

“三生”空间视角下苏南水网乡村景观生态风险评价

——以石头潭片区为例

丁金华,汪大庆

(苏州科技大学 建筑与城市规划学院,江苏 苏州 215001)

摘要:苏南水网乡村是新型城镇化建设的先行区,然而快速经济建设对“三生”空间景观格局造成较大干扰,引发的景观生态风险变化值得关注。研究以苏州市石头潭片区为例,选取1990、2000、2010、2020年4期土地利用数据,基于景观格局指数构建景观生态风险评价模型,定量分析研究区“三生”空间景观生态风险时空分异特征。结果表明,1)1990—2020年石头潭片区“三生”空间面积变化显著。生态空间面积稳步增加;农业生产空间面积逐年缩减;工业生产空间、城镇生活空间与农村生活空间扩张显著。“三生”空间类型转移以农业生产空间转向城镇生活空间与工业生产空间为主。2)研究区“三生”空间与景观生态风险存在关联性,高风险区主要分布于澄湖等水域生态空间,中风险区主要为沿湖分布的农业生产空间与农村生活空间,低风险区多为成片聚集分布的城镇生活空间与工业生产空间。1990—2020年石头潭片区景观生态风险等级不断上升,较高、高风险区面积逐步扩张,面积占比分别上升14.43%、7.50%。3)石头潭片区景观生态风险存在显著空间正相关性;生态风险指数空间分布以高-高与低-低聚集为主,空间分异特征明显。

关键词:“三生”空间;景观生态风险;土地利用变化;水网乡村

中图分类号:X826

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2024)02-0265-09

Ecological Risk Assessment of Rural Landscape of Southern Jiangsu Water Net from the Perspective of "Ecology-Production-Living" Space——A Case Study of Stone Pool Area

DING Jin-hua, WANG Da-qing

(School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215001, Jiangsu, China)

Abstract: The villages in Southern Jiangsu water net are the pioneer areas of new urbanization construction, but the rapid economic construction has caused great interference to the landscape pattern of "ecology-production-living" space (EPLS), and the changes in landscape ecological risks caused by them are worthy of attention. Taking Stone Pool area of Suzhou as an example, four-period land use data (1990, 2000, 2010 and 2020) were selected to construct a landscape ecological risk evaluation model based on the landscape pattern index, and the spatial and temporal differentiation characteristics of landscape ecological risk in EPLS in the study area were quantitatively analyzed. The results showed that 1) significant changes occurred in the spatial area of EPLS in Stone Pool area from 1990 to 2020. The area of ecological space increased steadily, the area of agricultural production space decreased year by year, and the industrial production space, urban living space and rural living space expanded significantly. The transfer types of EPLS mainly occurred from agricultural production space to urban living space and industrial production space. 2) There was a correlation between the EPLS and the landscape ecological risk in the study area, the high-risk area was

收稿日期:2022-12-27 修回日期:2023-04-13

基金项目:国家自然科学基金(41301191);江苏省高校品牌专业建设工程二期项目(风景园林);“十四五”江苏省重点学科(风景园林学)。

第一作者:丁金华,教授,硕士生导师。研究方向:城乡环境生态规划与设计。E-mail: yzdingjh@163.com

mainly distributed in the ecological space of Chenghu Lake and other waters, the medium-risk area was mainly the agricultural production space and rural living space distributed around the lake, and the low-risk area was mostly urban living space and industrial production space distributed in clusters. From 1990 to 2020, the ecological risk level of landscape in Stone Pool area continued to rise, and the area of higher and high-risk areas gradually expanded, accounting for 14.43% and 7.50%, respectively. 3) There was a significant spatial positive correlation in the landscape ecological risk in Stone Pool area; the spatial distribution of ecological risk index was mainly in high-high and low-low aggregation, and the spatial differentiation characteristics were obvious.

Key words: "ecology-production-living" space; landscape ecological risk; land use change; water net village

城镇化快速发展背景下,城乡建设用地不断扩张,引发景观格局破碎化、生态系统稳定性下降等问题,社会经济发展与生态环境保护的矛盾日益突出。“三生”空间是按照土地利用主导功能对国土空间进行分区,是具备生产、生活、生态功能空间的总称^[1],以其作为评价单元进行研究对国土空间资源的合理配置具有指导意义。景观生态风险评价用于评估自然或人为因素干扰下对生态系统功能及结构产生的不利影响^[2],可定量揭示生态环境风险压力的时空分布与演变特征^[3]。在生态文明背景下进行“三生”空间景观生态风险评价,可促进“三生”空间合理配置,为国土空间资源高效利用提供科学依据。

国内外学者围绕“三生”空间进行了较多探索,研究主要集中于“三生”空间的识别与分类^[4-6]、土地利用转型^[7-8]、时空格局演变^[9-10]等领域。关于景观生态风险评价的相关研究日趋成熟,评价方法主要基于景观格局与生态过程耦合,运用景观格局指数构建风险评价模型,定量分析景观生态风险的时空分异特征,现有研究主要基于土地利用类型集中于流域^[11-12]、城市^[13-14]等宏观尺度,以“三生”空间为视角,探析具有一定地域特征的乡村景观生态风险时空演变特征的研究相对较少。

苏南水网乡村湖荡纵横交错,具有独特的水乡肌理,呈现出一定的地域复杂性与特殊性。本研究基于“三生”空间视角,运用景观格局指数构建景观生态风险评价模型,定量分析水网乡村“三生”空间景观生态风险时空分异特征,以期“三生”空间的布局优化提供理论支撑,促进水网乡村“三生”空间持续健康发展。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

石头潭片区位于苏州市东南部,包括张浦镇、千灯镇、淀山湖镇等镇域范围,片区总面积约 1 660 km²(图 1),城镇化水平较高,具有较高的地方社会经济发展战略地位。研究区地势平坦,气候温和,雨

量充沛,年平均降水 1 591.4 mm;区域内河网交织,包括澄湖、石头潭、同里湖等主要水域,具有典型的苏南水网特征。

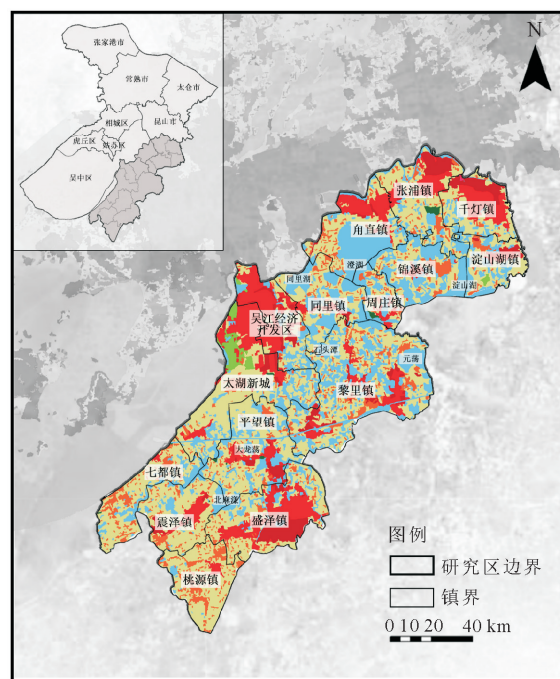


图 1 研究区区位

Fig. 1 Bitmap of the study area

1.2 数据来源与处理

研究依据地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)1990、2000、2010、2020 年 4 期 Landsat TM/ETM 遥感影像,利用 ENVI 5.3 软件经过辐射定标、大气校正、图像融合等预处理,参考《全国遥感监测土地利用/覆盖分类体系》^[15-16],将研究区土地利用类型划分为耕地、水域、林地、草地、建设用地 5 类。研究基于土地利用多功能原则^[17],结合相关研究成果与研究区土地利用类型特征^[5,18],将“三生”空间与土地利用类型合理衔接,构建土地利用主导功能下的“三生”空间分类体系(表 1)。

2 研究方法

2.1 景观生态风险评价模型

2.1.1 风险小区划分 研究基于网格采样法,运用

ArcGIS 10.6 软件的渔网工具,选取 $1.5\text{ km} \times 1.5\text{ km}$ 的网格对研究区进行等距采样,共划分景观生态风险小区 831 个。运用 Fragstats 4.2 软件计算每个风险小区的景观生态风险指数,得到网格中心点的生态风险水平,以此作为景观生态风险评价空间插值的分析样本。

表 1 石头潭片区“三生”空间分类体系与土地利用类型衔接

Table 1 Connection between "ecology-production-living" space classification system and land use type in Stone Pool area

“三生”空间分类		土地利用类型分类	
一级空间	二级空间	一级分类	二级分类
生态空间	林地生态空间	林地	有林地、灌木林、其他林地
	草地生态空间	草地	高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地
	水域生态空间	水域	河渠、湖泊、水库和坑塘、滩涂、滩地
生产空间	农业生产空间	耕地	水田、旱地
	工业生产空间	建设用地	其他建设用地
生活空间	城镇生活空间	建设用地	建设用地
	农村生活空间	建设用地	农村居民点

2.1.2 景观生态风险评价模型 景观格局指数是用于表现景观结构组成与空间配置特征的定量指标^[19];从空间格局角度借助景观格局指数建立风险评价模型,可定量反映景观格局与生态风险的相关性^[20-21]。结合相关研究成果^[11-12,22],研究选取景观干扰度指数(U_i)、景观脆弱度指数(F_i)与景观损失度指数(R_i)作为风险评价指标,以此构建景观生态风险评价模型,揭示水网乡村“三生”空间生态风险的时空分异特征。景观生态风险评价公式为

$$E_{RI} = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} \times R_i \quad (1)$$

式中: E_{RI} 为景观生态风险值; A_{ki} 为第 k 个生态风险小区中第 i 类景观的面积; A_k 为第 k 个生态风险小区的总面积; R_i 为 i 类景观的损失度指数,具体指数与公式见表 2。

2.2 空间自相关分析

空间自相关用于描述某空间变量在特定位置的属性值是否与相邻空间的变量属性值存在显著相关性,包括全局空间自相关与局部空间自相关。本研究借助 GeoDa 软件,选取全局 Moran's I 指数反映景观生态风险值在整个研究区内的空间相关性,Moran's I 指数值域范围 $[-1,1]$,负值表明存在空间负相关,空间单元景观生态风险值分布趋于离散,正值表明存在空间正相关,空间单元景观生态风险值分布趋于聚集,零值表示不存在空间自相关^[24-25]。通过 LISA 聚集图反映景观生态风险值在局部地区是否存在明显高-高与低-低聚集情况^[26]。

3 结果与分析

3.1 石头潭片区“三生”空间面积变化及类型转移

3.1.1 “三生”空间面积变化 1990—2020 年石头潭片区“三生”空间格局变化明显(图 2)。从“三生”空间类型面积增减变化(表 3)来看:1)生态空间面积总体呈上升态势。其中水域生态空间面积先升后降,但 30 a 水域整体面积呈增加趋势,占比提升 2.53%。林地面积呈先增后减的波动态势,草地面积则持续上升,二者面积变化幅度较小。2)生产空间面积变化显著。其中农业生产空间不断缩减,30 a 占比下降 23.71%;在城镇经济快速发展背景下,工业生产空间面积逐年增加,占比提升 4.98%。3)生活空间扩张最为明显。其中城镇生活空间扩张较显著,面积共增加 194.29 km^2 ,占比由 2.48%增至 14.18%;农村生活空间小幅增加,占比上升 3.4%。总体而言,石头潭片区“三生”空间面积随时序变化较为显著,以工业生产空间、城镇生活空间的增长与农业生产空间的缩减最为突出。

3.1.2 “三生”空间类型转移 1990—2020 年研究区“三生”空间类型转移存在阶段性差异(表 4):1)1990—2000 年农业生产空间净转出量最大,达 122.58 km^2 ,主要向农村生活空间、水域生态空间转出;其中农业生产空间转向农村生活空间面积达 55.95 km^2 ,占农业生产空间变化量的 45.64%,反映出耕地被建设用地占用现象普遍。2)2000—2010 年随着城镇化建设不断推进,城镇生活空间对农业生产空间的占用现象较突出,农业生产空间向城镇生活空间转出面积达 99.87 km^2 ;在“退耕还湖”政策影响下,水域生态空间面积有所增加,由农业生产空间转入面积达 105.63 km^2 。3)2010—2020 年城镇生活空间对农业生产空间的占用幅度较上一时段有所下降,农业生产空间转向城镇生活空间面积为 27.56 km^2 。总体来看,1990—2020 年在城镇经济快速发展背景下,农村生活空间、城镇生活空间等建设用地扩张明显,且多由以耕地为主的农业生产空间转入,反映出经济发展下建设用地对耕地的侵占现象较普遍,农业生产空间保护面临较大压力。

3.2 石头潭片区“三生”空间景观生态风险评价

3.2.1 “三生”空间景观格局指数时序变化 1990—2020 年石头潭片区“三生”空间景观格局发生较明显变化(表 5):1)生态空间:水域生态空间受人工建设活动干扰程度逐渐上升,损失度指数逐年递增,生态稳定性有所下降。林地与草地生态空间面积较小,分离度指数高,表明其空间分布较离散,破碎化程度较高。2)生产空间:受城镇化发展过程中建设

用地扩张影响,农业生产空间破碎度指数显著增大,景观结构稳定性下降;工业生产空间集聚程度不断提升。3)生活空间:城镇生活空间破碎度与分离度

指数持续下降,表明在发展过程中斑块空间分布趋于完整,系统内部稳定性有所上升;农村生活空间破碎化程度高,景观结构不稳定。

表 2 景观生态风险评价模型计算方法

Table 2 Calculation method of landscape ecological risk assessment model

景观格局指数	计算公式	参数解释	生态涵义
景观干扰度指数 $U_i = cC_i + dN_i + eD_i$ c, d, e 分别为 C_i, N_i, D_i 的权重,且 $a+b+c=1$,参考相关研究成果 ^[22-23] ,对其分别赋值为 0.5、0.3、0.2			
景观破碎度指数	$C_i = \frac{n_i}{A_i}$	n_i 为景观类型 i 的斑块数, A_i 为景观类型 i 的总面积	描述景观被分割的破碎化程度,值越大表示景观结构稳定性越低
景观分离度指数	$N_i = \frac{l_i}{P_i}$ $l_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_i}{A}}$ $P_i = \frac{A_i}{A}$	N_i 为景观分离度指数, l_i 为景观 i 的距离指数, P_i 为景观 i 的面积指数, A 为景观总面积	描述不同斑块在空间上的分离程度,值越大表示景观越扩散,景观破碎化越严重
景观优势度指数	$D_i = \frac{Q_i + M_i + L_i}{4} + \frac{L_i}{2}$	Q_i 为斑块 i 出现的样方数/样方总数, M_i 为斑块 i 的数目/斑块总数, L_i 为斑块 i 面积/样方总面积	描述景观中占优势地位的斑块类型,值越大表示斑块对景观的影响程度越大
景观脆弱度指数 $F_i = L_{SI} \times (1 - L_{AI})$			
景观敏感度指数	$L_{SI} = U_i \times V_i$	U_i 为景观干扰度指数; V_i 为景观易损度指数,参考前人研究 ^[11,19] 划分权重,城镇与农村生活空间 1,工业生产空间 1,林地生态空间 2,草地生态空间 3,农业生产空间 4,水域生态空间 5	描述景观受干扰后的敏感程度,值越大表示该景观类型越敏感
景观适应度指	$L_{AI} = P_{RD} \times S_{HDI} \times S_{HEI}$	P_{RD} 为斑块丰富密度指数, S_{HDI} 为香农多样性指数, S_{HEI} 为香农均匀度指数	描述景观类型的适应能力,值越大表示耐受能力越强
景观损失度指数	$R_i = \sqrt{U_i \times F_i}$	通过景观干扰度 U_i 与景观脆弱度 F_i 综合反映	描述景观类型受干扰时其自然属性损失的程度,值越大表示景观受损程度越高

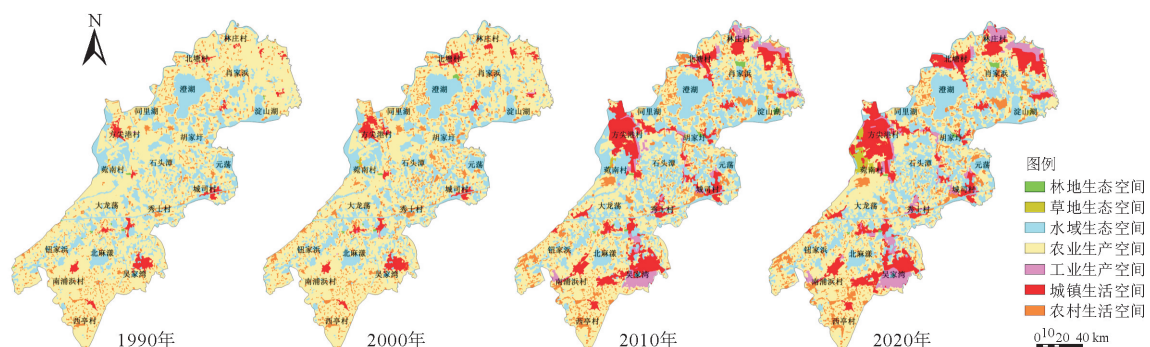


图 2 1990—2020 年石头潭片区“三生”空间分布格局

Fig. 2 Distribution pattern of "ecology-production-living" space in Stone Pool area from 1990 to 2020

3.2.2 “三生”空间景观生态风险时空分异特征

根据景观生态风险指数计算结果,结合研究区实际情况将景观生态风险指数划分为 5 个等级:低生态风险($ERI \leq 0.1340$)、较低生态风险($0.1340 < ERI \leq 0.1679$)、中生态风险($0.1679 < ERI \leq$

0.1766)、较高生态风险($0.1766 < ERI \leq 0.1904$)、高生态风险($ERI > 0.1904$),得到研究区 1990—2020 年景观生态风险空间分布图(图 3),并统计得到各景观生态风险等级面积变化(表 6)。

表 3 1990—2020 年石头潭片区“三生”空间面积变化

Table 3 Area change of "ecology-production-living" space in Stone Pool area from 1990 to 2020

“三生”空间分类	1990 年		2000 年		2010 年		2020 年		1990—2020 年 变化面积/km ²
	面积/km ²	比例(%)	面积/km ²	比例(%)	面积/km ²	比例(%)	面积/km ²	比例(%)	
林地生态空间	1.97	0.12	3.00	0.18	6.45	0.39	4.74	0.29	2.77
草地生态空间	0.16	0.01	1.08	0.06	1.59	0.10	15.66	0.94	15.50
水域生态空间	380.22	22.90	403.76	24.32	474.71	28.59	422.20	25.43	41.98
农业生产空间	1 140.17	68.67	1 045.86	62.99	755.71	45.51	746.55	44.96	—393.62
工业生产空间	0.55	0.03	1.92	0.12	65.72	3.96	83.16	5.01	82.61
城镇生活空间	41.11	2.48	62.85	3.79	208.80	12.58	235.40	14.18	194.29
农村生活空间	96.16	5.79	141.87	8.54	147.36	8.87	152.63	9.19	56.47

表 4 1990—2020 年石头潭片区“三生”空间类型转移矩阵

Table 4 "Ecology-production-living" space type transfer matrix in Stone Pool area from 1990 to 2020

km²

时段	空间类型	林地生态空间	草地生态空间	水域生态空间	农业生产空间	工业生活空间	城镇生活空间	农村生活空间	转出小计
1990—2000 年	林地生态空间	—	0.00	0.12	0.13	0.00	0.02	0.02	0.29
	草地生态空间	0.00	—	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	水域生态空间	0.08	0.08	—	14.94	0.01	0.60	2.04	17.75
	农业生产空间	1.23	0.84	40.15	—	0.30	24.11	55.95	122.58
	工业生活空间	0.00	0.00	0.01	0.23	—	0.08	0.01	0.33
	城镇生活空间	0.00	0.00	0.33	1.38	1.39	—	0.06	3.16
	农村生活空间	0.01	0.01	0.68	11.57	0.00	0.09	—	12.36
	转入小计	1.32	0.93	41.29	28.26	1.70	24.90	58.08	156.48
2000—2010 年	林地生态空间	—	0.00	0.07	0.11	0.24	0.72	0.13	1.26
	草地生态空间	0.00	—	0.23	0.01	0.00	0.00	0.11	0.34
	水域生态空间	0.65	0.29	—	17.84	2.99	16.27	6.59	44.63
	农业生产空间	3.86	0.55	105.63	—	51.90	99.87	68.35	330.16
	工业生活空间	0.00	0.00	0.02	0.08	—	0.53	0.00	0.64
	城镇生活空间	0.01	0.00	0.69	1.68	2.23	—	0.23	4.84
	农村生活空间	0.19	0.02	8.96	20.27	7.07	33.40	—	69.91
	转入小计	4.71	0.85	115.60	39.99	64.43	150.79	75.40	451.78
2010—2020 年	林地生态空间	—	1.36	0.16	0.26	0.00	0.01	0.02	1.81
	草地生态空间	0.00	—	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.07
	水域生态空间	0.04	11.06	—	37.21	1.93	8.51	6.33	65.08
	农业生产空间	0.02	1.70	10.23	—	4.89	27.56	17.87	62.27
	工业生活空间	0.00	0.00	0.12	3.00	—	2.75	0.08	5.95
	城镇生活空间	0.02	0.00	0.96	3.01	15.41	—	0.14	19.54
	农村生活空间	0.01	0.02	1.08	9.62	1.17	7.28	—	19.18
	转入小计	0.09	14.14	12.55	53.13	23.39	46.14	24.45	173.89

注：“—”表示空间类型自身转移，故不统计。

1990—2020 年石头潭片区景观生态风险等级不断上升，且景观生态风险与“三生”空间存在一定关联，研究期间逐步呈现“中间高、四周低”的空间分布特征。较高、高风险面积呈显著递增态势，占比分别上升 14.43%、7.5%，主要分布于淀山湖、澄湖、石头潭等湖荡区域，多由水域生态空间构成，该区域景观空间脆弱程度高，易受经济建设等人为活动干扰，风险等级较高。中风险面积小幅扩张，面积占比增加 3.71%，区域内主要为胡家圩、钮家浜等沿湖荡分布的农业生产与农村生活空间，承担着水网乡村主要的生产、生活功能，面临的人为干扰较多。其

中农业生产空间脆弱度高，人为扰动下易受损；农村生活空间呈散点状分布，破碎度较高，风险等级多为中等。较低、低风险区面积明显缩减，占比分别下降 17.17%、8.47%，集中分布于林庄村、方尖港村、吴家湾等周边的工业生产空间、城镇生活空间，由于快速城镇化发展，工业生产与城镇生活用地扩张显著，斑块空间分布由零散状态向规模集约化演变，破碎度下降，系统内部稳定性提高，风险值相对较小。

3.3 石头潭片区“三生”空间景观生态风险空间相关性分析

3.3.1 全局自相关分析 石头潭片区 1990—2020

年景观生态风险全局自相关 Moran's *I* 指数依次为 0.192、0.224、0.431、0.446,指数均为正值且呈上升趋势,表明研究区景观生态风险存在显著正相关性,空间集聚程度不断上升,空间趋同性逐步增强。

表 5 1990—2020 年石头潭片区“三生”空间景观格局指数

Table 5 "Ecology-production-living" space landscape pattern index of Stone Pool area from 1990 to 2020

“三生”空间类型		年份	破碎度	分离度	优势度	干扰度	脆弱度	损失度
生态空间	林地生态空间	1990	0.147 0	1.000 0	0.014 1	0.376 3	0.033 2	0.111 8
		2000	0.070 0	1.000 0	0.012 9	0.337 6	0.037 4	0.112 4
		2010	0.038 4	1.000 0	0.015 7	0.322 3	0.039 3	0.112 6
		2020	0.054 9	1.000 0	0.014 7	0.330 4	0.038 7	0.113 1
	草地生态空间	1990	0.021 9	1.000 0	0.000 8	0.311 1	0.053 8	0.129 4
		2000	0.019 3	1.000 0	0.001 9	0.310 0	0.053 7	0.129 0
		2010	0.012 6	0.999 9	0.002 5	0.306 8	0.053 9	0.128 6
		2020	0.010 9	0.999 8	0.012 2	0.307 8	0.053 5	0.128 3
	水域生态空间	1990	0.010 8	0.998 3	0.350 6	0.375 0	0.110 1	0.203 2
		2000	0.010 8	0.997 7	0.352 5	0.375 2	0.110 1	0.203 3
		2010	0.007 9	0.995 6	0.371 1	0.376 9	0.110 8	0.204 3
		2020	0.008 9	0.997 6	0.365 4	0.376 8	0.112 6	0.206 0
生产空间	农业生产空间	1990	0.000 7	0.757 8	0.553 3	0.338 4	0.079 5	0.164 0
		2000	0.001 2	0.806 6	0.532 8	0.349 1	0.082 0	0.169 2
		2010	0.002 4	0.970 0	0.454 6	0.383 1	0.089 8	0.185 5
		2020	0.002 5	0.972 8	0.441 5	0.381 4	0.089 3	0.184 5
	工业生产空间	1990	0.153 3	0.999 9	0.006 4	0.377 9	0.023 1	0.093 4
		2000	0.088 3	0.999 8	0.001 2	0.344 3	0.020 3	0.083 6
		2010	0.019 4	0.999 8	0.073 5	0.324 3	0.028 7	0.096 5
		2020	0.018 0	0.999 7	0.106 5	0.330 2	0.029 3	0.098 4
生活空间	城镇生活空间	1990	0.020 7	0.999 9	0.044 9	0.319 3	0.018 5	0.076 9
		2000	0.019 6	0.999 9	0.056 2	0.321 0	0.018 5	0.077 1
		2010	0.016 4	0.998 4	0.194 7	0.346 7	0.020 3	0.083 9
		2020	0.015 3	0.998 0	0.236 3	0.354 3	0.021 0	0.086 3
	农村生活空间	1990	0.091 1	0.999 8	0.349 4	0.415 4	0.024 4	0.100 7
		2000	0.079 4	0.999 8	0.356 5	0.410 9	0.025 0	0.101 4
		2010	0.053 4	0.999 9	0.382 6	0.403 2	0.026 1	0.102 6
		2020	0.050 9	0.999 9	0.385 3	0.402 5	0.026 5	0.103 3

表 6 1990—2020 年石头潭片区“三生”空间景观生态风险等级面积变化

Table 6 Area change of landscape ecological risk level in Stone Pool area from 1990 to 2020

景观生态 风险等级	1990 年		2000 年		2010 年		2020 年		1990—2020 年 变化面积/km ²
	面积/km ²	比例(%)	面积/km ²	比例(%)	面积/km ²	比例(%)	面积/km ²	比例(%)	
低风险	566.75	34.13	556.70	33.53	269.15	16.21	281.65	16.96	—285.10
较低风险	675.18	40.67	543.52	32.74	703.62	42.38	534.57	32.20	—140.61
中风险	321.41	19.36	368.79	22.21	299.99	18.07	383.13	23.07	61.72
较高风险	80.07	4.82	155.03	9.34	319.83	19.26	319.55	19.25	239.48
高风险	16.93	1.02	36.30	2.18	67.75	4.08	141.44	8.52	124.51

3.3.2 局部自相关分析 1990—2020 年研究区景观生态风险指数空间分布以高-高与低-低聚集为主,呈现显著空间聚集特征;高-低与低-高聚集数量较少并呈零星散状分布(图 4)。结合空间类型分布来看,景观生态风险的高-高聚集区主要分布于澄湖、石头潭等水域生态空间,脆弱程度高,在经济建

设活动影响下损失度大,风险等级较高,相邻单元的风险值也较高。低-低聚集区成片分布于林庄村、方尖港村、吴家湾等城镇发展中心,该类地区以城镇生活空间与工业生产空间为主,破碎化程度低且抗干扰力强,内部稳定性高,风险等级较低。

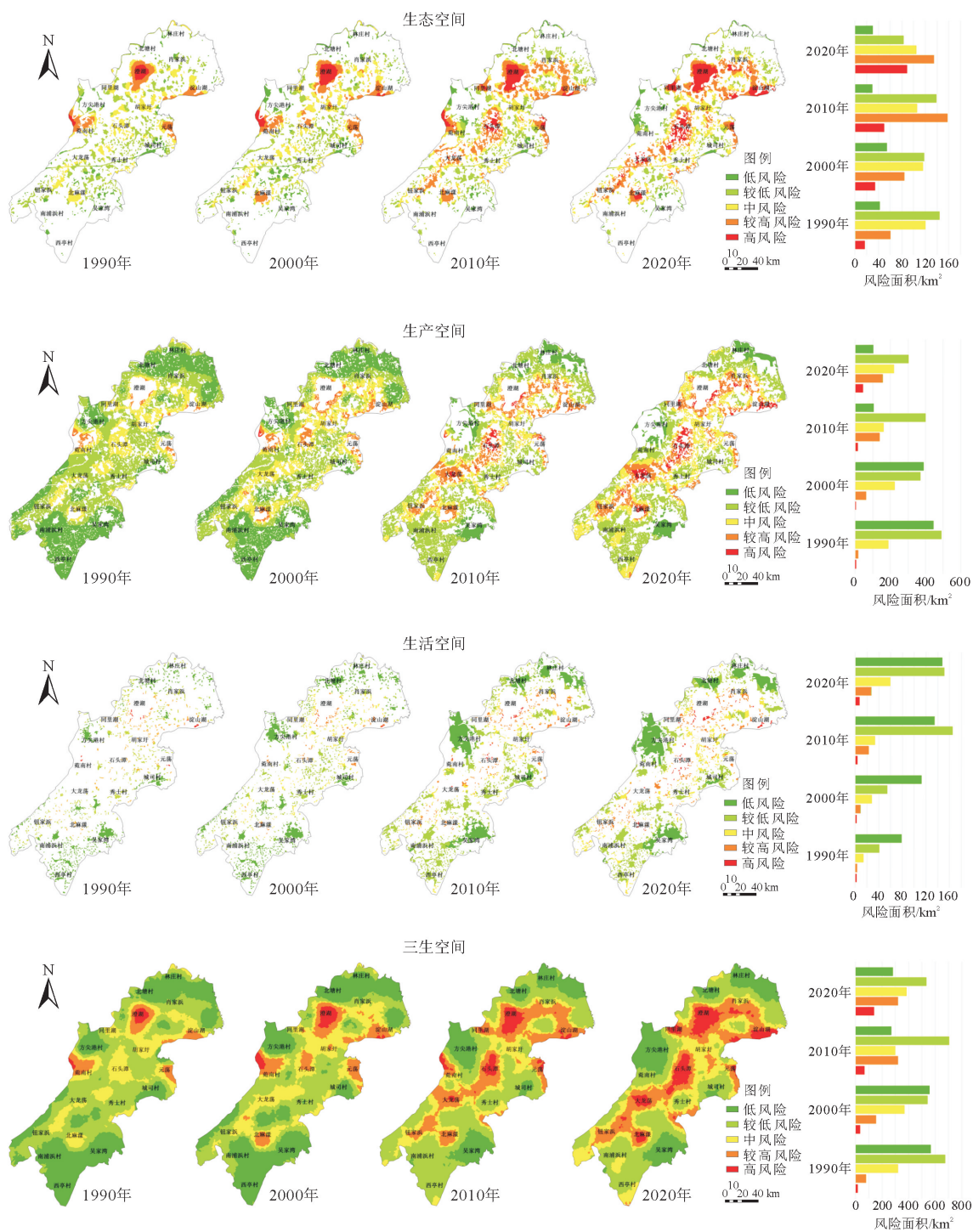


图3 1990—2020年石头潭片区“三生”空间景观生态风险等级空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of landscape ecological risk levels of "ecology-production-living" space in Stone Pool area from 1990 to 2020

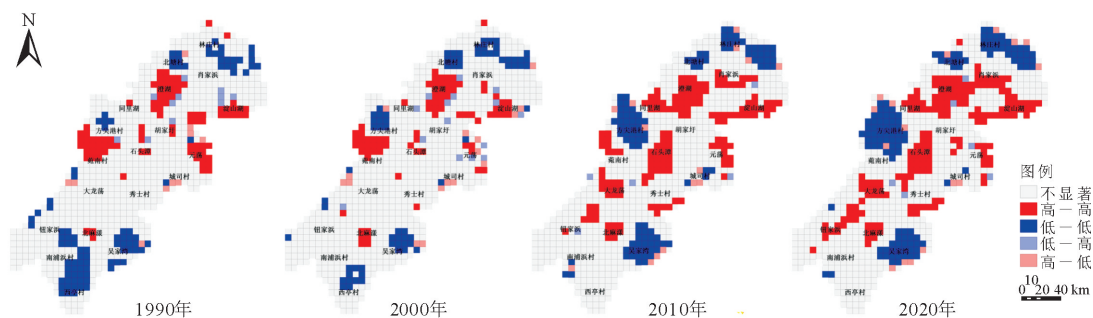


图4 1990—2020年石头潭片区景观生态风险局部空间自相关分布

Fig. 4 Local spatial autocorrelation distribution of landscape ecological risks in Stone Pool area from 1990 to 2020

4 讨论

随着城镇化快速发展,人类活动强度增加,苏南水网乡村“三生”空间景观格局变化显著,生态系统稳定性降低,导致整体景观生态风险有所增强。目前相关研究多集中于大尺度区域^[23-24,27]的景观生态风险评价,乡村作为城镇空间建设发展的重要组成部分,是经济、社会、自然的综合体,兼具生产、生活、生态等多重功能,对乡村“三生”空间格局演变及景观生态风险进行分析能为乡村生态保护与可持续发展提供科学依据。

针对石头潭片区景观生态风险空间分布特征,结合《苏州市生态文明建设规划 2015—2025》,根据区域实际情况提出风险管控策略。1)高、较高风险区主要以中部水域生态空间为主。遵循生态优先原则,对该区域进行严格生态保护,加强生态修复;划定生态红线,禁止城镇化开发建设,有效控制水域生境质量,降低区域生态风险。2)中等风险区主要分布于中部水域周边,多为农业生产空间与农村生活空间。应加大农业生产空间保护力度,严守耕地红线,减少城镇建设用地对耕地的占用,优化以耕地为主导的农业生产空间本底。加强对农村生活空间的集约开发,促进引导农村居民点集聚发展。3)较低、低风险区主要分布于研究区北部、西部与西南部,以城镇生活空间与工业生产空间为主。该区域以发展绿色经济为目标,在合理限度内开发利用,科学分区规划。综上,苏南水网乡村在经济发展同时,应加强对土地利用的合理规划,科学划定生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界 3 条控制线,有效促进经济建设与生态保护的协调发展;通过构建科学稳定的“三生”空间格局,实现水网乡村生态环境的可持续发展与国土空间资源的合理配置。

研究选用多时段遥感数据对石头潭片区景观生态风险进行定量分析,对苏南水网地区“三生”空间合理规划布局和风险管控具有一定理论参考价值。但区域景观生态风险评价的影响因素复杂,本研究仍存在一定局限性:1)本研究基于土地利用主导功能进行“三生”空间分类,分类体系还需细化,未来研究中应综合考虑“三生”用地的复合功能,进一步完善“三生”空间分类体系。2)研究侧重利用景观格局指数进行“三生”空间景观生态风险评价,今后还需加强经济、社会等因素对景观生态风险的影响作用研究,深入探讨影响景观生态风险的驱动机制。

5 结论

1990—2020 年石头潭片区“三生”空间面积变

化明显。生态空间面积总体呈上升趋势,占比增加 3.63%;农业生产空间持续缩减,占比下降 23.71%;工业生产空间与城镇生活空间扩张显著,占比分别上升 4.98%、11.7%;农村生活空间面积增幅较缓,占比上升 3.4%。“三生”空间类型转移频繁,农业生产空间是转出量最多的空间类型,主要转向城镇生活空间与水域生态空间;城镇生活空间则受其他空间转入量最多,规模显著扩大。

1990—2020 年石头潭片区景观生态风险总体呈上升趋势,逐步呈“中间高、四周低”的空间分布态势。景观生态风险与“三生”空间分布存在关联性,澄湖、大龙荡等水域生态空间受人为活动影响后损失度大,风险值较高。农业生产空间脆弱度高;农村生活空间分布离散,破碎化程度较大,二者多为中等风险。工业生产与城镇生活空间在 30 a 发展中斑块空间分布趋于集聚,稳定性较高,风险值较低。

1990—2020 年研究区景观生态风险空间正相关性不断增强,存在明显集聚效应;局部空间自相关以高-高与低-低聚集为主,表明景观生态风险值空间分异特征显著。

参考文献:

- [1] 黄金川,林浩曦,漆潇潇.面向国土空间优化的三生空间研究进展[J].地理科学进展,2017,36(3):378-391.
HUANG J C, LIN H X, QI X X. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space[J]. Progress in Geography, 2017, 36(3): 378-391. (in Chinese)
- [2] WAYNE G. LANDIS. Twenty years before and hence; ecological risk assessment at multiple scales with multiple stressors and multiple endpoints[J]. Human and Ecological Risk Assessment: an International Journal, 2003, 9(5): 1317-1326.
- [3] 彭建,党威雄,刘焱序,等.景观生态风险评价研究进展与展望[J].地理学报,2015,70(4):664-677.
PENG J, DANG W X, LIU Y X, et al. Review on landscape ecological risk assessment[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(4): 664-677. (in Chinese)
- [4] DUAN Y M, WANG H, HUANG A, et al. Identification and spatial-temporal evolution of rural “production-living-ecological” space from the perspective of villagers’ behavior—a case study of Ertai town, Zhangjiakou City[J]. Land Use Policy, 2021, 106: 105457.
- [5] 刘继来,刘彦随,李裕瑞.中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
LIU J L, LIU Y S, LI Y R. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(7): 1290-1304. (in Chinese)
- [6] BAI R, SHI Y, PAN Y. Land-use classifying and identification of the production-living-ecological space of island villages——a

- case study of islands in the western sea area of Guangdong Province[J]. *Land*, 2022, 11(5): 705.
- [7] YANG Y Y, BAO W K, LI Y H, *et al.* Land use transition and its eco-environmental effects in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration: a production-living-ecological perspective[J]. *Land*, 2020, 9(9): 285.
- [8] 韩美, 孔祥伦, 李云龙, 等. 黄河三角洲“三生”用地转型的生态环境效应及其空间分异机制[J]. *地理科学*, 2021, 41(6): 1009-1018.
- HAN M, KONG X L, LI Y L, *et al.* Eco-environmental effects and its spatial heterogeneity of “ecological-production-living” land use transformation in the Yellow River delta[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(6): 1009-1018. (in Chinese).
- [9] 陈建坤, 牟风云, 陈林, 等. 重庆市三生空间时空格局研究[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(3): 246-253.
- CHEN J K, MU F Y, CHEN L, *et al.* Spatial-temporal pattern of “production-living-ecological space” in Chongqing[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2022, 37(3): 246-253. (in Chinese).
- [10] ZHOU G L, ZHANG D, ZHOU Q, *et al.* Study on the spatio-temporal evolution characteristics of the “production-living-ecology” space in the Yellow River basin and its driving factors[J]. *Sustainability*, 2022, 14(22): 15227.
- [11] 康紫薇, 张正勇, 位宏, 等. 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*, 2020, 40(18): 6472-6485.
- KANG Z W, ZHANG Z Y, WEI H, *et al.* Landscape ecological risk assessment in Manas River basin based on land use change[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(18): 6742-6485. (in Chinese)
- [12] 潘竟虎, 刘晓. 疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(3): 791-799.
- [13] 钟良子, 马俊杰, 张慧卿, 等. 张家口市崇礼区景观生态风险评价[J]. *河北农业大学学报*, 2019, 42(6): 30-37.
- ZHONG L Z, MA J J, ZHANG H Q, *et al.* Assessment of landscape ecological risk in Chongli district of Zhangjiakou City[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2019, 42(6): 30-37. (in Chinese)
- [14] 刘孟竹, 王彦芳, 裴宏伟. 基于土地利用变化的河北省坝上地区景观生态风险评价[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(4): 303-311, 345.
- [15] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010-2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 789-802.
- LIU J Y, NING J, KUANG W H, *et al.* Spatio-temporal patterns and characteristics of land use change in China during 2010-2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 789-802. (in Chinese)
- [16] 林树高, 陆汝成, 叶宗达, 等. 广西国土空间格局演变特征与形成机理[J]. *地理科学*, 2022, 42(11): 1963-1974.
- LIN S G, LU R C, YE Z D, *et al.* Evolution characteristics and formation mechanism of territorial space pattern in Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(11): 1963-1974. (in Chinese)
- [17] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. *资源科学*, 2015, 37(7): 1332-1338.
- [18] 时振钦, 邓伟, 张少尧. 近25年横断山区国土空间格局与时空变化研究[J]. *地理研究*, 2018, 37(3): 607-621.
- [19] 赵越, 罗志军, 李雅婷, 等. 赣江上游流域景观生态风险的时空分异——从生产-生活-生态空间的视角[J]. *生态学报*, 2019, 39(13): 4676-4686.
- ZHAO Y, LUO Z J, LI Y T, *et al.* Study of the spatial-temporal variation of landscape ecological risk in the upper reaches of the Ganjiang River basin based on the “production-living-ecological space”[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(13): 4676-4686. (in Chinese)
- [20] 何莎莎, 李欣, 何春龙, 等. 基于土地利用变化的扬州市广陵区景观生态风险评价[J]. *南京师大学报: 自然科学版*, 2019, 42(1): 139-148.
- HE S S, LI X, HE C L, *et al.* Landscape ecological risk assessment in Guangling District of Yangzhou city based on land use change[J]. *Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition*, 2019, 42(1): 139-148. (in Chinese)
- [21] 王俊俊, 弓弼. 西咸新区景观格局演变及其生态风险分析[J]. *西北林学院学报*, 2019, 34(2): 250-256.
- WANG J J, GONG B. Evolution of landscape pattern and ecological risk in Xixian New Area[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(2): 250-256. (in Chinese)
- [22] 许凤娇, 吕晓. 基于土地利用变化的江苏沿海地区生态风险格局[J]. *生态学报*, 2018, 38(20): 7312-7325.
- XU F J, LÜ X. Ecological risk pattern based on land use changes in Jiangsu coastal areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(20): 7312-7325. (in Chinese)
- [23] 张晓东, 赵志鹏, 赵银鑫, 等. 银川市景观生态风险评价与生态安全格局优化构建[J]. *干旱区地理*, 2022, 45(5): 1626-1636.
- ZHANG X D, ZHAO Z P, ZHAO Y X, *et al.* Landscape ecological risk assessment and ecological security pattern optimization construction in Yinchuan city[J]. *Arid Land Geography*, 2022, 45(5): 1626-1636. (in Chinese)
- [24] 巩杰, 谢余初, 赵彩霞, 等. 甘肃白龙江流域景观生态风险评价及其时空分异[J]. *中国环境科学*, 2014, 34(8): 2153-2160.
- [25] 王圳峰, 王欣珂, 谢香群, 等. 基于GWR模型的福建省绿色空间景观格局演变影响因素及其空间差异[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(5): 242-250.
- WANG C F, WANG X K, XIE X Q, *et al.* Evolution of landscape pattern of green space in Fujian Province: influencing factors and spatial differences based on GWR model[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2022, 37(5): 242-250. (in Chinese)
- [26] 于航, 刘学录, 赵天明, 等. 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*, 2022, 41(2): 99-107.
- [27] 贺洋, 李惊, 徐昉. 先升后降: 2000-2020年博尔塔拉河流域景观生态风险演变[J]. *中国园林*, 2022, 38(10): 80-85.
- HE Y, LI L, XU F. First risen then fallen: landscape ecological risk evolution in the Bortala River basin from 2000 to 2020[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2022, 38(10): 80-85. (in Chinese)