

基于生态风险评价的水网乡村适应性规划研究

——以吴江三白荡片区为例

丁金华 陆志翎¹

(苏州科技大学 建筑与城市规划学院, 江苏 苏州 215000)

【摘要】: 作为乡村振兴的先行区, 苏南地区乡村建设发展程度较高, 但过快的城镇化进程也给乡村带来了水网格局破碎、生态功能降低等问题, 导致乡村面临的生态风险增加, 静态的景观规划方法逐渐无法适应当前乡村生态文明发展的需求。论文以苏南乡村的地域特征为基础, 选取苏州吴江三白荡北部片区的乡村为研究对象, 在生态要素识别的基础上, 通过景观干扰度分析和景观脆弱度分析构建生态风险评价体系, 并得到研究区生态风险空间分布。依据不同风险等级经空间分异将研究区域划分为生态保育区、动态适应区和综合建设区, 分别从构建生态安全格局、改善乡村适应性循环和提升乡村多情境反馈三方面提出苏南水网乡村适应性规划策略。

【关键词】: 水网乡村 生态风险 适应性规划 生态格局

【中图分类号】: F062.2; [F292] **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)02-223-07

乡村是典型的社会—生态系统, 乡村环境资源推动着乡村社会经济发展, 乡村社会经济活动也影响着乡村环境。随着城镇化的不断扩张, 以单一目标为导向的传统静态规划方法逐渐无法适应动态变化的水网乡村的生态环境, 呈现出水网乡村发展不平衡、抗干扰能力低等问题, 水网乡村的生态建设面临极大的挑战。适应性规划(adaptive planning)是指在复杂社会—生态系统中, 针对在发展过程中面临的不确定性和风险, 通过在规划过程中不断协调、平衡及调整的一种规划方法^[1]。国外研究时间较早, 涉及森林、水环境系统和土地利用适应性管理^[2,3,4]等方面。国内学者的研究范围主要集中在水资源管理、气候适应性管理和城市规划等方面^[5,6], 深化了适应性规划概念内涵, 为水网乡村的适应性规划实践提供了理论支撑。

生态风险评价(Ecological Risk Assessment, ERA)作为一种具体的分析方法体系, 常用于分析由外界环境改变或人类活动干扰对生态系统产生的不利影响^[7,8], 并以此作为风险管控定量分析的依据^[9]。通过研究区域经规模化建设后产生的潜在生态风险, 识别出重点生态空间, 并以此来优化区域内生态网络格局, 维护空间生态安全^[10]。目前, 生态风险评价较多地应用于生态敏感区的空间管制研究^[11], 主要研究对象为湿地、采矿区等生态环境较为脆弱的区域, 或者是受到建设活动干扰较多的城市环境, 对于乡村或者郊区的关注较为缺乏^[12]。

苏南水网乡村内部独特的水网生态格局提供了良好的生态环境, 但也存在着潜在的生态风险, 水域环境与乡村聚落形成的空间结构使得整个苏南水网乡村呈现出复杂、动态的系统特征^[13]。通过综合分析水网乡村的生态特征及生态问题, 在水网乡村规划过程中增加生态风险评价环节, 对建设中的水网乡村存在的生态风险进行预判, 更有利于制定科学的适应性规划策略。

作者简介: 丁金华, 硕士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为城乡生态环境规划与设计。E-mail: yzdingjh@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目“空间利益视角下的乡村空间重组与调控机制研究”(41301191); 苏州科技大学教学改革与研究项目“风景园林专业生态课程链思政教育教学研究与实践”(2019JGMK-01); 苏州科技大学风景园林学学科项目共同资助

1 苏南水网乡村生态特征

1.1 系统性

苏南水网乡村是典型的社会—生态系统，乡村聚落和水网环境之间的动态耦合关系呈现出明显的系统性特征。两者并不是单向的联系，水网生态区域支撑也制约着苏南乡村聚落的发展，而乡村聚落的建设和人类活动也直接或间接影响着水网生态环境，水网乡村应作为一个整体的系统来进行研究。

1.2 复杂性

苏南水网乡村生态系统特征较为复杂。乡村聚落和水网环境生态特征不同，并且乡村聚落与水网环境之间也是交互的过程，聚落环境变化影响水网环境，而水网环境也会制约乡村聚落发展。乡村社会—生态系统通过一系列的复杂变化来适应扰动，从而维持内部系统和谐共生的状态^[14]。

1.3 脆弱性

随着乡村的快速发展，建设用地逐渐侵占了自然农田和鱼塘等农业用地，与此同时乡村河道功能也在逐渐削弱，一定程度上影响了苏南水网乡村生态格局的稳定性，由于其独特的水域环境和地域特征，致使水网乡村在面对人为活动的干扰时恢复能力较弱，增加了乡村生态系统的脆弱性^[15]。

2 苏南水网乡村面临的问题

2.1 水网乡村面临的生态风险增加

苏南乡村拥有复杂的水网生境结构，其乡村环境生态敏感度较高，易受到洪涝等自然灾害风险影响。随着城镇化进程加快，乡村居民点建设和工业生产对自然环境的干扰日益增加，建设用地割裂了部分村域内农田、河流、湖荡、鱼塘等生境，使水网乡村的生态格局的连续性受到了影响，从而降低了乡村生态循环功能，其抗干扰能力减弱，面对生态风险的可能性更高。

2.2 水网乡村生态网络抗干扰能力下降

水网乡村聚落依水而建，乡村农林用地为主要生态基质，湖荡、湿地为自然斑块，河流水系为廊道形成了独特的生态格局，具有一定的抗干扰能力。但近年来，工业化发展和过快的城镇化进程侵蚀着乡村的自然生态空间，生态网络被不同程度地开发建设，影响着乡村正常的供给服务功能和调节服务功能，打破了乡村整体的生态系统服务供需平衡^[16]，使乡村无法进行良好的物质功能循环，生态网络结构冗余性和抗干扰能力降低，在面对生态风险时适应能力不足。

2.3 水网乡村传统规划与发展不适应

乡村传统规划是较为静态、刚性的，注重对现有场地的分析，但缺少对乡村生态风险和未来发展趋势的评估步骤，导致规划无法适应快速发展的乡村。规划没有充分利用乡村的自然生态资源，忽视了乡村生态系统的自适应能力。而建设用地侵占了乡村部分农林生态用地，导致乡村生态敏感度较高的区域及生态缓冲区面临生态适应力逐渐下降等问题，需要引入适应性技术，从整体系统的角度来整合乡村生态资源。

3 基于生态风险评价的苏南水网乡村适应性规划

3.1 生态风险评价模型

生态风险评价能对不利生态效应做出有效评估，为乡村适应性规划发展提供重要依据。以景观格局指数表征景观干扰度和景观脆弱度，构建水网乡村生态风险评价模型(图 1)。将计算出的研究区域生态风险评价结果图示化，得到研究片区生态风险空间分布情况，以风险评价结果为依据提出水网乡村适应性规划策略。

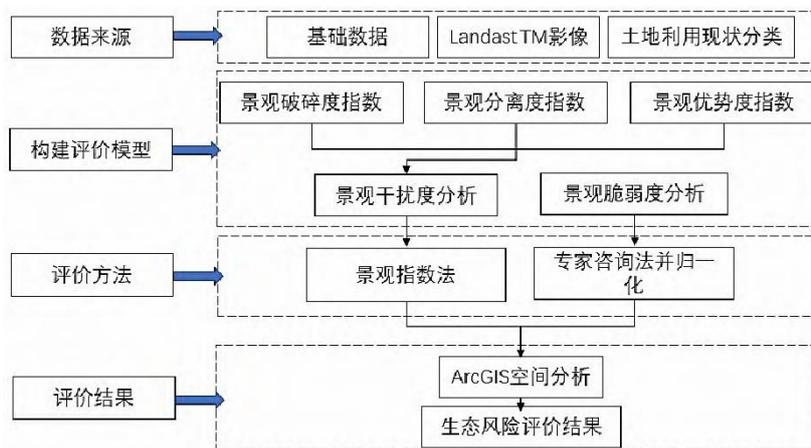


图 1 生态风险评价模型构建

注：文中所有图片均为作者绘制。

3.2 苏南水网乡村适应性规划路径

生态风险评价方法趋于成熟，应用范围广泛，对制定科学的环境管理决策有着重要的意义，能够为苏南水网乡村生态环境保护提供科学依据^[17,18]。研究通过构建生态风险评价体系为苏南水网乡村生态适应性规划提供分析技术路径，在对场地进行前期调研和生态要素识别的基础上，构建生态风险评价模型^[19]，得到生态风险评价结果，结合苏南水网乡村生态特征进一步对空间进行分类管控^[20]，划定研究区域的生态保育区、动态适应区和多元建设区，为生态空间发展提供科学的适应性规划策略^[21](图 2)。

3.3 评价指标选取

研究基于景观指数评价方法的生态风险评价模型，其中景观干扰度由景观破碎度指数、景观分离度指数和景观优势度指数计算所得，计算方法参考相关文献^[22]。景观脆弱度通过专家咨询法获得。生态风险评价公式为：

$$ER = \sum_{i=1}^n \frac{A_i I_i R_i}{A_n} \quad (1)$$

式中：ER 表示生态风险值；n 表示景观类型的数量； A_i 表示景观类型 i 的面积； A_n 表示区域总面积； R_i 表示景观类型 i 的脆弱度； I_i 表示景观类型 i 的干扰度。

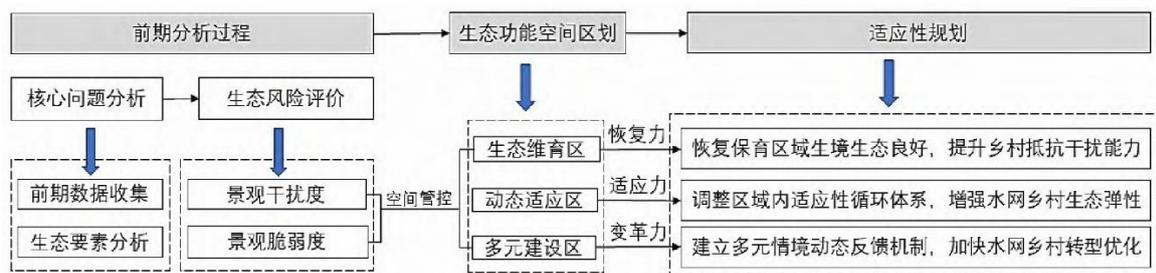


图2 苏南水网乡村适应性规划路径

4 三白荡片区生态风险评价与适应性规划

4.1 区域概况

研究区位于江苏苏州吴江区，范围以三白荡周边村庄为中心，西起元鹤村，东到莘塔港河，北至吴江大道，南沿三白荡中部区域，面积约为 22km²，内部有 20 余个自然村落，村落与大片农田、鱼塘、河流共同形成一个完整的生态空间，具有十分典型的水网乡村特色。

4.2 数据来源

研究区基础数据来源于《吴江统计年鉴(2018 年)》和基于 LandastM 影像获取的 2017 年土地利用数据，通过 ArcGIS10.2 地理信息统计软件对影像进行解译分析，并结合野外实地调查信息数据进行修正。土地利用分类参考《土地利用现状分类》(GBT21010—2017)和全国遥感监测土地利用/覆盖分类体系的分类方法，结合当地各类景观类型的遥感影像特征，研究区域的具体用地类型情况等，将三白荡片区划分为耕地、林地、草地、湿地、水域和村镇建设用地 6 类，得到三白荡研究区域的现状生态要素分析图(图 3)。研究采用网格分析法，结合研究片区的面积和研究尺度，将研究区划分为 250m×250m 的单元网格，共划分风险小区 212 个，用 Fragstats4.2 软件分别计算每一采样评价单元的生态风险值，以此得到单元中心点的生态风险水平，作为生态风险评价空间插值分析的样本，并采用克里金插值法对生态风险数值进行插值，得到研究片区生态风险分布图。

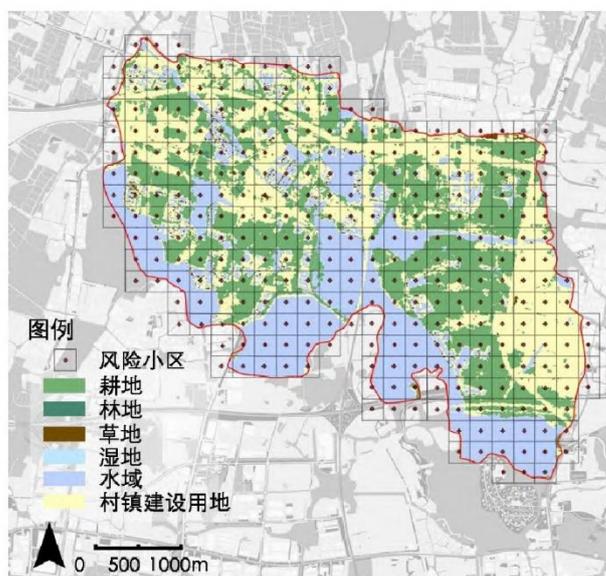


图 3 三白荡片区现状生态要素分析图

4.3 三白荡片区生态风险评价过程与结果

4.3.1 研究区景观干扰度分析

研究使用网格分析法，通过景观干扰度计算公式，分别计算出三白荡研究区的景观破碎度指数、景观分离度指数和景观优势度指数，将 3 种景观指数进行权重计算得到景观干扰度(表 2)，将得到的指数结果在 ArcGIS 平台与用地类型进行挂接，通过空间化图示表达得到三白荡研究片区景观干扰度评价图(图 4)。

表 2 三白荡片区景观干扰度计算

生态要素	景观破碎度	景观分离度	景观优势度	景观干扰度
耕地	0.847	0.820	0.413	0.752
林地	24.034	76.310	0.029	34.916
草地	33.148	28.924	0.217	25.295
湿地	40.901	50.018	0.144	35.485
水域	1.116	0.950	0.437	0.930
村镇建设用地	0.789	0.742	0.446	0.707

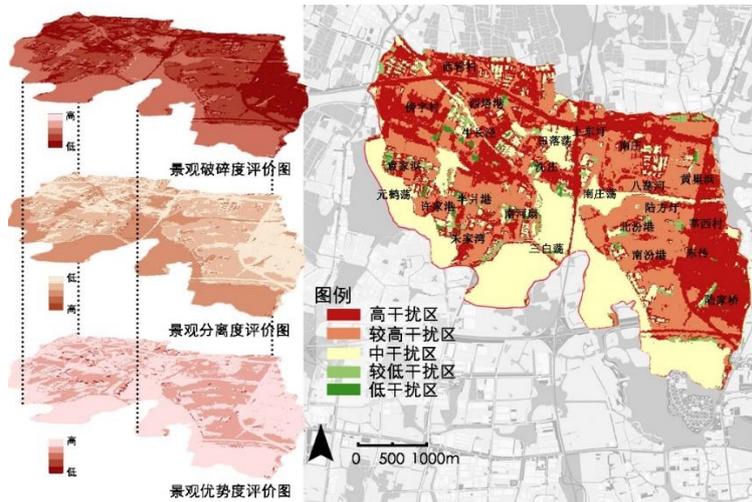


图 4 三白荡片区景观干扰度评价图

分析表明研究区域中强度干扰区和高强度干扰区都呈现出规则的片状分布，高强度干扰主要集中在傍字村、南庄、莘西村等乡村聚落，集中承担着村民的生产生活，而中强度干扰区多集中三白荡、南庄荡等自然水域空间，是乡村重要的生态资源，其中部分鱼塘、农田也属于中强度干扰区，主要承担着乡村的生产活动，两者都有向低强度干扰区延伸的趋势，低强度干扰区现状

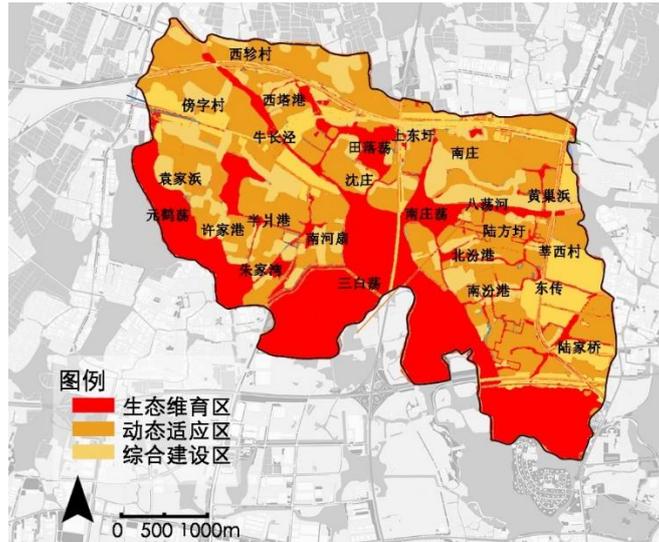


图 7 三白荡片区生态功能分区图

(1) 生态保育区。

结合生态风险评价结果，经空间分异识别三白荡片区适合生态保育的区域以湖荡为主，主要集中在片区南部的三白荡和中部的田落荡等湖荡区域，整体呈面状分布，适合“恢复力”策略，注重生态水域涵养，通过建立完善的生态结构来稳定水网乡村水域生态系统，为三白荡周边村庄提供良好的生态本底。

(2) 动态适应区。

研究片区中部及北部的农田、鱼塘、滩涂等缓冲区的生态风险的等级适中，动态适应调整的区域呈斑块或带状分布，适合“适应力”为主的适应性策略，结合水网乡村的生态特征，因地制宜地采用较为灵活的生态型技术设施，构建乡村生态系统的良好循环，提高水网乡村抗干扰能力。

(3) 多元建设区。

研究片区中部的村庄居住用地和部分工业用地的生态风险最低，经空间分异识别适合多元建设的区域则呈现出点状或块状分布，拥有较好的产业资源，能够为三白荡片区水网乡村发展转型提供条件。适合以“变革力”为主的规划策略，可以通过增加多情景反馈机制，丰富水网乡村的多功能空间，加快水网乡村的转型升级。

4.5 三白荡片区水网乡村适应性规划策略

4.5.1 保护核心生态区域，构建稳定的生态网络格局

三白荡、元鹤荡和田落荡等湖荡区域，是研究片区内重点生态保育区，主要通过划定湖荡岸线生态红线，禁止侵占活动，修复并提升三白荡北部滨水农林带的生态缓冲与调节作用^[29]。生态保育区对构建稳定安全的生态网络格局起到重要的作用，结合现状用地布局，规划确定研究片区以三白荡为核心的“两横、三纵、一屏、多节点”的生态格局(图 8)。“一屏”即研究片区南侧三白荡及滨水农林带，对乡村环境起到屏障作用，维护研究区域内乡村水循环与物质能量供给；“多节点”即研究片区内多个湖荡和传统农业用地等生态节点，能够在一定程度上增强水网乡村生态系统服务的调节功能。“两横、三纵”的生态廊道承担着

各种生态过程，通过廊道将水域、农田等斑块进行串联，构建水网乡村的生态安全格局。

表 3 三白荡片区空间分异模式

生态风险指数	生态风险等级	风险分布区域	空间分异模式
0.249~0.493	高风险、较高风险	三白荡、元鹤荡、南河扇、许家港、半月港、朱家港、田落荡	生态保育模式
0.169~0.249	中风险	牛长泾、沈庄、南庄荡、傍字村、西塔港	动态适应模式
0.048~0.169	较低风险、低风险	西轸村、上东圩、南庄、八荡河、莘西村	综合建设模式

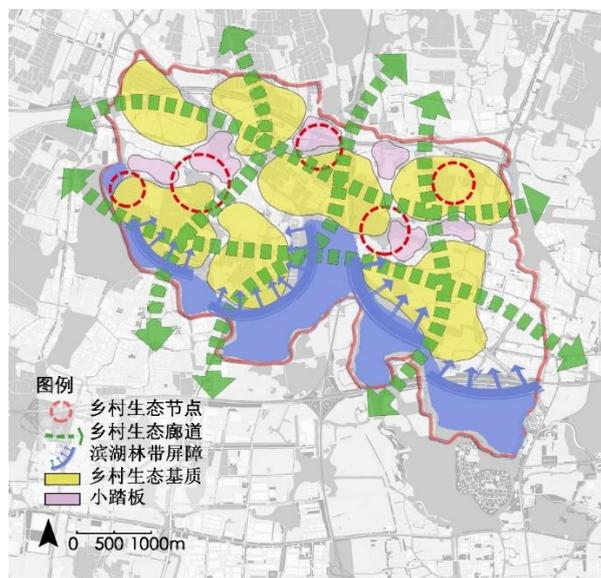


图 8 三白荡片区生态格局分析图

4.5.2 完善适应性循环体系，增强水网乡村生态弹性

三白荡片区主要由水域、农林和聚居生态系统构成，由于其复杂的动态变化特征，难以用单一的策略进行调节，规划在乡村动态适应区各个节点设置相适应的生态设施，形成动态的生态技术设施网络，提升水网乡村生态系统的适应性循环能力。乡村水域生态系统，通过集中疏通牛长泾、八荡河、半月港等河流水系，增加人工湿地、潜流湿地等方式增强三白荡片区水网生态功能，在各个节点建立农田鱼塘整治、净化缓冲、雨洪调蓄等设施，建立相对完善的适应性循环体系^[30]。乡村动态适应区农林生态系统将三白荡片区内水田改造成为生产性湿地，作为农作物及其他植物生长的营养来源，在优化跨流域的农业生产方式的同时改善水文条件，建立乡村生态适应性循环体系(图 9)。

4.5.3 建立多情境反馈机制，加快水网乡村转型优化

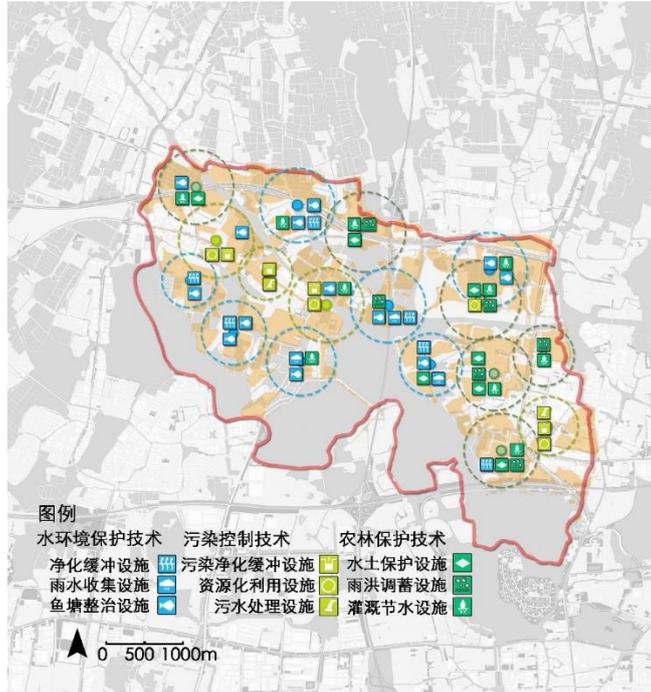


图9 三白荡片区功能体系图

通过多情境反馈机制对结果的评估和反馈，能够根据外界的变化提出动态的修正意见，从而在一定程度上降低乡村面临的风险。根据研究片区综合建设区内不同的乡村聚居类型提升相应的多情境功能，滨湖风貌型村落以农业渔业生产为主，自然景观与乡村风貌良好，可以从生态保护、景观营造、科普教育等多个角度出发，发展观光、采摘等旅游业情境。农业生产型村落内多为农田、林地、鱼塘等半自然用地，可以结合乡村的生产、生活功能进一步调整，增加农业观光、采摘等功能和以乡村生态保护为主的科普教育功能等。旅游型村落具有一定的产业发展潜力，农业生产功能较少，可承担休闲、游憩和防灾功能，从多方面推进乡村综合建设区功能多元化发展^[31] (图 10)。

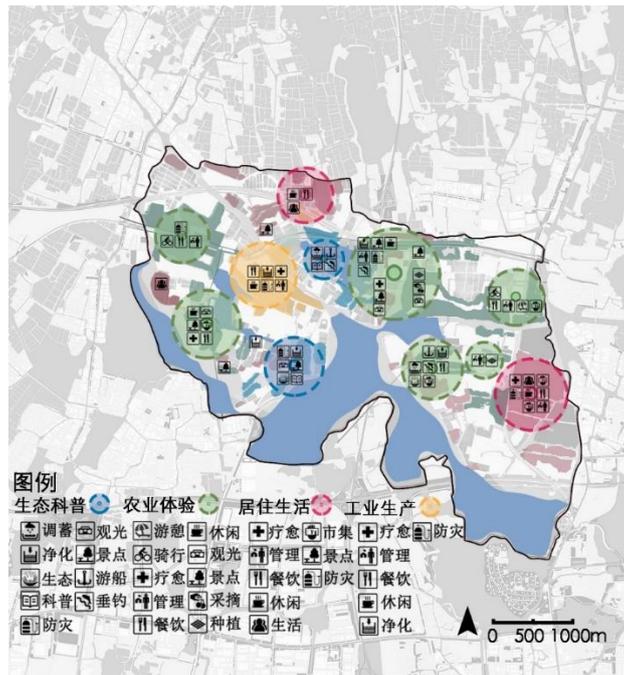


图 10 三白荡片区多情景功能分区图

5 结语

苏南水网乡村是典型的社会—生态系统，在新型城镇化背景下，建设用地的不断扩张影响着水网乡村的生态格局，使得乡村面临的风险日益增加，研究分析乡村所面临的生态风险能为乡村规划提出更科学、系统的指导。

本研究以三白荡片区水网乡村规划实践为例，指出生态风险评价能有效评估区域尺度下的不利生态效应，一定程度上为乡村规划发展中的空间分区管控与生态格局保护提供了重要依据。通过对研究区域的生态风险评价，界定乡村规划中的生态空间分区，提出适应性规划策略并提升有潜力的生态空间，平衡乡村发展和环境保护之间的关系。随着理论与技术的发展，在未来的研究中，通过调集更大量的基础数据，在丰富评价模型的基础上，分析难以量化的因子，能够更深层地探讨乡村面临风险的原因与乡村发展之间的联系。

参考文献:

- [1]杜焱强, 何佳, 包存宽. 建立中国生态文明建设的适应性规划模式[J]. 上海城市规划, 2018(3): 8-12.
- [2]Wintle B A, Lindenmayer D B. Adaptive risk management for certifiably sustainable forestry[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 256(6): 1311-1319.
- [3]Allan C, Curtis A, Stankey G, et al. Adaptive management and watersheds: A social science perspective[J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2008, 44(1): 166-174.
- [4]Racher K I, Hutchinson N, Hart D, et al. Linking environmental assessment to environmental regulation through adaptive management[J]. Integrated Environmental Assessment and Management, 2011, 7(2): 301-302.
- [5]徐广才, 康慕谊, 史亚军. 自然资源适应性管理研究综述[J]. 自然资源学报, 2013(10): 1797-1807.
- [6]蔡云楠, 温钊鹏. 提升城市韧性的气候适应性规划技术探索[J]. 规划师, 2017(8): 18-24.
- [7]Mao X L, NI J R. Recent progress of ecological risk assessment[J]. Acta scientiarum naturalium Universitatis Pekinensis, 2005, 41(4): 646-654.
- [8]Yang W R, Wang R S, Huang J L, et al. Ecological risk assessment and its research progress[J]. The journal of applied ecology, 2007, 18(8): 1869-1876.
- [9]Lipton J, Galbraith H, Burger J, et al. A paradigm for ecological risk assessment[J]. Environmental Management, 1993, 17(1): 1-5.
- [10]彭震伟, 王云才, 高璟. 生态敏感地区的村庄发展策略与规划研究[J]. 城市规划学刊, 2013(3): 7-14.
- [11]王敏, 周梦洁, 宋岩, 等. 乡村旅游发展的生态风险空间管控研究——以池州杏花村为例[J]. 南方建筑, 2018(6): 66-72.

-
- [12]陈卫平, 康鹏, 王美娥, 等. 城市生态风险管理关键问题与研究进展[J]. 生态学报, 2018(14): 5224-5233.
- [13]丁金华, 胡中慧, 纪越. 弹性理念下的水网乡村景观更新规划[J]. 规划师, 2016(6): 79-85.
- [14]吴吉林, 刘水良, 周春山. 乡村旅游发展背景下传统村落农户适应性研究——以张家界4个村为例[J]. 经济地理, 2017(12): 232-240.
- [15]于婷婷, 袁青, 冷红. 县域乡村景观脆弱性评价研究——以哈尔滨县域为例[J]. 中国园林, 2019(11): 87-91.
- [16]彭建, 杨旸, 谢盼, 等. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区[J]. 生态学报, 2017(13): 4562-4572.
- [17](美)SuterGWII. 生态风险评价[M]. 尹大强, 林志芬, 刘树深, 等, 译. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [18]阳文锐, 王如松, 黄锦楼, 等. 生态风险评价及研究进展[J]. 应用生态学报, 2007(8): 1869-1876.
- [19]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(20): 7312-7325.
- [20]王敏, 王云才. 基于生态风险评价的非建设性用地空间管制研究——以吉林长白县龙岗重点片区为例[J]. 中国园林, 2013(12): 60-66.
- [21]丁玲, 林兵. 生态文明视角下风景名胜区村镇居民点规划策略——以龙脊风景名胜区重点村寨详细规划为例[J]. 规划师, 2019(21): 85-90.
- [22]刘春艳, 张科, 刘吉平. 1976—2013年三江平原景观生态风险变化及驱动力[J]. 生态学报, 2018(11): 3729-3740.
- [23]王娟, 崔保山, 姚华荣, 等. 纵向岭谷区澜沧江流域景观生态安全时空分异特征. 生态学报, 2008(4): 1681-1690.
- [24]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(16): 5952-5960.
- [25]张文静, 孙小银, 单瑞峰, 等. 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, 2020(3): 172-181.
- [26]王涛, 肖彩霞, 刘娇, 等. 杞麓湖流域景观时空格局演变及其对景观生态风险的影响[J]. 水土保持研究, 2019(6): 219-225.
- [27]唐晓岚, 包文渊, 贾艳艳, 等. 太湖风景区古村古镇景观生态风险分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018(2): 105-112.
- [28]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(1): 139-148.
- [29]苏同向, 王浩. 基于生态红线划定的城乡绿地生态网络构建研究——以江苏省扬州市为例[J]. 现代城市研究, 2019(10): 20-27.

[30]孙松林, 李雄. 布依族石板房聚落的景观格局特征与生态适应性研究[J]. 中国城市林业, 2017(5): 26-30.

[31]徐煜辉, 韩浩. 基于低影响开发生态住区规划策略研究[J]. 华中建筑, 2015(12): 126-130.