

1984–2023年苏州高新区景观格局演变及景观生态风险评估

The Evolution of Landscape Patterns and Landscape Ecological Risk Assessment in Suzhou New District from 1984 to 2023

徐曦 钱静* 印玉琴
XU Xi QIAN Jing* YIN Yuqin

(南京工业大学建筑学院, 南京 211816)
(College of Architecture, Nanjing Tech University, Nanjing, Jiangsu, China, 211816)

文章编号: 1000-0283(2025)01-0093-08
DOI: 10.12193/j.laing.2025.01.0093.010
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2024-08-11
修回日期: 2024-10-14

摘要

以苏州高新区为研究对象,通过解译Landsat系列遥感影像建立研究区土地利用数据,分析1984–2023年研究区景观格局演变过程,并构建50 m×50 m的风险小区,利用景观格局指数法对其景观生态风险进行评估。结果表明:近40年间苏州高新区景观格局发生了显著变化,主要表现为耕地向建设用地的转变和建设用地自东南向西北、从伴山到临湖的阶梯扩张,而水网格局和水域面积保持稳定,禁开禁采之后城市山林面积也在稳定恢复提高。在这一过程中,研究区平均景观生态风险值呈现出“提升—下降—回升”的趋势,不同时期景观格局的异质性使得景观生态风险分布差异明显,较大影响区域高值区景观生态风险的因素在这一过程中也发生转变,自发城镇化发展阶段高值区主导因素为景观脆弱度,快速城镇化发展阶段主导因素为景观破碎化,区域优化及高质量发展阶段主导因素为景观优势度。了解苏州高新区生态变化过程,识别提取长期处于高值风险的生态薄弱区,并基于研究结果提出区域发展建议,以期推动苏州高新区可持续发展,并为理解快速城市化进程中生态环境变化提供实证依据。

关键词

苏州高新区; 土地利用; 景观格局演变; 生态风险评估; 时空变化

Abstract

The study focuses on Suzhou New District as the research subject and interprets Landsat series remote sensing images to establish land use data for the area under investigation. It analyzes the evolution of landscape patterns in the research area from 1984 to 2023 and constructs risk plots measuring 50 m×50 m. The landscape ecological risk is evaluated using the landscape pattern index method. The findings indicate significant changes in the landscape pattern of Suzhou New District over the past four decades, primarily characterized by the transformation from arable land to construction land and the expansion of construction land from southeast to northwest, extending from hillsides to lakesides. Meanwhile, the water network pattern and water area have remained stable, and the urban mountain forest area has steadily recovered and increased since the ban on logging. In this process, the study area's average landscape ecological risk value shows a trend of "increase-decrease-rebound". The heterogeneity of landscape patterns at different times results in markedly different distributions of landscape ecological risk, and the factors that greatly affected the landscape ecological risk in the high-value area of the region also changed in this process. The dominant factor in the high-value area in the stage of spontaneous urbanization development was landscape vulnerability, the dominant factor in the rapid urban development stage was landscape fragmentation, and the dominant factor in the regional optimization and high-quality development stage was landscape dominance. This study understands the process of ecological change in Suzhou High-tech Zone, identifies and extracts the ecologically weak areas that have been at high risk for a long time, and puts forward regional development suggestions based on the findings to promote the sustainable development of Suzhou High-tech Zone and provide empirical evidence for understanding the ecological environment change in the rapid urbanization process.

Keywords

Suzhou New District; land use; evolution of landscape patterns; ecological risk assessment; space-time change

徐曦

1999年生/女/广西贵港人/在读硕士研究生/研究方向为风景园林规划设计

钱静

1973年生/女/江苏南京人/博士/副教授/研究方向为风景园林规划设计

印玉琴

2001年生/女/江苏常州人/在读硕士研究生/研究方向为风景园林规划设计

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: Jinn0220@njtech.edu.cn

研究城市景观格局演变并开展景观生态风险评估,是自然资源本底调查的重要内容,服务支撑生态保护与修复,是自然资源管理的基础工作,这对于理解区域生态环境变化、指导区域生态环境保护与可持续发展具有重要意义^[1]。

近年来,基于土地利用变化的景观生态风险逐渐应用于城市土地开发工作中,目前国内外对景观格局与景观生态风险评估的研究聚焦于尺度效应和时空效应。尺度方面多集中于城市群、流域、省市等多个尺度^[2],相关研究对象集中于流域、湿地、生态敏感区等^[3],而针对城市建成环境特别是快速发展区域的研究仍不足。时空方面主要基于土地变化和景观生态风险高度关联性,将影响因素、驱动关系和情景模拟进行研究探讨,而关注时空连续效应进行识别优化的研究相对较少。方法上,当前分析景观格局演变的主要方法包括遥感技术、GIS空间分析和景观指数分析。景观生态风险评估常见的评价方法主要有基于景观格局指数构建模型法、基于风险“源—汇”法和基于生态系统服务的方法^[4-7]。景观格局指数构建模型法能够快速识别风险空间分布特征,因此这一方式在目前最为常用。

苏州新区成立于1985年,1992年首批入选国家高新区,近40年经历了快速城市化、工业化过程,景观格局发生显著变化。作为中国快速城市化的典型案例,揭示苏州高新区景观格局演变特点及景观生态风险变化特征,可为理解快速城市化进程中生态环境变化提供实证依据。因此,本文以苏州高新区为研究对象,分析新区成立前后近40年来景观格局的演变过程,并利用景观指数法对其景观生态风险进行评估,基于对时空连续性的关注将长期处于高风险的景观生态薄弱敏

感的区域识别出来,为苏州高新区未来景观规划与生态建设提供科学依据,这对实现研究区域生态环境保护与可持续发展具有实践意义。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

苏州高新区位于苏州古城西侧,属虎丘区,介于北纬31° 18′—31° 28′、东经120° 10′—120° 52′之间,东临京杭大运河,南邻吴中区,北接相城区,西至太湖。行政区域面积333 km²,其中太湖水域110 km²,陆域面积223 km²。其下辖枫桥、狮山、横塘、镇湖4个街道及浒墅关、通安、东渚3个镇^[8]。苏州高新区属亚热带季风海洋性气候,春秋短,冬夏长,四季分明,全年气候温和湿润,年平均温度17.7℃。高新区拥有丰富的山水资源,包括56座山体、28 km太湖岸线、28 km京杭运河岸线,绿色发展优势得天独厚。

1.2 数据来源及处理

本研究利用中国科学院资源环境科学数据中心提供的行政区划矢量数据和地理空间数据云的Landsat系列影像,以2023年为起点,追溯到成立新区规划前的景观动态变化。以10年为一个时间间隔,鉴于最早可获取1984年的遥感数据,最终选取了1984年、1993年、2003年、2013年和2023年共5期遥

感影像进行分析,数据信息见表1。研究考虑行政边界土地利用对景观生态风险评估的影响,以行政区划外扩100 m确定解译范围边界。通过ENVI软件对影像进行辐射定标、裁剪、大气校正和栅格重采样处理,最终获得15 m×15 m分辨率的影像图,并采用监督分类法结合最大似然法及目视解译修正进行土地利用分类,根据现有LUCC体系将土地分为水体、草地、林地、耕地、建设用地和未利用地6类。利用2023年高精度遥感影像地图分散性随机选点,通过混淆矩阵验证解译精度,结果表明整体准确度为97.9072%,Kappa系数为0.9739,精度满足研究要求。

2 研究方法

2.1 景观格局演变

景观格局是地表各类景观要素在空间上的排列和组合形式^[9],景观格局演变是指在一定时间和空间范围内,地表空间中各种景观要素的分布组成和空间配置发生的一系列变化^[10]。土地利用转移矩阵是理解景观格局演变的重要方式,其主要描述和量化在一定时间内不同土地利用类型之间相互转化的动态关系^[11-12]。本研究采用在地统计法,将解译后文件导入GIS软件处理,建立研究区内土地利用数据库,统计不同时期的土地利用数据进行对比。采用叠加代数计算研究区土地利用转移矩阵,并计算1984—2023年各土地

表1 遥感影像信息
Tab. 1 Remote sensing image information

年份 Year	数据类型 Data type	成像时间 Imaging time	云量 Cloud cover	分辨率 Resolution
2023	Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2	2023.5.28	0.83	30 m × 30 m
2013	Landsat 8 OLI_TIRS	2013.7.17	12.37	30 m × 30 m
2003	Landsat 7 ETM SLC-off	2003.8.1	0	30 m × 30 m
1993	Landsat 4-5 TM	1993.5.25	13.1	30 m × 30 m
1984	Landsat 4-5 TM	1984.8.4	0	30 m × 30 m

利用的变化量, 探析研究期内研究区景观格局演变特征。

2.2 景观风险评估

2.2.1 风险评估模型构建

景观生态风险评估关注景观在提供生态系统服务和生态功能方面的整体损失, 涉及景观脆弱性、恢复力、稳定性等层面的综合评价, 并定量表征生态受到胁迫和承受风险程度, 能识别和预测生态风险区域^[13-14]。现有研究中景观生态风险指数 (Ecological Risk Index, ERI) 主要由干扰度指数、脆弱度指数和损失度指数构建, 能有效分析景观异质性与生态系统的动态变化^[2], 因此本研究利用景观损失度和概率来定量表征研究区景观生态风险, 采取景观干扰度指数与景观脆弱度指数来反映景观损失度, 利用景观破碎度指数、景观分离度指数及景观优势度指数反映景观干扰度^[15-17]。根据景观类型易受破坏程度进行排序为建设用地<林地<耕地<草地<水体<未利用地, 依据排序将用地类型的脆弱度依次赋值为建设用地=1, 林地=2, 耕地=3, 草地=4, 水体=5, 未利用地=6^[18-19], 通过归一化处理获得各类型景观脆弱度指数。其相关计算公式如表2。

2.2.2 风险小区划分

为深入探究研究区内部空间异质性特征, 提高风险评价精度, 本文采用划分风险小区进行探究。相关研究表明, 风险小区划分以平均斑块面积2~5倍为宜^[21-22], 结合苏州高新区的情况, 通过实验比较发现50m×50m的风险小区中拟合程度明显优于100m×100m的风险小区。因此, 本研究选择采用50m×50m的网格大小来划定风险小区, 最终将研究区划分为1419个风险小区。

表2 景观生态风险评估计算方法
Tab. 2 Calculation method of landscape ecological risk assessment

类别 Category	计算公式 Computational formula	生态解释 Ecological interpretation
景观生态风险 EIR	$EIR = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} \cdot R_i$	—
景观损失度 R_i	$R_i = S_i \cdot F_i$	景观损失度反映一个地区生态系统的稳定性和可持续性, 当景观损失度很高时, 地区的生态系统往往处于衰退或崩溃的边缘
景观干扰度 S_i	$S_i = aC_i + bN_i + cD_i$	景观干扰度是指景观受到人为或自然因素影响程度的指标, 其值越高受干扰程度越大, 越不利于生态系统稳定
景观破碎度 C_i	$C_i = \frac{n_i}{A_i}$	景观破碎度表征景观内部结构破碎、分割和孤立的程度。景观分离度是指景观内部各要素之间相互分隔、割裂、相对独立的程度。景观破碎度和景观分离度反映一个地区内部生态环境的完整性和联系性, 当景观破碎度和分离度较高时, 地区的生态系统往往失去了连贯性和稳定性, 难以维持正常的生态功能
景观分离度 N_i	$N_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{A_i} \cdot \sqrt{\frac{n_i}{A}}$	
景观优势度 D_i	$D_i = \frac{(Q_i + M_i)}{4} + \frac{L_i}{2}$	景观优势度是指在景观中具有显著优势的生态环境类型, 其值越大表明多样性越低
景观脆弱度 F_i	$F_i = \frac{X_i}{\text{sum}(X)}$	景观脆弱度是判断生态系统抵抗外部干扰的能力, 景观脆弱度越高, 意味着生态系统越难以从外部干扰中恢复, 其越容易受到破坏

注: A_{ki} 为第 k 个评价单元内 i 类景观的总面积, A_k 为第 k 个评价单元内景观总面积, A 为评价单元内景观总面积, A_i 为 i 类景观的总面积。a、b、c 为各指标权重, $a+b+c=1$, 根据研究区特点参考现有文献研究成果, 对 C_i 、 N_i 、 D_i 的权重进行赋值, 分别为 0.5、0.3、0.2^[20]。 n_i 为评价单元内 i 类景观的斑块个数, N 为评价单元内景观斑块总个数。 $M_i=n_i/N$, $Q_i=(i$ 类景观出现的风险小区个数) / (总风险小区个数), $L_i=A_i/A$ 。X 为用地类型景观脆弱度赋值, X_i 为 i 类景观的景观脆弱度。

2.2.3 风险时空分析

利用模型构建器构建工作流程自动递归提取不同时期研究区内 1419 个风险小区的土地利用栅格文件, 并导入 Fragstats 软件计算其景观指数。通过风险评估模型计算获取不同时期各风险小区景观生态风险值, 在 GIS 中采用插值分析制作直观表达图。

空间自相关分析是检验各生态风险等级在空间分布相邻位置间相关程度的有效方法^[23], 研究利用 GIS 中提供的 Moran's I 统计进行全局空间自相关分析, 并利用聚类异常值分析工具进行局部空间自相关分析, 进一步探析风险时空分布特征。

3 结果分析

3.1 景观格局演变分析

3.1.1 演变特征分析

结合土地利用分布 (图 1) 和用地面积统计 (图 2) 可以发现: 研究期间, 太湖水面相对稳定, 始终维持占总用地面积的 32%, 而陆域水体逐年小幅度增加, 用地占比从 3% 提升到 5%; 林地面积先减少后稳定增加, 总体变化减少约 1 195 hm^2 , 占总用地面积的 3%; 草地变化波动, 总体为减少趋势; 耕地大幅度减少且是减少幅度最大的用地类型, 研究期间用地占比减少 20%, 反映该区域的城镇化进程和农业用地的转变; 建

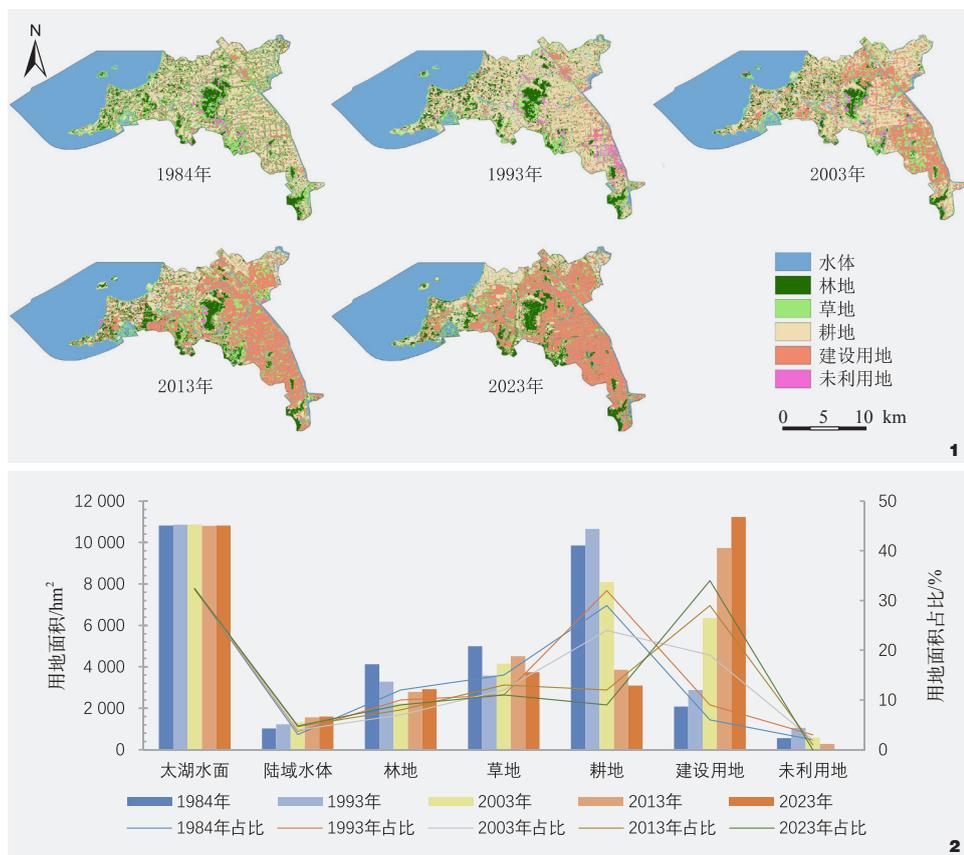


图1 1984—2023年土地利用分布图
Fig. 1 Land use distribution map from 1984 to 2023

图2 1984—2023年各类用地面积统计
Fig. 2 Statistics of the area of various land use from 1984 to 2023

建设用地逐年增长，且在新区成立后快速增长，到后一期增长率有所降低，其与区域增长空间有一定关联；未利用地先增后逐年减少，几乎消失殆尽。从区域整体角度看，水体始终是研究区优势景观类型，发展过程中，研究区第二优势景观类型逐渐从耕地转变为建设用地。

通过土地利用转移矩阵（表3）可知：水体转出和转入以草地和耕地为主；林地转出以耕地为最多，转出力度逐渐减少，转入也以耕地为主，后一期则主要为草地转入；草地主要转出先为耕地后为建设用地，转入最多为耕地；耕地较多转出为草地和建设

用地，草地后期再转为建设用地，其最终主要转为建设用地，耕地转入主要为林地和草地，后期也有部分建设用地优化调整拆除转化为耕地；未利用地多转化为建设用地。总体而言，研究区内土地利用变动较为明显且复杂，近40年间研究区景观格局发生显著变化。

3.1.2 不同时期格局变化讨论

结合土地利用及区域发展状况，进一步分析和讨论景观格局主要变化状况及成因。

在1984年和1993年这两个时期，研究区以农业和生态用地为主，村庄形态表现出典

型苏南水网地区村落沿河流分布特征。对比1984年，1993年耕地增加，这可能是受到自然发展下人口增长、粮食需求驱动。在这期间，为保护苏州古城的城市肌理和空间格局以及提供城市发展空间，1985年版苏州总体规划在西部规划建设苏州新区，引导城市西向拓展^[24]，至1993年研究区已显现出城市化加速迹象。

对比1993年和2003年状况，这期间研究区作为国家高新区建设发展，且1995年修编了《苏州高新区总体规划》，规划区域延展至大阳山东北部的双河交汇片区^[25-26]，到2003年规划区域城市快速扩张发展，这一时期道路网架明显，建设用地占据大片耕地及部分林地、草地。资源消耗型的开山采石矿业发展导致大面积林地转化为耕地、草地和裸露地，部分矿坑积水转为水域。2002年，苏州高新区依据《苏州市禁止开山采石条例》禁止开山采石，对其后土地发展也有一定影响。

对比2003年和2013年状况可知，这10年间城市快速发展，而这期间颁布了《苏州高新区（虎丘区）土地利用总体规划（2006—2020年）》，规划范围为整个辖区陆域范围，使得建设用地更为集约，到2013年东部建设用地已连成片，大面积耕地转化为建设用地。作为补偿，西部林地、草地转化为耕地，景观碎片化进一步加剧。由于2004年后区域生态规划加强，公共绿地建设和宕口山体保护及复绿取得一定成效，林地和草地有所增加。

对比2013年和2023年这两个时期，发展中建设用地跨过大阳山并沿临湖方向持续快速扩张，耕地减少，面临城市增长空间受限问题。2018年，政府对区域总规进行优化调整，并积极开展“三优三保”行动和大力推进高标准农田建设。随着耕地集中优化

表3 土地利用转移矩阵 (单位: hm^2)
Tab. 3 Land use transfer matrix

1993年 1984年	水体 Water	林地 Woodland	草地 Grassland	耕地 Cultivated land	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land	转出合计 Total of transfer-outs
水体	11 436	57	139	211	98	29	534
林地	79	1 485	586	1 476	254	120	2 515
草地	401	737	1 174	1 551	506	224	3 419
耕地	211	679	954	7 331	885	344	3 073
建设用地	40	149	160	536	1 110	86	971
未利用地	16	50	138	97	29	227	330
转入合计	747	1 672	1 977	3 871	1 772	803	—
2003年 1993年	水体	林地	草地	耕地	建设用地	未利用地	转出合计
水体	11 446	15	251	291	72	10	639
林地	78	1 259	615	867	369	90	2 019
草地	234	315	1 087	1 183	629	132	2 493
耕地	265	572	1 647	4 921	3 106	144	5 734
建设用地	12	64	360	716	1 694	38	1 190
未利用地	71	12	190	120	487	171	880
转入合计	660	978	3 063	3 177	4 663	414	—
2013年 2003年	水体	林地	草地	耕地	建设用地	未利用地	转出合计
水体	11 547	45	294	148	15	28	530
林地	26	1 036	278	640	245	11	1 200
草地	326	664	1 140	522	1 406	63	2 981
耕地	353	853	1 590	2 160	3 068	65	5 929
建设用地	61	129	983	351	4 791	40	1 564
未利用地	28	55	217	30	191	63	521
转入合计	794	1 746	3 362	1 691	4 925	207	—
2023年 2013年	水体	林地	草地	耕地	建设用地	未利用地	转出合计
水体	11 863	77	263	83	35	1	459
林地	60	1 568	399	413	339	2	1 213
草地	292	675	1 244	362	1 916	11	3 256
耕地	174	333	691	1 746	904	0	2 102
建设用地	17	212	1 068	472	7 936	4	1 773
未利用地	12	57	77	17	103	3	266
转入合计	555	1 354	2 498	1 347	3 297	18	—

整治, 较多零散林地转化为耕地, 另外建设区内林地开发转为建设用地或待建区闲置草地, 但由于造林计划的稳步实施, 林地面积得以增加。

3.2 景观风险时空变化分析

3.2.1 变化特征分析

自然断点法的原理是基于数据的分布特征来确定数据的分类, 其运用了聚类思维,

通过计算数据之间的差异性, 将数据分成一组相对均匀的类别。研究在GIS中将生态风险值利用自然断点法分为5类, 将 $\text{EIR} < 0.07$ 划为较低风险, $0.07 \leq \text{EIR} < 0.10$ 划为较低风险, $0.10 \leq \text{EIR} < 0.13$ 划为中风险, $0.13 \leq \text{EIR} < 0.17$ 划为较高风险, $\text{EIR} \geq 0.17$ 划为高风险, 最终制取5期景观生态风险分布图(图3)。

近40年间, 景观生态风险变化较大, 从景观风险等级分布统计(图4)可知, 1984年到1993年风险等级差异主要是较高风险区增多, 而后期低值风险区面积增加, 高值风险区面积减少。2003年高风险面积最小, 其后每期均小幅度增加。2013年低风险区面积最大, 到2023年, 低风险面积大幅减少, 但其余等级均提高。从各景观风险等级统计(图5)可知, 水体主要以低风险为主, 其得益于太湖区位优势。林地分布于除高风险以外的等级。草地、耕地以较低、中、较高风险为主。建设用地早期以偏高值为主, 在发展过程中转向偏低值为主, 在2013-2023年过程中, 建设用地低风险大幅减少, 但比中风险增多的幅度小。

经GIS空间统计分析, 1984-2023年各研究期的平均风险值分别为0.0991、0.1073、0.0914、0.0832、0.0915, 呈“提升—下降—回升”趋势。在早期缺乏城市规划导致无序的景观格局, 新区成立后, 规划引导和环境保护政策改善了生态环境。随着建设用地扩张和未利用地转化, 较明显降低了区域生态风险, 但后期扩张导致明显景观优势度提升和破碎化又增加了生态风险。

利用GIS栅格计算器叠加5期风险图, 将连续处于较高风险或高风险区提取出来, 识别出研究期间一直处于高值风险的区域, 共18处, 其分布位置如图6所示, 主要位于京杭大运河周边临水系区、大阳山以西的水系边、

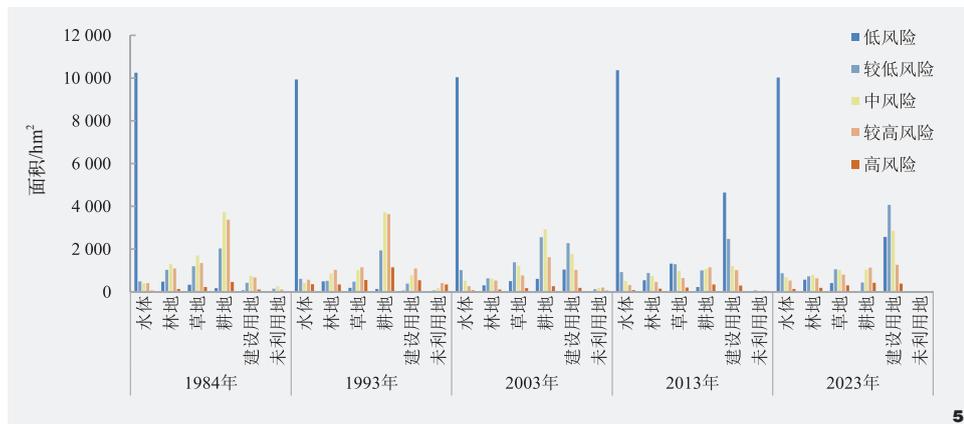
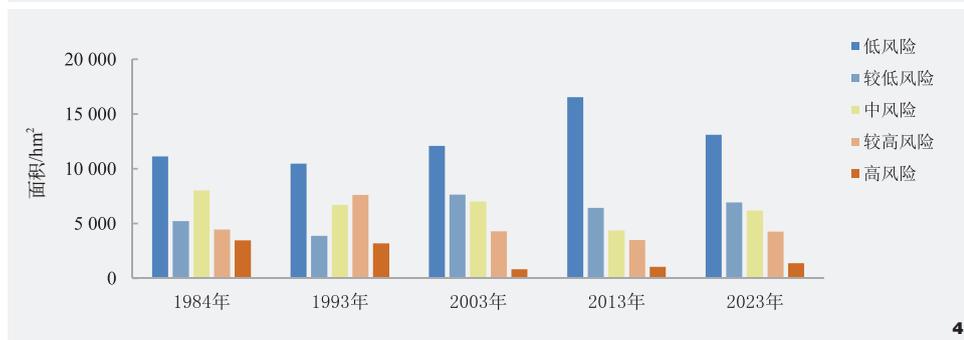
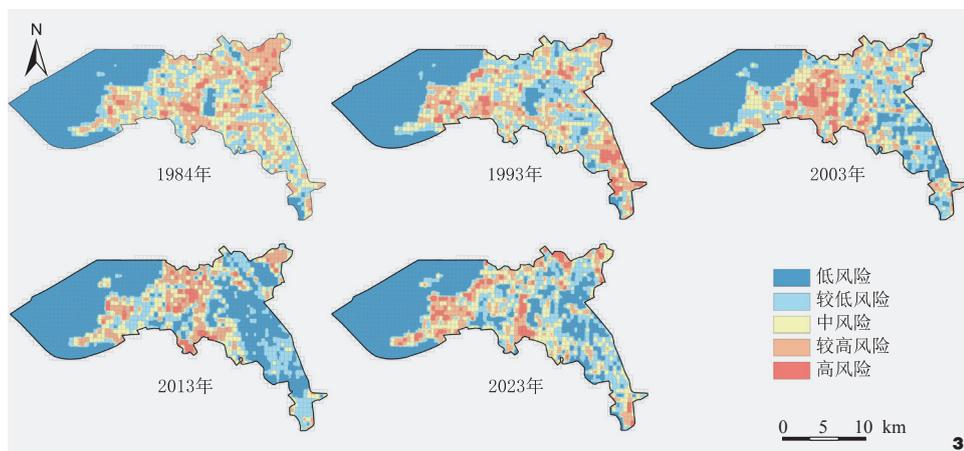


图3 1984—2023年景观生态风险分布图

Fig. 3 Distribution map of landscape ecological risk from 1984 to 2023

图5 1984—2023年各景观风险等级统计

Fig. 5 Statistics of risk levels for each landscape from 1984 to 2023

图4 1984—2023年景观风险等级分布统计

Fig. 4 Statistics of landscape risk grade distribution from 1984 to 2023

镇湖周边以及中南部边界周边林草交错地区。

3.2.2 风险聚类分析

通过全局自相关分析，1984—2023年各期的风险全局自相关Moran's I系数分别为0.7232、

0.6028、0.6381、0.6518、0.6939，均大于0，表明研究区生态风险空间分布存在较强空间正相关关系。从聚类分析(图7)可知，风险分布主要以高一高聚类和低一低聚类为主，其余聚集类型面积较小且呈零散分布。低一

低聚类主要分布在太湖水域内，而2013年低一低聚类则主要分布在中东部城市建成区内。2023年建成区低一低聚类消失，主要由于后期城市化水平较高，建设用地扩张严重，挤压城市生态空间，城市中生态空间更为细碎分裂，生态空间孤立，生态系统连通性降低，增大了建成区景观生态风险。高一高聚类经历了由分散到集中再到分散的过程，在GIS中通过叠图聚类分析图、土地利用图、景观生态风险图综合分析得出：

(1) 1984年高一高风险聚类区主要分布在镇湖、东渚、大阳山以西、浒墅关区域，高一高聚类区域内景观类型较多且无序分布，意味着自然生态系统碎片化，影响生态系统的健康和稳定。

(2) 在1993年高一高聚类中，镇湖、东渚高风险扩大，该区域内水域面积扩大且较破碎，生态敏感性提高；大阳山、浒墅关高风险缩小，风险降低区内耕地增多，耕地连通性提高，且区域景观破碎度降低，使得风险降低；横塘新增高风险，其处于局部城市化发展初期，土地利用变化大且建设开发区周边含有较多未利用地，使得景观较为脆弱和破碎。这时期的高一高聚类主要与未利用地和水域分布有极大关系，两者用地景观脆弱度较高，分布较破碎，对生态风险影响明显。

(3) 2003年高一高聚类主要表现为东渚与大阳山连片，主要原因涉及开山采石导致裸地增多且产生较多不连贯积水坑塘，此外区域内村民建设用地杂乱增加，景观破碎化加剧，风险提高；镇湖、浒墅关、横塘区高风险消失，其中镇湖区对水域进行调整从而提高水面连通性，浒墅关区因耕地转入多而连通性得以提高，横塘区主要是城市化中建设用地大面积扩张，使得用地稳定性提高，

整体景观破碎化降低, 因此区域风险降低。该时期景观破碎度与景观分离指数影响大, 使得生态系统存在较弱的连贯性与稳定性。

(4) 2013年高一高聚类显现为镇湖产生新高风险, 其内部建设用地开始扩张, 景观破碎化加剧; 原中部风险区缩小, 该地区城市化推进, 规划管控下建设用地集约发展, 同时因注重恢复生态用地加强了生态功能; 浒墅关再次出现高风险, 区域水域面积增多, 生态敏感性提高, 风险增高。

(5) 2023年高一高聚类主要分布在镇湖及太湖沿岸、大阳山西侧, 横塘新增高风险区。镇湖风险扩增与其建设用地扩张、景观破碎化加剧有关, 而城市集约发展使得大阳山以西高风险区缩小, 现存大阳山以西高风险和太湖沿岸新高值区主要与耕地有较大关系, 区域内耕地的大面积集中分布与单一化, 导致其景观优势度较大, 其景观多样性较弱, 风险值提高。横塘新增风险区内城市化加剧, 引起风险变化较大。

4 建议

通过多时空景观格局与景观生态风险研究了解苏州高新区自然资源本底和生态环境变化过程, 基于研究结果提出以下几点建议, 以期推动苏州高新区可持续发展。

(1) 城市扩张与城镇开发边界控制。研究区经过快速发展, 现陆域范围内建设用地面临城市增长空间受限问题, 在后续发展中, 要严格控制城镇开发边界, 强化建设用地空间管制, 对现有建设空间进行再开发, 提高土地利用效率, 优化用地。

(2) 山水要素保护与发展。苏州高新区山水资源突出, 在发展中, 一方面需要实行水资源综合管理计划, 确保水资源可持续利用与保护, 另一方面对受损山林资源进行

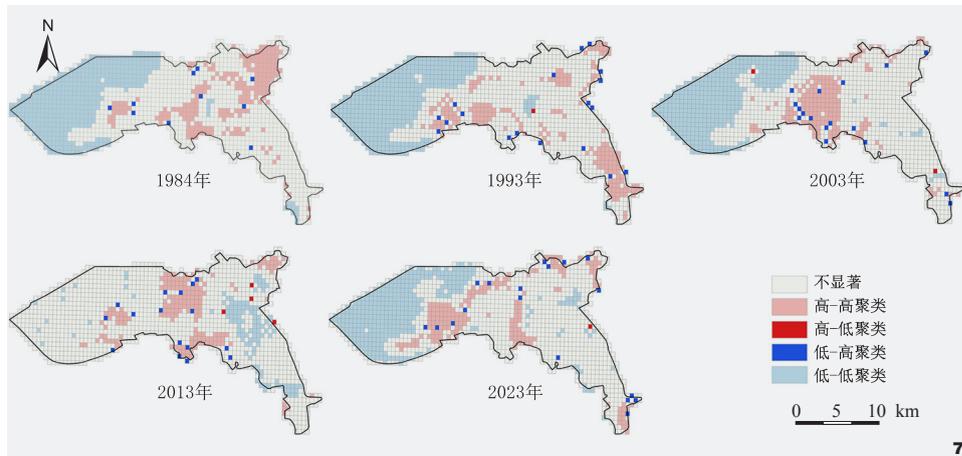
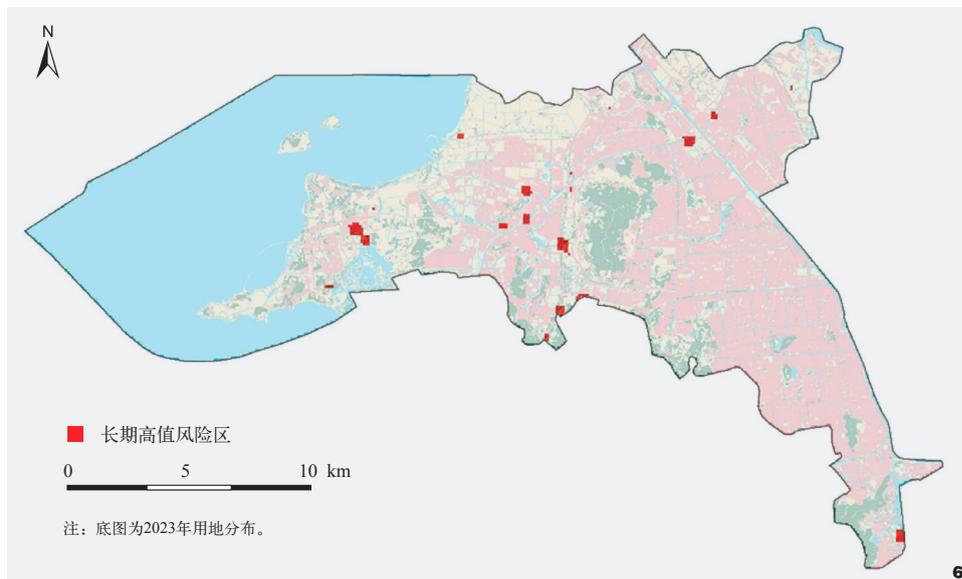


图6 长期高值景观生态风险区分布图
Fig. 6 Distribution map of long-term high-value landscape ecological risk areas

图7 1984-2023年风险局部自相关聚类图
Fig. 7 Cluster plot of risk local autocorrelation from 1984 to 2023

生态修复, 恢复植被。此外, 应制定和实施景观保护政策, 保护山水格局和山体视线通廊, 并加强合理利用山水资源促进生态旅游, 提高当地经济发展。

(3) 城市生态修复与利用。连续处于高值风险的区域往往意味着生态较薄弱且潜在退化风险大, 在进行生态修复时需要重视该区域的修复与保护, 应对其进行现场调查评估, 合理规划利用。针对城市建设用地挤压

生态用地的问题, 加强构建城市绿色基础设施网络, 增加公园、绿地等生态空间, 建设生态廊道连接城市中的生态斑块, 增强生物多样性。另外, 积极推广绿色屋顶和墙体绿化, 增加城市绿色面积。

(4) 高标准农田与生物多样性。在农田边缘保留自然植被, 形成生物多样性走廊, 采用镶嵌式景观设计将农田与湿地、林地、草地等不同生态系统斑块相组合, 在农田中

引入多样化的作物种植，增加农田内部的生物多样性，提高生态稳定性。

5 结论

利用GIS和Fragstats软件，以苏州高新区1984年、1993年、2003年、2013年、2023年5期土地利用数据为基础进行区域景观格局演变特征分析，并且采用50 m×50 m研究格网，进行区域景观生态风险评估。研究表明：

近40年间苏州高新区景观格局发生显著变化，随着城市化进程快速推进，大面积耕地转为建设用地，建设用地自东南向西北、从伴山到临湖蔓延扩张。而在发展过程中，水域面积相对稳定，保持了其原有水网格局；林地早期发展阶段遭受一定的破坏，2002年以后注重护山造林，林地面积稳中有升，逐渐形成城市包围山体的现代化城市格局。

景观格局的变化影响着区域景观生态风险，研究识别出长期处于高值风险生态薄弱区18处。研究区平均风险值呈现“提升—下降—回升”趋势，不同时期景观格局的异质性导致了景观风险分布和高值区主要影响因素的变化。自发城镇化发展阶段，景观分布无序和自然生态系统碎片化使得区域生态风险较高，此阶段景观脆弱度是高值区主要影响因素，尤其表现为水体的较高脆弱性和生态敏感性，使得陆域范围内湿地地区容易产生较高的景观生态风险；快速城市化发展阶段，城市化的初始发展方向与高风险增长区高度吻合，较大影响高值区因素为景观破碎度，但随着城市化的推进，在规划管控下，建设用地的集约发展有效降低了生态风险；区域优化及高质量发展阶段，景观优势度则较明显影响区域景观生态风险，耕地和建设用地景观优势度较大导致耕地集中区与较高城市化地区的景观生态风险较突出，过高的景

观优势度削弱景观多样性且严重挤压生态空间，导致生态空间越发孤立。

基于对区域的本底研究和生态过程了解，提出发展建议的核心在于平衡城市扩张与生态保护。通过严格控制城镇开发边界和强化建设用地空间管制，实施水资源综合管理计划，进行生态修复，保护山水格局，同时利用山水资源促进生态旅游，加强城市绿色基础设施网络，增加公园和绿地，构建生态廊道，促进生物多样性，实现农业与生态的和谐共生，以实现城市的有序扩张和可持续发展。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 翟端强, 卓健, 徐奔. 市县国土空间生态风险评估方法优化研究[J]. 规划师, 2023, 39(02): 53-60.
- [2] 卓健, 翟端强, 毛衍云. 闽三角城市群景观生态风险时空演变分析[J]. 风景园林, 2024, 31(09): 111-119.
- [3] 彭建, 党威雄, 刘焱序, 等. 景观生态风险评估研究进展与展望[J]. 地理学报, 2015, 70(04): 664-677.
- [4] XU W X, WANG J M, ZHANG M, et al. Construction of Landscape Ecological Network Based on Landscape Ecological Risk Assessment in a Large-scale Opencast Coal Mine Area[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 286: 125523.
- [5] JI Y X, BAI Z K, HUI J W. Landscape Ecological Risk Assessment Based on LUCC: A Case Study of Chaoyang County, China[J]. Forests, 2021(12): 1157.
- [6] 吕乐婷, 张杰, 孙才志, 等. 基于土地利用变化的细河流域景观生态风险评估[J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5952-5960.
- [7] 王舒, 刘凤莲. 滇中高原湖泊流域景观生态风险时空演变[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2024, 44(5): 1-11.
- [8] 翟培秀, 李飞雪, 邱小倩, 等. 长三角地区景观生态风险时空演变评估[J]. 水土保持研究, 2023, 30(04): 245-255.
- [9] 章敏霞. 苏州高新区城市生态空间冲突分析与景观协调策略研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2023: 25-26.
- [10] 陈丁楷, 石龙宇. 基于土地利用变化的雄安新区景观生态风险评估与预测[J]. 生态经济, 2021, 37(11): 224-229.

- [11] 汲旭生, 卢文字, 丁杨. 基于RS与GIS的南京市土地利用及景观格局变化分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(S1): 51-55.
- [12] 邓楚雄, 刘睿娜, 聂小东, 等. 土地利用变化影响下湘西自治州景观格局的时空演变[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2020, 43(03): 383-392.
- [13] 蒋德平, 季翔, 王东. 盐城市景观格局演变特征及驱动因素研究[J]. 西北林学院学报, 2023, 38(06): 243-251.
- [14] 曹祺文, 张曦文, 马洪坤, 等. 景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架: ESRISK[J]. 地理学报, 2018, 73(05): 843-855.
- [15] 高星, 宋昭颖, 李晨曦, 等. 基于景观生态风险评估的白洋淀流域景观格局优化研究[J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(02): 174-183.
- [16] 左妍, 周勇, 李晴, 等. 基于最优尺度的鄂西南山区景观生态风险时空变化特征[J]. 生态学杂志, 2023, 42(05): 1186-1196.
- [17] 丁金华, 汪大庆. “三生”空间视角下苏南水网乡村景观生态风险评估——以石头潭片区为例[J]. 西北林学院学报, 2024, 39(02): 1-9.
- [18] 李志英, 李媛媛, 薛梦柯, 等. 昆明市景观格局变化及其生态环境效应研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2023, 43(04): 152-163.
- [19] 贾语非, 王秀荣. 贵阳市花溪区2008-2018年景观生态风险时空动态[J]. 山地学报, 2023, 41(02): 180-191.
- [20] 谢小平, 陈芝聪, 王芳, 等. 基于景观格局的太湖流域生态风险评估[J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3369-3377.
- [21] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5020-5026.
- [22] 陈心怡, 谢跟踪, 张金萍. 海口市海岸带近30年土地利用变化的景观生态风险评估[J]. 生态学报, 2021, 41(03): 975-986.
- [23] 汪勇政, 梁哲, 余浩然, 等. 基于PLUS模型的汾河流域景观生态风险时空分异及多情景模拟[J]. 生态科学, 2024, 43(01): 35-45.
- [24] 孙天弘, 雷平. 国内土地利用生态风险研究进展[J]. 资源与产业, 2019, 21(01): 95-104.
- [25] 仲思敏, 沈飞, 尚正永. 苏州现代城市总体规划的演进特征与机制研究[J]. 城市建筑, 2023, 20(13): 86-93.
- [26] 宋敏, 游涛. 生态文明与城乡一体化视角下的城镇空间构想——以苏州高新区为例[C]// 城市时代, 协同规划——2013中国城市规划年会论文集 12-小城镇与城乡统筹. 青岛: 青岛出版社, 2013: 1234-1244.