

基于正态云模型的湖北省土地资源生态安全评价

张 杨¹, 严金明^{1*}, 江 平², 杨 乃³

(1. 中国人民大学公共管理学院, 北京 100872; 2. 武汉大学资源与环境学院, 武汉 430079;
3. 中国地质大学信息工程学院, 武汉 430074)

摘 要: 针对综合指数法与模糊综合法无法同时兼顾评价指标模糊性与随机性的问题, 该研究将正态云模型引入区域土地资源生态安全评价。基于正态云模型, 以湖北省为例, 对区域土地资源生态安全状况进行了定量测度。研究结果表明: 2000—2010年间, 湖北省土地资源生态安全状态从敏感级上升到良好级, 土地资源生态安全综合值从2.9397上升为3.6033, 区域土地资源生态安全整体水平有变好的趋势, 但目前仍有部分指标处于恶劣、危险或敏感级, 其单因子指标值 <2.5 , 有待于进一步提高与改善; 正态云模型使土地资源生态安全的定量评价兼顾随机性和模糊性, 该研究可以为区域土地资源可持续发展提供一定借鉴与参考。

关键词: 土地利用, 云, 模型, 正态, 生态安全, 湖北省

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.22.030

中图分类号: X826; F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-22-0252-07

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.

Zhang Yang, Yan Jinming, Jiang Ping, et al. Normal cloud model based evaluation of land resources ecological security in Hubei province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(22): 252—258. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

作为人类赖以生存与发展的物质基础以及生存空间, 全球土地资源的稀缺性与有限性已成为人类可持续发展中的普遍关注的关键词之一^[1-4]。而由于工业化和城市化进程不断加快, 人地关系走入了冲突的症结点^[5-9]。伴随着中国土地利用的强度不断加强, 区域内土地生态系统遭受到了极大的冲击与损毁, 个别区域的土地利用程度已经达到或者甚至超过该区域土地资源的生态承载能力, 导致区域内的土地生态环境逐步的退化, 某些地区甚至已经步入了不可逆转的临界区^[10-16]。区域内土地资源一旦遭受严重的破坏与损毁, 势必会反噬该地区的社会经济安全, 制约区域经济、社会与生态的和谐发展。土地资源生态安全评价是区域土地资源综合优化配置的基础^[17-22]。

目前国内外涉及区域土地资源生态安全评价的研究方法模型较少, 在研究方法上比较趋同化, 从国内外研究文献来看, 评价方法多以综合指数法、模糊综合法^[12-14]等相关模型方法为主。在对土地资源生态安全状况进行定量测度时, 传统方法无法同时兼顾对象的模糊性与随机性, 并且若仅仅考虑区域土地资源生态安全评价中对象的模糊性或随机性, 则难以达到获得最终准确的评价结果, 因而需要引入可以同时兼顾模糊性与随机性的模型方法, 本研究提出基于正态云模型区域土地资源生态安全评价的定量测度方法, 并以湖北省为研究区, 对该省的土地资源生态安全状况进行定量评价与分析, 以期为区域土地资源的可持续发展提供一定的参考价值与实践基础。

1 研究区域

湖北省位于中国中部、长江中游、洞庭湖以北, 介于 29°05′-33°20′N, 108°21′-116°07′E。湖北省与河南、安徽、湖南、江西及陕西等省交界, 湖北省南北宽约 470 km, 东西长约 740 km, 面积 18.59 万 km², 占全国总面积的 1.95%, 居全国第 14 位。在“中部崛起”战略背景与“武汉城市圈”建设契机下, 湖北省社会经济得到了迅猛推进与快速发展, 全省的农业、产业现代化水平均有了明显提高, 农地集约化程度也日益加强, 从 2000—2010 年全省

收稿日期: 2013-03-08 修订日期: 2013-10-14

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAB11B02); 国家自然科学基金重大项目(09&ZD047); 国土资源部公益项目(201111010)中国博士后基金(2013M541109)

作者简介: 张 杨(1983—), 男, 河北保定市人, 博士后。主要研究方向为土地利用/覆被和土地资源可持续发展。北京 中国人民大学公共管理学院, 100872。Email: geozhangyang@gmail.com。

*通信作者: 严金明(1965—)男, 江苏南通人, 教授, 博导。主要研究方向为土地规划与管理, 土地经济与政策, 土地评价与资源可持续发展。北京 中国人民大学公共管理学院, 100872。

Email: yanjinming@263.net

粮食产量也不断增长。与此同时，湖北省人口增长迅速，农地非农业化过程也在加快。由于农业产业是对资源环境，尤其是对土地资源依赖程度最高的产业之一，所以对湖北省全省的土地资源生态安全进行定量评价与分析具有重要的研究价值与现实意义。

2 基于正态云模型的土地资源生态安全评价

2.1 正态云模型简介

本研究所用的云模型是由李德毅院士^[23]提出的一种具有广泛普适性的模型，该模型是在概率论和模糊数学上演化发展而来，用语言值来表示定性与定量相互发生不确定性转换的新模型^[24-26]。正态云模型的数字特征表示定性概念的定量表达，常常用期望(Ex)、熵(En)和超熵(He)来表征。

云模型是在正态分布与钟形隶属函数的基础上进一步演化而兴起的全新数学模型。由于该模型具有很广的普适性特征^[27-31]。该模型的运算理念可以分为以下几步：

1) 生成正态随机数 $En'_i = NORM(En, He^2)$ ，式中， En 和 He^2 分别表示为期望与方差；

2) 再生成正态随机数 $x_i = NORM(Ex, En_i'^2)$ ，式中， Ex 和 $En_i'^2$ 分别表示为期望与方差， $NORM$ 表

示为正态分布随机函数；

$$3) \text{ 计算 } \mu_i = \exp\left(-\frac{(x_i - Ex)^2}{2En_i'^2}\right);$$

4) (x_i, μ_i) 即构成数域中任意一个云滴。

5) 继续重复第 1 步至第 4 步，终止运行条件为直到产生设定的 n 个云滴为止。云模型中的各个云滴组团即构成了云像。

2.2 土地资源生态安全评价指标体系构建

土地资源生态安全，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的结构在不遭受损毁与破坏的同时，又能提供各种物质支持以持续满足人类生存和发展的需要。确定土地资源生态安全评价指标是一项十分复杂的探索性科研工作，目前相关研究在国内外学术界尚且没有明确的统一标准。由于区域土地资源生态安全评价中任何一个评价因子之间都具有复杂的联系，本研究根据土地资源生态安全评价所遵循的层次性、科学性、完备性、可比性、数据可得性和可操作性等原则，主要考虑了湖北省的土地资源生态安全状况水平与评价数据的可得性，在借鉴国内外有关研究成果的基础上^[11]，从土地资源生态安全的自然、经济和社会属性 3 个方面建立了由 20 个指标构成的土地资源生态安全评价指标体系，具体内容如表 1 所示。

表 1 土地资源生态安全评价指标体系
Table 1 Land resources ecological security evaluation index system

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	因素层 Factory layer	评价标准 Evaluation criterion					权重 Weights
			恶劣级 Severe level	危险级 Dangerous level	敏感级 Sensitive level	良好级 Benign level	安全级 Security level	
			I	II	III	IV	V	
土地资源生态安全 Land resource ecological security A	自然子系统 Natural subsystem B ₁	耕地面积比例 C ₁ /%	<10	≥10~15	≥15~20	≥20~25	>25	0.0553
		人均耕地面积 C ₂ /(hm ² ·人 ⁻¹)	<0.4	≥0.4~0.6	≥0.6~0.8	≥0.8~0.1	>0.1	0.0521
		土地粮食单产 C ₃ (kg·a ⁻¹)	<200	≥200~300	≥300~400	400~500	>500	0.0533
		森林覆盖率 C ₄ /%	<25	≥25~30	≥30~35~	≥35~40	>40	0.0852
		草地面积比例 C ₅ /%	<5	≥5~10	≥10~15	≥15~20	>20	0.0604
		土地退化率 C ₆ /%	>10	≥8~10	≥6~8	≥4~6	<4	0.0821
		水土流失面积比例 C ₇ /%	>10	≥8~10	≥6~8	≥4~6	<4	0.0845
		水土协调度 C ₈ /%	<40	≥40~60	≥60~80	≥80~100	>100	0.0792
	经济子系统 Economic subsystem B ₂	人均 GDP C ₉ /(10 ⁴ 元·人 ⁻¹)	<2	≥2~3	≥3~4	≥4~5	>5	0.0413
		土地经济密度 C ₁₀ /(10 ⁴ 元·hm ⁻²)	<5	≥5~10	≥10~15	≥15~20	>20	0.0403
		耕地生产力水平 C ₁₁ /(kg·a ⁻¹)	<200	≥200~300	≥300~400	≥400~500	>500	0.0549
		机耕程度 C ₁₂ /%	<20	≥20~40	≥40~60	≥60~80	80~100	0.0422
		农药施用量 C ₁₃ /(kg·hm ⁻²)	>1.4	≥1~1.4	≥0.6~1	≥0.2~0.6	<0.2	0.0432
		化肥施用量 C ₁₄ /(kg·hm ⁻²)	>600	≥500~600	≥400~500	≥300~400	<300	0.0395
	社会子系统 Social subsystem B ₃	人口密度 C ₁₅ /(人·km ⁻²)	>500	≥300~500	≥150~300	≥100~150	25~100	0.0235
		人口自然增长率 C ₁₆ /%	>5	≥4~5	≥3~4	≥2~3	<2	0.0221
		城市化水平 C ₁₇ /%	<20	≥20~30	≥30~40	≥40~60	>60	0.0223
		耕地压力指数 C ₁₈	>1.4	≥1.2~1.4	≥1.0~1.2	≥1.0~0.8	<0.8	0.0542
		农电集约度 C ₁₉ /(kW·h·hm ⁻²)	<20	≥20~30	≥30~40	≥40~500	>50	0.0313
		整理集约度 C ₂₀ /(10 ⁴ 元·hm ⁻²)	<2.5	≥2.5~3	≥3~3.5	≥3.5~4	>4	0.0331
综合标准		1~1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~5	1.0000	

本研究关于土地资源生态安全评价中的评价指标可分为正向与负向指标两类。正向指标包括：耕地面积比例 C_1 、人均耕地面积 C_2 、土地粮食单产 C_3 、森林覆盖率 C_4 、草地面积比例 C_5 、水土协调度 C_8 的值越大，表示区域土地资源生态安全的状态越好；人均 GDP C_9 、土地经济密度 C_{10} 、耕地生产力水平 C_{11} 、机耕程度 C_{12} 、城市化水平 C_{17} 、农电集约度 C_{19} 、整理集约度 C_{20} 的值越大，表明区域土地资源生态安全抵御外接冲击与压力能力越强，生态安全状况就越好。负向指标包括：土地退化率 C_6 、水土流失面积比例 C_7 、农药施用量 C_{13} 、化肥施用量 C_{14} 、人口密度 C_{15} 、人口自然增长率 C_{16} 、耕地压力指数 C_{18} 的值越大，对区域土地资源生态承载的压力与冲击就越大，损毁度就越高，表明区域土地资源生态安全状况就越差。

采用层次分析法 (hierarchical analysis method, AHP) 来确定土地资源生态安全评价指标体系中各个评价指标的权重。按照层次分析法的步骤，首先构建递阶层次结构，分别是评价指标体系的目标层、准则层和因素层，然后依次对两两元素进行比较，构造判断矩阵，进而计算相对权重，然后进行一致性检验，通过检验则终止。通过 AHP 法确定的湖北省土地资源生态安全各指标权重见表 1。土地资源生态安全评价指标标准的研究是在参考国内平均值与国际公认值以及相关研究成果的基础上^[22]，从湖北省区域土地生态环境现状与特征出发，综合分析归纳后最终确定生态安全评价指标评价标准及权重，具体内容如表 1 所示，土地资源生态安全评价综合评判标准的云模型表征如图 1 所示。

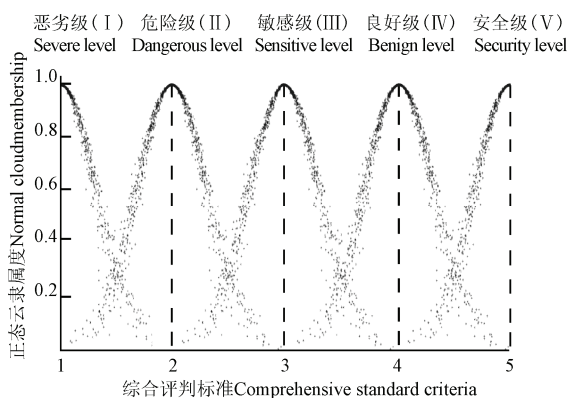


图 1 土地资源生态安全评价综合评判的正态云模型
Fig.1 Normal cloud model of land resources ecological security comprehensive evaluation

2.3 基于正态云模型的土地生态安全综合评价

在对区域土地资源生态安全进行定量测度的过程中，其评价指标的定量描述兼有模糊性与随机

性，倘若仅仅考虑区域土地资源生态安全评价中对象的模糊性或随机性，则最终获得准确的评价结果预期目的难以达到，因而需要引入可以同时兼顾模糊性与随机性的模型方法。本研究以正态云模型理论为基础，建构基于正态云的综合评价模型。综合评价模型建构主要步骤分为以下几部分：

1) 构建土地资源生态安全评价对象的因素域为 $U=\{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ ，评价域为 $V=\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_m\}$ ，权重集为 $W=\{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$ ；

2) 对区域土地资源生态安全各个单一指标的评估，首先构建模糊关系矩阵 R 。 R 中元素 r_{ij} 表示评价对象因素域 U 中第 i 个元素 u_i 对于评价域 V 中第 j 个等级的 v_j 的隶属度。设因素 $i(i=1, 2, 3, \dots, n)$ 与其对应等级 $j(j=1, 2, 3, \dots, m)$ 的上下边界值分别为 x_{ij}^1 和 x_{ij}^2 ，则因素 i 对应的等级 j 的定性概念可以用云模型表示为：

$$Ex_{ij} = (x_{ij}^1 + x_{ij}^2) / 2$$

由于土地资源生态安全评价中各个评价域中的评价边界确值是两个级别相互过渡的临界值，所以该评价域的边界确值应属于与其临界的 2 个级别，是具有一定模糊性，即为：

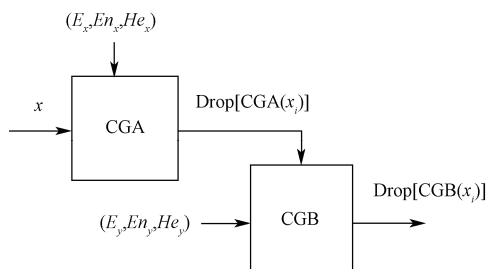
$$\exp\left[-\frac{(x_{ij}^1 - x_{ij}^2)^2}{8(En_{ij})^2}\right] \approx 0.5$$

$$En_{ij} = (x_{ij}^1 - x_{ij}^2) / 2.355$$

式中，熵 En_{ij} 值的确定一般为试验取值。在取值过程中，超熵的取值越小，则正态云的厚度越薄。

3) 依据土地资源生态安全评价指标体系的各个指标值，在确定评价指标的架构体系后，首先建立土地资源生态安全因素规则库与分值规则库，分别用 A 、 B 表示。应用正态云模型的云发生器，将每个生态安全评价指标的定量化值作为输入值，而后根据正态云模型中 X 云发生器计算方法得到一组 $CGA(x_i)$ 。为提高土地资源生态安全评价最终结果的置信度，则需要执行多次正向云发生器，之后将正向云发生器获得数值进行加权平均，该加权均值则作为输入值，再依据 Y 云发生器计算方法得到一组 $CGB(y_i)$ 。最后将 $CGB(y_i)$ 的加权平均值作为此次区域土地资源生态安全评价单个指标的定量化分值，其计算原理如图 2 所示。

4) 评价权重集 W 属于 U 在 V 内的模糊子集。本研究将权重集 W 与上述计算得出的隶属度矩阵 R 进行模糊转换，即可得到土地资源生态安全评价中评价域 V 上的模糊子集 B 。



注：x 为输入数据， E_x, En_x, He_x 为 X 云的期望、熵和超熵，CGA 为 X 云的数据集； E_y, En_y, He_y 为 Y 云的期望、熵和超熵，CGB 为 Y 云的数据集。

Note: x was the input data, E_x, En_x, He_x were expectation, entropy and hyper entropy of X cloud, CGA was the dataset of X cloud. E_y, En_y, He_y were expectation, entropy and hyper entropy of Y cloud, CGB was the dataset of Y cloud.

图 2 云模型不确定性推理

Fig.2 Cloud model uncertainty reasoning

$$B=W \otimes R=(b_1, b_2, b_3, \dots, b_m)$$

式中， $b_j = \sum_{i=1}^n w_i r_{ij}$ ， $j=1,2,3,\dots,m$ 。最后依据模糊数

学中的最大隶属度原则，来选取最大的隶属度所对应的评价等级作为此次区域土地资源生态安全综合评价的评价等级。

3 结果与分析

基于已经建立的区域土地资源生态安全定量评价的指标体系，用相应的正态云模型来表示各个评价因素所对应的评价等级，超熵经验取值为 0.01，整个计算过程皆由 MATLAB7.0 软件来编写模型运行程序，进而计算出区域土地资源生态安全评价的综合分值，具体内容如表 2 所示。

通过表 2 可知，湖北省 2000 年和 2010 年的土地资源生态安全综合安全值分别为 2.9397 和 3.6033。从综合评判可以看出，2000 年该省土地资源生态安全评价等级为 III 级（敏感级），到 2010 年的该省土地资源生态安全评价等级上升为 IV 级（良好级）。从全省土地资源区域整体安全状况来看，其土地资源生态安全状态从敏感级上到良好级的整个过程中，可见 10 a 来该省土地资源生态安全状况一直处于日趋变好的态势，土地生态系统受到的损毁日益变小。在研究时段内，湖北省通过水土流失治理、国土开发整治以及产业结构升级转型，尤其是近 10 a 的双退政策以及大规模的土地整治项目的实施效果显著，对于全省的土地资源生态安全状况的改善具有积极意义。但从表 2 中土地资源生态安全评价指标单因子的安全级别来看，目前仍有部分评价指标（单因子指标值 < 2.5）处于恶劣、危险与敏感级之间，该类指标对于土地资源生态安全隐患必须重点改善与治理。尽管当前人口密度、

人均耕地面积、土地粮食单产以及人均 GDP 等几项评价指标都在逐年不断提高，但全省近年来在人口增长、资源缺口等方面的现实压力也正在不断加大，以及在农业耕作方面不合理的使用农药、化肥等现象十分突出，这样便会不断导致湖北省的土地资源生态系统本底损毁，而缺少系统防御生态风险的抗性。人口增长、资源缺口等因素产生的压力一旦阶跃区域生态安全临界值将会导致该地区整体生态系统抵御风险的能力逐步丧失，因此必须通过有效的管控措施来保障区域土地资源可持续发展。

表 2 基于正态云模型的湖北省土地资源生态安全评价
Table 2 Evaluation of land resources ecological security in Hubei province based on cloud model

评价指标体系 Evaluation index system	单因子分值 Single factor score		权重 Weights	综合分值 Comprehensive score		
	2000 年	2010 年		2000 年	2010 年	
B ₁	C ₁	3.0476	3.4212	0.0553		
	C ₂	2.1259	2.4573	0.0521		
	C ₃	4.1021	4.3944	0.0533		
	C ₄	4.2125	4.4746	0.0852		
	C ₅	1.2263	1.5678	0.0604		
	C ₆	2.5701	3.8582	0.0821		
	C ₇	2.7764	3.8422	0.0845		
	C ₈	3.3253	4.4705	0.0792		
B ₂	C ₉	1.1515	3.4223	0.0413		
	C ₁₀	1.0747	3.2301	0.0403		
	C ₁₁	4.1713	4.4235	0.0549	2.9397	3.6033
	C ₁₂	3.4627	4.3908	0.0422		
	C ₁₃	4.5211	4.9702	0.0432		
	C ₁₄	1.1231	1.0724	0.0395		
B ₃	C ₁₅	2.1251	2.6033	0.0235		
	C ₁₆	3.0193	2.734	0.0221		
	C ₁₇	4.2061	4.5317	0.0223		
	C ₁₈	3.5785	3.2013	0.0542		
	C ₁₉	3.0977	3.4682	0.0313		
	C ₂₀	2.8022	3.5941	0.0331		

注：各指标含义见表 1。

Note: The index meanings were shown in table 1.

4 政策与建议

1) 树立国土生态文明建设理念。土地资源极其稀缺，若遭到破坏，区域生态安全便会受到极大挑战与冲击，从而严重影响中国国土资源战略。因此，要维护土地资源生态安全必须树立国土生态文明建设理念。

2) 严格保护土地资源，尤其是耕地资源，于全国范围内实施针对性国土整治。加快国土整治的战略转型，构建国土空间综合整治新方略与新格局。

3) 加大农业科技投入，改善农作条件。提高农地单产。保护农业生态环境，推进生态农业技术

完善与发展, 构筑综合防治技术体系, 转变过度依靠化肥与农药的倾向。

4) 控制人口数量, 缓解区域人地矛盾。基于土地资源的稀缺及不可增长的特性, 人口数量的持续增长终究是引起土地资源供需不平衡的主要矛盾之一。控制人口数量, 才能促进人地平衡进而解决人地矛盾。

5) 通过创新性的国土资源开发利用以及国土资源的优化有效管理, 实现国土资源的可持续发展以及国土资源生态体系与社会经济体系全面协调发展。

5 结论与讨论

在总结国内外相关区域土地资源生态安全评价研究与评价方法的基础上, 基于正态云模型对 2000—2010 年湖北省土地资源生态安全状况进行了定量测度, 研究结果表明: 2000—2010 年间, 湖北省土地资源整体生态安全状态从敏感级上升为良好级, 生态安全综合安全值从 2.9397 上升为 3.6033。10 a 来该区域土地资源生态安全状况处于日趋变好的态势。不过仍有部分评价指标处于恶劣、危险与敏感级之间, 该类指标对土地资源生态安全的隐患必须重点改善与治理。人口增长、资源缺口等因素产生的压力一旦阶跃区域生态安全临界值将会导致该地区整体生态系统抵御风险的能力逐步丧失, 因此必须通过有效的管控措施来保障区域土地资源可持续发展。

由于土地资源生态安全评价指标标准的确定是一项探索性很强的复杂工作, 目前学界内尚未形成统一论。如何使得土地资源生态安全评价标准更加科学以及更加符合研究区域的具体情况, 需要进一步进行深入的研究和扩展。

[参 考 文 献]

- [1] 严金明, 夏方舟, 李强. 中国土地综合整治战略顶层设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 1—9
Yan Jinming, Xia Fangzhou, Li Qiang. Top strategy design of comprehensive land consolidation in China[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 1—9. (in Chinese with English abstract)
- [2] 李智国, 杨子生. 中国土地生态安全研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(12): 5—13.
Li Zhiguo, Yang Zisheng. Research progress of land ecological security in China[J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(12): 5—13. (in Chinese with English abstract)
- [3] 余健, 房莉, 仓定帮, 等. 熵权模糊物元模型在土地资源安全评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 260—266.
Yu Jian, Fang Li, Cang Dingbang, et al. Evaluation of land eco-security in Wanjiang district base on entropy weight and matter element model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultura Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 260—266. (in Chinese with English abstract)
- [4] 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.
Huang Huiling, Luo Wenbin, Wu Cifang, et al. Evaluation of land eco-security based on matter element analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultura Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(3): 316—322. (in Chinese with English abstract)
- [5] 任志远, 张艳芳, 李晶, 等. 土地利用变化与生态安全评价[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [6] 张正峰. 土地整治可持续性的标准与评估[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 1—7.
Zhang Zhengfeng. Criteria and assessment for sustainability of land consolidation[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(7): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [7] 邹长新, 沈渭寿. 生态安全研究进展[J]. 农村生态环境, 2003, 19(1): 56—59.
Zou Changxin, Shen Weishou. Advances in ecological security[J]. Rural Eco-Environment, 2003, 19(1): 56—59. (in Chinese with English abstract)
- [8] 鞠正山, 罗明, 张凤荣, 等. 我国区域土地整理的方向[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 6—11.
Ju Zhengshan, Luo Ming, Zhang Fengrong, et al. Developing trends of regional land consolidation in China[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19(2): 6—11. (in Chinese with English abstract)
- [9] 程晋南, 赵庚星, 李红, 等. 基于 RS 和 GIS 的土地生态环境状况评价及其动态变化[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 83—88.
Cheng Jinnan, Zhao Gengxing, Li Hong, et al. Dynamic changes and evaluation of land ecological environment status based on RS and GIS technique[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(11): 83—88. (in Chinese with English abstract)
- [10] Eswaran H, Kimble J. Land quality assessment and monitoring: The next challenge for soil science[J]. Pedosphere, 2003, 13(1): 1—10.
- [11] 刘勇, 刘友兆, 徐萍. 区域土地资源生态安全评价: 以浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 69—75.
Liu Yong, Liu Youzhao, Xu Ping. Evaluation on ecological security of regional land resources: A case study of Jiaxing city, Zhejiang province[J]. Resources

- Science, 2004, 26(3): 69—75. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陈志刚, 黄贤金. 经济发达地区土地资源可持续利用评价研究: 以江苏省江阴市为例[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 33—38.
Chen Zhigang, Huang Xianjin. An evaluation of sustainable land use develop areas: A case study of Jiangyin city, Jiangsu province [J]. Resources Science, 2001, 23(3): 33—38. (in Chinese with English abstract)
- [13] 高桂芹, 韩美. 区域土地资源生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 271—273.
Gao Guiqin, Han Mei. Evaluation of regional land resources ecological security[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(5): 271—273. (in Chinese with English abstract)
- [14] 汤洁, 朱云峰, 李昭阳, 等. 东北农牧交错带土地生态环境安全指标体系的建立与综合评价: 以镇赉县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 119—124.
Tang Jie, Zhu Yunfeng, Li Shaoyang, et al. Evaluation on ecological security of land resources in ecotone between farming and animal raising in Northeastern China: A case study of Zhenlai county[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(1): 119—124. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1551—1556.
Wang Genxu, Cheng Guodong, Qian Ju. Several problems in ecological security assessment research [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1551—1556. (in Chinese with English abstract)
- [16] 任志远, 张芳. 土地利用变化与生态安全评价[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [17] 曲福田, 赵海霞, 朱德明. 江苏省土地生态安全问题及对策研究[J]. 环境保护, 2005(2): 51—56.
Qu Futian, Zhao Haixia, Zhu Deming. Study on problem and countermeasure of land ecological safety of Jiangsu province[J]. Environmental Protection, 2005(2): 51—56. (in Chinese with English abstract)
- [18] 田克明, 王国强. 我国农用地生态安全评价及其方法探讨[J]. 地域研究与开发, 2005, 24(4): 79—82.
Tian Keming, Wang Guoqiang. Study on ecological security of agricultural land evaluation[J]. Areal Research and Development, 2005, 24(4): 79—82. (in Chinese with English abstract)
- [19] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6305—6310.
Xie Hualin. Review and the outlook of land use ecological security pattern[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6305—6310. (in Chinese with English abstract)
- [20] 曹新向, 郭志永, 雒海潮. 区域土地资源持续利用的生态安全研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 192—195.
Cao Xinxiang, Guo Yongzhi, Luo Haichao. Study on Ecological security of regionally sustainability utilization of land resources[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18(2): 192—195. (in Chinese with English abstract)
- [21] 罗文斌, 吴次芳, 汪友洁, 等. 基于物元分析的城市土地生态水平评价: 以浙江省杭州市为例[J]. 中国土地科学, 2008, 22(12): 31—38.
Luo Wenbin, Wu Cifang, Wang Youjie, et al. Evaluation on urban land ecological level based on matter element analysis: A case of Hangzhou city in Zhejiang province[J]. China Land Science, 2008, 22(12): 31—38. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李玉平, 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, 2(3): 1—6.
Li Yuping, Cai Yunlong. Security evaluation of land ecology in Hebei province[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2007, 2(3): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [23] 李德毅, 杜鹁. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [24] 王新洲, 史文中, 王树良. 模糊空间信息处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [25] 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.
Hu Shiyuan, Li Deren, Liu Yaolin, et al. Mining weights of land evaluation factors based on cloud model and correlation analysis[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(5): 423—427. (in Chinese with English abstract)
- [26] 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性[J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28—34.
Li Deyi, Liu Changyu. Study on the universality of the normal Cloud model[J]. Engineering Science, 2004, 6(8): 28—34. (in Chinese with English abstract)
- [27] 刘常昱, 李德毅, 杜鹁, 等. 正态云模型的统计分析[J]. 信息与控制, 2005, 34(2): 236—239.
Liu Changyi, Li Deyi, Du Yi, et al. Some statistical analysis of the normal cloud model[J]. Information and Control, 2005, 34(2): 236—239. (in Chinese with English abstract)
- [28] 胡石元, 李德仁, 刘耀林, 等. 体现主客观信息的土地定级因素综合集成赋权法研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(8): 695—699.
Hu Shiyuan, Li Deren, Liu Yaolin, et al. Determination and integration of subjective weights and objective weights of land grading factors[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(8): 695—699. (in Chinese with English abstract)
- [29] 李德仁, 王树良, 李德毅. 空间数据挖掘理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [30] 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.
Wang Mingshu, Zhu Ming. Evaluating intensive land use situation of development zone based on cloud models[J].

- Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 247—252. (in Chinese with English abstract)
- [31] 樊敏, 刘耀林, 吴艳娟, 等. 基于云模型的土地整理生态影响评价研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(9): 986—989.
- Fan Min, Liu Yaolin, Wu Yanjuan, et al. Ecological impact evaluation for land consolidation based on cloud model[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(9): 986—989.

Normal cloud model based evaluation of land resources ecological security in Hubei province

Zhang Yang¹, Yan Jinming^{1*}, Jiang Ping², Yang Nai³

(1. School of Public Administration and Policy, People's University of China, Beijing 100872, China;

2. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

3. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Land resource is very scarce natural resources. Finiteness and scarcity of global land resources have become a common concern to human sustainable development. With the accelerating of industrialization and urbanization, man-land relationship is going into the crux of the conflict. If land resources are damaged seriously, it will also affect regional security and the sustainable development. Evaluation of land resource ecological security is an important content of regional sustainable development measures. The previous evaluation methods that were comprehensive index method and fuzzy synthesis cannot describe the fuzziness and randomness of evaluation indexes at the same time. In view of that problem, normal cloud model was introduced into regional land resources ecological security evaluation. Cloud model was the making of Li Deyi academicians based on traditional fuzzy mathematics and probability statistics. The rule of land resources ecological security evaluation was constructed combining the basic theory of cloud model and the process of ecological impact evaluation for land consolidation. By translating the uncertain factor conditions into quantitative values with the uncertain illation based on normal cloud model, the evaluation factor scores and comprehensive scores of Hubei Province land resources ecological security were computed. Study results indicated that : (1) Hubei Province land resources ecological safety status enhanced from the sensitive level to a moderate level, it increased from 2.9397 to 3.6033. The general trend of regional land resources ecological security was elevated from 2000 to 2010. Index value less than 2.5 indicated a severe, dangerous or sensitive level; (2) The normal cloud model was a mathematical representation of fuzziness and randomness. The transformation from qualitative concepts to quantitative expressions were realized when the fuzziness and randomness were integrated together. The method preserved the randomness and fuzziness in evaluation. Evaluation method of regional land resources ecological security based on the normal cloud model was an objective and scientific comprehensive assessment method. The study could provide a reference for the sustainable development of regional land resources.

Key words: land use, clouds, models, normality, ecological security, Hubei province

(责任编辑: 张俊芳)