

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.03.010

基于景观类型及其生态风险评价的巢湖流域 生态安全格局优化建议

李月¹, 彭博², 林韶恺³, 李洋¹, 周盈¹, 曾剑威^{2*}

LI Yue¹, PENG Bo², LIN Shao-Kai³, LI Yang¹, ZHOU Ying¹, ZENG Jian-Wei^{2*}

1. 江苏省地质调查研究院, 江苏南京 210018; 2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏南京 210016;

3. 福建理工大学土木工程学院, 福建福州 350118

1. Geological Survey of Jiangsu, Nanjing 210018, Jiangsu, China; 2. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China; 3. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, Fujian, China

摘要: 科学合理地构建生态安全格局是维护区域可持续发展的重要保障。为优化巢湖流域生态安全格局分区, 本文以该流域2010年、2016年、2022年3期景观类型遥感数据为基础, 通过景观风险评价模型, 研究巢湖流域近年来景观生态风险的时空变化, 并结合自然本底特征提出了巢湖流域生态安全格局分区优化建议。结果表明: 2010~2022年, 巢湖流域低风险小流域数量在减少, 较低风险小流域数量后期开始增加, 中等风险小流域在增加, 较高、高风险小流域数量有减少趋势。对比发现, 景观生态风险在区域各主要流域内部及主要流域之间差异性较大, 但同一流域变化等级未出现越级变化现象, 均为相邻等级之间转化, 因此, 同一主要流域景观生态风险随时间变化特征差异较小。基于巢湖流域自然本底及景观风险时空变化特征, 提出了“两区、三廊、四片、两带”流域生态安全格局分区优化建议。

关键词: 巢湖流域; 景观类型; 景观风险评价; 生态安全格局分区

中图分类号: P901; X22

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2024)-03-0548-11

Li Y, Peng B, Lin S K, Li Y, Zhou Y and Zeng J W. 2024. Suggestions for Optimizing the Ecological Security Pattern in Chaohu Basin Based on Landscape Types and Ecological Risk Assessment. *South China Geology*, 40(3): 548–558.

Abstract: Constructing ecological security pattern scientifically and reasonably is an important guarantee for regional sustainable development. In order to optimize the ecological security pattern zoning of the Chaohu Basin, based on remote sensing data of landscape types in the basin from three periods in 2010, 2016, and 2022, this paper investigates the spatiotemporal changes in landscape ecological risk of the basin in recent years by using a landscape risk assessment model, furthermore, puts forward some optimization suggestions for the ecological security pattern zoning of the basin by combining the characteristics of natural background. The results show that from 2010 to 2022, the number of low-risk small basin in Chaohu Basin decreased, the number of lower-risk small basin began to increase in the later period, the number of medium-risk small basin

收稿日期: 2024-01-15; 修回日期: 2024-02-06

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20221778)、福建省海洋物理与地质过程重点实验室开放基金(KLMPG-22-05)、现代古生物学和地层学国家重点实验室开放课题基金(223129)

第一作者: 李月(1990—), 女, 工程师, 从事水工环地质调查与生态地质调查工作, E-mail: liliyyx0946@163.com

通讯作者: 曾剑威(1986—), 男, 高级工程师, 从事第四纪地质和生态地质调查工作, E-mail: zjwcug@163.com

increased, moreover the number of higher-risk and high-risk small basin showed a decreasing trend. Upon the comparison, this paper reveals that there is significant variation in landscape ecological risk within and between major basins in the region, however, within the same basin, there is no leapfrog change in the variation levels, but transitions between adjacent levels. Therefore, the characteristics of landscape ecological risk that changes over time within the same major basin exhibit minimal differences. Based on the natural background and the spatiotemporal variation characteristics of landscape risk in Chaohu Basin, this paper proposes the optimization suggestions of "two zones, three corridors, four patches and two belts" for the ecological security pattern zoning of the basin.

Key words: Chaohu Basin; landscape type; landscape risk assessment; ecological security pattern zoning

随着世界城市化水平不断提高,人类活动的持续扩张对自然生态系统结构与功能稳定性造成了重要影响,不合理的土地开发与利用模式导致环境快速退化,诸多生态风险问题逐渐突显(李青圃等, 2019; Yao L et al., 2019; 唐志敏等, 2022)。生态安全格局通过过程与格局的互馈机制,以格局的构建达到对生态过程的调控作用,最终实现生态安全建设和可持续发展(彭建等, 2017)。因此,如何构建生态环境优良、城市特色明显、景观文化厚重的生态安全格局是当前的研究热点(叶鑫等, 2018; 梁发超等, 2021; 张景等, 2022)。

景观生态风险评价作为传统生态风险评价的分支,是评估在人与自然相互作用下,景观格局与景观生态互相耦合过程中所产生的损失可能性,更加关注在人类活动与自然因素的双重影响下,景观格局与生态过程相互作用可能产生的负面后果,是用来衡量区域生态环境质量的重要手段(裴燕如等, 2021; 于航等, 2022; 张雪茂等, 2022),能够综合反映区域风险的空间分布,从多角度、多尺度为区域开发与生态安全格局的构建及优化提供决策参考。自 20 世纪 90 年代以来,景观生态风险评价研究在景观生态学和地理学方面已得到广泛应用,前人基于 ArcGIS 对用地类型的统计,构建了景观生态风险指数模型,模拟了土地利用动态变化下的景观生态风险时空分布特征及空间关联格局(熊鹰等, 2020; 郑可君等, 2022);根据区域土地利用现状和规划,从生态风险外因和内因两个角度出发,开展生态风险评价和预测等工作(陈丁楷和石龙宇, 2021);随着景观生态风险评价研究的进一步发展,以土地利用变化结果为基

础,对区域景观要素组成与多源生态风险时空演化的影响进行详细评估(Yang Y P et al., 2022);同时基于空间主成分分析法对流域景观生态风险进行评价,结合最小累积阻力模型(MCR)和网络结构评价法形成对流域景观生态廊道的优化建议(高星等, 2023; 李倩瑜等, 2024)。但到目前为止,从整体景观类型及景观生态风险评价角度出发,构建生态安全格局分区优化建议的研究还相对较少(彭建等, 2015; 冯琰玮等, 2021)。

景观生态风险评价及生态安全格局构建主要应用于流域(康紫薇等, 2020; 张文静等, 2020)、山区(于淑会等, 2022)、煤矿区(李昭阳等, 2011; 吴健生等, 2013)等生态脆弱区域。巢湖位于安徽省中部,是我国著名的五大淡水湖泊之一,随着巢湖流域内城镇扩张、农业生产、矿山开采等因素影响,湿地萎缩、水土流失、农田污染、生态受损等问题凸显,成为了典型的生态脆弱区(谢三桃等, 2023)。本研究在巢湖流域地区开展景观生态风险评价并基于景观类型及评价结果来构建优化区域生态安全格局,这对于该区域未来生态修复工程的实施及生态文明建设具有指导意义。

1 研究区概况

巢湖流域属长江下游左岸水系,为亚热带湿润性季风气候,四季分明,流域范围为 30°52'25" ~ 32°7'53"N, 116°23'59" ~ 118°22'5"E (图 1)。地貌以平原为主,海拔由西向东逐渐降低,低山区海拔从 8 m 到 1489 m 不等,年平均气温和降雨量为 16 °C 和 1220 mm (吴利等, 2023)。

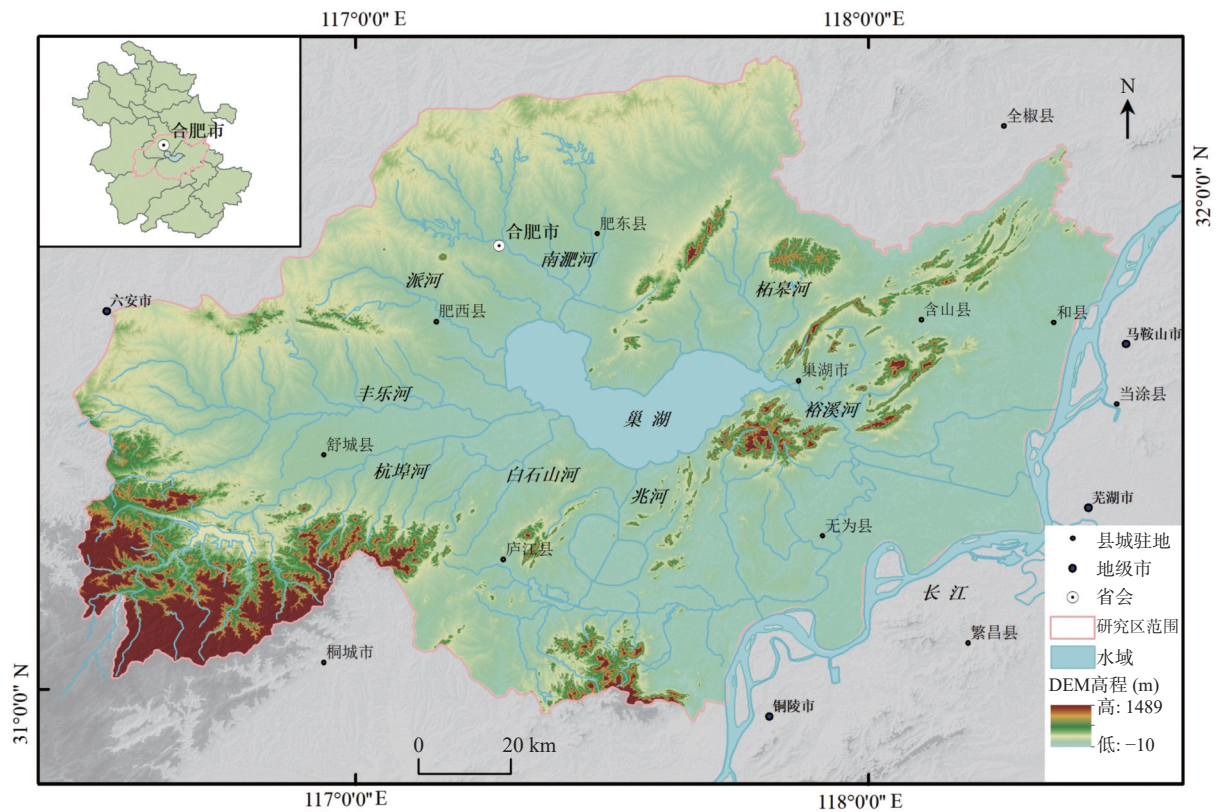


图 1 巢湖流域区域地势图

Fig. 1 Regional topographic map of the Chaohu Basin

巢湖流域对当地经济发展至关重要,流域人口占安徽省人口的 15.8%,贡献了 29.4% 的安徽省国内生产总值 (Wu Z S et al., 2021)。巢湖流域 33 条河流分别属于柘皋河、南淝-店埠河、派河、杭埠-丰乐河、白石山河、兆河、裕溪河等 7 条水系,裕溪河水系为出湖水系,其他 6 条水系为入湖水系,且营养水平存在显著差异(王书航等,2011)。

2 数据来源及研究方法

本文土地利用数据来源于武汉大学 (<https://zenodo.org/record/8176941>) (Yang J and Huang X, 2023),分辨率为 30 m×30 m,分类体系如表 1 所示,涉及年份包括 2010 年、2016 年、2022 年。采用的 ASTER GDEM V3 30M 分辨率数字高程数据来源于地理空间数据云网站 (<http://www.gscloud.cn/search>)。

首先划分生态风险评价单元。根据研究区实况,借助 ArcGIS10.6 对其进行水文分析,获取巢湖流域的溪流网络,再通过填注、流向计算、累计

表 1 土地利用数据分类体系表	
Table 1 Classification system of land use data	
类别	配色(R, G, B)
农田	250, 227, 156
森林	68, 111, 51
灌木	51, 160, 44
草原	171, 211, 123
水域	30, 105, 180
裸地	207, 189, 163
不透水面	226, 66, 144

注: 据 Yang J and Huang X. (2023)

流量、提取河网、河流链接、分水岭工具等操作,按累计流量提取了次级小流域范围(张静等, 2023),并参考谢三桃等(2023)对巢湖流域划分和天然景观格局单元划分规律,整合划分出 124 个风险评价单元。

然后构建景观生态风险指数模型。通过景观干扰度指数、脆弱度指数和损失度指数构建景观生态风险指数模型(表 2)(贾艳艳等, 2022)。

(1) 景观干扰度指数(E):

$$E_i = aC_i + bN_i + cF_i \tag{1}$$

式中, C_i 、 N_i 、 F_i 分别代表景观破碎度指数、景观分离度指数、景观分维数指数。 a 、 b 、 c 为相应景观指数的权重($a+b+c=1$), 结合研究区地形、地貌及景观类型分布特点, 参考黄河下游等相似区域已有研究(陈全通等, 2022; 田雅楠等, 2023), 对各景观指数的权重赋值如下: $a=0.5$, $b=0.3$, $c=0.2$ 。

表 2 景观破碎度指数、景观分离度指数、景观分维指数计算表
Table 2 Calculation table of landscape fragmentation index, landscape separation index and landscape fractal dimension index

指数名称	计算公式	参数意义
景观破碎度指数	$C_i = \frac{n_i}{A_i}$	A_i 为景观类型 i 的面积, n_i 是斑块数量。
景观分离度指数	$N_i = \frac{A}{2A_i} \sqrt{\frac{n_i}{A_i}}$	A_i 为景观 i 的总面积, A 为景观总面积, n_i 为景观 i 的斑块数。
景观分维数指数	$F_i = 2\ln(p_i/4)/\ln A_i$	p_i 是景观类型符号库 i 的周长。

注: 据贾艳艳等(2022)

(2) 景观脆弱度指数(V), 表示不同景观类型受到外界干扰的脆弱程度, 采用专家打分法对研究区内 7 种用地类型进行赋值, 经过归一化后获得各类景观的脆弱度。

(3) 景观生态风险指数(ERI):

$$ERI_i = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} \times R_i \tag{2}$$

$$R_i = E_i \times V_i \tag{3}$$

式中, ERI_i 为第 k 个风险小区的景观生态风险指数; n 表示景观类型的数量; A_{ki} 为第 k 个风险小区内景观类型 i 的面积; A_k 为第 k 个风险小区的面积; R_i 表示景观类型 i 的损失度指数; E_i 和 V_i 分别为第 i 类景观的景观干扰度指数和景观脆弱度指数。

(4) 区域生态风险等级划分

由于任何统计数列都存在一些自然转折点、特征点, 用这些点可以把研究的对象分成性质相似的群组, 因此, 其本身就是分级的良好界限。自然断点法即为一种根据数值转折点、特征点统计分布规律分级和分类的统计方法, 能使各类之间的不同最大化。

以计算得到的 2010 年景观生态风险指数(ERI)为基准, 采用自然断点法分类, 划分出 5 个等级: 低风险($ERI \leq 0.068$)、较低风险($0.068 < ERI \leq 0.093$)、中等风险($0.093 < ERI \leq 0.100$)、较高风险($0.100 < ERI \leq 0.109$)、高风险($0.109 < ERI \leq 0.121$)。2016 年、2022 年景观生态风险等级使用相同阈值进行划分。

3 结果

2010 ~ 2022 年, 研究区景观生态低风险($ERI \leq 0.068$)小流域数量在减少, 由 12 个减少至 10 个; 较低风险小流域在 2010 ~ 2016 年数量无变化, 2016 ~ 2022 年数量增加, 由 21 个增加至 34 个; 中等风险小流域在增加, 由 2010 年的 29 个增加至 2022 年的 36 个; 较高风险小流域数量迅速减少, 由 51 个减少至 35 个; 高风险小流域数量有减少趋势, 由 11 个减少至 9 个, 较高风险小流域数量减少最快(表 3)。

由 2010 ~ 2022 年景观生态风险不同等级分布特征来看, 2010 年高风险小流域区主要分布在长江附近、丰乐河上游与中游、杭埠河中游及巢湖流域东北侧区域; 较高风险小流域区主要分布于长江附近、白石山河与兆河之间、丰乐河上游与中游、南淝河东侧; 低风险与较低风险小流域区主要分布于杭埠河上游、兆河上游、巢湖、南淝河下游及巢湖流域东北侧(图 2)。2016 年高风险小流域区主要分布于长江沿岸、巢湖南北侧、丰乐河上游与中游; 较高风险小流域主要分布于长江沿岸、白石山河与兆河之间、丰乐河附近及南淝河与柘皋河之间; 低风险与较低风险小流域主要分布于杭埠河上游、兆河上游、巢湖、南淝河下游及整个巢湖流域东北侧(图 3)。2022 年高风险区主要分布于长江沿岸、巢湖北侧及杭埠河中游与

表 3 各年份不同等级景观生态风险小流域统计表

Table 3 Statistics of small basin with different levels of landscape ecological risk by year

阈值, 风险划分	2010年		2016年		2022年	
	数量(个)	占比	数量(个)	占比	数量(个)	占比
$ERI \leq 0.068$, 低风险	12	9.68%	11	8.87%	10	8.06%
$0.068 < ERI \leq 0.093$, 较低风险	21	16.94%	21	16.94%	34	27.42%
$0.093 < ERI \leq 0.100$, 中等风险	29	23.39%	32	25.81%	36	29.03%
$0.100 < ERI \leq 0.109$, 较高风险	51	41.13%	49	39.52%	35	28.23%
$0.109 < ERI \leq 0.121$, 高风险	11	8.87%	11	8.87%	9	7.26%

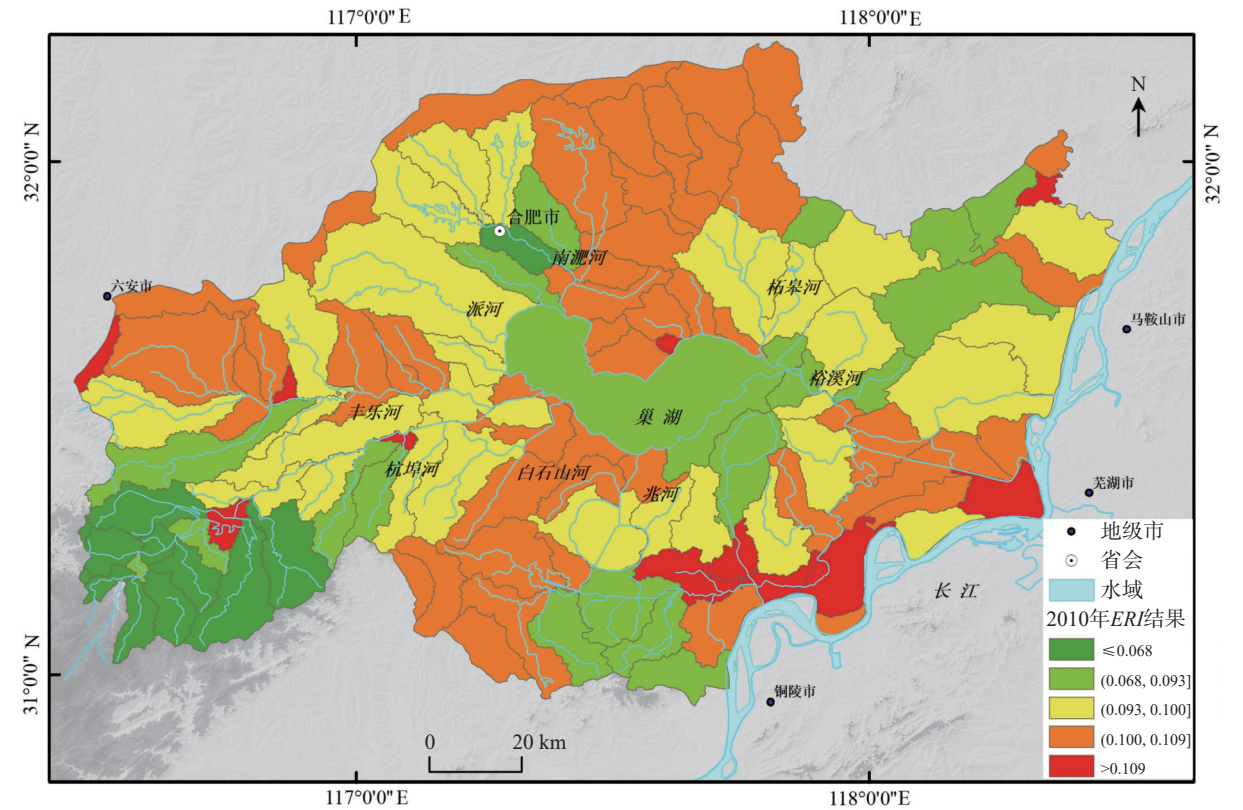


图 2 巢湖流域 2010 年景观生态风险指数 (ERI) 分布图

Fig. 2 The landscape ecological risk index (ERI) distribution map of the Chaohu Basin in 2010

下游; 较高风险小流域主要分布于长江沿岸、巢湖南北侧、巢湖流域北侧; 低风险与较低风险小流域主要分布于兆河上游、杭埠河附近、派河附近、南淝河附近、巢湖、杭埠河及裕溪河附近(图 4)。

4 讨论

4.1 巢湖流域景观生态风险时空变化特征及其驱动因素分析

对比 2010 年、2016 年、2022 年小流域景观生态风险结果, 得出巢湖流域三个时间阶段的景

观风险时空分布特征(图 5), 发现以杭埠河、南淝河、派河、丰乐河、杭埠河、白石山河、兆河、裕溪河为主要流域, 杭埠河上游、派河整个流域、南淝河下游、柘皋河下游及裕溪河上游地区处于低风险等级, 而白石山河流域、兆河下游、裕溪河下游及长江北部沿岸却处于较高风险等级, 因此, 景观生态风险在各主要流域内部及主要流域之间差异性较大。王诗琪和周振宏(2023)将巢湖流域 2000 年、2010 年和 2020 年不同阶段的景观生态风险变化划分为稳定型、前期变化型、后期变化型、反复变化型、持续变化型 5 个类型, 对比本研

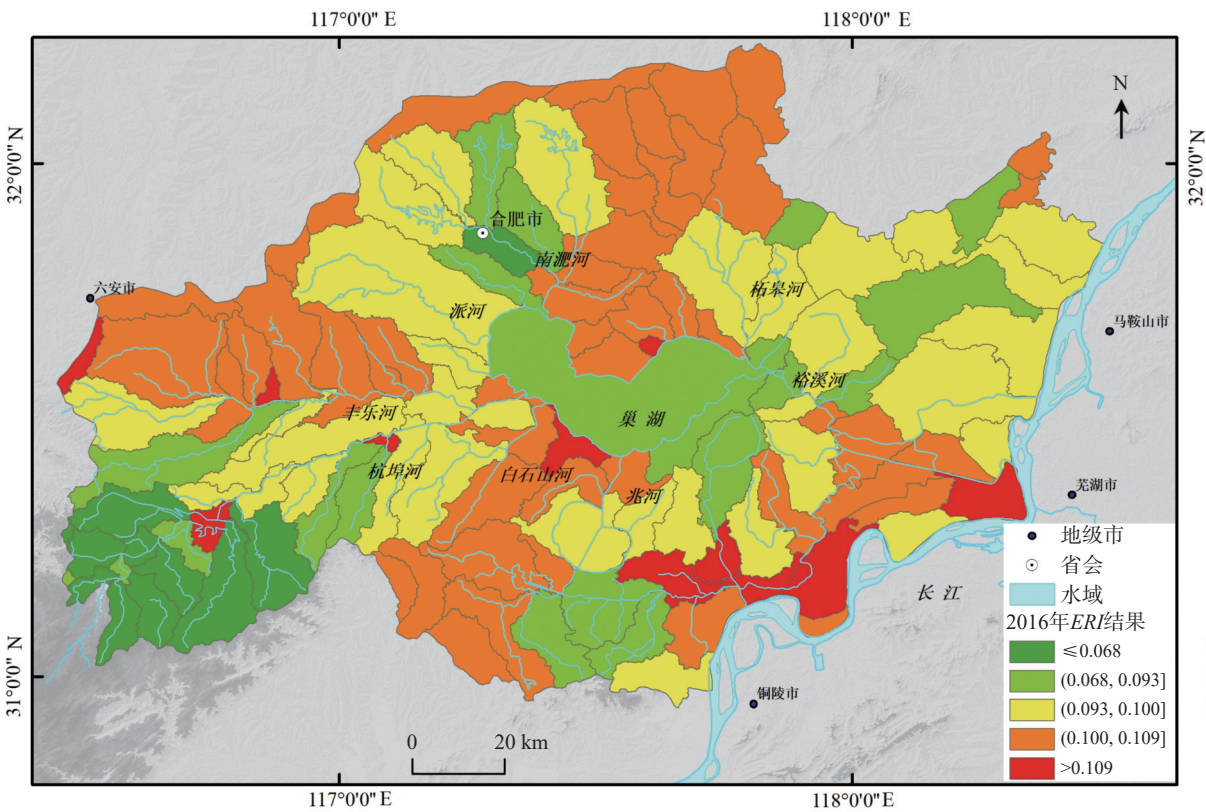


图 3 巢湖流域 2016 年景观生态风险指数 (ERI) 分布图

Fig. 3 The landscape ecological risk index (ERI) distribution map of the Chaohu Basin in 2016

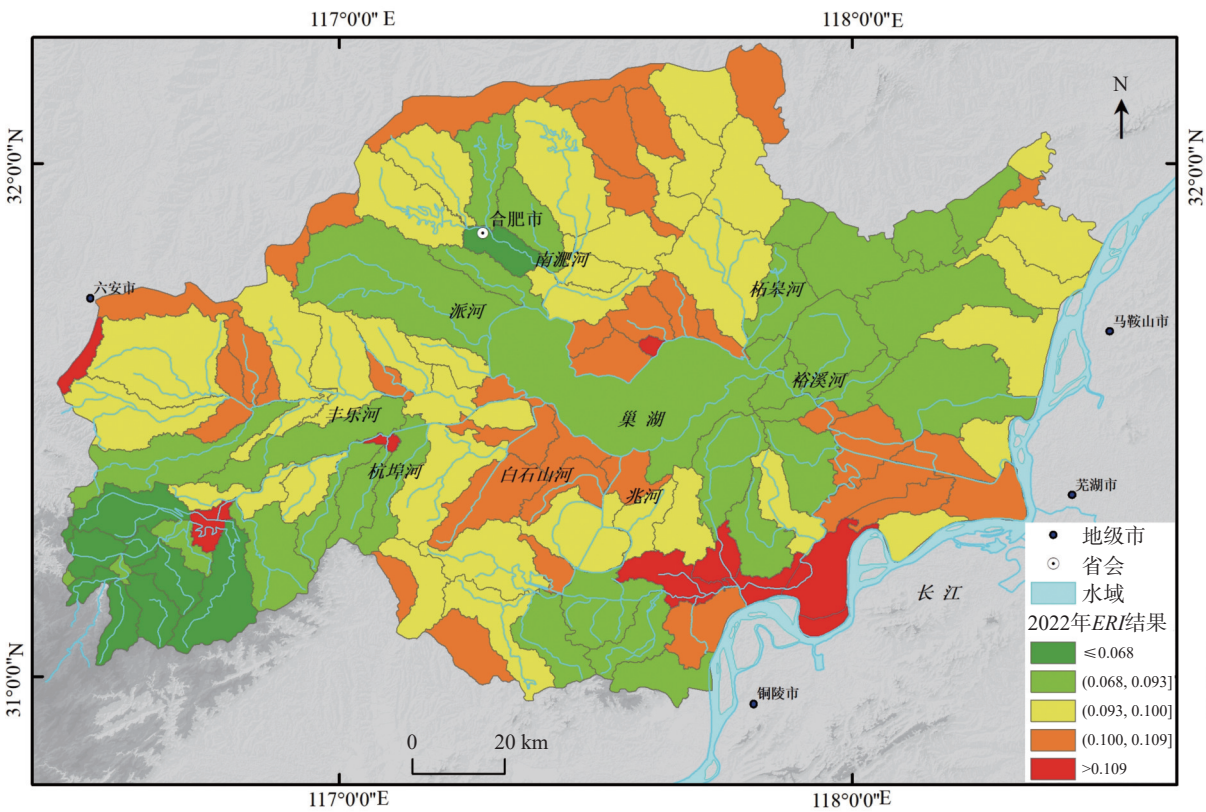


图 4 巢湖流域 2022 年景观生态风险指数 (ERI) 分布图

Fig. 4 The landscape ecological risk index (ERI) distribution map of the Chaohu Basin in 2022

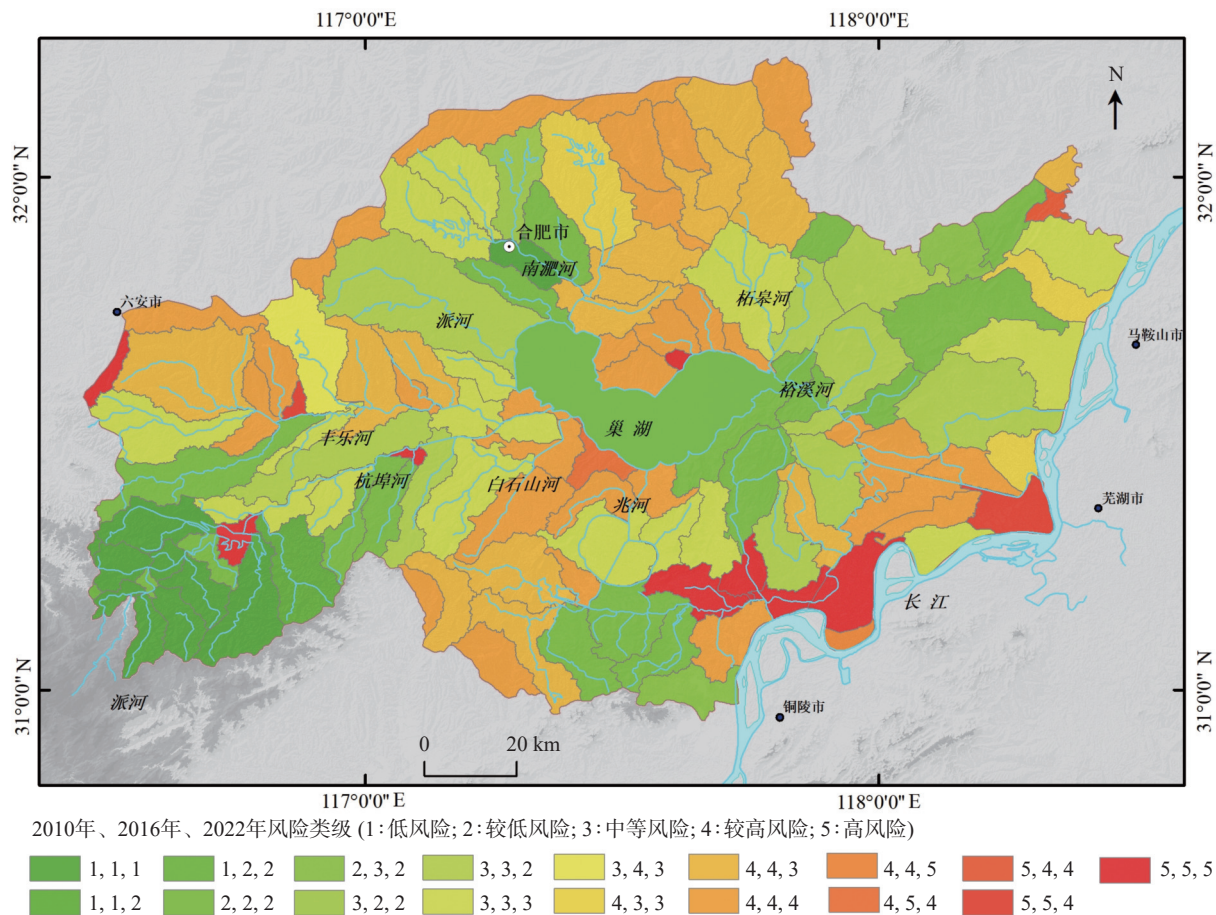


图 5 巢湖流域 2010 年、2016 年、2022 年景观生态风险变化图

Fig. 5 Landscape ecological risk change map of the Chaohu Basin in 2010, 2016 and 2022

究发现虽然大部分小流域在 2010 年、2016 年、2022 年景观生态风险有所变化,但变化等级未出现越级变化现象,均为相邻等级之间转化,因此,同一主要流域景观生态风险随时间变化特征差异较小。根据前人对景观风险内驱力研究,海拔高度、地貌特征、保护区距离、人为干扰程度与景观生态风险空间差异密切关联(张文静等,2020)。

杭埠河上游地区的景观生态风险等级基本为低风险或较低风险,这可能与处于大别山区,海拔较高(DEM 高程>132 m)、地势较陡(起伏度>16.88 m、坡度>8.57°),景观类型一直为林地且距离主要人为干扰区较远有关(图 6a、6b、6c、6d、6e)。杭埠河中游风险水平明显改善,较低风险范围明显增加,但下游地区一直处于中等与较高风险。鉴于中下游区域海拔相对较低、地势平坦,土地利用类型图斑在舒城县附近变化明显(图 6f),中游生态景观风险降低主要可能与舒城

县经济发展、城市建设过程中土地整理有关,而下游区域风险等级无变化则可能是与该区域远离县城主城区,城镇外扩范围有限,土地利用类型常年以耕地为主,土地利用类型变化不明显有关。

丰乐河上游地区的风险等级多年为高风险,中下游地区则一直为中等与较高风险。丰乐河流域整体海拔处于 132 m 以下,上游地区距六安市(金安区、裕安区)距离较近,可能受人为干扰程度较大;中下游地区驱动因素与杭埠河下游区类似,主要由于该区主城区距离较远,建设用地以城镇、村庄建设用地为主,导致景观零散、聚集度不高,且周边为大片耕地,用地类型多年变化不明显(图 6f)。

派河流域的风险等级有所下降,由中等变为较低风险。派河流域整体海拔较低、相对平坦,土地利用类型变化十分明显(图 6a、6f),据研究在低地和中低地形区域,环境质量的改善更多地是由

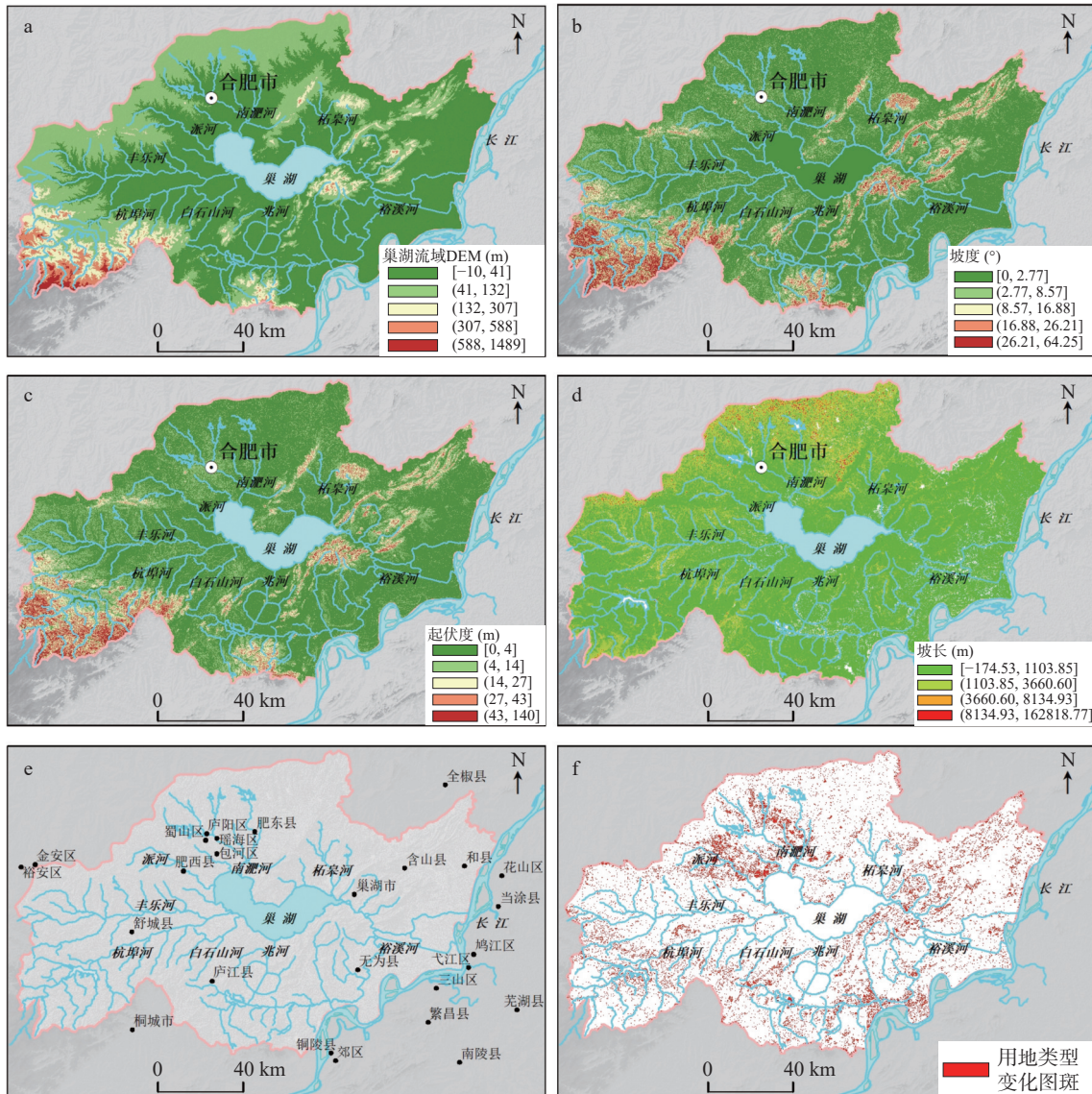


图6 巢湖流域地形地貌及人为干扰分布图

Fig. 6 Distribution of topography and anthropogenic disturbances in the Chaohu Basin

a.海拔分布图; b.坡度分布图; c.起伏度分布图; d.坡长分布图; e.县/市/区分布图; f.用地类型变化图斑分布图

于政策实施等因素主导(王诗琪和周振宏, 2023), 肥西县政府近十几年来致力于打造绿色生态城市, 坚持开展精准治污、低碳发展、土地整治和产业升级等政策, 使得生态景观环境质量大幅提升。

南淝河流域上游的风险等级一直为中等风险, 下游则一直为较低或低风险。南淝河上游中等风险区海拔虽然较低, 但坡长比下游高且距离主城区距离较远, 下游为合肥市主要城区范围, 城镇建设较为集聚, 形成了南淝河上游比下游风险值高的特征(图 6a、6d、6e)。

南淝河与柘皋河之间风险等级一直处于中等

至较高风险, 这与该区域地形起伏明显、坡长较高、且距离主城区较远, 城镇聚集度不高, 导致景观破碎、分离等指数较高, 且多年土地利用类型变化相对较少有关(图 6a、6c、6d、6e、6f)。

裕溪河流域上游的风险等级为较低, 与该区域大片的森林景观, 相对较高的海拔、起伏度、坡度以及巢湖市大规模、高集聚的城市建设用地分布有关(图 6a、6b、6c、6d、6f)。然而, 裕溪河流域的中下游风险等级为较高至高风险, 则主要是由建设区的分布较为零散, 大片农业耕地景观被分割, 且长年土地利用类型相对稳定造成的。

兆河、白石山河流域风险等级一直保持在中等及较高风险。该区域虽然局部有较高海拔、较高起伏度、较大坡度地形地貌分布,但由于建设用地以城镇、村庄建设用地为主,景观零散、聚集度不高,且周边耕地被建设用地分割,用地类型多年变化不明显(图 6a、6b、6c、6d、6f),这与丰乐河上游的驱动因素相似。

长江沿岸的风险等级基本为较高,主要是由于水体景观的单个斑块面积较小,但分布广泛,土地利用类型多年变化十分明显,人为干扰度高等原因所致(图 6f)。

巢湖流域以低等级地形平原为主,王诗琪和周振宏(2023)认为巢湖流域较低风险等级区对于高等级梯度空间具有更强的适应性,高风险区域更多地分布于低等级地形位,但本研究发现巢湖流域低等级地形位中除地势较高、坡度较大、起伏度相对较高的区域外,建设用地集约且面积广或大面积水域连片度高的流域景观生态风险同样处于较低等级,而受主城区辐射影响但距离相对较远的流域,存在较高景观生态风险,主要因为建

设用地分割了耕地,导致景观分离度等指数较高。同时,低等级地形位中长江沿岸周边流域虽然受主城区辐射影响较小,但由于地表水丰富且分布零散,土地利用类型人为干扰性强,也存在较高景观生态风险。此外,次低等级地形位中(41 ~ 132 m)也容易出现较高景观生态风险。

4.2 巢湖流域生态安全格局的优化及建议

谢三桃等(2023)以防洪调蓄、污染治理等先导工程为基础,针对巢湖流域林分单一、湿地萎缩等系列问题,形成了“一湖两带八区”的流域生态格局(分别为巢湖湖区,大别山-江淮分水岭水源涵养带和环湖生态保护带,以 8 条主要出入湖河流为轴线,构建 5 个农田复合生态系统修复区和 3 个低影响开发城镇生态系统修复区)。本文以巢湖流域生态要素单元构成及其景观生态风险评价为参考,融合区域生态地质问题,依据“问题-风险-保护修复方式”的原则,提出对巢湖流域的生态安全格局分区的优化建议(图 7)。

建立大别山-江淮分水岭、巢湖生态保护区(2“区”)。大别山-江淮分水岭生态保护区,主要

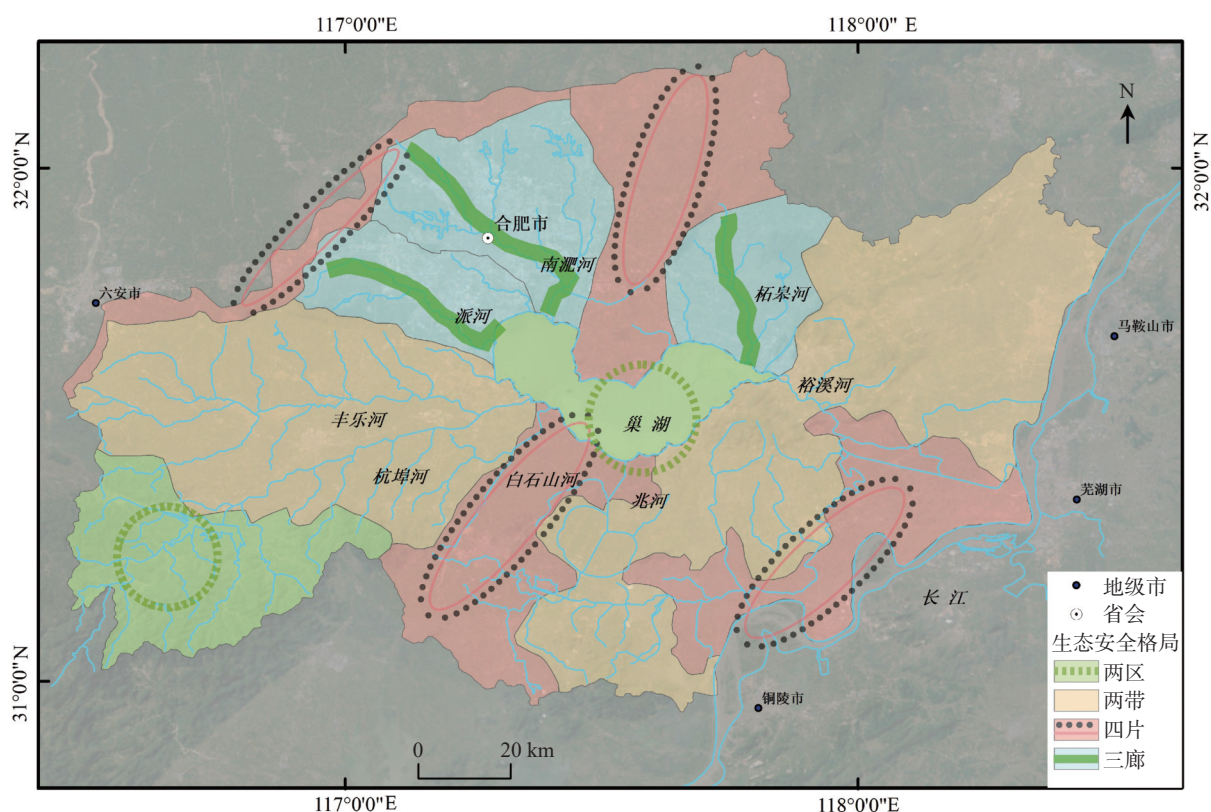


图 7 巢湖流域生态安全格局图

Fig. 7 Ecological security pattern of the Chaohu Basin

为大别山山区,海拔相对较高,地势较陡,林地覆盖面积广,景观生态风险一直处于低风险等级,但周边也存在高景观生态风险的小流域,需要开展封山育林、废弃矿山修复及荒山水土流失防治等措施,防止景观生态被破坏。巢湖生态保护区,主要为巢湖水域,地势相对平坦,海拔相对较低,人为干扰严重,主要存在水质富营养化、湿地萎缩等问题(王绪伟等, 2007; 吴利等, 2023; 谢三桃等, 2023),建议净化河湖水质,减轻生态环境的胁迫压力,丰富区域生物多样性。

形成派河、南淝河、柘皋河重要生态保护廊道(3“廊”)。巢湖表层沉积物中总氮与总磷分布特征为西部高、东部次之、中部最低,且整体呈北部高于南部的趋势,主要表现为西侧贯穿合肥市区的河流及东侧贯穿巢湖市的河流受生产、生活污染排放的影响,沉积物作为氮磷的汇储存在着大量营养盐(王艳平等, 2021),因此,采取河流底泥清淤、生态补水、城镇生活污水收集处理、以及河岸湖岸植被缓冲带建设等措施,可以削减入河污染,改善河道生态环境。

重视巢湖南北两侧、东南边缘长江北岸周边流域及西北边缘次低级地形流域景观生态高风险(4“片”):重点实施以农业布局调整措施、优化土地结构为主体的土地整治工程,生态景观型的土地整治是实现巢湖流域生态保护修复的必经之路(张森森等, 2021)。

重点关注丰乐-杭埠河农业带、裕溪-兆河农业带(2“带”):重点实施流域农业面源污染治理工程,通过农业产业结构调整、高标准农田建设、生态循环农业、节水灌溉等措施,从源头控制污染产生量。

5 结论

(1)巢湖流域内,2010年、2016年、2022年景观生态高风险、较高风险以及低风险小流域逐渐减少,景观生态中等风险小流域增加。

(2)整体上,巢湖流域内景观生态风险在各主要流域内部及主要流域之间差异性较大,而同一主要流域景观生态风险随时间变化特征差异较

小,差异性较大主要与海拔等地理因素、城镇建设发展、人为干扰等多重因素有关。低等级和中低等级地形位中受主城区辐射影响但距离相对较远的流域景观生态易出现高风险,同时,次低等级地形位中易出现较高景观生态风险。

(3)以巢湖流域生态要素单元构成及其景观生态风险评价为参考,提出了“两区、三廊、四片、两带”流域生态安全格局分区建议。

参考文献:

- 陈丁楷,石龙宇.2021.基于土地利用变化的雄安新区景观生态风险评价与预测[J].生态经济,37(11):224-229.
- 陈全通,殷浩然,李艳红,董庆栋,张平平,朱连奇.2022.秦巴山地景观生态风险的时空分异[J].水土保持通报,42(3):239-246.
- 冯琰玮,甄江红,马晨阳.2021.内蒙古生态承载力评价及生态安全格局优化[J].地理研究,40(4):1096-1110.
- 高星,宋昭颖,李晨曦,汤怀志.2023.基于景观生态风险评价的白洋淀流域景观格局优化研究[J].生态与农村环境学报,39(2):174-183.
- 贾艳艳,唐晓岚,任宇杰.2022.长江流域安徽段生态系统服务价值与景观生态风险时空演变及其关联分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),46(3):31-40.
- 康紫薇,张正勇,位宏,刘琳,宁珊,赵贵宁,王统霞,田浩.2020.基于土地利用变化的玛纳斯河流域景观生态风险评价[J].生态学报,40(18):6472-6485.
- 李倩瑜,唐立娜,邱全毅,李寿跳,徐烨.2024.基于形态学空间格局分析和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建:以厦门市为例[J].生态学报,44(6):2284-2294.
- 李青圆,张正栋,万露文,杨传训,张杰,叶晨,陈裕祥.2019.基于景观生态风险评价的宁江流域景观格局优化[J].地理学报,74(7):1420-1437.
- 李昭阳,张楠,汤洁,籍瑶,刘继莉.2011.吉林省煤矿区景观生态风险分析[J].吉林大学学报(地球科学版),41(1):207-214.
- 梁发超,胡其玉,起晓星.2021.基于生命共同体的景观生态风险评价与管控策略——以成渝城市群为例[J].经济地理,41(8):152-159.
- 裴燕如,孙炎浩,于强,马骏,王慧媛,岳德鹏.2021.黄河流域典型矿区生态空间网络优化——以鄂榆地区为例[J].煤炭学报,46(5):1541-1554.
- 彭建,党威雄,刘焱序,宗敏丽,胡晓旭.2015.景观生态风险

- 评价研究进展与展望[J]. 地理学报, 70(4): 664-677.
- 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 吴健生. 2017. 区域生态安全格局构建研究进展与展望[J]. 地理研究, 36(3): 407-419.
- 唐志敏, 白晓, 湛龙, 张洁, 周墨. 2022. 福建省长汀县重点水土流失区土壤元素地球化学特征及其指示意义[J]. 华东地质, 43(3): 324-335.
- 田雅楠, 马龙, 吴全. 2023. 黄河流域内蒙古段土地利用演变与景观生态风险评价[J]. 生态科学, 42(5): 103-113.
- 王诗琪, 周振宏. 巢湖流域景观格局和生态风险的时空分异特征[J/OL]. 长江科学院院报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1171.TV.20231025.1724.016.html>.
- 王书航, 姜霞, 金相灿. 2011. 巢湖入湖河流分类及污染特征分析[J]. 环境科学, 32(10): 2834-2839.
- 王绪伟, 王心源, 封毅, 刘慧兰. 2007. 巢湖沉积物总磷分布及其地质成因[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 30(4): 496-499.
- 王艳平, 徐伟伟, 韩超, 胡维平. 2021. 巢湖沉积物氮磷分布及污染评价[J]. 环境科学, 42(2): 700-711.
- 吴健生, 乔娜, 彭建, 黄秀兰, 刘建政, 潘雅婧. 2013. 露天矿区景观生态风险空间分异[J]. 生态学报, 33(12): 3816-3824.
- 吴利, 张雁, 陈亚军, 耿明, 陈小娟. 2023. 巢湖流域河湖系统水环境因子分布特征及营养状态评价[J]. 水生态学杂志, 44(1): 65-72.
- 谢三桃, 朱慧雯, 唐晓先, 郭佳陇. 2023. 巢湖流域山水林田湖草生态保护和修复[J]. 水资源保护, 39(2): 252-258.
- 熊鹰, 汪敏, 袁海平, 杜春艳, 武海鹏. 2020. 洞庭湖区景观生态风险评价及其时空演化[J]. 生态环境学报, 29(7): 1292-1301.
- 叶鑫, 邹长新, 刘国华, 林乃峰, 徐梦佳. 2018. 生态安全格局研究的主要内容与进展[J]. 生态学报, 38(10): 3382-3392.
- 于航, 刘学录, 赵天明, 张梦莹, 年丽丽, 李晓丹. 2022. 基于景观格局的祁连山国家公园景观生态风险评价[J]. 生态科学, 41(2): 99-107.
- 于淑会, 康园园, 邓伟, 王功明, 王洪宽, 邢宇华. 2022. 太行山东部县域“三生”用地转型与景观生态风险分析——以河北省平山县为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 30(7): 1113-1122.
- 张景, 陈国光, 张定源, 王冲, 张洁, 牛晓楠, 吴佳瑜. 2022. 基于陆海统筹理念的闽江口生态格局探讨[J]. 华东地质, 43(1): 61-71.
- 张静, 秦公伟, 成升魁, 文雅婷. 2023. 汉江生态经济带景观生态风险与生态系统服务价值的时空变化及关联性[J]. 水土保持通报, 43(4): 294-306.
- 张森森, 肖武, 徐建飞, 李素萃, 吕雪娇, 赵彬程. 2021. 巢湖流域土地整治与面源污染时空过程及关系[J]. 水土保持研究, 28(1): 360-367.
- 张文静, 孙小银, 单瑞峰, 刘飞. 2020. 1975—2018年南四湖流域景观生态风险时空变化及其驱动因素研究[J]. 生态科学, 39(3): 172-181.
- 张雪茂, 董廷旭, 杜华明, 袁川, 廖传露, 王飞. 2022. 涪江流域景观生态风险空间异质性特征分析[J]. 水土保持研究, 29(3): 156-163.
- 郑可君, 李琛, 吴映梅, 高彬媛, 李蝉, 武燕. 2022. 云南边境山区景观生态风险时空演变及其影响因素[J]. 生态学报, 42(18): 7458-7469.
- Wu Z S, Lai X J, Li K Y. 2021. Water quality assessment of rivers in Lake Chaohu Basin (China) using water quality index[J]. Ecological Indicators, 121: 107021.
- Yang J, Huang X. 2023. The 30 m annual land cover datasets and its dynamics in China from 1985 to 2022[DS]. In Earth System Science Data, 1.0. 2, 13(1): 3907-3925. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8176941>.
- Yang Y P, Chen J J, Lan Y P, Zhou G Q, You H T, Han X W, Wang Y, Shi X. 2022. Landscape Pattern and Ecological Risk Assessment in Guangxi Based on Land Use Change[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3): 1595.
- Yao L, Li X L, Li Q, Wang J K. 2019. Temporal and spatial changes in coupling and coordinating degree of new urbanization and ecological-environmental stress in China[J]. Sustainability, 11(4): 1171.