

文章编号 :1007 - 6492(2001)02 - 0034 - 05

# 西部干旱区生态环境质量定量评价理论方法

左其亭<sup>1</sup>, 王中根<sup>2</sup>, 陈 嘻<sup>3</sup>, 周可法<sup>3</sup>

(1. 郑州工业大学水利与环境工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072; 3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘 要:** 实现生态环境优化调控与科学管理, 是保护生态环境、促进社会经济与环境协调发展、建立人与环境和谐关系的重要举措。针对西部干旱区生态环境的特点, 从便于生态环境调控与管理的角度出发, 给出生态环境质量量化指标体系、评价标准, 并介绍了生态环境质量评价的多级关联评价方法及其在宁夏分区生态环境质量评价中的应用实例。

**关键词:** 生态环境; 评价; 多级关联评价方法; 干旱区

**中图分类号:** X 820.2      **文献标识码:** A

西部干旱区位于中纬度欧亚大陆的腹地中心, 约占国土面积的 1/4, 拥有十分丰富的自然资源, 是支撑我国 21 世纪社会经济可持续发展的重要基地。但是该区气候十分干燥, 水资源匮乏, 生态环境脆弱, 绝大部分地区年均降水量在 400 mm 以下。由于干旱缺水, 生态环境极易遭到人类活动的破坏, 主要表现为: 河湖萎缩, 水资源严重消退; 天然植被大量破坏, 自然生态系统退化; 土地荒漠化加剧; 水土流失非常严重; 土地次生盐渍化强烈发展; 环境污染不断加重。水资源与生态环境相互作用, 互相影响, 已成为制约西部干旱区可持续发展的两大限制性因素。

因此, 合理利用水资源, 保护生态环境, 促进社会经济与环境协调发展, 建立人与环境的和谐关系, 是当前大规模开发西部所面临的急需解决的重大问题。实现西部干旱区生态环境优化调控与科学管理的关键, 在于加强西部干旱区生态环境质量的定量研究, 提出一套针对该区切实可行的生态环境质量评价指标体系, 进行生态环境质量评价及生态环境承载力分析, 为实现西部地区社会经济可持续发展提供科学的决策依据。

当前生态环境质量评价尚处于探索阶段, 定量分析的理论和方法需要进一步发展和完善。并且, 西部地区地域辽阔, 生态类型复杂, 生态环境

影响制约因素繁多, 生态环境监测资料稀少。如何在资料不完善的情况下, 建立切实可行的生态环境质量评价指标体系、评价标准等级和评价方法, 是进行西部地区生态环境质量评价的一个难点。

基于上述问题, 本文内容将包括理论方法探索 and 实际应用研究两个方面, 其内在关系是: 根据西部地区生态环境的系统特征, 提出生态环境质量评价指标体系及其有关的理论方法, 再在理论方法的指导下完成实际应用研究。

## 1 西部干旱区生态环境质量评价指标体系及评价标准

生态环境质量评价, 是根据合理的指标体系和评价标准, 运用恰当的方法, 评价某区域生态环境质量的优劣及其影响关系。无论是哪种类型的评价, 建立科学、完善、可行的评价指标体系及选择恰当的评价标准是成功进行生态环境质量评价的关键。

### 1.1 西部干旱区生态环境系统

为了建立科学、完善、可行的评价指标体系及选择恰当的评价标准, 首先必须对西部干旱区生态环境系统有一个详细地了解。该系统可概化为图 1 所示。

收稿日期: 2001 - 02 - 01; 修订日期: 2001 - 03 - 30

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G199904350805); 中国科学院资源与生态环境重大项目(KZ951 - B1 - 213 - 03 - 03)

作者简介: 左其亭(1967 - )男, 河南省固始县人, 郑州工业大学讲师, 博士, 主要从事区域水资源与环境管理方面的研究。

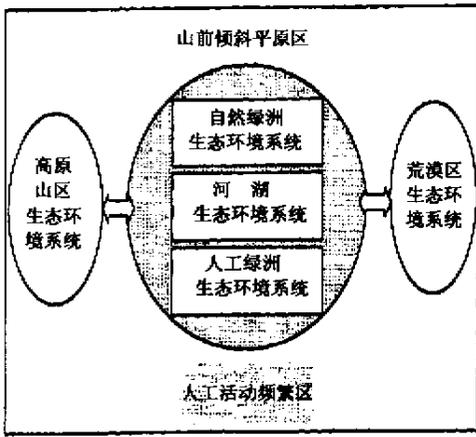


图 1 西部干旱区生态环境系统关系图

Fig.1 The interrelated map of eco-environmental system of arid land

1.2 西部干旱区生态环境质量评价指标体系

生态环境系统是社会经济系统赖以存在的物质基础,是实现可持续发展的重要保证.根据以往

经验,建立区域生态环境质量评价指标体系,应先从区域生态环境典型结构分析入手,找出影响和表征生态环境质量的主要因子,然后,建立指标体系,并加以量化和评价.

根据西部干旱区生态环境系统的特点,考虑评价的需要,把生态环境质量评价指标体系划分为 5 个指标群(见图 2).指标体系如表 1 所示.

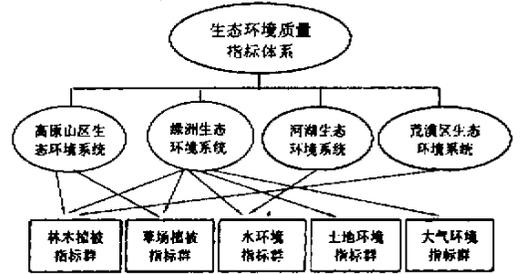


图 2 生态环境质量评价指标群关系图

Fig.2 The interrelated map of index groups of eco-environment quality

表 1 西部干旱区生态环境质量评价指标体系及质量等级划分标准

Table 1 Index system and grads of eco-environment quality of arid land

指标群类型	生态环境质量评价指标	生态环境质量等级划分标准					
		I	II	III	IV	V	
林木植被指标群	乔木 1 胡杨林	地下水位/m	< 3	3 ~ 4	4 ~ 6	6 ~ 10	≥ 10
		盐分含量/%	< 2	2 ~ 4	4 ~ 5	5 ~ 10	≥ 10
	乔木 2 沙枣	地下水位/m	< 3	3 ~ 4	4 ~ 5	5 ~ 6	≥ 6
	灌木 红柳、白刺灌丛	地下水位/m	< 3	3 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 8	≥ 8
		覆盖度/%	≥ 40	40 ~ 30	30 ~ 20	20 ~ 10	< 10
草场植被指标群	草场等级	载畜量/(hm/羊)	< 0.53	0.53 ~ 0.67	0.67 ~ 0.87	0.87 ~ 1	≥ 1
		产青草量/(kg/hm)	≥ 2737	2737 ~ 2310	2310 ~ 1890	1890 ~ 1455	< 1455
	草场退化	植被覆盖度比/%	≥ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	25 ~ 10	< 10
水环境指标群	高锰酸盐指数	COD <sub>Mn</sub>	2.0 ~ 4.0	4.0 ~ 6.0	6.0 ~ 8.0	8.0 ~ 10.0	≥ 10.0
	溶解氧	DO	8.0 ~ 6.0	6.0 ~ 5.0	5.0 ~ 3.0	3.0 ~ 2.0	< 2.0
	氨氮	NH <sub>3</sub> -H	0.01 ~ 0.2	0.2 ~ 0.1	0.1 ~ 2.0	2.0 ~ 8.0	≥ 8.0
	六价铬	C <sub>R</sub> <sup>+6</sup>	0.01 ~ 0.04	0.04 ~ 0.05	0.05 ~ 0.06	0.06 ~ 0.10	≥ 0.10
	挥发酚	φ-OH	0.001 ~ 0.002	0.002 ~ 0.01	0.01 ~ 0.10	0.10 ~ 1.0	≥ 1.0
	水体矿化度/(g/l)	-	< 1	1 ~ 17	17 ~ 35	35 ~ 50	≥ 50
土地环境指标群	土地肥力	有机质含量/%	≥ 1.5	1.5 ~ 1.2	1.2 ~ 0.7	0.7 ~ 0.2	< 0.2
		全氮含量/%	0.15 ~ 0.09	0.09 ~ 0.07	0.07 ~ 0.05	0.05 ~ 0.03	< 0.03
	盐化程度	总盐含量/%	< 0.55	0.55 ~ 0.73	0.73 ~ 0.87	0.87 ~ 1.35	≥ 1.35
	(0 ~ 30 cm)	缺苗率	< 1/10	1/10 ~ 1/3	1/3 ~ 1/2	1/2 ~ 2/3	≥ 2/3
	碱化程度	钠碱化度/%	< 5	5 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	≥ 40
		pH(1 2.5)	< 8.7	8.7 ~ 9.1	9.1 ~ 9.3	9.3 ~ 9.6	≥ 9.6
	土地沙化	沙化面积扩大率/%	< 5	5 ~ 12	12 ~ 20	20 ~ 41	≥ 41
水土流失	水土流失模数/(t/(km <sup>2</sup> ·a))	< 1000	1000 ~ 2500	2500 ~ 5000	5000 ~ 8000	≥ 8000	
大气环境指标群	二氧化硫	SO <sub>2</sub>	< 0.05	0.05 ~ 0.15	0.15 ~ 0.25	0.25 ~ 0.50	≥ 0.50
	氮氧化物	NO <sub>x</sub>	< 0.05	0.05 ~ 0.10	0.10 ~ 0.15	0.15 ~ 0.30	≥ 0.30
	固体总悬浮物	TSP	< 0.15	0.15 ~ 0.30	0.30 ~ 0.50	0.50 ~ 0.75	≥ 0.75
	飘尘	飘尘	< 0.05	0.05 ~ 0.15	0.15 ~ 0.25	0.25 ~ 0.50	≥ 0.50

### 1.3 生态环境质量评价标准问题

在进行生态环境质量评价时,需要有判别的基准,即评价标准,其来源于:①国家、行业和地方规定的标准;②背景或本底标准;③类比标准;④公认的科学研究成果。

从可操作性出发,并考虑到西部地区现有的技术、经济条件,经过可行性研究后,初步提出针对西部干旱区有一定实用参考价值的生态环境质量评价指标体系及评价标准,如表1所示。

## 2 生态环境质量综合评价的多级关联评价方法

生态环境质量评价方法正处于探索与发展阶段,尚不成熟,亦无定论。目前,常采用的方法有:列表清单法、生态图法、指数法、景观生态学方法、层次分析综合评价法、生物生产力评价法以及系统分析方法等。不管采用什么方法,其可靠性最终取决于对生态环境的全面认识和理解程度。获取可靠的基础数据,把握生态环境特点、本质和各要素之间的内在联系,是评价成功的关键。本文将引用夏军等提出的多级关联评价方法<sup>[1,3]</sup>。

### 2.1 基本概念与特点

依据监测样本与质量标准序列间的几何相似分析与关联测度计算,来度量监测样本中多个序列相对某一级别质量序列(L级)的关联性。关联度愈高,就说明该样本序列愈贴近参照级别,这是综合评价的信息和依据。

该方法的特点是:①评价的对象可以是一个广义谱系结构的动态系统,即同时包括多个子系统;②评价标准级别可用连续函数表达,也可采用在标准区间内作更细致的离散分级;③依据监测信息,按规范化的主成分系统分析方法,确定多因子综合评价应赋的权重。

### 2.2 计算过程

(1)将实测样本矩阵与评价标准矩阵进行归一化处理。归一化后的L级生态环境质量标准矩阵和实测样本归一化后的实测矩阵分别记为

$$B_{L \times n} = \begin{bmatrix} b_1(1) & b_1(2) & \dots & b_1(n) \\ b_2(1) & b_2(2) & \dots & b_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_L(1) & b_L(2) & \dots & b_L(n) \end{bmatrix};$$

$$A_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_1(1) & a_1(2) & \dots & a_1(n) \\ a_2(1) & a_2(2) & \dots & a_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_m(1) & a_m(2) & \dots & a_m(n) \end{bmatrix}.$$

(2)取区域第j个空间的监测样本向量 $a_j$ 为母序列( $j = 1, 2, \dots, m$ );对固定的j,取B矩阵行向量 $b_i$ 为子序列( $i = 1, 2, \dots, L$ );分别计算对应每一个指标因子的关联离散函数 $\zeta_{ij}(k)$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ).

$$\zeta_{ij}(k) = \frac{1 - \Delta_{ij}(k)}{1 + \Delta_{ij}(k)},$$

式中 $\Delta_{ij}(k) = |a_j(k) - b_i(k)|$ ;  $p$ 为不等于0的整数,一般取2。

(3)为了综合n项指标,需要求出所有的 $\zeta_{ij}(k)$ 值,子序列 $b_i$ 与母序列向量 $a_j$ 的关联程度定义为 $\zeta_{ij}(k)$ 的面积测度,即关联度,一种加权平均关系为

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^n \omega(k) \zeta_{ij}(k),$$

式中 $\omega(k)$ 为第k个指标的权重值,取值0~1之间。

如上所述,分别计算出所有的关联度 $r_{ij}$ ,最后形成综合评价关联度矩阵,记为

$$R_{L \times m} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{L1} & r_{L2} & \dots & r_{Lm} \end{bmatrix}.$$

(4)为了提高评价结果的分辨率,引进关联差异度的概念,定义:关联差异度 = 1 - 关联度。假定第j个监测样本同时以灰色从属度 $\mu_{ij}$ 从属于第i个质量标准级别,将第j个监测样本与第i级质量标准的差异程度,用以灰色从属度 $\mu_{ij}$ 为权的权关联差异度表示:

$$d_{ij} = \mu_{ij}(1 - r_{ij}).$$

为了解出最优的 $\mu_{ij}$ ,构造如下目标函数:全体监测样本同各级质量标准之间的权关联差异度 $d_{ij}$ 平方和最小,即

$$\min\{F(\mu_{ij})\} = \min\left\{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^L d_{ij}^2\right\} = \min\left\{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^L [\mu_{ij}(1 - r_{ij})]^2\right\},$$

将等式约束 $\sum_{i=1}^L \mu_{ij} = 1$ 和目标函数转变为拉格朗日函数,求解无约束极值问题,可得

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{i=1}^L \left[ \frac{1 - \sum_{k=1}^n \omega(k) \zeta_{ij}(k)}{1 - \sum_{k=1}^n \omega(k) \zeta_{ij}(k)} \right]^2}.$$

(5)引入经典的综合指数法,构造质量标准

级别向量  $S_T = (1, 2, \dots, L)$ , 那么评价级别结果可表示为

$$G_C = \mu_{ij} \times S = U \times S,$$

式中:  $G_C$  为生态环境质量评价灰色识别模式的综合指数.

### 2.3 基于监测样本信息的生态环境因子权重分配方法

如何确定各因子(指标)对整体质量的“相等重要度”,即因子权重问题,是生态环境质量评价中的一个难点.目前,应用效果较好的方法有主成份赋权法和层次分析法.本文应用主成份赋权法,该方法赋权的信息源来自客观环境中的监测样本,赋权是以各因子对整体质量的“客观贡献”为依据,能够避免人为赋权的主观性,使赋权的结果比较合理、客观且具有可比性.

## 3 应用实例

### 3.1 基本概况

宁夏国土面积 51800 km<sup>2</sup>, 处于黄土高原和鄂尔多斯高原的交汇过渡地带,地跨腾格里沙漠与毛乌素沙地.地势由南向北呈阶梯下降,地貌呈现流水侵蚀向干燥剥蚀过渡特性.大部分处于干旱半干旱地区,属于典型的内陆性气候.干旱少雨,蒸发强烈,风大沙多.

由于特殊的地理位置,宁夏植被、土壤具有明显的地带性特征.自南向北植被分布为温带半湿润区森林草原、半干旱区草原、干旱区荒漠草原和

草原化荒漠.土壤类型为黑垆土和灰钙土.全区植被稀少,森林覆盖率仅 4.85%.土壤有机质含量平均为 1.13%.

宁夏国土面积虽然不大,但是拥有丰富的煤炭资源,并且在建立西部生态屏障方面具有重要的地位.

### 3.2 宁夏地区生态环境质量评价

根据宁夏生态环境特点和存在的突出问题,将宁夏地区生态环境系统按照林木植被、草场植被、水环境、土地环境和大气环境划分为 5 类子系统,建立评价指标体系,并采用多级关联评价方法,对各类子系统质量进行评价.在此基础上,进行整体生态环境质量综合评价.

本次评价中,考虑到宁夏现阶段生态环境的监测状况,主要以宁夏回族自治区环境保护局的 1996 年环境监测资料为主,并结合其它有关的资料进行统一整理,合成研究区内评价代表年(1996 年)代表资料.运用多级关联评价方法,评价结果详见表 2,详细的计算过程见文献[3].

宁夏生态环境综合质量为 3.5 级,属于中等偏低水平;森林植被质量最差,平均级别在 4.7 级;其次是草场植被、水环境质量和土地环境质量;宁夏大气环境质量稍好,属于中度偏轻度污染.因此,从总体来看,治理宁夏生态环境,首先是植树造林,提高森林覆盖率,改善草场质量;其次是治理水污染,同时防治水土流失和土地盐渍化.这几项措施应统筹规划,协调进行.

表 2 宁夏生态环境质量综合评价

Table 2 Results of eco - environment quality assessment in Ningxia

分区	林木植被		草场植被		水环境		土地环境		大气环境		综合质量
	级别	$\omega$	级别	$\omega$	级别	$\omega$	级别	$\omega$	级别	$\omega$	
银川市	4.1	0.229	3.3	0.215	2.8	0.206	2.8	0.195	2.0	0.155	3.0
石嘴山市	4.7	0.229	3.4	0.215	3.2	0.206	3.0	0.195	2.9	0.155	3.4
银南地区	5.0	0.229	3.4	0.215	4.2	0.206	2.7	0.195	2.7	0.155	3.6
固原地区	4.7	0.229	3.4	0.215	3.5	0.206	3.0	0.195	3.6	0.155	3.7
全区平均	4.7	0.229	3.4	0.215	3.6	0.206	3.0	0.195	2.8	0.155	3.5

## 4 结束语

实现生态环境的优化调控与科学管理,是保护生态环境,促进社会经济与环境协调发展,建立人与环境和谐关系的重要举措.尤其是针对生态环境十分脆弱的西部干旱区,我国政府在号召开发大西北的同时,十分重视生态环境的研究、保护工作.本文仅针对西部干旱区生态环境的特点,从便于生态环境调控与管理的角度,给出生态环境

质量量化指标体系、评价标准,并介绍了生态环境质量定量评价多级关联评价方法.通过在宁夏地区的应用,说明该研究成果具有一定的理论及应用价值.

### 参考文献:

[1] 夏军.区域水环境与生态环境质量评价[M].武汉:武汉水利电力大学出版社,1999.

[2] 夏军,左其亭.中国西部干旱区湖泊生态系统水

- 量模型研究[J].生态学研究,1999(1) 6-9.
- [3] 王中根,夏 军,左其亭.多级关联评价方法在宁夏生态环境质量评价中的应用[J].生态学研究,1998(2) 8-11.
- [4] 金岚主.环境生态学[M].北京:高等教育出版社,1992.
- [5] 任美镔,包浩生.中国自然区域及开发整治[M].北京:科学出版社,1992.
- [6] 中国科学院新疆资源开发综合考察队.新疆生态环境研究[M].北京:科学出版社,1989.
- [7] DANIEL D Chiras. Environmental Science[M]. California: The Benjamin Cummings Publishing Company Inc, 1994.

## Study on Eco - environment Quality Assessment Method of Arid Land of Western China

ZUO Qi - ting<sup>1</sup>, WANG Zhong - gen<sup>2</sup>, CHEN Xi<sup>3</sup>, ZHOU Ke - fa<sup>3</sup>

(1. College of Hydraulic & Environmental Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Water Resources & Hydropower, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography Chinese Academy of Science, Ulumqi 830011, China)

**Abstract**: Adopting optimum control and scientific management for eco - environment is very important to protecting eco - environment against disruption and promoting the coordinated growth of soc - economy system and eco - environment system and building a harmonic relationship between human behaviour and natural world. This paper, according to the characteristics of arid land eco - environment, from the point of quantitative study on eco - environmental control and management, puts forward a new quantitative index system and its levels, and introduces a pattern recognition approach to quantify the eco - environmental quality and a case study in Ningxia, China.

**Key words**: eco - environment; assessment; pattern recognition approach; arid land