

基于 CRITIC-TOPSIS 模型的浮梁县土地生态安全时空分异及其障碍因素分析

么泽恩¹ 蔡海生^{2,3} 张学玲^{1,3} 曾珩⁴ 邵晖⁴¹

(1. 江西农业大学 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室,

江西 南昌 330045;2. 江西旅游商贸职业学院, 江西 南昌 330100;

3. 江西农业大学 富硒农业产业发展研究中心,

江西 南昌 330045;4. 江西省土地开发整理中心, 江西 南昌 330002)

【摘要】: 以江西省浮梁县为研究区域, 基于土地利用数据与社会经济数据, 从自然条件、人类活动、景观格局 3 个方面构建评价体系, 采用 CRITIC-TOPSIS 模型研究 2000~2018 年浮梁县土地生态安全的时空分异状况, 并通过障碍度模型, 分析影响浮梁县土地生态安全的主要障碍因素。研究表明: (1)2000~2018 年浮梁县土地生态安全水平呈现小幅度下降的态势, 在具体历程上经历了从较好到恶化再到恢复向好的一个过程。(2)浮梁县各乡镇区域土地生态安全状况存在着显著的差异, 形成差异的原因也各有不同。较为良好的地区主要集中在东部、中北部, 较差的地区呈现围绕县城区聚集的特点, 蛟潭镇、湘湖镇两地呈现出特殊性。(3)浮梁县土地生态安全状态受到多种障碍因素的共同影响, 在不同时间节点, 障碍因素与作用程度也不尽相同, 关系较为复杂。水网密度、地形位指数、水土协调指数、人均耕地面积 4 项障碍因素对浮梁县土地生态安全的影响程度较为突出。

【关键词】: 土地生态安全 CRITIC-TOPSIS 模型 障碍因素 浮梁县

【中图分类号】: X826;F301.24 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)10-2452-12

土地生态与人类的生产生活息息相关, 土地的生态状况同时反映出社会、经济、自然等诸多方面的生态安全^[1,2]。进入 21 世纪, 我国的经济社会发展迈入快速时期, 人地冲突的问题愈演愈烈, 土地的低效利用破坏着土地生态的健康协调, 威胁着区域环境的可持续发展。因此, 针对土地生态安全的相关问题开展广泛深入的研究, 分析其时间变化与空间分布特征, 是明确当下土地资源利用所存在问题的关键, 而探寻其障碍因素则是揭示土地生态变化规律从而制定针对性的利用规划与保护政策的重要环节。

国内外众多学者从多视角、多途径, 针对土地生态安全问题进行了深刻的研究讨论。国外学者着重研究生态系统健康^[3]与生

作者简介: 么泽恩(1997~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土地生态、土地经济研究. E-mail:1097207797@qq.com; 蔡海生, E-mail:caihsh@263.net

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660140;31560150);江西省高校人文社科重点研究基地项目(2018-32);江西省土地开发整理中心项目(9131207547;9131207800)

物圈^[4]保护等方面。国内学者主要从研究区域及尺度的确定,评价体系的构建,评价方法的选择等多个方面展开研究^[5]。从研究区域、尺度的选择方面,存在以省域^[6]、市域^[7]、县域^[8]、旗^[9]等行政区划,以流域^[10]、绿洲^[11]、石漠化区域^[12]、喀斯特地貌区^[13]等自然区域为研究区域、尺度;从评价体系的构建方法看,主要基于PSR^[14]、DPSIR^[15]、EES^[16]、SPR^[17]等模型进行研究,也存在将数种模型相融合^[18]进行研究分析;从评价方法的方面看,主要有GIS格网分析^[19]、最小累计阻力模型^[20]、OWA模型^[21]、物元分析^[22]、主成分分析^[23]、障碍度模型^[24]、集对分析^[25]、TOPSIS法^[26]、GM(1,1)模型^[27]等研究方法。以上模型方法的提出与实践,使土地生态安全方面的研究得到了丰富完善,但仍存在着一些不足:一是在评价指标的选取上,大多选取纯社会、经济因素的指标进行分析,很少着重选取与土地利用相关性较强的指标;二是相关研究通常选取一个大区域,依时间序列进行整体研究,较少考虑研究区域空间内部存在的差异,且落实到乡镇这种小尺度的研究则更加缺乏。浮梁县作为鄱阳湖生态经济区的重点区县之一,生态本底质量优异,同时在更广的层面也受到长江经济带发展的辐射影响,研究浮梁县的土地生态安全的时空分异对揭示大区域的土地生态安全变化规律具有较强的指向作用。

因此,结合目前对于土地生态安全研究的不足,本研究以浮梁县为研究区域,以小尺度乡镇作为评价单元,收集2000、2010、2018年3个时间节点18年跨度的相关数据,在土地利用数据的基础上从自然条件、人类活动、景观格局3个方面构建评价体系,综合CRITIC-TOPSIS模型对其进行分析,得出浮梁县整体及各乡镇在2000~2018年间土地生态安全时空变化情况,分析浮梁县2000、2010、2018年3个时间节点土地生态安全状况的时空分异特点,最后结合障碍度模型分析影响浮梁县土地生态安全状况的障碍因素,以期为研究区域土地生态的保护与提升提供相应对策。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

浮梁县位于江西省东北部,隶属景德镇市,位于117° 01' E~117° 42' E,29° 09' N~29° 56' N之间,地处赣、皖二省交界处,是环鄱阳湖城市群重点县(市、区)之一,属高效集约发展区。浮梁县全域属亚热带季风性气候,热量丰富,雨量充沛,光照充足,无霜期长。截至2018年,全县下辖17个乡镇,区域全年实现地区生产总值120.88亿元,同比增长8.3%。其中,第一产业增加值17.26亿元,增长3.8%;第二产业增加值64.85亿元,增长8.7%;第三产业增加值38.77亿元,增长9.9%;全年农村居民人均可支配收入16521元,城镇居民人均可支配收入30293元^[28]。浮梁县土地总面积2851.59km²,其中耕地面积290.03km²,建设用地面积111.07km²。随着长江经济带、环鄱阳湖城市群以及饶河流域生态修复工程发展的稳步递进,浮梁县的生态安全对饶河流域及其鄱阳湖区的生态发展具有明显的风向标作用。

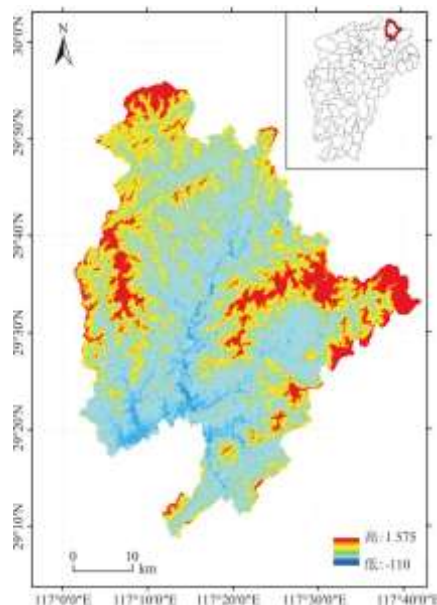


图 1 研究区示意图

1.2 数据来源与处理

研究共收集了 2000 年、2010 年、2018 年共 3 个年份江西省浮梁县整域与其下属 17 个乡镇的相关数据。土壤数据、土地利用现状矢量数据来源于江西省自然资源厅与浮梁县自然资源局，分类标准参照最新的《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)；研究区域 DEM 数字高程和遥感图像数据来源于地理空间数据云平台 (<http://www.gsccloud.cn/>)，栅格大小为 30m×30m；景观格局指数指标以土地利用数据为基础，通过 Fragstats4.1 景观格局指数软件计算得出；林草覆盖率、NDVI 指数由土地利用数据与遥感影像数据经 ENVI5.1 软件计算得出；年极端温差、年月均降水数据来源于国家气象科学数据中心 (<http://data.cma.cn/>)。经济密度、人口密度数据来源于中科院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn/>)。以上数据均通过技术处理以与乡镇研究单元相匹配。

2 研究方法

2.1 指标评价体系构建

(1) 指标体系概况及确立：

本研究主要是选取研究区域内与土地生态安全密切相关的指标，包括如土壤、植被、降水等自然条件，经济、人口等社会条件以及景观格局指数、土地利用这种反应人类活动对土地状态影响的变化指标，从自然条件、人类活动、景观格局 3 个方面选定 21 个指标构建评价体系，兼顾影响区域生态安全的多个方面，同时使指标之间存在着生态效益上的密切联系，从而使研究区域的土地生态安全状况在指标数据中得以量化体现。

(2) 数据的标准化处理：

由于评价体系内的各评价指标涉及不同的评价位面，其量纲无法统一，极差法是将数据进行标准化的一种常用的数据处理方法，本研究以此方法来消除原始数据的量纲影响。

(3) 权重的确定——CRITIC 法：

关于土地生态研究相关的指标体系权重确定，常用到熵权法^[29]、层次分析法^[30]、德尔菲法^[31]或是主客观权重综合计算^[32]等方法。本文采用客观赋权法 CRITIC 法(Criteria Importance Though Intercriteria Correlation)来确定评价指标权重，其思想在于用对比强度指标和冲突性指标来综合评价指标的客观权重，指标对比强度用标准差表示，指标冲突性用相关性系数量化^[33]。如果数据标准差越大说明波动越大，权重会越高；如果指标之间的相关系数值越大，说明冲突性越小，那么其权重也就越低。使用此种权重计算方法，在考虑数据波动的前提下同时结合指标与指标之间的相关关系，综合得出指标的权重数值，有助于减少单个数据在评价体系内的权重极值对研究的不利影响。

冲突量化指标的公式表达如下：

$$\sum_{k=1}^m (1 - R_{kj}) \quad (1)$$

式中： R_{kj} 表示第 k 个特征和第 j 个特征之间的相关系数。

第 j 个特征所包含的信息量用如下公式表示：

$$G_j = S_j \sum_{k=1}^m (1 - R_{kj}) \quad (2)$$

式中： S_j 表示第 j 个特征的类型间准差，则 CRITIC 法得到的第 j 个特征的归一化权重为：

$$W_j = G_j / \sum_{j=1}^m G_j \quad (3)$$

表 1 2000~2018 年浮梁县土地生态安全评价指标体系及对应权重

目标层 A	准则层 B	要素层 C	2000 权重值	2010 权重值	2018 权重值	指标方向
土地生态安全评价指标体系	自然条件 B ₁	土壤类型 C ₁	0.0772	0.0694	0.0747	正向
		NDVI 指数 C ₂	0.0764	0.0707	0.0819	正向
		林草覆盖率 C ₃	0.039	0.0383	0.0356	正向
		水网密度 C ₄	0.0364	0.0382	0.0324	正向
		年月均降水 C ₅	0.0742	0.0686	0.0773	正向
		生物丰度 C ₆	0.0459	0.045	0.0553	正向
		地形位指数 C ₇	0.0551	0.0849	0.0724	负向
		年极端温差 C ₈	0.0389	0.0407	0.0368	负向
	人类活动 B ₂	土地利用状况 C ₉	0.0723	0.07	0.0393	正向
		水土协调指数 C ₁₀	0.0356	0.0371	0.0321	正向
		人均耕地面积 C ₁₁	0.0345	0.0323	0.0327	正向
		废弃土地占比 C ₁₂	0.0404	0.0409	0.0463	负向
		城镇化水平 C ₁₃	0.0367	0.0353	0.0409	负向
		经济密度 C ₁₄	0.0554	0.0584	0.0609	负向
		人口密度 C ₁₅	0.0525	0.0597	0.0633	负向
	景观格局 B ₃	景观蔓延度 C ₁₆	0.0387	0.036	0.0353	正向
		景观优势度 C ₁₇	0.0373	0.032	0.0321	正向

		景观分离度 C_{18}	0.0375	0.0395	0.0355	负向
		景观多样性 C_{19}	0.0367	0.0359	0.0355	负向
		景观均匀度 C_{20}	0.0401	0.0359	0.0355	负向
		景观破碎度 C_{21}	0.0394	0.0315	0.0446	负向

2.2 分析评价——改进的 TOPSIS 法

TOPSIS法(Technique for Order Preference by Similarity to an Idea lSolution, 优劣解距离法)通过所选指标与最优解的距离作为评价准则, 随后计算每个所选指标的正理想解(最优解)与负理想解(最劣解), 建立评价指标与两者距离的数据空间, 计算可行方案与理想解的接近程度, 最后对指标要素组成的方案进行优劣程度的排序, 是解决多目标决策问题的常用方法^[34]。以此分析为基础, 最趋近于最优解的方案则为最佳方案。与传统 TOPSIS 法相比较, 本文采用的 TOPSIS 法针对评价对象对正、负理想解的评价公式进行了改进^[35]:

(1) 建立决策标准化矩阵

$$R' = (v_{ij}')_{m \times n} \quad (4)$$

此处利用极差法计算的无量纲值。

(2) 与 CRITIC 法得出的各项权重值构建加权评价矩阵

$$V = R' \times W_j = (v_{ij})_{m \times n} \quad (5)$$

式中: W_j 为指标权重向量; R' 为标准化决策矩阵, 两者相乘得到加权规范化矩阵。

(3) 确定评价对象的正、负理想解

$$\begin{aligned} V^+ &= \{\max v_{ij} \mid i = 1, 2, 3, \dots, m\} \\ &= \{v_1^+, v_2^+, v_3^+, \dots, v_m^+\} \\ (1 \leq i \leq m) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} V^- &= \{\min v_{ij} \mid i = 1, 2, 3, \dots, m\} \\ &= \{v_1^-, v_2^-, v_3^-, \dots, v_m^-\} \\ (1 \leq i \leq m) \end{aligned} \quad (7)$$

其中 V^+ 为正理想解, V^- 为负理想解。

(4) 计算评价对象距理想解的距离 D^+ 和 D^-

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad (8)$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (9)$$

(5) 计算历年评价对象与最优方案的贴近度 C_j

$$C_j = \frac{D^-}{D^- + D^+} \quad (1 \leq j \leq n) \quad (10)$$

式中： C_j 越大，表示第 j 年土地生态安全状况越接近最优水平。贴近值 C_j 介于 0~1，当 $C_j=0$ 时，土地生态极度不安全，土地利用处于高度无序的混乱状态。

2.3 土地生态安全评价标准

根据 TOPSIS 法得出的结果，其数值越贴近 1，表示其土地生态安全程度越高。结合前人研究成果^[5]，采用非等距法在得分范围内进行级别划分，最终建立浮梁县土地生态安全评价等级标准(表 2)。

表 2 浮梁县土地生态安全评价等级标准

生态状况	等级	生态分值区间	生态安全特征
危险级	5	[0, 0.3)	严重破坏，生态环境难以修复
敏感级	4	[0.3, 0.45)	较大程度破坏，生态环境修复困难
临界级	3	[0.45, 0.6)	一定程度破坏，生态环境自我修复缓慢
良好级	2	[0.6, 0.8)	小范围破坏，生态环境自我修复功能良好
安全级	1	[0.8, 1]	未受破坏，生态环境、生态自我修复功能完好

2.4 土地生态安全障碍因素分析

(1) 运用土地生态安全变化动态度 d 表示研究期间各研究单元在不同时段土地生态安全水平的相对变化程度。

$$d = \frac{(C_{t+1} - C_t)}{C_t} \times 100\% \quad (11)$$

式中： C_{t+1} 和 C_t 分别为 $t+1$ 和 t 时期根据 TOPSIS 法得出的贴近度值。

(2) 运用土地生态安全变化标准差 σ 表示研究期间内不同时段土地生态安全的相对变化程度，反应土地生态安全各内部要素的协调性， σ 的大小与区域内土地生态安全的协调程度呈反比。

$$\sigma = \sqrt{\sum (C - \bar{C})^2 / N} \quad (12)$$

式中： σ 为生态安全标准差； \bar{C} 为贴近度均值； N 为评价单元个数。

(3) 运用土地生态安全变化优势度 S 表示研究期间不同时段土地生态安全变化的差异性。 S 越大，期间土地生态安全变化差异越大，各评价单元土地生态安全状况差别趋于复杂；反之土地生态安全状况则趋于稳定。

$$S = |d|_{\max} / \sum |d| \quad (13)$$

式中： S 为土地生态安全变化优势度； $|d|_{\max}$ 动态度绝对数最大值； $\sum |d|$ 为动态度绝对值之和。

(4) 在浮梁县土地生态安全评价结果的基础上，运用障碍度模型对影响土地生态安全的因素进行识别。计算公式如下^[36]：

$$P_{ij} = \frac{(1 - v_{ij}) \times w_i \times 100\%}{\sum_{i=1}^m (1 - v_{ij}) \times w_i} \quad (14)$$

式中：障碍度 P_{ij} 为第 i 个指标在第 j 年土地生态安全状况的障碍度。

3 结果与分析

3.1 土地生态安全状况综合分析

根据浮梁县 2000~2018 年土地生态安全状况(表 4) 计算结果可知,浮梁县土地生态安全水平由 2000 年的 0.613 下降至 2010 年的 0.369,再回升至 2018 年的 0.518,在趋势上呈“V 形”的发展状态。土地生态安全等级变化呈现出由“良好级-敏感级-临界级”的过程,总体来说,浮梁县土地生态安全状况处于一个小幅度下降的状态。2000~2010 年浮梁县土地生态安全水平呈现出较大幅度的下降,这主要是由于浮梁县社会经济的快速发展,未能保证经济建设与生态保护的平衡所造成的,具体表现为植被破坏导致的植被覆盖度下降,土地利用方式的不合理导致的对耕、林、水等生态用地的侵占以及地类斑块的破碎化、分离化。2010~2018 年,浮梁县土地生态安全水平回升至 0.518,安全等级恢复到临界级,这反映出浮梁县整体土地生态安全状况的向好态势。自 2009 年以来,浮梁县结合国发[41]号《国务院关于加快发展旅游业的意见》文件,大力发展以旅游产业为主的生态经济,开发、修复了一批高质量的旅游景区,同时以电力、钢铁、有色金属、造纸、印染等行业为重点,加快产能升级,释放落后产能被侵占的土地资源,使土地压占与土地破坏的现象得到了抑制。2010 年后浮梁县积极落实造林绿化工程,使得县域内的林地面积持续增长,对土地生态安全状况的改善带来积极地影响。2014 年,浮梁县国家生态县建设通过评估,使浮梁县“生态立县、绿色发展”理念收获了显著成效与后续动力,自此浮梁县不断加强对土地生态安全的建设力度,生态环境质量稳步提升。

土地生态安全变化标准差 σ 与优势度 S (表 3),表示研究期间不同时段土地生态安全变化的内部差异性。标准差在研究期间呈现出“倒 V 形”的发展状态,与土地生态安全变化的状态相反。具体变化由 2000 年 0.0672 上升至 2010 年最高的 0.0874,然

后下降至 2018 年的 0.0546, 优势度在两个时段由 0.1279 下降至 0.1049。结合两项计算结果综合分析, 浮梁县土地生态安全状况在 2000~2010 年间各乡镇之间的差异开始扩大, 主要由于浮梁镇、鹅湖镇、王港乡等部分乡镇的变化幅度较大, 增大了评价系统内部的差异性。在 2010~2018 年间各乡镇间的差异逐渐减小, 内部系统趋于协调。

表 3 2000~2018 年浮梁县土地生态安全变化标准差与优势度

时间	土地生态安全变化标准差(σ)	时间段	土地生态安全变化优势度(S)
2000	0.0672	2000~2010	0.1279
2010	0.0874	2010~2018	0.1049
2018	0.0546	-	-

虽然浮梁县的土地生态安全状况在近年间向好发展, 但土地生态安全等级仍处于临界级的范围内, 未能恢复到研究初期的良好状态。地区内存在的如河道内非法淘沙淘金、土地灾毁、土地矿产开发破坏等危害土地生态安全的现象依然严峻。浮梁县在今后的土地利用中, 应针对以上方面, 对土地资源进行保护和修复。

3.2 浮梁县土地生态安全状况时空分异分析

运用土地生态安全变化动态度求取各乡镇在四个时间节点的变化动态度(图 2), 结合表 4 分析浮梁县土地生态安全状况的时空分异。由于各乡镇变化幅度的绝对值在 20%以内, 所以这里将变化幅度分为三个等级: 轻度($<\pm 5\%$)、中度($\pm 5\%-\pm 10\%$)、重度($>\pm 10\%$)进行描述。

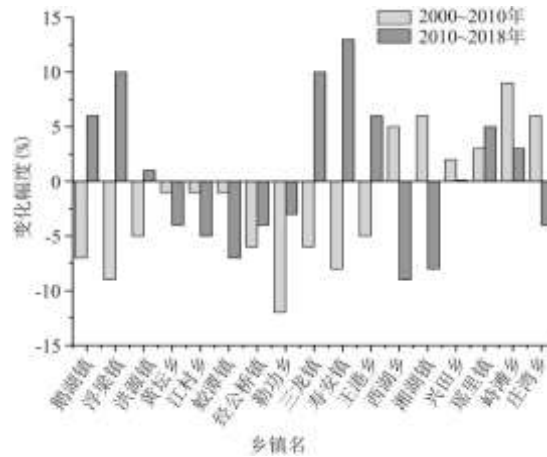


图 2 2000~2018 年浮梁县土地生态安全变化动态度

表 4 浮梁县 2000~2018 年土地生态安全状况

地区	2000TOPSIS	排名	2010TOPSIS	排名	2018TOPSIS	排名	趋势
----	------------	----	------------	----	------------	----	----

总研究区域	0.613	—	0.369	—	0.518	—	↘
鹅湖镇	0.502	11	0.432	13	0.489	16	↘
浮梁镇	0.497	12	0.411	14	0.511	12	↗
洪源镇	0.427	17	0.379	16	0.387	17	↘
黄坛乡	0.544	8	0.531	11	0.492	15	↘
江村乡	0.581	4	0.571	6	0.522	7	↘
蛟潭镇	0.628	2	0.623	2	0.553	4	↘
经公桥镇	0.614	3	0.554	8	0.514	9	↘
勒功乡	0.671	1	0.553	9	0.525	6	↘
三龙镇	0.454	15	0.395	15	0.492	14	↗
寿安镇	0.447	16	0.364	17	0.494	13	↗
王港乡	0.505	10	0.455	12	0.518	8	↗
西湖乡	0.574	6	0.625	1	0.535	5	↘
湘湖镇	0.523	9	0.588	5	0.512	10	↘
兴田乡	0.573	7	0.596	4	0.603	2	↗
瑶里镇	0.577	5	0.604	3	0.652	1	↗
峙滩乡	0.466	14	0.56	7	0.612	3	↗
臧湾乡	0.486	13	0.546	10	0.511	11	↗

注：“↗”表示研究期末较研究期初呈上涨趋势，“↘”表示研究期末较研究期初呈下降趋势，“→”表示研究期末较研究期初呈平稳态势。

(1) 县城区区域一波动上升趋势：

由表 4 分析，2000~2018 年浮梁县各乡镇土地生态安全状况总体呈下降趋势，区域之间的具体情况存在差异。在 2000~2010 年间，这段时间处于社会经济快速发展的时期，由于浮梁镇、三龙镇、寿安镇、王港乡处在县城区区域内及周边，土地开发活动较为剧烈，评价结果显示这些乡镇的土地生态状况有所退化，在研究期间分值呈下降趋势，分别降至 2010 年的 0.411、0.379、0.364 与 0.455，均处于中度减少（-8.6%、-5.9%、-8.3%、-5%）的程度。从等级情况分析（图 3），浮梁镇、三龙镇、寿安镇的评价等级由临界级降至敏感级。分析这些乡镇产生变化的原因，主要是由于城市开发导致的土地利用状态的变化，林地、湿地等生态用地转变为建设用地，这种变化同时影响了地区景观生态格局，景观逐步趋向分离与破碎，难以形成较大的景观优势。加之环境破坏导致的以降水、温差为主的气候要素发生变化，综合造成了以上区域评价状况的恶化。

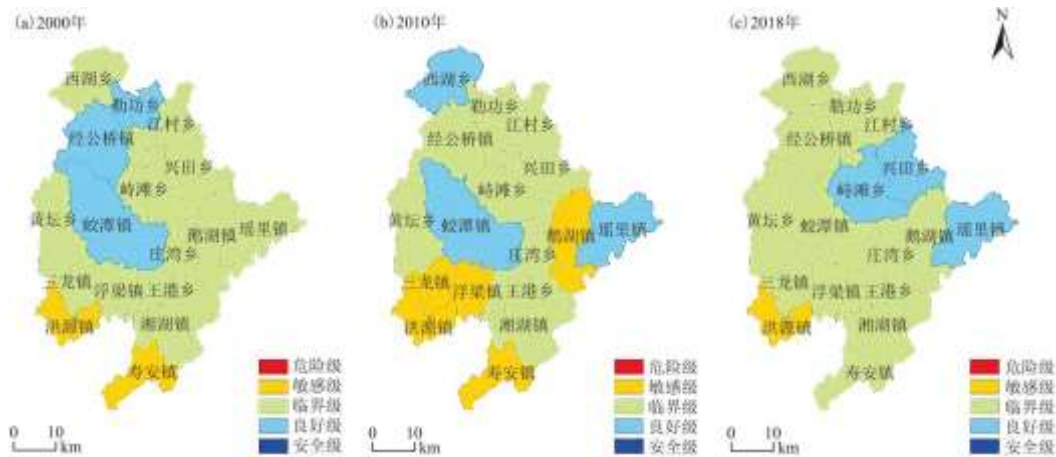


图 3 2000~2018 年浮梁县各乡镇域土地生态安全等级分布

(2) 东部区域—小幅上升趋势:

东部区域的瑶里镇、臧湾乡、兴田乡土地生态安全状况处于提升状态，其对应分值均得到一定幅度的增长，其中瑶里镇与兴田乡在 2000~2010、2010~2018 年两个时间段内持续上升，增长幅度均在轻度增长，安全等级均上升至良好级。形成这种变化的原因主要由于区域土地利用情况逐渐趋于合理，退耕还林还湖在一定程度上恢复了水域与林地的生态水平，使水土流失以及极端气候等状况得到了缓解。与此同时，以瑶里镇为代表的对准许开发区域开发生态旅游业方略的实施，同时推进了土地资源的生态利用，使得社会经济与地区生态的发展趋于协调。

(3) 北部区域—退化趋势:

北部区域的西湖乡、勒功乡、江村乡、经公桥镇的评价状况呈现下降退化的趋势。其中，2000~2010 年间，西湖乡的评价分值出现中等幅度(5.1%)的上涨，由 0.574 上涨至 0.625，土地生态安全等级同样上升至良好级，随后至 2018 年下降(-9%)至 0.535，生态安全等级回落到敏感级。近年来西湖乡倚靠当地森林资源推广木材加工产业，在一定程度上破坏了森林资源；同时，西湖乡由于处于山区，坡度较大，地表植被的破坏同样加剧了水土流失的程度；勒功乡、江村乡以及经公桥镇的土地生态安全同样出现了在研究期间内持续退化的状况，其部分乡镇的评价等级也由良好级下降至临界级，这主要由于木材加工业与茶园垦殖对森林资源的侵占，一定程度上破坏了地区的自然生态；同时结合实地调研情况看，当地河道非法采砂的违法活动较为严重，这直接破坏了当地的水土资源健康，同时加重了地质灾害的发生风险。

(4) 局部区域—特殊的变化情况:

浮梁县局部乡镇出现了特殊的变化状况，蛟潭镇的评价状况在研究初期是良好的，在 2000、2010 年的安全等级均达到了良好级，随后至研究期末却呈现出中度程度的退化，在 2010~2018 年间下降了 7%。其主要原因是由于区域内大力发展以木材、金属加工为主的工业产业，加强工业园区的建设，这对地区内的土地生态产生了一定程度的负面影响；湘湖镇处于浮梁县的南部区域，在整个区域的土地生态安全状态均在小幅上涨的趋势下出现了中等程度(-7.6%)的下降，由 2010 年的 0.588 下降至 2018 年的 0.512，这主要是由于湘湖镇处于景德镇市区的城郊，近年的发展地位在城市扩张的进程中越发显著，工业、居住用地在区域内的开发活动加剧了湘湖镇土地生态安全状况的退化。

3.3 土地生态安全障碍因素分析

浮梁县土地生态安全状况的影响因素具有复杂性,多种因素之间相互制约,本研究运用障碍度模型分析影响浮梁县土地生态安全状况的障碍因素,按照整体与各评价单元的顺序,在准则层、要素层两个层面分析判别主要障碍因素。对于不同研究时段,准则层障碍因素对浮梁县土地生态安全状况的影响程度与变化趋势各不相同。从影响程度分析(表 5),2000 年自然条件>人类活动>景观格局,2018 年景观格局>人类活动>自然条件,这说明未来浮梁县土地生态安全状况的提升应主要在维护生态景观格局的健康协调方面入手。同时在研究期间人类活动对土地生态安全的障碍程度趋向增长,在未来也需注重人类活动对土地资源的合理利用。

表 5 2000~2018 年浮梁县土地生态安全评价体系准则层障碍度

准则层障碍度	2000 年	2010 年	2018 年
自然条件	37.07%	29.74%	13.19%
人类活动	25.47%	21.25%	27.40%
景观格局	0.00%	18.08%	27.43%

通过障碍度模型计算,得到要素层各评价指标的障碍程度(表 6),从每个研究时间节点识别障碍程度前 5 位的障碍因素。2000 年由于多数指标在研究期间内均处于最优状态,结果具有特殊性,仅有 4 项指标具有障碍程度,分别是 $C_4(21.7\%) > C_{10}(21.09\%) > C_7(15.37\%) > C_{11}(4.38\%)$,2010 年浮梁县土地生态安全状况前 5 位的障碍因素分别是 $C_{10}(8.36\%) > C_4(7.84\%) > C_7(6.98\%) > C_{18}(4.22\%) > C_1(3.76\%)$,2018 年浮梁县土地生态安全状况前 5 位的障碍因素分别是 $C_{21}(11.44\%) > C_{11}(8.73\%) > C_{15}(5.3\%) > C_{14}(4.97\%) > C_5(4.56\%)$ 。

根据对 3 个研究时间节点障碍因素的识别结果进行频数统计,水网密度(C_4)、地形位指数(C_7)、水土协调指数(C_{10})、人均耕地面积(C_{11})是研究期间内影响浮梁县土地生态安全状况主要障碍因素,这表示在今后的土地资源开发利用中,需要优先考虑地形条件对土地开发后生态恢复的影响,注重区域内湿地资源的保护,同时维持水资源与耕地资源的协调发展。从 2000 年到 2018 年要素层障碍因素作用强度的变化来看,人均耕地面积(C_{11})的障碍强度在不断增强,这反映出随着社会经济的发展,其他用地类型对耕地的侵占在不断增强,加剧了耕地资源的紧张程度;其次各项人类活动指标的障碍强度也在不断增长,说明了浮梁县在未来需要着重推进地区发展与土地资源利用的协调程度,提高其集约效率;地形位指数(C_7)与水土协调指数(C_{10})的障碍程度呈现逐渐减弱的趋势,这说明浮梁县在土地开发的过程中逐渐重视地形条件对开发利用难度与效益,着重考虑到地质因素对生态自我修复速度的重要影响,同时地区发展导致的“人水矛盾”也在不断缓和,对土地生态安全的影响逐渐降低。

表 6 2000~2018 年浮梁县土地生态安全评价体系要素层障碍度

评价指标	2000 年	2010 年	2018 年
C_1	0.00%	3.76%	2.82%
C_2	0.00%	2.63%	0.93%
C_3	0.00%	1.93%	1.98%
C_4	21.70%	7.84%	0.00%
C_5	0.00%	1.47%	4.56%

C ₆	0.00%	2.77%	1.15%
C ₇	15.37%	6.98%	0.00%
C ₈	0.00%	2.36%	1.74%
C ₉	0.00%	2.54%	3.01%
C ₁₀	21.09%	8.36%	0.00%
C ₁₁	4.38%	0.00%	8.73%
C ₁₂	0.00%	2.83%	2.68%
C ₁₃	0.00%	2.90%	2.71%
C ₁₄	0.00%	2.29%	4.97%
C ₁₅	0.00%	2.33%	5.30%
C ₁₆	0.00%	2.48%	3.82%
C ₁₇	0.00%	3.57%	4.20%
C ₁₈	0.00%	4.22%	1.69%
C ₁₉	0.00%	3.46%	3.39%
C ₂₀	0.00%	3.47%	2.89%
C ₂₁	0.00%	0.88%	11.44%

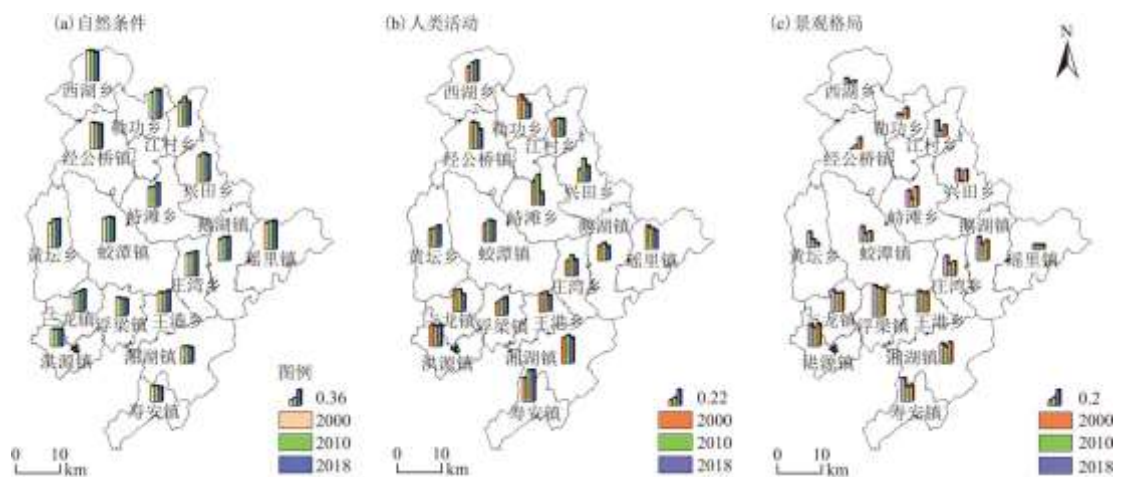


图 4 2000~2018 年浮梁县各乡镇准则层障碍度变化

在各乡镇的障碍度分析上，主要在准则层面对影响各乡镇土地生态安全状况的障碍因素进行分析。将 2000~2018 年 3 个研究时间节点的乡镇准则层障碍度计算统计后进行可视化得到图 4，图内的柱状统计图反映出不同乡镇单元准则层障碍程度的时

间变化。对图 4 进行分析可知：2000~2018 年各乡镇准则层障碍程度均呈现出一定的变化，部分乡镇的评价结果与浮梁县评价系统的评价结果相似。在浮梁县南部的各个乡镇由于靠近县城区与景德镇市区，自然条件层面的障碍程度逐步上涨，这主要是由于城市开发建设导致了生态用地的萎缩，同时在一定程度上间接的影响了地区的气候条件；人类活动层面的障碍程度在浮梁镇、寿安镇与西湖乡呈现出不断增长的态势，浮梁镇为浮梁县城区的所在地，是地区的经济行政中心，随着近些年社会经济的发展，人类活动对土地资源的影响更加剧烈；寿安镇属资源型乡镇，矿藏资源丰富，有煤、石灰、大理石、铜、瓷土、海泡石等，主要发展以建材、采矿、陶瓷为主的对土地生态影响较大的行业；西湖乡境内由于林木资源较为丰富，林木加工作为地区的主导工业，在研究期间发展较快，对植被在一定程度上造成了破坏。景观格局层面的影响区域同样集中在浮梁县南部各乡镇，由于景观格局指数与土地利用变化的密切联系，这些乡镇土地利用状况已经显著地影响到地表景观的分布状态，明确的反映在各项景观格局指数的数值变化上。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 从时间变化上，2000~2018 年间，浮梁县土地生态安全水平呈现一个波动下降的态势，总体经历了从较好到恶化再到恢复向好的一个过程，生态等级在“良好级-敏感级-临界级”的过程范围内变化。生态绿色产业的发展与国家级生态县建设工程是推进浮梁县自 2010 年起土地生态状况得到改善的重要因素。

(2) 从空间格局分异特征上，浮梁县各乡镇区域存在着一定程度的差异，形成差异的原因也各有不同。土地生态良好的地区主要集中在东部、中北部这些土地建设开发较少的重点生态乡镇，较差的乡镇呈现围绕城区聚集的特点，土地开发程度较高，蛟潭镇、湘湖镇两地呈现出特殊性。

(3) 从影响地区土地生态安全的障碍因素上，浮梁县土地生态安全状态受到多种障碍因素的共同影响，在不同时间节点，障碍因素与作用程度也不尽相同，关系较为复杂。分析具体的障碍因素，水网密度、地形位指数、水土协调指数、人均耕地面积 4 项障碍因素对浮梁县土地生态安全的影响较为突出。各乡镇评价单元的障碍因素具有不同的表现，与地区的具体条件有较强的相关性。

4.2 讨论

结合研究期内对浮梁县土地生态安全状况的全局分析和时空分析，其土地生态安全水平在研究期间呈现了大幅度的下降再提升的过程。在土地资源利用的过程中仍存在急需解决的问题，且区域内土地生态安全状况的空间差异较为显著。因此，浮梁县需要进一步提升生态保护力度，科学合理的利用土地资源、加快生态经济与集约经济的发展建设、积极落实水源保护、水土流失治理、生物多样性保护等生态保护工程，转变不合理的土地利用方式，积极推行区域内的退耕还林还湖行动，以推进环鄱阳湖城市群的整体建设。同时，积极响应国家生态文明建设战略及长江经济带生态环境保护规划，不断推动地区土地生态安全朝着良好的状态发展。

研究综合考虑了已有的指标评价体系，重点将土地利用指标与自然要素结合，对评价指标体系进行了完善。研究选择以 CRITIC 法确定各指标的所占权重，与其他方法相比其同时兼顾到了单个指标内部数据的变异性与指标间冲突性，能够有效降低极值数据对指标体系的干扰，提升精度。TOPSIS 法可以直观的对区域间的分析结果进行量化排序，适宜从时空角度分析整体与局部区域之间的发展变化趋势。通过障碍度模型识别影响浮梁县以及各乡镇单元土地生态安全的障碍因素，可以客观且有针对性的寻找浮梁县土地生态安全变化的具体原因。

本研究在目前阶段还存在着一些不足：(1) 由于研究单元尺度与数据资料收集的限制，没有更好地结合更多的社会经济要素

选取更为广泛的指标进行研究。(2)对未来趋势的预测分析较为薄弱。以上问题在今后的研究中有待深入探索。今后的研究要在广泛选取各个层面的指标要素的基础上,对评价单元再细化分析,同时结合现状分析结果对未来趋势进行科学预测,以促进土地生态问题研究的发展。

参考文献:

- [1]刘庆,陈利根,舒帮荣,等.长株潭城市群土地生态安全动态评价研究[J].长江流域资源与环境,2010,19(10):1192-1197.
- [2]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.
- [3]ARNAB B,SURINDER S K,DEBASISH S,et al.Potential indicators of soil health degradation in different land use-based ecosystems in the Shiwaliks of Northwestern India[J].Sustainability,2019,11(14).
- [4]NJINI L M,AVANA T M L,JULIUS T N,et al.Dynamics of Land Use and the Evolution of Agroforestry Practices in the Dja Biosphere Reserve (DBR) Southeast Cameroon[J].Journal of Geoscience and Environment Protection,2020,8(5).
- [5]吕广斌,廖铁军,姚秋昇,等.基于 DPSIR-EES-TOPSIS 模型的重庆市土地生态安全评价及其时空分异[J].水土保持研究,2019,26(6):249-258,266.
- [6]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.
- [7]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.
- [8]彭文君,舒英格.喀斯特山区县域耕地景观生态安全及演变过程[J].生态学报,2018,38(3):852-865.
- [9]邓晓娟,李晶,殷守强,等.陈巴尔虎旗土地生态状况评价及影响因素分析[J].中国农业大学学报,2019,24(11):162-172.
- [10]魏伟,顾耀文,魏晓旭,等.基于 CLUE-S 模型和生态安全格局的石羊河流域土地利用优化配置[J].武汉大学学报(信息科学版),2017,42(9):1306-1315.
- [11]马轩凯,高敏华.西北干旱地区绿洲城市土地生态安全动态评价——以新疆库尔勒市为例[J].干旱区地理,2017,40(1):172-180.
- [12]谢玲,严土强,高一薄.基于 PSR 模型的广西石漠化地区土地生态安全动态评价[J].水土保持通报,2018,38(6):315-321.
- [13]吕添贵,李洪义,吴次芳,等.喀斯特地区土地生态安全评价及其影响机制研究——以贵阳市为例[J].国土资源情报,2017(6):43-50.
- [14]王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于 PSR 模型的青铜峡市土地生态安全评价与预测[J].水土保持通报,2018,38(2):148-153,159.

-
- [15]黄烈佳, 杨鹏. 长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8):1780-1790.
- [16]金兰, 何刚. 基于 EES-物元模型的淮南市土地生态安全评价[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2018, 28(5):37-41.
- [17]李永化, 范强, 王雪, 等. 基于 SRP 模型的自然灾害多发区生态脆弱性时空分异研究——以辽宁省朝阳县为例[J]. 地理科学, 2015, 35(11):1452-1459.
- [18]王大海, 张荣群, 艾东, 等. 基于 EES-PSR 的土地生态安全物元模型评价方法实证研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(S1):228-237.
- [19]余文波, 蔡海生, 张莹, 等. 基于 RS 及 GIS 的南昌市土地生态安全动态评价及分区[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4):244-249, 256.
- [20]邱硕, 王宇欣, 王平智, 等. 基于 MCR 模型的城镇生态安全格局构建和建设用地开发模式[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17):257-265, 302.
- [21]张洪, 王安琦, 宋贝扬. 基于 OWA 的大理市土地生态安全评价研究[J]. 地理科学, 2017, 37(11):1778-1784.
- [22]张凤太, 王腊春, 苏维词. 基于物元分析-DPSIR 概念模型的重庆土地生态安全评价[J]. 中国环境科学, 2016, 36(10):3126-3134.
- [23]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.
- [24]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.
- [25]郑华伟, 张锐, 孟展, 等. 基于 PSR 模型与集对分析的耕地生态安全诊断[J]. 中国土地科学, 2015, 29(12):42-50.
- [26]洪惠坤, 廖和平, 魏朝富, 等. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J]. 生态学报, 2015, 35(24):8016-8027.
- [27]马年圣, 支晓娟, 宋雨婷. 基于 PSR 和 GM(1, 1)模型的西藏耕地生态安全评价与预测[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(11):81-86.
- [28]浮梁县人民政府办公室. 走进浮梁. [EB/OL]. 浮梁县人民政府网. (http://www.fuliang.gov.cn/fl_introduce.html), 2019-4-10.
- [29]余文波, 蔡海生, 张莹, 等. 湖北省土地生态安全预警评价及调控[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(2):189-196.
- [30]李莉鸿, 马立强, 李中才. 基于层次分析法的山东省土地健康评价[J]. 国土与自然资源研究, 2019(4):42-43.
- [31]胡聪, 尤再进, 毛海英. 基于德尔菲法的围填海对海洋资源影响指标体系研究[J]. 海洋科学, 2016, 40(8):150-156.
- [32]魏伟, 石培基, 周俊菊, 等. 基于 GIS 和组合赋权法的石羊河流域生态环境质量评价[J]. 干旱区资源与环境,

2015, 29(1):175-180.

[33]张玉, 魏华波. 基于 CRITIC 的多属性决策组合赋权方法[J]. 统计与决策, 2012(16):75-77.

[34]田培, 张志好, 许新宜, 等. 基于变权 TOPSIS 模型的长江经济带水资源承载力综合评价[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2019, 53(5):755-764.

[35]王欢, 郑华伟, 刘友兆. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的安徽省耕地资源利用系统健康诊断[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1):147-153.

[36]傅聪颖, 赖昭豪, 郭熙. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价及障碍因素诊断[J]. 生态经济, 2020, 36(1):198-204.