

灰色关联投影模型在城市土地生态安全评价中的应用

李德胜, 王占岐, 侯现慧, 蓝希

〔中国地质大学(武汉)公共管理学院, 湖北 武汉 430074〕

摘要: [目的] 构建城市土地生态安全综合评价指标体系,对 2004,2009 和 2014 年南昌市土地生态安全动态变化特征及主要障碍因子进行分析,为区域土地利用决策和生态维护提供方法基础和理论参考。[方法] 利用灰色关联投影模型,引入安全水平变化动态度、安全水平标准差,开展土地生态安全动态评价及分析,运用障碍度模型诊断土地生态安全的影响因子和障碍度。[结果] (1) 2004—2014 年南昌市土地生态安全总水平缓慢提升,但安全水平处于低层次的低度安全等级,环境子系统从缓慢提升跌入缓慢退化阶段,经济子系统经历了由快速提升到缓慢提升阶段的变化,社会子系统始终处于缓慢提升变化状态,土地生态安全系统的内部协调性逐渐提高;(2) 南昌市土地生态安全水平的障碍因子类别、障碍度及因子排序在时序上处于动态变化之中,障碍因子经历了从经济类因素向资源环境类因素的转变过程;(3) 南昌市应针对土地生态系统安全暴露的问题,从土地可持续利用和健康城镇化入手,促进环境、经济、社会的和谐发展。[结论] 土地生态安全评价结果符合客观实际,并针对土地生态系统暴露的主要问题提出相关对策措施。

关键词: 土地生态安全; 动态评价; 障碍因子; 灰色关联投影模型; 南昌市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2017)04-0194-07

中图分类号: F301, X826

文献参数: 李德胜, 王占岐, 侯现慧, 等. 灰色关联投影模型在城市土地生态安全评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4):194-200. DOI:10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 033; Li Desheng, Wang Zhanqi, Hou Xianhui, et al. Application of grey relation projection model to evaluating urban land ecological security[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4):194-200. DOI:10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 033

Application of Grey Relation Projection Model to Evaluating Urban Land Ecological Security

LI Desheng, WANG Zhanqi, HOU Xianhui, LAN Xi

〔School of Public Administration, China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan, Hubei 430074, China〕

Abstract: [Objective] An comprehensive evaluation index system of urban land ecological security was established and the dynamic change of land ecological security and the main obstacle indicators were analyzed in 2004, 2009 and 2014. These were expected to provide bases for regional land use decision-making and ecological maintenance. [Methods] Dynamic evaluation and land ecological security were analyzed using grey relation projection model, dynamic degree and standard deviation. The obstacle indicators and its degree of land ecological security were measured by obstacle degree model. [Results] (1) The total degree of land ecological security during 2004—2014 increased slowly, but generally it was still in a lower level. The environmental subsystem had experienced two stages from slow promotion to gradual degradation; simultaneously, the economic one also had experienced two stages from rapid promotion to slow promotion; meanwhile, the social one always had been in a slow promotion stage. The internal coordination degree of land ecological security was improved gradually. (2) The categories, the obstacle degree, and the order of obstacle factors of land ecological security were all in dynamic change, the obstacle factors had evolved from economic factors to

收稿日期:2017-01-05

修回日期:2017-02-14

资助项目:国家自然科学基金项目“新型城镇化背景下城市建设用地绩效评价及提升机制研究”(71673258)

第一作者:李德胜(1987—),男(汉族),江西省赣州市人,博士研究生,研究方向为土地利用与土地生态。E-mail:lidesheng2005@163.com。

resources and environmental types. (3) In order to treat these problems exposed in land ecosystem security, it should be proceed with sustainable land use and healthy urbanization, hereby to achieve the coordinative development among economy, environment and the society of Nanchang City. [Conclusion] The evaluation results of land ecological security research were thought accordant with the objective reality. In view of the main problems exposed to the land ecosystem, relevant countermeasures are put forward wherein.

Keywords: land ecological security; dynamic evaluation; obstacle indicators; grey relation projection model; Nanchang City

中国正处于快速城镇化和工业化时期,人地矛盾日益突出,不断加剧的人类活动,造成了耕地锐减、水质污染、生物多样性丧失等诸多问题,给城市土地生态安全及可持续发展带来巨大压力。土地生态安全是指一个国家或区域的生态资源环境不受或少受损害与威胁,土地生态系统结构和功能的完整性得以维持和稳定,能够满足国家或区域持续生存和发展需求的一种状况^[1-3]。学术界对土地生态安全的研究主要包括土地生态安全评价、土地生态安全预警、土地生态安全格局等几个方面,其中以土地生态安全评价的研究居多^[3-6]。从评价方法来看,常用的有层次分析法^[7]、生态足迹^[8]、BP神经网络^[9]、主成分分析法^[10]等,亦有部分学者尝试物元模型^[3,11]、RBF模型^[12]、TOPSIS模型^[13]等数学模型方法。灰色关联投影模型是从矢量投影的角度探讨多目标决策与评价的一种新的模型方法,该方法是根据评价样本在理想样本上的投影值大小,进行评价样本优劣的综合评判,并通过特定的算法,使重要指标的加权系数得到加强,从而全面准确地反映各评价样本与理想样本间的接近程度,该方法可以避免只将各评价样本的单个因素指标值进行比较而引起的偏离,使得评价结果更加全面和接近客观实际^[14]。灰色关联投影模型已在生态系统健康^[15]、土地利用多功能^[16]、生态脆弱性^[17]等多目标决策研究领域得到了一定应用,但在土地生态安全评价研究中还鲜有涉足。因此,本文尝试运用灰色关联投影模型对土地生态安全水平进行评价,以长江中游城市群中心城市之一——南昌市为研究区域,探寻土地生态安全评价的合适有效方法,并对影响土地生态安全的障碍因子进行诊断和分析,以期为区域土地利用决策和生态维护提供方法基础和理论参考。

1 研究区域及评价指标体系构建

1.1 研究区概况及数据获取

南昌市,地处江西省中部偏北,位于中国最大淡水湖——鄱阳湖的西南岸,是江西省省会和全省政治、经济、文化中心。市域土地总面积 7 402 km²,全境以平原为主,地势西北丘陵起伏,东南相对平坦开

阔。近年来,南昌市围绕国家中部崛起战略和环鄱阳湖生态城市群建设,加快了城市化和工业化的步伐,经济、社会、环境各方面都取得了显著的成就。南昌市各项经济建设突飞猛进,综合经济实力不断增强,2014年,全市固定资产投资达 3 463 亿元,GDP 总量突破 3 667 亿元;伴随着经济的发展,南昌市城市化水平不断提高,人民生活水平得到显著改善,人口城市化率达 71%,城镇居民人均可支配收入 29 091 元,农民人均纯收入 12 414 元,城镇人均住房面积 32.11 m²;全市资源环境状况持续改善,城市生活污水集中处理率达 91%,建成区绿化覆盖率达到 42.08%,全年空气质量优良天数达 294 d,名列中部 6 省省会城市第一。与此同时,随着城市经济和人口的加速增长,南昌市也面临着土地资源供需紧张、耕地锐减、环境污染加重等问题,抑制了区域城镇化的健康发展,给土地生态系统造成巨大压力,甚至对城市土地的可持续利用和区域社会经济的和谐发展形成潜在威胁。本文基础数据主要来源于《南昌统计年鉴》《江西统计年鉴》《中国城市统计年鉴》,部分环境状况数据来源于《江西省水资源公报》《中国环境统计年鉴》和南昌市环保局官方公布数据。

1.2 土地生态安全评价指标体系构建

城市土地生态安全评价指标的选取,是在遵循全面性、层次性和数据可得性等原则基础上,参考已有的研究成果^[18-20],借鉴可持续发展的环境、经济和社会三维度基本框架思路,重点选取可以充分反映研究区域土地生态安全特征的 20 个指标,构建包含目标层、准则层、指标层 3 个层次的城市土地生态安全综合评价指标体系(表 1)。

2 研究方法

2.1 土地生态安全评价的灰色关联投影模型构建

(1) 评价样本矩阵的建立及数据标准化。设评价样本集为 A ,指标集为 M ,样本 A_i 对指标 M_j 的属性值,即基础数据为 X_{ij} ($i=1,2,\dots,n;j=1,2,\dots,m$),为了消除不同属性和量纲造成的不可对比性,需要对指标数据进行标准化处理,将理想值组成的理想

样本 A_0 与评价样本 A 组成新的矩阵,即标准化后的矩阵 $Y=(Y_{ij})_{(n+1) \times m}$ ($i=0,1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$),对于正向指标和逆向指标分别采用公式(1)和公式(2)进行标准化处理:

$$Y_{ij} = X_{ij} / X_{0j} \quad (1)$$

$$Y_{ij} = X_{0j} / X_{ij} \quad (2)$$

式中: Y_{ij} ——第 i 年第 j 个指标的标准化值; X_{ij} ——指标的基础值; X_{0j} ——指标的理想值。其中,理想值是在参阅现有文献^[16,18]基础上,参考国家和行业标准(如环保部《生态县、生态市、生态省建设指标》确定的标准值)、国际通行标准值、江西省平均水平、国内同等城市的平均值进行确定(表 1)。

表 1 南昌市土地生态安全评价指标体系及权重值

目标层	准则层	指标层	理想值	取值依据	权重值
城市土地生态安全水平	环境	X_1 单位耕地面积化肥负荷/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	250	国际通行标准值	0.047 9
		X_2 单位耕地面积农药负荷/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	30	国际通行标准值	0.051 6
		X_3 单位土地面积工业固废排放量/($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)	648	江西省平均水平	0.049 3
		X_4 单位土地面积废水排放量/($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)	23 862	江西省平均水平	0.047 6
		X_5 城市生活污水集中处理率/%	70	生态市建设标准	0.052 8
		X_6 工业固废综合利用率/%	80	生态市建设标准	0.052 0
		X_7 空气质量优良率/%	90.41	生态市建设标准	0.048 6
		X_8 建成区绿化覆盖率/%	45	生态市建设标准	0.052 0
	经济	X_9 废气(SO_2)排放强度($\text{kg}/\text{万元}$)	5	生态市建设标准	0.053 3
		X_{10} 城镇居民人均可支配收入/元	24 000	生态市建设标准	0.048 1
		X_{11} 农民人均纯收入/元	11 000	生态市建设标准	0.048 6
		X_{12} 人均 GDP/元	25 000	生态市建设标准	0.047 8
		X_{13} 万元 GDP 水耗/ m^3	150	生态市建设标准	0.051 0
		X_{14} 第三产业产值比重/%	45	生态市建设标准	0.048 8
		X_{15} 经济密度/($\text{万元} \cdot \text{km}^{-2}$)	10 264	国内类似省会城市均值 ^①	0.048 2
	社会	X_{16} 城区人口密度/($\text{人} \cdot \text{km}^{-2}$)	1 500	参考核心文献 ^[19] 确定	0.048 1
		X_{17} 人均耕地面积/ hm^2	0.08	参考核心文献 ^[19] 确定	0.053 2
		X_{18} 人均水资源量/ m^3	3 000	国际公认缺水警戒值	0.051 0
		X_{19} 城市人均公共绿地面积/ m^2	11	生态市建设标准	0.049 3
		X_{20} 城市化水平/%	55	生态市建设标准	0.050 8

注:①包括武汉、南京、杭州市。

(2) 构造灰色关联判断矩阵。对于样本矩阵 Y 而言,经过标准化处理后,显然理想样本 $Y_{0j}=1$ ($j=1,2,\dots,m$),以 Y_{0j} 为母因素, Y_{ij} 为子因素,即可得到评价样本与理想样本的关联度 r_{ij} :

$$r_{ij} = \frac{\min_n \min_m |Y_{0j} - Y_{ij}| + \lambda \max_n \max_m |Y_{0j} - Y_{ij}|}{|Y_{0j} - Y_{ij}| + \lambda \max_n \max_m |Y_{0j} - Y_{ij}|} \quad (3)$$

式中: r_{ij} ——关联度; Y_{0j}, Y_{ij} ——理想样本和评价样本; $|Y_{0j} - Y_{ij}|$ ——差序列; $\min_n \min_m |Y_{0j} - Y_{ij}|, \max_n \max_m |Y_{0j} - Y_{ij}|$ ——两级最小差和最大差; 常数 $\lambda \in (0,1)$ ——分辨系数,其作用为调整比较环境的大小,通常取 $\lambda=0.5$ 。由 $(n+1) \times m$ 个 r 组成的矩阵称为灰色关联判断矩阵 $R=(r_{ij})_{(n+1) \times m}$ ($i=0,1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$)。

(3) 确定灰色关联投影权重值。运用客观赋权的均方差权值法计算各评价指标的初始权重^[21],各指标的初始权重值详见表 1。

设评价指标的权重矢量集为 W ,即 $W=(W_1,$

$W_2, \dots, W_m)^T > 0$ 。将每一个评价样本看作行向量(矢量),则得到各评价样本 A_i 与理想样本 A_0 之间的夹角 θ_i ,称之为灰色关联投影角,该夹角的余弦为 α_i ,且满足以下条件:

$$\alpha_i = \frac{A_i \cdot A_0}{|A_i| \cdot |A_0|} = \frac{\sum_{j=1}^m W_j \cdot r_{ij} \cdot W_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (W_j \cdot r_{ij})^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2}} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (4)$$

显然, A_i 和 A_0 ——第 i ($i=1,2,\dots,n$) 个评价样本和理想样本, W_j ——第 j ($j=1,2,\dots,m$) 个指标权重, $\alpha_i \in (0,1]$,且该值越大,表示评价样本 A_i 与理想样本 A_0 的变化方向越一致。设评价样本 A_i 的模数为 d_i :

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (W_j \cdot r_{ij})^2} \quad (5)$$

记 W_j^* 为一组新的指标权重值矢量,称为灰色关联投影权重值,且满足:

$$W_j^* = W_j^2 / \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2} \quad (6)$$

(4) 计算灰色关联投影值。将模数的大小 d_i 与灰色关联投影角余弦值的大小 α_i 相结合,计算各评价样本在理想样本上的投影值 S_i ,即灰色关联投影值,即可全面而准确地反映各评价样本与理想样本之间的接近程度:

$$S_i = d_i \cdot \alpha_i = \sum_{j=1}^m W_j r_{ij} W_j^* / \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2} = \sum_{j=1}^m W_{ij} W_j^* \quad (7)$$

根据各评价样本灰色关联投影值的大小,就能对各评价方案的优秀程度作出科学的判断,换言之,即可对各年份土地生态安全水平进行综合评价。投影值 S_i 满足 $0 \leq S_i \leq 1$, S_i 越大,说明该年份土地生态安全指数越高,该年份的土地生态安全水平也就越高,反之,则水平越低。

参考相关研究^[12,18],采用等间距方法,以 0.25 为步长,依据 S_i 的大小将土地生态安全水平划分为 4 等级:当 $0 \leq S_i \leq 0.25$ 时,为低度安全;当 $0.25 < S_i \leq 0.5$ 时,为中度安全;当 $0.5 < S_i \leq 0.75$ 时,为中高度安全;当 $0.75 < S_i \leq 1$ 时,为高度安全。

2.2 土地生态安全动态水平分析

研究区各年份土地生态安全水平可用灰色关联投影值(S_i)进行判定,为更直观地反映其动态变化特征,引入安全水平变化动态度(v)、安全水平标准差(σ)概念进行分析^[22]。

安全水平变化动态度 v 用于测算不同年份土地生态安全水平的相对变化程度,借鉴相关研究^[22],根据 v 的正负大小情况,采用等间距方法,以 0.2 为步长从低到高对安全水平变化动态度进行分类:当 $v < -20\%$ 时为快速退化类型;当 $-20\% \leq v < 0$ 时为缓慢退化类型;当 $v = 0$ 时为维持不变类型;当 $0 < v \leq 20\%$ 时为缓慢提升类型;当 $v > 20\%$ 为快速提升类型,计算公式为:

$$v = \frac{S_{i+1} - S_i}{S_i} \times 100\% \quad (8)$$

式中: v ——安全水平变化动态度; S_{i+1} , S_i —— $i+1$ 和 i 年份土地生态安全指数。

安全水平标准差 σ 用于测算测度土地生态安全水平之间的差异,反映土地生态安全的协调性, σ 越小,土地生态安全协调性越高,反之,则协调性越低:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (S - \bar{S})^2}{N}} \quad (9)$$

式中: σ ——安全水平标准差; \bar{S} ——土地生态安全指数均值; N ——土地生态安全指标数。

2.3 障碍因子诊断

在对城市土地生态安全水平进行综合评价后,还

需对影响土地生态安全水平的障碍因子进行分析诊断,以便对症下药解决土地生态安全问题。引入因子贡献度、指标偏离度和障碍度 3 个变量来进行障碍因子的诊断^[6,23]。其中,因子贡献度 C_j 表示单项指标对总目标(城市土地生态安全水平)的影响程度,一般以单项指标的权重 W_j 来表示;指标偏离度 N_{ij} 表示单项指标与土地生态安全目标的差距,以单项指标的标准化值 Y_{ij} 与 100% 之差来表示;障碍度 P_{ij} 表示第 i 年各指标对城市土地生态安全水平的影响程度。障碍度计算公式如下:

$$N_{ij} = 1 - Y_{ij} \quad (10)$$

$$P_{ij} = \frac{C_j \cdot N_{ij}}{\sum_{j=1}^m C_j \cdot N_{ij}} \times 100\% \quad (11)$$

3 结果与分析

3.1 土地生态安全水平分析

结合表 1,运用公式(7)~(9),计算得到南昌市土地生态安全指数、土地生态安全水平变化动态度及土地生态安全水平标准差,并判定各年份所属的安全等级和变化类型,详见表 2—3。

3.1.1 土地生态安全总水平缓慢提升 从目标层来看,2004—2014 年,南昌市土地生态安全水平处于缓慢提升状态,后一阶段(2009—2014 年)提升速度较前一阶段(2004—2009 年)有所放缓。2004,2009,2014 年的土地生态安全指数分别为 0.149,0.171 和 0.184,安全等级均为低度安全,说明南昌市土地生态安全指数不高,安全层次较低;前一阶段的安全水平变化动态度为 14.47%,后一阶段为 7.73%,说明南昌市城市发展仍面临较大的生态压力,土地生态安全水平仍有不小的提升空间。

南昌市土地生态安全状况形成的原因,可以归纳为两个方面:一是城镇化的快速推进,成为经济社会发展的强大引擎,为土地生态安全水平的提升提供了良好的经济基础和社会条件。凭借优越的水土资源条件,围绕国家“中部崛起”战略实施和昌九工业走廊建设,南昌市加快了城镇化建设的步伐,城市化水平从 2004 年的 41.76% 跃升至 2014 年的 70.86%,快速城镇化为经济社会发展注入了强劲的动力,促进了经济总量和城乡居民收入的提升,推动经济发展和土地生态的协调,有利于土地生态安全总体水平的提高。二是受资源环境承载力所限,冒进式的城镇化发展模式加剧了人地矛盾,造成生态环境的破坏,阻碍了土地生态安全水平的持续提升。大规模的要素投入,推动了城市人口的快速增加和城市空间的蔓延式扩张,导致城镇化发展速度过快,而发展质量不足,造

成人口密度过高,人均耕地和水资源不足等问题,资源约束成为土地生态安全持续发展的瓶颈问题;许多环境问题在经过一段时期的累积之后逐渐显现、爆发,如土地污染、城市生活垃圾、工业“三废”等问题,给环境承载力造成巨大压力,这也是导致土地生态安全水平提升速度在后期逐渐放缓的主要原因。

3.1.2 土地生态安全单项水平有升有降,安全等级有待提升 从准则层来看,2004—2014年,南昌市土地生态安全环境、经济和社会层面的单项水平,均处于低层次的低度安全等级,安全等级有待进一步提高。环境层面的动态变化度在2004—2009年为14.47%,处于缓慢提升状态,2009—2014年跌落至-4.17%的缓慢退化阶段。由于在前一阶段,南昌市围绕国家卫生城市、国家森林城市创建,加大了城市生活污水处理的力度,加强工业固废的综合利用,空气质量优良率和建成区绿化覆盖率也有了较大提

升,说明这一阶段生态环境质量有较大改善,而在后一阶段,化肥农资的大量使用、工业固废和废水排放强度的增加,给土地生态造成极大的环境负担,导致环境安全处于缓慢退化状态。经济层面的动态变化度在2004—2009年为32.93%,属于快速提升变化类型,2009—2014年跌至缓慢提升类型。由于在前一阶段,南昌市借助国家“中部崛起”战略契机,围绕昌九工业走廊建设,经济发展和工业化的步伐不断加快,城乡居民收入大幅提高,经济安全得到快速提升,在后一阶段,则更加注重结构的调整和产业的升级优化,经济安全提升速度有所放缓。社会层面在2004—2014年属于缓慢提升变化类型,后一阶段的变化动态度较前一阶段略有回落,这是由于城镇化和工业化的推进造成的耕地占用、人均水土资源不足等问题在后期有所显现,阻碍了土地生态社会安全的持续提升。

表 2 南昌市土地生态安全指数、安全等级、变化动态度及变化类型

土地生态安全层次	土地生态安全指数			安全等级			变化动态度/%		变化类型	
	2004年	2009年	2014年	2004年	2009年	2014年	2004—2009年	2009—2014年	2004—2009年	2009—2014年
总水平	0.149	0.171	0.184	低度安全	低度安全	低度安全	14.47	7.73	缓慢提升	缓慢提升
环境	0.075	0.078	0.075	低度安全	低度安全	低度安全	4.82	-4.17	缓慢提升	缓慢退化
经济	0.045	0.058	0.069	低度安全	低度安全	低度安全	29.18	19.01	快速提升	缓慢提升
社会	0.030	0.035	0.040	低度安全	低度安全	低度安全	16.47	15.72	缓慢提升	缓慢提升

3.1.3 土地生态安全系统内部协调性逐渐提升 2004—2014年土地生态安全的环境、经济和社会子系统的平均有所提升,其中环境子系统从缓慢提升跌为缓慢退化阶段,经济子系统则由快速提升阶段跌为缓慢提升阶段,社会子系统保持缓慢提升不变,各子系统安全水平的变化幅度的不一致,导致它们之间的差异逐渐缩小。从表3可知,南昌市2004年,2009年,2014年的土地生态安全准则层标准差分别为0.0186,0.0178,0.0153,呈逐渐减小态势,说明土地生态安全子系统之间的协调性逐渐提升;指标层标准差分别为0.0030,0.0031,0.0029,呈先略增后减小的变化特征,2004—2014年土地生态安全各单项因子间的协调性处于总体提升状态(表3)。

表 3 南昌市土地生态安全水平标准差

层次	安全水平标准差		
	2004年	2009年	2014年
准则层	0.0186	0.0178	0.0153
指标层	0.0030	0.0031	0.0029

3.2 南昌市土地生态安全主要障碍因子诊断

运用公式(11)计算南昌市各项指标因子的障碍度,由于指标较多,为便于研究,选取障碍度排名前七位的指标因子作为主要的障碍因子进行诊断。由表4可知,在时间维度上,影响南昌市土地生态安全水平的障碍因子在因子类别、障碍度及因子排序上均处于动态变化中。

表 4 南昌市土地生态安全主要障碍因子及障碍度

指标排序	2004年		2009年		2014年	
	障碍因子	障碍度/%	障碍因子	障碍度/%	障碍因子	障碍度/%
1	X ₁₅	13.18	X ₁₅	16.08	X ₁	18.87
2	X ₁₁	10.21	X ₁₈	14.60	X ₄	17.05
3	X ₁₈	9.80	X ₁	13.23	X ₁₈	16.60
4	X ₁₀	9.30	X ₁₆	12.37	X ₁₅	15.04
5	X ₁₃	8.67	X ₁₇	9.73	X ₁₆	13.51
6	X ₁	8.51	X ₁₁	9.16	X ₁₇	10.80
7	X ₅	8.26	X ₄	9.00	X ₇	3.22

从经济层面来看,经济密度的障碍度在2004年,2009年均居首位,表明2004—2009年经济发展水平过低是影响南昌市土地生态安全水平的主要障碍因素,至2014年,经济密度的障碍度下降至第4位,反映出经济的快速发展,有助于南昌市土地生态安全水平的提升,但同时也表明南昌市经济密度仍有不小的上升空间。农民人均纯收入、城镇居民人均可支配收入的障碍度分列2004年的第2,4位,2009年,农民人均纯收入障碍度下降至第6位,至2014年退出了主要障碍因子之列,而城镇居民人均可支配收入则从2009年开始不再是主要的障碍因子,表明在经济快速发展背景下,城乡居民的收入水平有了极大的提升,它们对城市土地生态安全水平的障碍逐渐被消除。

从社会层面来看,人均水资源、城区人口密度和人均耕地面积是主要的障碍因子。其中,人均水源的障碍度排序比较稳定,在研究期间一直处于前三甲,可见,随着近年来城镇化进程的不断加快,城市用水需求大幅增加,人均资源缺乏成为南昌市土地生态安全水平提高的瓶颈制约。而城区人口密度和人均耕地面积则在2009年首次成为障碍因子,到了2014年,两者仍位列主要障碍因子之列,且障碍度数值均有所上升,表明城市人口增长和城市空间扩张等问题仍在持续给城市生态环境施加压力。

从环境层面来看,影响土地生态安全的因素主要来自于农业污染和工业“三废”造成的压力。单位耕地面积化肥负荷的障碍度在2004年居于第6位,并在此之后继续保持上升,到2009年和2014年分别跃至第3位和第2位,说明化肥农资的大量使用,对耕地造成了巨大的生态负荷,成为制约南昌市土地生态安全水平提高的主要因素。城市生活污水集中处理率处于2004年障碍度排名的末位,在2009年之后,该障碍因子得以消除,说明近年来政府治理城市生活污水的举措取得了一定成效,有利于城市生态环境的改善。单位土地面积废水排放量在2009年首次成为障碍因子之后,跃升至2014年的次席,说明该因素对土地生态安全水平的影响程度不断加深,也进一步表明大量的污水排放,掩盖了污染治理的成效,给城市化发展造成胁迫,也对城市土地生态水平产生影响^[24]。空气质量优良率在2014年加入到主要障碍因子之列,表明了空气质量优劣在土地生态安全中的重要性。

总体而言,在2004—2014年,南昌市土地生态安全障碍因子经历了从经济密度、农民人均纯收入、城镇居民人均可支配收入等经济类因素向单位耕地面

积化肥负荷、单位土地面积废水排放量、人均水资源量、空气质量优良率等资源环境类因素的转变,这种转变基本上与南昌城市发展历程相吻合。

4 讨论与结论

(1) 基于可持续发展三维度框架思路,构建了城市土地生态安全评价指标体系,运用灰色关联投影模型,对南昌市土地生态安全动态变化情况进行了实证分析,研究表明,该方法进行的土地生态安全水平综合评价,基本符合南昌市土地生态安全的实际情况,可以为区域土地政策调整和生态维护提供现实依据,灰色关联投影模型的建模思路明确且较易操作,是开展土地生态安全评价的一种可行有效方法。

(2) 研究发现,2004—2014年南昌市土地生态安全总水平缓慢上升,土地生态安全等级处于较低层次,各子系统单项水平有升有降,土地生态安全等级有待提升,环境子系统从缓慢提升跌入缓慢退化阶段,经济子系统经历了由快速提升跌入缓慢提升阶段的变化,社会子系统属于缓慢提升变化类型;土地生态安全各子系统之间的标准差逐渐增大,土地生态安全系统的内部协调性逐渐提升;影响南昌市土地生态安全水平的障碍因子在因子类别、障碍度及因子排序上都处于动态变化中,障碍因子经历了从经济密度、农民人均纯收入等经济类因素向单位耕地面积化肥负荷、单位土地面积废水排放量、人均水资源量等资源环境类因素的转变,各项因子的障碍度变化显示,资源环境类因素将成为未来影响南昌市土地生态安全水平的主要因素。

(3) 根据土地生态安全评价结果,针对土地生态系统暴露的主要问题,南昌市要从土地可持续利用和健康城镇化入手,适应我国经济社会发展新常态,着力于环境、经济、社会的和谐发展,抓住鄱阳湖生态经济区建设的契机,改变单纯依靠资源投入的传统经济发展方式,推行资源节约、环境友好的生活生产方式,引导清洁生产、低碳出行,大力改善城市生态环境;培养水土资源节约和保护意识,促进水资源的持续利用,保护耕地红线,限制城镇用地盲目扩张,探索城市土地的节约集约利用,引导化肥等农资的科学合理使用,减轻耕地污染负荷;推进新型城镇化建设,以人的福祉提升为城市发展的目标,不应盲目追求城市的大而全。

[参 考 文 献]

- [1] 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.

- [2] Lynch K., Binns T., Olofin E. Urban agriculture under threat: The land security question in Kano, Nigeria[J]. Cities, 2001, 18(3): 159-171.
- [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, 28(5): 260-266.
- [4] 张利, 陈影, 王树涛, 等. 滨海快速城市化地区土地生态安全评价与预警: 以曹妃甸新区为例[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2445-2454.
- [5] 徐美, 朱翔, 周军. 基于突变理论的湖南省土地生态安全格局分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(6): 199-207.
- [6] 李春燕, 南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学, 2015, 29(4): 72-81.
- [7] 曾翠萍, 邱慧珍, 张文明, 等. 基于 PSR 模型的庆阳市生态安全评价[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(12): 67-72.
- [8] 黄海, 刘长城, 陈春. 基于生态足迹的土地生态安全评价研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 193-196.
- [9] 李明月, 赖笑娟. 基于 BP 神经网络方法的城市土地生态安全评价: 以广州市为例[J]. 经济地理, 2011, 31(2): 289-293.
- [10] 王鹏, 况福民, 邓育武, 等. 基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价[J]. 经济地理, 2015, 35(1): 168-172.
- [11] 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, 22(3): 230-235.
- [12] 徐美, 朱翔, 刘春腊. 基于 RBF 的湖南省土地生态安全动态预警[J]. 地理学报, 2012, 67(10): 1411-1422.
- [13] 庄伟, 廖和平, 潘卓, 等. 基于变权 TOPSIS 模型的三峡库区土地生态安全评估: 以巫山县为例[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2014, 36(8): 106-112.
- [14] 吕锋, 崔晓辉. 多目标决策灰色关联投影法及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002(1): 103-107.
- [15] 张晶晶, 赵忠, 宋西德, 等. 基于灰色关联投影法的森林生态系统健康评价[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(8): 97-103.
- [16] 王枫, 董玉祥. 基于灰色关联投影法的土地利用多功能动态评价及障碍因子诊断: 以广州市为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1698-1713.
- [17] 邱一丹, 孙保平, 钟晓娟. 多目标决策灰色关联投影法在生态脆弱性评价中的应用[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(2): 205-209.
- [18] 毛燕玲, 刘冬玲. 基于 PSR 模型框架下的南昌市土地生态安全综合评价[J]. 南昌大学学报: 理科版, 2014, 38(3): 273-277.
- [19] 余敦, 陈文波. 基于物元模型的鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2681-2685.
- [20] 罗文斌, 吴次芳, 汪友结, 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.
- [21] 孙平军, 丁四保. 人口—经济—空间视角的东北城市化空间分异研究[J]. 经济地理, 2011, 31(7): 1094-1100.
- [22] 张晓平, 朱道林, 许祖学. 西藏土地利用多功能性评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(6): 185-194.
- [23] 张锐, 刘友兆. 我国耕地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(7): 945-951.
- [24] 刘耀彬, 戴璐, 张桂波. 水环境胁迫下的环鄱阳湖区城市化格局响应[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(1): 81-88.