

基于突变级数模型的玛纳斯河流域 水资源可持续利用评价

袁 勇

(新疆塔里木河流域阿克苏管理局, 新疆 阿克苏 841000)

【摘要】 水资源可持续利用能力评价是世界普遍关注的热点问题。本文以新疆玛纳斯河流域为例,构建了水资源可持续利用评价指标体系,该体系由水资源系统、社会系统、经济系统和生态环境系统4个子系统13项指标组成,将水资源可持续利用水平划分为高中低3类。采用突变级数法与改进障碍因子诊断模型对研究区不同时期水资源可持续利用水平进行评价,结果表明:不同时期(2000年、2010年与2020年),研究区水资源可持续利用水平均处于中等水平(综合值为0.689),为Ⅱ级,但其综合值由2000年的0.689提升至2020年的0.829;水资源开发利用率高、单位面积水资源量不足与林草覆盖率较低,已成为制约研究区水资源可持续利用的普遍问题。研究结果为区域水资源优化配置提供了重要参考。

【关键词】 水资源; 可持续利用; 改进障碍因子诊断; 突变级数法; 主成分分析; 玛纳斯河流域

中图分类号: TV213

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2017)07-0056-05

Evaluation on sustainable utilization of water resources in Manas River basin based on the mutated series model

YUAN Yong

(Xinjiang Tarim River Basin Aksu Administration, Aksu 841000, China)

Abstract: Evaluation of sustainable utilization ability of water resources is a hot topic focused all over the world. In the paper, Xinjiang Manas River basin is adopted as an example to construct sustainable utilization evaluation index system of water resources. The system is composed of 13 indicators of 4 subsystems, namely water resources system, social system, economic system and ecological environment system. Sustainable utilization level of water resources is divided into three levels, namely high level, medium level and low level. Mutated series model and improved obstacle factor diagnosis model are adopted for evaluating sustainable utilization level of water resources during different periods. The results show that the sustainable utilization level of water resources in the study area is in the medium level (comprehensive value is 0.689), namely grade II. However, the comprehensive value was increased from 0.689 in 2000 to 0.829 in 2020. High development and utilization rate of water resource, insufficient water resource quantity per unit area and low forest coverage have become common problems restricting sustainable utilization of water resources in the study area. The research results provide important reference for the optimal allocation of water resources in the region.

Key words: water resources; sustainable utilization; diagnosis of improbable obstacle factors; mutated series method; analysis of principal components; Manas River basin

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源,是一个国家和区域生存与发展的基本保障^[1-2]。随

着当前水资源短缺和水环境污染问题的加剧,区域水资源可持续利用能力评价研究已引起有关政府和学者的高度重视,其对合理、充分利用水资源以及促进区域社会、经济及生态环境的可持续发展具有重要指导意义^[3-5]。

新疆玛纳斯河流域位于天山北坡准噶尔盆地南缘,地形南高北低,流域总面积 8.432 万 km²。研究区属于典型的大陆性干旱气候,年均气温 6.8℃,平原区年均降水量为 110~200mm。该流域水系众多,由玛纳斯河、呼图壁河、金沟河、巴音沟河等众多河流组成,是新疆维吾尔自治区主要的农业生产区,也是自治区重要的粮、棉、糖生产基地。近年来,随着流域社会经济规模的发展壮大,农业耕地面积的增加以及人口的增长,水资源供需矛盾日益突出,生态环境趋于恶化,直接影响着绿洲经济—社会—生态系统的可持续发展^[5]。为此,开展该地区的水资源可持续利用能力综合评价便成为当务之急。本文在前人研究基础上,构建区域水资源可持续利用水平评价体系,采用突变级数法结合改进障碍因子诊断模型,剖析研究区水资源可持续利用能力及影响因素,以期为水资源高效合理利用和生态环境保护提供参考,为提高研究区水资源可持续利用水平提供新思路。

1 研究方法

1.1 突变级数法

突变理论由法国数学家勒内托姆于 1972 年创立^[6],该方法能够充分考虑各评价指标的相对重要性,计算方法较为客观、准确,目前广泛应用于资源环境、绩效考核等综合评价。其缺点在于选择主控变量和次控制变量时,往往依靠主观判断,这在一定程度上增加了主观干扰。

因此,本文在将突变级数法引入水资源可持续利用评价的同时,结合主成分分析法,合理确定模型控制变量的主次。其计算步骤如下:

- a. 建立突变评价指标体系。
- b. 确定指标体系各层次的突变类型。常见的突

变系统类型有尖点突变系统(具有 2 个子指标)、燕尾突变系统(具有 2 个子指标)和蝴蝶突变系统(具有 4 个子指标)。

c. 根据突变系统的分歧方程式将原始评价指标数据进行归一化处理。

d. 进行水资源可持续利用综合评价。对各突变系统类型的归一化处理,本质上是一种多维度的模糊隶属函数,根据模糊隶属函数的不同,划分不同的类别,本文按照互补准则,对控制变量(即评价指标)取平均值^[7]。

1.2 改进障碍度模型

在进行水资源可持续利用评价过程中,不仅要了解水资源在各个区域与不同时期的可持续利用水平,还应关注影响水资源可持续利用水平的因素,并对其进行内在分析,进而提高研究区的水资源可持续利用水平。因此,本文将障碍因子诊断模型与突变级数模型相结合进行研究分析。

首先,计算指标偏离度:

$$I_{ij} = 1 - x_{ij} \quad (1)$$

式中 I_{ij} ——第 j 个地区(或时期)第 i 项指标的偏离度;

x_{ij} ——第 j 个地区(或时期)的第 i 个指标的标准化值。

其次,利用归一化方法计算各被诊断指标控制变量偏离度的突变级数,并将该级数标准化后作为指标体系上一层的障碍度。同时反复利用该归一化方法,计算被诊断对象各层的障碍水平,进而实现各子系统对水资源可持续利用水平评价的障碍度测算,并根据障碍水平判定影响因素^[8]。

1.3 主成分分析(PCA)

在构建突变级数模型时,采用主成分法来确定指标体系中控制变量的主次关系。由于主成分法中的第一主成分代表了样本数据变异的最大方向,并且其与原始变量的相关性最强,因此,可将最大特征值对应的特征向量的各分量作为评价指标权重^[9],从而对评价

指标重要性进行排序。主成分分析法作为客观赋权法,与突变级数模型结合,实现了水资源可持续利用水平评价中各层次对应指标的横向顺序,也为突变级数模型的计算奠定了基础。

2 评价体系构建

根据文献[10]数据资料,研究区水资源可持续利用评价体系包括4个方面13项指标。其中,水资源系统包括人均水资源量(C1, m³)、水资源利用率(C2, %)、

单位面积水资源量(C3, 万 m³/km²)这3项指标;社会发展系统包括人口自然增长率(C4, %)、城镇化率(C5, %)、生活用水定额[C6, L/(d·人)]3项指标;经济发展系统包括工业万元产值需水量(C7, m³)、工业用水重复率(C8, %)、灌溉水利用系数(C9)、第三产业产值占GDP比例(C10, %)这4项指标;生态环境系统包括林草覆盖率(C11, %)、生态环境用水率(C12, %)、污水处理率(C13, %)这3项指标。研究区水资源可持续利用评价指标体系见表1。

表1 研究区水资源可持续利用评价指标体系及指标值

子系统	评价指标	I低	II中	III高	2000年	2010年	2020年
水资源系统	人均水资源量 C1/m ³	≤500	500~1700	≥1700	2582	3370	3454
	水资源利用率 C2/%	≥30	30~10	≤10	90.3	90.1	87.9
	单位面积水资源量 C3/(万 m ³ /km ²)	≤20	20~45	≥45	19.97	26.06	26.71
社会发展系统	人口自然增长率 C4/%	≥1.6	1.6~0.3	≤0.3	1.119	1.199	0.6
	城镇化率 C5/%	≤40	40~70	≥70	56	59.7	68.7
	生活用水定额 C6/[L/(d·人)]	≥130	130~70	≤70	108	118.9	137.9
经济发展系统	工业万元产值需水量 C7/m ³	≥100	100~20	≤20	135	83	54
	工业用水重复率 C8/%	≤30	30~80	≥80	53	62	70
	灌溉水利用系数 C9	≤0.5	0.5~0.9	≥0.9	0.66	0.68	0.71
	第三产业产值占GDP比重 C10/%	≤30	30~60	≥60	33.9	38.3	40
生态环境系统	林草覆盖率 C11/%	≤15	15~60	≥60	2.6	5.4	7.7
	生态环境用水率 C12/%	≤2	2~5	≥5	7.7	10.7	12.7
	污水处理率 C13/%	≤45	45~70	≥70	25	70	80

上述水资源可持续利用评价体系中,Ⅲ级表示水资源可持续水平高,潜力巨大;Ⅰ级表示水资源可持续水平低,潜力较小;Ⅱ级介于两者之间,表示水资源可持续利用水平为中等,仍有一定的利用潜力。

3 模型应用

本文以新疆玛纳斯河流域为例,根据其2000年、2010年及2020年评价指标值,结合评价体系临界值,利用突变级数法结合改进障碍因子诊断模型,剖析不同时期研究区水资源可持续利用水平变化及影响因素。

3.1 数据处理

为消除指标间量纲的差异,也为了更加方便地建立突变级数模型,需对原始数据进行归一化处理。

对正指标:

$$v(i, j) = \frac{x(i, j) - x_{\min}(i)}{x_{\max}(i) - x_{\min}(i)} \quad (2)$$

对负指标:

$$v(i, j) = \frac{x_{\max}(i) - x(i, j)}{x_{\max}(i) - x_{\min}(i)} \quad (3)$$

式中 $v(i, j)$ ——评价指标归一化值;

$x(i, j)$ ——评价时期 j 对应的第 i 个指标值;
 $x_{\min}(i)$ 、 $x_{\max}(i)$ ——评价方案(评价时期)中第
 i 个评价指标的最小值和
 最大值。

评价指标归一化值见表 2。

表 2 评价指标归一化值

评价指标	I ~ II 临界值	II ~ III 临界值	2000 年	2010 年	2020 年
C1	0	0.406	0.705	0.972	1.000
C2	0.751	1.000	0	0.002	0.030
C3	0.001	1.000	0	0.243	0.269
C4	0	1.000	0.370	0.308	0.769
C5	0	1.000	0.533	0.657	0.957
C6	0.116	1.000	0.440	0.280	0
C7	0.304	1.000	0	0.452	0.704
C8	0	1.000	0.460	0.640	0.800
C9	0	1.000	0.400	0.450	0.525
C10	0	1.000	0.130	0.277	0.333
C11	0.216	1.000	0	0.049	0.089
C12	0	0.280	0.533	0.813	1.000
C13	0.364	0.818	0	0.818	1.000

在对指标数据归一化基础上,根据评价指标体系,利用主成分分析单个中间层指标所包含指标的相对重要性,并对指标进行排序;利用突变级数法得到单个中间层指标值,如此反复计算,直至得到所有中间层指标值,为防止突变级数计算后中间层指标出现聚集现象,对其利用式(2)进行标准化,之后结合主成分分析,对单个目标层指标所含中间层指标进行重要性排序,最终得到目标层指标值(水资源可持续利用水平值)。

3.2 水资源可持续利用水平分析

根据突变级数法的计算结果(见表 3),对玛纳斯河流域不同时期(2000 年、2010 年及 2020 年)可持续水平进行分析。

表 3 玛纳斯河流域水资源可持续利用评价系统
综合值及排名

年 份	I ~ II 临界值	II ~ III 临界值	2000 年	2010 年	2020 年
水资源系统	0.437	0.626	0.340	0.434	0.447
排名	3	1	5	4	2
社会发展系统	0.217	0.591	0.450	0.430	0.466
排名	5	1	3	4	2
经济发展系统	0.373	0.721	0.498	0.584	0.623
排名	5	1	4	3	2
生态环境系统	0.362	0.574	0.322	0.469	0.507
排名	4	1	5	3	2
综合值	0.633	0.977	0.689	0.785	0.829
排名	5	1	4	3	2
水资源可持续 水平	—	—	中	中	中

比较不同时期水资源可持续利用水平综合值与各子系统得分及排序:在 2000 年,研究区水资源系统与生态环境系统可持续利用水平较低,均处于 I 级(低)水平。社会发展系统与经济发展系统的可持续利用水平均处于中等水平,为 II 级。综合评价,该时期研究区水资源可持续利用水平处于 II 级;在 2010 年,研究区各子系统指标值有所好转,其中社会发展系统、经济发展系统与生态环境系统的可持续利用水平均处于中等水平,为 II 级。水资源系统仍处于 I 级(低)水平。综合评价,该时期研究区水资源可持续利用水平仍处于 II 级,但综合值较 2000 年有较大提升,由 0.689 提高至 0.785;在 2020 年,研究区各子系统指标值仍持续保持好转,水资源系统、社会发展系统、经济发展系统与生态环境系统的可持续利用水平均处于中等水平,为 II 级。综合评价该时期研究区水资源可持续利用水平,仍处于 II 级,但综合值较 2010 年有较大提升,由 0.785 提高至 0.829。

综上所述,不同时期研究区水资源可持续利用水平整体显现出较好的发展态势,但在今后的发展中,仍

应协调各子系统的发展,坚持优质高效可持续的水资源发展模式。

3.3 障碍因子诊断

在对研究区不同时期水资源可持续利用水平分析的基础上,为进一步挖掘影响水资源的障碍因素,对中间层(子系统)和指标层障碍度,理清主要的障碍因素,结果见表4和表5。

表4 中间层指标(子系统)障碍度

年份	水资源系统/%	社会发展系统/%	经济发展系统/%	生态环境系统/%
2000年	18.602	10.383	5.762	15.877
2010年	16.447	12.219	4.144	6.558
2020年	15.483	8.716	2.815	5.115

由表4可知,构成中间层的4个子系统指标在不同时期对水资源可持续利用水平的阻力作用具有明显的差异性。其中,2000年水资源可持续利用水平的障碍因素主要体现在水资源系统、社会发展系统和生态环境系统三个方面;在2010年,生态环境系统明显改善,水资源可持续利用水平的障碍因素主要体现在水资源系统和社会发展系统两个方面;在2020年,水资源可持续利用水平的障碍因素仍然主要体现在水资源系统和社会发展系统两个方面。因此可以看出,对于西北内陆干旱区而言,困扰其可持续发展的根本因素是水资源的匮乏(资源性缺水)及社会发展模式。

表5 评价指标层障碍度

年份	项目	指标排序				
		1	2	3	4	5
2000年	障碍指标	C2	C3	C7	C11	C13
	障碍度/%	10.823	10.03	8.932	8.745	8.603
2010年	障碍指标	C2	C3	C11	C6	C10
	障碍度/%	12.155	9.961	9.408	9.231	8.288
2020年	障碍指标	C2	C3	C6	C11	C10
	障碍度/%	11.081	9.727	8.577	8.165	8.045

由于本文所构建的水资源可持续利用评价指标体

系中指标数目过多,为进一步探究影响水资源可持续利用水平的障碍因素,按照指标层障碍度的大小,列出障碍度排序在前5位的障碍因素(见表5)。由表5可知,在影响作用明显的障碍指标中,不同时期(2000年、2010年与2020年)障碍因素变化不大。其中,C2、C3、C11均在不同时期出现且排名靠前,这表明水资源开发利用率高、单位面积水资源量不足与林草覆盖率较低,已成为制约水资源可持续利用水平的主要问题。因此,为实现水资源的可持续利用,应通过退地减水降低农业用水总量,大力推广高效节水灌溉技术,发展节水型工业,提倡微咸水、中水资源化等措施,还水于生态环境,以实现区域水资源的可持续利用与社会、经济、生态环境系统的可持续发展。

4 结语

a. 2000年,研究区水资源可持续利用水平处于中等水平(综合值为0.689),为Ⅱ级;2010年,研究区水资源可持续利用水平有所提升,但仍处于中等水平(综合值为0.785),为Ⅱ级;2020年,研究区水资源可持续利用水平持续保持好转,综合值为0.829,仍处于Ⅱ级。

b. 为找出影响研究区水资源可持续利用水平的主要因素,结合改进障碍因子法,分别从中间层和指标层对制约水资源可持续利用的主要因素进行分析。结果表明:水资源开发利用率高、单位面积水资源量不足与林草覆盖率较低已成为制约研究区水资源可持续利用的普遍问题,应在今后的水资源规划利用中予以高度重视。◆

参考文献

[1] 王畅. 辽河流域水资源承载能力研究[J]. 水利建设与管理,2014(1):36-40.
 [2] 王娟. 菏泽市水资源可持续利用的管理对策探讨[J]. 水利建设与管理,2013(9):82-83,58.
 [3] 孙建芬. 新疆巴州水资源状况及水资源利用存在的问题及建议[J]. 水利建设与管理,2010(5):78-80,75.
 [4] 丁慧. 发展农业节水灌溉 实现水资源的可持续利用[J]. 水利建设与管理,2010(3):73-75. (下转第52页)

实行阶梯水价,促进一水多用、废水利用;三是实行分段、分片限时供水,缓解供用水矛盾;四是加大供水管网巡查力度,防止跑、冒、滴、漏等供水损失;五是启用抗旱服务队送水,保障弱势群体用水,设立应急供水点,保障限时供水时居民用水;六是利用有线电视、微信、街道悬挂横幅等方式进行宣传舆论引导,增强群众的节水意识、责任感、使命感和紧迫感,提倡全民节约用水。

c. 落实抗旱责任。一是成立隆德县抗旱应急领导小组,层层压实责任、落实抗旱措施,统筹协调推进全县抗旱应急工作;二是进一步细化抗旱应急供水方案,落实到工程,到天、到户;三是将抗旱工作纳入年度效能督查考核范围,对抗旱工作推进情况实行旬报制,进行跟踪督查问效,督促相关部门把抗旱工作措施落实在一线,技术指导在一线,对工作不力、落实不到位的,实行责任追究。

3.2 远期对策

a. 建设境内跨区域引水工程,提高水资源调控水平和供水保障能力。从全县水资源分布及用水情况分析,地处县城最南端的水洛河水资源丰富,但仍未开发利用,建议积极争取建设水洛河引水工程,彻底解决工程性缺水、季节性缺水问题,为全县经济社会可持续发展提供坚实的水利支撑。

b. 通过客水调入从根本上解决隆德县长期缺水

(上接第60页)

- [5] 李均力,姜亮亮,包安明,等. 1962—2010年玛纳斯流域耕地景观的时空变化分析[J]. 农业工程学报,2015,31(4): 277-285.
- [6] 陈云峰,孙殿义,陆根法. 突变级数法在生态适宜度评价中的应用:以镇江新区为例[J]. 生态学报,2006,26(8): 2587-2593.
- [7] 唐志鹏,刘卫东,周国梅,等. 基于突变级数法的中国CO₂减排的影响要素指标体系及其评价研究[J]. 资源科学,

的困境。积极争取将隆德县列入宁夏中南部城乡饮水工程、引洮工程及白龙江引水工程供水范围,通过境外客水调入,从根本上解决隆德县水资源短缺的突出问题。

c. 加快现有工程建设改造力度,提高水资源利用率。以水资源开发保护为中心,加快建设“库、坝、井、窖、池”联调体系和“南水北调、东水西用、南北互通、丰枯互济”的水资源统一调配体系,实现库井水和雨洪水在时空和区间的有效利用,提高水资源综合利用率。进行以管道化为主的灌区节水配套改造,提高灌溉水利用率;新建及改造水源工程,改变库坝运行方式,科学合理利用洪水资源,提高供水能力;在河谷川道区打机井,加大地下水资源开发力度;增设污水处理设施,提高中水回用能力。◆

参考文献

- [1] 孟醒. 宁夏隆德县干旱形势及防治对策[J]. 中国防汛抗旱,2012,22(5):48-49.
- [2] 杜辉. 宁夏隆德县山洪灾害防治试点项目建设情况[J]. 中国防汛抗旱,2011(1):10-12.
- [3] 金明霞. 宁夏隆德县防汛抗旱存在的问题及对策[J]. 北京农业,2013(27):182.
- [4] 杜毓. 宁夏隆德县防汛工作面临的形势及对策[J]. 中国防汛抗旱,2008(4):48-48.
- [5] 李均力,姜亮亮,包安明,等. 1962—2010年玛纳斯流域耕地景观的时空变化分析[J]. 农业工程学报,2015,31(4): 277-285.
- [6] 陈云峰,孙殿义,陆根法. 突变级数法在生态适宜度评价中的应用:以镇江新区为例[J]. 生态学报,2006,26(8): 2587-2593.
- [7] 唐志鹏,刘卫东,周国梅,等. 基于突变级数法的中国CO₂减排的影响要素指标体系及其评价研究[J]. 资源科学, 2009,31(11):1999-2005.
- [8] 陈晓红,杨立. 基于突变级数法的障碍诊断模型及其在中小企业中的应用[J]. 系统工程理论与实践,2013,33(6): 1479-1485.
- [9] 丁琳. 基于突变级数法的中小企业成长性评价研究[D]. 济南:山东大学,2010.
- [10] 杨广,何新林,李俊峰,等. 投影寻踪技术在水资源可持续利用评价中的应用研究[J]. 中国农村水利水电,2010(11):1-3.