

基于物元模型的吉林省西部生态环境脆弱性评价^{*}

王明全^{1,2} 王金达^{1,*} 刘景双¹ 窦晶鑫^{1,2}

(¹ 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 从水资源条件、自然灾害和土地“三化”(沙漠化、盐碱化和草原退化)3方面出发,选取10项能反映吉林西部生态环境脆弱性而彼此之间相互独立的指标建立物元模型,采用物元模型和熵权法对吉林西部各县市生态环境进行了脆弱性评价。结果表明:1985—2000年吉林省西部乾安县、扶余县、长岭县整体生态环境脆弱性相对较轻为Ⅰ级;大安市、前郭县生态环境脆弱性为中等Ⅱ级;脆弱性较重的地区有洮北区、镇赉县、洮南市、通榆县,脆弱等级为Ⅲ级。整体而言,吉林西部松原市各县环境脆弱性要好于白城市各县市。各县市对不同因子的敏感程度也各不相同,水资源条件脆弱性较重的地区为大安、通榆;自然灾害较为严重的地区为洮北、镇赉、洮南、通榆、乾安;土地“三化”现象幅度最大的地区为洮北、洮南、前郭。

关键词 物元模型; 吉林省西部; 脆弱性; 熵权法

中图分类号 X820.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2007)02-0291-05

Evaluation of eco-environmental fragrability in West Jilin Province based on matter-element model. WANG Ming-quan^{1,2}, WANG Jin-da¹, LIU Jing-shuang¹, DOU Jing-xin¹ (¹Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(2): 291–295.

Abstract: West Jilin Province is a typical area of the ecotone between agriculture and animal husbandry with frangible eco-environment. From the aspects of water resources, natural disasters and land degradation, 10 indices were selected to establish matter-element model for the assessment of eco-environmental fragrability in West Jilin Province. The results indicated that in 1985–2000, Qianan, Fuyu and Changling Counties had the least frangibility (level I), Daan and Qianguo were in the second place (level II), and Taobei, Zhenlai, Taonan, and Tongyu had the highest frangibility (level III). As a whole, the counties in Songyuan City were less frangible than those in Baicheng City. Different counties had different sensibility to the environmental factors, e. g., Daan and Tongyu were most frangible in water resources condition, and Taobei, Zhenlai, Taonan, Tongyu and Qianan suffered most from natural disasters, while Taobei, Taonan, Qianguo were threatened by severe land degradation.

Key words: matter-element model; West Jilin Province; frangibility; entropy method.

1 引 言

在2种环境的结合部或2类生态系统的过渡带,由于远离系统中心,总体性质的典型性减弱,生态系统的稳定性差,抵御外部干扰的能力低,生态环境的改变速率快,在资源竞争、空间竞争程度上表现

出明显的脆弱性和可塑性,因此称之为生态环境脆弱带(黄锡畴和孟宪玺,1995)。这些地区生态环境表现出较强的过渡性和波动性,对人类发展的支撑能力较弱,不利于生态、经济的可持续性。中国幅员辽阔,生态类型复杂多样,生态脆弱地区广布,对生态脆弱地区的研究具有重要的理论和现实意义(赵跃龙和张令娟,1998;孙武等,2002;汤洁和薛晓丹,2005;万忠诚等,2006)。物元模型是一种集系统科学、思维科学、数学于一体的分析模型,它可将复杂

^{*} 国家重点基础研究发展规划资助项目(2004CB418507)。

^{**} 通讯作者 E-mail: wangjinda@neigae.ac.cn

收稿日期:2006-05-17 接受日期:2006-11-11

问题抽象为形象化模型,并能以定量的数值表示评定结果,从而较完整地反映事物质量的综合水平(蔡文,1996;蔡文等,1997;门宝辉等,2003),物元模型在多种领域研究中得到应用(门宝辉等,2003;聂艳等,2005;汤洁等,2005)。本研究以吉林省西部地区为例,将物元模型引入到生态脆弱带生态环境的研究,进行生态环境质量评价研究的尝试。

2 吉林省西部的自然概况

吉林省西部地区(43°53'—46°18'N,121°38'—126°17'E)地处中国湿润的东亚季风区和干旱内陆之间的气候过渡地区,是生态系统从半湿润森林向半干旱草原之间的过渡带,也是中国历史上的农牧交错区域。该区受气候自然变化和人类活动的共同作用,其环境变化比较敏感,是生态和气候的脆弱带(黄方等,2003;汤洁和薛晓丹,2005)。吉林省西部在行政上包括白城市的洮北区、镇赉县、洮南市、通榆县和大安市以及松原市的宁江区、前郭县、乾安县、长岭县和扶余县。该区年日照时数 2 800 ~ 3 000 h,年总辐射 5 100 ~ 5 200 MJ · m⁻²,多年平均降雨量 400 ~ 500 mm,平均蒸发量 1 600 ~ 2 000 mm,平均相对湿度 60% ~ 65%,无霜期 140 ~ 160 d。生态环境问题主要表现为以下几方面:气候条件差,自然灾害频繁;土地“三化”(沙漠化、盐碱化、草原退化)严重;水资源贫乏,水利设施基础薄弱,抵御自然灾害的能力较低;产业结构失衡,系统整体生产功能低(盛连喜等,2001;裴善文等,2003;裴善文,2004;王宗明等,2005)。

3 物元模型及其评判过程

3.1 物元模型

给定事物的名称为 N ,它关于特征 C 的量值为 V ,以有序 3 元组 $R = (N, C, V)$ 作为描述事物的基本元,称为物元(蔡文等,1997)。一个事物可以由多个特征,如果事物 N 有 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n ,以及每个特征所对应的量值 V_1, V_2, \dots, V_n ,称 R 为 N 的 n 维物元:

$$R = \begin{bmatrix} C_1 & V_1 \\ N & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix}$$

3.2 确定经典域、节域和待测物元

3.2.1 确定经典域(R^j) 对于事物 N 由 m 件事物

N^1, N^2, \dots, N^m 组成,其中 N^j 是第 j 个事物($j = 1, 2, \dots, m$), C_i^j 是事物 N^j 的第 i 个特征, V_i^j 是 N^j 关于 C_i^j 的取值范围,即经典域 R^j 。经典域的直观含义就是事物每个属性变化的基本区间, V_i^j 的取值范围为区间 $\langle a_i^j, b_i^j \rangle$,记作 $V_i^j = \langle a_i^j, b_i^j \rangle$, ($i = 1, 2, \dots, n$)。

$$R^j = \begin{bmatrix} C_1^j & V_1^j \\ N^j & C_2^j & V_2^j \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n^j & V_n^j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1^j & \langle a_1^j, b_1^j \rangle \\ N^j & C_2^j & \langle a_2^j, b_2^j \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n^j & \langle a_n^j, b_n^j \rangle \end{bmatrix}$$

3.2.2 确定节域(R^p) N 的节域 V_i^p 是事物 N 关于的 C_i^j 取值范围,记作 $V_i^p = \langle a_i^p, b_i^p \rangle$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 很明显 $V_i^j \subset V_i^p$ 。

$$R^p = \begin{bmatrix} C_1^p & V_1^p \\ N^p & C_2^p & V_2^p \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n^p & V_n^p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1^p & \langle a_1^p, b_1^p \rangle \\ N^p & C_2^p & \langle a_2^p, b_2^p \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n^p & \langle a_n^p, b_n^p \rangle \end{bmatrix}$$

3.2.3 确定待评物元(R^d)

$$R^d = \begin{bmatrix} C_1^d & V_1^d \\ N^d & C_2^d & V_2^d \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n^d & V_n^d \end{bmatrix}$$

式中, V_k^d ($k = 1, 2, \dots, n$) 为待评物元关于第 K 个指标的评价值。

3.3 关联函数的计算

关联函数 $K_j(V_k^d)$ 用来表达 V_k^d 与区间 $\langle a_i^j, b_i^j \rangle$ 的关联程度,具体计算公式如下:

$$K_j(V_k^d) = \begin{cases} -\frac{\rho(V_k^d, V_i^j)}{|V_i^j|} & \text{当 } V_k^d \in V_i^j \text{ 时} \\ \frac{\rho(V_k^d, V_i^j)}{\rho(V_k^d, V_i^p) - \rho(V_k^d, V_i^j)} & \text{当 } V_k^d \notin V_i^j \text{ 时} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{式中, } \rho(V_k^d, V_i^j) &= \left| V_k^d - \frac{b_i^j + a_i^j}{2} \right| - \frac{b_i^j - a_i^j}{2}, \rho(V_k^d, V_i^p) \\ &= \left| V_k^d - \frac{b_i^p + a_i^p}{2} \right| - \frac{b_i^p - a_i^p}{2} \end{aligned}$$

3.4 确定权系数

权系数的确定有多种方法,如主成分法、AHP 法、熵权法(乔家君,2004)。本研究对于权系数的计算采用熵权法,熵权法利用各指标反映的信息效用值来判断其重要程度的大小(张卫民,2004;张先起和梁川,2005)。

1)数据的标准化。采用极差法依据评价指标对评价结果的作用进行标准化,若为正向作用,则 $f_k = \frac{V_k^d - \min(V_k^d)}{\max(V_k^d) - \min(V_k^d)}$,若为负向作用,则 $f_k = 1 - \frac{V_k^d - \min(V_k^d)}{\max(V_k^d) - \min(V_k^d)}$, $\max(V_k^d), \min(V_k^d)$ 分别为所有评价对象中 V_k^d 的最大和最小值。

2)信息熵值计算。 $e_k = -\frac{1}{\ln M} \sum_{i=1}^M (f_k \times \ln f_k)$,式中, e_k 为样本的信息熵值, M 为评判样本数。当 $f_k = 0$ 时,取 $f_k = 0.000001$ 代替。

3)权系数计算。设 ω_k 为第 k 项指标的权系数,则:

$$\omega_k = \frac{1 - e_k}{\sum (1 - e_k)} \tag{2}$$

3.5 隶属度计算

$$K_j(N) = \sum_{i=1}^n \omega_k K_j(V_k^d) \tag{3}$$

式中, $K_j(N)$ 为待评价对象 N 关于与事物 j 的隶属度,依据隶属度的大小判定评价结果,如果 $K_{j0} = \max \{K_j(N)\}$,则评价对象属于等级 j_0 。

4 吉林省西部地区生态环境脆弱性的物元模型

4.1 评价指标

以吉林省西部地区行政区划为主要的空间研究尺度,以20世纪80年代中期—20世纪末为主要的时

间尺度。选取了与生态环境脆弱性有关又能反映各评价对象差距的10项指标建立物元模型: I_1 平均缺水指数、 I_2 干燥指数变化率、 I_3 水域变化速率、 I_4 春旱频率、 I_5 夏旱频率、 I_6 洪涝频率、 I_7 冷灾频率、 I_8 草原退化速率、 I_9 土地盐碱化变幅、 I_{10} 土地沙化变幅。缺水指数=(年最大蒸散量-年平均降水量)/

年最大蒸散量,干燥指数=年最大蒸散量/年平均降水量,干燥指数变化率=(90年代平均干燥指数-80年代平均干燥指数)/80年代平均干燥指数。由于只收集到夏季干燥指数的数据,因此以夏季干燥指数的变化率来代替干燥指数的变化。水域变化率以及土地“三化”中各指标数据根1986和2000年Landsat卫星TM遥感信息解译获得,由于各行政区“三化”面积有增有减,计算过程中按其差值全部转化为正值,“三化”面积减少量最大的地区为零。

4.2 指标的独立性分析

指标的独立性是指各指标间自由变动而彼此不受牵制的性质,是一个与指标重叠性相对应的概念。在建立指标体系时,为消除指标间的重叠性应对指标进行独立性分析,定义相关系数 ≥ 0.9 的指标为重复指标并加以合并(曹利军和王华东,1998),合并方法如下:辨识真假相关,对于同类型指标(指同为正向作用或同为负向作用),相关系数为正是真相关,相关系数为负是假相关;对于不同类型指标,相关系数为正是假相关,相关系数为负是真相关,合并真相关指标。合并时高层次指标和综合性指标优先保留(曹利军和王华东,1998)。经用SPSS 13.0软件处理分析,该研究所选指标独立性达到要求。

4.3 建立经典域和节域

根据吉林省西部地区主要的生态环境问题,从影响生态环境脆弱性的水资源条件、灾害频率、土地“三化”程度3方面主导因子10项指标出发,将吉林省西部地区生态环境脆弱等级分为I、II、III级,分别表示生态环境脆弱性相对较轻、中等、较重,并依此建立吉林省西部地区物元模型的经典域 $R^1、R^2、R^3$ 和节域(R^p),待评判物元各个指标的评价指标见表1。

表1 吉林省西部地区各评价因素值
Tab.1 Index values of evaluated factors in West Jilin Province

地区	水资源条件			灾害频率				土地“三化”		
	I_1	I_2	$I_3(\%)$	$I_4(\%)$	$I_5(\%)$	$I_6(\%)$	$I_7(\%)$	$I_8(\%)$	$I_9(\%)$	$I_{10}(\%)$
洮北	0.461	0.246	0.59	90.0	67.5	20.00	22.5	5.96	0	75.27
镇赉	0.461	0.246	0.40	90.3	71.9	12.50	15.6	3.68	69.86	29.14
洮南	0.432	0.099	1.71	87.1	80.6	9.70	22.6	4.91	62.13	23.46
大安	0.481	0.099	0	80.6	78.1	9.40	18.8	3.46	45.79	33.32
通榆	0.465	0.194	2.96	88.6	83.8	13.90	13.9	4.32	23.55	55.97
乾安	0.384	0.328	2.32	84.8	67.6	8.80	14.7	2.67	48.30	52.91
扶余	0.366	0.099	1.53	77.4	71.9	9.40	15.4	0	26.31	0
长岭	0.430	0.076	2.30	68.4	55.3	18.40	15.8	2.46	46.68	77.29
前郭	0.383	0.261	1.54	78.4	60.5	15.80	18.3	5.64	40.62	52.51

$$R^1 = \begin{bmatrix} I_1 < 0.336, 0.405 > \\ I_2 < 0.076, 0.165 > \\ I_3 < 1.974, 2.96 > \\ I_4 < 68.4, 75.7 > \\ I_5 < 55.3, 64.5 > \\ I_6 < 8.80, 12.6 > \\ I_7 < 13.9, 16.8 > \\ I_8 < 0, 1.99 > \\ I_9 < 0, 23.3 > \\ I_{10} < 0, 25.8 > \end{bmatrix}$$

$$R^2 = \begin{bmatrix} I_1 < 0.405, 0.443 > \\ I_2 < 0.16, 0.224 > \\ I_3 < 0.988, 1.974 > \\ I_4 < 75.7, 83.00 > \\ I_5 < 64.5, 73.9 > \\ I_6 < 12.6, 16.3 > \\ I_7 < 16.8, 19.7 > \\ I_8 < 1.99, 3.98 > \\ I_9 < 23.0, 46.6 > \\ I_{10} < 25.8, 51.6 > \end{bmatrix}$$

$$R^3 = \begin{bmatrix} I_1 < 0.443, 0.482 > \\ I_2 < 0.224, 0.328 > \\ I_3 < 0, 0.988 > \\ I_4 < 83.0, 90.3 > \\ I_5 < 73.9, 83.3 > \\ I_6 < 16.3, 20.0 > \\ I_7 < 19.7, 22.6 > \\ I_8 < 3.98, 5.96 > \\ I_9 < 46.6, 69.9 > \\ I_{10} < 51.6, 77.3 > \end{bmatrix}$$

$$R^p = \begin{bmatrix} I_1 < 0.336, 0.482 > \\ I_2 < 0.076, 0.328 > \\ I_3 < 0, 1.974 > \\ I_4 < 68.4, 90.3 > \\ I_5 < 55.3, 64.5 > \\ I_6 < 8.80, 20.0 > \\ I_7 < 13.9, 22.6 > \\ I_8 < 0, 5.96 > \\ I_9 < 0, 69.9 > \\ I_{10} < 0, 77.3 > \end{bmatrix}$$

4.4 确定权系数

根据式(2)确定关联函数的权系数(表2)。

4.5 确定关联函数与隶属度

利用式(1)和式(3)计算关联函数和隶属度,进

表 2 权系数列表

Tab. 2 Table of coefficients

指标	权系数	指标	权系数
ω_1	0.130	ω_6	0.132
ω_2	0.108	ω_7	0.085
ω_3	0.055	ω_8	0.103
ω_4	0.176	ω_9	0.060
ω_5	0.061	ω_{10}	0.080

而得到综合评判结果(表3、表4)。

4.6 物元模型结果

从表3、表4可看见,吉林省西部乾安、扶余、长岭整体生态环境脆弱性相对较轻为Ⅰ级,大安、前郭生态环境脆弱性为中等Ⅱ级,脆弱性较重的地区有洮北、镇赉、洮南、通榆,脆弱等级为Ⅲ级,由此可见随着资源环境条件的渐变,该区松原市各县(乾安、扶余、长岭、前郭)环境脆弱程度要低于白城市(洮北、洮南、大安、镇赉、通榆)各县市。各个地区不同指标的脆弱性也各不相同,大安、通榆水资源条件脆弱性较重,洮北、镇赉、洮南、通榆、乾安等地自然灾害较为频繁。洮北、洮南、前郭等地区的土地“三化”速率最快。生态环境脆弱性是多种因素综合作用的结果,白城市各地区在水资源条件、自然灾害与“三化现象”方面多为Ⅱ级和Ⅲ级,潜在脆弱性相对较大。松原市对环境变化的抵御能力要强于白城市,对环境变化的敏感程度相对较低。

表 3 综合隶属度

Tab. 3 Comprehensive subordinate degree

地区	整体脆弱性			水资源条件			自然灾害			土地“三化”		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
洮北	-0.037	-0.061	-0.014	-0.017	-0.008	-0.009	-0.040	-0.038	-0.002	-0.0148	-0.0146	-0.003
镇赉	-0.046	-0.034	-0.033	-0.018	-0.083	-0.034	-0.021	-0.024	-0.016	-0.0064	-0.0008	-0.0074
洮南	-0.034	-0.041	-0.023	-0.004	-0.005	-0.017	-0.011	-0.021	-0.012	-0.007	-0.006	-0.004
大安	-0.031	-0.024	-0.045	-0.016	-0.024	-0.008	-0.010	-0.024	-0.028	-0.005	-0.003	-0.009
通榆	-0.048	-0.031	-0.024	-0.014	-0.008	-0.005	-0.026	-0.022	-0.008	-0.007	-0.002	-0.010
乾安	-0.019	-0.036	-0.029	0	-0.018	-0.014	-0.013	-0.021	-0.003	-0.005	-0.002	-0.011
扶余	-0.0004	-0.041	-0.068	0.002	-0.021	-0.024	-0.002	-0.007	-0.034	0	-0.012	-0.010
长岭	-0.005	-0.042	-0.055	-0.005	-0.004	-0.018	-0.017	-0.035	-0.031	-0.012	-0.003	-0.006
前郭	-0.014	-0.005	-0.051	0.001	-0.010	-0.018	-0.005	0.011	-0.027	-0.010	-0.006	-0.005

I, II, III 为生态环境脆弱的等级。下同。

表 4 物元模型评判结果

Tab. 4 Evaluated results of matter-element model

地区	整体脆弱性	水资源条件	自然灾害	土地“三化”	地区	整体脆弱性	水资源条件	自然灾害	土地“三化”
洮北	III	II	III	III	乾安	I	I	III	II
镇赉	III	II	III	II	扶余	I	I	I	I
洮南	III	I	III	III	长岭	I	I	I	II
大安	II	III	I	II	前郭	II	I	I	III
通榆	III	III	III	II					

5 结 语

利用物元模型对吉林西部生态环境进行了脆弱性评价,十几年的发展过程中各县市对生态环境因子的敏感程度也各不相同,因而各项指标的脆弱等级也不相同,应积极采取相应的对策以保证该区生态系统的稳定与可持续发展。对于水资源条件脆弱性较严重的地区应注重对湿地、河流等维持生态功能水域的维护和保育,积极发展节水型、生态型产业,提高水资源利用效率;对于自然灾害较为严重的地区要促进系统功能的恢复与合理结构的重建,兴建适合本地生态环境特点和经济实力的水利工程、生态工程(如“三北”防护林)以增强系统抵御能力与生态恢复能力。对于“三化”较严重的地区应进行全面的开发适宜性评价,合理规划农牧经济活动,科学搭配生产比例,加强对沙化土地、盐碱地和退化草地的治理和改良,提高土地生产力。生态系统各项要素是一个统一的有机整体,生态环境状态是多种因素综合作用的结果,对该区生态系统的保护与开发应遵循生态经济学原理和系统科学方法,以上措施对促进整体生态环境的优化是紧密相连的,不能片面强调某一方面。

参考文献

- 蔡 文,杨春林,林伟初. 1997. 可拓工程方法. 北京: 科学出版社.
- 蔡 文. 1996. 物元模型及其应用. 北京: 科学技术文献出版社.
- 曹利军,王华东. 1998. 可持续发展评价指标体系建立原理与方法研究. 环境科学学报, **18**(5): 526–532.
- 黄 方,刘湘南,张养贞. 2003. GIS 支持下的吉林省西部生态环境脆弱态势评价研究. 地理科学, **23**(1): 95–100.
- 黄锡畴,孟宪玺. 1995. 东北地区西部生态环境脆弱带研

- 究. 北京: 科学出版社.
- 门宝辉,王志良,梁 川. 2003. 物元模型在区域地下水资源承载力综合评价中的应用. 四川大学学报(工程科学版), **35**(1): 34–37.
- 聂 艳,周 勇,于 婧. 2005. 基于 GIS 和模糊物元贴近度聚类分析模型的耕地质量评价. 土壤学报, **42**(4): 551–557.
- 乔家君. 2002. 改进的熵值法在河南省可持续发展能力评估中的应用. 资源科学, **26**(1): 113–118.
- 裘善文,张 柏,王志春. 2003. 吉林省西部土地荒漠化现状、特征与治理途径研究. 地理科学, **23**: 188–192.
- 裘善文. 2004. 中国东北平原西部沙漠化现状、成因及其治理途径研究. 中国沙漠, **24**(2): 307–315.
- 盛连喜,刘长生,周道玮. 2001. 吉林生态与生态建设. 长春: 东北师范大学出版社: 115–127.
- 孙 武,侯 玉,张 勃. 2000. 生态脆弱带波动性、人口压力、脆弱度之间的关系. 生态学报, **20**(3): 369–373.
- 汤 洁,李艳梅,卞建民. 2005. 物元可拓法在地下水水质评价中的应用. 水文地质工程地质, **32**(5): 1–5.
- 汤 洁,薛晓丹. 2005. 吉林西部生态系统退化评价. 吉林大学学报(自然科学版), **35**(1): 79–85.
- 万忠成,王治江,董丽新. 2006. 辽宁省生态系统敏感性评价. 生态学杂志, **25**(6): 677–681.
- 王宗明,张 柏,张树清,等. 2005. 吉林西部生态恢复(重建)与农业系统生产力. 农业系统科学与综合研究, **25**(1): 51–57.
- 张卫民. 2004. 基于熵值法的城市可持续发展评价模型. 厦门大学学报(哲学社学版), (2): 107–115.
- 张先起,梁 川. 2005. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用. 水利学报, **36**(9): 1057–1061.
- 赵越龙,张令娟. 1998. 脆弱生态环境定量评价方法的研究. 地理科学进展, **18**(1): 73–79.

作者简介 王明全,男,1982年生,博士研究生。主要从事生态承载力与区域生态安全方面的研究。E-mail: wangmq04@mails.gucas.ac.cn

责任编辑 刘丽娟
