

基于熵权物元模型的重庆市土地生态安全评价

刘梦¹, 姜世中^{2*}

(1. 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, 四川师范大学, 四川成都 610101; 2. 四川师范大学地理与资源科学学院, 四川成都 610101)

摘要 以重庆市为研究对象, 构建了由压力、状态和响应 3 个要素组成的土地生态安全评价指标体系, 采用熵权法和物元模型对重庆市 2005~2013 年的土地生态安全作出分析和评价。结果表明, 2005~2013 年重庆市土地生态安全综合关联度都为负值, 均在 (-1, 0) 区间, 表明重庆市土地生态安全状况均未达到所在的等级, 但都具备转化为所在评价等级的条件, 2005~2007、2009~2013 年的土地生态安全能够向安全转化, 2008 年的土地生态安全能够向基本安全转化, 重庆市土地生态安全的大致发展趋势是向较安全级别转化, 与重庆市社会经济快速发展、生态环境保护良好有密切关系。

关键词 重庆市; 熵权法; 物元法; 土地生态安全

中图分类号 F301.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)24-204-05

The Evaluation of Land Ecological Security of Chongqing City Based on the Entropy Matter Element Mode

LIU Meng¹, JIANG Shi-zhong^{2*} (1. Key Lab of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest, Ministry of Education, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610101; 2. The Faculty Geography Resource Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610101)

Abstract Taking Chongqing as the research object, land ecological safety evaluation index system was established including pressure, state and response, land ecological safety of Chongqing during 2005-2013 was analyzed and evaluated by entropy method and matter element method. The results showed that the comprehensive correlation degree of land ecological safety in Chongqing during 2005-2013 was negative (-1, 0), indicating land ecological security situation of Chongqing failed to meet the level, but all have conditions transforming into the evaluation grades. The general development trend of land ecological security in Chongqing City is converted to a more secure level, which is closely related to social and economic rapid development and eco-environment protection in Chongqing City.

Key words Chongqing City; Entropy method; Matter element method; Land ecological security

土地为人类提供了生存和发展最基本的物质基础, 它对一个国家或者区域的社会经济发展起着决定性的作用。随着经济的快速发展和人口的急速增长, 人们在获得巨大的经济利益的同时, 水土流失、土地盐碱化、森林减少等一系列土地生态环境问题日渐加剧, 人地矛盾日益突出。在土地资源有限的承载力下, 如果人类继续毫无节制地利用土地, 终有一天土地将不再能满足人们的各种需求。因此, 对土地生态安全的研究日益迫切^[1-2]。

土地生态安全是一个全新的概念, 它是指陆地表层由各种有机物和无机物构成的土地生态系统结构不受破坏, 同时土地生态系统为人类提供服务的质量和数量, 能够持续满足人类生存和发展的需要^[3-5]。我国正处于全面建成小康社会、加快推进社会主义现代化建设的关键时期, 土地生态安全是实现我国社会经济可持续健康发展的重要保障, 具有研究的现实意义和理论意义。笔者利用物元模型和熵权法, 对重庆市 2005~2013 年的土地生态安全作出分析和评价, 以期能为重庆市的经济发展提供参考依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况 重庆市位于中国西南部, 地处长江上游, 地跨 105°11'~110°11'E, 28°10'~32°13'N 的青藏高原与长江中下游平原的过渡地带, 以低山、丘陵为主。辖区东西长 470 km, 南北宽 450 km, 总面积 8.24 万 km²。重庆市气候温和, 属亚热带季风性湿润气候, 年平均降水量丰富, 年平均相对湿度大, 在我国属高湿区。重庆是国家重要的现代制造业

基地, 现已形成了电子信息、汽车、装备制造、综合化工、材料、能源和消费品制造等千亿级产业集群。2014 年全市实现工业增加值 5 175.80 亿元, 占全市地区生产总值的 36.3%。截至 2014 年末, 重庆市常住人口 2 991.40 万, 城镇化率为 59.6%。伴随着工业化和城市化进程的不断加快, 2002~2011 年建成区面积的年平均增长率达到 13.6%, 全市人均耕地面积已接近联合国粮农组织确定的最低人均耕地面积 0.053 hm², 人地矛盾突出^[6]。

1.2 数据来源 数据来源于 2005~2013 年《重庆统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及 2010~2013 年重庆市国民经济社会发展统计公报。

1.3 研究方法

1.3.1 物元分析法 物元分析是研究解决不相容问题的规律和方法的新兴学科, 由我国学者蔡文于 20 世纪 80 年代提出^[7]。其主要步骤如下。

(1) 确定土地生态安全物元。在物元模型中, 对于所描述的事物 N 、事物的特征 C 以及量值 V 可以组成物元 R ^[8-9], 表达式为:

$$R = (N, C, V) \quad (1)$$

(2) 确定土地生态安全的经典域物元矩阵。公式为:

$$R = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & (a_{0j1}, b_{0j1}) \\ & c_2 & (a_{0j2}, b_{0j2}) \\ & \dots & \dots \\ & c_n & (a_{0jn}, b_{0jn}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, R_{0j} 为经典域物元; N_{0j} 为所划分的第 j 等级, $j = (1, 2, \dots, n)$; c_i 为第 i 个评价指标; (a_{0ji}, b_{0ji}) 为对应评价等级 j 的量值范围, 即经典域。

作者简介 刘梦(1992-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向: 资源开发与区域发展。* 通讯作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事水资源可持续利用、气候变化、人工神经网络应用等研究。

收稿日期 2016-06-29

(3) 确定土地生态安全的节域物元矩阵。公式为:

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & c_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \dots & \dots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, R_p 为经典域物元; c_i 为第 i 个评价指标; (a_{pi}, b_{pi}) 为关于评价指标 c_i 的量值范围。

(4) 确定待评物元。把待评对象 N_x 的物元表示为 R_x :

$$R_x = \begin{bmatrix} N_x & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & & \dots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

(5) 确定关联度及关联函数。公式为:

$$K_{(xi)} = \begin{cases} \frac{-\rho(X_i, X_0)}{|X_0|} & (X \in X_0) \\ \frac{\rho(X, X_0)}{-\rho(X, X_p) - \rho(X, X_0)} & (X \notin X_0) \end{cases} \quad (5)$$

式中, $\rho | X, X_0 | = | X - \frac{1}{2} (a_0 + b_0) | - \frac{1}{2} (b_0 - a_0)$; $\rho (X, X_p) = | X - \frac{1}{2} (a_p + b_p) | - \frac{1}{2} (b_p - a_p)$; $| X_0 | = b_0 - a_0$; $\rho (X, X_0)$ 为点 X 与有限区间 $X_0 = | a_0, b_0 |$ 之间的距离; $\rho (X, X_p)$ 为点 X 与有限区间 $X_p = | a_p, b_p |$ 之间的距离; X 为待评物元的量值; X_0 为经典域物元的量值范围; X_p 为节域物元的量值范围。

1.3.2 用熵权法确定权重^[10-11]。

(1) 设定在 m 项评价指标、 n 个被评价对象的评价体系中, 原始矩阵为 D_{mn} :

$$D_{mn} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

(2) 利用以下公式对其进行标准化处理, 得到归一化矩阵 R_{mn} 。

指数值越大越好型:

$$b'_{ji} = \frac{b_{ji} - \min(b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jn})}{\max(b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jn}) - \min(b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jn})} \quad (7)$$

指数值越小越好型:

$$b'_{ji} = \frac{\max(b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jn}) - b_{ji}}{\max(b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jn}) - \min(b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jn})} \quad (8)$$

(3) 计算各项指标的熵值, 公式为:

$$e_i = -(1/\ln n) \sum_{j=1}^n f_{ji} \ln f_{ji} \quad (9)$$

式中, $f_{ji} = \frac{b'_{ji}}{\sum_{j=1}^n b'_{ji}}$ 。

(4) 计算各项指标的权重。公式为:

$$\omega_i = \frac{1 - e_i}{m - \sum_{i=1}^m e_i} \quad (10)$$

1.3.3 综合关联度的确定。待评对象 N_x 关于等级 j 的综合关联度 $K_j(N_x)$ 为:

$$K_j N_x = \sum_{i=1}^n \omega_i k_j(x_i) \quad (11)$$

式中, $K_j(N_x)$ 为待评价对象 N_x 关于等级 j 的单指标关联度; ω_i 为指标权重值。若 $K_{ji} = \max[k_j(x_i)]$, $j = 1, 2, \dots, n$, 则评价对象第 i 个指标属于等级 j , K_{ji} 为评价对象中指标 i 在等级 j 中的单指标最大关联度; 若 $K_{jx} = \max[k_j(N_x)]$, $j = 1, 2, \dots, n$, 则评价对象 N_x 属于等级 j , K_{jx} 为评价对象中指标 N_x 在等级 j 中的最大综合关联度。

关联度的数值表示评价单元符合某标准范围的隶属程度, 当 $K(x) \geq 1.0$ 时, 表示被评价对象超过标准对象上限, 数值越大, 开发潜力越大; 当 $0 \leq K(x) \leq 1.0$ 时, 表示被评价对象符合标准对象要求的程度, 数值越大, 越接近标准上限; 当 $-1.0 \leq K(x) \leq 0$ 时, 表示被评价对象不符合标准对象要求, 但具备转化为标准对象的条件, 数值越大, 越容易转化; 当 $K(x) \leq 0$ 时, 表示被评价对象不符合标准对象要求, 且又不具备转化为标准对象的条件。

2 结果与分析

2.1 土地生态安全评价指标体系构建 影响土地生态安全的因素众多, 因此在对评价指标进行选取时就需要考虑到与其相关的自然因素、社会因素、经济因素, 基于这些因素, 采用了“压力—状态—响应”模式构建了重庆市土地生态安全评价指标体系, 并利用熵权法计算出权重, 结果见表 1。

2.2 土地生态安全评价经典域、节域的确定 根据土地生态安全的可拓性, 本着科学性、客观性的原则, 将重庆市土地

表 1 重庆市土地生态安全评价指标体系及各指标权重

Table 1 The land ecological security evaluation index system and index weight of Chongqing

目标层 A Target layer	因素 B Factor	指标 C Index	指标性质 Index property	权重 Weight
土地生态系统评价指标体系 Land ecosystem evaluation index system	压力 B ₁	C ₁ 人口自然增长率(‰)	逆向	0.035 1
		C ₂ 人均耕地面积(hm ²)	正向	0.065 3
		C ₃ 人口密度(人/km ²)	逆向	0.060 0
		C ₄ 城镇化率(%)	正向	0.050 8
	状态 B ₂	C ₅ 单位面积耕地化肥施用量(kg/hm ²)	逆向	0.092 3
		C ₆ 单位面积耕地农药施用量(kg/hm ²)	逆向	0.051 2
		C ₇ 农业经济比重(%)	逆向	0.026 3
		C ₈ 土地粮食单产(kg/hm ²)	正向	0.023 5
		C ₉ 建成区绿化覆盖率(%)	正向	0.047 0

续表 1

目标层 A Target layer	因素 B Factor	指标 C Index	指标性质 Index property	权重 Weight
	响应 B_3	C_{10} 森林覆盖率 (%)	正向	0.054 6
		C_{11} 保护区面积占土地总面积比重 (%)	正向	0.039 0
		C_{12} 年降水量 (mm)	正向	0.046 1
		C_{13} 有效灌溉面积比重 (%)	正向	0.061 6
		C_{14} 人均 GDP (万元)	正向	0.069 3
		C_{15} 农村居民家庭恩格尔系数 (%)	逆向	0.073 6
		C_{16} 第三产业占 GDP 比重 (%)	正向	0.046 9
		C_{17} 环保投资占 GDP 比重 (%)	正向	0.071 3
		C_{18} 生活垃圾无害化处理率 (%)	正向	0.040 9
		C_{19} 工业固体废物综合利用率 (%)	正向	0.045 3

注:在指标性质中,正向指标表示数值越大,土地生态安全状况越好,数值越小,土地生态安全状况越恶劣;逆向指标与之相反。

Note: In the property of index, the positive index indicates that the greater the value, the better the land ecological security is, the smaller the value, the worse the land ecological security is; the negative index is on the contrary.

生态安全划分为5个等级,分别是安全(R_1)、较安全(R_2)、临界安全(R_3)、较不安全(R_4)、不安全(R_5)。参照环保部颁布的《生态县、生态市、生态省建设指标(试行)》标准^[12]、全国平均水平、以及重庆市平均水平等,确定了重庆市土地生态安全评价的经典域和节域,结果见表2。

表2 重庆市土地生态安全评价评判标准

Table 2 The land ecological security evaluation criteria of Chongqing

评价指标 Evaluation index	经典域物元 Classical field matter element					节域物元 Segment field matter element R_p
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	
C_1	(0,5]	(5,10]	(10,15]	(15,20]	(20,25]	(0,25]
C_2	(0.1,0.3]	(0.08,0.1]	(0.05,0.08]	(0.03,0.05]	(0,0.03]	(0,0.1]
C_3	(100,550]	(550,1400]	(1400,1600]	(1600,2900]	(2900,4000]	(100,4000]
C_4	(60,80]	(50,60]	(40,50]	(25,40]	(20,25]	(20,80]
C_5	(0,225]	(225,450]	(450,600]	(600,1000]	(1000,1400]	(0,1400]
C_6	(0,5]	(5,10]	(10,15]	(15,20]	(20,30]	(0,30]
C_7	(0,15]	(15,20]	(20,25]	(25,30]	(30,35]	(0,35]
C_8	(6000,7000]	(5000,6000]	(3500,5000]	(2000,3500]	(800,2000]	(800,7000]
C_9	(45,100]	(35,45]	(30,35]	(25,30]	(0,25]	(0,100]
C_{10}	(60,100]	(40,60]	(30,40]	(20,30]	(0,20]	(0,100]
C_{11}	(20,30]	(15,20]	(10,15]	(5,10]	(0,5]	(0,30]
C_{12}	(1600,1800]	(1400,1600]	(1000,1400]	(800,1000]	(600,800]	(600,1800]
C_{13}	(60,70]	(50,60]	(40,50]	(30,40]	(0,30]	(0,70]
C_{14}	(10,13.5]	(6,10]	(3,6]	(1,3]	(0.6,1]	(0.6,13.5]
C_{15}	(0,20]	(20,40]	(40,50]	(50,60]	(60,100]	(0,100]
C_{16}	(45,60]	(35,45]	(25,35]	(15,25]	(1,15]	(1,60]
C_{17}	(3.5,5]	(1.5,3.5]	(1,1.5]	(0.1,1]	(0,0.1]	(0,5]
C_{18}	(95,100]	(90,95]	(80,90]	(70,80]	(50,70]	(50,100]
C_{19}	(90,100]	(85,90]	(80,85]	(70,80]	(0,70]	(0,100]

2.3 评价结果与分析 运用熵权物元模型计算2005~2013年重庆市的土地生态安全指标关联度以及每年土地生态安全评价等级,结果见表3~5。

从表3~4可以看出,2005~2013年重庆市人口自然增长率、人均耕地面积、人口密度、城镇化率、单位面积耕地化

肥施用量、单位面积耕地农药施用量、第三产业占GDP比重、环保投资占GDP比重等指标生态安全等级整体呈现上升趋势,主要原因是重庆市社会经济持续发展快速,第三产业所占比重合理,人口发展战略和生态环境保护政策合理实施;生活垃圾无害化处理率、工业固体废物综合利用率、农村

居民恩格尔系数、建成区绿化面积等指标生态安全等级整体偏低。主要原因一是重庆市人口基数大;二是重庆市地处亚热带季风气候,降水主要集中在夏季,容易引发自然灾害。

表 3 2005 年土地生态安全关联度及安全等级

Table 3 The correlation of land ecological security and safety level in 2005

关联度 Correlation degree	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	等级 Grade
$K_j(V_1)$	-0.001 9	0.002 2	-0.016 5	-0.022 7	-0.025 8	安全
$K_j(V_2)$	-0.032 7	-0.015 5	0.019 6	-0.027 4	-0.038 3	较安全
$K_j(V_3)$	0.022 1	-0.022 1	-0.046 9	-0.048 6	-0.053 9	安全
$K_j(V_4)$	-0.018 8	-0.008 1	0.024 4	-0.008 7	-0.022 6	较安全
$K_j(V_5)$	-0.024 3	0.041 0	-0.020 5	-0.038 5	-0.060 0	临界安全
$K_j(V_6)$	-0.015 2	0.014 1	-0.007 1	-0.021 8	-0.029 1	临界安全
$K_j(V_7)$	0.002 9	-0.002 9	-0.008 7	-0.012 3	-0.014 6	安全
$K_j(V_8)$	-0.008 5	-0.002 9	0.005 2	-0.007 8	-0.012 5	较安全
$K_j(V_9)$	-0.024 4	-0.018 0	-0.013 2	-0.006 4	0.006 4	不安全
$K_j(V_{10})$	-0.027 3	-0.013 7	0	0	-0.013 7	较不安全
$K_j(V_{11})$	-0.017 9	-0.010 9	0.006 4	-0.002 7	-0.013 7	临界安全
$K_j(V_{12})$	-0.026 7	-0.021 9	0.002 3	-0.002 1	-0.015 9	临界安全
$K_j(V_{13})$	-0.033 6	-0.027 9	-0.019 5	-0.005 5	0.005 5	不安全
$K_j(V_{14})$	-0.065 7	-0.063 0	-0.055 2	0.003 1	-0.010 7	较不安全
$K_j(V_{15})$	-0.030 2	-0.015 7	-0.004 1	0.020 6	-0.009 7	较不安全
$K_j(V_{16})$	-0.007 5	0.016 4	-0.012 2	-0.022 1	-0.027 6	较安全
$K_j(V_{17})$	-0.032 6	0.014 3	-0.012 4	-0.022 9	-0.034 7	较安全
$K_j(V_{18})$	-0.036 5	-0.036 0	-0.034 4	-0.031 1	0.009 8	不安全
$K_j(V_{19})$	-0.017 7	-0.014 3	-0.010 0	0.009 5	-0.003 2	较不安全

表 4 2006 ~ 2013 年土地生态安全单指标评价等级

Table 4 The single index of land ecological security evaluation during 2006 - 2013

关联度 Correlation degree	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
$K_j(V_1)$	较安全	较安全	较安全	安全	较安全	较安全	安全	安全
$K_j(V_2)$	临界安全							
$K_j(V_3)$	安全							
$K_j(V_4)$	临界安全	临界安全	临界安全	较安全	较安全	较安全	较安全	较安全
$K_j(V_5)$	较安全							
$K_j(V_6)$	临界安全	较安全						
$K_j(V_7)$	安全							
$K_j(V_8)$	临界安全	临界安全	较安全	较安全	较安全	临界安全	较安全	较安全
$K_j(V_9)$	不安全	较不安全	临界安全	较安全	较安全	较安全	较安全	较安全
$K_j(V_{10})$	临界安全	临界安全	临界安全	临界安全	临界安全	临界安全	较安全	较安全
$K_j(V_{11})$	临界安全							
$K_j(V_{12})$	较不安全	较安全	较不安全	临界安全	临界安全	较不安全	临界安全	临界安全
$K_j(V_{13})$	不安全							
$K_j(V_{14})$	较不安全	较不安全	较不安全	较不安全	较不安全	临界安全	临界安全	临界安全
$K_j(V_{15})$	较不安全	较不安全	较不安全	临界安全	临界安全	临界安全	临界安全	较安全
$K_j(V_{16})$	较安全	较安全	安全	安全	安全	不安全	安全	安全
$K_j(V_{17})$	较安全	较安全	较安全	较安全	较安全	较不安全	较安全	较安全
$K_j(V_{18})$	不安全	临界安全	临界安全	安全	安全	安全	安全	安全
$K_j(V_{19})$	较不安全	较不安全	较不安全	较不安全	临界安全	较不安全	临界安全	临界安全

从表 5 可以看出,重庆市土地生态安全评级等级处于“临界安全”,2005 ~ 2007、2009 ~ 2013 年的土地生态安全等级具有转化为“较安全”的条件,2008 年的土地生态安全等级具有转化为“临界安全”的条件,整体上呈现出由“临界安全”向“较安全”转变的趋势。从每年同等级中对比分析可以

发现: $N_2(2013) > N_2(2011) > N_2(2010) > N_2(2012) > N_2(2009) > N_2(2007) > N_2(2006) > N_2(2005)$ 。

2005 ~ 2013 年重庆市土地生态安全综合关联度都为负值,均在 $(-1, 0)$ 区间,表明重庆市土地生态安全状况均未达到所在的等级,但都具备转化为所在评价等级的条件。从整

体上来看,虽然是由“临界安全”向“较安全”转化,但是从具体综合关联度上看,2013、2011、2010年较其他几年更容易向“较安全”转化。

表5 重庆市土地生态安全评价结果

Table 5 The land ecological security evaluation results of Chongqing

年份 Year	综合关联度 Comprehensive correlation degree					等级 Grade
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	
2005	-0.396 5	-0.184 9	-0.202 7	-0.247 2	-0.364 2	较安全
2006	-0.388 2	-0.135 5	-0.208 5	-0.217 1	-0.355 6	较安全
2007	-0.340 1	-0.115 3	-0.134 2	-0.205 1	-0.433 5	较安全
2008	-0.330 0	-0.137 8	-0.118 8	-0.211 7	-0.449 5	临界安全
2009	-0.270 2	-0.105 1	-0.156 4	-0.292 8	-0.484 5	较安全
2010	-0.281 1	-0.088 1	-0.175 8	-0.309 1	-0.491 9	较安全
2011	-0.273 3	-0.080 7	-0.171 6	-0.315 0	-0.490 7	较安全
2012	-0.250 4	-0.092 9	-0.131 5	-0.357 8	-0.508 6	较安全
2013	-0.248 2	-0.076 2	-0.179 1	-0.377 3	-0.518 6	较安全

3 结论

基于上述分析可以看出,2005~2013年重庆市土地生态安全总体上趋于向良好状态转变。综合每年各指标土地生态安全关联度和综合关联度不难看出,农民人均纯收入、森林覆盖率、建成区绿化面积、生活垃圾无害化处理率、工业固体废物综合利用率、人均GDP、农村居民恩格尔系数对于重庆市土地生态安全起着重要作用。因此,加强对环境污染的治理和生态环境的保护、增强抵御自然灾害的能力是重庆市土地生态安全发展的重点方向。

参考文献

- [1] 马红莉,盖艾鸿.基于熵权物元模型的青海省土地生态安全评价[J].中国农学通报,2014(2):208-214.
- [2] 段利宝,邵战林,刘婷,等.基于物元模型的土地生态安全评价:以乌鲁木齐市为例[J].科技和产业,2015(7):116-121.
- [3] 余健,房莉,仓定帮,等.熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的

应用[J].农业工程学报,2012(5):260-266.

- [4] 刘胜华.我国土地生态安全问题及其立法[J].国土资源科技管理,2004(2):53-56.
- [5] 李玉萍,蔡运龙.河北省土地生态安全评价[J].北京大学学报(自然科学版),2007(6):784-789.
- [6] 李祚泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2005:164-169.
- [7] 李迎迎,杨朝现,信桂新,等.重庆市土地生态安全动态变化研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2014(11):189-195.
- [8] 荣慧芳,张乐勤,严超.基于熵权物元模型的皖江城市带土地生态安全评价[J].水土保持研究,2015(3):230-235.
- [9] 李德胜,吕炎,胡学东.基于熵权物元分析法的城市生态安全水平动态评价:以武汉市为例[J].中国国土资源经济,2015(10):61-65.
- [10] 陶晓燕.基于模糊物元和熵权法的土地生态安全评价[J].统计与决策,2012(6):55-57.
- [11] 徐卫红,于福亮,龙爱华.基于熵权的模糊物元模型在水资源可持续利用评价中的应用[J].中国人口·资源与环境,2010,20(5):157-160.
- [12] 中华人民共和国环境保护部.生态县、生态市、生态省建设指标(试行)[EB/OL].[2016-05-09].http://www.zhb.gov.cn/.

(上接第203页)

- [13] 纳丽,沈跃琴,丁永红,等.宁夏春季首场透雨出现日期及环流背景分析[J].干旱区研究,2007,24(3):344-348.
- [14] BURN D H. Climatic influences on streamflow timing in the headwaters of the Mackenzie River Basin[J]. Hydrol,2008,352(1/2):225-238.
- [15] 张强,王有民,姚佩珍.我国三北地区春季第一场透雨指标的确定

[J].中国农业气象,2003,24(2):28-30.

- [16] 李辑,胡春丽,王艳,等.辽宁春播期第一场透雨的气候特征及其变化规律[J].气象与环境学报,2008,24(6):1-6.
- [17] 隋东,陆慧红,张雪松.沈阳地区春季第一场透雨的气候特征分析与预测[J].辽宁气象,2004(1):19-20.