

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

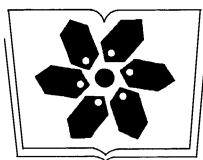
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法

杨 广^{1,2}, 何新林^{1,2,*}, 李俊峰^{1,2}, 贾筱娟^{1,2}

(1. 石河子大学水利建筑工程学院, 832000 石河子; 2. 现代节水灌溉兵团重点实验室, 832000 石河子)

摘要: 水资源短缺是制约玛纳斯河流域水资源可持续发展的“瓶颈”因素, 对流域水资源可持续发展水平进行综合评价对其国民经济可持续发展至关重要。从水资源、社会、经济、生态环境四个子系统出发, 采用了熵值法和投影寻踪理论相结合的评价模型, 对流域水资源可持续利用水平进行评价, 并将两种方法的评价结果进行加权求和, 得出流域水资源可持续利用变化趋势。评价结果表明, 该模型方法可靠, 分析结果合理, 评价结果可以为水资源可持续开发利用提供科学依据, 是评价水资源可持续利用水平的一种有效新方法。最后, 提出了促进流域水资源可持续利用的建议, 为实现水资源可持续开发利用提供借鉴和参考。

关键词: EV-PP 模型; 评价指标; 可持续利用; 玛纳斯河流域

The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin

YANG Guang^{1,2}, HE Xinlin^{1,2,*}, LI Junfeng^{1,2}, JIA Xiaojuan^{1,2}

1 College of Water Conservancy & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China

2 Xinjiang Production & Construction Group Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation, Shihezi 832000, China

Abstract: Water shortage and its sustainable management are important issues in the Manas River basin. In this paper, the evaluation model has been developed based on entropy and projection pursuit theory, and then the sustainable level of water resources has been evaluated from water, social, economic and ecological environment systems. The result showed that the evaluation method is reliable and reasonable. As a new method for evaluating water resources, it can provide scientific basis for the sustainable use of water resources. The main conclusions are as follows:

(1) Considering the relative close characteristic of the river basin in arid inland, a comprehensive index system on evaluating sustainable use of water resources has been suggested in this paper. It includes 14 indexes and four subsystems about water resources condition, society, economy and ecological environment.

(2) By the coupled entropy and projection pursuit theory, we can have a greater understanding of the present state of sustainable use of water resources. The results showed that the utilization potential of water resources trends to increase. The utilization level was poor and the water resources potential was small in 2000. The sustainable level of water resources would get better with water saving irrigation practice and industry structural adjustment in 2010 and 2020.

(3) The water resources condition is the most important factor to affect water resources sustainable level in the basin. In order to accomplish the water resources sustainable use, some measures has been put forward as follows: a) paying more attention to the deep exploitation of water resources; b) reducing the agricultural water use and implementing water saving irrigation; c) developing water-efficient industry; d) increasing the ratio of micro-salty water in irrigation; e) and looking for new water resources. Through these measures, the gap between the supply and demand of water resources can be minimized, and also the water resources sustainable utilization level would be improved.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2010CB951004); 石河子大学科学技术研究发展计划重点项目(ZRKX2009ZD04-3); 石河子大学青年骨干教师项目(SL05018)

收稿日期: 2010-05-05; 修订日期: 2010-09-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hexinlin2002@163.com

Key Words: EV-PP model; evaluation index; sustainable utilization; Manas River basin

水资源可持续利用评价是水安全研究的重要组成部分,其实质是指通过对区域水资源指标的监测和调查,根据不同的目的和要求,依据一定的方法对水资源可持续利用的优劣程度做出定量描述^[1-3]。水资源可持续利用评价常用的方法包括主成分分析法、层次分析法、模糊数学法、灰色系统理论法、物元分析法、人工神经网络法及投影寻踪模型法等,这些方法各有其适用条件和局限性^[4]。赵毓梅等采用主成分分析法对陕西省的水资源承载力进行了动态研究^[5];张兴榆采用了模糊综合评判方法以延安市为例对区域水资源利用情况进行分析研究^[6];袁晓宇将灰色关联理论应用于淮河流域的水资源承载能力的决策方案^[7];戴天晟将模糊层次分析法(FAHP)与投影寻踪模型(PP)两种方法结合,对上海市水资源可持续利用情况进行了分析^[8]。层次分析法确定评价指标的权重虽简单易行,但主观性过强,当专家的判断与实际相差较大时,将导致错误的评价结果,而熵值法根据实测数据,在数据分类的标准已知条件下,通过数据信息挖掘确定指标权重,因此依据数据信息得出的评价指标权重更为精确。基于此,针对多因素影响的水资源可持续利用评价问题,本文引入熵值法与投影寻踪理论,并将两种方法的评价结果进行加权求和,实现水资源可持续利用综合评价的新方法,并以水资源严重不足的干旱内陆河玛纳斯河流域为研究区域,建立水资源可持续利用的熵值-投影寻踪模型(简称 EV-PP 模型),对该区域水资源可持续利用情况进行综合评价,为流域水资源的进一步开发提供决策依据。

1 EV-PP 模型的建立

1.1 熵值法

在信息论中,熵值反映了信息无序化程度,其值越小,系统无序度越小,故可用信息熵评价所获系统信息的有序度及其效用来确定指标权重,它能尽量消除各指标权重计算的人为干扰,使评价结果更符合实际^[9]。其计算步骤如下^[10]:

(1) 构建 m 个事物 n 个评价指标的判断矩阵

$$R = (x_{ij})_{mn} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

(2) 对指标值矩阵做归一化处理

$$\text{对效益型指标} \quad X_{ij} = 0.1 + (X_{ij} - X_{j\min})/d \quad (1)$$

$$\text{对成本型指标} \quad X_{ij} = 0.1 + (X_{j\max} - X_{ij})/d \quad (2)$$

$$d \text{ 为级差值} \quad d = (X_{j\max} - X_{j\min})(1 - 0.1)^{-1} \quad (3)$$

式中, $X_{j\max}$ 、 $X_{j\min}$ 分别为第 j 个指标最大值和最小值。

(3) 根据熵的定义, m 个评价事物 n 个评价指标,可以确定评价指标的熵为

$$H_i = - \frac{1}{\ln(m)} \left[\sum_{j=1}^m f_{ij} \ln(f_{ij}) \right] \quad (4)$$

$$f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{j=1}^m (1 + b_{ij})} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

(4) 计算评价指标的熵权 w

$$w_i = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i}, \text{ 且 } \sum_{j=1}^m w_i = 1 \quad (6)$$

(5) 综合评价指数计算 将各指标的组合权重与对应的归一化后的样本值相乘并累加,则得到评价指数 Z_{EV} 。

1.2 投影寻踪模型

投影寻踪是处理多因素复杂问题的一种统计方法,其基本思路是将高维数据向低维空间(1—3 维)进行

投影,通过低维投影数据的散布结构来研究高维数据特征^[11-12]。设第 i 个样本第 j 个指标为 x_{ij} ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m; n$ 为样本个数, m 为指标个数), 依据投影寻踪理论建立水资源可持续评价模型如下:

(1) 数据无量纲化 由于各评价指标的量纲不尽相同,为了消除量纲效应,在建模之前对评价指标数据进行无量纲化处理,为 $x_{ij} = x_{ij}/x_{j\max}$, 其中 $x_{j\max}$ 为第 j 个指标的样本最大值。

(2) 线性投影 将高维数据投影到一维线性空间进行研究,设 a 为 m 维单位投影方向向量,其分量为 $a_1, a_2, \dots, a_m$, 则 x_{ij} 的一维投影特征值 z_i 可用式(7)描述,即

$$z_i = \sum_{j=1}^m a_j x_{ij} \quad (i=1, \dots, n) \quad (7)$$

并定义 $z_{ij} = a_j x_{ij}$ 为 i 样本 j 指标的投影分量, $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ 为投影特征值向量。

(3) 构造目标函数 水资源承载力综合评价是依据给定评价标准对待评价样本进行类别判别或综合排序,因此可利用分类指标来构造目标函数,即 z_i 在一维空间散布的类间距离 $s(a)$ 和类内密度 $d(a)$ 同时取得最大值。因此构造目标函数 $Q(a)$ 的表达式为

$$Q(a) = s(a) \cdot d(a) \quad (8)$$

类间距离用样本序列的投影特征值方差计算,即

$$s(a) = \left[\sum_{i=1}^n (z_i - z_0)^2 / n \right]^{1/2} \quad (9)$$

式中, z_0 为投影特征值 z_i 的均值。 $s(a)$ 愈大,样本散布愈开。

类内密度

$$d(a) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n f(r_{ik}) I(R - r_{ik}) \quad (10)$$

式中, $r_{ik} = |z_i - z_k|$ ($k=1, \dots, n$) 为两两投影特征值间的距离; R 为密度窗宽,与数据特性有关,研究表明 $\max(r_{ik}) + m/2 \leq R \leq 2m$, 通常可取 $R = m$; $f(r_{ik})$ 为随 r_{ik} 增加而单调下降的密度函数,这里取 $f(r_{ik}) = R - r_{ik}$; $I(R - r_{ik})$ 为单位阶跃函数,当 $R > r_{ik}$ 时, $I(R - r_{ik}) = 1$, 反之为 0。 $d(a)$ 愈大,分类愈显著。

(4) 优化投影方向 分析表明,当公式(8)取得最大值时所对应的 a 就是最能反映数据特征的最优投影方向。因此,寻找最优投影方向的问题就可转化为公式(11)描述的非线性优化问题^[13]。本文采用遗传算法求解

$$\|a\| = 1 \quad (11)$$

(5) 评价分析 根据优化得到的 a , 计算综合反映各评价指标信息的投影特征值 z_i , 即为评价指数 Z_{pp} , 根据投影值的大小对样本进行综合评价分析^[10]。

1.3 确定综合评价指数

两种模型最终计算结果不具直接可比性,故先将二者的评价结果进行标准化处理再组合,标准化公式:

$$Z = \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (12)$$

综合评价指数

$$Z_i = \lambda Z_{pp} + (1 - \lambda) Z_{EV} \quad (13)$$

式中, Z 为两种方法所得原始值; $\lambda \in [0, 1]$ 为权重; 具体权重值可根据评价区域的水资源具体情况由专家打分确定; Z_{pp} 和 Z_{EV} 分别为标准化后投影寻踪模型和熵值法得到的评价指数; Z_i 为组合后综合评价指数。

2 流域水资源可持续利用指标体系的构建

本文从流域水资源及其利用的特点出发,并考虑制定水资源承载力指标体系时遵循完整性、动态性、区域性、层次性、可操作性等原则,将其影响因素全面分析,并参照全国水资源评价指标体系及其标准,同时参考其它省市水资源承载力评价指标,通过专家咨询并借鉴国内外较权威的可持续发展等相关指标值,从水资源、社会发展、经济发展、生态环境 4 个子系统出发,确定流域水资源承载力的指标体系及标准值见表 1。

表 1 玛纳斯河流域水资源可持续利用评价指标体系

Table 1 Evaluation system of water resources sustainable utilization in Manas River basin

目标层 Target level	准则层 Criterion level	评价因素 Evaluation factors
水资源可持续利用程度 Water resources sustainable utilization degree	水资源子系统 C_1	人均水资源量/($\text{m}^3/\text{人}$); 水资源利用率/%; 单位面积水资源量/($10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$)
	社会发展子系统 C_2	人口自然增长率/‰; 城镇化率/%; 生活用水定额/($\text{L}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$)
	经济发展子系统 C_3	工业万元产值需水量/ m^3 ; 工业用水重复率/%; 人均 GDP/美元/人; 灌溉水利用系数; 第三产占 GDP 比重/%
	生态环境子系统 C_4	林草覆盖率/%; 生态环境用水率/%; 污水处理率/%

3 实例研究

3.1 流域概况

玛纳斯河流域(含玛纳斯河、塔西河、宁加河、金沟河、巴音沟河),地处欧亚大陆腹地,包括玛纳斯县、沙湾县、石河子市、农八师的 18 个农牧团场、农六师的新湖总场以及克拉玛依的小拐乡,总流域面积 $2.655\times 10^4 \text{km}^2$,总人口 98.4 万人,是天山北坡内陆水系最丰富的流域,也是天山北坡经济带的核心区域。流域降水稀少,蒸发量大,气候干燥,属典型的大陆性干旱气候;年平均引水量 $27.83\times 10^8 \text{m}^3$ (包括地表水、地下水、泉水),其中农业用水 $26.22\times 10^8 \text{m}^3$,占 94.2%,工业用水 $0.64\times 10^8 \text{m}^3$,占 2.3%,生活用水 $0.97\times 10^8 \text{m}^3$,占 3.5%。由于水资源短缺以及水资源时空分布不均,流域土壤盐渍化、土壤沙化、草场退化等问题严重,生态环境日益恶化,为了合理地利用有限的水资源,需要清楚地了解流域的水资源状况,对流域的水资源可持续利用水平作出科学的评价。

3.2 评价指标原始值及评价标准

通过公式(1)、(2),流域水资源系统原始指标值及评价标准归一化处理后数据,见表 2。

表 2 玛纳斯河流域水资源原始值及分级标准归一化数据

Table 2 Water resources carrying capacity evaluation indicator system and standard

准则层 Criterion level	评价因素 evaluation factor	指标值 Index value			分级标准 Grading standard		
		2000 年	2010 年	2020 年	V_1	V_2	V_3
水资源子系统 Water resources subsystem	人均水资源量/($\text{m}^3/\text{人}$)	0.7343	0.9744	1.0000	0.1000	0.2828	0.4656
	水资源利用率/%	0.1000	0.1022	0.1269	0.7758	0.8879	1.0000
	单位面积水资源量/($10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$)	0.1000	0.3190	0.3423	0.1011	0.5505	1.0000
社会发展子系统 Social development subsystem	人口自然增长率/‰	0.4330	0.3776	0.7923	0.1000	0.5500	1.0000
	城镇化率/%	0.5797	0.6919	0.9613	0.1000	0.5500	1.0000
	生活用水定额/($\text{L}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$)	0.4963	0.3511	0.1000	0.2045	0.6022	1.0000
经济发展子系统 Economic development subsystem	工业万元产值需水量/ m^3	0.1000	0.5930	0.3661	0.7261	0.4130	0.1000
	工业用水重复率/%	0.5140	0.6760	0.8200	0.1000	0.5500	1.0000
	人均 GDP/(美元/人)	0.1000	0.3930	1.0000	0.1047	0.2667	0.4287
	灌溉水利用系数	0.4600	0.5050	0.5725	0.1000	0.5500	1.0000
	第三产占 GDP 比重/%	0.2170	0.3490	0.4000	0.1000	0.5500	1.0000
生态环境子系统 Ecological environment subsystem	林草覆盖率/%	0.1000	0.1439	0.1800	0.2944	0.6472	1.0000
	生态环境用水率/%	0.5794	0.8318	1.0000	0.1000	0.2262	0.3523
	污水处理率/%	0.1000	0.8364	1.0000	0.4273	0.6318	0.8364

对于各分级标准, V_3 级为较好,表示水资源仍有较大的潜力,其供给情况较为乐观。 V_1 级为较差,表示地下水资源已接近其饱和值,进一步开发潜力较小,应采取相应对策,否则将制约社会经济的发展。 V_2 级情况介于两者之间,表示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,水资源的供给需求在一定程度上能满足流域的经济发展。

3.3 EV 模型评价指数

通过熵值法计算,首先计算 4 个子系统权重,由水资源承载力各子系统的权重与各子系统中不同指标的权重相乘,得各评价指标对于水资源可持续利用的组合权重,见表 3。

表 3 EV 模型组合权重表

Table 3 Weights of EV model

准则层 Criterion level	权重 Weight	指标层 Index level	权重 Weight	组合权重 Combination weight
水资源子系统 Water resources subsystem	0.3292	人均水资源量/($\text{m}^3/\text{人}$)	0.0453	0.0149
		水资源利用率/%	0.9093	0.2993
		单位面积水资源量/(m^3/km^2)	0.0453	0.0149
社会发展子系统 Social development subsystem	0.2207	人口自然增长率/%	0.3337	0.0737
		城镇化率/%	0.3273	0.0722
		生活用水定额/($\text{L}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$)	0.3390	0.0748
经济发展子系统 Economic development subsystem	0.1807	工业万元产值需水量/ m^3	0.7338	0.1326
		工业用水重复率/%	0.0642	0.0116
		人均 GDP/(美元/人)	0.0699	0.0126
		灌溉水利用系数	0.0669	0.0121
		第三产占 GDP 比重/%	0.0652	0.0118
生态环境子系统 Ecological environment subsystem	0.2695	林草覆盖率/%	0.3275	0.0883
		生态环境用水率/%	0.3269	0.0881
		污水处理率/%	0.3456	0.0931

将各指标的组合权重与对应的规范化后的样本值相乘并累加,则得到评价指数 Z_{EV} 。

$$Z_{EV} = (0.2510, 0.4194, 0.4727, 0.4408, 0.6170, 0.7932)$$

3.4 PP 模型评价指数

首先,依据水资源可持续利用分级标准的指标值建立投影寻踪模型,其中 $n=3, m=6$ 。通过模型运算得最优投影方向向量如下:

$$a = (0.5078, -0.5369, 0.0012, -0.0006, 0.1253, -0.0994, -0.0130, 0.1660, 0.3648, 0.0459, 0.0267, 0.0003, 0.4900, 0.1567)$$

其次,依据最优投影方向向量 a ,分别计算玛纳斯河流域不同水平年的投影特征值,PP 模型评价指数:

$$Z_{PP} = (0.4112, 0.8589, 1.2148, 0.1857, 0.5934, 1.0011)$$

3.5 EV-PP 综合评价指数

利用公式(12)对评价指数进行标准化处理,通常取 $\lambda=0.5$,求得综合指数:

$$Z_i = (0.1096, 0.4824, 0.7044, 0.1750, 0.5356, 0.8962)$$

3.6 结果分析

从表 4 中的综合指数变化趋势可以看出,玛纳斯河流域水资源可持续利用潜力呈上升趋势。2000 年,流域水资源可持续利用的水平稍差,水资源潜力较小,随着节水灌溉措施及产业结构的调整等措施,2010 年和 2020 年流域水资源可持续发展水平有所好转。从 PP 模型评价过程可得,影响流域水资源可持续利用水平的主要因素主要是人均水资源量、水资源利用率、生态环境用水率 3 个指标因素,建议流域水资源的发展应注重从这 3 个方面来提高可持续利用水平。

3 种评价模型中,EV 模型和 PP 模型虽都相对客观,但由于信息的不完整性,数据的波动和不准确性,经数据挖掘得到的信息有可能偏离真实的结果,也能导致错误的分类。而 EV-PP 在一定程度上抵消了二者的部分误差,且从理论上分析,该方法也更具科学性。

表 4 3 种评价模型综合评价指数

Table 4 Composite evaluation results of three kind of evaluation model

方法 Method	2000 年		2010 年		2020 年		V_1	V_2	V_3
	评价指数 Evaluation number	所处等级 Rank	评价指数 Evaluation number	所处等级 Rank	评价指数 Evaluation number	所处等级 Rank			
EV	0.2510	V1	0.4194	V1—V2	0.4727	V1—V2	0.4408	0.6170	0.7932
PP	0.4112	V1—V2	0.8589	V2—V3	1.2148	V3	0.1857	0.5934	1.0011
EV-PP	0.1096	V1	0.4824	V2—V3	0.7044	V2—V3	0.1750	0.5356	0.8962

4 结语

(1) 本文主要考虑了干旱内陆河流域水资源相对单一的特点,以系统思想为指导,提出了由流域水资源条件、社会、经济与生态环境 4 个子系统及 14 个评价指标组成的流域水资源可持续利用评价指标体系。

(2) 评价方法上,本文在相同指标集上将熵值法和投影寻踪理论结合,得出水资源可持续发展状况。虽然所得到的结果只是一个相对的数值得分,并不能代表水资源可持续利用的绝对水平,但从变化趋势上可看出,近年来流域水资源正在向可持续发展的方向迈进。

(3) 实例分析表明该模型方法可靠,分析结果合理,可以依据评价结果分析流域水资源开发利用存在的主要问题,评价结果可以为水资源可持续开发利用提供科学依据,是评价水资源可持续利用水平的一种有效新方法。

(4) 水资源条件是影响流域水资源可持续利用的重要因素,为实现水资源可持续利用的目标,在今后发展过程中,建议着重从以下几方面入手:流域今后水资源发展应注重对水资源的深度开发,减少农业用水,发展耗水少的节水型工业,实行节水灌溉新技术,提倡微咸水资源化,增添新水源。通过这些措施的进一步实施,将极大缓解流域水资源供需矛盾,大大提高水资源可持续利用水平。

References:

- [1] Peng K Q, Zhang P. Applications of projection pursuit model in the assessment of water environmental quality. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 2007, 20(Z1): 59-62.
- [2] LI M, LI B Z. The analysis and prediction of water resource carrying capacity in Chongqing Metropolitan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6500-6505.
- [3] Fu Q, Li W Y. The comprehensive analysis and evaluation on the ecological carrying capacity of marsh wetlands in Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 5002-5010.
- [4] Liu H, Geng L h, Chen X Y. Indicators for evaluating sustainable utilization of regional water resources. *Advances in Water Science*, 2003, 14(3): 265-270.
- [5] Zhao Y M, Zhao X G, Dong L L, Chao S J. Study on evolution of water resource carrying capacity in Shaanxi Province. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2008, 24(1): 95-98.
- [6] Zhang X Y. Analysis of Regional Water Resources Carrying Capacity — in Yanan City. Shanxi: Northwestern University, 2007: 30-47.
- [7] Yuan X Y. Multi-objective decision grey relation projection method in the water resources carrying capacity analysis. *Jiangsu Water Resources*, 2004, 12: 10-13.
- [8] Dai T H, Sun S R, Zhao W H, Gu B Y. Evaluation of the sustainability of water resource system based on FAHP-PP Model. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(5): 421-425.
- [9] Chen W B, Dong Z C, He C G, Li Y B. Appraisal on influence of soil and water conservation to system security of water resources. *Soil and Water Conservation in China*, 2007, (1): 32-34.
- [10] Tang H, Du F X. Application of fuzzy matter-element model based on entropy in comprehensive evaluation of water resources bearing capacity. *China Rural Water and Hydropower*, 2006, (12): 36-39.
- [11] Wang S J, Yang Z F. A Projection pursuit method of comprehensive assessment on eco-environmental quality of regional agriculture. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2006, 14(1): 173-175.
- [12] Zhang X L, Ding J, Wang S J. Application of new projection pursuit algorithm in assessing water quality. *Advances in Water Science*, 2001, 12

(3): 356-360.

- [13] Fu Q, Jin J L, Liang C. Application of projection pursuit model to optimize paddy irrigation schedule. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 10: 39-45.

参考文献:

- [1] 彭坤泉, 张平. 投影寻踪模型在水环境质量评价中的应用. 江苏环境科技, 2007, 20(Z1): 59-62.
- [2] 黎明, 李百战. 重庆市都市圈水资源承载力分析与预测. 生态学报, 2009, 29(12): 6500-6505.
- [3] 付强, 李伟业. 三江平原沼泽湿地生态承载力综合评价. 生态学报, 2008, 28(10): 5002-5010.
- [4] 刘恒, 耿雷华, 陈晓燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立. 水科学进展, 2003, 14(3): 265-270.
- [5] 赵毓梅, 赵先贵, 董林林, 巢世军. 陕西省水资源承载力动态研究. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(1): 95-98.
- [6] 张兴榆. 区域水资源承载力分析研究——以延安市为例. 陕西: 西北大学, 2007: 30-47.
- [7] 袁晓宇. 多目标决策灰色关联投影法在水资源承载力分析中的应用. 江苏水利, 2004, (12): 10-13.
- [8] 戴天晟, 孙绍荣, 赵文会, 顾宝炎. 区域水资源可持续利用评价的 FAHP-PP 模型. 长江流域资源与环境, 2009, 18(5): 421-425.
- [9] 陈卫宾, 董增川, 何长高, 李彦彬. 水土保持对水资源系统安全的影响评价. 中国水土保持, 2007, (1): 32-34.
- [10] 唐恒, 杜发兴. 基于熵权的模糊物元水资源承载力评价模型. 中国农村水利水电, 2006, (12): 36-39.
- [11] 王顺久, 杨志峰. 区域农业生态环境质量综合评价投影寻踪模型研究. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 173-175.
- [12] 张欣莉, 丁晶, 王顺久. 投影寻踪分类模型评定相似流域. 水科学进展, 2001, 12(3): 356-360.
- [13] 付强, 金菊良, 梁川. 基于实码加速遗传算法的投影寻踪分类模型在水稻灌溉制度优化中的应用. 水利学报, 2002, 10: 39-45.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanyang, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元