

民勤绿洲生态环境脆弱性模糊物元分析评价

张鑫, 蔡焕杰, 王化齐

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 针对民勤绿洲水资源、环境和土地利用现状, 利用定量分析方法对民勤绿洲生态环境脆弱性进行总体评价。在分析影响民勤绿洲生态环境因素的基础上, 将模糊理论、层次分析法和物元可拓集合有机结合起来, 建立了民勤绿洲生态环境脆弱性评价的模糊物元模型。该模型充分考虑水资源、环境、土地资源和人工干预等指标。计算结果表明: 民勤绿洲生态环境脆弱性状况总体评价为Ⅲ级, 即非常脆弱。该方法简捷、易于计算编程, 为西北旱区生态环境脆弱性评价提供了一种新的思路。

关键词: 模糊理论; 物元可拓集合; 层次分析; 生态环境脆弱性; 民勤绿洲

中图分类号: X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0195-05

生态环境脆弱性是指生态环境受到外界干扰作用超出自身的调节范围, 而表现出对干扰的敏感程度。生态环境脆弱性评价的方法较多, 国外的研究除借助“3S”技术深入到各类型区域外, 还出现了与景观学相结合或针对特殊条件的生态脆弱性评价体系^[1,2]。国内的研究主要集中在半湿润、半干旱和干旱区域的生态脆弱带, 评价的主要方法^[3~9]包括: 灰色评价法、模糊综合评判法、主成分分析法、层次分析法、综合指数评价法等, 其中综合指数评价法是生态环境脆弱性评估过程中应用较多的非常实用的方法, 但该方法无法识别单指标的生态脆弱水平, 也会遗漏指标间的一些分异信息。生态环境脆弱性具有动态性和模糊性, 不同评价指标之间可能存在着不相容问题, 同时, 生态环境脆弱程度的大小、优劣是没有明确的界限。而模糊物元分析法是解决不相容和模糊耦合问题的有力工具。因此, 本文利用模糊物元分析法对石羊河流域下游民勤绿洲生态环境脆弱性进行综合性评价, 以探索该方法对旱区生态环境脆弱性评价的可行性、合理性和可靠性。

1 模糊物元模型的建立

物元模型由我国数学家蔡文 1983 年提出, 从最初的物元分析到现在的可拓学, 已经奠定了它自己的理论体系^[10,11], 并且已经在许多领域得到广泛的应用。

给定事物的名称 N , 它关于特征 C 的量值为 V , 以有序 3 元 $R = (N, C, V)$ 组作为描述事物的

基本元, 简称物元。同时把事物的名称、特征和量值称为物元三要素。若事物 N 有多个特征, 并以 n 个特征, $C_1, C_2, \dots, C_n$ 和相应的量值 $V_1, V_2, \dots, V_n$ 来描述, 则可表示为: $R = (R_1, R_2, \dots, R_n)^T$ 为 n 维物元。

1.1 确定经典域与节域

$$R_{0j} = (N_{0j}, C_i, V_{0ji}) = \begin{bmatrix} N_{0j}, & c_1, & x_{0j1} \\ & c_2, & x_{0j2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & x_{0jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0j}, & c_1, & \langle a_{0j1}, b_{0j1} \rangle \\ & c_2, & \langle a_{0j2}, b_{0j2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & \langle a_{0jn}, b_{0jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: N_{0j} 表示所划分的第 j 个评价等级; C_i 表示第 i 个评价指标; $x_{0ji} = \langle a_{0ji}, b_{0ji} \rangle$ 分别为 N_{0j} 关于指标 C_i 所规定的量值范围, 即各评价指标关于各等级所取的数据范围——经典域。其中 $j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n$ 。

$$R_p = (P, C, x_{pi}) = \begin{bmatrix} p, & c_1, & x_{p1} \\ & c_2, & x_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & x_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p, & c_1, & \langle a_{0p1}, b_{0p1} \rangle \\ & c_2, & \langle a_{0p2}, b_{0p2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & \langle a_{0pn}, b_{0pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

收稿日期: 2008-04-06

基金项目: 高等学校优秀博士论文基金(200052); 校博士科研启动基金(01140504); 校科研专项(08080230)

作者简介: 张鑫(1968—), 男, 河南淅川人, 博士, 副教授, 主要从事水资源可持续开发利用及其生态环境效应方面的研究。E-mail: zhixin@nwsuaf.edu.cn.

式中： P 表示评价等级的全体； x_{pi} 为 P 关于 C_i 所取的量值范围——节域。

对于待评定的事物把所得数据或者分析结果用物元表示为：

$$R_0 = \begin{bmatrix} p_0, & c_1, & x_1 \\ & c_2, & x_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & x_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

上式称为事物 P_0 的待评定物元，式中 P_0 表示某事物， x_{pi} 为 P_0 关于 C_i 的量值，即待评定事物相对于各指标的具体数据。

1.2 距的计算

$$\rho(x_i, x_{0ji}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{0ji} - b_{0ji}) \right| - \frac{1}{2}(b_{0ji} - a_{0ji}) \quad (4)$$

$$\rho(x_i, x_{0pi}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{pi} - b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) \quad (5)$$

式中： $\rho(x_i, x_{0ji})$ 表示点 x_i 与区间 x_{0ji} 的距； $\rho(x_i, x_{0pi})$ 表示点 x_i 与区间 x_{pi} 的距。

1.3 关联函数值

$$k_j(x_i) = \begin{cases} \frac{\rho(x_i, x_{0ji})}{\rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{0ji})}, & \text{当 } \rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{0ji}) \neq 0 \\ -\rho(x_i, x_{0ji}) - 1, & \text{当 } \rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{0ji}) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

1.4 确定权系数

权是决策者根据重要性赋予指标的不同值，且各指标的权系数 λ_i ，要求 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ 。本文采用层次分析法(AHP) 来确定评价模型中各个指标的权系数。

1.5 计算隶属程度

$$K_j(P_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_j(x_i) \quad (7)$$

$K_j(P_0)$ 是待评定事物 P_0 各指标关于等级 j 的关联度。若 $K_j = \max K_j(P_0)$ ， $j \in 1, 2, \dots, m$ ，则评定 P_0 属于等级 j 。

2 评价指标体系构建

2.1 评价指标及标准

合理的生态环境脆弱性评价指标涉及能够反映生态环境脆弱性的自然状况、社会发展状况、经济发展状况等各个方面。既要考虑环境系统内在功能与结构的特点，又要考虑环境系统与外界之间的联系。本文把民勤绿洲生态环境脆弱状况作为目标层，下属水资源、土地资源、环境、人工干预系统四个分目标层，然后对每一个分目标层再选取具体指标来衡量。

区域生态环境脆弱性评价标准是生态环境系统以及与其相关的复合系统的综合效应，这里将生态环境脆弱性分为 4 个级别，即不脆弱、一般脆弱、非常脆弱、严重脆弱，见表 1。

表 1 脆弱性与级别的对应关系

Table 1 The relation between vulnerability and grade

指标类型 Index type	脆弱性 Vulnerability	不脆弱 No vulnerability	一般脆弱 Commonly vulnerability	非常脆弱 Special vulnerability	严重脆弱 Severity vulnerability
越小越优型 The smaller, the more excellent type	级别 Level	I 级	II 级	III 级	IV 级
	范围 Bound	<S ₁	[S ₁ , S ₂]	[S ₂ , S ₃]	>S ₃
	警度 Alarm	无警 None	轻警 Light	中警 Middle	重警 Severe
越大越优型 The bigger, the more excellent type	级别 Level	I 级	II 级	III 级	IV 级
	范围 Bound	>R ₁	[R ₂ , R ₁]	[R ₃ , R ₂]	<R ₃
	警度 Alarm	无警 None	轻警 Light	中警 Middle	重警 Severe

在具体指标的选取过程中，本着科学性、典型代表性、综合全面性和易获取性原则，经实践调查分析和专家咨询，共选取 16 个指标来反映民勤绿洲的生态环境脆弱性状况，各指标值以 2000 年为准，并利

用 AHP 法得到各指标权重，见表 2。

本文参照国家有关水资源、土地利用及生态环境评价的有关指标，并结合民勤绿洲的实际情况，各指标的评价标准值见表 3。

表 2 民勤绿洲生态环境脆弱性评价指标及权重^[3]

Table 2 The right value and the eco-environmental vulnerability indicators in Minqin oasis

目标层 Aim layer	准则层〔权重〕 Rule layer (Weight value)	指标层〔权重〕 Index layer(Weight value)	指标量值 Index value	性质 Character
A 生态环境 Environment	B ₁ 水资源系统 Water resources system 〔0.4512〕	C ₁ 降雨量(mm) 〔0.0548〕 Rainfall	122.1	↑
		C ₂ 水资源利用率(%)〔0.1456〕 Water resources using ratio	255	↓
		C ₃ 人均水资源量(m ³ /人) 〔0.1009〕 Resources quantity per capita	455	↑
		C ₄ 地下水埋深(m) 〔0.4033〕 Water table depth	15.9	↓
		C ₅ 地下水矿化度(g/L) 〔0.2954〕 Groundwater mineralization degree	6	↓
		C ₆ 干燥度〔0.2583〕 Dryness degree	6.3	↓
	B ₂ 环境系统 Environment system 〔0.1190〕	C ₇ 无霜期天数(天/年) 〔0.1047〕 Frost-free days(d/a)	162	↑
		C ₈ 沙尘暴天数(天/年) 〔0.6370〕 Days with sand dust devil(d/a)	37	↓
		C ₉ 盐渍化土地比重(%)〔0.4622〕 The proportion of salinized soil	36.8	↓
	B ₃ 土地资源系统 Soil resources system 〔0.1689〕	C ₁₀ 垦地指数〔0.1134〕 Reclaimed soil exponent	3.4	↓
		C ₁₁ 沙化指数〔0.3162〕 Sand exponent	0.75	↓
		C ₁₂ 草地盖度(%)〔0.0467〕 Meadow coverage degree	20.2	↑
		C ₁₃ 林地盖度(%)〔0.0615〕 Forest coverage degree	2.9	↑
	B ₄ 人工干预系统 Artificial interfering system 〔0.2609〕	C ₁₄ 人口密度(人/km ²) 〔0.5936〕 Population density	30	↓
		C ₁₅ 人均 GDP(元/人) 〔0.1710〕 GDP per capita (Yuan/capita)	2894	↑
		C ₁₆ 农民人均收入(元/人) 〔0.2493〕 Average farmer income per capita (Yuan/capita)	2216	↑

注：↑表示越大越优；↓表示越小越优。
Note: ↑ The bigger, the more excellent type; ↓ The smaller, the more excellent type.

2.2 指标值的模糊化

为了便于计算,将各指标值归一化,据从属隶属度原则,采用下式进行数据处理

越大越优型 $u_i = x_i / \max x_i$ (8)

越小越优型 $u_i = x_i / \min x_i$ (9)

式中： x_i 为事物的第*i*个特征对应的量值。

2.3 生态环境脆弱性评价

以归一化后的民勤绿洲生态环境脆弱性指标标准建立物元模型,由实际数据可以得到民勤绿洲生态环境脆弱性评价的物元体,以及水资源、环境、土地和人工干预指标各等级的经典域和节域。

根据公式(7),可以得到待评物元的关于各等级的隶属度,见表 4.5。

3 结论与讨论

1) 水资源是民勤绿洲经济社会发展的重要制约因素,也是影响民勤绿洲生态环境状况的重要因素。民勤绿洲多年平均降雨量为 110 mm 左右,多年平均蒸发量为2 643.9 mm。年入境径流仅为1.1亿 m³ 左右,地下水年超采量约为4.2亿 m³,因此水资源具有严重的脆弱性。而环境对水资源具有很强的相依性。民勤绿洲土地盐碱化和次生盐碱化比较严重,人口的不断增长,又加重生态环境的负荷,而水资源、环境和土地资源的脆弱性,反过来又影响人类的生存。研究表明:水资源、环境、土地资源和人工干预系统指标的评价级别分别为Ⅳ级、Ⅲ级、Ⅲ级、Ⅲ级。

表 3 民勤绿洲生态环境脆弱性评价标准						
Table 3 The assessment criterion of eco-environmental vulnerability indicators in Minqin oasis						
系统 System	敏感因子 Sensitivity factor	定量指标 Ration index				
		I 级 I class	Ⅱ级 Ⅱ class	Ⅲ级 Ⅲ class	Ⅳ级 Ⅳ class	
B ₁	C ₁	1000	800	400	200	
	C ₂	30	40	65	100	
	C ₃	1700	1365	870	624	
	C ₄	4	6.5	11	15	
	C ₅	1	2	3.5	4	
B ₂	C ₆	1	1.3	2.8	10	
	C ₇	230	209	167	150	
	C ₈	5	13	28	35	
B ₃	C ₉	0.1	0.15	0.25	0.3	
	C ₁₀	0.15	0.24	0.38	0.45	
	C ₁₁	0.2	0.35	0.6	0.7	
	C ₁₂	0.5	0.4	0.29	0.2	
	C ₁₃	0.4	0.34	0.22	0.16	
B ₄	C ₁₄	10	18	53	80	
	C ₁₅	9609	8174	5304	3869	
	C ₁₆	3280	2900	2140	1760	

表 4 民勤绿洲生态环境脆弱性评价指标各等级关联值						
Table 4 The relevant level for eco-environmental vulnerability assessment indicators in Minqin oasis						
系统 System	敏感因子 Sensitivity factor	I 级 I class	Ⅱ级 Ⅱ class	Ⅲ级 Ⅲ class	Ⅳ级 Ⅳ class	所属等级 Grade
B ₁	C ₁	−0.0464	0.0021	0.0114	0.0040	Ⅲ级 Ⅲ class
	C ₂	−0.1237	0.0109	0.0420	0.0171	Ⅲ级 Ⅲ class
	C ₃	−0.0789	0.0067	0.0418	0.0262	Ⅲ级 Ⅲ class
	C ₄	−0.3181	0.0313	0.0320	0.0921	Ⅳ级 Ⅳ class
	C ₅	−0.2443	0.0118	0.0222	0.0333	Ⅳ级 Ⅳ class
B ₂	C ₆	−0.0566	0.0002	0.0024	0.0072	Ⅳ级 Ⅳ class
	C ₇	0.0090	0.0001	0.0010	−0.0212	Ⅲ级 Ⅲ class
	C ₈	−0.1413	0.0023	0.0040	0.0140	Ⅳ级 Ⅳ class
B ₃	C ₉	−5.1E+14	0.0072	0.0167	0.0465	Ⅳ级 Ⅳ class
	C ₁₀	−0.0164	0.0037	0.2314	−0.1027	Ⅲ级 Ⅲ class
	C ₁₁	−0.0926	0.0020	0.0053	0.0305	Ⅳ级 Ⅳ class
	C ₁₂	−0.0126	0.0002	0.0070	0.0082	Ⅳ级 Ⅳ class
	C ₁₃	−0.0200	0.0003	0.0220	−0.0010	Ⅲ级 Ⅲ class
B ₄	C ₁₄	−0.2540	0.0120	0.0704	0.1549	Ⅳ级 Ⅳ class
	C ₁₅	−0.0598	0.0062	0.0229	0.0310	Ⅳ级 Ⅳ class
	C ₁₆	0.0677	0.0019	0.0169	−0.1090	Ⅲ级 Ⅲ class

2) 由于水资源、环境、土地资源和人工干扰系统的脆弱性,及其它们的相互作用,必然导致生态环境的严重脆弱。民勤绿洲生态环境脆弱性状况总体评价为Ⅲ级,即非常脆弱。

3) 利用模糊物元分析法对民勤绿洲的生态环

境脆弱性的评价结果与该区域的实际调查情况非常相符,评价结果比较合理、可靠。该方法简捷、易于计算编程,对西北旱区生态环境脆弱性评价提供了一种新的思路,对其它地区也具有一定的借鉴价值。

表 5 民勤绿洲生态环境脆弱性评价结果						
Table 5 The result of eco—environmental vulnerability assessment in Minqin oasis						
$K_j(P_0)$	I 级 I class	II 级 II class	III 级 III class	IV 级 IV class	max	隶属等级 Grade
水资源 Water resources	−0.811	0.063	0.150	0.173	0.173	IV
环境 Environment	−0.189	0.003	0.007	0.000	0.007	III
土地资源 Soil resources	−5.12E+14	0.013	0.263	−0.018	0.263	III
人工干预 Artificial interfering	−0.246	0.020	0.110	0.077	0.110	III
生态环境脆弱性 Eco-environmental vulnerability	−5.12 E+14	0.099	0.530	0.231	0.530	III

参 考 文 献:

[1] Kamaljit S B, Gladwin J, Siddappa S. Poverty, Biodiversity and Institutions in Forest-Agriculture Ecotones in the Western Ghats and Eastern Himalaya Ranges of India[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 121, 287—295.

[2] Mortberg U M, Balfors B, Knol W C. Landscape Ecological Assessment: A Tool for Integrating Biodiversity Issues in Strategic Environmental Assessment and Planning[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 82, 457—470.

[3] 胡宝清, 金妹兰, 曹少英, 等. 基于 GIS 技术的广西喀斯特生态环境脆弱性综合评价[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1), 103—107.

[4] 张 祚, 李江风, 黄 琳, 等. 基于 AHP 对生态脆弱性的灰色综合评价方法——以湖南省临湘市为例[J]. 资源开发与市场, 2007, 23(4), 305—307.

[5] 李荣彪, 吕红梅, 金光华, 等. 基于“3S”技术的喀斯特山区生态环境脆弱性研究——以都匀市为例[J]. 贵州环保科技, 2006, 12(4), 270—275.

[6] 王经民, 汪有科. 黄土高原生态环境脆弱性计算方法探讨[J]. 水土保持通报, 1996, (3), 32—36.

[7] 冉圣宏, 金建君, 薛纪渝. 脆弱生态区评价的理论与方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1), 117—122.

[8] 张红梅, 沙晋明. 基于 RS 与 GIS 的福州市生态环境脆弱性研究[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(2), 133—137.

[9] 罗新正, 朱 坦, 徐 鹤, 等. 河北迁西县山区生态环境脆弱性分区初探[J]. 山地学报, 2002, 20(3), 348—353.

[10] 蔡 文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.

[11] 蔡 文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[12] 王化齐. 石羊河下游民勤绿洲生态环境需水量及生态环境脆弱性评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.

The ecological environment vulnerability assessment

with fuzzy matter-element model in Minqin oasis

ZHANG Xin, CAI Huan-jie, WANG Hua-qi

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: According to the use of the status quo of water resources, environment and land use, the vulnerability of ecological environment in Minqin oasis is assessed with quantitative analysis. Based on the analysis of impact factors of the ecological environmental of Minqin, a fuzzy matter-element model is established for the Minqin oasis eco-environmental vulnerability evaluation on the basis of the theory of fuzzy, AHP and matter-element, in which some indices are taken into consideration, such as water resources, environment, land resources and manpower interference and so on. The results show that the ecological environment vulnerability is in III level in Minqin oasis, which is very fragile. Simple and easy to calculate, the method provides a new way of thinking for the vulnerability assessment of the ecological environment in arid regions of Northwest China.

Key words: fuzzy theory; matter-element topology aggregation; AHP; ecological environment vulnerability; Minqin oasis