

基于GIS格网模型的广州市土地生态安全格局演化

聂嘉琦¹, 刘光盛^{1,2,3}, 池杰⁴

(1. 华南农业大学公共管理学院, 广州 510640; 2. 自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室, 广州 510700; 3. 广东省粤港澳大湾区地理科学数据中心, 广州 510700; 4. 山东建筑大学设计集团有限公司, 济南 250000)

摘要:以公里格网为评价单元,构建基于PSR-NES(压力-状态-响应和经济-环境-社会)模型的土地生态安全测度指标体系,运用突变级数法动态识别2010—2020年广州市土地生态安全格局。结果表明:广州土地生态安全水平空间异质性较为明显,整体呈现“中间低,四周高”的分布格局;2010—2020年,广州市土地生态安全水平先下降后提高,其中,北部生态涵养区土地生态安全水平呈下降趋势,南部生态调节区土地生态安全状况逐渐好转,中部建成区土地生态安全状况不容乐观。未来城镇扩张应尽量避免侵占土地生态安全水平较高的区域,可通过分区治理,科学布局生产、生活、生态空间,优化产业结构,加强生态用地保护力度等措施持续改善土地生态安全状况。

关键词:土地生态安全; GIS(地理信息系统)格网; 突变级数法; 空间分异; 广州市

中图分类号: X321 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)03-0216-07

土地生态安全是指在一定时空范围内,土地生态系统能够保持其结构和功能不受或少受威胁并且能够持续满足人类生存和发展需求的状态^[1],是生态文明国家战略背景下国家和区域安全在国土空间范畴上的重要内容^[2]。人口激增、工业化和城镇化进程的快速推进使得人、地、资源环境三者间冲突加剧,造成了生态环境恶化、土地滥用和退化等一系列生态问题^[3-4],威胁土地生态系统安全,导致不可持续的区域发展和人与自然的失衡^[5]。目前,中国正处于生态环境质量转型关键期,系统分析土地生态安全格局变化对维持生态系统稳定、优化国土空间格局、促进经济社会可持续发展具有重要意义。土地生态安全源于生态安全研究。20世纪中期,Leopold^[6]首次提出“土地健康”概念。自此,关于土地生态系统研究不断增多^[7],围绕生态系统服务价值、土地可持续利用、土地生态系统健康与诊断^[8-10]、土地生态安全评价等内容,聚焦于土地、土壤、环境和生态系统等综合层面^[11]。其中,土地生态安全评价研究主要从研究尺度、指标体系构建、研究方法3个方面开展^[7]。研究尺度分为时间和空间尺度。时间尺度包括静态^[12]与动态^[13];空

间尺度主要包括省域^[14]、市域^[15]等行政区尺度,河流流域^[16]、重点经济带^[17]、石漠化区^[18]等特殊区域尺度。评价指标体系是土地生态安全定量评价的基础,也是土地生态安全评价的准绳和关键^[19]。对土地生态安全的定义不同,评价指标体系也会有所不同。目前,土地生态安全评价指标体系构建存在两种类型:一是基于宏观层面综合评价指标体系进行评价,主要通过PSR(压力-状态-响应)^[20]、EES(经济-环境-社会)^[21]、DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)^[22]等模型构建;二是基于遥感影像的特征指标进行评价,常采用生态足迹模型进行构建以准确反映整体状况^[23]。为了确定上述指标重要性及其权重,常用综合指数法^[24]、物元模型法^[25]、TOPSIS(逼近理想解排序)法^[26]等评价方法。已有研究丰富了土地生态安全内容,但仍存在进一步完善空间。①已有研究主要以市、县等行政区作为评价单元,难以精确化表达测度结果,不利于自然资源管理政策的精细化实施;②针对土地生态安全格局空间分异演化规律的研究探讨较少;③评价指标框架多通过单一模型构建,难以反映各子系统内部要素间的联系;④评价过程对权重依赖较大,结果难以客观。

收稿日期: 2023-10-22

基金项目: 国家社会科学基金(19BGL228)

作者简介: 聂嘉琦(1999—),女,广东肇庆人,硕士研究生,研究方向为土地可持续利用;通信作者刘光盛(1989—),男,广东韶关人,副教授,博士,研究方向为土地利用优化配置;池杰(1998—),男,山东济南人,助理工程师,研究方向为土地资源管理。

广州市是国家中心城市,重要的城镇发展和生态保护区。改革开放以来,城镇范围持续扩大,人口不断聚集,土地生态系统承载力约束加剧,土地生态安全面临很大的威胁^[27],土地生态安全格局亟待优化。新型城镇化背景下,广州市的发展仍面临着承载能力有限、治理任务艰巨等现实状况,在经济发展与资源环境保护矛盾突出的背景下,深入分析评价土地生态安全状况对广州市生态文明建设具有重要的现实意义。基于此,现以广州市为例,以 1 km×1 km 格网为基本单元,构建基于 PSR(压力-状态-响应)和 NES(自然-经济-社会)模型的指标体系,运用突变级数法动态测度土地生态安全格局,并提出优化建议,为促进土地资源合理利用、维护土地生态系统平衡、优化国土空间格局提供依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

广州位于广东省中南部,东经 112°57′~114°03′,北纬 22°26′~23°56′,面积为 7 434.40 km²,属海洋性亚热带季风气候,具有温暖多雨、光热充足等特征,素有“花城”之称。伴随粤港澳大湾区的建立,广州面临着较大的资源环境压力,对生态环境产生较大的威胁,亟待优化土地生态安全格局。因此选取广州作为研究具有一定的典型性。

1.2 数据来源与处理

数据包括空间数据和社会经济数据两部分。空间数据包括土地利用数据和 DEM(数字高程模型)数据,其中,土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心,包括 2010 年、2015 年、2020 年三期土地利用覆被数据;DEM 数据来源于地理空间数据云网站。社会经济数据主要来源于 2010—2020 年广州统计年鉴、广东农村统计年鉴、广州市各区统计年鉴,各区国民经济和社会发展统计公报。

利用 ArcGIS10.3 软件中的创建渔网工具生成 1 km×1 km 的评价单元。为使数据尺度统一,将社会经济数据以及土地数据进行尺度转换,通过数据空间重构统一转换到格网单元。为消除指标量纲的影响,使数据具有可比性,采用极差标准化方法进行归一化处理,计算方法为

$$\text{正向指标: } H_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

$$\text{逆向指标: } H_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

式中: H_{ij} 为第 i 格网内第 j 项指标的归一化值; x_{ij}

为第 i 个格网内第 j 项指标的实际值; $\min x_{ij}$ 、 $\max x_{ij}$ 分别为整个区域内第 j 项指标的最小值和最大值。

2 研究方法

2.1 评价指标体系构建

PSR 模型最初由加拿大统计学家 Rapport 和 Friend^[28]提出,后广泛应用于生态系统健康评价等方面研究^[15,20]。其中,压力指标表示土地生态系统承受人类各种生产、生活活动对其造成的压力^[29];状态指标反映土地生态系统所处的现状;响应指标表征人类为阻止生态系统恶化所做的努力。NES 概念模型认为土地生态系统受自然、经济、社会因素的共同影响。其中,自然因素是保障土地生态安全的前提和约束;经济因素是土地生态安全的动力条件和发展的有力支撑^[30];社会因素是促进土地生态安全健康持续发展的重要条件。结合研究区土地生态状况和社会经济发展水平,遵循科学性、动态性、可操作性等原则选取 21 个指标,通过两种模型的组合建立市域土地生态安全评价指标体系,该指标体系自上而下分为目标层、准则层、因素层以及指标层。从指标对土地生态系统的影响效应来看,该指标体系包含 8 个逆向指标,13 个正向指标。采用相对客观的熵权法确定各指标权重(表 1)。

2.2 突变级数法

突变级数法是基于突变理论而形成的且主要用于研究不连续变化现象的综合评价方法^[31],其原理在于落在分叉集内的控制变量的取值会使得评价对象的状态发生突变,适用于内部层次结构复杂的系统^[27,32]。土地生态系统具有结构复杂、动态变化的特点,系统的持续变化会引发非稳定状态的突变现象。因此,采用突变级数法构造评价模型,对广州市土地生态安全状况进行综合评价,过程如下。

(1)根据评价目的,将总目标按照递阶结构进行多层次分解。不同层次指标间相互联系,最下层指标可以直接量化,确定指标体系后,根据指标重要性大小,将同一层次、同一特性的指标进行排序。

(2)确定各个层次的突变模型。突变模型由状态变量和控制变量构成,按照状态变量分解个数的不同,突变模型主要分为折叠模型、尖点模型、燕尾模型以及蝴蝶模型 4 种(表 2)。

(3)进行归一化综合评价。突变模型主要通过势函数 $D(x)$ 来揭示研究对象内部特征,根据突变理论,分别对势函数进行一阶以及二阶求导,得到

分歧点集方程。其中,一阶导数的集合称为奇点集,满足奇点集的点的集合构成平衡曲面,当控制变量满足分歧点集方程时,土地生态系统就会发生突变。通过对分歧点集方程进行变换处理,得到不同模型的归一化公式,利用归一化公式进行量化计算,逐级汇总得到各个层次的隶属函数值,若同一属性控制变量间存在明显关联,则按照求取控制变量平均值的方式汇总,否则按照求取控制变量最小

值的方式汇总。

2.3 分级标准确定

由于运用突变级数法求得的综合指数较高,常规的等分方法很难确定合理的标准范围。参考相关学者的研究成果^[31],按照等分原理,将广州市土地生态安全评价级别分为 5 级,分别将 0.2、0.4、0.6、0.8、1 变换为突变模型下的隶属度值,确定土地生态安全评价标准(表 3)。

表 1 广州市土地生态安全评价指标体系及指标权重

目标层	准则层	因素层	指标层	单位	属性	权重
广州市土地生态安全 A	压力 P	自然 N ₁	单位耕地化肥施用量 D ₁	kg/hm ²	逆向	0.022
			单位耕地农药施用量 D ₂	kg/hm ²	逆向	0.016
			土地垦殖率 D ₃	%	正向	0.078
		经济 E ₁	工业增加值占 GDP 比重 D ₄	%	逆向	0.069
			建设用地面积比重 D ₅	%	逆向	0.056
		社会 S ₁	人口密度 D ₆	人/km ²	逆向	0.019
			人口增长率 D ₇	% ₀	逆向	0.017
			城镇化率 D ₈	%	逆向	0.014
	状态 S	自然 N ₂	森林覆盖率 D ₉	%	正向	0.060
			水域比重 D ₁₀	%	正向	0.095
		经济 E ₂	单位 GDP 能耗 D ₁₁	吨标准煤/万元	逆向	0.058
			经济密度 D ₁₂	万元/ km ²	正向	0.097
		社会 S ₂	人均耕地面积 D ₁₃	hm ² /人	正向	0.027
			人均公共绿地面积 D ₁₄	m ² /人	正向	0.021
			建成区绿化覆盖率 D ₁₅	%	正向	0.017
	响应 R	自然 N ₃	有效灌溉面积占耕地比重 D ₁₆	%	正向	0.014
			造林更新面积 D ₁₇	hm ²	正向	0.108
		经济 E ₃	第三产值比重 D ₁₈	%	正向	0.042
			地均固定资产投资 D ₁₉	万元/km ²	正向	0.066
		社会 S ₃	新增耕地除涝面积占易涝面积比重 D ₂₀	%	正向	0.061
			环保投入占 GDP 比重 D ₂₁	%	正向	0.043

表 2 一维状态变量的突变模型

突变模型	势函数	分歧点集方程	归一化公式
折叠模型	$D(x) = x^3 + ax$	$a = -3x^2$	$x_a = a^{1/2}$
尖点模型	$D(x) = x^4 + ax^2 + bx$	$a = -6x^2, b = 8x^3$	$x_a = a^{1/2}, x_b = b^{1/3}$
燕尾模型	$D(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 + cx$	$a = -6x^2, b = 8x^3, c = -3x^4$	$x_a = a^{1/2}, x_b = b^{1/3}, x_c = c^{1/4}$
蝴蝶模型	$D(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}ax^4 + \frac{1}{3}bx^3 + \frac{1}{2}cx^2 + dx$	$a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 4x^5$	$x_a = a^{1/2}, x_b = b^{1/3}, x_c = c^{1/4}, x_d = d^{1/5}$

表 3 广州市土地生态安全分级标准及含义

安全级别	分级标准	含义
不安全	[0,0.921)	土地生态系统结构不完整,人类生产活动干扰程度严重,生态服务功能退化严重,系统恢复困难
敏感	[0.921,0.954)	土地生态系统结构破坏较严重,人类生产活动干扰程度较大,生态服务功能退化,系统恢复比较困难
临界安全	[0.954,0.974)	土地生态系统结构变化较大,人类生产活动干扰程度一般,生态服务功能得到基本维持,系统受干扰后不易恢复
较安全	[0.974,0.988)	土地生态系统结构比较完整,受到一定程度人类生产活动干扰,生态服务功能良好,系统受干扰后一般可自行恢复
安全	[0.988,1.000]	土地生态系统结构完整,较少受到人类生产活动干扰,生态服务功能显著,系统恢复力较强

3 结果分析

3.1 土地生态安全格局总体特征分析

图 1 显示,广州市土地生态安全格局空间分异明显,呈现区域集聚与分层特征。中部城区(以越秀区、海珠区、荔湾区、天河区、白云区西南部、黄埔区中南部为主)是重要的生产、生活空间,人口分布密集,以不安全和敏感级为主,土地生态安全水平较低,不安全级别规模持续增加,是应该重点优化发展的区域。北部山区(以从化区东北部、增城区和花都区北部为主)是广州市重要的生态屏障,开发程度较低,以安全和较安全级别为主,土地生态安全状况良好,但安全级别面积不断减少,随着旅游产业的发展,其生态环境面临一定程度的威胁,是加强管制的重点区域。番禺区、增城区中南部、花都区中部以及白云区西部区域经济发展较快,城镇范围不断增大,以临界安全和敏感级为主,土地生态安全状况不容乐观。南沙区和白云区东部以较安全和临界安全级别为主,土地生态安全状况总体较好,受到的生态威胁程度较小。城镇周围、工业区域安全级别较低,生态涵养区、农业集聚区安全级别较高,综合指数呈现出“中间低,四周高”的特点。中部城镇经济发展水平较高,土地开发强度较大,人口与产业聚集特征明显,对生态环境造成一定程度破坏,威胁土地生态安全。城镇化在提高人们生活水平的同时,也造成了区域土地生态系统结构不完整、功能不可逆转等影响,协调经济发展与生态保护之间的关系,加强重点生态保护区监管将对提升广州市土地生态安全水平具有现实意义。

3.2 土地生态安全格局演化特征分析

由表 4 可知,2010—2015 年,广州市土地生态水平总体下降,不安全和敏感级面积增加了 2.46%,安全级面积减少了 5.11%。其中,番禺区不安全级面积增加了 34.87%,越秀区敏感级面积增加了 15.71%,增城区安全级面积减少了 26.35%。黄埔区土地生态安全状况明显改善,南部由不安全级向敏感级转变,中北部由敏感级向较安全级转变。“十二五”规划期间,黄埔区积极推进产业结构转型,稳步增加环保投入,加强了对生态用地的保护,土地集约化水平不断提升,生态安全水平显著提升。北部区域土地生态水平下降明显,其中,从化区东北部生态涵养区安全级别减少,北部区域临界安全级别增加;增城区北部不安全和较安全级别减少较多,向临界安全级别过渡,土地生态安全状况变差,北部区域整体生态效应弱化,生态管控意识薄弱以及快速发展的旅游产业导致建设用地增加较多,区域生态服务功能退化,生态环境遭到一定破坏。番禺区整体土地生态安全状况变差,不安全和敏感级别由 2010 年的 49.03% 提高到 90.41%,近年来,番禺区经济增长较快,二、三产业规模增加较多,土地开发利用程度增大,森林、水域等生态用地面积减少,生产活动对生态环境造成较大干扰,土地生态安全水平下降明显。南沙区土地生态安全水平提升明显,不安全级别和敏感级面积减少了 6.39%,临界安全级别向较安全级别过渡较多,中部农业集聚区生态安全状况改善明显。白云区东部以林地为主,但土地生态安全水平显著降

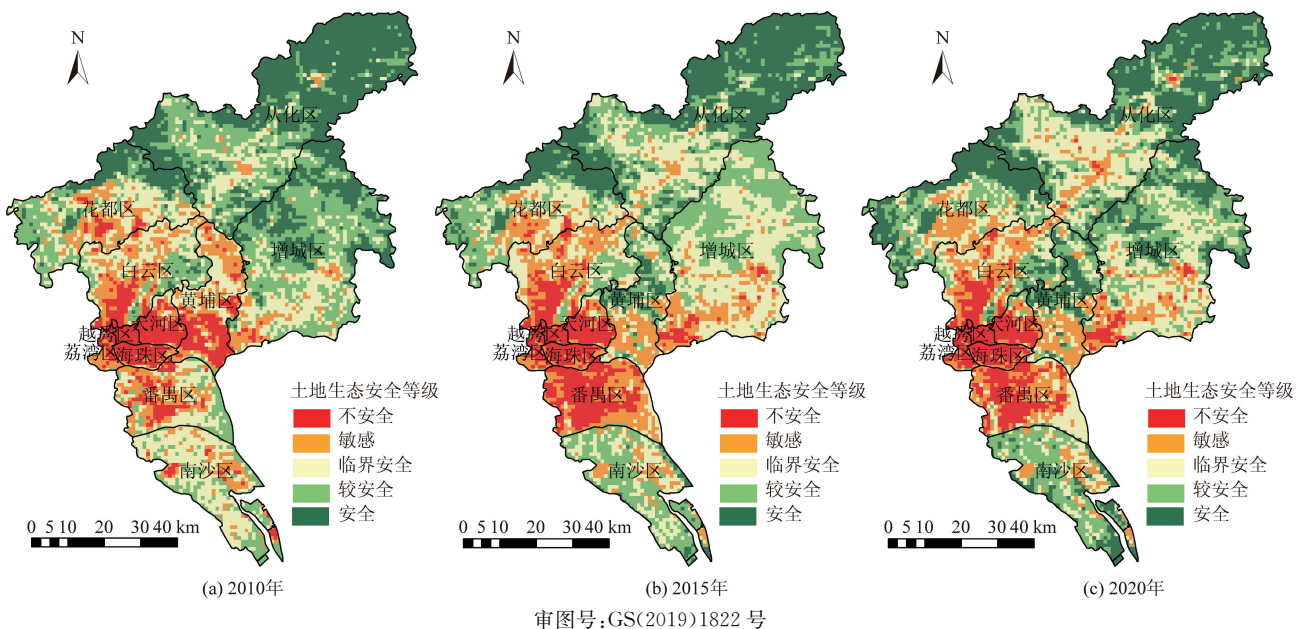


图 1 2010 年、2015 年、2020 年广州市土地生态安全格局

表 4 2010 年、2015 年、2020 年广州市各区土地生态安全等级分布比例

年份	等级	占比/%											
		白云区	从化区	番禺区	海珠区	花都区	黄埔区	荔湾区	南沙区	天河区	越秀区	增城区	全市
2010	不安全	13.70	0.00	16.20	83.70	3.74	31.87	44.11	3.79	70.87	99.94	0.66	8.77
	敏感	30.26	1.63	32.83	15.24	17.34	37.19	52.09	16.08	16.84	0.02	6.81	14.43
	临界安全	31.69	12.39	32.07	1.06	28.54	31.94	2.18	51.98	11.56	0.04	22.09	24.56
	较安全	21.64	28.29	18.90	0.00	28.82	0.00	1.62	28.16	0.73	0.00	44.08	27.47
	安全	2.71	57.69	0.00	0.00	21.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.35	24.77
2015	不安全	19.20	0.00	51.08	78.15	1.65	0.00	59.15	0.00	66.38	84.27	3.28	9.50
	敏感	35.85	2.54	39.33	20.80	14.81	29.40	37.77	13.47	18.78	15.73	13.79	16.16
	临界安全	31.01	20.21	9.59	1.05	27.39	21.42	1.47	29.99	9.19	0.00	45.15	27.29
	较安全	13.93	25.56	0.00	0.00	29.41	27.97	1.62	50.56	5.64	0.00	37.79	27.39
	安全	0.00	51.69	0.00	0.00	26.74	21.21	0.00	5.98	0.00	0.00	0.00	19.65
2020	不安全	18.30	0.56	39.74	84.67	0.00	0.00	68.20	0.00	58.74	99.97	4.08	8.81
	敏感	32.56	5.65	33.77	14.26	14.59	27.96	29.30	13.17	24.39	0.01	11.94	15.61
	临界安全	26.96	26.50	26.08	1.08	19.51	18.74	0.88	20.69	6.13	0.02	34.21	25.20
	较安全	16.47	23.19	0.41	0.00	27.64	22.29	1.62	45.17	9.95	0.00	31.00	24.44
	安全	5.71	44.10	0.00	0.00	38.26	31.02	0.00	20.97	0.79	0.00	18.77	25.94

低,由安全和较安全级别向临界级别转变。增城区整体土地生态安全状况变差,其中,安全和较安全级别减少了 32.64%,西南城镇范围不断扩大,不安全和敏感级别面积增加。花都区不安全和敏感级别面积减少了 4.61%,中部城区土地生态安全状况改善,“十二五”期间花都区加大了对生态环境的治理力度,环保投入增加,有序治理关闭污染企业,产业转型效果明显,加强生态保护区域管控力度,生态安全水平提升效果明显。

“十三五”期间,广州市土地生态安全水平略有提升。2020 年广州市安全与较安全级面积占比 50.38%,比 2015 年增加了 3.34%,其中,增城区安全级面积增加了 18.77%。不安全与敏感级减少了 1.05%。北部区域土地生态安全水平提升显著,但区域差异明显。其中,从化区东北部安全级别减少,较安全级别增加,且城镇区域由临界安全级别向敏感级别过渡;增城区北部区域安全级别显著增加,临界安全级别减少,但增城区西南区域不安全级面积持续增加,且有向东扩展趋势,随着城镇化进程的进一步提升,其建成区范围不断增大,成为新的发展引擎,城镇化进程的持续加快使得区域土地利用覆被发生较大改变,人类对生态环境的干扰程度较大,致使土地生态系统结构失衡,生态环境恶化。番禺区土地生态安全状况略有改善,总体上仍以不安全和敏感级为主,占比达到 73.51%,东部农业区临界安全级别增加,土地生态安全水平提升。白云区东部、黄埔区北部是重要的生态屏障区。近年来,政府通过增加环保投入、推进人工造林工程等措施改善生态环境,该区域土地生态安全

水平显著提升,安全和较安全级面积增加,临界安全级面积减少。南沙区土地生态安全水平稍有提升,安全级面积增加了 14.99%,主要集中在南部沿海区域,中部农业集聚区以较安全级别为主,土地生态安全状况总体较好。近年来,南沙区加强了对生态区域的监管,通过积极发展碳汇经济,加强区域生态修复及治理项目建设,加大构建生态涵养区、景观保护区和城市绿网区等生态绿化网络,通过建设美丽乡村、落实生态补偿机制等措施改善生态状况。

4 结论与讨论

从微观角度出发,以公里级格网为评价单元,通过 PSR-NES 模型构建土地生态安全评价指标体系,结合突变级数法分析了 2010—2020 年广州市土地生态安全格局时空演变特征,得到以下结论。

(1)广州市土地生态安全水平区域异质性较为明显,整体呈现“中间低,四周高”的分布格局。

(2)2010—2020 年,广州市土地生态安全水平先下降后提高,整体呈现“U”形变化,空间分异明显。其中,北部生态涵养区土地生态安全水平呈下降趋势,南部生态调节区土地生态安全状况逐渐好转,中部建成区土地生态安全状况不容乐观。

(3)针对广州市土地生态安全水平区域差异明显的现状,应实施分区治理策略,并通过科学布局生产、生活、生态空间,优化国土空间开发格局,优化产业结构,加强生态用地保护力度来持续改善土地生态安全状况。

对广州市土地生态安全时空分布格局演变特征进行分析研究,对促进该区域绿色发展、推动生

态文明建设进程具有一定的意义。但受限于数据获取的影响,构建的指标体系未能考虑区域生态保护政策、公众生态认知水平等因素。因此,在未来的研究中,构建更加全面的指标体系并建立土地生态安全预警机制将有利于区域土地生态安全状况的改善。

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] 王浩, 马星, 杜勇. 基于生态系统服务重要性和生态敏感性的广东省生态安全格局构建[J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1705-1715.
- [3] 陆燕花, 闫丽娟, 李广, 等. 基于能值生态足迹模型的北方农牧交错带定西市生态安全评价[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(2): 257-265.
- [4] 潘越, 龚健, 杨建新, 等. 基于生态重要性和 MSPA 核心区连通性的生态安全格局构建: 以桂江流域为例[J]. 中国土地科学, 2022, 36(4): 86-95.
- [5] 姚材仪, 何艳梅, 程建兄, 等. 岷江流域生态安全格局评价与优化: 基于最小累积阻力模型和重力模型[J]. 生态学报, 2023, 43(17): 7083-7096.
- [6] LEOPOLD A. A Sand County almanac, and sketches here and there[M]. New York: Oxford University Press, 1949.
- [7] 李昊, 李世平, 银敏华. 中国土地生态安全研究进展与展望[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(9): 50-56.
- [8] TAYE F A, FOLKERSEN M V, FLEMING C M, et al. The economic values of global forest ecosystem services: a meta-analysis[J]. Ecological Economics, 2021, 189: 107145.
- [9] LUCAS J S, SOUZA D R J N, QUILICI A P C, et al. Grain-cropping suitability for evaluating the agricultural land use change in Brazil[J]. Applied Geography, 2023, 154: 102937.
- [10] SADEGHI S H, CHAMANI R, SILABI M Z, et al. Watershed health and ecological security zoning throughout Iran[J]. Science of the Total Environment, 2023, 905: 167123.
- [11] 熊建华. 土地生态安全评价研究回顾、难点与思考[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34(6): 71-76.
- [12] 王一山, 张飞, 陈瑞, 等. 乌鲁木齐市土地生态安全综合评价[J]. 干旱区地理, 2021, 44(2): 427-440.
- [13] 王洋, 董晓光, 王海帆, 等. 基于 PSR-TOPSIS 模型的郑州市土地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 河南农业大学学报, 2020, 54(5): 845-852.
- [14] 韦宇婵, 张丽琴. 河南省土地生态安全警情时空演变及障碍因子[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 238-246.
- [15] 张楠楠, 石水莲, 李博, 等. 基于“压力-状态-响应”模型的土地生态安全评价及预测: 以沈阳市为例[J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 28-35.
- [16] 郭利刚, 冯珍珍, 刘庚, 等. 基于物元模型的汾河流域土地生态安全评价[J]. 生态学杂志, 2020, 39(6): 2061-2069.
- [17] WANG N, LI S, KANG Q, et al. Exploring the land ecological security and its spatio-temporal changes in the Yangtze River Economic Belt of China, 2000-2020[J]. Ecological Indicators, 2023, 154: 110645.
- [18] WEN X, LIU T, WANG Z. Assessment of ecological security risk in rocky desertification area based on land-use change model[J]. Ecological Indicators, 2023, 156: 111000.
- [19] 张小虎, 雷国平, 袁磊, 等. 黑龙江省土地生态安全评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(1): 88-93.
- [20] 陕永杰, 魏绍康, 苗圆, 等. 基于 PSR-TOPSIS 模型的“晋陕豫黄河金三角”地区土地生态安全评价[J]. 生态经济, 2022, 38(7): 205-211.
- [21] 李子君, 王硕, 马良, 等. 基于熵权物元模型的沂蒙山区土地生态安全动态变化及其影响因素研究[J]. 土壤通报, 2021, 52(2): 425-433.
- [22] 王文萱, 李明孝. 基于 DPSIR 的湖南省土地生态安全时空变化[J]. 生态学杂志, 2020, 39(8): 2724-2736.
- [23] CHENG C, LIU Y, CHEN Y, et al. Diagnosing cropland's allowable range and spatial allocation in China's typical mountainous plateau area: an evaluation framework based on ecological carrying capacity[J]. Science of the Total Environment, 2019, 685: 1255-1268.
- [24] 张艳, 胡征南, 周浩浩, 等. 黄河干流沿线陕西段土地生态安全时空分布特征[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 258-267.
- [25] 梁睿, 黄义忠, 牟禹恒, 等. 基于物元分析的瑞丽市土地生态安全评价及障碍因素诊断[J]. 西南农业学报, 2022, 35(10): 2436-2444.
- [26] 杨兆青, 陆兆华, 刘丹, 等. 煤炭资源型城市生态安全评价: 以锡林浩特市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(1): 280-289.
- [27] ZHAO L, LIU G, XIAN C, et al. Simulation of land use pattern based on land ecological security: a case study of Guangzhou, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(15): 9281.
- [28] RAPPORT D J, FRIEND A M. Towards a comprehensive framework for environmental statistics: a stress-response approach[R]. Ottawa: Statistics Canada, 1979.
- [29] 刘志有, 曲秀武, 魏冉, 等. 生态文明视角下的伊犁河谷绿洲土地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 137-143.
- [30] 杨嘉怡, 曾旗. 基于组合模型的煤炭城市生态安全预警研究: 以焦作市为例[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(3): 113-119.
- [31] 许秀娟, 梁春阁. 基于改进突变级数法的社区养老服务设施空间布局评价及障碍因子诊断: 以广州市为例[J].

科技和产业, 2021, 21(11): 283-290.

[32] 郭宇伦, 师学义, 璩路路, 等. 基于 PSR-CPM 模型的市

域土地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4):

108-112.

Evolution of Land Ecological Security Pattern in Guangzhou City Based on GIS Grid Model

NIE Jiaqi¹, LIU Guangsheng^{1,2,3}, CHI Jie⁴

(1. School of Public Administration, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China;

2. Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China,
Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510700, China;

3. Guangdong Geographical Science Data Center, Guangzhou 510700, China;

4. Shandong Jianzhu University Design Group Co., Ltd., Jinan 250000, China)

Abstract: Taking the kilometer grid as the evaluation unit, a land ecological security measurement index system is constructed based on the PSR-NES(pressure-state-response and economy-environment-society) model, and the catastrophe progression method is used to measure the land ecological security status of Guangzhou from 2010 to 2020. The results showed that the spatial heterogeneity of the land ecological security level in Guangzhou is relatively obvious, which shows the overall distribution pattern is “low in the middle and high around”. From 2010 to 2020, the level of land ecological security in Guangzhou declined first and then improved, among which, the level of land ecological security in the northern ecological conservation area showed a downward trend, the situation of land ecological security in the southern ecological adjustment area gradually improved, and the situation of land ecological security in the central built-up area was not optimistic. The development of cities and towns should try to avoid encroaching on areas with a high level of land ecological security, measures such as zoning management, scientific layout of production, living, and ecological spaces, optimization of industrial structure, and strengthening of ecological land protection should be adopted to continuously improve the ecological security of land.

Keywords: land ecological security; GIS(geographic information system) grid; catastrophe progression method; spatial differentiation; Guangzhou City