3547	0.9134
青白江区	82.5	709105	44.5	17128.14	1.7981	0.5633
新都区	100.5	1065013	73.6	15434.97	1.4909	0.7201
温江区	184.2	1123701	48.8	29727.54	2.3273	0.7761
金堂县	71.5	1822675	84.3	20502.53	1.3113	0.5257
双流县	161.0	3782343	109.5	40152.26	1.5720	0.6562
郫县	113.0	1084894	52.5	21148.03	1.1939	0.5837
大邑县	55.0	3890506	55.4	74961.58	0.5097	0.4068
蒲江县	44.5	1201899	33.2	45526.48	0.4162	0.5645
新津县	90.9	663462	50.0	21471.26	1.3470	0.6357
都江堰市	64.5	8002132	61.2	130753.8	0.2123	0.6081
彭州市	50.4	2619600	88.8	32541.61	0.4880	0.4955
邛崃市	37.1	1979025	62.7	29985.23	0.8447	0.3620
崇州市	41.9	1969446	68.1	29307.23	0.4499	0.5165
全市	122.9	59978289	1448.6	51558.75	1.7349	0.6724

2.4 计算结果分析

对 2012 年水资源承载力的计算结果分析如下:

(1) 经济规模。2012 年成都市全市承载的最大经济规模为 59 978 289 万元,小于实际经济规模 60 652 679 万元,说明成都市总体经济发展超出水资源系统承载能力,尤其中心五城区的经济规模已大大超过区域水资源可承受的范围。而各区县情况如图 2 所示,仅大邑县、蒲江县、都江堰市、彭州市、邛崃市和崇州市的经济规模在水资源系统能够承受的范围之内,其余均在承载力之外。

而单位水量支撑的经济规模,从成都市各区县来看,中心五城区、龙泉驿区、温江区、双流县的单位水量支撑的经济规模分别为 317.5,443.4,184.2,161.0 元/m<sup>3</sup> 均超过全市平均的 122.9 元/m<sup>3</sup>,说明这四个子区域将水资源转化为经济输出的能力更强。

(2) 人口规模。2012 年成都市水资源系统可承载的最大人口规模为 1 448.6 万人,实际人口为 1 163.3 万人,总体是可承载的。各区县情况如图 3 所示,除金堂县、邛崃市实际总人口超出当地水资源最大可承载人口外,其余均在承受范围内。

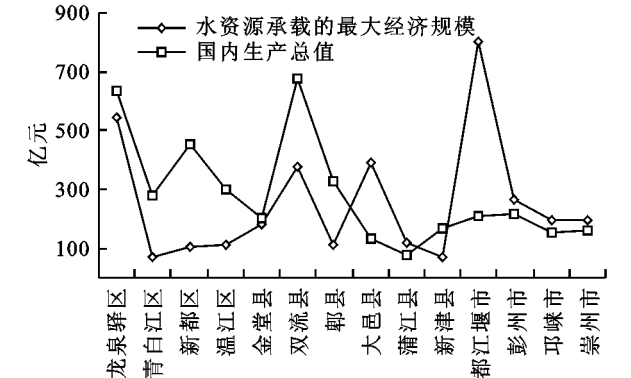


图 2 成都市各区县经济规模

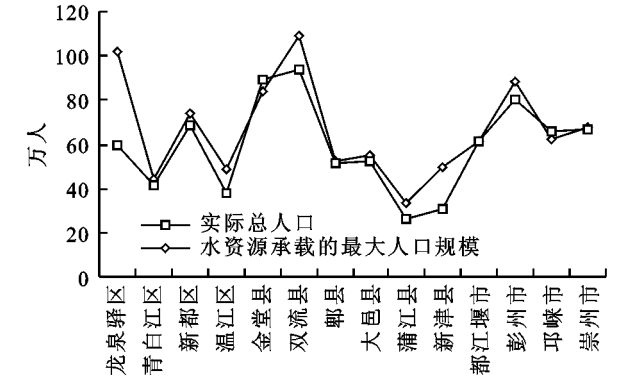


图 3 成都市各区县人口规模

(3) 承载力指数和协调指数。根据所选指标和计算模型,2012 年全市各区县承载力指数和协调指数的计算结果如表 3,图 4,图 5,图 6 和图 7 所示。

对于水资源承载力指数,从对其的定义来看,指数大于 1,即表示超出承载范围。从表 3 计算结果来看,成都市总体承载力指数为 1.734 9,表明全市平均水资源利用情况超出承载力范围。除了大邑县、蒲江县、都江堰市、彭州市、邛崃市和崇州市的承载力指数小于 1,其余区县均不同程度的超出承载范围,其中中心五城区和龙泉驿区的承载力指数分别达到 3.510 5,4.354 7,水资源受到的压力大大超过其支持

力,水资源系统处于危机状态。

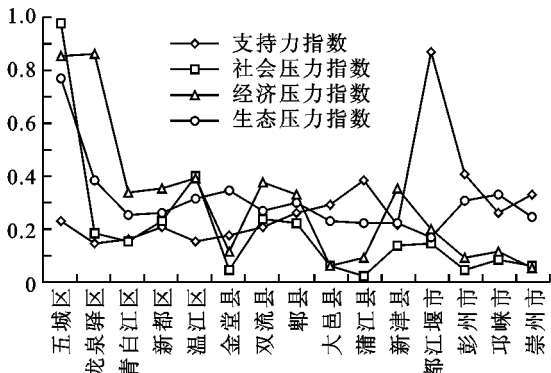


图 4 成都市各区县承载力指数图

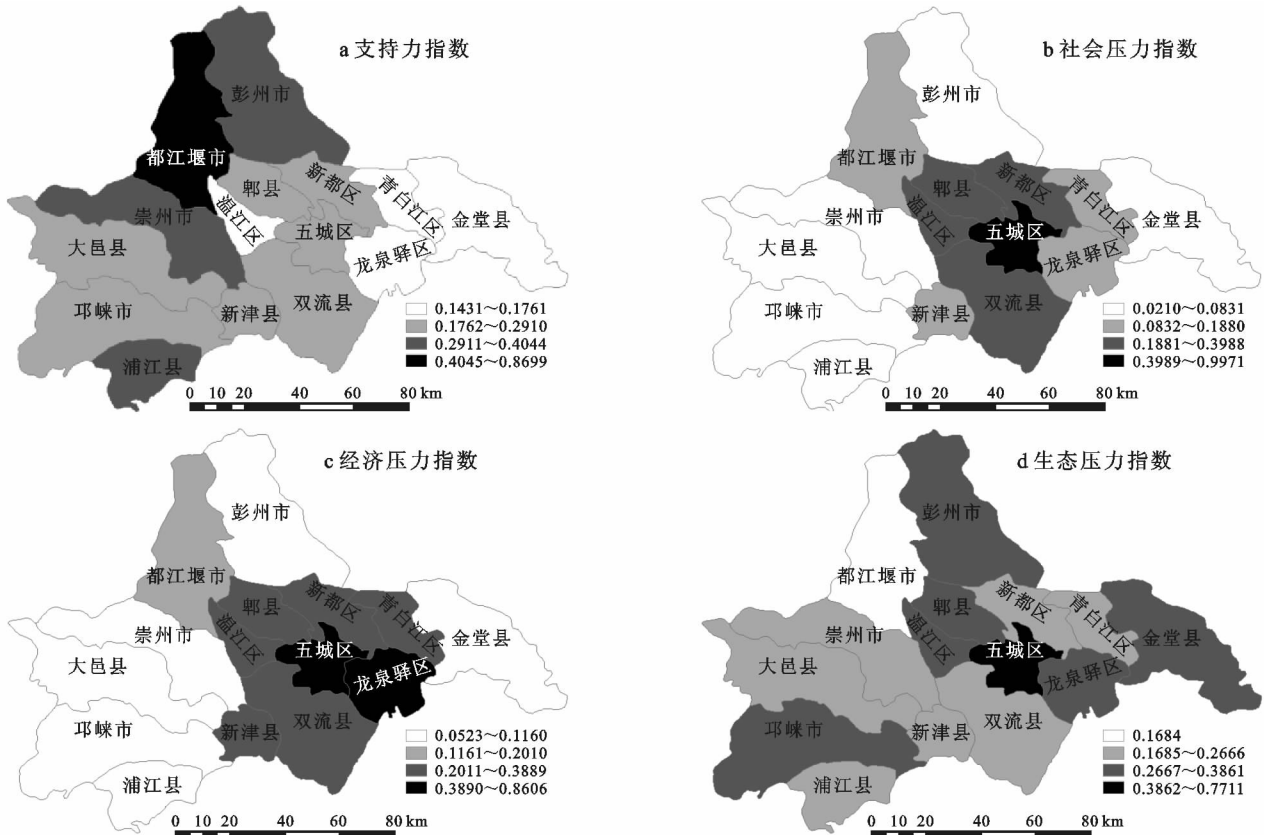


图 5 成都市承载力指数空间格局

图 4,图 5 为计算得到的 15 个研究单元承载力指数的详细信息。可以看到,中心五城区的社会、经济和生态压力指数远远高于其支持力指数,并且比大部分区县都要高,因而其承载力指数也高;龙泉驿区的经济压力指数最高,说明该区利用较多资源来发展经济,这与其经济发展水平处于领先水平相一致;都江堰市的支持力指数最高,且社会、经济和生态压力指数均处于较低水平,因而其承载力指数最低,水资源承载能力最强,这与其生态功能定位相一致。图 6 为承载力指数在地域空间上呈现的状态,可以看到,其承载力指数呈现出西部区县低于东部区县,经济越发达的地区越高的规律。

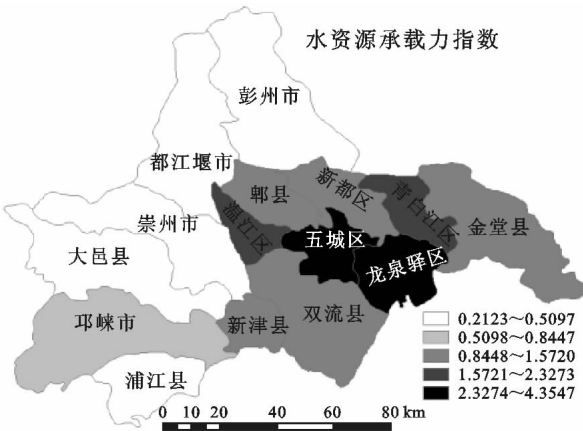


图 6 成都市水资源承载力指数空间分布

对于水资源协调指数,从 15 个研究单元计算结

果均在 0~1 之间,其值越大,协调度越高,水资源系统可持续性越高。从计算结果来看,成都市总体协调指数为 0.672 4,各区县协调指数分布在 0.362~0.913 4 之间,其中,龙泉驿区达到 0.913 4,协调指数最大;邛崃市最低为 0.362 0。各区县协调指数超过总体水平的仅有龙泉驿区、新都区 and 温江区,其余均在总体水平之下。图 7 为协调指数在地域空间上呈现的状态,相较于周边区县,成都市中心五城区的协调指数较低,水资源系统可持续发展性较低;大邑县、邛崃市的协调指数同样处于较低水平;龙泉驿区的协调指数为最高,其资源利用的可持续性最强。

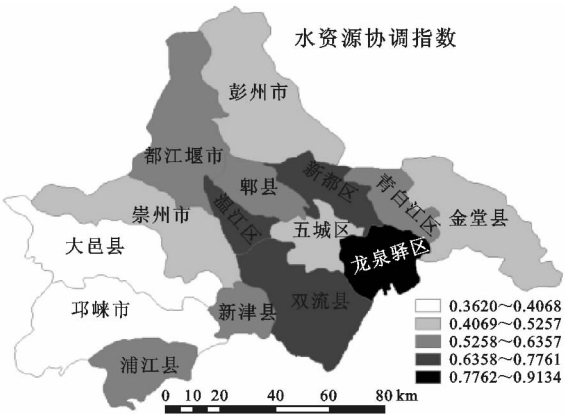


图 7 成都市水资源协调指数空间分布

综合两指数来看,成都市中心五城区、金堂县承载力指数大于 1,协调指数也处于较低水平,其水资源承载力较差,水资源系统处于危机状态。这一方面说明中心五城区对水资源的开发利用强度过大,另一方面说明其对水资源的利用方式落后,可持续性较差。大邑县、邛崃市,其水资源系统承载力指数均小于 1,说明其对水资源的开发利用在承载范围之内,但其协调指数也处于较低水平,水资源的可持续利用性较差。都江堰市、蒲江县的水资源开发利用情况都处于较优水平,承载力指数小于 1,协调指数也较高,既未超过水资源系统的承载范围,也保证了水资源的可持续发展利用。

3 结论与讨论

本文通过从承载性指标和结构性指标两方面对成都市总体及各区县的水资源承载力展开评价,选取水资源承载的经济规模和人口规模作为承载性指标;并通过建立指标体系,构建计算模型,评价区域水资源系统的综合能力,计算成都市水资源承载力指数和协调指数。

从成都市总体情况来看,2012 年成都市实际经济规模为 60 652 679 万元,超过水资源系统最大承受值 59 978 289 万元,说明虽然成都市对水资源的利用强

度较大,但利用效率也较高。而实际人口规模为 1 163.3 万人,小于水资源系统最大承受值 1 448.6 万人,说明成都市人口规模仍有发展空间,并且单位人口产生的经济规模较大,通过人均 GDP 表现出来。成都市的承载力指数和协调指数分别为 1.734 9、0.672 4,水资源的开发利用略有超载,可持续性不高。这与成都市建设世界田园城市的定位是极不相称的。

从内部来看,15 个研究单元在水资源可支撑的经济规模、人口规模,承载力指数和协调指数上呈现出较大差异。宏观来看,成都市西部区县的承载力指数低于东部区县,水资源系统受到的压力较小,承载能力较强;西部区县协调指数同样低于东部区县,说明西部区县利用效率有待提高。从各研究单元来来看,中心五城区不仅经济规模超出水资源承载力,其支持力指数和协调指数也超出可承受范围。龙泉驿区的经济规模超出水资源承载力,其经济压力指数和协调指数为成都市之最,水资源承载受到区域经济发展的最大威胁。都江堰市的经济规模、人口规模、支持力指数和协调指数均在承载范围之内,水资源承载能力最高,且利用合理,可持续性较高,与其成都市水源涵养地的功能定位相一致,也符合其宜居城市的城市性质定位。

成都市是四川省乃至整个西南地区的经济活动中心,它在辐射带动周边区县发展的同时,也不断吸纳着周边地区的各种资源,水资源系统更是具备来源广泛、利用方式多样的特征。从研究结果来看:水资源承载范围内的人口规模却产生了超出承载力的经济规模,说明成都市经济发展方式存在问题,高耗水的经济活动较多,水资源利用率不高。因此,成都市应当在未来更加注重提高水资源利用率,对高耗水的经济活动进行严格控制,并通过开展绿色考核机制、排污权交易等方式进行管理提升。对于承载力指数超标的区县,需要通过优化区域水资源利用的结构性和空间性格局进行管控,除了开发区域内的水资源量,可以适当提高过境水利用量和外部人工引入水源缓解压力。对于协调指数较低的区县,应当加强水资源的统一管理,把生产和生活用水、农业和工业用水等结合起来,通过产业结构调整 and 用水优化,做到水资源的循环可持续利用,提高水资源的利用效率。

参考文献:

[1] Rijsberman M A, van De Ven F H M. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2000, 20(3): 333-345.  
[2] Harris J M, Kennedy S. Carrying capacity in agriculture: global and regional issues[J]. Ecological Economics, 1999,

- 29(3):443-461.
- [3] Ehrlich A H. Looking for the Ceiling: Estimates of Earth's Carrying Capacity [J]. American Scientist, 1996, 84(5):494-499.
- [4] 李令跃, 甘泓. 试论水资源合理配置和承载能力概念与可持续发展之间的关系[J]. 水科学进展, 2000, 11(3): 307-313.
- [5] 冯耀龙, 韩文秀, 王宏江, 等. 区域水资源承载力研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(1):109-113.
- [6] 段春青, 刘昌明, 陈晓楠, 等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报, 2010, 65(1):82-90.
- [7] 王建华, 江东. 基于SD模型的干旱区城市水资源承载力预测研究[J]. 地理学与国土研究, 1999, 15(2):18-22.
- [8] 章恒全, 何薇. 基于主成分回归与灰色神经网络模型的水资源承载力需水量预测[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(1):103-108.
- [9] 王学全, 卢琦, 李保国. 应用模糊综合评判方法对青海省水资源承载力评价研究[J]. 中国沙漠, 2006, 25(6):944-949.
- [10] 党丽娟, 徐勇, 王志强. 陕西省榆林市水资源人口承载规模研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3):90-97.
- [11] 高瑞忠, 李和平, 佟长福, 等. 鄂尔多斯市水资源承载力综合评价与分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 139-142.
- [12] 龙胤慧等. 典型草原区水资源承载力评价方法研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3):222-223.
- [13] 王友贞, 施国庆, 王德胜. 区域水资源承载力评价指标体系的研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4):597-604.
- [14] 贾艳红, 赵军, 南忠仁, 等. 基于熵权法的草原生态安全评价:以甘肃牧区为例[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 1003-1008.
- [15] 吴玉鸣, 柏玲. 广西城市化与环境系统的耦合协调测度与互动分析[J]. 地理科学, 2011, 31(12):1474-1479.
- [16] 薛小妮, 甘泓, 游进军, 等. 成都市水资源及水环境承载力分析[J]. 水利水电技术, 2012, 43(4):14-18.
- [17] 王浩, 陈敏建, 何希吾, 等. 西北地区水资源合理配置与承载能力研究[J]. 中国水利, 2005(22):43-45.
- [18] 朱记伟, 解建仓, 黄银兵, 等. 基于熵值和模糊贴近度的区域水资源承载力评价[J]. 水资源与水工程学报, 2012(5):1-5.

(上接第158页)

#### 参考文献:

- [1] Watson D J. The physiological basis of variation in yield [J]. Adv. Agron., 1952, 4(1):101-145.
- [2] Davidson J L. Some effects of leaf area control on the yield of wheat[J]. Crop and Pasture Science, 1965, 16(5):721-731.
- [3] 陈若礼, 宋兴勇, 郑伟, 等. 功能叶与小麦千粒重关系研究初报[J]. 安徽农业科学, 1994(S2):55-55.
- [4] Burrows W C. Characterization of soil temperature distribution from various tillage-induced microreliefs[J]. Soil Science Society of America Journal, 1963, 27(3):350-353.
- [5] 邓斌. 河西绿洲灌区不同耕作方式下春小麦土壤水分动态变化与产量效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2007.
- [6] 张永久. 河西绿洲灌区春小麦垄作栽培产量效应及其影响机制的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2006.
- [7] 张新民, 张吉孝, 单鱼洋. 考虑水分再分布的沟灌入渗模拟与春小麦垄作沟灌合理垄宽[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2):201-205.
- [8] 姚素梅, 康跃虎, 刘海军. 喷灌条件下冬小麦灌浆期叶水势日变化及其影响因子研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4):1-6.
- [9] 柏立超, 邵运辉, 岳俊芹, 等. 垄作模式下冬小麦边际效应研究[J]. 河南农业科学, 2009(6):42-44.
- [10] Fahong W, Xuqing W, Sayre K. Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China [J]. Field Crops Research, 2004, 87(1):35-42.
- [11] 李朝霞, 赵世杰, 孟庆伟, 等. 高粒叶比小麦群体生理基础研究进展[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(4):79-83.
- [12] Fahong W, Xuqing W, Sayre K. Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China [J]. Field Crops Research, 2004, 87(1):35-42.
- [13] 马林, 刘建喜, 陈乐梅, 等. 不同耕作方式对春小麦花后叶面积及产量影响[J]. 新疆农业大学学报, 2008, 31(2):22-24.
- [14] 杨静敬, 路振广, 张玉顺, 等. 水分亏缺对冬小麦生长发育及产量影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2013(1):116-120.
- [15] 李升东, 王法宏, 司纪升, 等. 不同种植模式下小麦干物质积累及分配对源库关系的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(1):87-90.