

# 江西省水资源可持续利用评价研究

孟丽红<sup>1</sup>, 陈亚宁<sup>2,3</sup>, 胥志彪<sup>3</sup>, 马芳<sup>4</sup>

(1. 赣南师范学院 地理与规划学院, 江西 赣州 341000; 2. 中国科学院 绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 4. 云南省气象局, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 在综合分析江西省水资源特色的基础上, 结合江西省 2009 年自然、社会和经济以及水资源资料, 选取降水量、灌溉率、水资源开发利用程度、生活用水定额、人均供水量、生态环境用水率作为评价指标, 应用模糊识别理论对江西省 11 个市的水资源可持续利用程度进行了评价研究。结果表明, 江西省整体水资源可持续利用等级为 II 级, 水资源开发利用已具有相当规模。

**关键词:** 模糊识别; 水资源可持续利用; 江西省

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)06-0166-05

中图分类号: TV213.9

## Evaluation of Sustainable Utilization of Water Resources in Jiangxi Province

MENG Li-hong<sup>1</sup>, CHEN Ya-ning<sup>2,3</sup>, XU Zhi-biao<sup>1</sup>, MA Fang<sup>4</sup>

(1. School of Geography and Planning, Gannan Normal University, Ganzhou,

Jiangxi 341000, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert, Chinese

Academy of Science, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography,

CAS, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 4. Meteorologic Bureau of Yunnan Province, Kunming, Yunnan, 650034, China)

**Abstract:** Based on the analyses of the present situation of water resource utilization and the statistic of the natural, cultural and economic conditions as well as water resource data of Jiangxi Province in 2009, the six indices (precipitation, irrigation intensity, water resource development degree, domestic water quota, per capita water supply and the ecological water use ratio) were adopted to evaluate the sustainable utilization of the water resources in 11 cities in Jiangxi Province using fuzzy identification theory. The results showed that the comprehensive water utilization in Jiangxi Province reached to a substantial scale with grade II.

**Keywords:** fuzzy identification; sustainable utilization of water resources; Jiangxi Province

水资源是人类社会不可替代的重要资源。随着水资源短缺形势的日益严峻, 时空分布不均匀, 人口、生产力、资源的匹配状况不理想, 生态与环境相对脆弱, 以及在区域水资源的开发利用中存在种种问题, 使得区域可持续发展在很大程度上取决于水资源的可持续开发利用<sup>[1]</sup>。随着人口的增长和社会经济的发展, 人类已清楚地意识到日益严重的水危机, 很多地区水资源已成为制约经济社会可持续发展的瓶颈, 因此对区域水资源可持续利用进行评价研究十分必要。对一个区域水资源可持续利用程度评价, 要综合考虑生态环境用水、农业用水、工业用水、生活用水等各相关因素, 从中提取相关的、有代表性的、易于量化的指标体系, 采用适宜的评价方法, 建立数学模型进行评价。区域水资源的可持续发展能力评价有多种

方法。如灰色聚类法<sup>[2]</sup>, 多目标决策法<sup>[3]</sup>, 模糊综合评价法<sup>[4]</sup>, 模糊物元法<sup>[5]</sup>, 模糊识别法等。目前, 除了陈卫宾<sup>[6]</sup>等运用模糊识别法对江西省 16 个水功能分区进行水资源承载力评价以外, 尚未有学者对江西省水资源可持续利用进行评价。江西省位于长江中下游南岸, 东邻福建、浙江省, 南接广东省, 西连湖南省, 北毗湖北、安徽省。江西省南北长约 620 km, 东西宽约 490 km, 国土面积  $1.67 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。江西省水资源较为丰沛, 该省多年平均降水量为 1 638.4 mm, 多年平均水资源总量为  $1.57 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 单位面积水资源  $9.39 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 是我国水资源较为丰沛地区之一。2009 年江西省平均降水量 1 392.0 mm, 折合降水总量  $2.32 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 比上年少 9.4%, 比多年平均少 15.0%, 属偏枯水年份 (频率  $P = 84\%$ )<sup>[7]</sup>。总体

收稿日期: 2013-01-20

修回日期: 2013-03-26

资助项目: 国家自然科学基金项目“中国土壤系统分类水耕人为土微形态诊断指标研究”(41301226); 江西省自然科学基金项目“红壤抗蚀性土壤形态信号研究”(2013BABZ13020); 江西省教育厅科技项目“典型丘陵区红壤不同形态碳剖面变化及土壤微形态研究”(GJJ13645)

作者简介: 孟丽红(1981—), 女(汉族), 云南省宣威市人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 主要从事水资源评价与环境保护研究。E-mail: mlh8158@163.com。

分析,江西省水资源利用存在降水量时空分布不均匀,洪涝干旱灾害频繁<sup>[8]</sup>;水资源供需矛盾较突出;水资源开发利用偏低;水环境问题日益突出<sup>[9]</sup>等问题。鉴于这些问题的存在,本研究以江西省 2009 年自然、社会和经济以及水资源开发利用资料为本底,采用陈守煜先生提出的多级模糊识别方法<sup>[10]</sup>对江西省的水资源可持续利用进行评价,该方法不需要建立隶属度函数,综合考虑了评价指标的层次性和模糊性,能够更客观地反映水资源的可持续利用程度,旨在为江西省水资源可持续开发利用提供决策依据。

## 1 水资源承载能力模糊识别模型

### 1.1 指标相对隶属度与指标标准特征值矩阵<sup>[11]</sup>

设有对水资源可持续能力  $A$  作识别的  $n$  个事物,这  $n$  个事物构成集合为  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。每个样本由  $m$  个指标特征值描述,则这  $n$  个样本可用  $m \times n$  型的指标特征值矩阵表示,即

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $x_{ij}$ ——样本  $j$  的第  $i$  项因子特征值。 $i=1, 2, \dots, m$ ;  $j=1, 2, \dots, n$ 。

对  $n$  个样本按  $m$  个指标  $c$  个级别的指标标准特征值进行识别,则构成  $m \times c$  型的指标标准特征值矩阵,即

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & \dots & y_{1c} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & \dots & y_{mc} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $y_{ih}$ ——级别  $h$  指标  $i$  的标准特征值,  $h=1, 2, \dots, c$ 。

### 1.2 指标的相对隶属函数

指标标准特征值通常分两种不同类型:第一类指标标准特征值随级别  $h$  的增大而减小;第二类指标标准特征值随级别  $h$  的增大而增大。

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & (x_{ij} \geq y_{i1}) \\ (x_{ij} - y_{ic}) / (y_{i1} - y_{ic}) & (y_{ic} < x_{ij} < y_{i1}) \\ 0 & (x_{ij} \leq y_{ic}) \end{cases} \quad (3)$$

$$S_{ih} = \begin{cases} 1 & (y_{ih} = y_{i1}) \\ (y_{ih} - y_{ic}) / (y_{i1} - y_{ic}) & (y_{ic} > y_{ih} > y_{i1}) \\ 0 & (y_{ih} = y_{ic}) \end{cases} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & (x_{ij} \leq y_{i1}) \\ (x_{ij} - y_{ic}) / (y_{i1} - y_{ic}) & (y_{i1} < x_{ij} < y_{ic}) \\ 0 & (x_{ij} \geq y_{ic}) \end{cases} \quad (5)$$

$$S_{ih} = \begin{cases} 1 & (y_{ih} = y_{i1}) \\ (y_{ih} - y_{ic}) / (y_{i1} - y_{ic}) & (y_{i1} > y_{ih} > y_{ic}) \\ 0 & (y_{ih} = y_{ic}) \end{cases} \quad (6)$$

式中: $r_{ij}$ ——样本  $j$  指标  $i$  的特征值对  $A$  的相对隶属度,其中  $0 < r_{ij} < 1$ ;  $s_{ih}$ ——指标  $i$  的  $h$  级标准特征值对  $A$  的相对隶属度,且  $0 \leq s_{ij} \leq 1$ 。

公式(5)~(6)称为指标对水资源承载力  $A$  的相对隶属度函数公式,简称指标相对隶属函数公式。由此可以得到评价指标的相对隶属度矩阵  $R$  和指标标准特征值的相对隶属度矩阵  $S$ 。

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (7)$$

$$S = (s_{ih})_{m \times c} \quad (8)$$

### 1.3 评价指标的权重

一般的,样本集的  $m$  个指标对模式识别影响程度不同,以权重来表示各指标的重要程度。确定评价指标权重的方法有多种,如二元比较模糊决策分析法、三标度法、层次分析法、利用投影寻踪法等,应用上述某一方法来求得各评价指标的权重  $\omega_i = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ ,并且满足归一化要求,即  $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$ 。

### 1.4 样本集对各级别的相对隶属度矩阵

设样本集对  $A$  各级别的相对隶属度矩阵为:

$$U = (u_{hj})_{c \times n}$$

式中: $u_{hj}$ ——样本  $j$  对级别  $h$  的相对隶属度。由于样本  $j$  的  $m$  个指标相对隶属度全部落入矩阵  $S$  的级别区间  $[a_j, b_j]$  内,故矩阵  $U$  应满足约束条件:

$$\sum_{h=a_j}^{b_j} u_{hj} - 1 = 0, \quad \forall j \quad (9)$$

因样本集中每个样本的级别区间不同,故从样本集整体考虑,矩阵  $U$  应满足:

$$\sum_{h=1}^c u_{hj} - 1 = 0, \quad \forall j \quad (10)$$

式中:  $j=1, 2, \dots, n$ ;  $h=1, 2, \dots, c$ 。

样本  $j$  与级别  $h$  的加权广义距离可以定义为:

$$D_{hj} = u_{hj} \left\{ \sum_{i=1}^m [\omega_i (r_{ij} - s_{ih})]^p \right\}^{1/p} \quad (11)$$

式中: $\omega_i$ ——第  $i$  项指标对水资源承载能力的权重,计算时取  $p=2$ (欧式距离)。

为求样本对级别的最优相对隶属度,建立目标函数模型:

$$\min [F(u_{hj}) = \sum_{h=a_j}^{b_j} D_{hj}^2] \quad (12)$$

根据目标函数式(12),约束式(9)构造拉格朗日函数,由函数极值理论可以推出样本  $j$  对水资源承载力  $A$  级别  $h$  评价的模糊模式识别模型为:

$$u_{ij} = \begin{cases} 0 & (h < a_j \text{ 或 } h > b_j) \\ \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [\tau \omega_i (r_{ij} - s_{ih})]^2}{\sum_{k=a_j}^{b_j} \sum_{i=1}^m [\tau \omega_i (r_{ij} - s_{ik})]^2} \right\}^{-1} & (D_{ij} \neq 0, a_j \leq h \leq b_j) \\ 1 & (D_{ij} = 0 \text{ 或 } r_{ij} = s_{ih}) \end{cases} \quad (13)$$

根据模糊概念在分级条件下最大隶属度原则的不适用性,采用级别特征值<sup>[12]</sup>方法来对级别进行确定,将相对隶属度矩阵与级别特征值向量相乘就得到级别特征值:

$$H = (1, 2, \dots, c) \cdot U_{c \times n} = (H_1, H_2, H_3, \dots, H_n) \quad (14)$$

式中:向量  $H$ ——级别特征值,根据级别特征值对样本进行分级,按照以下规则对各样本的承载力级别进行归类: $H_j \in [c-0.5, c+0.5]$ ,则将样本  $i$  归于  $c$  类。

## 2 江西省水资源可持续利用评价

### 2.1 评价指标与分级标准

水资源可持续利用是一个具有自然、社会双重属性的概念,既反映了水资源系统满足社会经济系统的能力,也与社会经济系统开发自然资源系统的深度有关,其大小取决于区域自然环境、水资源量、社会经济技术<sup>[13-15]</sup>。

结合行政区划,将江西省按行政区分为南昌、景德镇、萍乡、九江、新余、鹰潭、赣州、宜春、上饶、吉安、抚州 11 个城市进行水资源持续利用评价,然后再进行整个江西省的综合评价。各行政区的指标原始数值详见表 1。

表 1 江西省各行政分区资料统计

行政分区	人口/ 万人	耕地面积/ 10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	灌溉面积/ 10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	水资源 总量/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	用水量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	降水量/ mm	生活 用水量/10 <sup>8</sup> L	生态用水量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
南昌市	464.8	249.2	191.1	48.75	33.42	1 179.8	2 270	3.49
景德镇	157.6	86.5	53.4	40.70	8.34	1 526.7	720	0.08
萍乡市	186.4	64.4	37.3	37.81	8.10	1 551.6	800	0.09
九江市	478.9	295.8	179.8	125.31	24.00	1 201.8	2 090	0.16
新余市	114.0	85.9	47.4	22.93	8.13	1 525.0	520	0.09
鹰潭市	111.5	88.1	51.4	37.17	6.47	1 619.3	490	0.04
赣州市	842.8	362.9	261.3	207.09	32.52	1 329.2	3 660	0.23
宜春市	548.4	469.8	278.6	144.64	44.15	1 469.5	2 370	0.18
上饶市	653.7	370.2	237.5	207.11	29.51	1 565.0	2 650	0.14
吉安市	483.0	425.5	291.0	148.70	38.28	1 294.3	2 010	0.14
抚州市	390.5	321.4	211.7	146.70	24.03	1 506.8	1 660	0.13
江西省	4 432.1	2 819.8	1 840.4	1 166.91	256.95	1 392.0	19 240	4.77

注:表中数值均来自于 2010 年编制的《江西省统计年鉴》,《2009 年江西省水资源公报》等。

根据江西省水资源及其利用特点,将各影响因素全面分析,并参照全国水资源供需分析中的指标体系<sup>[15-18]</sup>,选取了降水量( $x_1$ )、灌溉率( $x_2$ )、水资源开发利用程度( $x_3$ )、生活用水定额( $x_4$ )、人均供水量( $x_5$ )、生态环境用水率( $x_6$ )等 6 个主要因素作为评判因素。降水量( $x_1$ ):多年平均降水量;灌溉率( $x_2$ ):灌溉面

积/耕地面积(%);水资源开发利用程度为( $x_3$ ):现状 75%频率供水量与水资源总量之比;生活用水定额( $x_4$ ):生活用水量与总人口之比;人均供水量( $x_5$ ):频率 75%的供水量与总人口数量之比;生态环境用水率( $x_6$ ):生态环境用水量/总水量(%). 这些因素对江西省水资源影响较大,其具体指标详见表 2。

表 2 江西省各行政分区评价因素指标统计

行政分区	降水量/ mm	灌溉率/%	水资源开发 利用程度/%	生活用水定额/ (L/(人·d))	人均供水量/ (m <sup>3</sup> /人)	生态环境用 水率/%
南昌市	1 179.8	76.7	68.55	133.0	719.0	7.16
景德镇	1 526.7	61.7	20.49	126.9	529.2	0.19
萍乡市	1 551.6	57.9	21.42	119.2	434.5	0.24
九江市	1 201.8	60.8	19.15	121.2	501.1	0.13
新余市	1 525.0	55.2	35.46	126.7	713.2	0.39
鹰潭市	1 619.3	58.3	17.41	122.1	580.2	0.11
赣州市	1 329.2	72.0	15.70	120.6	385.8	0.11
宜春市	1 469.5	65.5	30.52	120.0	805.1	0.12
上饶市	1 565.0	50.5	14.25	112.6	451.4	0.06
吉安市	1 294.3	90.6	25.74	115.6	792.5	0.09
抚州市	1 506.8	57.2	16.38	118.1	615.3	0.08
江西省	1 392.0	65.3	22.02	120.6	579.8	0.41

注:表中数值均由表 1 中的原始数据计算所得。

按照评判因素对江西省水资源承载能力的影响程度,并借鉴了其它水资源一些评价标准<sup>[19-21]</sup>,将评判因素对水资源可持续利用的影响程度化分为3个等级,每个因素各等级的数量指标详见表3。其中Ⅰ级属情况较好,表示该区水资源利用程度、发展规模都较小,因而这时该区发展对水资源的需求是有保障的,该区水资源供给情况较为乐观。Ⅲ级属状况较差,表示了水资源承载能力已接近其饱和值,进一步开发利用潜力较小,发展下去将发生水源短缺,水资源进一步开发必然导致环境恶化,出现不可持续发展。Ⅱ级情况则介于上两级之间,表明该区水资源开发利用已有相当规模,但仍有一定的开发利用潜力,区内国民经济发展对水资源供给需求是有一定保证的。

## 2.2 水资源承载能力综合评价

根据表1,由公式(3)~(6)求得水资源承载力的指标相对隶属度矩阵 $R$ 与指标标准值相对隶属度矩阵 $S$ (略)。

$$U = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.299 & 0.845 & 0.644 & 0.681 & 0.640 & 0.590 & 0.651 & 0.540 & 0.621 & 0.614 & 0.611 \\ 0.059 & 0.559 & 0.010 & 0.012 & 0.019 & 0.008 & 0.091 & 0.002 & 0.001 & 0.008 & 0.008 & 0.057 \\ 0.149 & 0.142 & 0.145 & 0.344 & 0.300 & 0.352 & 0.319 & 0.347 & 0.459 & 0.371 & 0.038 & 0.331 \end{bmatrix}$$

应用级别特征值公式(14),求得江西省及各城市的级别特征值(表4)。

$$H = (1, 2, 3) \cdot \begin{bmatrix} 0.792 & 0.299 & 0.845 & 0.644 & 0.681 & 0.640 & 0.590 & 0.651 & 0.540 & 0.621 & 0.614 & 0.611 \\ 0.059 & 0.559 & 0.010 & 0.012 & 0.019 & 0.008 & 0.091 & 0.002 & 0.001 & 0.008 & 0.008 & 0.057 \\ 0.149 & 0.142 & 0.145 & 0.344 & 0.300 & 0.352 & 0.319 & 0.347 & 0.459 & 0.371 & 0.038 & 0.331 \end{bmatrix} \\ = (1.357, 1.773, 1.3, 1.7, 1.619, 1.712, 1.729, 1.696, 1.919, 1.75, 0.744, 1.718)$$

表4 江西省水资源可持续利用评价结果

分区	南昌	景德镇	萍乡	九江	新余	鹰潭	赣州	宜春	上饶	吉安	抚州	江西省
级别特征值	1.357	1.773	1.3	1.7	1.619	1.712	1.729	1.696	1.919	1.75	0.744	1.718
评价等级	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ

根据表4的评价结果可知,景德镇、九江、新余、鹰潭、赣州、宜春、上饶、吉安地区及整个江西省水资源可持续利用等级为Ⅱ级,水资源开发利用已有相当的规模,但仍有一定的开发潜力。江西省各行政区中,南昌、萍乡、抚州地区水资源可持续利用状况较乐观一些,评价等级为Ⅰ级,水资源开采的空间还比较大,可为今后的经济发展、环境保护提供一定水源。各市的水资源可持续性大小顺序为:抚州市>萍乡市>南昌市>新余市>宜春市>九江市>鹰潭市>赣州市>吉安市>景德镇市>上饶市。总的来说,今后江西省在水资源进一步开发上,应由耗水型经济结构向节水型经济结构转变。同时,要加强水资源的综合管理,特别注重节约用水,以便科学、合理地利用有限水资源。

表3 各评价因素分级指标

评价因素	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
降水量/mm	≥450	375	≤300
灌溉率/%	≤20	40	≥60
水资源开发利用程度/%	≤30	50	≥70
生活用水定额(L/人·d)	≤70	100	≥130
人均供水量(m <sup>3</sup> /人)	≥4 500	3 500	≤2 500
生态用水率/%	≥5	3	≤1

评价指标的权重对计算结果的合理性具有重大影响。在对系统进行评价时,应根据各因素的重要程度分别赋予不同的权重,才能客观、准确地把握系统的特点,揭示其发展规律。根据江西省的具体情况,结合专家打分法(Delphi法)<sup>[22]</sup>,比较指标间的重要程度,采用概述层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)构造评价矩阵<sup>[23]</sup>,确定各评价指标权重为:

$$w = [0.2, 0.15, 0.2, 0.15, 0.2, 0.1]$$

应用模糊识别模型(公式13)求得各行政区对各个级别水资源可持续利用程度的相对隶属度矩阵

## 3 结论

(1) 在分析江西省水资源利用现状的基础上,根据区域水资源存在的问题,用模糊识别理论对江西省水资源可持续利用进行了评价。结果表明,江西省水资源可持续利用等级为Ⅱ级,水资源开发利用已有相当的规模,但仍有一定的开发潜力。

(2) 江西省地处我国南方湿润地区,水资源相对丰沛,但同时需水量也大,单位水的效益较低。随着经济社会的发展,用水量的不断增长和用水结构的变化,水资源供需矛盾日益突出,水资源短缺和水环境恶化问题已严重影响了经济社会的可持续发展。只有保护水资源、合理并可持续开发利用水资源,达到人与水环境的协调统一,水资源才能真正为社会经济

的可持续发展服务。

(3) 应用多级模糊识别方法对水资源可持续利用程度进行评价,相比于模糊综合评价法,不需要建立隶属度函数;相比于投影寻踪方法,计算量少,运算简洁。模糊识别方法综合考虑了各评价因素的有效信息,方法简单,易于推广应用,是一种简单高效的方法。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 陈家琦,王浩,杨小柳,等. 水资源学[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [2] 黄初龙,邓伟,杨建锋. 中国东北地区农业水资源利用水平灰色聚类评价干旱区研究[J]. 2006,23(2):229-235.
- [3] 徐中民. 情景基础的水资源承载力多目标分析理论及应用[J]. 冰川冻土,1999,21(2):100-106.
- [4] 王学会,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,2005,25(6):944-949.
- [5] 刘玉邦,梁川. 基于模糊物元分析的长江上游水资源承载力综合评价[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(3):40-42.
- [6] 董增川,王声锋. 基于模糊识别理论的江西省水资源承载力分析[J]. 灌溉排水学报,2008,28(1):60-64.
- [7] 2009年江西水资源公报[R]. 江西:江西省水文局,2009.
- [8] 吴敦银,喻中文,王凤. 江西省水资源分布与旱灾发生规律初探[J]. 江西水利科技,2005,31(1):31-33.
- [9] 龙兴,胡魁德,喻中文. 江西水资源问题研究[J]. 水文,2009,29(5):79-82.
- [10] 陈守煜. 工程模糊集理论及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1998:24-39.
- [11] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 吉林 长春:吉林大学出版社,2002.
- [12] 李亚伟,陈守煜,傅铁. 基于模糊识别的水资源承载力综合评价[J]. 水科学进展,2005,16(5):726-729.
- [13] 姚治君,王建华,江东,等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论分析[J]. 水科学进展,2002,13(1):111-115.
- [14] Meng Lihong, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Fuzzy comprehensive evaluation model for water resources carrying capacity in Tarim River Basin, Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(1): 89-95.
- [15] Jay Walmsley. Indicators of sustainable development for catchments management in South Africa Review of indicators from around the world[J]. Water SA, 2001, 27(4):539-550.
- [16] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 北京:水利电力出版社,1987:78-103.
- [17] 潘理中. 中国水资源与世界各国水资源统计指标的比较[J]. 水科学进展,1996,7(4):376-380.
- [18] 左东启,戴树声,袁汝华,等. 水资源评价指标体系研究[J]. 水科学进展,1996,7(4):367-373.
- [19] 秦莉云,金忠青. 淮河流域水资源承载能力的评价分析[J]. 水文,2001,21(3):14-17.
- [20] 黄永基,马滇珍. 区域水资源供需分析方法[M]. 江苏南京:河海大学出版社,1990:244-257.
- [21] 许有鹏. 干旱地区水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报,1993,8(3):230-234.
- [22] 潘兴瑶,夏军,李法虎,等. 基于GIS的北方典型区水资源承载力研究:以北京市通州区为例[J]. 自然资源学报,2007,22(4):664-671.
- [23] 孙栋元,赵成义,李菊燕,等. 基于层次分析法的干旱内陆河流域生态环境需水评价:以新疆台兰河流域为例[J]. 水土保持通报,2011,31(5):108-114.