

基于物元模型的鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价^{*}

余 敦 陈文波^{**}

(江西农业大学景观与环境生态研究中心, 南昌 330045)

摘要 基于2001—2007年的相关数据, 借动物元模型对鄱阳湖生态经济区的土地生态安全状况进行研究。结果表明: 2001年鄱阳湖生态经济区土地生态安全状况为较安全状态, 2002—2004年处于临界安全状态, 2005年下降为不安全状态, 2006年后土地生态安全状况有所好转, 处于临界安全状态。表明利用物元模型进行区域土地生态安全评价是可行的, 具有计算简便、意义明确、评价精度高等优点, 为土地生态安全评价提供了另一种途径。

关键词 物元模型 生态安全 鄱阳湖生态经济区

文章编号 1001-9332(2011)10-2681-05 中图分类号 X826 文献标识码 A

Land ecological safety in Poyang Lake Eco-economic Zone: An evaluation based on matter-element model. YU Dun, CHEN Wen-bo (*Landscape and Environment Ecology Research Center, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(10): 2681–2685.

Abstract: Base on the 2001–2007 related statistical data, and by means of matter-element model, an evaluation was conducted on the land ecological safety in Poyang Lake Eco-economic Zone. The land safety in the Eco-economic Zone was relatively fine in 2001, decreased to critical level in 2002–2004, and degraded to unsafe in 2005. From 2006, the safety level returned to critical, indicating a better safety status. This study showed that matter-element model had the advantages of simple calculation, clear indication, and higher accuracy, being able to provide another approach for regional land ecological safety evaluation.

Key words: matter-element model; ecological safety; Poyang Lake Eco-economic Zone.

生态安全是21世纪人类社会可持续发展所面临的一个新主题。生态安全的本质包括生态风险和生态脆弱性^[1-2]。国外的相关研究主要围绕生态安全的概念及生态安全与国家安全^[3-4]、军事战略^[5]、可持续发展和全球化的相互关系而展开^[6]; 国内主要针对生态安全的概念及生态安全评价指标体系的建立进行了很多有意义的探索^[7]。生态安全的概念有广义和狭义之分。广义的生态安全指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态, 包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全。狭义的生态安全指自然和半自然生态系统

的安全, 即生态系统完整性和生态系统健康的整体水平^[8]。生态安全是国家安全和区域安全的重要组成部分, 是由资源安全、生物安全、环境安全等多方面组成的安全体系^[9]。目前, 我国的生态安全研究正由定性研究向定量研究发展, 并已落实到区域上, 我国生态安全评价呈现出以空间尺度为主流、时间尺度为支流、区域生态安全评价为核心、辅以流域和国家安全评价的研究格局^[10-11]。土地是人类赖以生存和发展的物质基础, 随着人口的增加、社会经济的发展, 土地生态环境的破坏程度日益严重。土地生态安全评价是生态安全评价的重要组成部分, 也是当前土地可持续利用研究的前沿课题。但目前土地生态安全评价还处于起步阶段, 土地生态安全评价的理论研究还处于探讨阶段, 评价方法、评价指标体系和标准值的确定仍是研究难点^[12-15]。

* 江西省社会科学规划项目(08Y137, 08Y139)和江西省自然科学基金项目(2009GQN0031)资助。

** 通讯作者. E-mail: cwb1974@hotmail.com

2011-02-28 收稿, 2011-07-11 接受。

相容问题,从最初的物元分析到现在的可拓学,已奠定了其理论体系。物元模型被广泛应用在环境质量的综合评判、产品质量分级和农业资源评价等方面^[16-18],但在土地生态安全评价中的应用则鲜见报道。

位于长江中下游的鄱阳湖生态经济区,是我国重要的商品粮基地和江西省重要的经济区,其土地生态安全状况对整个鄱阳湖地区和长江中下游地区均产生重要影响。近年来,随着人类活动的加剧和对土地的不合理开发利用,江西省乃至整个长江中下游地区社会经济的可持续发展正遭受着威胁。为此,本文基于物元模型,构建了鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价指标体系,并对其土地生态安全状况进行评价,旨在为土地生态安全评价提供另一种可行途径。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

鄱阳湖生态经济区($27^{\circ}30' - 30^{\circ}06' N$, $114^{\circ}29' - 117^{\circ}42' E$)地处长江中下游南岸、江西省北部,包括南昌、九江、鹰潭、抚州、景德镇、新余6个设区市和25个县(市),共31个县(市、区)(图1)。该区属典型的亚热带湿润性季风型气候,年均气温 $18^{\circ}C$,年均日照总辐射量为 $97 \sim 114.5 \text{ kCal} \cdot \text{km}^{-2}$,年均日照时数为 $1473.3 \sim 2077.5 \text{ h}$,年均降水量 $1350 \sim 1900 \text{ mm}$ 。2007年全区总人口为1977.61万,其中,城镇人口850.38万,乡村人口1127.23万。



图1 鄱阳湖生态经济区示意图

Fig. 1 Sketch map of Poyang Lake Eco-economic Zone.

1.2 物元模型

设事物的名称为M,它关于特征C的量值为X,以有序三元 $R = (M, C, X)$ 组作为描述事物的基本元,简称物元。利用物元模型进行评价的主要步骤为:确定待评价物元;确定待评价经典域;确定待评价节域;关联函数的定义;确定评价等级。

1.3 土地生态安全评价指标体系的构建

1.3.1 评价指标体系的建立 鄱阳湖生态经济区土地生态安全系统是一个多层次、多因素的复合系统。参考相关研究,并根据鄱阳湖生态经济区的实际情况,结合专家意见完成指标的筛选,得到鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价指标体系,包括19项评价指标(表1)。

1.3.2 评价指标权重的确定 为了使评价结果能够客观、合理地反映鄱阳湖生态经济区的实际情况,采用Delphi法^[19-20]来确定各评价指标的权重(表1)。

1.4 数据来源及处理

本研究从土地资源压力、土地资源状态、人文环境响应角度选择了人口密度、耕地粮食单产等19个指标,分为原始指标和构建指标两大类。原始指标如农民人均收入等是通过查阅2002—2008年江西省统计年鉴^[21]获得;通过原始指标复合计算得出构建指标,如人口密度=人口数/辖区面积。在构建原始数据集的基础上,利用物元模型,通过确定评价物元、经典域,建立评价节域矩阵,计算鄱阳湖生态经济区土地生态安全综合值,从而判定土地安全状况。具体计算过程与方法参见文献[22-23]。

2 鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价的物元模型

2.1 鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价物元的建立

将鄱阳湖生态经济区31个县(市、区)作为一个整体,以2001—2007年统计数据为基础,通过加权平均得到每年各个指标的原始值。

2.2 鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价经典域和节域的确定

在确定经典域和节域之前,需要先确定所选各项指标的生态安全标准。生态安全评价指标标准值的确定是一项非常具有探索性的工作,本文在查阅国内外有关资料^[24-27]的基础上,并咨询专家,以最大限度地保证评价标准值的准确度和应用性,最终确定鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价标准值(表1)。

表 1 土地生态安全评价指标权重及不同级别的标准

Table 1 The weight and the criterion of different rank of the land ecological safety evaluation

评价指标 Evaluation index	权重 Weight	安全 Safety	较安全 Relative safety	临界安全 Critical safety	不安全 Unsafety
人口密度 Population density (person · km ⁻²) (C ₁)	0.04	<300	<500	<1500	<4000
人口增长率 Population growth rate (%) (C ₂)	0.03	<5	<10	<15	<20
人均耕地面积 Farmland area per capita (hm ² · person ⁻¹) (C ₃)	0.04	>0.3	>0.1	>0.08	>0.04
单位面积耕地化肥负荷 Farmland chemical fertilizer load per hm ² (kg · hm ⁻²) (C ₄)	0.01	<400	<600	<1000	<1400
单位面积耕地农药负荷 Farmland agricultural drugs load per hm ² (kg · hm ⁻²) (C ₅)	0.01	<20	<40	<70	<110
地表起伏度 Fluctuation degree of earth surface (C ₆)	0.02	<0.1	<0.2	<0.3	<0.4
自然灾害受灾面积比例 Area rate of natural calamity (%) (C ₇)	0.02	<1	<2	<3	<5
经济密度 Economy density (×10 ⁴ yuan · km ⁻²) (C ₈)	0.03	>16000	>5000	>1000	>200
城镇化率 Urbanization rate (%) (C ₉)	0.03	>90	>60	>40	>20
耕地粮食单产 Farmland grain yield per unit area (kg · hm ⁻²) (C ₁₀)	0.06	>7000	>6000	>5000	>4000
土壤侵蚀模数 Soil erosion modulus (t · km ⁻² · a ⁻¹) (C ₁₁)	0.10	<1000	<2500	<5000	<8000
水土流失面积比例 Area rate of soil erosion (%) (C ₁₂)	0.09	<1	<2	<3	<5
森林覆盖率 Forest coverage rate (%) (C ₁₃)	0.10	>60	>40	>30	>20
25°以上坡耕地面积比 Farmland area rate of above 25 degree (%) (C ₁₄)	0.08	<10	<20	<30	<40
有效灌溉面积比 Effective irrigation area rate (%) (C ₁₅)	0.10	>60	>50	>40	>30
环保治理投资占 GDP 比例 Environment harness investment to GDP rate (%) (C ₁₆)	0.07	>6	>5	>4	>3
人均 GDP Per capita GDP (yuan) (C ₁₇)	0.04	>50000	>20000	>10000	>5000
第三产业占国民生产总值比重 The rate of third industry to GDP (%) (C ₁₈)	0.07	>80	>60	>40	>30
农民人均纯收入 Farmer net income per capita (yuan) (C ₁₉)	0.06	>6000	>4000	>3000	>2000

根据表 1 和物元模型的公式,建立经典域矩阵,设 $P = \{\text{安全} \rightarrow \text{较安全} \rightarrow \text{临界安全} \rightarrow \text{不安全}\}$, $R_1 = \{\text{安全}\}$, $R_2 = \{\text{较安全}\}$, $R_3 = \{\text{临界安全}\}$, $R_4 = \{\text{不安全}\}$.

根据 19 项评价指标的最高限值和物元模型的计算公式,建立节域矩阵.

$$R_p = P, \begin{cases} C_1, & < 0, 4000 > \\ C_2, & < 0, 20 > \\ C_3, & < 0, 0.3 > \\ C_4, & < 0, 1400 > \\ C_5, & < 0, 110 > \\ C_6, & < 0, 0.4 > \\ C_7, & < 0, 5 > \\ C_8, & < 0, 16000 > \\ C_9, & < 0, 90 > \\ C_{10}, & < 0, 7000 > \\ C_{11}, & < 0, 8000 > \\ C_{12}, & < 0, 5 > \\ C_{13}, & < 0, 80 > \\ C_{14}, & < 0, 40 > \\ C_{15}, & < 0, 60 > \\ C_{16}, & < 0, 6 > \\ C_{17}, & < 0, 50000 > \\ C_{18}, & < 0, 80 > \\ C_{19}, & < 0, 6000 > \end{cases}$$

式中: R_p 为节域矩阵; P 为评价事物名称; $C_1 \sim C_{19}$ 分别代表 19 个评价指标,具体含义见表 1.

2.3 鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价结果与分析

土地生态安全评价是一个动态的变化过程,过程评价是获取土地生态环境发展演化的重要手段,从静态的现状评价转向动态的过程评价是土地生态安全评价研究的必然趋势.

由表 2 可以看出,2001 年鄱阳湖生态经济区土地生态安全综合值为 0.40, 处于较安全状态; 2002、2003、2004、2006 和 2007 年处于临界安全状态; 2005 年为不安全状态.

2001—2005 年,鄱阳湖生态经济区土地生态安全综合值逐渐下降, 土地生态安全状态由安全状态转为不安全状态. 土地生态安全总体呈明显恶化趋势, 这主要是随着基础设施的大量建设, 鄱阳湖生态经济区经济迅速发展, 城市化进程加快, 导致人口增长过快、人口密度增大、单位面积耕地化肥和农药负荷过大、森林覆盖率偏低、耕地粮食单产较低. 由于该区经济的发展是以牺牲土地和社会生态安全为代价, 导致鄱阳湖生态经济区的土地生态安全呈总体下降趋势.

2005—2007 年, 该区土地生态安全综合值逐渐上升, 土地生态安全由不安全状态到临界安全状态,

表2 鄱阳湖生态经济区土地生态安全指标关联度及等级(2001—2007)

Table 2 Index relevancy and levels of land ecological safety in Poyang Lake Eco-economic Zone (2001—2007)

年份 Year	关联度 Relevancy				安全等级 Safety grade
	安全 Safety	较安全 Relative safety	临界安全 Critical safety	不安全 Unsafety	
2001	0.06	0.40	0.21	0.18	较安全 Relative safety
2002	0.22	0.12	0.30	0.24	临界安全 Critical safety
2003	0.17	0.09	0.28	0.21	临界安全 Critical safety
2004	0.21	0.10	0.33	0.24	临界安全 Critical safety
2005	0.25	0.04	0.07	0.41	不安全 Unsafety
2006	0.21	0.12	0.24	0.18	临界安全 Critical safety
2007	0.26	0.17	0.33	0.22	临界安全 Critical safety

状态有所好转。这主要是期间随着江西在中部崛起战略规划的实施,全区经济发展方式由传统经济向循环经济转变,使单位面积化肥负荷、单位面积农药负荷、水土流失面积比例明显减少,环保治理投资占GDP的比例明显上升,导致全区土地生态安全综合值明显上升,土地生态安全状况有所好转。

3 结 论

本文应用物元分析法建立了鄱阳湖生态经济区土地生态安全的物元评判模型,克服了多角度、多因素识别评价中的主观片面性。本文所选的物元模型关联度函数消除了量纲,因此原始数据不用归一化处理,而且逻辑意义明确。本评价结果与陈文波等^[28]、邓爱珍等^[29]的研究结果相似。2001—2007年,研究区土地生态安全状况经历了较安全-临界安全-不安全-临界安全的变化过程,整体水平不容乐观,目前仍处于临界安全水平,只有持续进行防治水土流失的各项工作、合理引导化肥农药的施用并进一步优化土地配置,科学调整农业产业结构,才能实现该区域土地的生态安全及可持续发展。利用物元模型进行区域土地生态安全评价的方法可作为土地生态安全评价研究的新方法。通过对区域土地生态安全科学评价,可及时了解区域土地生态安全的状态和发展趋势,并找出关键问题,为土地可持续利用决策提供科学依据,是实现区域土地可持续利用和区域可持续发展的有效途径。

土地生态系统是个复杂的系统,土地生态安全状态是多种因素综合作用的结果。目前区域土地生态安全系统的评价研究还处于起步阶段,对于评价方法、指标选取和标准确定尚有待深入探讨。

参考文献

- [1] Cui S-H (崔胜辉), Hong H-S (洪华生), Huang Y-F (黄云凤), et al. Progress of the ecological security re-

- search. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(4): 861–868 (in Chinese)
- [2] Yang J-P (杨京平), Lu J-B (卢剑波). Systematic Analysis of Ecological Security. Beijing: Chemical Industry Press, 2002 (in Chinese)
- [3] Tran LT, Knight CG, O'Nell RV, et al. Fuzzy decision analysis for integrated environmental vulnerability assessment of the Mid-Atlantic region. *Environmental Management*, 2002, **29**: 845–859
- [4] Villa F, McLeod H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: Guidelines and applications. *Environmental Management*, 2002, **29**: 335–348
- [5] Karin D. Environment, security and regionalism in the Asia-Pacific: Is environmental security a useful concept? *The Pacific Review*, 2001, **14**: 509–530
- [6] Alcamo J, Endejan MB, Kaspar F, et al. The GLASS model: A strategy for quantifying global environmental security. *Environmental Science & Policy*, 2001, **4**: 1–12
- [7] Shi XQ, Zhao JZ, Ouyang ZY. Assessment of eco-security in the Knowledge Grid e-science environment. *Journal of Systems and Software*, 2006, **79**: 246–252
- [8] Xiao D-N (肖笃宁), Chen W-B (陈文波), Guo F-L (郭福良). On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(3): 354–358 (in Chinese)
- [9] Li Z-G (李志刚), Liu X-C (刘晓春). Ecological safety in China. *Ecological Economy* (生态经济), 2002(8): 10–13 (in Chinese)
- [10] Chen B-M (陈百明). Design and evaluation of indicator system of regional land for sustainable use. *Progress in Geography* (地理科学进展), 2002, **21**(3): 204–215 (in Chinese)
- [11] Tang J (汤洁), Zhu Y-F (朱云峰), Li Z-Y (李昭阳), 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.

- Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2006, **20**(1): 119–124 (in Chinese)
- [12] Gao G-Q (高桂芹), Han M (韩 美). Evaluation on ecological security of regional land resource: A case study of center district of Zaozhuang, Shandong Province. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2005, **12**(5): 271–273 (in Chinese)
- [13] Li Q (李 茜), Ren Z-Y (任志远). The evaluation on land ecological environment security: A case study of Ningxia Hui Municipality. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2007, **21**(5): 75–79 (in Chinese)
- [14] Wang G-X (王根绪), Cheng G-D (程国栋), Qian J (钱 鞠). Several problems in ecological security assessment research. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(9): 1551–1556 (in Chinese)
- [15] Zuo W (左 伟), Zhou H-Z (周慧珍), Wang Q (王桥). Conceptual framework for selection of an indicator system for assessment of regional ecological safety. *Soils* (土壤), 2003, **6**(1): 2–7 (in Chinese)
- [16] Liu L-M (刘立民), Liu H-L (刘汉龙), Chen A-D (陈爱道), et al. Matter-element evaluation method and application to damaged buildings caused by ground subsidence. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering* (防灾减灾工程学报), 2003, **23**(2): 94–98 (in Chinese)
- [17] Li R-Z (李如忠). Fuzzy matter-element model for assessment of water environment bearing capacity. *Environmental Science and Technology* (环境科学与技术), 2004, **27**(5): 54–56 (in Chinese)
- [18] Li R-Z (李如忠). Fuzzy matter-element model and its application to water security evaluation. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2005, **12**(5): 221–223 (in Chinese)
- [19] Liu Z-L (刘作良), Deng Y-L (邓颖林), Li X-N (李笑娜). Assessment of intensive land use based on AHP and Delphi method: A case of Gulin High-tech Development Zone. *Journal of Shijiazhuang Institute of Railway Technology* (石家庄铁路职业技术学院学报), 2010, **9**(3): 20–23 (in Chinese)
- [20] Liu X-Y (刘学毅). Delphi technique in the assessment of interdisciplinary research. *Journal of Southwest Jiaotong University* (西南交通大学学报), 2007, **8**(2): 21–25 (in Chinese)
- [21] Statistic Bureau of Jiangxi Province (江西省统计局). *Jiangxi Statistical Yearbook from 2002 to 2008*. Beijing: China Statistics Press, 2002–2008 (in Chinese)
- [22] Cai W (蔡 文). Extension theory and application. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 1999, **44**(7): 673–682 (in Chinese)
- [23] Cai W (蔡 文). Extension set and non-compatible problems. *Journal of Scientific Explore* (科学探索学报), 1983, **4**(1): 83–97 (in Chinese)
- [24] Liu XY, Yang ZP, Di F, et al. Evaluation on tourism ecological security in nature heritage sites case of Kanas Nature Reserve of Xinjiang, China. *Chinese Geographical Science*, 2009, **19**: 265–273
- [25] Kang X-W (康相武), Liu X-H (刘雪华), Zhang S (张 爽), et al. Regional eco-security assessment of southwest Beijing. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(12): 2846–2852 (in Chinese)
- [26] Zhang J-Q (张继权), Yi K-P (伊坤朋), Hiroshi T, et al. Ecological security assessment of Baishan City in Jilin Province based on DPSIR. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **21**(1): 189–195 (in Chinese)
- [27] Song Y-Q (宋豫秦), Cao M-L (曹明兰). Landscape ecological security assessment of Beijing City based on RS and GIS. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(11): 2889–2895 (in Chinese)
- [28] Chen W-B (陈文波), Zheng J (郑 蕉), Yan B-Y (鄢帮有). Landscape pattern characteristic in Poyang Lake region. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2007, **23**(4): 79–83 (in Chinese)
- [29] Deng A-Z (邓爱珍), Chen M-Q (陈美球), Lin J-P (林建平). Evaluation of land ecological security in Poyang Lake region. *Journal of Jiangxi Agricultural University* (江西农业大学学报), 2006, **28**(5): 787–792 (in Chinese)

作者简介 余 敦,男,1975年生,博士,副教授。主要从事土地资源管理研究。E-mail: jxauydy@163.com

责任编辑 杨 弘