

皖江城市带示范区土地资源生态安全警情测度及时空分析^①

黄木易¹, 褚楚^{2*}, 何翔¹

(1 安徽建筑大学环境与能源工程学院, 合肥 230601; 2 安徽建筑大学科学技术处, 合肥 230601)

摘要:依据 PSR “压力–状态–响应”框架, 选择 24 个指标构建土地资源生态安全指标体系, 将皖江城市带示范区土地资源生态安全警情级别分为“无警、轻警、中警、重警和巨警”5 级, 基于云模型与熵权法对皖江城市带土地资源生态安全警情进行了测量分析, 揭示了其警情时空变化规律及影响因子。结果表明: 时序变化上, 2005—2013 年, 皖江城市带多数城市警情趋于上升, 下降的仅为合肥市。从“一轴双核两翼”的空间结构来看, 主轴线上安庆、池州、铜陵、巢湖、芜湖、马鞍山沿江大多数城市近年来警情呈现上升趋势。其中, 铜陵和马鞍山两市警情一直处于重警以上状态, 土地资源生态安全压力较大。“双核”和“两翼”城市中的合肥、芜湖、滁州和宣城市, 只有滁州和宣城市土地资源生态安全状况相对较好。针对云模型系统分析结果, 创新土地节约集约用地长效机制、增加生态建设和环保财政投入、优化产业结构、发展低碳和循环经济等是缓解该区域土地生态安全警情和促进土地资源可持续利用的保障。分析显示, 皖江城市带土地资源生态安全警情处于上升趋势, 整体状况趋于恶化。警情格局的变化在一定程度上体现了该区域高速增长对土地资源产生的压力响应。

关键词:云理论; 土地资源; 生态安全警情; 时空分析; 皖江城市带

中图分类号: F301; X826

文献标识码: A

人类任何经济社会活动均离不开土地, 土地环境是各种自然的物理、化学、生物过程及人类的社会经济活动的结果^[1]。人类面临的许多生态环境问题其深层次的原因都直接或间接地与土地资源的利用有关, 因此, 生态环境状况能直接或间接地反映土地资源利用的合理性。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普遍关注的关键问题之一^[2-6]。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^[7]。关于土地利用与生态环境问题的研究已经被统一到 LUCC 研究框架下^[8-14]。其中, 土地资源的生态安全是资源安全的重要方面, 它是指在一定时空范围内, 土地生态系统能够保持其结构与功能不受威胁或少受威胁的健康、平衡的状态, 维持土地自然、社会和经济复合体长期协调发展^[15]。因此, 土地资源生态安全既是人类赖以生存的物质基础, 又是区域经济社会可持续发展的先决条件。

目前, 在评价类问题中, 广泛采用的评价方法主

要有隶属度函数、神经网络、模糊综合评价与主成分分析法等。这些评价方法在一定程度上对研究问题的不确定性及定性因素的影响考虑不足^[16]。云模型是李德毅院士创新提出发现状态空间理论及云与语言原子模型思想之后, 逐步完善形成的定性定量不确定性转换模型^[17]。云模型可以有效解决评价过程中的随机性和模糊性问题, 而熵权方法又可以解决评估中指标权重难以客观确定的问题。该方法近年来广泛应用在水质、省域土地生态安全及城市生态风险评价研究上^[11,18-19], 而基于 PSR(即“压力–状态–响应”, pressure-state-response)框架引入云理论进行城市群土地资源生态安全警情测度分析并不多见。本文以人类活动影响显著的热点地区为研究对象, 依据 PSR 框架, 基于云理论对 2005—2013 年皖江城市带土地资源生态安全警情进行评估与分析, 以揭示生态安全警情的变化规律和影响因素。研究结果在一定程度上可为皖江城市带未来土地生态保护与规划、社会经济可持续发展建设提供决策理论依据。

基金项目: 安徽省哲学社会科学规划项目(AHSKQ2016D23)、安徽省高校省级优秀青年人才基金重点项目(2013SQRL047ZD)和安徽省财政、住建厅徽派建筑保护省级专项(HPZX2013-01)资助。

* 通讯作者(chuchu@ahjzu.edu.cn)

作者简介: 黄木易(1978—), 男, 安徽芜湖人, 博士, 副教授, 研究方向为土地管理及 3S 技术应用。E-mail: huangyang78@163.com

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

皖江城市带示范区包括合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、池州、巢湖、滁州、宣城9市全境和六安市金安区、舒城县,共59个县(市、区),辐射安徽全省,对接长三角地区,是全国六大城市群增长极之一,社会经济发展活跃。2005年至2013年地区生产总值从2 254.5亿元增至12 555.5亿元,分别占安徽全省的41.9%和65.9%,GDP年均增长率高于全国水平的8.46个百分点。

1.2 正态云理论

由于大量社会和自然科学中定性知识的云期望曲线都近似服从正态或半正态分布,因此正态云模型具有普适性^[20-21]。正态云的数字特征用期望 Ex (expected value)、熵 En (entropy)、超熵 He (hyper entropy)3个数值来表征,这些反映了定性概念和定量特性。其中,期望 Ex 代表定性概念论域的中心值;熵 En 度量了定性概念在论域中可被接受的数值范围;超熵 He 是关于熵的不确定性度量。云的生成可以通过云发生器(cloud generator, CG),它是云生产的算法,其中正向云发生器是最基本的算法,它可以实现定性信息向定量范围和分布规律的转换。本文利用Matlab 7.0模拟正态云模型,其数字特征参数分别为 $Ex=1$, $En=0.5$, $He=0.1$, $N=1\ 000$ 为云滴数。如图1所示。

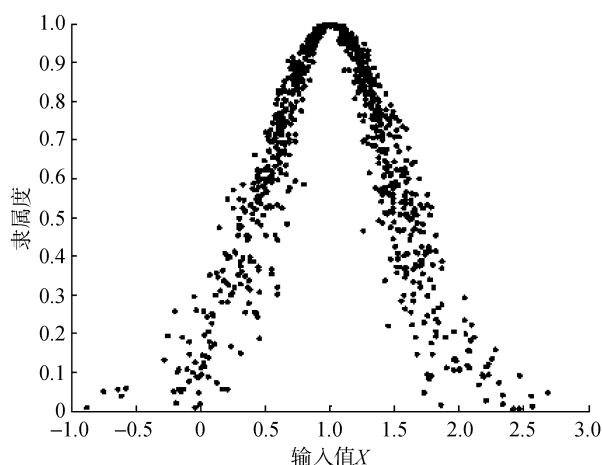


图1 正态云模型及数字特征($Ex=1$, $En=0.5$, $He=0.1$, $N=1\ 000$)

Fig.1 Normal cloud model and digital characteristics

1.3 土地资源生态安全评价指标体系构建及权重确定

“压力-状态-响应”指标体系是由经合组织

(OECD)和联合国环境规划署在20世纪八九十年代提出用于解决环境问题的框架^[22]。PSR模型使用“压力-状态-响应”来反映人和自然环境的关系,即人类从自然环境中获取资源的同时又相互影响,为了降低自然环境出现问题的严重程度,人类就要采取相应的措施。如此循环反复,构成了人类与自然环境之间的“压力-状态-响应”关系^[23]。本文在前人相关研究的基础上^[8-13,24-26],结合皖江城市带的实际情况,建立了土地资源生态安全指标体系,包括5个安全评价等级,24个指标,如表1所示。评价指标数据来源主要为《安徽省统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、环境状况公报、生态建设公报和各地方统计数据等。

熵值反映系统的无序化程度和度量信息量的大小。在评价中,指标因子的熵值越大,其反映的信息越少;反之,则该指标反映的信息量越大,表示该项指标对评价结果的影响作用越大。综合评估中,权重的确定对评价的结果至关重要,熵权能够客观反映指标权重的大小。目前常用的方法主要有专家评分法、模糊综合评判法和层次分析法等。为了克服主观评价中的个人偏好与客观评价中的不确定性影响,本文基于熵权法^[19]计算评价指标的权重。

2 结果与分析

2.1 研究区土地资源生态安全评价指标体系的构建及云模型模糊隶属度计算

根据建立的皖江城市带土地资源生态安全警情评价指标体系、评价指标标准,结合云模型可以建立评价指标标准的正态云隶属度函数。以评价因子人均耕地面积(X_1)指标为例,该评价指标分成5个等级,即评价语集 $C=\{\text{高, 较高, 中, 较低, 低}\}$ 。按照云数字特征计算公式得到各指标的正态云模型参数。本文基于Matlab 7.0模拟该评价指标的正态云,如图2所示。人均耕地面积(X_1)指标隶属度标准正态云模型分布图,表示该指标{无警, 轻警, 中警, 重警, 巨警}等级分别对应了{高, 较高, 中, 较低, 低}级别的隶属度。依据土地资源生态安全评价指标体系的各个指标值,令 $N=1\ 000$,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,产生隶属度矩阵。以2013年合肥市为例,将合肥市各指标量化数据代入正态云发生器,重复计算1 000次,得到不同隶属度,依据公式计算均值作为合肥市在指标下某一等级的隶属度。合肥市在24个影响因素下的不同等级的隶属度矩阵如表2所示。

表 1 皖江城市带土地资源生态安全评价警情测度分析指标体系
Table 1 Evaluation index system of land resource ecological security alarm in Wanjiang City Belt

目标层	准则层	指标层		警情等级				
				无警	轻警	中警	重警	巨警
土地生态安全	压力指数	人均耕地面积(hm ² /人)	X_1	0.112,0.088	0.088,0.064	0.064,0.048	0.048,0.035	0.035,0.031
		人均水资源量(m ³ /人)	X_2	3 500,1 440	1 440,860	860,650	650,500	500,340
		单位面积耕地农药负荷(t/hm ²)	X_3	0,0.01	0.01,0.033	0.033,0.041	0.041,0.055	0.055,0.090
		农业投入占 GDP 比重(%)	X_4	5.11,0.52	0.52,0.35	0.35,0.31	0.31,0.21	0.21,0.11
	状态指数	年内新增耕地面积比重(%)	X_5	5.8,2.55	2.55,1.02	1.02,0.55	0.55,0.26	0.26,0.09
		恩格尔系数(%)	X_6	35,40	40,42.6	42.6,43.2	43.2,44.7	44.7,48
		人口密度(人/km ²)	X_7	150,300	300,450	450,530	530,610	610,766
		人口自然增长率(‰)	X_8	0.95,3.20	3.20,5.10	5.10,5.60	5.60,6.10	6.10,9.96
	响应指数	耕地面积占土地总面积比重(%)	X_9	31.20,28.66	28.66,25.64	25.64,20.06	20.06,15.20	15.20,9.70
		森林覆盖率(%)	X_{10}	57.86,45.55	45.55,36.42	36.42,25.16	25.16,16.13	16.13,6.25
		人均粮食占有量(kg/人)	X_{11}	960.2,700.1	700.1,504.6	504.6,403.1	403.1,300.2	300.2,182.6
		单位固定资产投资占用土地面积(hm ² /万元)	X_{12}	0.020,0.101	0.101,0.167	0.167,0.186	0.186,0.236	0.236,1.139
		单位林地产值(万元/hm ²)	X_{13}	40,20.13	20.13,14.90	14.90,12.60	12.60,10.10	10.10,4.60
		土地受自然灾害面积比重(%)	X_{14}	1,6.4	6.4,11.3	11.3,13.2	13.2,15.6	15.6,33.8
		单位面积土地固体废物负荷(t/hm ²)	X_{15}	0.02,0.21	0.21,1.65	1.65,2.16	2.16,3.31	3.31,11.81
		旱涝保收面积占有有效灌溉土地面积比重(%)	X_{16}	94.2,90.3	90.3,85.4	85.4,80.3	80.3,75.1	75.1,68.6
		环保支出占政府支出比重(%)	X_{17}	4.20,3.50	3.50,2.03	2.03,1.92	1.92,1.89	1.89,0.93
		工业废水排放达标率(%)	X_{18}	100,95	95,93	93,91	91,86	86,78
		建成区绿化覆盖率(%)	X_{19}	55.1,40.1	40.1,32.4	32.4,28.9	28.9,25.3	25.3,22.3
		就业率(%)	X_{20}	75,68	68,62	62,58	58,55	55,48
		非农人口比重(%)	X_{21}	61.20,42.10	42.10,28.90	28.90,22.60	22.60,17.30	17.30,14.02
		第三产业比重(%)	X_{22}	72.27,48.60	48.60,45.10	45.10,36.40	36.40,32.10	32.10,25.20
		单位面积谷物产量(t/hm ²)	X_{23}	7 500,6 800	6 800,5 900	5 900,5 600	5 600,5 300	5 300,5 205
		农民人均纯收入(元)	X_{24}	9 500,5 500	5 500,4 000	4 000,3 100	3 100,2 500	2 500,2 254

注：表中逗号两端数值分别表示的是各区间的最大值和最小值。

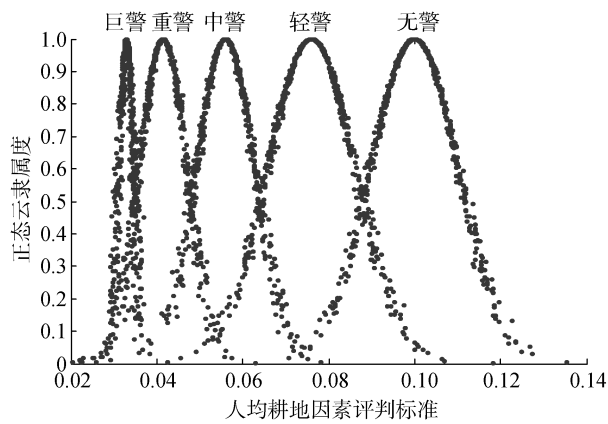


图 2 皖江城市带土地资源生态安全警情评价影响因素 X_1 正态云模型

Fig.2 Normal cloud model of land resource ecological security alarm evaluation in Wanjiang City Belt(Take evaluation index X_1 as an example)

2.2 研究区土地资源生态安全警情综合评估

根据各年份评价指标量化数据,利用熵权法得到

各指标的权重,指标权重集 $W=\{0.017\ 0,0.082\ 3,0.041\ 5,0.055\ 3,0.111\ 2,0.000\ 5,0.033\ 3,0.020\ 7,0.017\ 8,0.059\ 3,0.025\ 6,0.110\ 5,0.040\ 7,0.054\ 6,0.261\ 6,0.001\ 1,0.008\ 3,0.000\ 4,0.003\ 1,0.002\ 2,0.043\ 2,0.002\ 7,0.000\ 8,0.006\ 5\}$,将各评价指标的模糊隶属度矩阵与指标权重集依据公式进行模糊转换^[22],得到皖江城市带土地资源生态安全警情测度的结果。依据最大隶属度原则,选择最大的隶属度所对应的评估等级作为警情测度的最终结果,研究区生态安全警情综合评估结果见图 3。

2.3 研究区土地资源生态安全警情时空变化

以 2013 年合肥市为例,土地资源生态安全{无警,轻警,中警,重警,巨警}5 个警情等级的综合评价价值分别为{0.213 7,0.489 5,0.276 4,0.344 4,0.324 7},依据最大隶属度原则,2013 年合肥市生态安全警情等级为轻警,如表 2 所示。从评价指标隶属度矩阵可以看出,处于中警及以下等级的指标有 17

个,但达到重警及以上等级的指标仍有 7 个,分别为单位面积耕地农药负荷、耕地面积占土地总面积比重、单位固定资产投资占用土地面积、土地受自然灾害面积比重、环保支出占政府支出比重、非农人口比

重和第三产业比重指标,说明合肥市仍需针对上述指标加以投入和改善。如减少农药化肥施用量、调整优化种植结构、提高土地利用集约度、增加生态环保的财政投入、加快产业调整与升级、大力发展第三产业等。

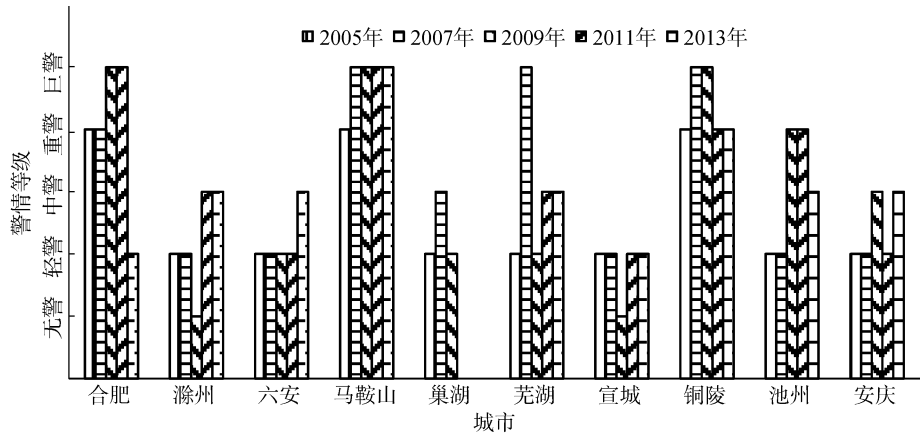


图 3 皖江城市带土地资源生态安全警情评价时序变化特征(2005—2013 年)

Fig. 3 Evaluation result of land resource ecological security alarm in Wanjia City Belt (2005—2013)

表 2 合肥市土地资源生态安全云模型隶属度矩阵(2013 年)

Table 2 Membership matrix of cloud model of land resource ecological security in Hefei City(2013)

评价指标		警情等级				
		无警	轻警	中警	重警	巨警
人均耕地面积(hm ² /人)	X ₁	0.038 5	0.192 9	0.613 5	0.605 4	0.000 8
人均水资源量(m ³ /人)	X ₂	0.894 1	0.012 9	0.000 0	0.000 0	0.000 0
单位面积耕地农药负荷(t/hm ²)	X ₃	0.000 3	0.215 1	0.150 9	1.000 0	0.482 5
农业投入占 GDP 比重(%)	X ₄	0.869 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
年内新增耕地面积比重(%)	X ₅	0.278 3	0.453 7	0.891 3	0.242 3	0.005 3
恩格尔系数(%)	X ₆	0.681 6	0.512 3	0.000 1	0.006 7	0.030 5
人口密度(人/km ²)	X ₇	0.229 2	0.899 5	0.232 5	0.034 7	0.061 2
人口自然增长率(‰)	X ₈	0.231 1	0.829 2	0.145 7	0.017 5	0.345 0
耕地面积占土地总面积比重(%)	X ₉	0.001 0	0.016 1	0.520 5	0.747 3	0.195 8
森林覆盖率(%)	X ₁₀	0.111 8	0.299 9	0.926 8	0.206 0	0.030 9
人均粮食占有量(kg/人)	X ₁₁	0.104 7	0.355 5	0.837 6	0.459 1	0.101 9
单位固定资产投资占用土地面积(hm ² /万元)	X ₁₂	0.038 9	0.197 7	0.054 2	0.982 4	0.558 3
单位林地产值(万元/hm ²)	X ₁₃	0.496 2	0.850 3	0.257 3	0.043 5	0.092 4
土地受自然灾害面积比重(%)	X ₁₄	0.053 4	0.220 5	0.254 0	0.981 3	0.561 2
单位面积土地固体废物负荷(t/hm ²)	X ₁₅	0.000 1	0.995 9	0.081 7	0.113 9	0.629 5
旱涝保收面积占有效灌溉土地面积比重(%)	X ₁₆	0.038 6	0.436 6	0.830 7	0.192 9	0.083 4
环保支出占政府支出比重(%)	X ₁₇	0.005 1	0.530 6	0.226 9	0.070 9	0.626 0
工业废水排放达标率(%)	X ₁₈	0.939 1	0.038 8	0.005 1	0.070 3	0.047 1
建成区绿化覆盖率(%)	X ₁₉	0.549 6	0.791 7	0.021 0	0.003 9	0.000 1
就业率(%)	X ₂₀	0.694 8	0.471 0	0.024 4	0.000 3	0.019 5
非农人口比重(%)	X ₂₁	0.078 7	0.177 4	0.178 8	0.712 4	0.441 8
第三产业比重(%)	X ₂₂	0.210 8	0.000 1	0.275 1	0.548 1	0.656 7
单位面积谷物产量(t/hm ²)	X ₂₃	0.092 0	0.614 1	0.641 6	0.139 8	0.000 0
农民人均纯收入(元)	X ₂₄	0.509 1	0.903 0	0.095 7	0.001 7	0.000 0
土地生态安全综合评价		0.213 7	0.489 5	0.276 4	0.344 4	0.324 7

按照上述方法,依次得到 2005—2013 年皖江城市带各个地区的生态安全警情水平,其时序变化特征见图 3。结果表明,2005 年,皖江城市带处于中警以下和中警及以上警情的城市分别有 7 个和 3 个,其中,中警以下的城市有滁州、六安、巢湖、芜湖、宣城、池州和安庆市,中警及以上的城市有合肥、马鞍山和铜陵市;2009 年中警以下和中警及以上城市均为 5 个,其中,两翼城市滁州市和宣城市警情略有下降;2013 年,中警以下城市仅为 2 个,分别为合肥和宣城市,而中警及以上城

市达到 7 个,有滁州、六安、马鞍山、芜湖、铜陵、池州和安庆市(2011 年巢湖地级市撤销,故不参与 2011 年后的分析)。总体上,2005—2013 近 10 年来,皖江城市带土地生态安全警情趋于上升的城市有 6 个,分别为滁州、六安、马鞍山、芜湖、池州和安庆市,趋于下降的城市仅为合肥市。其中宣城市一直处于较低警情等级,而资源型城市马鞍山和铜陵市则一直处于重警以上等级,土地资源生态安全状况不容乐观。皖江城市带生态安全警情空间分布特征见图 4 所示。

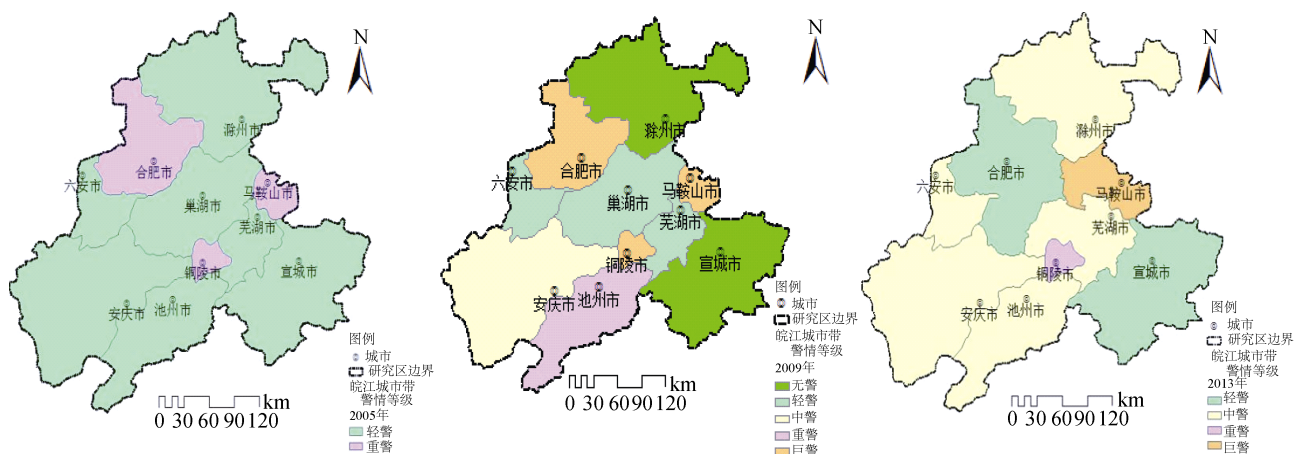


图 4 皖江城市带土地资源生态安全警情评价空间特征(2005—2013 年)

Fig.4 Spatial feature of land resource ecological security alarm in Wanjiang City Belt (2005—2013)

皖江城市带作为全国六大城市群增长极之一,是整个安徽省经济发展的核心,“十一五”“十二五”期间,皖江城市带乃至安徽省社会经济取得了很大的发展。2005 年至 2013 年地区生产总值从 2 254.5 亿元增至 12 555.5 亿元,分别占安徽省的 41.9% 和 65.9%。2005—2008 年,皖江城市带实际利用外资额年均增速达到 43%,分别比全国、长三角、中部地区平均增速高 7.8、25.4 和 15.4 个百分点。2013 年利用外商直接投资 74.6 亿美元,占全省的 69.8%。可以说,皖江城市带生态安全警情格局的变化体现了经济热点区域土地资源压力响应的空间特征。针对 PSR 框架下的皖江城市带土地资源生态安全警情云模型评估的分析结果,应该针对性的提出土地生态安全警情上升恶化的问题解决方案,有效保障该区域社会经济可持续发展: 加强产业示范区建设用地规划管理,促进土地节约集约度,提高企业准入门槛,增加土地利用强度、投资强度和土地产出率约束,创新资源节约集约的长效机制; 增加环保财政投入,加强产业发展,加强环保影响评价与监管、小城镇污水治理、农村环境综合整治和土地污染与灾害评价与治理力度,推动示范区生态建设与环境保护,为人们生产生活创造良好的生态环境条件; 加强对高新技术产

业发展的培育与扶持,优化创业环境,提高产业的发展水平,促进高新技术产业对相关产业的辐射带动作用; 加快产业调整升级,淘汰高能耗、高污染产业,促进节能减排、发展低碳和循环经济,减轻产业发展对土地生态环境的压力。随着安徽省新型城镇化进程不断深入,皖江城市带示范区应牢固树立土地利用可持续发展观,全面提升社会、经济和生态效益,走内涵式发展道路。

3 结论

本研究以皖江城市带为例,结合 PSR“压力-状态-响应”框架,引入云理论对经济活跃地区的土地资源生态安全警情进行测度与分析。正态云模型使土地资源生态安全的定量评估兼顾了随机性和模糊性,由最大隶属度确定生态安全警情等级,解决了评价过程中存在的不确定性问题。分析表明,2005—2013 近 10 年来,皖江城市带示范区土地资源生态安全中及以下警情的城市数在减少,中及以上等级城市数在增加,生态安全整体状况处于恶化趋势。从皖江城市带产业转移示范区“一轴双核两翼”的空间结构来看,主轴线上的安庆、池州、铜陵、巢湖、芜湖、马鞍山 6 个沿江城市近年来大多数警情呈现上升趋势,

其中,铜陵和马鞍山两市警情一直处于重警以上状态,土地资源生态安全压力较大。“双核”和“两翼”城市中的合肥、芜湖、滁州和宣城市,只有滁州和宣城市生态安全状况相对较好。生态安全警情等级的上升与快速的城市化和工业化推动具有很大的关联。

参考文献:

- [1] 李景,陆妍玲,叶良松,殷敏.对象化土地环境天地生要素时空演变分析方法[J].土壤,2014,46(4):607-612
- [2] 吴次芳,徐根保.土地生态学[M].北京:中国大地出版社,2003:27-61
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 吴绍华,虞燕娜,朱江,等.土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应[J].土壤学报,2015,52(5):970-978
- [6] 陈姗姗,刘康,李婷,等.基于InVEST模型的商洛市水土保持生态服务功能研究[J].土壤学报,2016,53(3):800-807
- [7] 蔡运龙,李军.土地利用可持续性的度量——一种显示过程的综合方法[J].地理学报,2003,58(2):305-313
- [8] 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.
- [9] 张强,薛惠锋,张明军,等.基于可拓分析的区域生态安全预警模型及应用——以陕西省为例[J].生态学报,2010,30(16):4277-4286
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 王亮,卞正富.基于灾变理论的盐城市土地生态安全评价研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(2):231-236
- [13] 冯文斌,李升峰.江苏省土地生态安全评价研究[J].水土保持通报,2013,33(2):285-290
- [14] 刘巧芹,秦岭,吴克宁,等.大城市郊区农村土地利用格局及整治方向分析——以北京大兴区为例[J].土壤,2014,46(2):379-385
- [15] 张虹波,刘黎明.土地资源生态安全研究进展与展望[J].地理科学进展,2006,25(5):77-85
- [16] 贺三维,潘鹏,王海军,等.基于PSR和云理论的农用地生态环境评价——以广东省新兴县为例[J].自然资源学报,2011,26(8):1346-1352
- [17] 陈贵林.一种定性定量信息转换的不确定性模型——云模型[J].计算机应用研究,2010,27(6):2006-2010
- [18] 丁昊,王栋.基于云模型的水体富营养化程度评价方法[J].环境科学学报,2013,33(1):251-257.
- [19] 龚艳冰.基于正态云模型和熵权的河西走廊城市化生态风险综合评价[J].干旱区资源与环境,2012,26(5):169-174.
- [20] 李德毅,孟海军,史雪梅.隶属云和隶属云发生器[J].计算机研究与发展,1995,32(6):15-20
- [21] 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
- [22] Adriaanse A. Environmental policy performance indicators: A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands[M].Uitgeverij, The Hague, 1993
- [23] 郭旭东,邱扬,连纲,等.基于“压力-状态-响应”框架的县级土地质量评价指标研究[J].地理科学,2005,25(5):579-583
- [24] 汪朝辉,田定湘,刘艳华.中外生态安全评价对比研究[J].生态经济,2008(7):44-49
- [25] 余敦,高群,欧阳龙华.鄱阳湖生态经济区土地生态安全警情研究[J].长江流域资源与环境,2012,21(6):678-683
- [26] 宫继萍,石培基,魏伟.基于BP人工神经网络的区域生态安全预警——以甘肃省为例[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):211-216

Evaluation and Spatial-temporal Characteristics of Land Resource Ecological Security Alarm: A Case of Wanjiang City Belt

HUANG MUYI¹, CHU CHU^{2*}, HE XIANG¹

(1 *School of Environment and Energy Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China;*

2 *Department of Science and Technology, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China*)

Abstract: The study established a set of evaluation index system containing 24 indexes for land resource ecological security (LRES) under P-S-R framework model, divided LRES of the Wanjiang City Belt (one axis, dual cores, two wings) into 5 levels of no warning, slight warning, middle warning, serious warning and heavy warning, and then analyzed LRES, its spatio-temporal changes and the influential factors by using the methods of cloud model and entropy weight. The results showed that from 2005 to 2013 the alarm level of LRESs of six cities in the axis tended to rise, while that of Hefei tended to decline. Resource-based cities of Ma'anshan and Tongling had been heavy warning level, facing serious pressure of LRES. Only LRESs of Chuzhou and Xuancheng in the dual core and the two wing were relative good. Overall, the alarm level of LRES in Wanjiang City Belt was worsening and the overall situation tended to deteriorate. The change of alarm level of LRES in Wanjiang City Belt reflected the pressure response of rapid economic growth to the land resources. The cloud model analysis on LRES alarm showed that the measures, such as presenting land saving and intensive innovative mechanism, increasing financial investment for ecological construction and environmental protection, optimizing the industrial structure of Wanjiang City Belt, developing the low-carbon and circular economy, should be taken to ease the regional alarm level of LRES and promote sustainable use of land resources.

Key words: Cloud theory; Land resources; Ecological security alarm; Spatial-temporal analysis; Wanjiang City Belt