

# 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

孙栋元<sup>1,2</sup>, 赵成义<sup>1</sup>, 李菊燕<sup>1</sup>, 于波<sup>1</sup>, 韩明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 干旱内陆河流域生态环境需水综合评价是一个多层次、多目标的综合决策问题, 同时是干旱区水资源合理配置与管理, 生态环境保护与建设中最为关键的科学问题之一。根据台兰河流域的实际情况和环境问题, 构建评价干旱内陆河流域生态环境需水状况的指标体系; 该指标体系由 3 个层次 38 个评估因子组成; 通过分级量化指标, 用层次分析法对指标进行权重分析, 提出了内陆河流域生态环境需水状况评判标准和具体的评价方法。结果显示, 水资源因素对台兰河流域生态环境需水的影响最大, 生态环境因素和经济社会因素次之, 影响最小的是自然因素。水资源因素、生态环境因素、经济社会因素和自然因素之间相互关联, 共同作用导致流域生态环境需水综合状况。评价结果与实际情况基本相符, 证明层次分析方法在评价干旱内陆河流域生态环境需水状况中具有一定的应用价值。

**关键词:** 干旱内陆河; 生态环境需水评价; 台兰河流域; 层次分析法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0108-07

中图分类号: X171.1, S181

## Assessing Eco-environmental Water Requirements of Arid Inland River Basins Based on Analytical Hierarchy Process Method

— A Case Study in Tailan River Basin of Xinjiang Wui Autonomous Region

SUN Dong-yuan<sup>1,2</sup>, ZHAO Cheng-yi<sup>1</sup>, LI Ju-yan<sup>1</sup>, YU Bo<sup>1</sup>, HAN Ming<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** Comprehensive assessment of eco-environmental water requirement in arid inland river basins is a multilayer and multi-objective subject for decision-making. At the same time, it is one of key scientific problems to be solved in the reasonable allocation and management of water resources and eco-environmental protection and construction in arid regions. According to the real conditions and environmental problems confronted in the Tailan river basin, an indicator system composed of three hierarchies with 38 factors was established to assess the eco-environmental water requirement. The indicators were quantified by classification, and the weights of all factors were calculated by the method of analytic hierarchy process(AHP). Criterion and specific methods were proposed to judge the status of eco-environmental water requirement in the basin. The assessment results indicate that for eco-environmental water requirement, the water resource factor was the dominant ones, the natural factors were the least ones; and the economic-social and eco-environmental factors were the intermediate ones. These four types of factors interrelated with each other, which in combination determine the eco-environmental water requirement. The assessment results agreed well with the reality, which suggests this method is of application value.

**Keywords:** arid inland river basin; eco-environmental water requirement assessment; Tailan river basin; analytical hierarchy process method

收稿日期: 2011-03-21

修回日期: 2011-04-30

资助项目: 青年科学基金项目“准噶尔荒漠梭梭植物构型及其对水分的响应与适应研究”(30900180); 国家重点基金项目“胡杨林生态格局与过程对洪水漫溢、人工灌溉的响应与调控”(40830640); 国家 973 项目“绿洲化的水、土、气、生过程及其相互作用机制”(2009CB421302); 水利部公益性项目“石羊河流域治理生态目标过程控制关键技术”(201001060)

作者简介: 孙栋元(1978—), 男(汉族), 甘肃省民乐县人, 博士, 工程师, 主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: gsausundy@126.com。

水作为生命的载体和源泉,是维系自然界一切生命活动与生态过程的基础性自然资源<sup>[1]</sup>,特别在干旱区,水是维系生态系统和流域生态安全与经济社会和谐发展的决定性因素<sup>[2]</sup>。由于水资源短缺和人类不合理的利用以及气候变化的影响造成干旱区生态环境日益恶化,对生态环境需水研究,特别是干旱内陆河流域生态环境需水问题的研究日益受到重视。生态环境需水是目前生态学和水科学研究的热点领域,近年来已经引起许多学者的关注<sup>[3-5]</sup>。生态环境需水是在生态问题日益严重的背景下提出的,研究生态环境需水的目的是为水资源的合理配置提供科学依据,最终实现水资源的可持续利用以及流域(区域)生态与环境的保护。随着我国生态环境需水研究的不断深入,相关的理论逐渐趋于成熟,生态环境需水成为水资源规划、水资源配置、水利工程项目中环境影响评价所必须考虑的重要内容,同时成为水生生态系统修复、湿地与生物多样性保护等的关键内容。因此,如何确定和评价生态环境需水,也成为各级有关政府部门和众多学者关心的热点问题。

国内外大量学者曾应用层次分析法(analytical hierarchy process, AHP),在各自的研究领域取得了一定的进展<sup>[6-9]</sup>。Yedla等<sup>[10]</sup>应用AHP法,评价印度德里市不同交通运输工具对环境可持续发展产生的影响。李崧等<sup>[11]</sup>用AHP法评价黑龙江省生态环境质量。Kang<sup>[12]</sup>用AHP法确定韩国复合环境指标的权重,评价经济发展对环境保护的影响。方燕等<sup>[13]</sup>应用AHP法对渭河水体的水环境质量进行评价,确定其水质优劣次序,为污染优先控制奠定基础。饶碧玉等<sup>[14]</sup>建立了基于层次分析法的元阳梯田灌区生态环境需水评价模型。此外,还有研究者将层次分析法与其它分析方法相结合使用,如模糊评判层次分析法<sup>[15-17]</sup>和蒙特卡罗法<sup>[18]</sup>等。

然而,将层次分析法应用于干旱内陆河流域生态环境需水研究还很少有报道。本文在借鉴前人研究成果的基础上,以新疆台兰河流域为例,从流域实际情况与存在的环境问题出发,以缓解流域水资源矛盾,保护和改善流域生态环境,实现流域水资源的可持续利用为目标,在分析流域生态环境需水影响因素基础上,将流域生态环境需水建设指标体系看作一个系统,对系统中各因素进行划分,通过确定各因素的相对重要性,构建基于层次分析法的干旱内陆河流域生态环境需水评价指标的层次结构,并确定各层次影响因素的权重,评价现状年流域生态环境需水状况和生态环境建设取得的进展,从而为流域生态环境需水

提供评判标准和具体的评判方法,为流域水资源的合理配置和生态系统的良性循环提供依据。

## 1 研究区概况

台兰河流域位于新疆阿克苏地区温宿县境内,地理坐标 $80^{\circ}21'44''-81^{\circ}10'14''E$ , $40^{\circ}41'41''-42^{\circ}15'13''N$ 。从地形地貌上看,流域分为山区和冲洪积平原区,总体地势北高南低,流域总面积 $5\,800\text{ km}^2$ ,其中山区 $1\,300\text{ km}^2$ ,平原区 $4\,500\text{ km}^2$ ,流流全长约 $90\text{ km}$ 。山区海拔 $1\,600\sim 1\,200\text{ m}$ ,植被稀少,多为砾石戈壁和少量耕地,平原区海拔在 $1\,200\sim 1\,000\text{ m}$ ,主要为灌区和易垦荒地,适宜于粮、棉、油等种植业的发展。年降水量山区 $500\sim 700\text{ mm}$ ,出山口区 $177.6\text{ mm}$ ,而平原区仅 $62\text{ mm}$ 。该区地处北温带干旱区,气候干燥,日照充足,多风沙,降水稀少,蒸发较大,昼夜温差大,年均气温 $7.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年均风速 $1.7\text{ m/s}$ ,多年平均蒸发量 $1\,800\text{ mm}$ ,属典型干旱大陆性气候。

多年来,人们不顾流域水资源承载能力有限的现实,盲目扩大灌溉面积,引起水资源过度开发利用,中下游相继出现了严重的生态环境问题,中游表现为区域性地下水位持续下降,泉水资源不断衰减,致使下游地区水资源严重短缺,不得不超采地下水以维持生计,导致了下游地区区域性地下水位持续下降,水质恶化,绿洲萎缩,植被衰亡,土地沙漠化等一系列生态环境问题。

## 2 干旱内陆河流域生态环境需水评价指标体系

### 2.1 指标体系的建立

内陆河流域生态环境需水评价指标是用来度量、分析干旱区生态环境需水体系好坏的重要手段,它既是内陆河流域生态环境需水现状与水平和人类活动对水资源的影响程度的表达,也是内陆河流域水资源合理配置和高效利用的反映。所建成的指标体系须全面、完整、准确地反映水资源属性,并能从多角度,全方位对生态环境需水进行评价。在遵循科学性、可表征性、系统性、可操作性等的原则基础上,借鉴国内外有关生态环境需水评价的研究成果<sup>[6-22]</sup>作为指标选择的依据,结合台兰河流域生态环境的实际情况,从影响流域生态环境需水的自然因素、水资源因素、经济社会因素和生态环境因素4个方面出发,引用38个评价指标,建立由目标层(A)、准则层(B)、指标层(C)3个层次组成的评价干旱内陆河流域生态环境需水指标体系(表1)。

表 1 干旱内陆河流域生态环境需水评价指标体系层次结构

目标层 A	准则层 B	指标层 C
干旱内陆河流域生态环境需水评价	自然因素 B <sub>1</sub>	年平均蒸发量 C <sub>1</sub>
		年均温度 C <sub>2</sub>
		地下水埋深 C <sub>3</sub>
		土壤状况 C <sub>4</sub>
		地下水矿化度 C <sub>5</sub>
		平原区中度沙化面积 C <sub>6</sub>
		沙化面积上的植被覆盖面积 C <sub>7</sub>
	水资源因素 B <sub>2</sub>	年平均降水量 C <sub>8</sub>
		年径流量 C <sub>9</sub>
		地均水资源量 C <sub>10</sub>
		多年平均水资源总量 C <sub>11</sub>
		人均水资源量 C <sub>12</sub>
		缺水率 C <sub>13</sub>
		水资源利用率 C <sub>14</sub>
		径流系数 C <sub>15</sub>
		供水模数 C <sub>16</sub>
		需水模数 C <sub>17</sub>
		亩均水资源量 C <sub>18</sub>
	经济社会因素 B <sub>3</sub>	人口自然增长率 C <sub>19</sub>
		耕地灌溉率 C <sub>20</sub>
		单位 GDP 水耗 C <sub>21</sub>
		人均 GDP C <sub>22</sub>
		单位面积农业生产总值 C <sub>23</sub>
		人均粮食占有量 C <sub>24</sub>
		人均收入 C <sub>25</sub>
		流域管理与行政管理的协调度 C <sub>26</sub>
		单位面积绿洲承载率 C <sub>27</sub>
	生态环境因素 B <sub>4</sub>	干燥度指数 C <sub>28</sub>
		植被覆盖度 C <sub>29</sub>
		生物丰富度指数 C <sub>30</sub>
		退化土地恢复治理率 C <sub>31</sub>
		土壤盐碱化率 C <sub>32</sub>
		土地沙化率 C <sub>33</sub>
		草场面积退缩比 C <sub>34</sub>
		载畜量变化率 C <sub>35</sub>
		天然植被率 C <sub>36</sub>
		人工植被率 C <sub>37</sub>
		绿洲面积率 C <sub>38</sub>

## 2.2 指标分级标准

指标体系中,既有数值越大越好的指标,又有数

值越小越好的指标,并且有些指标值不能直接测量,因此在表示这些指标对生态需水影响程度时采用了等级制,即通过分级体现各层指标对生态环境需水影响程度的差异。借鉴有关研究成果<sup>[13-22]</sup>和研究区实际情况,选取相应的评价指标,并将影响程度阈值定为<sup>[1,5]</sup>用 R 表示,C 层指标的影响阈值由台兰河流域生态环境需水的实际情况决定。生态环境需水各指标评判标准见表 2。

表 2 生态环境需水评价标准

评价标准	好	较好	一般	差	恶化
分级值	5	4	3	2	1

## 2.3 指标分级

2.3.1 自然因素指标分级 自然因素是干旱内陆河流域生态环境需水评价的前提。从年平均蒸发量、年均温度、地下水埋深、土壤状况、地下水矿化度、平原区中度沙化面积、沙化面积上的植被覆盖面积构建自然因素指标。研究区年均蒸发量在 7—10 月比较大,从而影响潜水蒸发,进一步影响地下水的补给,改变流域地表水与地下水之间的转化(表 3)。

2.3.2 水资源因素指标分级 水资源条件是决定一个地区水资源紧张程度的重要因素,是支撑水资源可持续利用的主要指标,是流域生态环境需水的关键要素,同时也是衡量水资源可持续利用度的决定因素。目前在内陆河地区,资源性缺水、水质性缺水、工程性缺水等缺水情况都会引起工业、农业、环境及生活用水的紧张,而通过对流域生态环境需水评价,选取相应的评价指标,从而协调流域水资源的供需矛盾,改善因工农业挤占生态用水而引起的矛盾。因此,选取年平均降水量、年径流量、地均水资源量、多年平均水资源总量、人均水资源量、缺水率、水资源利用率、径流系数、供水模数、需水模数和亩均水资源量构建水资源因素评价指标,从而反映流域生态环境需水量、可供水量和水资源利用的变化情况等,用以说明进行流域生态环境需水评价的必要性和可行性。流域内降水量集中在 7—10 月,相应的径流量也有所改变,从而对地下水的补给也有所影响,因此降水量的极值分布影响流域地表水和地下水的转化(表 4)。

表 3 自然因素评价指标及分级

分级值	5	4	3	2	1
年平均蒸发量/mm	<600	600~800	800~1 200	1 200~1 900	>1 900
年均温度/℃	>14	12.5~14	11~12.5	9.5~11	<9.5
地下水埋深/m	<1	1~2	2~3	3~5	>5
土壤状况	良好	好	较好	一般	差
地下水矿化度/(g·L <sup>-1</sup> )	<1	1~3	3~10	10~50	>50
平原区中度沙化面积/hm <sup>2</sup>	<5	5~10	10~30	30~50	>50
沙化面积上的植被覆盖面积/hm <sup>2</sup>	>20	10~20	5~10	1~5	<1

表 4 水资源因素评价指标及分级

分级值	5	4	3	2	1
年平均降水量/mm	>550	400~550	250~400	100~250	<100
年径流量/ $10^8 \text{ m}^3$	>12	8~12	5~8	3~5	<3
地均水资源量/mm	>200	150~200	100~150	50~100	<50
多年平均水资源总量/ $10^8 \text{ m}^3$	>10	8~10	6~8	4~6	<4
人均水资源量( $\text{m}^3/\text{人}$ )	>400	300~400	200~300	100~200	<100
缺水率/%	0	0~10	10~20	20~30	>30
水资源利用率/%	<45	45~55	55~65	65~75	>75
径流系数	>0.4	0.4~0.3	0.3~0.2	0.2~0.1	<0.1
供水模数/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	<1	1~5	5~10	10~15	>15
需水模数/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	<1	1~5	5~10	10~15	>15
水资源量/ $(\text{m}^3 \cdot 667\text{hm}^{-2})$	<500	500~650	650~800	800~950	>950

2.3.3 经济社会因素指标分级 经济社会发展是水资源系统发展变化的最原始最关键的驱动力,经济社会发展带来了水问题,各种水问题也制约着经济社会发展,同时水问题的解决也还是依靠经济发展。选取人口自然增长率、耕地灌溉率、单位 GDP 水耗、人均

GDP、单位面积农业生产总值、人均粮食占有量、人均收入、流域管理与行政管理的协调度、单位面积绿洲承载率来分析经济社会因素对生态环境需水的影响,为流域生态环境的需水评价提供有力衡量指标(表 5)。

表 5 经济社会因素评价指标及分级

分级值	5	4	3	2	1
人口自然增长率/%	<3	3~6	6~8	8~10	>10
耕地灌溉率/%	>70	70~55	55~40	40~20	<20
单位 GDP 水耗/ $(\text{元} \cdot \text{m}^{-3})$	<6.5	6.5~8.3	8.3~9.5	9.5~12	>12
人均 GDP( $10^4 \text{ RMB}/\text{人}$ )	>8 000	8 000~6 535	6 535~5 000	5 000~4 000	<4 000
单位面积农业生产总值/ $(10^4 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-2})$	>80	80~60	60~40	40~20	<20
人均粮食占有量/kg	>1 000	1 000~800	800~500	500~200	<200
人均收入/元	>10 000	10 000~6 000	6 000~4 000	4 000~2 000	<2 000
流域管理与行政管理的协调度/%	>90	90~60	60~30	30~10	<10
单位面积绿洲承载率/%	>80	80~60	60~40	40~20	<20

2.3.4 生态环境因素指标分级 在干旱内陆河地区,由于水资源短缺和人类不合理的利用以及气候变化的影响,由此引发绿洲萎缩、土地沙化、土壤盐碱化、区域性地下水位持续下降、水质恶化、植被退缩等生态环境问题,使得干旱区流域水循环过程和生态格局发生了深刻变化。

因此,本文选取干燥度指数、植被覆盖度、生物丰富度指数、退化土地恢复治理率、土壤盐碱化率、土地沙化率、草场面积退缩比、载畜量变化率、天然植被率、人工植被率和绿洲面积率构建生态环境因素指标,来反映生态环境需水评价对流域生态环境的影响(表 6)。

表 6 生态环境因素评价指标及分级

分级值	5	4	3	2	1
干燥度指数	<1.0	1.0~1.5	1.5~6	2.0~4.0	>4
植被覆盖度	>35	35~25	25~15	15~5	<5
生物丰富度指数	>30	30~20	20~15	15~5	<5
退化土地恢复治理率	>30	30~20	20~13	13~7	<7
土壤盐碱化率	0	0~3	3~7	7~15	>15
土地沙化率	0	0~5	5~10	10~20	>20
草场面积退缩比	<5	5~20	20~30	30~40	>40
载畜量变化率	<10	10~20	20~40	40~60	>60
天然植被率	>90	90~60	60~40	40~10	<10
人工植被率	>80	80~60	60~40	40~20	<20
绿洲面积率	>60	60~40	40~20	20~10	<10

### 3 基于层次分析法的内陆河流域生态环境需水评价

层次分析法是由美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代中期提出的一种多层次权重分析决策方法,具有系统性、灵活性和实用性等特点,现已被广泛地应用于社会经济系统的决策分析之中。AHP 法能将复杂问题中的各种因素通过划分为相互联系的有序层次使之条理化,并能将数据、专家意见和分析者的客观判断直接而有效地结合起来。其基本原理是:将一个复杂问题看成一个系统,根据系统内部因素之间的隶属关系,将一个复杂问题的各种要素转化为有条理的有序层次,并以同一层次的各种要素按照上一层要素为准则,构造判断矩阵,进行两两判断比较,计算出各要素的权重。根据综合权重按最大权重原则确定最优方案,进而得到方案或目标相对重要性的定量化描述。

#### 3.1 指标权重的确定

采用层次分析法对指标进行权重值分析,使各指标之间具有可比性。

(1) 判断矩阵的构造和层次单排序的计算。构造层次单排序判断矩阵时,邀请有关专家和有实践经验的专业人员共 12 人,依据上述表 3 至表 6 的评价指标和分级标准,对指标体系逐层因子进行两两比较,对重要性做出判断,给出评判的构造矩阵,并进行分析计算,得到相应的计算结果。用标准的方法构造出准则层(B)对目标层(A),指标层(C)对准则层(B)共 5 个判断矩阵,运算出层次单排序的重要性权重值结果,并对判断矩阵进行一致性检验。

(2) 层次总排序。层次总排序也就是计算 C 层、B 层相对于 A 层的相对重要性排序权值,实际上是层次单排序的加权组合。C 层对 A 层的权重值( $W_i$ )见表 7。

指标的组合同权重值即为指标的权重。从表 7 可以看出,指标权重处于前 5 位的依次为土壤盐碱化率、土地沙化率、多年平均水资源总量、地均水资源量、人均水资源量,其权重值分别为 0.078 2, 0.074 3, 0.064 8, 0.055 6, 0.052 6。指标权重值处于后 5 位的依次为平原区中度沙化面积、沙化面积上的植被覆盖面积、土壤状况、流域管理与行政管理的协调度、单位面积绿洲承载率,其权重值分别为 0.001 8, 0.001 9, 0.002 6, 0.003 1, 0.004 2。说明在台兰河流域生态环境需水中,生态环境因素和水资源因素处于主导地位,而自然因素和经济社会因素处于相对次要的地位。

#### 3.2 综合评价指数的分析计算

根据指标层(C)各指标的实际值,在指标分级表(表 3—6)中查得相应的指标分级值( $R_i$ ),同时从表 7 中查得各指标的权重值( $W_i$ ),分级值与权重值之积求和,可求得目标层(A)的分级值  $Y_T$ ,即

$$Y_T = \sum R_i W_i$$

式中: $Y_T$ ——干旱内陆河流域生态环境需水评价目标层分级值; $R_i$ ——指标层(C)第  $i$  个指标的评价标准分级值; $W_i$ ——指标层(C)第  $i$  个指标相对于 A 的权重值。把分级值  $Y_T$  与生态环境需水评判标准比较,则可得内陆河流域生态环境需水总体状况和变化程度。

表 7 C 层对 A 层的权重  $W_i$

A 层	B <sub>1</sub> 层 (0.081 5)	B <sub>2</sub> 层 (0.371 3)	B <sub>3</sub> 层 (0.172 1)	B <sub>4</sub> 层 (0.320 8)	$W_i$
C <sub>1</sub>	0.058 2				0.004 7
C <sub>2</sub>	0.083 9				0.006 8
C <sub>3</sub>	0.115 9				0.009 4
C <sub>4</sub>	0.032 6				0.002 6
C <sub>5</sub>	0.140 2				0.011 4
C <sub>6</sub>	0.021 9				0.001 8
C <sub>7</sub>	0.023 9				0.001 9
C <sub>8</sub>		0.089 4			0.033 2
C <sub>9</sub>		0.135 1			0.050 2
C <sub>10</sub>		0.149 7			0.055 6
C <sub>11</sub>		0.174 6			0.064 8
C <sub>12</sub>		0.141 9			0.052 6
C <sub>13</sub>		0.091 3			0.033 9
C <sub>14</sub>		0.114 9			0.042 6
C <sub>15</sub>		0.085 2			0.031 6
C <sub>16</sub>		0.101 9			0.037 8
C <sub>17</sub>		0.079 5			0.029 5
C <sub>18</sub>		0.120 2			0.044 6
C <sub>19</sub>			0.025 8		0.004 4
C <sub>20</sub>			0.142 7		0.024 5
C <sub>21</sub>			0.106 2		0.018 3
C <sub>22</sub>			0.038 9		0.006 7
C <sub>23</sub>			0.082 3		0.014 2
C <sub>24</sub>			0.065 6		0.011 3
C <sub>25</sub>			0.053 5		0.009 2
C <sub>26</sub>			0.017 9		0.003 1
C <sub>27</sub>			0.024 7		0.004 2
C <sub>28</sub>				0.107 5	0.034 5
C <sub>29</sub>				0.075 3	0.024 1
C <sub>30</sub>				0.058 7	0.018 8
C <sub>31</sub>				0.116 9	0.037 5
C <sub>32</sub>				0.243 9	0.078 2
C <sub>33</sub>				0.231 7	0.074 3
C <sub>34</sub>				0.051 9	0.016 6
C <sub>35</sub>				0.063 2	0.020 2
C <sub>36</sub>				0.134 6	0.043 1
C <sub>37</sub>				0.102 7	0.032 9
C <sub>38</sub>				0.051 9	0.016 6

3.3 台兰河流域生态环境需水综合评价结果

以台兰河流域现状年生态环境需水为例,根据调查所得指标层的实际值,应用上述指标体系和方法对其流域生态环境需水状况进行评价(表 8)。

由表 8 可知,目标层分级值为 1.989 7,由表 2 可以查得目标层的分级值在[1,2]之间,这说明台兰河流域生态环境需水总体状况比较差,这与实际情况基本吻合。

表 8 台兰河流域生态环境需水综合评价指标权重

准则层 指标	指标层 指标	分级值 ( $R_i$ )	原始 数据	数据 系列	C 对 A 的 权重值 $W_i$	$R_i W_i$	$Y_T$
自然因素 $B_1$ (0.093 2)	$C_1$	2	1 800.00	1957—2008	0.004 7	0.009 4	1.989 7
	$C_2$	1	7.90	1957—2008	0.006 8	0.006 8	
	$C_3$	2	3.50	1997—2008	0.009 4	0.018 8	
	$C_4$	2	—	—	0.002 6	0.005 2	
	$C_5$	4	1.50	2000—2008	0.011 4	0.045 6	
	$C_6$	2	38.60	2006—2009	0.001 8	0.003 6	
	$C_7$	2	2.36	2006—2009	0.001 9	0.003 8	
水资源因素 $B_2$ (1.098 2)	$C_8$	1	83.00	1957—2008	0.033 2	0.033 2	
	$C_9$	3	7.20	1957—2008	0.050 2	0.150 6	
	$C_{10}$	2	69.00	2000—2008	0.055 6	0.111 2	
	$C_{11}$	3	7.80	1957—2008	0.064 8	0.194 4	
	$C_{12}$	3	263.00	2001—2008	0.052 6	0.157 8	
	$C_{13}$	2	27.00	2000—2009	0.033 9	0.067 8	
	$C_{14}$	3	0.59	2000—2008	0.042 6	0.127 8	
	$C_{15}$	1	0.08	1957—2008	0.031 6	0.031 6	
	$C_{16}$	2	12.60	2000—2008	0.037 8	0.075 6	
	$C_{17}$	2	13.40	2000—2008	0.029 5	0.05 9	
经济社会因素 $B_3$ (0.215 2)	$C_{18}$	2	870.00	2000—2008	0.044 6	0.089 2	
	$C_{19}$	2	8.50	2000—2008	0.004 4	0.008 8	
	$C_{20}$	2	29.00	2000—2008	0.024 5	0.049 0	
	$C_{21}$	2	10.00	2000—2008	0.018 3	0.036 6	
	$C_{22}$	2	4 500.00	2000—2008	0.006 7	0.013 4	
	$C_{23}$	3	53.00	2000—2008	0.014 2	0.042 6	
	$C_{24}$	2	426.00	2000—2008	0.011 3	0.022 6	
	$C_{25}$	3	4 100.00	2000—2008	0.009 2	0.027 6	
	$C_{26}$	2	23.00	2000—2008	0.003 1	0.006 2	
	$C_{27}$	2	31.00	2000—2008	0.004 2	0.008 4	
生态环境因素 $B_4$ (0.583 1)	$C_{28}$	2	2.50	2000—2008	0.034 5	0.069 0	
	$C_{29}$	2	10.50	2000—2008	0.024 1	0.048 2	
	$C_{30}$	2	10.00	2000—2008	0.018 8	0.018 8	
	$C_{31}$	1	6.00	2000—2008	0.037 5	0.037 5	
	$C_{32}$	1	21.00	2000—2008	0.078 2	0.078 2	
	$C_{33}$	1	26.00	2000—2008	0.074 3	0.148 6	
	$C_{34}$	2	35.00	2000—2008	0.016 6	0.033 2	
	$C_{35}$	2	35.00	2005—2008	0.020 2	0.040 4	
	$C_{36}$	1	9.00	2005—2008	0.043 1	0.043 1	
	$C_{37}$	1	15.00	2000—2008	0.032 9	0.032 9	
	$C_{38}$	2	16.00	2003—2008	0.016 6	0.033 2	
合计					1.000 0	1.989 7	

同时,从表 8 可以看出,水资源因素>生态环境因素>经济社会因素>自然因素,即水资源因素综合

评价指数大于生态环境因素综合评价指数大于经济社会因素综合评价指数大于自然因素综合评价指数,

说明台兰河流域生态环境需水状况主要受水资源因素影响,其次是生态环境因素,再次是经济社会因素,影响最小的是自然因素。由于水资源因素和生态环境因素是影响台兰河流域生态环境需水的关键因素,在流域综合治理方面应加强水资源方面的规划管理与合理利用和注重生态环境方面的改善,从而实现流域水资源的合理配置和生态环境健康发展的良性循环模式,保障流域生态安全和水资源的可持续利用,提高水资源利用的生态和经济效益。反映水资源状况且权重较大的指标多年平均水资源总量、人均水资源量、地均水资源量;反映生态环境方面且权重较大的指标有土壤盐碱化率、土地沙化率、天然植被率。因此应加强流域生态环境建设与水资源的规划管理和保护利用。综上所述,要从水土资源矛盾和水资源合理开发利用两方面来进行,以改善流域生态环境状况和水资源状况。

#### 4 结论

干旱内陆河流域生态环境需水评价是由自然因素、经济社会因素和生态环境因素等许多因素组成的具有层次结构的复杂系统,评价的难点是如何合理地确定这些评价指标的权重。为此,本文根据干旱内陆河流域的实际情况和环境问题构建了由 3 个层次 38 个评估因子组成的评价内陆河流域生态环境需水状况的指标体系,并制定了相应的指标分级标准,基于层次分析法对指标进行权重分析,提出了内陆河流域生态环境需水状况评判标准和具体的评价方法。以新疆台兰河流域为例,对其生态环境需水状况进行评判,结果与实际情况基本相符,证明本方法具有一定的应用价值。

通过对台兰河流域生态环境需水评价结果表明,台兰河流域生态环境需水的影响程度,水资源因素影响最大,生态环境因素和经济社会因素次之,影响最小的是自然因素。同时评价结果说明,水是关键,因为水资源供需失调和时空分配不均匀会导致一系列生态环境的负面效应;生态环境是载体,是流域生态环境状况好坏的折射和强度的反映;土地沙漠化、盐碱化是表现;片面追求经济社会的发展是生态环境退化的重要驱动力。以上几方面是相互关联的,其共同作用导致综合流域生态环境需水评价结果,即台兰河流域生态环境需水状况属于差的状态。

干旱内陆河流域生态环境需水评价是一项技术性和经验性很强的复杂工作,受多方面因素的影响。本研究只是对内陆河流域生态环境需水评价的初步探讨,而层次分析法的应用也是探索性的尝试,评价

指标体系的选取、指标分级标准的确定还存在一定的局限性,有待于在实践中进一步补充和完善。

#### [参 考 文 献]

- [1] 肖洪浪,赵文智,冯起,等. 中国内陆河流域尺度的水资源利用率提高研究:黑河流域水—生态—经济管理试验示范[J]. 中国沙漠,2004,24(4):381-384.
- [2] 严登华,王浩,杨舒媛,等. 干旱区流域生态水文耦合模拟与调控的若干思考[J]. 地球科学进展,2008,23(7):773-778.
- [3] Hughes D A. Providing hydrological information and data analysis tools for the determination of ecological in-stream flow requirements for South African rivers[J]. Journal of Hydrology, 2001,241:140-151.
- [4] Thoms M C, Sheldon F. An ecosystem approach for determining environmental allocations in Australian dryland river system: the role of geomorphology[J]. Geomorphology, 2002, 47:153-168.
- [5] 王西琴,张远,刘昌明. 辽河流域生态需水估算[J]. 地理研究,2007,26(1):22-28.
- [6] Edgar G H, William S P, Catherine P K. Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods[J]. The Science of the Total Environment, 1997, 196(1):13-29.
- [7] 庞振凌,常红军,李玉英,等. 层次分析法对南水北调中线水源区的水质评价[J]. 生态学报,2008,28(4):1810-1819.
- [8] Robert H, Steven V W, Robert S, et al. Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the analytical hierarchy process[J]. European Journal of Operational Research, 2002,141(1):70-87.
- [9] Simon U, Bruggemann R, Pudenz S. Aspects of decision support in water management-example Berlin and Potsdam (Germany) I: Spatially differentiated evaluation[J]. Water Research, 2004,38(7):1809-1816.
- [10] Yedla S, Shrestha R M. Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2003,37(8):717-729.
- [11] 李崧,邱微,赵庆良,等. 层次分析法应用于黑龙江省生态环境质量评价研究[J]. 环境科学,2006,27(5):1031-1034.
- [12] Kang S M. A sensitivity analysis of the Korean composite environmental index[J]. Ecological Economics, 2002,43(2/3):159-174.
- [13] 方燕,党志良. 基于层次分析法的渭河流域水环境质量综合评价[J]. 水资源与水工程学报,2005,16(1):45-48.

- [8] Jeremy Weiss, David Gutzlera, Julia A Coonrod, et al. Seasonal and inter-annual relationships between vegetation and climate in central New Mexico, USA[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57:507-534.
- [9] 刘亚龙,王庆,张明明,等. 山东地区 NDVI 与气象因子持续性分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(9):1777-1782.
- [10] Zhang J Y, Dong W J, Ye D Zh, et al. New evidence for effects of land cover in China on summer climate [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(4):401-405.
- [11] Jean-Marie Kileshye Onema, Akpofure Taigbenu. NDVI-rainfall relationship in the Semliki watershed of the equatorial Nile[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2009, 34:711-721.
- [12] 李秀花,师庆东,常顺利,等. 1981—2001 年中国西北干旱区 NDVI 变化分析[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(6): 940-945.
- [13] 夏露,刘咏梅,柯长青. 基于 SPOT 4 数据的黄土高原植被动态变化研究[J]. *遥感技术与应用*, 2008, 23(1): 67-71.
- [14] 李震,阎福礼,范湘涛. 中国西北地区 NDVI 变化及其与温度和降水的关系[J]. *遥感学报*, 2005, 9(3):308-313.
- [15] 戴声佩,张勃,王强,等. 祁连山草地植被 NDVI 变化及其对气温降水的旬响应特征[J]. *资源科学*, 2010, 32(9):1769-1776.
- [16] 王永立,范广洲,周定文,等. 我国东部地区 NDVI 与气温、降水的关系研究[J]. *热带气象学报*, 2009, 25(6): 725-733.
- [17] Xin Zh B, Xu J X, Zheng W. Spatiotemporal variations of vegetation cover on the Chinese Loess Plateau (1981—2006): Impacts of climate changes and human activities[J]. *Science in China Earth Sciences*, 2008, 51(1):67-78.
- [18] 刘绿柳,肖风劲. 黄河流域植被 NDVI 与温度、降水关系的时空变化[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(5):477-481.
- [19] 高蓓,张树誉,李星敏,等. 陕北地区 1997—2006 年 NDVI 变化与气候因子的关系[J]. *成都信息工程学院报*, 2009, 24(9):387-391.
- [20] 李登科. 陕北黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖变化及其对气候的响应[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(5):867-873.

(上接第 102 页)

- [7] 孙菁,陈桂琛,李玉林,等. 栽培藏药材麻花苳中四种苦苷类成分含量的季节性变化[J]. *天然产物研究与开发*, 2006, 18(3):1017-1019.
- [8] 娜英. 反相高效液相色谱法测定青海不同地区麻花苳中落干酸的含量[J]. *青海师范大学学报:自然科学版*, 2007(3):61-64.
- [9] 张金文,马静芳,牛俊仪,等. 地膜覆盖穴播小麦光合和干物质积累特点分析[J]. *甘肃农业大学学报*, 1999, 30(4):348-353.
- [10] 李建奇,黄高宝,牛俊仪,等. 覆膜及氮磷施用量对春玉米主要品质的调控[J]. *甘肃农业大学学报*, 2004, 39(5):516-519.
- [11] 薛福祥. 地膜不同覆盖方式对保护地黄瓜病害及生长发育的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2003, 38(1):31-34.
- [12] 何淑玲,藺海明,程卫东. 不同栽培方式对红芪生长发育动态的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(4): 107-111.

(上接第 114 页)

- [14] 饶碧玉,王静,杨建荣,等. 基于层次分析法的元阳梯田灌区生态环境需水评价研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2009, 20(1):35-39.
- [15] Klungboonkrong P, Taylor M A P. A Microcomputer-based system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road network[J]. *Computer, Environment and Urban System*, 1998, 22(5):425-446.
- [16] 李刚军,李娟,李怀恩,等. 基于标度转换的模糊层次分析法在宁夏灌区水权分配中的应用[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(6):872-879.
- [17] 郝慧,金辉. 基于 AHP 和模糊综合评价的区域水资源可持续利用评价:以广东省江门市为例[J]. *水资源与水工程学报*, 2007, 18(3):50-56.
- [18] Van der Kleij C S, Hulscher S J M H, Louters T. Comparing uncertain alternatives for a possible airport island location in the North Sea[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2003, 46(11/12):1031-1047.
- [19] 范兴建,朱杰,付永胜,等. 距离指数—层次分析法在沱江流域水安全系统评价中的应用[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2009, 25(2):129-132.
- [20] 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.
- [21] 尹民,崔保山,杨志峰. 黄河流域城市生态环境需水量案例研究[J]. *生态学报*, 2005, 25(3):397-403.
- [22] 杨奇勇,李景保,王克林,等. 湖南省水资源开发利用程度综合评价[J]. *水土保持通报*, 2007, 27(2):150-153.