

荒漠化评价的物元可拓识别方法

王小丹, 钟祥浩, 范建容

(中国科学院—水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 可拓学是系统科学、思维科学和数学的交叉学科。本文运用可拓学和主成分分析方法, 构建了金沙江干热河谷荒漠化程度综合评判模型, 模型输出的结果与实际调查结果基本吻合, 为荒漠化评价研究提供了新的理论依据。

关键词: 荒漠化评价; 可拓学; 识别

中图分类号: P931. 3; X4 **文献标识码:** A

1 引言

土地荒漠化是当前全球性的重要环境问题^[1]。我国是荒漠化危害严重的国家之一, 全国荒漠总面积约 128 km^{2[2]}, 受荒漠化影响的土地面积约 332.7 万 km^{2[3]}, 约有 2 100 万 hm² 农田粮食产量低而不稳, 1.0 亿 hm² 草地严重退化, 800 多公里铁路以及许多水利设施、公路被破坏, 每年造成的直接经济损失达 196 亿元^[4]。对荒漠化进行深入研究意义重大。

荒漠化评价是防治工作的基础, 不仅可以摸清一个地区生态环境和社会经济发展的现状, 更重要的是, 在评价的基础上, 能够量化地分析荒漠化防治工作的成果以及为今后荒漠化防治工作提供辅助决策^[5]。目前, 荒漠化评价方法的研究较多, 但大多是单定性或单定量(纯数学模型)的评价。而地学研究必须把定性描述与定量分析科学地结合^[6], 荒漠化评价的研究也不例外。80 年代蔡文创立的可拓学是把定性和定量科学结合的有力工具, 它的理论支柱是物元理论和可拓集合论, 其逻辑细胞则是物元^[7]。本文把可拓学的原理和方法运用于以金沙江干热河谷荒漠化评价, 权作一种尝试与探索。

2 理论基础^[7, 8]

设 $N_0 \subset P$, 对任何待识别对象 $p \in P$, 判断 p 属

于 N_0 的程度, 则 p 的 n 个特征 $c_1, c_2 \cdots c_n$ 及相应的量值 $v_1, v_2 \cdots v_n$ 可用下面 n 维物元表示:

$$R_x = (N, C, V) \begin{bmatrix} N, c_1, v_1 \\ c_2, v_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_n, v_n \end{bmatrix}$$

2. 1 经典物元和节域物元

$$R_{0j} = (N_{0j}, C, V_0) = \begin{bmatrix} N_{0j}, c_1, \langle a_{0j1}, b_{0j1} \rangle \\ c_2, \langle a_{0j2}, b_{0j2} \rangle \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_1, \langle a_{0jn}, b_{0jn} \rangle \end{bmatrix}$$
$$R_p = (P, C, V_p) = \begin{bmatrix} P, c_1, \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ c_2, \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_n, \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix}$$

分别称为经典物元和节域物元, 其中, $v_{0j} \leq \leq \langle a_{0i}, b_{0i} \rangle$ 和 $v_{pi} \leq \leq \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 分别是 N_0 和 P 关于 n 个特征 $c_1, c_2, \cdots c_n$ 的取值范围。显然有 $v_{0i} \subset v_{pi}$ ($i = 1, 2, \cdots, n$)。

收稿日期: 2002—02—27; 改回日期: 2002—07—29。
基金项目: 国家自然科学基金重大项目(批准号 50099620); 中国科学院知识创新工程项目资助(项目编号: KZCX2—SW—319)。
作者简介: 王小丹(1973—), 男, 四川南充人, 博士生, 主要从事环境退化与生态建设研究。
©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

2.2 计算关联函数值

模式识别是用事物关于某些量值符合要求的程度来表达的,而这种程度通常由关联函数值来刻画。关联函数值由下式计算:

$$K_j(V_i)=\begin{cases} \frac{-\rho(v_i, V_{gi})}{|V_{gi}|} & v_i \in V_{gi} \\ \frac{\rho(v_i, V_{gi})}{\rho(v_i, V_{pi})-\rho(v_i, V_{gi})} & v_i \notin V_{gi} \end{cases} \quad (1)$$

$$\rho(v_i, V_{pi})=\rho(v_i, V_{gi}) \quad (2)$$

式中

$$\rho(v_i, V_{gi})=|v_i-(a_{gi}+b_{gi})/2|-(b_{gi}-a_{gi})/2$$
$$\rho(v_i, V_{pi})=|v_i-(a_{pi}+b_{pi})/2|-(b_{pi}-a_{pi})/2$$
$$i=1, 2, 3, 4, 5; \quad j=1, 2, 3, 4, 5$$

2.3 综合关联度及判别准则

若 $v_k \in V_{jk}$, 则由下式计算 p 与 N_0 的综合关联度

$$K_j(p)=\sum_{i=1}^n \lambda_i K_j(v_i) \quad (3)$$

式中 λ_i 为各特征的权重系数; p 是否属于 P_0 的判别准则如下:

当 $K_j(P) \geq 0$ 时, $p \in N_0$; 当 $-1 \leq K_j(P) < 0$ 时, $p \in P$, 但 $p \notin N_0$; 当 $K_j(P) \leq -1$ 时, $p \in P$ 和 $p \in N_0$ 。

3 建立物元模型确定荒漠化程度

3.1 指标和样本的选取

影响土地荒漠化的因子是复杂的, 这些因子直接或间接地使土地内部发生了变化, 即土地数量减少, 质量降低, 成分、结构、功能等发生衰退, 生产能力下降, 最终导致土地荒芜。而评价因子的选择, 首先要能反映土地数量减少或质量下降, 本文选择金沙江干热河谷元谋县老城乡为典型区, 对影响荒漠化的因子(含直接因子和间接因子)作单因子图并进行贡献率分析, 确定出荒漠化评价指标体系(如表 1)。结合典型区的实际情况, 选取了本次研究的 23 个样本(如表 2)。

3.2 确定经典物元、节域物元和待判物元

设 $P=\{\text{轻度荒漠化-极强度荒漠化}\}$, $N_{01}=\{\text{无明显荒漠化}\}$, $N_{02}=\{\text{轻度荒漠化}\}$, $N_{03}=\{\text{中度荒漠化}\}$, $N_{04}=\{\text{强度荒漠化}\}$, $N_{05}=\{\text{极强度荒漠化}\}$, 则 $N_{01}, N_{02}, N_{03}, N_{04}, N_{05} \subset P$, 对于任何 p , 判断 p 属于 $N_{01}, N_{02}, N_{03}, N_{04}$ 或 N_{05} , 并计算隶属的程度。

经典物元为

$$R_{01}=\begin{bmatrix} N_{01}, c_1, V_{011} \\ c_2, V_{012} \\ c_3, V_{013} \\ c_4, V_{014} \\ c_5, V_{015} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N_{01}, c_1, \langle a_{011}, b_{011} \rangle \\ c_2, \langle a_{012}, b_{012} \rangle \\ c_3, \langle a_{013}, b_{013} \rangle \\ c_4, \langle a_{014}, b_{014} \rangle \\ c_5, \langle a_{015}, b_{015} \rangle \end{bmatrix}$$
$$=\begin{bmatrix} N_{01}, c_1, \langle 0, 2 \rangle \\ c_2, \langle 0, 7 \rangle \\ c_3, \langle 25, 150 \rangle \\ c_4, \langle 33, 50 \rangle \\ c_5, \langle 150, 200 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{02}=\begin{bmatrix} N_{02}, c_1, V_{021} \\ c_2, V_{022} \\ c_3, V_{023} \\ c_4, V_{024} \\ c_5, V_{025} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N_{02}, c_1, \langle a_{021}, b_{021} \rangle \\ c_2, \langle a_{022}, b_{022} \rangle \\ c_3, \langle a_{023}, b_{023} \rangle \\ c_4, \langle a_{024}, b_{024} \rangle \\ c_5, \langle a_{025}, b_{025} \rangle \end{bmatrix}$$
$$=\begin{bmatrix} N_{01}, c_1, \langle 3, 4 \rangle \\ c_2, \langle 7, 25 \rangle \\ c_3, \langle 15, 25 \rangle \\ c_4, \langle 25, 33 \rangle \\ c_5, \langle 132, 150 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{03}=\begin{bmatrix} N_{03}, c_1, V_{031} \\ c_2, V_{032} \\ c_3, V_{033} \\ c_4, V_{034} \\ c_5, V_{035} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N_{01}, c_1, \langle a_{031}, b_{031} \rangle \\ c_2, \langle a_{032}, b_{032} \rangle \\ c_3, \langle a_{033}, b_{033} \rangle \\ c_4, \langle a_{034}, b_{034} \rangle \\ c_5, \langle a_{035}, b_{035} \rangle \end{bmatrix}$$
$$=\begin{bmatrix} N_{01}, c_1, \langle 3, 4 \rangle \\ c_2, \langle 15, 25 \rangle \\ c_3, \langle 10, 15 \rangle \\ c_4, \langle 15, 25 \rangle \\ c_5, \langle 125, 132 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{04}=\begin{bmatrix} N_{04}, c_1, V_{041} \\ c_2, V_{042} \\ c_3, V_{043} \\ c_4, V_{044} \\ c_5, V_{045} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N_{04}, c_1, \langle a_{041}, b_{041} \rangle \\ c_2, \langle a_{042}, b_{042} \rangle \\ c_3, \langle a_{043}, b_{043} \rangle \\ c_4, \langle a_{044}, b_{044} \rangle \\ c_5, \langle a_{045}, b_{045} \rangle \end{bmatrix}$$
$$=\begin{bmatrix} N_{01}, c_1, \langle 4, 5 \rangle \\ c_2, \langle 25, 35 \rangle \\ c_3, \langle 5, 10 \rangle \\ c_4, \langle 5, 15 \rangle \\ c_5, \langle 110, 125 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{05} = \begin{bmatrix} N_{05}, c_1, V_{051} \\ c_2, V_{052} \\ c_3, V_{053} \\ c_4, V_{054} \\ c_5, V_{055} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{05}, c_1, \langle a_{051}, b_{051} \rangle \\ c_2, \langle a_{052}, b_{052} \rangle \\ c_3, \langle a_{053}, b_{053} \rangle \\ c_4, \langle a_{054}, b_{054} \rangle \\ c_5, \langle a_{055}, b_{055} \rangle \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{01}, c_1, \langle 4, 5 \rangle \\ c_2, \langle 25, 35 \rangle \\ c_3, \langle 5, 10 \rangle \\ c_4, \langle 5, 15 \rangle \\ c_5, \langle 110, 125 \rangle \end{bmatrix}$$

表 1 云南金沙江干热河谷土地退化评价指标体系

Table 1 Assessment index system of land degradation in the Dry-hot
Valleys of Jinsha River, Yunnan province

退化程度	地 貌		土 壤		植被指数
	切割密度 (km/km ²)	坡度 (°)	厚度 (cm)	有机质 g/kg	
极强度退化	> 5	> 35	< 5	< 5	< 110
强度退化	4~5	25~35	5~10	5~15	110~125
中度退化	3~4	15~25	10~15	15~25	125~132
轻度退化	2~3	7~15	15~25	25~33	132~150
无明显退化	≤2	< 7	> 25	> 33	> 150

表 2 23 个样地荒漠化指标测定值

Table 2 Measured value of desertification index on the 23 sample lands

样本号	地 貌		土 壤		植被指数
	土壤密度 (km/km ²)	坡度 (°)	厚度 (cm)	有机质 g/kg	
1	0	5	2.5	100	144
2	0	5	0.6	60	140
3	4	12	0.3	15	131
4	0	0	0.66	10	134
5	0	12	0.7	20	140
6	0	3	0.55	15	135
7	5.5	0	0.8	100	131
9	3.5	15	0.45	35	135
10	2.5	23	0.7	10	139
11	2	23	0.7	10	165
12	2.3	30	0.7	15	138
14	2.8	15	2.5	50	160
15	2.8	17	1.5	40	149
16	3.5	15	0.7	30	140
17	4.3	0	0.4	20	122
19	4.1	3	0.65	100	122
20	4	20	0.41	20	131
21	2.8	26	0.45	25	138
22	4.5	15	0.4	10	134
23	0	24	1.2	15	162
25	0	0	0.6	50	131
26	0	3	1.8	100	143
27	0	6	0	0	100

节域物元为:

$$R_p = \begin{bmatrix} P, c_1, V_{p1} \\ c_2, V_{p2} \\ c_3, V_{p3} \\ c_4, V_{p4} \\ c_5, V_{p5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P, c_1, \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ c_2, \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ c_3, \langle a_{p3}, b_{p3} \rangle \\ c_4, \langle a_{p4}, b_{p4} \rangle \\ c_5, \langle a_{p5}, b_{p5} \rangle \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} P, c_1, \langle 0, 20 \rangle \\ c_2, \langle 0, 90 \rangle \\ c_3, \langle 0, 100 \rangle \\ c_4, \langle 0, 200 \rangle \\ c_5, \langle 0, 250 \rangle \end{bmatrix}$$

待判物元为

$$R_x = \begin{bmatrix} P, c_1, v_1 \\ c_2, v_2 \\ c_3, v_3 \\ c_4, v_4 \\ c_5, v_5 \end{bmatrix}$$

3.3 确定权重及计算待判样本 p 与各类型 N_{ij} 的多指标综合关联度

不少综合评判模型和识别模型对指标的权重是根据经验确定的, 不免带有一定的主观性。为避免这一偏差, 本文试用 PCA 方法来确定指标的权数分

配。PCA 有严格的数学基础, 能将众多的具有错综复杂关系的指标归结为少数几个综合指标(主成分), 每个主成分都是原来多个指标的线性组合。通过适当调整线性函数的系数, 既可使主成分相互独立, 舍弃重迭信息, 又能将各个原始指标所包含的不十分明显的差异集中地表现出来, 使研究对象在主成分上的差异反映明显, 便于作出较为直观的分析判断^[9]。对所取 23 个样本, 按照 PCA 的一般步骤, 并作归一化后确定出评价指标体系中 5 个指标的权数分配为: $\lambda_1 = 0.1209, \lambda_2 = 0.099, \lambda_3 = 0.1746, \lambda_4 = 0.1549, \lambda_5 = 0.4506$ 。从权重分配上看, 植被的覆盖情况、生物量大小是土地荒漠化的直接反映, 占有较大权重值(λ_5), 其次土壤是植物生长的基础, 土壤有机质和土壤厚度直接或间接地反映了土地生产力, 其权重值为 $0.3295(\lambda_3, \lambda_4)$, 地貌因子的权重值为 $0.2199(\lambda_1, \lambda_2)$ 。因此, 本文克服了一些综合评判模型和识别模型简单的等权分配方式, 着眼于各因子对荒漠化影响的实际空间分异程度, 通过严格的数字处理, 给出了精确的权数分配。

通过公式(1)、(2)计算出各类型的单指标关联度, 然后把计算结果和权重值代入公式(3)便可计算出 23 个样地对各种荒漠化类型的综合关联度。最后参照判别准则判定各样地的所属类型(如表 3)。

表 3 23 个样地的综合关联度及判别结果

Table 3 Synthetical correlation degree and assessment result of 23 sample lands

样区号	$k_1(p)$	$k_2(p)$	$k_3(p)$	$k_4(p)$	$k_5(p)$	类型判别 ¹⁾
1	-0.2971	-0.3417	-0.1679	-0.4668	-0.3028	03
2	-0.2952	0.4337	-0.4402	-0.5150	-0.3541	02
3	-0.3897	-0.2489	-0.1856	-0.2832	-0.2086	03
4	-0.3319	-0.4191	-0.4411	-0.2865	-0.3772	04
5	-0.2945	0.5138	-0.2835	-0.4481	-0.3230	02
6	-0.2373	-0.5230	-0.0455	-0.4445	-0.3349	03
7	-0.3295	-0.3903	-0.3480	-0.3386	-0.2025	05
9	-0.2739	-0.0819	-0.1924	-0.3511	-0.2293	02
10	-0.3795	0.5307	-0.2507	-0.1437	-0.2681	02
11	-0.2238	-0.3556	-0.3697	-0.2394	-0.3613	01
12	-0.3567	0.2047	-0.2270	-0.2772	-0.2068	02
14	-0.1598	-0.2313	-0.3501	-0.3889	-0.2573	01
15	-0.1993	-0.1841	-0.2495	-0.3752	-0.2503	02
16	-0.2903	0.6344	-0.4699	-0.4039	-0.2326	02
17	-0.3594	-0.3649	-0.2348	-0.3215	-0.2091	05
19	-0.3056	-0.3492	-0.3232	-0.3472	-0.2056	05
20	-0.3731	-0.2686	-0.0802	-0.2790	-0.1866	03
21	-0.2384	0.2595	-0.2018	-0.3262	-0.2215	02
22	-0.4118	-0.3019	-0.3074	-0.1062	-0.2349	04
23	-0.2428	-0.4295	-0.3850	-0.4243	-0.3384	01
25	-0.2342	-0.4523	-0.4842	-0.5046	-0.3393	01
26	-0.1990	-0.3882	-0.4518	-0.4992	-0.3322	01
27	-0.4584	-0.5724	-0.5999	-0.5662	-0.3084	05

1)01—无明显荒漠化, 02—轻度荒漠化, 03—中度荒漠化, 04—强度荒漠化, 05—极强度荒漠化

4 结果分析及问题探讨

1. 根据事物特征的量值来判别事物属于某集合的程度与可拓集合的思想是一致的。因此, 运用可拓学方法来进行荒漠化评价是合理的、可行的, 从判定的 23 个样区来看, 除 1 # 和 7 # 样区与实际调查结果有误差外, 其余 21 个样区的判定结果均与实地特征吻合, 判定正确率达 91.3%。如果考虑评价指标量化时的不确定性对判定的影响, 评价方法和过程的效果很好。

2. 有的学者曾采用 Fuzzy 综合评判方法对荒漠化评价作过定量分析, 虽获得大体类似的结果, 但遗漏了指标间的一些分异信息。因为模糊数学的隶属函数仅属于 $[0, 1]$, 这在一定程度上限制了它的运用范围, 而可拓数学的关联函数属于 $(-\infty, +\infty)$, 极大拓展了它的研究范围, 能揭示更多的分异信息, 评判结果更为精确。

3. 对荒漠化评价这类界线模糊性的问题, 一般的地理分析方法很难客观地确定荒漠化程度, 而物元模型在设计中首先保证了单指标识别的合理性, 加之本文在多指标综合识别中又有 PCA 坚实的数学基础, 克服了因子权重分配的任意性, 克服了在多角度、多因素识别中的主观片面性。模型输出的综合识别结果是科学的, 对荒漠化研究提供了新的理论依据。

4. 从物质运动形式的层次上来讲, 事物的不确定性主要包括随机性(或此或彼)、模糊性(亦此亦彼)、可转化性(彼此互变), 可转化性是高级形态, 它比随机性、模糊性更具有一般和普遍意义^[19]。因此, 在荒漠化评价研究中进行可拓学方法的运用与探索, 有十分重要的理论意义和实用价值。

5. 该方法在荒漠化评价中的运用尚属尝试, 还有诸如指标选择、量值范围界定、关联函数设计以及研究区域范围扩大等问题, 均需进一步探索。

参考文献:

- [1] 朱震达. 中国荒漠化研究的现状与展望[J]. 地理学报, 1994, 49 (增刊): 650~659.
- [2] 夏训诚. 等. 荒漠化及其防治论文集[M]. 北京: 中国林业出版社 1995.
- [3] 王礼先. 世界林业研究[J], 1994(1).
- [4] 国家计委. 等. 中国 21 世纪议程[M]. 北京: 中国环境科学出版社 1994.
- [5] 李锋. 荒漠化监测中生态环境与社会经济评价指标体系及评价方法的研究[J]. 干旱环境监测, 1997, 11(1): 1~6.
- [6] 张宝光. 现代地理研究的方法论问题[J]. 天津师大学报(自然科学版), 1996, 16(2).
- [7] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [8] 蔡文. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [9] 张超. 等. 计量地理学基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [10] 陈俊. 可拓数学的形成与发展机制[J]. 广东工业大学学报 1999, (1).

A Discriminating Model of Matter-Element and Extension for Desertification Assessment

WANG Xiao-dan, ZHONG Xiang-hao and FAN Jian-rong

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, The Chinese Academy of Sciences,
Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China*)

Abstract: Extension theory is a kind of new science, intersected by system science, mode of thinking science and mathematics. By means of extension theory and principal Component analysis, this article sets up a model of comprehensive evaluation to define desertification degree of dry and hot valley of Jinsha River. The output of the model is generally identical to practical survey. It provides a new theory for desertification study.

Key words: deserfication assessment; extension theory; recognition