

正态云模型在皖江地区土地生态安全评价中的应用

高明美^{1,2}, 孙涛¹, 赵天燕^{1,3}, 戴红军^{1,4}, 张坤^{1,5}

(1.南京航空航天大学经济与管理学院, 江苏 南京 211106; 2.青岛大学数学科学学院, 山东 青岛 266071; 3.首都经济贸易大学会计学院, 北京 100070; 4.淮南师范学院经济与管理学院, 安徽 淮南 232001; 5.山东政法学院信息科学与技术系, 山东 济南 250014)

摘要: 为了对皖江地区土地生态安全程度进行综合评价, 解决土地生态安全评价中模糊性和随机性共存的问题, 将正态云模型应用于皖江地区土地安全评价研究中。选取人口密度、人均耕地面积、单位面积耕地农药负荷、人均水资源量等 17 个指标, 构建皖江地区土地生态安全指标体系, 采用熵值法对各指标赋权, 利用正态云模型的 3 个数学特征定量刻画各指标条件下的待评价城市的土地安全等级, 借助云隶属度描述评价等级的模糊性, 采用超熵概念刻画隶属度本身存在的随机性, 最后通过集成变换, 得到皖江地区 9 个市的土地生态安全等级。基于正态云模型综合评价的结果表明: 皖江地区土地生态安全程度整体上属于中等偏上, 其中滁州、合肥、宣城处于安全级, 只有马鞍山处于极不安全级。

关键词: 土地生态安全; 正态云模型; 皖江地区

中图分类号: X821

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2015)02-0196-05

Application of normal cloud model on the comprehensive assessment of land eco-security in Wanjiang district

Gao Mingmei^{1,2}, Sun Tao¹, Zhao Tianyan^{1,3}, Dai Hongjun^{1,4}, Zhang Kun^{1,5}

(1.College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 211106, China; 2.College of Mathematics, Qingdao University, Qingdao, Shandong 266071, China; 3.Accounting Institute, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China; 4.Economics & Management, Huainan Normal University, Huainan 232001, China; 5.Department of Information Science and Technology, Shandong Institute of Political Science and Law, Jinan 250014, China)

Abstract: In order to evaluate land eco-security of nine cities in Wanjiang district, a comprehensive assessment method on the normal cloud model is suggested. Firstly, assessment index system is constructed, and land eco-security grade is described through single index for each districts. Secondly, each index weight is calculated by entropy weight method, and each eco-security grade evaluated by corresponding indexes is described using three mathematical characteristics of the normal cloud model. Thirdly, according to each assessment index, matrix of membership cloud model for each grade is determined using positive cloud generator, then, the fuzzy transformation subset is obtained based on the weights and membership degree matrix. Finally, the biggest membership degree is chosen as the result of comprehensive evaluation, and all results are compared with that of by entropy weight and matter element model. The results show that the land eco-security of Chuzhou, Hefei, Xuancheng are in safe grade, Wuhu, Tongling, Chaohu in relative safe grade, Anqing in critical safe grade, Chizhou in less safe grade, and Ma'anshan in high safe grade. Therefore, the land eco-security grade of nine cities in Wanjiang district belongs to the average level on the whole, which is most consistent with the result assessed by matter element model.

Keywords: land eco-security; normal cloud model; Wanjiang district

中国人口众多,土地利用结构不合理,对生态用地及其维护重视不够,土地荒漠化、土地污染、水土流失、非农用地的生态破坏性加剧等土地生态失调问题较为严重,使得土地生态安全问题成为一个亟待解决的问题。目前,关于土地生态安全问题的研究方法主要有模糊综合评价法^[1]、模糊物元法^[2-7]、综合指数法^[8-9]等。这些方法为探索土地生态安全健康状态奠定了理论基础,但也存在如下缺陷:虽然能够确定出评价对象的土地生态安全等级,但不能说明等级之间的转化状态^[2];只关注了指标定量描述的模糊性和分级区间界定的模糊性,而忽视了土地生态系统安全评价实际操作过程中评价指标定性描述、指标值定量确定以及评价等级判定的随机性。云模型因为能同时兼顾随机性和模糊性而被广泛应用^[10-15],但将云模型应用于土地生态安全评价中的研究^[16-20]相对较少。为解决土地生态安全健康状态评价中模糊性与随机性共存的问题,笔者将正态云模型应用于皖江地区土地安全评价研究中,旨在探寻区域土地生态安全评价的新方法。

1 研究区概况

皖江地区是安徽省经济发展最快、经济总量规模最大的最具有发展潜力的区域。根据皖江地区区域规划,该地区包含了合肥、芜湖、铜陵、马鞍山、池州、宣城、安庆、巢湖、滁州等 9 个市,其规划面积 6.3 万 km²。2011 年,皖江地区生产总值为 10 348.53 亿元,约占安徽省生产总值的 67.6%。初步核算,2013 年前 3 个季度皖江地区生产总值为 8 724.3 亿元,按可比价格计算,比 2012 年同期增长 11.4%,增幅比安徽省均值高 0.7 个百分点。与中国中部其他地区相比,皖江地区地处长三角的西缘,与长三角人缘相亲,地缘相近,是长三角经济圈的重要腹地和自然延伸地带,是安徽省最发达的制造业基地。近 50 年来,随着粗放型经济增长模式的推行,化工厂、铸锻厂和建材厂等的大肆引进导致皖江地区土地安全发展不平衡,人口密度明显增加,耕地面积日渐减少,森林覆盖率显著降低,皖江 9 个市内部的差异较大。

2 研究方法

2.1 正态云模型评价方法的建立

云模型是用语言值表示的某个定性概念和定量表示之间的不确定性的模型,可用来刻画多指标评价中大量存在的不确定性现象。设 U 是一个用精确数值表示的定量论域, C 是 U 上的定性概念,若定量值 $x \in U$,且 x 是定性概念 C 的一次随机实现, x 对 C 的隶属度 $\mu_c(x) \in [0,1]$ 是有稳定倾向的随机数 $\mu_c(x):U \rightarrow [0,1]$,则 x 在论域 U 上的分布称为隶属云。若隶属云 x 服从正态分布: $x \sim N(Ex, En^2)$,其中 $En \sim N(En, He^2)$,且 x 对 C 的确定度 $\mu_c(x) \in [0,1]$ 是有稳定倾向的随机数 $\mu_c(x):U \rightarrow [0,1]$, x 对 C 的确定度 $\mu_c(x)$ 满足

$$\mu_c(x) = \exp\left\{-\frac{(x-Ex)^2}{2En^2}\right\} \quad (1)$$

则称 x 在论域 U 上的分布为正态云^[10]。

正态云确定度将随机性和模糊性关联在一起,相对于传统的模糊隶属度更具有优势。正态云的 3 个数字特征(期望 Ex 、熵 En 、超熵 He)反映了定性知识的定量特征,它把模糊性和随机性完全集成在一起,构成了定性和定量相互间的映射。正态云模型的 3 个数字特征的计算方法如下:

设指标 i 对应的等级 j 的上、下边界值为 x_{ij}^l 、 x_{ij}^s ,则正态云中的数字特征

$$Ex_{ij} = (x_{ij}^l + x_{ij}^s) / 2 \quad (2)$$

由于各等级划分的区间端点值是相邻 2 个等级过渡的边界值,故区间端点值应同时属于相邻的等级,具有一定的模糊性,故 $\exp\left\{-\frac{(x_{ij}^s - x_{ij}^l)^2}{8En^2}\right\} \approx 0.5$,得

$$En_{ij} = (x_{ij}^s - x_{ij}^l) / 2.355 \quad (3)$$

一般情况下, He_{ij} 的大小依据经验来确定, He_{ij} 越小,正态云的离散程度越小。

2.2 熵权法确定指标权重

熵权法是一种客观赋权方法,其原理是根据各值的差异程度,先利用信息熵算出各指标的熵值,再计算差异系数,从而得到各指标的熵权^[2,13]。为避免人为主观干扰,本研究中选取熵权法来确定土地生态安全评价指标的权重。

2.3 正态云模型综合评价过程

步骤 1: 首先建立合理的评价指标体系($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), 制定评价等级标准 $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_m\}$ 。

步骤 2: 采用熵权法计算各指标权重 $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$ 。

步骤 3: 借助于正态云的 3 个数学特征 ($Ex_{ij}, En_{ij}, He_{ij}$) 描述第 i 个指标 X_i 对应于等级 V 中第 j 个等级 V_j 的确定度 r_{ij} 。

步骤 4: 就每个待评价对象, 根据各指标值, 利用正向云发生器, 由公式(1)确定出其指标 i 对应等级 j 的云确定度矩阵 $Z=(Z_{ij})_{n \times m}$ 。

步骤 5: 计算出待评价对象属于等级 j 的隶属度 $b_j = \sum_{i=1}^n w_i z_{ij}$ ($j=1, 2, 3, \dots, m$), 选择最大隶属度对应的等级作为待评价对象的综合评价结果。

3 结果与分析

3.1 土地生态安全评价指标体系的建立

土地生态安全评价指标的选择, 不仅要考虑生态环境状态, 体现土地生态系统自身的安全性和为人类提供生态服务的可持续性, 又要遵循科学性、可操作性、完备性、数据可获得性等原则。针对皖江地区自然地理状况及社会经济发展, 特别是土地资源及土地利用的具体状况, 余健^[2]从自然属性、社会属性、经济属性三方面选取了 17 个指标, 将土地生态安全标准分为 5 个等级, 分别是安全级(I 级)、较安全级(II 级)、临界安全级(III 级)、较不安全级(IV 级)和极不安全级(V 级)。为体现云模型评价方法上的优势, 便于和余健^[2]的模糊物元评价结果进行比较, 本研究中采用与其相同的生态安全评价指标及评价标准, 各等级标准范围见表 1。

表 1 评价指标和评价等级划分标准^[2]

Table 1 Evaluation indicators and grade standards for land eco-security

评价指标	等级标准				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
人均耕地面积 $X_1(\text{hm}^2)$	[0.10, 0.20]	[0.07, 0.10]	[0.05, 0.07]	[0.02, 0.05]	[0.00, 0.02]
坡度大于 25°的陡坡耕地面积比重 $X_2(\%)$	[0, 2]	[2, 7]	[7, 10]	[10, 24]	[24, 35]
森林覆盖率 $X_3(\%)$	[47, 60]	[34, 47]	[25, 34]	[10, 25]	[0, 10]
水土协调度 $X_4(\%)$	[95, 100]	[90, 95]	[85.5, 90]	[80, 85.5]	[50, 80]
森林病虫害防治率 $X_5(\%)$	[97, 100]	[85, 97]	[80, 85]	[70, 80]	[0, 70]
土地自然灾害防治率 $X_6(\%)$	[97, 100]	[85, 97]	[80, 85]	[70, 80]	[0, 70]
土地自然灾害受害面积比重 $X_7(\%)$	[0, 1]	[1, 8]	[8, 10]	[10, 50]	[50, 80]
人口密度 $X_8(\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	[100, 550]	[550, 1 400]	[1 400, 1 600]	[1 600, 2 900]	[2 900, 4 000]
土地多样性指数 X_9	[0.90, 1.20]	[0.55, 0.90]	[0.35, 0.55]	[0.10, 0.35]	[0.00, 0.10]
区域开发指数 X_{10}	[0.95, 1.00]	[0.89, 0.95]	[0.85, 0.89]	[0.74, 0.85]	[0.00, 0.74]
人均水资源量 $X_{11}(\text{m}^3)$	[1 450, 1 800]	[1 450, 1 800]	[1 350, 1 450]	[900, 1 300]	[300, 900]
单位 GDP(以万元计)二氧化硫排放量 $X_{12}(\text{kg})$	[0, 3]	[3, 8]	[8, 11]	[11, 15]	[15, 25]
单位面积耕地化肥负荷 X_{13}	[150, 270]	[270, 380]	[380, 450]	[450, 650]	[650, 1000]
单位面积耕地农药负荷 X_{14}	[0, 10]	[10, 20]	[20, 25]	[25, 40]	[40, 80]
工业废水排放达标率 $X_{15}(\%)$	[97, 100]	[85, 97]	[80, 85]	[70, 80]	[0, 70]
工业废气(二氧化硫)处理率 $X_{16}(\%)$	[97, 100]	[85, 97]	[80, 85]	[70, 80]	[0, 70]
工业固体废物综合利用率 $X_{17}(\%)$	[97, 100]	[85, 97]	[80, 85]	[70, 80]	[0, 70]

3.2 指标权重的确定

根据余健^[2]提供的皖江 9 个市的 17 项指标数据, 得指标($X_1, X_2, X_3, \dots, X_{17}$)的权重 $W=\{0.004 7, 0.075 0, 0.0884, 0.037 1, 0.136 3, 0.069 2, 0.145 0, 0.000 5, 0.048 1, 0.017 6, 0.279 6, 0.000 4, 0.058 2,$

$0.010 0, 0.001 0, 0.027 2, 0.001 4\}$ 。由权重计算结果可以看出: 坡度大于 25°陡坡耕地面积比重、森林覆盖率、地区之间的地理分布特点对地区土地的生态安全具有较大的影响。

3.3 正态云综合评价模型的评价结果

在土地生态安全评价过程中，由于抽样的随机性和测量人员主观因素的影响，指标值的获取和评价等级的划分范围具有模糊性和随机性，使得最终得到的评价结果欠精确。正态云确定度是用一个具有稳定倾向的随机确定数代替精确隶属度，既体现

了随机性，又考虑了模糊性，故可借助正态云模型的 3 个数字特征 ($Ex_{ij}, En_{ij}, He_{ij}$) 刻画第 i 个指标对应于第 j 个等级这一定性概念。根据正态云的 3 个数字特征的计算公式(2)、(3)，将表 1 中各指标对应的等级划分范围表示为正态云(表 2)。

表 2 皖江 9 个市评价指标正态云模型的等级标准

Table 2 Grade standards in normal cloud model for land eco-security evaluation of nine cities in Wanjiang district

评价 指标	等级标准				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
X_1	(0.150, 0.042, 0.001)	(0.085, 0.013, 0.001)	(0.060, 0.008, 0.001)	(0.035, 0.013, 0.001)	(0.010, 0.008, 0.001)
X_2	(1.00, 0.85, 0.10)	(5.00, 2.55, 0.10)	(8.50, 1.27, 0.10)	(16.50, 6.37, 0.10)	(29.50, 4.67, 0.10)
X_3	(53.50, 5.52, 0.50)	(40.50, 5.52, 0.50)	(29.50, 3.82, 0.50)	(17.50, 6.36, 0.50)	(5.00, 4.25, 0.50)
X_4	(97.50, 2.12, 0.20)	(92.50, 2.12, 0.20)	(87.75, 1.91, 0.20)	(82.75, 0.21, 0.20)	(65.00, 12.74, 0.20)
X_5	(98.50, 1.27, 0.10)	(91.00, 5.10, 0.10)	(82.50, 2.12, 0.10)	(75.00, 4.25, 0.10)	(35.00, 29.72, 0.10)
X_6	(98.50, 1.27, 0.10)	(91.00, 5.10, 0.10)	(82.50, 2.12, 0.10)	(75.00, 4.25, 0.10)	(35.00, 29.72, 0.10)
X_7	(0.50, 0.42, 0.05)	(4.50, 2.97, 0.20)	(9.00, 0.85, 0.05)	(30.00, 16.99, 0.20)	(65.00, 12.74, 0.20)
X_8	(325.00, 191.08, 20.00)	(975.00, 360.93, 20.00)	(1 500.00, 84.93, 20.00)	(2 250.00, 552.02, 20.00)	(3 450.00, 467.09, 20.00)
X_9	(1.05, 0.13, 0.01)	(0.73, 0.15, 0.01)	(0.45, 0.08, 0.01)	(0.23, 0.11, 0.01)	(0.05, 0.04, 0.01)
X_{10}	(0.975, 0.021, 0.005)	(0.920, 0.025, 0.005)	(0.870, 0.017, 0.005)	(0.795, 0.047, 0.005)	(0.370, 0.314, 0.005)
X_{11}	(2 400.00, 509.55, 10.00)	(1 625.00, 148.62, 10.00)	(1 400.00, 42.46, 5.00)	(1 100.00, 169.85, 10.00)	(600.00, 254.78, 10.00)
X_{12}	(1.50, 1.27, 0.40)	(5.50, 2.12, 0.40)	(9.50, 1.27, 0.40)	(13.00, 1.70, 0.40)	(20.00, 4.25, 0.40)
X_{13}	(210.00, 50.96, 5.00)	(325.00, 46.71, 5.00)	(415.00, 29.72, 5.00)	(550.00, 84.93, 5.00)	(825.00, 148.62, 5.00)
X_{14}	(5.00, 2.12, 0.30)	(15.00, 4.25, 0.30)	(22.50, 2.12, 0.30)	(32.50, 6.37, 0.30)	(60.00, 16.99, 0.30)
X_{15}	(98.50, 1.27, 0.10)	(91.00, 5.10, 0.10)	(82.50, 2.12, 0.10)	(75.00, 4.25, 0.10)	(35.00, 29.72, 0.10)
X_{16}	(98.50, 1.27, 0.10)	(91.00, 5.10, 0.10)	(82.50, 2.12, 0.10)	(75.00, 4.25, 0.10)	(35.00, 29.72, 0.10)
X_{17}	(98.50, 1.27, 0.10)	(91.00, 5.10, 0.10)	(82.50, 2.12, 0.10)	(75.00, 4.25, 0.10)	(35.00, 29.72, 0.10)

根据余健^[2]提供的皖江 9 个市的 17 个评价指标数据，按照正态云模型综合评价步骤 4 和步骤 5，

得皖江 9 个市的土地生态安全综合评价等级结果(表 3)。

表 3 皖江 9 个市土地生态安全的综合评价结果

Table 3 Evaluation results for land eco-security evaluation of nine cities in Wanjiang district

评价地点	正态云隶属度					综合评价等级	
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	正态云模型	模糊物元法
马鞍山	0.216 4	0.194 0	0.048 5	0.273 9	0.401 1	V	V
芜湖	0.200 3	0.320 3	0.064 0	0.281 7	0.292 4	II	II
铜陵	0.062 7	0.323 4	0.149 5	0.234 8	0.320 3	II	II
池州	0.183 9	0.045 2	0.053 4	0.441 5	0.230 3	IV	IV
安庆	0.058 1	0.274 2	0.349 7	0.254 7	0.312 1	III	IV
宣城	0.427 0	0.088 4	0.078 6	0.212 0	0.191 1	I	I
巢湖	0.054 5	0.343 0	0.104 9	0.250 1	0.313 9	II	II
滁州	0.324 9	0.323 0	0.065 6	0.190 6	0.200 3	I	I
合肥	0.391 1	0.232 0	0.098 5	0.250 1	0.224 5	I	I

表 3 结果表明：

1) 滁州、合肥、宣城土地生态安全处于 I 级，芜湖、铜陵和巢湖处于 II 级，安庆处于 III 级，池

州处于 IV 级，马鞍山处于 V 级。这表明马鞍山、池州的土地生态系统已被严重破坏，生态服务功能已经严重退化。这种结果的出现与当地的产业结

构、经济定位和环保目标都有直接的关系。

2) 皖江 9 个市中大部分城市的土地生态安全状况整体良好,生态系统较稳定,说明这些地区土地生态功能正常,土地生态环境保持完好,土地生态结构基本合理。

3) 皖江 9 个市土地生态安全风险分布不一,地区之间存在明显的差异,芜湖、滁州、合肥、宣城、铜陵和巢湖这几个城市的土地生态水平较好,在将来的开发利用过程中要注意保护。

正态云模型与模糊物元法的最终评价结果基本一致,但仍存在一定的差异(表 3),安庆市在云模型评价中的土地安全级别是“临近安全”,而在物元分析中,安庆市的土地安全级别是“极不安全”。实际上,近年来,安庆市政府大力落实资源节约优先战略,推进土地节约、集约利用,加强土地生态安全健康保护,安庆市土地安全处于临近安全状态是相对合理的。2 种方法的差异主要在于:

1) 正态云模型是利用具有稳定倾向的随机数来代替精确隶属度,在考虑模糊性的同时也兼顾了随机性,而模糊物元法仅考虑了模糊性,故评价结果会有一定的差异。

2) 物元分析法强调对影响因子的分析,正态云模型更注重综合评价。

3) 正态云模型的评价结果是随机的,其评价结果是一次随机实现,但该评价结果必然在某一可接受的范围内,这恰恰体现出了评价的不确定性^[14]。

3 结论与讨论

利用正态云模型对皖江 9 个市的土地生态安全进行评价,结果表明皖江地区土地生态安全程度在整体上属于中等偏上,其中滁州、合肥、宣城处于安全级,只有马鞍山处于极不安全级别。尽管地区之间土地生态安全风险分布不一,但大部分城市土地生态安全处于较为健康的状态。鉴于以上研究结果,笔者认为:

1) 芜湖、滁州、合肥、宣城、铜陵和巢湖的土地生态安全,在维持现状的情况下要加强对土地利用规划的管理,避免在经济建设过程中对土地生态造成破坏。

2) 马鞍山、池州地区的土地生态系统相对比较脆弱,一定要注意保护,不可继续加重对土地生态

的破坏。为了保证土地安全利用的可持续性,此类地区应以迁村并镇、农田整理为重,节约村庄用地,扩大农用地;提倡科学施肥和施农药制度,发展生态农业、有机农业、高效低耗的集约化农业。加强对地区内工业企业污染的监管,加大环保投入,引导农民发展绿色农业,促进土地生态质量的改善。

土地生态安全评价不仅需要构建合理的指标体系和评价等级标准,更需要合适的评价方法来支撑。将云模型引入土地生态安全评价中的主要目的是解决评价过程中随机性和模糊性共存的问题,以探寻出一种研究土地安全评价这一不确定知识表示的有益方法,但作为解决土地生态安全评价问题的一种手段,云模型仍存在如下不足:

1) 正态云模型的 3 个数字特征中,期望 E_x 最能表征定性概念的值,熵 En 的大小决定了可被定性概念所接收的云滴数,超熵 He 大小代表了正态云的厚度,但现有文献对这 3 个参数的量化一直没有统一的界定,尤其是超熵 He 的数值选取常常受到经验的影响,不可避免地存在一定的主观性,有待于进一步完善。

2) 土地生态安全评价指标体系的构建还需进一步的科学化、合理化。本文中侧重于解决评价过程中存在的随机性和模糊性共存问题。构建合理的、完善的土地生态安全评价指标体系是评价的基础,是十分重要的研究工作。为了与模糊物元法对皖江地区土地生态安全进行评价的研究结果^[2]进行直观比较,本研究中借用了文献^[2]中选取的评价指标、指标数据和等级划分标准,这在一定程度上直接制约了本研究的创新性。在以后的工作中需进一步完善指标体系,科学地划分等级标准。

参考文献

- [1] 雷国平,代路,宋戈.黑龙江省典型黑土区土壤生态环境质量评价[J].农业工程学报,2009,25(7):243-248.
- [2] 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,2012,28(5):260-266.
- [3] 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,2012,354(6):55-57.
- [4] 陈志凡,李勤奋,赵焯.基于熵权的模糊物元模型在农用地土壤健康评价中的应用[J].中国土地科学,2008,22(11):31-37.
- [5] 张虹波,刘黎明,张军连,等.区域土地资源生态安全评价的物元模型构建及应用[J].浙江大学学报:农

- 业与生命科学版, 2007, 33(2): 222-229.
- [6] 黄辉玲, 罗文斌, 吴次芳, 等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 316-322.
- [7] Gong Jianzhou, Liu Yansui, Chen Wenli. Land suitability evaluation for development using a matter-element model: A case study in Zengcheng, Guangzhou, China[J]. Land Use Policy, 2012, 29(2): 464-472.
- [8] 韩美, 高桂琴. 山东省枣庄市中区土地资源生态安全评价[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 161-164.
- [9] 张军以, 苏维词, 张凤太. 基于 PSR 模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J]. 中国环境科学, 2011, 31(6): 1039-1044.
- [10] 邱凯昌, 李德仁, 李德毅. 云理论及其在空间数据挖掘和知识发现中的应用[J]. 中国图像图形报, 1999, 4(11): 929-935.
- [11] 王坚强, 刘淘. 基于综合云的不确定语言多准则群决策方法[J]. 控制与决策, 2012, 27(8): 1185-1190.
- [12] 李万臣, 田淑娟. 一种新的熵的提取方法在图像分割中的应用[J]. 应用科技, 2013, 40(5): 48-50.
- [13] 龚艳冰, 张继国. 基于正态云模型和熵权的人口发展现代化程度综合评价[J]. 中国人口资源与环境, 2012, 22(1): 138-143.
- [14] 陶建格. 云模型在环境经济问题研究中的应用综述[J]. 科技与经济, 2013, 26(2): 107-110.
- [15] 董春游, 孟婧. 基于云模型和 D-S 理论的煤矿安全管理评价方法[J]. 黑龙江科技学院学报, 2013, 23(5): 497-501.
- [16] 胡石元, 李德仁, 刘耀林, 等. 基于云模型和关联度分析法的土地评价因素权重挖掘[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(5): 423-427.
- [17] 王明舒, 朱明. 利用云模型评价开发区的土地集约利用状况[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 247-252.
- [18] Hu S Y, Li D R, Liu Y L, et al. Mining weights of land evaluation factors based on cloud model and correlation analysis[J]. Geo-spatial Information Science, 2007, 10(3): 218-222.
- [19] 胡石元, 李德仁, 刘耀林. 一种新的基于云模型的宗地地价评估方法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(9): 982-985.
- [20] 张杨, 严金明, 江平, 等. 基于正态云模型的湖北省土地资源生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 252-258.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库