

基于RS及GIS的南昌市土地生态安全动态评价及分区

余文波^{1,2}, 蔡海生^{1,2}, 张莹^{1,2}, 曾君乔^{1,2}

(1. 江西农业大学 江西省鄱阳湖流域农业生态重点实验室/南昌市鄱阳湖生态重点实验室, 南昌 330045;

2. 江西农业大学 农村土地资源利用与保护研究中心, 南昌 330045)

摘要:科学认识土地生态安全时空演变格局规律是区域生态安全及生态文明建设的重要组成部分。利用3S技术,借助PSR模型构建了市域土地生态安全评价指标体系,采用层次分析法及熵值法综合确定了权重,从格网尺度对南昌市土地生态安全进行了动态评价及分区分析。结果表明:(1)时间分异上,15年间南昌市土地生态安全经历了以临界安全等级到以较安全等级为主的变化,2010—2015年,土地生态安全状况改善最好,绿色崛起战略是主要驱动力;(2)空间分异上,2000年北部及中西部低、中南部高;2010年中东部较高、西南和东北较为平稳;2015年南昌市整体较高、中北部及西南部低;(3)分区上,南昌县、进贤县、安义县全部及湾里区、青山湖区等都处于生态持平区,东湖区、西湖区及青云谱区大部分及新建县北部处于生态恢复区,针对不同的分区结果提出了不同的应对措施。研究结论为区域生态文明建设及国土空间综合分区利用提供参考依据。

关键词:土地生态安全; RS/GIS; 分区; 格网; 南昌市

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)04-0244-06

Land Ecological Security Dynamic Evaluation and Regionalization in Nanchang City Based on RS and GIS

YU Wenbo^{1,2}, CAI Haisheng^{1,2}, ZHANG Ying^{1,2}, ZENG Junqiao^{1,2}

(1. Ecology Key Laboratory of Po-yang Lake Watershed in Jiangxi Province/Ecology Key Laboratory of Po-yang Lake in Nanchang, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Research Center of Rural Land Resource Utilization and Protection, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The scientific understanding of the spatial-temporal evolution pattern of land ecological security is the significant part of regional ecological security and ecological civilization construction. The temporal and spatial evolution pattern of land ecological security in Nanchang City was analyzed scientifically based on land use change. With 3S technology and PSR model were used to conduct the city's evolution index system of land security, we synthetically used AHP and entropy method to determine the weight of each index. The dynamic evaluation and subarea analysis of land ecological security in Nanchang City were carried out from the perspective of administrative divisions and the grid scale. The results show that: (1) with respect to time differentiation, since 2000 years, the land ecological security in Nanchang City had changed from critical level to mainly relatively safe level over the past 15 years; with the rise of green strategy as the main driving force, the best improvement land ecological security situation had been witnessed during 2010—2015; (2) with respect to spatial differentiation, in 2000, the land ecological security was low in the north and middle west of Nanchang City while it was high in the middle south; in 2010, it was relatively higher in the middle east, and it was relatively stable in the southwest and northeast; and in 2015, the land ecological security of Nanchang was overall higher while it was low in the north center and southwest; (3) Nanchang County, Jinxian County, Anyi County, Wanli District and Qingshanhu District are the ecological balanced areas; and most areas of East Lake, Xihu District, Qingyunpu District and the north of Xinjian County are located in the

收稿日期: 2017-09-21

修回日期: 2017-10-18

资助项目: 国家自然科学基金(31660140, 31560150); 江西省自然科学基金(20161BAB204180); 江西省教育厅科技项目(GJJ12218)

第一作者: 余文波(1992—), 男, 湖北咸宁人, 硕士研究生, 研究方向为土地生态、土地经济。E-mail: ywb834673@163.com

通信作者: 蔡海生(1972—), 男, 江西万年人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土地生态、土地经济研究。E-mail: caihsh@263.net

ecologically restored areas. Different countermeasures are put forward according to different partition results. The conclusions can provide a reference for the construction of regional ecological civilization and the comprehensive utilization of land space.

Keywords: land ecological security; RS/GIS; subarea; grid; Nanchang City

经济发展和城镇化进程、人类活动及资源利用的不合理,导致土地开发强度加大,土地利用方式快速转变,使原本自然生态系统脆弱的地区,受到外界干扰极易破坏,自然调节和恢复能力差,生态环境安全问题突出^[1]。随着20世纪80年代环境管理目标及观念的改变,生态安全研究逐渐增多,肖笃宁等^[2]认为生态安全研究是从人类对自然资源的利用与人类生存环境两个角度来分析人地生态安全系统;王根绪等^[3]认为生态安全是在生态系统完整性和各种风险下,人类维持自身及生态系统健康发展的可持续能力的认识和研究判断;曲格平^[4]从国土生态安全、水生态安全、环境与健康安全、生物安全等论述了中国生态安全的问题。十八届三中全会提出建立系统完整的生态文明制度体系,划定生态保护红线,用制度保护生态环境。十八届五中全会更是把增强生态文明建设首度写入国家五年规划;2017年10月,国家印发了《国家生态文明试验区(江西、贵州)实施方案》,将生态文明建设和生态文明体制改革推向一个新的高潮。开展土地生态安全动态评价,为区域经济社会加快走上生态优先、绿色发展的道路助力,顺应了生态文明建设的时代要求。

区域生态安全问题日趋严峻,研究主要涉及研究方法、指标体系的构建、研究尺度、预警、安全格局、安全阈值等方面。国内外生态安全评价研究日趋成熟,研究内容更加广泛,包括耕地、森林、湿地、海洋等^[5-7];研究区域及尺度不断扩展,涉及城市、流域、行政区划等;研究方法不断发展有综合评价法、物元模型、神经网络、能值分析、惩罚变权模型等^[6-12]。3S技术的发展,不少学者将3S技术和多元统计分析理论结合起来,成为当今研究热点领域之一,广泛运用到土地利用变化、土地生态安全评价、流域管理等中来^[13-14],借助3S技术手段获取遥感数据,运用景观生态学理念,结合统计数据及专题数据(土壤、气候、地质等)等非遥感数据进行时空动态分析,已成为土地生态安全评价的主流趋势,但是针对评价后分区及结果的应用、对策调控是一个薄弱的环节。

基于此,利用RS和GIS技术,选取鄱阳湖生态经济区重要核心城市——南昌市作为研究区域,以2000—2015年的土地利用变化数据为基础,综合DEM数据和统计数据,采用PSR模型构建指标体系,利用AHP法

和熵值法综合起来组合赋权确定指标权重,实现3 km×3 km 格网尺度水平的土地生态安全综合评价,探讨土地利用变化视角下,格网尺度的土地生态安全时空动态格局演变规律,并在此基础上进行分区研究及调控,为该区域今后的生态保护、国土空间开发分区利用与土地政策制定提供科学的参考意见。

1 研究区概况

南昌市属亚热带湿润季风气候,位于江西中北部,赣江、抚河的下游,处于我国第一大淡水湖鄱阳湖西南岸,城市绿化覆盖率达到42.96%,是一座文化底蕴丰富的文明花园城市。基于遥感数据南昌市15年间土地利用变化最明显的是耕地和建设用地,建设用地面积年均增加了7.9 hm²,耕地面积年均减少了8.6 hm²,表明城镇化进程对土地利用方式的影响巨大;2015年农民人均纯收入为13 693元,相比2005年,增加了9 815元;国民生产总值从2000年的435.10亿元到2015年的4 000.01亿元,经济总体发展较快。“十一五”期间南昌市提出建设鄱阳湖生态经济区;十八大以来开展生态文明先行示范区建设,提出“绿色崛起”战略,南昌市开始走转方式、调结构之路,坚持以生态环境为资源优势,保护生态环境,绿水青山变金山。“十二五”期间,南昌市重点围绕建设生态环保、发展低能现代产业为理念,以“绿色崛起”为战略,优化产业结构,整合森林、湖泊、湿地、清水、候鸟等南昌市核心的战略性生态资源。南昌市探索生态崛起之路任重而道远。

2 研究方法

2.1 数据收集与处理

研究数据来源于3类:遥感影像数据、DEM数据和社会统计数据。Landsat TM 遥感影像数据分为2000年、2010年、2015年3期数据,一共6景,覆盖整个研究区域。通过ENVI 5.3软件,对影像进行波段(543波段)组合、图像增强、影像拼接、影像裁剪及目视解译等处理,采用监督分类中的支持向量机分类的方法进行遥感影像分类处理,按照中科院的分类标准将研究区土地利用类型分为6大类:耕地、建设用地、林地、草地、未利用地、水域^[15]。3期数据Kappa系数分别为96%,86%,92%,作为土地生态安全评

价部分指标的数据基础。另外统计数据主要来源于 2001 年、2011 年、2016 年江西省统计年鉴、南昌市统计年鉴及同时期南昌市各县区的社会统计公报,DEM 数据来源于地理空间数据云下载的 30 M 空间分辨率高程数据,行政区划为全国第二次土地调查成果 1:10 万的矢量图。

2.2 研究方法

2.2.1 指标体系构建 压力—状态—响应模型(PSR)是由联合国经济合作开发署在 20 世纪 80 年

代末提出的,PSR 模型反映了压力、状态与响应之间的相互作用。本文以考虑南昌市实地情况和指标选取的科学性、动态性、完整性等原则为出发点,参考学者们已有的研究^[16-18],构建了“压力—状态—响应”生态安全评价模型,分为目标层、准则层、指标层 3 层(表 1)。压力层主要是从人类活动对土地资源的干扰及人地矛盾考虑;状态层是从土地生态系统的功能状况、生态环境状况等考虑;响应层主要从采取的政策措施及本身的生态建设等出发选取指标。

表 1 南昌市土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	指标层	数据来源	层次分析法	熵值法			属性
					2000 年	2010 年	2015 年	
土地生态安全评价指标	压力层	人口密度	统计数据	0.0510	0.0485	0.0494	0.0525	负向
		经济密度	统计数据	0.0537	0.0486	0.0525	0.0526	负向
		人均耕地面积	遥感数据	0.0485	0.0452	0.0518	0.0485	负向
		人口自然增长率	统计数据	0.0361	0.0474	0.0474	0.0449	负向
		城镇化水平	统计数据	0.0607	0.0500	0.0512	0.0572	负向
		单位耕地面积化肥	统计数据	0.0607	0.0429	0.0511	0.0387	负向
		单位耕地面积农药	统计数据	0.0510	0.0429	0.0526	0.0339	负向
		坡度	DEM 数据	0.0510	0.0429	0.0509	0.0350	负向
	状态层	景观多样性	遥感数据	0.0329	0.0496	0.0491	0.0367	正向
		景观破碎度	遥感数据	0.0329	0.0432	0.0430	0.0434	正向
		景观分离度	遥感数据	0.0329	0.0507	0.0502	0.0432	正向
		景观干扰指数	遥感数据	0.0603	0.0458	0.0410	0.0565	正向
		景观优势度	遥感数据	0.0277	0.0514	0.0510	0.0408	正向
		土地利用类型	遥感数据	0.0658	0.0482	0.0465	0.0598	正向
		NDVI	遥感数据	0.0391	0.0484	0.0487	0.0465	正向
		单位耕地粮食产量	统计数据	0.0359	0.0458	0.0413	0.0450	正向
	响应层	工业固体废弃物排放	统计数据	0.0446	0.0504	0.0413	0.0494	正向
		农民人均纯收入	统计数据	0.0588	0.0494	0.0421	0.0565	正向
		人均 GDP	统计数据	0.0388	0.0494	0.0474	0.0463	正向
		第一产业比重	统计数据	0.0588	0.0518	0.0487	0.0563	正向
		第三产业比重	统计数据	0.0588	0.0478	0.0429	0.0564	正向

2.2.2 确定评价单元 本文土地生态安全评价是基于栅格数据的,以 3 km×3 km 的格网作为基本的评价单元,运用 ArcGIS 分析工具得到每一个评价单元的生态安全指标值。本文通过 ArcGIS 软件的 Fish-net 工具将研究区域划分为 909 个格网作为分析研究的信息数据的空间载体,针对不同的数据特点,采用的量化方法如下:

(1) 对于人口密度、经济密度、农村人均纯收入等统计数据,以南昌市各县区行政区为统计单元来统计指标,采用矢量化方法后将矢量数据转为 30 m×30 m 的栅格数据,然后利用空间分析里面的以表格显示分区统计工具得到每个格网的数据。

(2) 对于土地利用数据等栅格数据,直接统计分

析得到每个格网的数据,坡度数据是利用 ArcGIS 软件将 DEM 转换而来,采用分区统计得到。

(3) 对于景观多样性、景观破碎度等数据,先是利用 ArcGIS 软件将各时期的土地利用变化矢量数据按照格网批量转为栅格数据,得到每一个格网土地利用类型数据,然后将数据批量导入到景观格局分析 Fragstats 3.4 软件中,计算每个格网在景观水平上的多样性、破碎度、分离度等指数;NDVI 数据通过基于遥感数据利用 ENVI 5.3 软件计算得出。

2.2.3 指标量化 针对不同的指标数据特征,使用不同的方法对其进行标准化处理,使其标准化到 0~1,文章具体采用极差标准化法及等级赋值法。

(1) 等级赋值法。对于土地利用类型、坡度、

NDVI 等指标,土地利用类型指标、NDVI 等利用专家知识及参考学者们的研究^[19-20],采用等级赋值法的方法进行标准化处理。具体标准选取如表 2 所示。

(2) 极差标准化法。将指标划分为正向指标及负向指标,正向指标表示数值越大,生态安全状况越好,反之亦然。具体处理方法如下:

正向指标: $x'_{ij} = (x_{ij} - x_{jmin}) / (x_{jmax} - x_{jmin})$ (1)
负向指标: $x'_{ij} = (x_{jmax} - x_{ij}) / (x_{jmax} - x_{jmin})$ (2)
式中: x_{ij} 为第 i 格网的第 j 个指标值; x'_{ij} 为每一年数据标准化后的指标数值; x_{jmax} 为所有格网中的最大值; x_{jmin} 为最小值。

表 2 等级赋值法分级标准及判分

指标	不安全 (0, 1)	临界安全 (0, 3)	较安全 (0, 5)	安全 (0, 7)	理想安全 (0, 9)
土地利用类型	未利用地	耕地、建设用地	草地	林地	水域
坡度/(°)	>25	15~25	7~15	3~7	0~3
NDVI	<35	35~65	65~100	100~125	>125

2.2.4 权重计算 权重的确定方法有很多,为了使指标权重更趋于合理及科学,本文在综合主观确定权重的层次分析法及客观的熵值法的基础上,分别计算两者的权重,然后平均加权得到每一期的综合指标权重,利用层次分析法及熵值法的组合赋权法,既可以科学体现数据本身的内在特质,又能很好地表达人的主观能动性,能在一定程度上解决单一赋权重方法不确定性的问题^[21]。以下介绍熵值法的计算过程:

(1) 确定指标信息熵值 e 及效用值 d 。
$$e_j = -k \sum_{i=1}^m x'_{ij} \ln x'_{ij}$$
 (3)
式中: $k = \frac{1}{\ln m}$; 当 $x'_{ij} = 0$ 时, $x'_{ij} \ln x'_{ij} = 0$, m 为指标的格网数。

指标的信息效用值等于信息熵与 1 之间的差值:
$$d_j = 1 - e_j$$
 (4)

(2) 指标权重计算:
$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j$$
 (5)

2.2.5 土地生态安全指数计算 综合权重为层次分析法和熵值法各取 0.5 系数作为其加权相乘得到每一期的综合权重值。权重乘以极差标准化及等级赋值后的值得到综合指数 ESI。生态安全值越大,表明南昌市土地生态安全状况越好,反之,则越差。如下:

$$ESI = \sum_{j=1}^n x'_{ij} w'_j$$
 (6)

2.2.6 土地生态安全评价等级标准 根据上述方法计算的生态安全综合评价分值位于 0~1,分值越大表明生态安全水平越高,反之,生态安全等级越

低。本文参考相关研究^[22-23],将研究区域划分为 5 个等级(表 3)。

表 3 南昌市土地生态安全等级划分标准

序号	1	2	3	4	5
ESI	0~0.3	0.3~0.45	0.45~0.6	0.6~0.75	0.75~1
状态	不安全	临界安全	较安全	安全	理想安全

2.2.7 分区理念 土地生态安全评价后,为了更好地服务于研究区域,便于生态环境的治理及调控,对研究区域进行分区,针对不同的土地生态安全等级进行优化采取措施,提高区域生态安全值及减少人类活动对环境的破坏,同时及时修复生态环境,利于建设美丽中国。本文依照格网化后的土地生态安全评价值,采取相对变化率(C)进行分区,分为生态退化区、生态持平区、生态恢复区 3 种^[24]。

$$C = \frac{\text{后期土地生态安全值} - \text{前期土地生态安全值}}{\text{前期土地生态安全值}}$$

将 $C \leq 0$ 的划为生态退化区(生态环境变化相对变差); $0 < C \leq 1$ 的划为生态持平区(生态环境变化相对平衡); $C > 1$ 的划为生态恢复区(生态环境变化相对变好)。

3 结果与分析

3.1 基于格网的水平评价结果与分析

总体上来看,从 2000 年的临界安全到 2010 年及 2015 年的以较安全为主,土地生态安全呈现变好的走势。如表 4 所示,2000 年南昌市土地生态安全以临界安全为主,面积比例达到 76.96%,面积为 5 525.57 hm²,不安全次之、较安全最少;2010 年较安全取代临界安全成为主要的成分,比例达到 55.41%,临界安全比例为 44.59%,而不安全比例为 0.01%,10 年间南昌市临界安全下降了 32.37%,年均下降速度为 3.2%,面积减少了 2 324.21 hm²,不安全等级逐渐退出了,相对变化很大;2015 年南昌市以较安全为主,比例为 76.65%,其次为安全等级,比例为 19.97%,临界安全比例为 0.38%;2010—2015 年,5 年间相对变化较大的为临界安全等级,比例从 44.59%变为 0.38%,下降比例为 44.2%,年均下降速度为 8.84%,面积下降为 3 137.63 hm²;2000—2015 年,临界安全等级比例下降了 76.58%,面积为 5 498.56 hm²,年均下降比例为 5.11%,较安全等级提升了 70.35%,年均提升比例为 4.69%,面积为 5 051 hm²。

从格网数看,2000 年,临界安全等级的格网数最多为 684 个,除了北部外,其他地区分布连片集中,整体性较好,而不安全及较安全等级分布较为零散,组团性较差。2010 年,以临界安全及较安全为主导,格网数分别为 407 个和 499 个,和 2000 年比较,较安全

等级的格网数增加了 418 个,主要集中呈现出从东北到西南的条状,变化较小格网集中东北部,由临界安全变化到较安全的格网主要是东南部及西部区域。2015 年,相较于 2000 年来说,不安全等级格网从 144 个变为 0 个,南昌市土地生态安全经历了从不安全到临界安全的总体趋势变化,格网数变化最多的是 647 个,由 2000 年最初的 81 个到 2015 年的 728 个。2010—2015 年,变化最明显的是临界安全等级的格网数,从 2010 年的 407 个到 2015 年的 6 个,5 年间减少了 401 个。

表 4 南昌市土地生态安全综合评价结果

年份	安全等级	评价分值区间	格网数/个	面积/hm ²	面积比例/%
2000	不安全	0~0.3	144	986.64	13.74
	临界安全	0.3~0.45	684	5525.57	76.96
	较安全	0.45~0.6	81	667.94	9.30
	合计		909	7180.15	100.00
2010	不安全	0~0.3	3	0.67	0.01
	临界安全	0.3~0.45	407	3201.31	44.59
	较安全	0.45~0.6	499	3978.18	55.41
	合计		909	7180.15	100.00
2015	临界安全	0.3~0.45	6	27.30	0.38
	较安全	0.45~0.6	728	5719.33	79.65
	安全	0.6~0.75	175	1433.52	19.97
	合计		909	7180.15	100.00

3.2 基于格网的时空评价结果与分析

如图 1 所示,从空间结构看,2000 年,南昌市土地生

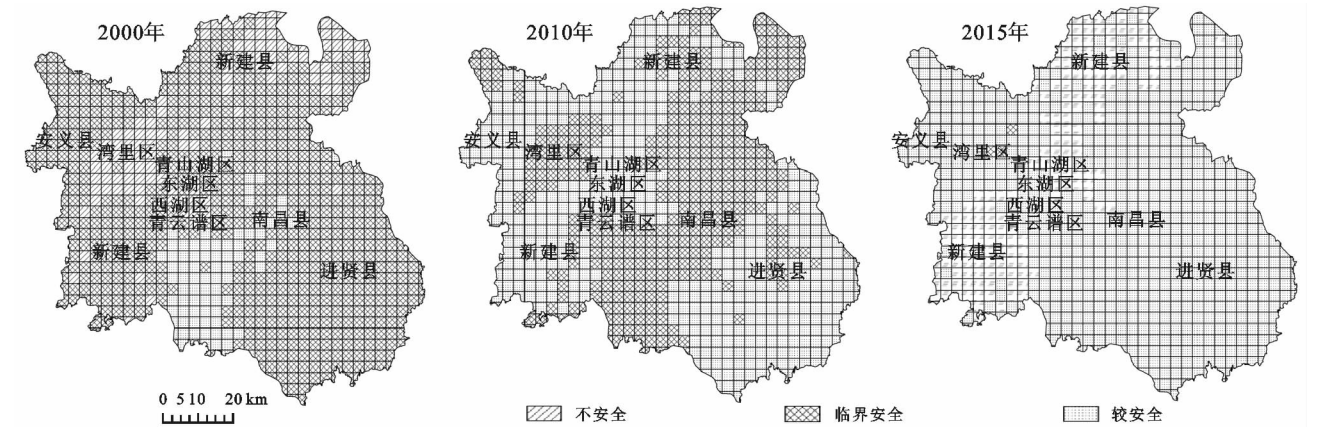


图 1 2000 年、2010 年、2015 年南昌市土地生态安全格局状况

3.3 生态安全分区及治理对策

从图 2 可以看出,2000—2015 年,南昌市土地生态安全分区以生态持平区为主,面积为 6 477. 03 hm²;其次生态恢复区面积为 693. 73 hm²;生态退化区最少面积为 9. 39 hm²。南昌县、进贤县、安义县全部及湾里区、青山湖区等都处于生态持平区,生态恢复区分区有新建、南昌北部湿地生态恢复区及东西湖城市生态恢复区。东西湖城市生态恢复区等作为南

态安全北部及中西部低、中南部高;2010 年南昌市中部较高,西南和东北方向较为平稳;2015 年南昌市整个市域较高,以中北部及西南部低。15 年间,南昌市土地生态安全空间格局变化大,变化最大的是北部及中西部,其次为东部为主,经历了 3 层等级逐渐向两层等级结构变化的趋势,内部差异性呈现出由大变小、由分散到聚集的空间演变规律。15 年间变化最明显的区域是位于东北部的,格网从不安全变为安全等级,中东部及西北部的格网区域,从临界安全等级变为安全等级,相对来说,西南部及中北部的格网变化情况最慢;2010—2015 年,东北到西南部的格网呈现出条状的空间变化趋势,由临界安全等级变为安全等级。

从行政区划看,2000 年不安全等级主要分布在新建县北部、湾里区、青山湖区、西湖区等,临界安全为安义县、新建县南部、南昌县北部、进贤县等,较安全集中在南昌县南部。2010 年临界安全主要是集中在南昌县、新建县北部、湾里区,安义县西北部等,较安全主要为进贤县、新建县中部及南部、青云谱区、青山湖区、安义县等,其中变化趋势最大的是青云谱区及青山湖区等。2015 年临界安全主要分布在湾里区的北部及中部,进贤县、南昌县、新建县东北部、安义县、青云谱区等处于较安全等级,安全等级主要集中在东湖区、青山湖区及新建县北部及南部区域,相较于 2010 年,变化最大的区域是新建县北部区域,从临界安全变为了安全等级。

昌市的主城区,早就转变经济发展模式,以第三产业发展为主,同时加速生产性服务业、生活性服务业的升级转变,同时加快老城区“旧城复兴”之路,统筹协调拆迁、改造、保留三者的关系,注重在保护特色红色资源的基础上,提高市民的生活环境,强化基础设施建设,在生态保护的理念下注重平稳发展;新建、南昌北部湿地生态恢复区以土地生态保护为主,禁止开发土地,加强湿地及生态保护区的保护。其他生态持平

区土地生态问题良好,要稳发展、重保护的理念,所以其要以绿色发展作为发展导向,优化三大产业结构布局,加大对区域水资源及湿地、生态保护区的保护;严格控制用地指标,清理闲置土地,针对部分南昌、进贤等农业强县要优化农业结构,提高技术水平,发展优势特色的现代种植业;加快旧城改造工程,提高绿地及森林覆盖率;加快编制村庄规划,严格加强农村建房审批及整治农村卫生情况,加快土壤污染及农田水利设施治理,减少农业面源污染,保护耕地资源。

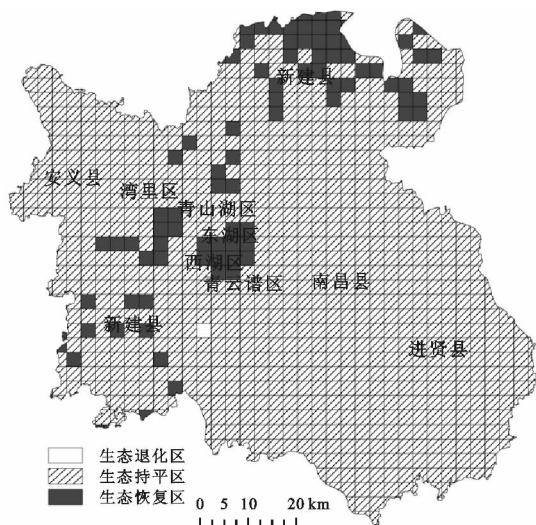


图2 2000—2015年南昌市土地生态安全分区

4 讨论与结论

4.1 讨论

从格网尺度分析土地生态安全时空分异规律,格网选取是 $3\text{ km}\times 3\text{ km}$ 尺度相对较大是否会弱化数据空间层面上可视化的差异性,有待进一步深入探讨;统计数据要考虑从乡镇尺度进行空间矢量化,会提高评价精度。限于指标的可获得性及有限性,指标体系是参考学者们研究而来,指标选取后并没有进行相关性分析,需对指标进行相关性分析,从研究区域出发选取具有区域性、特色性的指标。

基于3S技术对南昌市土地生态安全动态评价的基础上进行合理分区,对分区结果进行管控,为优化国土空间开发格局、构建国土全域保护格局及生态功能区综合整治提供重要信息;同时如何选取预警模型对该区域土地生态安全走势进行正确预测,是今后的趋势之一。

4.2 结论

(1) 时间上,15 a来,南昌市土地生态安全经历了以临界安全到以较安全为主的良好发展态势。其中,2010—2015年,临界安全等级和较安全等级5年间变化最大,绿色崛起战略及打造生态文明建设“江西样板”是

“十二五”生态安全状况快速好转的主要驱动力。

(2) 时空分异上,从分散逐渐呈现出同一等级集中连片性的空间规律。2000年北部及中西部低、中南部高;2010年中东部较高,西南和东北方向较为平稳;2015年南昌市整体较高,中北部及西南部低。

(3) 分区上,生态持平区面积最广,生态恢复区则是小区域成片集中。南昌县、进贤县、安义县全部及湾里区、青山湖区等都处于生态持平区,生态恢复区有新建县北部湿地生态恢复区及东西湖城市生态恢复区。

参考文献:

- [1] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].地理科学进展,2014(4):441-446.
- [2] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-358.
- [3] 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.
- [4] 曲格平.关注生态安全之二:影响中国生态安全的若干问题[J].环境保护,2002(7):3-6.
- [5] 刘心竹,米锋,张爽,等.基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价[J].生态学报,2014,34(11):3115-3127.
- [6] 张祥义,许皞,刘名冲,等.基于熵权物元模型的耕地生态安全评价研究:以河北省肥乡县为例[J].土壤通报,2014,45(1):18-23.
- [7] 解雪峰,吴涛,肖翠,等.基于PSR模型的东阳江流域生态安全评价[J].资源科学,2014,36(8):1702-1711.
- [8] Lu X, Zhang J, Li X. Geographical information system-based assessment of ecological security in Changbai Mountain region[J]. Journal of Mountain Science, 2014,11(1):86-97.
- [9] Su S, Li D, Yu X, et al. Assessing land ecological security in Shanghai (China) based on catastrophe theory[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2011, 25(6):737-746.
- [10] Yu G, Zhang S, Yu Q, et al. Assessing ecological security at the watershed scale based on RS/GIS: a case study from the Hanjiang River Basin[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2014, 28(2):307-318.
- [11] 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.
- [12] 杨人豪,杨庆媛,曾黎,等.基于BP-ANN模型的农村土地生态安全评价及影响因素分析:以重庆市丰都县为例[J].水土保持研究,2017,24(3):206-213.
- [13] Gong W, Wang H, Wang X, et al. Effect of terrain on landscape patterns and ecological effects by a gradient-based RS and GIS analysis[J]. Journal of Forestry Research, 2017,28(4):1-12.

- 偿差异分析[J]. 地理学报, 2015, 70(12): 1897-1910.
- [8] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [9] Rönnerbäck P. The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 235-252.
- [10] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 293-301.
- [11] Polasky S, Nelson E, Pennington D, et al. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(2): 219-242.
- [12] Kozak J, Lant C, Shaikh S, et al. The geography of ecosystem service value: the case of the des Plaines and Cache River Wetlands, Illinois[J]. *Applied Geography*, 2011, 31(1): 303-311.
- [13] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [14] 陈阳, 张建军, 杜国明, 等. 三江平原北部生态系统服务价值的时空演变[J]. *生态学报*, 2015, 35(18): 6157-6164.
- [15] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(12): 3311-3319.
- [16] 涂小松, 龙花楼. 2000—2010 年鄱阳湖地区生态系统服务价值空间格局及其动态演化[J]. *资源科学*, 2015, 37(12): 2451-2460.
- [17] 魏慧, 赵文武, 张骁, 等. 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价: 以山东省德州市为例[J]. *生态学报*, 2017, 37(11): 3830-3839.
- [18] 李全, 李腾, 杨明正, 等. 基于梯度分析的武汉市生态系统服务价值时空分异特征[J]. *生态学报*, 2017, 37(6): 2118-2125.
- [19] 夏涛, 陈尚, 张涛, 等. 江苏近海生态系统服务价值评估[J]. *生态学报*, 2014, 34(17): 5069-5076.
- [20] 李根明, 董治宝, 孙虎, 等. 豫北平原近 25 年来生态服务价值研究[J]. *环境科学研究*, 2010, 23(9): 1136-1141.
- [21] 刘海, 殷杰, 林苗, 等. 基于 GIS 的鄱阳湖流域生态系统服务价值结构变化研究[J]. *生态学报*, 2017, 37(8): 2575-2587.
- [22] 赵敏敏, 周立华, 王思源. 生态政策对库布齐沙漠土地利用格局及生态系统服务价值的影响[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(2): 252-258.
- [23] 曾杰, 李江风, 姚小微. 武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(3): 883-891.
- [24] 熊善高, 万军, 龙花楼, 等. 重点生态功能区生态系统服务价值时空变化特征及启示: 以湖北省宜昌市为例[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1): 296-302.
- [25] 张兴榆, 黄贤金, 赵小凤. 江苏省沿海地区土地利用变化的生态系统服务价值核算[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(1): 252-256.
- [26] 郭荣中, 杨敏华. 长株潭地区生态系统服务价值分析及趋势预测[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(5): 238-246.



(上接第 249 页)

- [14] Wang H, Long H, Li X, et al. Evaluation of changes in ecological security in China's Qinghai Lake Basin from 2000 to 2013 and the relationship to land use and climate change[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 72(2): 341-354.
- [15] Liu Jiuyan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [16] 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.
- [17] 余文波, 蔡海生. 区域生态安全预警评价研究进展[J]. *中国国土资源经济*, 2017, 30(3): 52-58.
- [18] 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.
- [19] 南颖, 吉喆, 冯恒栋, 等. 基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价[J]. *生态学报*, 2013, 33(15): 4790-4798.
- [20] 李建春, 袁文华. 基于 GIS 格网模型的银川市土地生态安全评价研究[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 988-1001.
- [21] 马世五, 谢德体, 张孝成, 等. 三峡库区生态敏感区土地生态安全预警测度与时空演变: 以重庆市万州区为例[J]. *生态学报*, 2017, 37(24): 1-14.
- [22] 吕建树, 吴泉源, 张祖陆, 等. 基于 RS 和 GIS 的济宁市土地利用变化及生态安全研究[J]. *地理科学*, 2012, 32(8): 928-935.
- [23] 林佳, 宋戈, 宋思铭. 景观结构动态变化及其土地利用生态安全: 以建三江垦区为例[J]. *生态学报*, 2011, 31(20): 5918-5927.
- [24] 蔡海生, 刘木生, 李凤英, 等. 生态环境脆弱性静态评价与动态评价[J]. *江西农业大学学报*, 2009, 30(1): 149-155.