

模糊物元分析在岩溶生态安全评价中的应用——以重庆市 11 区县为例

俞亮源¹, 谢世友² (1. 泸州职业技术学院, 四川泸州 400646; 2. 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要 运用模糊物元模型理论, 采用 P-S-R 生态评价模型构建了岩溶生态环境安全评价指标体系。选取相关数据对重庆市三峡库区 11 个区县的岩溶生态环境安全进行评价。结果表明, 研究地 11 区县岩溶生态环境安全度从大到小依次为垫江县(0.485 6)、梁平县(0.373 9)、丰都县(0.365 6)、忠县(0.330 2)、万州区(0.303 1)、开县(0.301 6)、奉节县(0.272 4)、巫山县(0.248 8)、云阳县(0.240 5)、城口县(0.158 2)、巫溪县(0.122 8)。通过引入模糊物元模型的分析方法, 为决策部门制订相应的政策及岩溶生态环境安全评价提供有益借鉴。

关键词 模糊物元; 岩溶; 生态安全; 重庆市

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)03-0075-02

Application of Fuzzy Matter Element Analysis in Karst Ecological Security Assessment—A Case Study of 11 Counties in Chongqing
YU Liang-yuan¹, XIE Shi-you² (1. Luzhou Vocational and Technical College, Luzhou, Sichuan 400646; 2. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment of Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract Using fuzzy matter element analysis, P-S-R ecological evaluation model was used to construct the index system of Karst ecological environment safety evaluation. The relevant data were adopted to evaluate Karst ecological environment in 11 counties in the Three Gorges Reservoir Region in Chongqing. The results showed that the safety degree of Karst ecological environment in 11 counties from good to bad was in the order as Dianjiang County(0.485 6) > Liangping County(0.373 9) > Fengdu County(0.365 6) > Zhong County(0.330 2) > Wanzhou District(0.303 1) > Kai County(0.301 6) > Fengjie County(0.272 4) > Wushan County(0.248 8) > Yunyang County(0.240 5) > Chengkou County(0.158 2) > Wuxi County(0.122 8). The introduction of fuzzy matter element model provides useful reference for decision-making departments to formulate corresponding policies to evaluate regional environment and safety of Karst ecological environment.

Key words Fuzzy matter element; Karst; Ecological safety; Chongqing

我国岩溶面积分布广泛, 总面积达 37 万 km², 约占国土总面积的 14.29%^[1]。由于岩溶地区生态环境极其脆弱, 加上人类不合理的开发利用, 导致水土流失严重, 土地承载力和生产能力下降, 大量碳酸盐岩裸露在外表, 形成石漠化现象。重庆市碳酸盐岩裸露面积可达 3.01 万 km², 占重庆市国土总面积的 36.80%^[2], 主要集中于重庆东南部和东北地区。岩溶生态环境系统的恢复和重建是政府和相关科研部门关注的焦点。生态安全已经与经济安全、国防安全同等重要, 成为不容忽视的问题^[3]。生态安全评价是当前地理、资源环境科学及生态学主要研究和应用的领域。生态安全评价将会有效地促进土地利用效率和生态环境的建设^[4]。笔者对岩溶生态环境安全进行评价, 找出岩溶生态环境系统的影响因子, 以期政府及相关部门制订合理的岩溶生态环境治理措施和有效的评价方法提供决策依据。

1 研究区概况

2006 年重庆市提出了“一圈两翼”基本战略构想^[5], 即“一小时经济圈”及渝东南翼和渝东北翼。渝东北翼包括万州区、城口县、巫溪县、巫山县、开县、云阳县、奉节县、梁平县、忠县、垫江县、丰都县 11 个区县。渝东南翼包括黔江区、秀山县、酉阳县、石柱县、彭水县、武隆县 6 个区县。笔者以渝东北翼三峡库区 11 个区县为研究对象, 该区域碳酸盐岩分布广泛, 是重庆三峡库区生态环境治理的重点。该区域以山地为主要土地类型, 耕地面积少, 山地土壤侵蚀剧烈, 水土流失严重, 主要经济收入来源以外出务工和种植经济作物为

主, 人均收入与重庆都市圈差别明显。

2 岩溶生态安全评价模糊物元分析原理

2.1 评价模型的选择 选取一个恰当的指标体系模型由评价岩溶生态环境安全评价的前提和基础。P-S-R 模型由加拿大统计学家 Tony Friend 和 David Rapport 于 1970 年提出, 之后该模型被经济合作与发展组织(OECD)所采用, 在生态环境安全评价方面被广泛应用。笔者采用 P-S-R 模型, 使用压力(Pressure)、状态(State)和响应(Response)来模拟生态环境安全发生的整个过程^[6-7](图 1)。压力是指人类的一些主要经济活动(如工业、农业、交通、建筑等)给环境造成

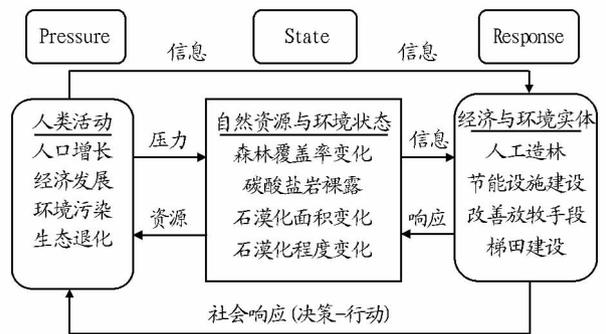


图 1 PSR 模型框架

Fig. 1 PSR model framework

的压力。状态是在生态环境造成压力的情况下出现的一种状态, 如土地破坏、水质下降、水土流失等。响应主要指上述压力和状态对人类生存环境带来的影响, 不能够持续发展, 威胁着人类的生存而采取的一种必要措施, 最终实现人与环境的可持续发展^[8]。

2.2 指标体系的构建 笔者依托重庆市石漠化检测专项数据库和《重庆市统计年鉴》选取横截面数据。检测数据来源

基金项目 国家科技支撑计划课题(2011BAC09B01); 重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA0002); 中央高校基本业务费专项资金资助(XDJK2015C006, SWU114058)。

作者简介 俞亮源(1986-), 男, 四川泸州人, 助教, 从事生态经济、环境政策研究。

收稿日期 2016-11-20

于重庆市林业局、重庆市发改委对重庆市岩溶区域的遥感监测和调查结果。由于选取数据的量纲不同,根据上述模型构建基本的岩溶生态环境安全评价指标体系,包括目标层、准则层和指标层。该指标体系选择33个不同因子作为评价指标进行评价(表1)。

表1 岩溶生态环境安全评价指标体系

Table 1 Karst ecological environment safety evaluation index system

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	序号 Serial No.	指标层 Index layer	属性 Attribute	单位 Unit
岩溶生态环境安全评价 Karst ecological environment safety evaluation index system	压力 Pressure	1	人均GDP	正	元
		2	城镇化率	正	%
		3	建设与改造投资	正	万元
	4	房地产开发	正	万元	
	5	公路建设	正	km	
	6	人口密度	负	人/km ²	
	7	失业人口数量	负	人	
	8	能源消费总量	负	万t标准煤	
	9	农村用电量	负	万kW·h	
	10	水土流失面积比	负	%	
	11	土壤侵蚀模数	负	t/(km ² ·a)	
	12	碳酸盐岩出露面积	负	hm ²	
	13	石漠化耕地面积比	负	%	
	14	森林覆盖率	正	%	
	状态 State	15	石漠化土地面积	负	hm ²
		16	旱坡耕地面积	负	hm ²
		17	石漠化有林地	正	hm ²
		18	轻度石漠化面积	负	km ²
		19	中度石漠化面积	负	km ²
		20	石漠化无立木林地	负	hm ²
		21	石漠化宜林地	正	hm ²
		22	石漠化灌木林地	正	hm ²
		23	石漠化治理面积	正	km ²
		24	封山育林面积	正	hm ²
		25	人工造林面积	正	hm ²
		响应 Response	26	牲畜棚圈面积	正
	27		饲草机械	正	台
	28		青贮窖	正	m ³
	29		农田坡该梯田面积	正	hm ²
	30		引水工程	正	km
	31		沼气池建设	正	口
	32		节柴灶建设	正	口
	33		生态移民建设	正	人

2.3 模糊物元的定义 我国著名学者蔡文教授提出物元分析方法,该方法得到了广泛的应用^[9]。模糊物元分析是把模糊数学和物元分析相结合,对事物量值的模糊性和复杂事物诸多影响因素之间互不相容的问题进行分析,解决了因素之间模糊不相容的问题^[10]。模糊物元是一个由三元有序组构成的集合,用 R 表示模糊物元, M 表示事物, C 表示事物 M 的特征, X 表示特征 C 的模糊量值。建立物元决策方案 M ,特征评价指标 C_i ,则量值 X_{ji} 就构成了如下模型,即

$$R_{mn} = \begin{pmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_m \\ C_1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{m1} \\ C_2 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{m2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ C_n & x_{1n} & x_{2n} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

$$K_j = \begin{pmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 & M_7 & M_8 & M_9 & M_{10} & M_{11} \\ k_j & 0.4856 & 0.3739 & 0.3656 & 0.3302 & 0.3031 & 0.3016 & 0.2724 & 0.2488 & 0.2405 & 0.1582 & 0.1228 \end{pmatrix}$$

2.4 隶属度值的计算 隶属度的确定是用来衡量各指标因素之间的优劣程度。一般的指标类型主要有成本性和效益性指标2类(表1的属性一栏“正”为效益性指标,“负”为成本性指标)。成本性指标指数越小越好,效益性指标指数越大越好。这2类指标用如下公式来计算,即成本性指标采用 $(MAXx_{ji} - X_{ji}) / (MAXx_{ji} - MINx_{ji})$,效益性指标采用 $(X_{ji} - MAXx_{ji}) / (MAXx_{ji} - MINx_{ji})$,其中 $MAXx_{ji}$ 与 $MINx_{ji}$ 分别表示排序决策方案中各指标所对应量值 x_{ji} 的最大值与最小值。

2.5 模糊物元方案的建立 由于在物元模糊分析中隶属度和联系数是相等的,即用隶属度就可以建立联系系数模糊物元矩阵。即

$$R_{33 \times 11} = \begin{pmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_{11} \\ C_1 & 1.0000 & 0.2361 & \cdots & 0.1623 \\ C_2 & 1.0000 & 0 & \cdots & 0.3144 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{33} & 0.6400 & 0.3200 & \cdots & 0.2800 \end{pmatrix}$$

2.6 计算各指标的权重 对构建的11个事物33个指标的判断矩阵 $R_{33 \times 11}$,主要采用变异系数法确定各指标的权重。

首先计算物元决策矩阵 J 行的均值 $\bar{U}_j = 1/m \sum_{i=1}^n Y_{ij}$,其中, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$;然后计算标准差 $S_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2}$,其中, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$;再计算变异系数 $W_j = S_j / \bar{U}_j$,其中, $j = 1, 2, \dots, n$ 。最将变异系数进行归一化处理后可得到相应的权重值,得到各指标的权重为 $W = (0.0342, 0.0333, 0.0326, \dots, 0.0262)$ 。

2.7 建立最优模糊物元与差平方模糊物元 最优模糊物元以最大或最小的从优隶属度构成,笔者以最大值作为最优构建模糊元,即最优隶属度均为1,以 $\Delta_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 表示最优模糊物元 R_{0i} 。 $R\Delta$ 与最优隶属模糊物元 R_{mn} 中各项差的平方组成新的模糊物元 $R\Delta_{ij}$,即

$$R\Delta_{ij} = \begin{pmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_{11} \\ C_1 & 1.0000 & 0.5835 & \cdots & 0.7017 \\ C_2 & 0 & 1.0000 & \cdots & 0.4700 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{33} & 0.1296 & 0.4624 & \cdots & 0.5184 \end{pmatrix}$$

2.8 建立欧式贴近度复合模糊物元 贴近度表示各方案与最优方案的接近程度,其值越大表示越接近^[11]。贴近度的算法有 $M(*, +), M(\wedge, \vee), M(*, \vee), M(\wedge, \oplus), M(*, \oplus)$ 5种,笔者主要采用 $M(*, +)$ 进行贴近度的运算。即先算乘法再加起来计算贴近度 pH_i ^[12]。即采用公式 $pH_i = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j \Delta_{ij}}, i = 2, \dots, m$ 。由此可以构造贴近度模糊物元 R_k ,即

表1 3份菌株天麻有性繁殖伴栽18个月试验统计情况

Table 1 Statistics of sexual reproduction of three strains and *G. elata* for 18 months

菌株名称 Strains	单产总量 Total yield per unit area	箭麻单产 Per unit area yield of arrow hemp	种麻单产 Per unit area yield of the female plant of hemp
gza46	4 213.1 a	2 923.8 a	1 289.3 a
wmt1	13 805.8 a	3 207.3 a	598.5 b
sb1	1 315.3 b	930.2 b	385.1 b

注:同列数据后不同小写字母表示菌株间差异显著($P < 0.05$)

Note: The lowercase letters in same column indicate significant differences between strains at 0.05 level

3 小结与讨论

通过对不同来源的3份菌株试验,在有性繁殖6个月和18个月后采收,所得的产量均显示出菌株“gza46”的优势,在繁育种麻和生产箭麻方面可大面积推广;菌株“wmt1”在有性繁殖6个月,也表现出了一定优势,在生产上作为繁育种麻同样可以大面积应用;菌株“sb1”在有性繁殖6个月和18个月后的产量均较低,生产上不宜推广应用。

根据实验室分离“gza46”菌株的结果显示,该菌株在生

(上接第76页)

3 评价结果与展望

通过构建模糊物元评价单元对重庆市11区县岩溶生态环境安全状况进行评价,结果显示,该研究区岩溶生态环境安全状况差异大,其中垫江县(0.4856)状况最好,巫溪县(0.1228)为最差(图2)。

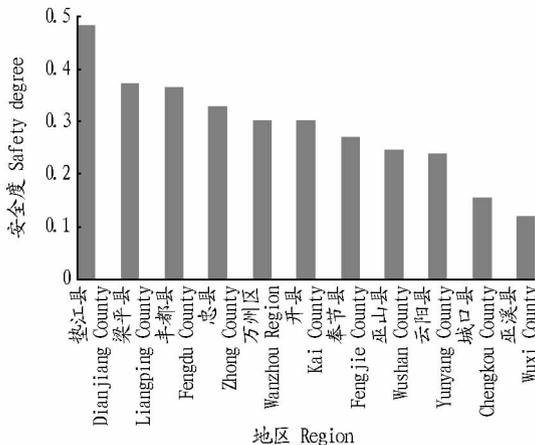


图2 11区县岩溶生态环境安全度评价结果

Fig. 2 Evaluation results of Karst ecological environment security in 11 counties

从评价结果来看,该区域岩溶生态环境安全状况与当地经济发展有着一定的联系,且与重庆市石漠化检测数据有一定的吻合度。虽然有一定偏差,但从整体评价结果来看,结果是可行的,这说明岩溶生态环境是一个复杂的系统,涉及经济发展、收入水平、交通条件、地貌类型等因素。安全评价也要考虑多方面的因素,采用模糊物元评价模型具有一定的客观性,评价结果稳定。这表明在岩溶生态环境评价方面采

用模糊物元模型是可靠的,可为区域岩溶生态环境评价提供一种新方法。

参考文献

- [1] 袁崇文. 中国天麻[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2010.
- [2] 张继经,李碧峰. 天麻与蜜环菌的关系[J]. Journal of integrative plant biology, 1980(1):59-64,113.
- [3] GUO T, WANG H C, XUE W Q, et al. Phylogenetic analyses of armillaria reveal at least 15 phylogenetic lineages in China, seven of which are associated with cultivated *Gastrodia elata*[J]. PLoS One, 2016, 11(5):154794.
- [4] 王秋颖,郭顺星,樊锦艳. 不同蜜环菌菌株生物学特性及菌丝体多糖含量的研究[J]. 中国药理学杂志, 2001, 36(9):588-590.
- [5] 王秋颖,郭顺星,关凤斌. 不同来源蜜环菌对天麻产量影响的研究[J]. 中草药, 2001, 32(9):839-841.
- [6] 黄明进,罗春丽,刘红昌,等. 贵州8种树材对天麻蜜环菌生长的影响[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(2):115-118.
- [7] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京:中国农业出版社,2013.

用模糊物元模型是可靠的,可为区域岩溶生态环境评价提供一种新方法。

岩溶生态环境作为新型的研究领域,有着特殊的复杂系统,对于其安全方面的评价研究目前现有的成果较少。笔者选取的11个区县均为三峡库区岩溶生态环境治理的重点区域,通过选取合理的岩溶生态环境影响因子建立了评价指标体系,引入了模糊物元评价模型,最终对结果排序,这对政府制订相应的区域环境政策提供有借鉴意义。笔者应用P-R模型,结合研究区域的特点,在专题数据库及统计年鉴中选取评价指标,至于选取指标的科学性及对岩溶生态环境评价的现实意义仍有待进一步的挖掘和研究。

参考文献

- [1] 官冬杰,苏维词,王海军. 重庆市岩溶地区生态环境脆弱性评价研究[J]. 农业现代化研究, 2006, 27(6):432-435.
- [2] 曹建华,袁道先,章程,等. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[J]. 地球与环境, 2004, 32(1):1-8.
- [3] 曲格平. 关注生态安全之一:生态环境问题已经成为国家安全的热门话题[J]. 环境保护, 2002(5):3-5.
- [4] LIAO C M, LI L, YAN Z Q, et al. Ecological security evaluation of sustainable agricultural development in karst mountainous area[J]. Chinese geographical science, 2003, 14(2):142-147.
- [5] 渝闻. 国务院审查并原则通过《重庆市城市总体规划》[J]. 城市规划通讯, 2007(8):9.
- [6] LONČAR N. The application of DPSIR model in analyzing the space and environmental state on Murter Island[J]. Geodria, 2010, 15(1):49-80.
- [7] WANG G, WU W. Assessment on ecological security spatial differences of west areas of Liaohe River based on GIS[J]. Huan jing ke xue, 2005, 26(5):28-33.
- [8] 俞亮源. 基于DPSIR模型的重庆市岩溶生态环境安全评价研究[D]. 西南大学, 2013.
- [9] 蔡文. 新学科《物元分析》[J]. 广东工学院学报, 1992(4):105-108.
- [10] 李丽. 京津冀低碳物流能力评价指标体系构建:基于模糊物元法的研究[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2013(2):72-81.
- [11] 周泰,袁波. 基于模糊物元欧式贴近度的区域物流发展水平评价[J]. 物流科技, 2016, 39(3):13-17.
- [12] 肖芳淳. 模糊物元分析及其应用研究[J]. 强度与环境, 1995(2):51-59.