

基于 PSO - PPE 模型的和田水资源承载力评价研究

吴雪梅, 塔西甫拉提·特依拜, 买买提·沙吾提, 张 飞

(新疆大学资源与环境科学学院, 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 为了定量评价和田地区水资源承载力, 指导该地区水资源与社会、经济和生态系统协调发展, 本文从“水资源—社会—经济—生态环境”复合系统角度出发, 构建具有区域特色的水资源承载力评价指标体系, 采用基于粒子群优化算法的投影寻踪评价模型(PSO - PPE 模型), 对和田地区 2005—2012 年水资源承载力进行综合评价, 并结合回归分析法对具有明显影响作用的指标进行分析。结果表明: 和田八年来水资源承载力处于 II 级, 属于弱无压力状态, 反映该区水资源承载力满足目前社会经济的发展需求, 但不表明该地区不属于缺水地区; 其中人均水资源量、水资源开发利用、城镇化率的高低对水资源承载力综合评价价值的大小具有较高影响; 从长期发展规划来看, 需结合干旱区绿洲发展特点, 制定科学合理的水资源管理和利用措施, 以保障水资源与社会经济的可持续发展。

关键词: 水资源承载力; PSO - PPE 模型; 和田

中图分类号: S273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)02-0228-06

Evaluation Research for the Carrying Capacity of Water Resources in Hetian Based on the PSO - PPE Model

WU Xue-mei, Tashpolat Tiyp, Mamat Sawut, ZHANG Fei

(Xinjiang university resources and environmental science institute,

Xinjiang University Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: In order to quantitatively evaluate the carrying capacity of water resources in Hetian Prefecture, guide the cooperative development of the water resources with the society, economy and ecological system in this region, this paper starts from the compound system of water resources-society-ecological environment, establish the evaluation indexed system for the carrying capacity of water resources with the regional characteristics. Then using the PSO-PPE model based on the particle swarm optimization, and analyzed the indexes which has a significant effect combined with the regression analysis method. The results showed that: The carrying capacity of water resources in Hetian was the class II within the eight years, it belonged to the situation of weak and less pressure, reflected that carrying capacity of water resources in the region can be met the current social economic developing requirement. But it does not indicate that this region isn't belong to the water-scarce areas; Among them the height and lowness of the water resource per capita, the development and utilization rate of water resources, the urbanization rate have the rather high impact to the size of the evaluation value for the carrying capacity of water resources. Judging from the long-term development planning, it needs to combine with the characteristics of the oasis development in arid areas, to draw up the scientific and rational water resources management and utilization measures to ensure the sustainable development of the water resources and socio-economy.

Keywords: carrying capacity of water resources; PSO - PPE model; Hetian Prefecture

水资源承载力是区域水生态系统在水管理和社会经济达到最优化时, 所承载的最大可持续水平, 可揭示区域发展存在的主要问题, 是区域实施可持续发展战略的判断依据^[1-2]。有学者将区域水资源承载力定义为: 在一定经济社会和科学技术发展水平

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^[3]。水资源承载力评价是一个涉及“水资源—社会—经济—生态环境”复合系统下的综合研究过程^[4]。研究方法已从单一指标、静态分

收稿日期: 2013-08-27

基金项目: 国家自然科学基金重点基金联合项目(U1138303); 教育部长江学者和创新团队项目(IRT1180)

作者简介: 吴雪梅(1989—), 女, 重庆涪陵人, 硕士, 主要研究方向为遥感与地理信息系统。E-mail: wxm987year@126.com。

通信作者: 塔西甫拉提·特依拜, 男, 维吾尔族, 新疆伊宁市人, 教授, 研究方向为生态学与地理学。E-mail: tash@xju.edu.cn。

析转变为系统多指标、动态的综合分析^[5]。目前,已有大量学者从不同角度、应用不同方法对水资源承载力进行评价,袁伟等通过承载指数计算分析黑河流域水资源承载能力,计算承载压力度,提出水资源发展模式的优化配置^[6];苏永红等利用模糊综合评价法对石羊河流域水资源承载力进行定量评价^[7];潘兴瑶等利用系统动力学法评价北京通州区水资源承载力,建立评价指标数据库,提出区域水资源承载力综合评价模型,分析区域水资源承载力空间差异^[8];何仁伟等采用生态足迹法对贵州毕节地区进行分析,得出五种水资源承载力系统动力学模型,并综合分析调控优化方案^[9];惠泱河等探讨了二元模式下的水资源承载力内涵,探讨其系统动力学研究的可行性,并建立系统动力学动态仿真模型^[10];张军通过生态足迹法对疏勒河流域水资源承载力进行评价^[11],肖迎迎利用主成分分析法对榆林市开展水资源承载力评价研究^[12]。但模糊评价法指标权重赋值多具有主观性,系统动力学研究变量众多、对数据要求较高,在一定程度上减弱了指标特征信息的综合评价结果。

投影寻踪评价(projection pursuit evaluation,简称 PPE 模型)是一种新兴的、能够有效处理高维、复杂非线性数据的技术方法^[13],已广泛应用于各种资源评价的问题研究中。本文选用对优化对象线性度等信息不敏感的粒子群优化算法进行优化处理^[14],粒子群优化算法(particle swarm optimization,简称 PSO)是通过模拟鸟群觅食行为而发展起来的一种基于群体协作的随机搜索算法。本文应用 PSO - PPE 模型研究水资源承载力综合评价值,其优势是可为涉及多目标、多因素的水资源承载力评价提供思路和新的研究方法,以期揭示和田从 2005—2012 年水资源承载力情况,为该地区水资源可持续发展提供可靠依据,并为水资源承载力综合评价提供新的研究方法和思路。

1 PPE 模型构建

20 世纪 60 年代末 Krusca 首次使用 PPE 模型,其对于分析和处理高维观测数据,尤其是非线性、非正态高维数据十分有效,它可将高维数据投影到低维空间,通过计算,极大化一个反映数据聚集程度的指标,从而找到反映数据结构特征的最优投影方向,其模型得到广泛应用^[15]。PPE 模型的建模过程如下所示^[16-17]:

第一步:指标归一化处理。设指标值样本集为 $\{x^*(i,j) | i = 1,2,\dots,n; j = 1,2,\dots,p\}$,其中 $x^*(i,$

$j)$ 为第 i 个样本第 j 个指标值, n, p 分别为样本和指标的个数。采用以下公式进行数据归一化处理:

$$x(i,j) = \begin{cases} \frac{x^*(i,j)}{x_{\max}(j)} & \text{越大越优(正向) 指标} \\ \frac{x_{\min}(j)}{x^*(i,j)} & \text{越小越优(逆向) 指标} \end{cases} \quad (1)$$

第二步:构造投影指标函数 $Q(a)$ 。PPE 模型是把 P 维数据 $\{x(i,j) | j = 1,2,\dots,p\}$ 综合成 $a = \{a(1), a(2), a(3), \dots, a(p)\}$ 为投影方向的一维投影值 $z(i)$,即:

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j)x(i,j) \quad (i = 1,2,\dots,n) \quad (2)$$

其中, a 为单位长度向量, $\sum_{j=1}^p a_j = 1$, 投影指标函数可以表达成:

$$Q(a) = S_z D_z \quad (3)$$

其中, S_z 为投影值 $z(i)$ 的标准差; D_z 为投影值 $z(i)$ 的局部密度。即:

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z(i) - E(z)]^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [R - r(i,j)] \cdot u[R - r(i,j)] \quad (5)$$

式中, $E(z)$ 为序列 $\{z(i) | i = 1,2,\dots,n\}$ 的平均值; R 取值为 $0.1S_z$,为局部密度的窗口半径; $r(i,j) = |z(i) - z(j)|$,为样本之间的距离;设 $k = R - r(i,j)$, $u(k)$ 为单位阶跃函数,当 $k \geq 0$ 时, $u(k) = 1$;当 $k < 0$ 时, $u(k) = 0$ 。

第三步:粒子群优化投影指标函数。当各评价指标分级标准样本集给定时,投影指标函数 $Q(a)$ 仅随投影方向 a 的变化而变化。通过求解投影指标函数最大化问题来估计最佳投影方向,即最大化目标函数:

$$\max Q(a) = S_z \cdot D_z \quad (6)$$

第四步:评价值计算。从第三步求的最大化目标函数 $Q(a)$ 中的最佳投影方向 a^* 代入式(2),得到评价指标分级标准样本集中各等级分界点的最佳投影值 $z_s^*(i)$,将待评价区域水资源承载力指标样本归一化处理后,代入式 2,得到待评价样本的投影值 $z^*(i)$ 。将 $z^*(i)$ 与评价标准投影值 $z_s^*(i)$ 进行比较,获得基于评价标准的区域水资源承载力所属等级。

1.2 PSO 优化算法

Eberhart 和 Kennedy 博士最先使用 PSO 优化算法,是一类模仿生物进化的优化算法^[18]。在 PSO

中,每个优化问题的解设为搜索空间的一个粒子,由被优化的函数决定适应值(fitness),每个粒子有速度决定各自飞行的方向和距离,并根据适应值评价粒子的最佳位置。PSO 初始化随机解,通过迭代找到最优解,每一次迭代粒子通过跟踪两个极值更新自身,一个是粒子本身找到的最优解,叫个体极值 p_{best} ,另一个是整个种群目前找到的最优解,成为全局极值 g_{best} ^[19-20]。

2 和田水资源承载力评价

2.1 研究区域概况

和田位于新疆维吾尔自治区最南端,南临昆仑山和喀喇昆仑山,北部深入塔克拉玛干大沙漠腹地。东西长约 67 km,南北宽约 264 km,总面积 24.78 万 km^2 ,其中山地占 33.3%,沙漠戈壁占 63%,绿洲仅占 3.7%,属干旱荒漠性气候。境内从东到西分布

着克里雅河、策勒河、玉龙喀什河、喀拉喀什河、皮山河等发源于昆仑山和喀喇昆仑山的大小河流 36 条。河流季节反差极大,夏季洪涝,秋冬严重干旱,春季极为缺水,水资源时空、地域分配不均匀等因素。新疆绿洲区是生态敏感和环境退化区,也是社会适应和经济适度脆弱区^[21],水资源是绿洲实现可持续发展的保障^[22],因此,科学评价水资源承载力对于区域水资源可持续利用和区域经济发展具有重要的现实意义。

2.2 水资源承载力评价指标体系构建

遵循评价指标体系建立的目的性、科学和规范性、动态性和整体性、层次性原则^[23],参阅国内学者相关研究成果^[24-26],从水资源、社会系统、经济系统和生态环境系统出发,构建和田水资源承载力评价指标体系,如下图 1 所示。

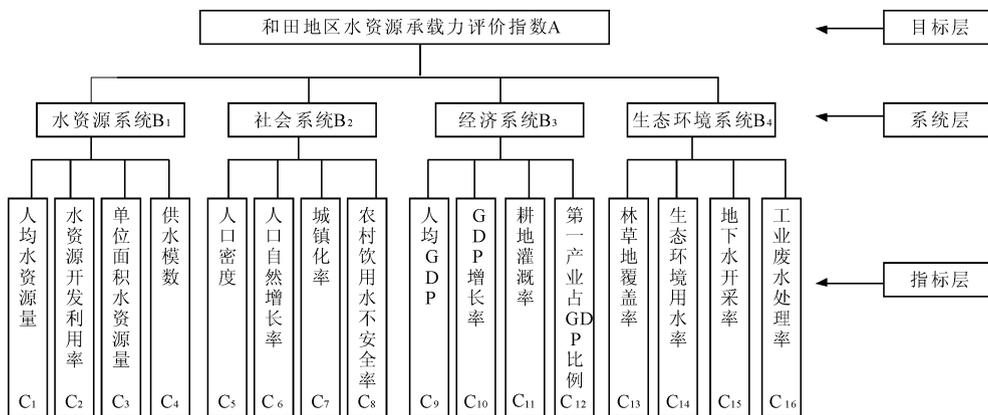


图 1 和田地区水资源承载力评价指标体系

Fig.1 Evaluation index system for carrying capacity of water resources in Hetian Prefecture

2.3 评价指标体系分级标准确定

在参考胡吉敏^[27]分析国际、国家标准的基础上,结合和田区域特点,确定水资源承载力评价分级标准,将分级标准划分为 5 个等级,结果如表 1 所示。

I 级为水资源承载力高级别,处于强无压力状态,水资源开发利用初步具有规模,利用潜力大,满足社会经济的可持续发展要求;III 级为承载力中等级别,水资源与社会、经济、生态环境处于平衡状态,水资源利用已具有规模,但仍有一定开发潜力,利用程度和社会经济发展速度较为协调;V 级为水资源承载力最弱级别,此时处于强压力状态,承载能力基本达到饱和状态,进一步开发利用的潜力较小,水资源供给不能满足社会经济发展需求。II 级、IV 级分别介于 I 级、III 级和 III 级、V 级之间,属于过渡级别,当区域采取合理的管理方式和开发利用方式时,级别较好的 II 级/IV 级水资源承载力可能转移到 I

级/III 级,而出现不利管理措施时,过渡级别的水资源承载力会向着 III 级/V 级不利的方向发展。

2.4 和田地区多年水资源承载力评价

2.4.1 建立 PPE 模型 利用 Matlab 编制基于粒子群优化算法的投影寻踪评价模型(PSO - PPE)程序。通过对 PSO 优化算法经验参数的设定和程序的调试,可得到函数最优值。首先将评价指标分级标准归一化,得到初始投影方向 a , 其为单位长度向量, $a = (0.0615, 0.0622, 0.0627, 0.0615, 0.0619, 0.0616, 0.0627, 0.0629, 0.0615, 0.0627, 0.0621, 0.0618, 0.0641, 0.0625, 0.0653, 0.0629)$ 。参数设置如下:种群规模 $N = 400$,学习因子 $c_1 = c_2 = 2$,惯性权重 $w = 0.9965$,最大迭代次数 $\text{Max DT} = 50$,空间维数 $D = 16$ 。在 Matlab 环境下运行 PSO - PPE 程序,得出最佳投影方向为 $a^* = (0.7366, 0.6625, 0.2832, 0.7152, 0.6033, 0.0557, 0.3673, 0.6679, 0.2582,$

0.3812, 0.7234, 0.5151, 0.7070, 0.3641, 0.6302, 0.7205), 投影指标函数最大值 $Q^*(a) = 0.0474$ 。将 a^* 代入公式(2)可得到评价指标分级标准的最佳投影值 $z_s^*(i) = (1.0000, 0.5302, 0.3292, 0.2222)$ 。由此可知和田地区水资源承载力评价等级标准 I - II 级分界点最佳投影值 $z_s^*(1) = 1.000$, II - III 级最佳投影值 $z_s^*(2) = 0.5302$, III - IV 级最

佳投影值 $z_s^*(3) = 0.3292$, IV - V 级最佳投影值 $z_s^*(4) = 0.2222$ 。

2.4.2 水资源承载力等级评价分析 本文参考 2005—2012 年《新疆统计年鉴》、《和田地区国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》、《新疆维吾尔自治区水资源公报》等资料,通过实地考察,收集并整理评价指标统计值如表 2 所示。

表 1 和田地区水资源承载力评价指标分级标准

Table 1 The classification criteria of evaluation index for carrying capacity of water resources in Hetian

指标 Index	指标类型 Index type	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
		强无压力 Very weak	弱无压力 Less weak	平衡 Balance	弱压力 Less strong	强压力 Very strong
$C_1/(m^3 \cdot 人^{-1})$	正	> 8000	1700 ~ 8000	1000 ~ 1700	500 ~ 1000	< 500
$C_2/\%$	逆	< 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	> 60
$C_3/(10^4 m^3 \cdot km^{-1})$	正	> 60	35 ~ 60	20 ~ 35	15 ~ 20	< 15
$C_4/(10^4 m^3 \cdot km^{-1})$	逆	< 1	1 ~ 3	3 ~ 10	10 ~ 15	> 15
$C_5/(人 \cdot km^{-2})$	逆	< 25	25 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 300	> 300
$C_6/\%$	逆	< 2	2 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	> 20
$C_7/\%$	正	> 60	50 ~ 60	30 ~ 50	15 ~ 30	< 15
$C_8/\%$	逆	< 15	15 ~ 25	25 ~ 40	40 ~ 50	> 50
$C_9/\bar{\pi}$	逆	< 0.3	0.3 ~ 0.66	0.66 ~ 2.5	2.5 ~ 7.74	> 7.74
$C_{10}/\%$	逆	< 5	5 ~ 10	> 10 ~ 15	> 15 ~ 20	> 20
$C_{11}/\%$	逆	< 10	10 ~ 20	20 ~ 50	50 ~ 60	> 60
$C_{12}/\%$	逆	< 3	3 ~ 12	12 ~ 15	15 ~ 30	> 30
$C_{13}/\%$	正	> 30	25 ~ 30	20 ~ 25	15 ~ 20	< 10
$C_{14}/\%$	逆	< 1	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 5	> 5
$C_{15}/\%$	逆	< 0.8	0.8 ~ 0.9	0.9 ~ 1	1 ~ 1.1	> 1.2
$C_{16}/\%$	正	> 80	60 ~ 80	40 ~ 60	20 ~ 40	< 20

表 2 和田地区水资源承载力评价指标统计值

Table 2 Statistical values of evaluation index for carrying capacity of water resources in Hetian

指标 Index	年份 Year							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
$C_1/(m^3 \cdot 人^{-1})$	5027	5027	6734	7114	4974	5174	4144	7421
$C_2/\%$	45.67	45.67	32.53	30.92	43.49	44.66	57.20	30.39
$C_3/(10^4 m^3 \cdot km^{-2})$	35.47	35.47	4.93	5.26	37.35	39.40	32.15	61.29
$C_4/(10^4 m^3 \cdot km^{-2})$	16.20	16.20	16.05	16.26	16.24	17.60	18.39	18.62
$C_5/(人 \cdot km^{-2})$	7.11	7.33	6.46	7.56	7.67	7.85	8.02	8.33
$C_6/\%$	12.37	12.73	11.56	10.76	12.43	18.35	11.70	13.47
$C_7/\%$	35.15	37.20	35.50	39.20	39.60	39.90	36.20	43.50
$C_8/\%$	70.46	38.24	61.00	35.90	35.11	46.18	30.94	21.38
$C_9/\bar{\pi}$	2445	2712	3005	3405	3928	4583	5181	6172
$C_{10}/\%$	11.10	10.90	11.00	9.90	11.00	8.10	10.60	12.00
$C_{11}/\%$	0.64	0.65	0.75	0.66	0.66	0.67	0.66	0.67
$C_{12}/\%$	20.21	18.97	17.33	17.85	16.44	17.76	19.84	17.23
$C_{13}/\%$	16.20	16.22	16.21	16.22	16.23	16.28	16.25	16.26
$C_{14}/\%$	7.28	7.28	7.25	7.28	7.68	5.77	5.61	2.11
$C_{15}/\%$	6.70	6.70	5.46	4.16	8.03	5.98	8.59	5.19
$C_{16}/\%$	44.91	63.64	65.15	70.55	72.68	70.35	63.44	64.39

根据上述 PSO - PPE 模型的理论步骤,在 Matlab 环境下运行调试后的程序,得到和田地区 2005—2012 年最佳投影值 $z^*(i) = (0.7480, 0.7775, 0.7791, 0.8239, 0.7763, 0.7675, 0.7254, 0.8824)$ ($i = 1, 2, \dots, 8$), 通过比较研究区水资源承载力最佳投影值 z^* 和评价标准分界点最佳投影值 z_s^* 可得到近十年和田地区水资源承载力评价等级, 如图 2 所示。

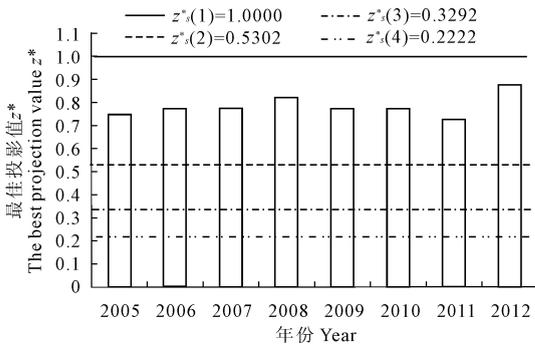


图 2 2005—2012 年和田地区水资源承载力所属等级判别
Fig. 2 Classification of carrying capacity of water resources in Hetian in 2005 to 2012

结合评价指标分级标准(表 1)和和田地区水资源承载力等级判别(图 2)分析可知,自 2005 年到 2012 年和田地区的水资源承载力都处于 II 级,水资源承载力综合评价价值依次为 0.7480, 0.7775, 0.7791, 0.8239, 0.7763, 0.7675, 0.7254, 0.8824; 多年平均承载力为 0.7850, 表明和田水资源处于弱无压力状态,但不能表明在西北干旱地区内,和田不属于缺水地区,而是指区域在现有社会经济发展水平下,该地区水资源处于 II 级状态。此状态是 I 级和 III 级的过渡级别,因此地区对于水资源的管理和开发利用方式是决定该区社会经济可持续发展的关键因素。

3 水资源承载力评价分析

通过分析 2005—2012 年水资源承载力综合评价与各评价指标之间的关系,试图通过回归分析解释干旱地区绿洲发展中各指标评价价值与水资源承载力综合评价之间的关系。其中回归分析的置信度为 90%, 分析结果如表 3 所示。

水资源承载力综合评价与人均水资源量 (C_1)、水资源开发利用率 (C_2)、城镇化率 (C_7) 相关性较为明显,其相关系数 R^2 分别为 0.7743, 0.7083, 0.6165; 标准误差分别为 0.0275, 0.0294, 0.0337; Significance F 也即概率 P 值分别为 0.0124, 0.0176, 0.0364, 概率都小于 0.1, 说明 C_1 、 C_2 、 C_7 与该地区水资源承载力具有较高的相关性, 回归分析结果如图 3 所示。

表 3 承载力与各评价指标的回归分析

Table 3 Regression analysis of evaluation indexes for carrying capacity

指标 Index	R^2	线性回归方程 Equation of linear regression	标准误差 Standard deviation	Significance F
C_1	0.7443	$y_1 = 0.251x_1 + 0.594$	0.0275	0.0124
C_2	0.7083	$y_2 = 0.227x_2 + 0.613$	0.0294	0.0176
C_3	0.0918	$y_3 = 0.046x_3 + 0.767$	0.0519	0.5089
C_4	0.0208	$y_4 = -0.118x_4 + 0.902$	0.0539	0.7577
C_5	0.0580	$y_5 = -0.165x_5 + 0.931$	0.0529	0.6030
C_6	0.0004	$y_6 = 0.007x_6 + 0.784$	0.0544	0.9678
C_7	0.6165	$y_7 = 0.625x_7 + 0.234$	0.0337	0.0364
C_8	0.3708	$y_8 = 0.148x_8 + 0.670$	0.0432	0.1467
C_9	0.0441	$y_9 = -0.057x_9 + 0.826$	0.0532	0.6514
C_{10}	0.1188	$y_{10} = -0.163x_{10} + 0.918$	0.0511	0.4491
C_{11}	0.0044	$y_{11} = 0.077x_{11} + 0.717$	0.0543	0.8882
C_{12}	0.2328	$y_{12} = 0.420x_{12} + 0.404$	0.0477	0.2728
C_{13}	0.0004	$y_{13} = 0.668x_{13} + 0.124$	0.0477	0.2728
C_{14}	0.5552	$y_{14} = 0.141x_{14} + 0.732$	0.0363	0.0546
C_{15}	0.4702	$y_{15} = 0.192x_{15} + 0.657$	0.0396	0.0890
C_{16}	0.0002	$y_{16} = 0.014x_{16} + 0.777$	0.0545	0.9737

C_1 是当地多年平均水资源总量与总人口的比值, 是反映地区水资源供需关系是否紧张的指标。结合表 2 统计值分析可知, 人均水资源量从 2005 年的 $5\ 027\ \text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$ 增长至 2012 年的 $7\ 421\ \text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$, 虽然 2009 年和 2011 年人均水资源量较小, 但总体趋势是逐渐增长的。这是由于此年的水资源总量有了显著减少, 2008 年总量为 131.0 亿 m^3 , 2009 年则只有 93.06 亿 m^3 , 2011 年仅为 80.10 亿 m^3 , 是历年来水资源总量最少的一年。另一方面由于和田土地面积为 24.91 万平方千米, 人口总量在 2012 年达到 207.58 万人, 人口密度仅为 $8.3\ \text{人} \cdot \text{km}^{-2}$, 而世界平均人口密度则有 $33\ \text{人} \cdot \text{km}^{-2}$ 。在全球气温上升的背景下, 和田地区山区融雪量增加, 导致水资源总量逐渐增加, 而新疆地广人稀的地域特点使得该评价体系所的水资源承载力评价结果值出现较好的态势。由于水资源承载力是一个综合评价, 因此水资源增加和地广人稀的特点使得和田地区表现出水资源承载力处于弱压力级别。

C_2 是水资源开发利用率, 体现水资源开发利用的程度, 是区域用水量占水资源总量的比率, 国际公认低于 40% 为河流合理的开发利用。除了 2011 年和田水资源开发利用率高达 57.20% 之外, 其余年份都低于 50%, 甚至 2012 年只有 30.39%, 在该地区水资源总量增加的情况下, 地区用水量基本保持不变, 使得开发利用有明显下降趋势。这也是该

地区水资源承载力逐渐表现出较好趋势的原因之一。

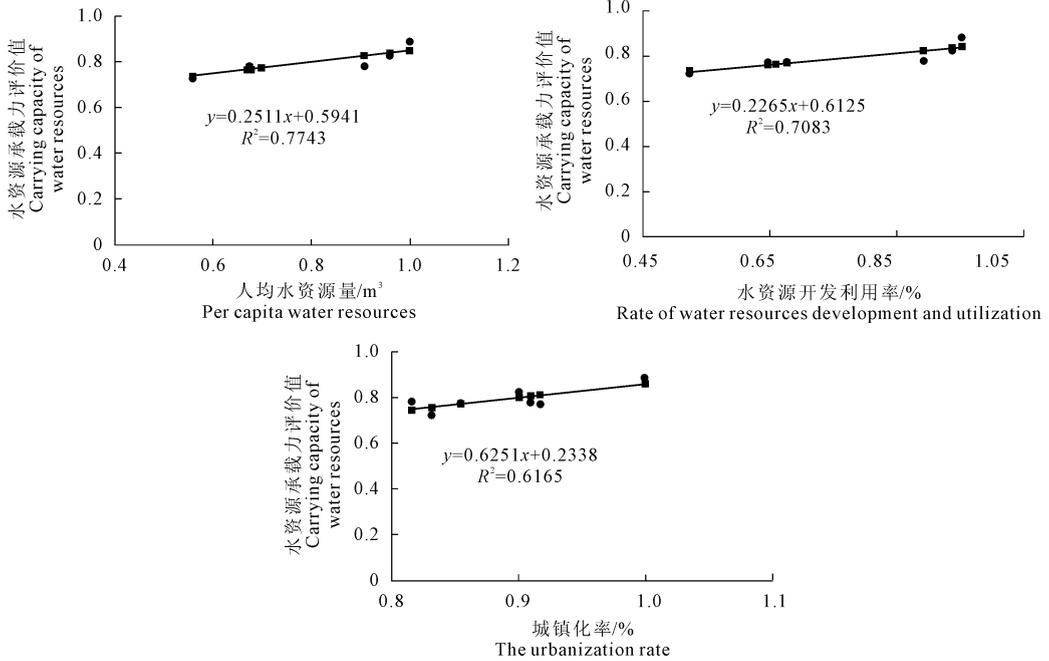


图 3 水资源承载力分别与指标间的关系

Fig.3 The relationship between carrying capacity of water resources with the index

C_7 是城镇化率指标,反映地区社会组织程度和管理水平的高低,也是地区经济发展的重要标志,具体表现有区域景观变化、产业结构转变、生产生活方式变革等内容。多年耕地面积都为 17.26 万 km^2 ,未出现较大增长;从产业结构转变看,2005 年第一产业占 GDP 的比值为 20.21%,到 2012 年占到 17.23%,呈现不平稳的下降趋势。而人均 GDP 有了快速增长,从人均 2 445 元增长到 6 172 元,说明该地区产业结构转变有利于城镇化的发展。

4 结 论

1) 在参阅国内大量学者研究的基础上,结合中国西北干旱地区绿洲发展具有生态脆弱性等的区域特点,构建了和田地区水资源承载力综合评价体系,同时确定指标分级标准,可真实反映该地区水资源承载力现状,为多目标、多因素的水资源承载力综合评价提供一条可行之路。

2) 建立 PSO - PPE 模型,该模型避免权重确定的主观性,评价结果科学合理,为水资源承载力研究提供可行方法。对和田地区近十年水资源进行承载力分析,结果表明该地区多年处于 II 级水资源承载力状态中,属于弱无压力状态。其中,人均水资源量占有量增加、水资源开发利用提高以及城镇化率加快因素对水资源承载力综合评价具有较高的相关性,对评价的高低具有明显的影响作用。

随着城镇化速度加快,和田应结合区域特色,在全国开展“全面建设小康社会”的政策条件下,制定科学合理的水资源管理和利用策略,协调和平衡水资源在社会、经济、生态系统中的作用,实现水资源高效利用和社会经济的可持续发展。

参 考 文 献:

- [1] 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.
- [2] 毛汉英,余丹林.环渤海地区区域承载力研究[J].地理学报,2001,56(3):363-371.
- [3] 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探讨[J].地理研究,2010,65(1):82-90.
- [4] 朱一中,夏 军,谈 戈.关于水资源承载力理论与方法的研究[J].地理科学进展,2002,21(2):180-188.
- [5] 张永勇,夏 军,王中根.区域水资源承载力理论与方法探讨[J].地理科学进展,2007,26(2):126-132.
- [6] 袁 伟,郭宗楼,吴军林,等.黑河流域水资源承载能力分析[J].生态学报,2006,26(7):2108-2114.
- [7] 苏永红,冯 起,刘 蔚,等.应用模糊综合评判方法评价石羊河流域水资源承载力[J].干旱区研究,2009,26(2):169-175.
- [8] 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.
- [9] 何仁伟,刘邵权,刘运伟.基于系统动力学的中国西南岩溶区的水资源承载力—以贵州省毕节地区为例[J].地理科学,2011,31(11):1376-1382.

参 考 文 献:

- [1] 卢 瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤中重金属的化学形态分布[J]. 环境化学, 2003, (2): 131-136.
- [2] Tang S R, Wike B M, Huane C Y. The uptake of copper by plants dominantly growing on copper mining spoils along the Yangzi River, the People's Republic of China[J]. Plant and Soil, 1999, 209: 225-232.
- [3] 张素娟, 肖 玲, 关帅朋, 等. 蓝田冶炼厂周边农田土壤重金属复合污染分析评价[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5): 265-270.
- [4] 沈国清, 陆始通, 周 培. 土壤环境中重金属和多环芳烃复合污染研究进展[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2005, 23(1): 102-106.
- [5] 易治伍, 王 灵, 钱 翌, 等. 乌鲁木齐市农田土壤重金属含量及评价[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(2): 150-154.
- [6] 严 莎, 凌其聪, 严 森, 等. 城市工业区周边土壤—水稻系统中重金属的迁移累积特征[J]. 环境化学, 2008, 27(2): 226-230.
- [7] 党 志, 刘丛强, 尚爱安. 矿区土壤中重金属活动性评估方法的研究进展[J]. 地球科学进展, 2001, (6): 86-92.
- [8] 邓超冰, 李丽和, 王双飞, 等. 典型铅锌矿区水田土壤重金属污染特征[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2297-2301.
- [9] 孙 锐, 舒 帆, 赫 伟, 等. 典型 Pb/Zn 矿区土壤重金属污染特征与 Pb 同位素来源解析[J]. 环境科学, 2011, 32(4): 1146-1153.
- [10] Wei C Y, Wang C, Yang L S. Characterizing spatial distribution and sources of heavy metals in soils from mining-smelting activities in Shuikoushan, Hunan Province, China[J]. Journal of Environmental Science, 2009, 21: 1230-1236.
- [11] 郑 娜, 王起超, 郑冬梅. 铅冶炼厂周围重金属在土壤—蔬菜系统中迁移特征[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1349-1354.
- [12] 许中坚, 吴灿辉, 刘 芬, 等. 典型铅锌冶炼厂周边土壤重金属复合污染特征研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2007, 22(1): 111-114.
- [13] 王广林, 刘登义. 冶炼厂污灌区土壤—水稻系统重金属积累特征研究[J]. 土壤, 2005, 37(3): 299-303.
- [14] 张 飞. 土壤中重金属测定方法探讨[J]. 上海环境科学, 2010, 29(2): 74-77.
- [15] 张素荣, 曹星星. 对比不同消解方法测定土壤中重金属[J]. 环境科学与技术(增刊), 2004, 8(27): 49-51.
- [16] 王志强, 曹福成, 孔鲁裔. 微博消解与传统消化方法的比较[J]. 科学咨询导报, 2007, 23: 132.
- [17] 顾继光, 林秋奇, 胡 韧, 等. 矿区重金属在土壤—作物系统迁移行为的研究: 以辽宁省青城子铅锌矿为例[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 634-637.
- [18] 夏家洪, 骆永明. 关于土壤污染的概念和 3 类评价指标的探讨[J]. 中国农业生态学报, 2006, 22(1): 87-99.
- [19] 国家环境保护局, 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 87-90, 330-496.
- (上接第 233 页)
- [10] 惠洪河, 蒋晓辉, 黄 强, 等. 二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 191-198.
- [11] 张 军, 张仁陟, 周冬梅. 基于生态足迹法的疏勒河流域水资源承载力评价[J]. 草业学报, 2012, 21(4): 267-274.
- [12] 肖迎迎, 宋孝玉, 张建龙. 基于主成分分析的榆林市水资源承载力评价[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(4): 218-223, 235.
- [13] 付 强. 投影寻踪模型及其在水文水资源系统分析中的应用[J]. 黑龙江水专学报, 2008, 35(4): 80-85.
- [14] 顾 强, 程秀生. 基于粒子群算法的电动汽车 DCT 升档动力协调控制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 84-91.
- [15] 付 强, 赵小勇. 投影寻踪模型原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [16] 姜秋香, 付 强, 王子龙. 基于粒子群优化投影寻踪模型的区域土地资源承载力综合评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 319-324.
- [17] 吴承祯, 洪 伟, 洪 滔. 基于改进的投影寻踪的森林生态系统生态位位分级模型[J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 357-361.
- [18] 李 智, 郑 晓. 粒子群算法在农业工程优化设计中的应用[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 15-18.
- [19] 王西珍, 李 言, 成刚虎. 柴油机主运动机构运动精度可靠性算法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 184-189.
- [20] 杨伟新, 张晓森. 粒子群优化算法综述[J]. 甘肃科技, 2012, 28(5): 87-92.
- [21] 张军民. 干旱区生态安全问题及其评价原理—以新疆为例[J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1328-1332.
- [22] 凌红波, 徐海量, 史 薇, 等. 新疆玛纳斯河流域绿洲生态安全评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2219-2224.
- [23] 黄 彧. 武汉城市圈水资源承载力综合评价研究[D]. 湖南: 华中师范大学, 2012: 25-32.
- [24] 姜秋香, 付 强, 王子龙. 三江平原水资源承载力评价及区域差异[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 184-190.
- [25] 程怀文, 李玉文, 徐中民. 水资源短缺的社会适应能力理论及实证—以黑河流域为例[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1430-1439.
- [26] 王 俭, 张朝星, 于英谭, 等. 城市水资源生态足迹核算模型及应用—以沈阳市为例[J]. 应用生态学报, 2012, 23(8): 2257-2262.
- [27] 胡吉敏. 沿海地区水资源承载力评价研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008: 38-66.