

## 苏南水网地区蓝绿空间格局多情景模拟预测

丁金华<sup>1</sup>, 孙琦<sup>2</sup>

(1. 苏州科技大学 建筑与城市规划学院, 江苏 苏州 215011; 2. 枣庄职业学院, 山东 枣庄 277800)

**摘要:** 【目的】模拟预测苏南水网地区蓝绿空间格局多情景发展趋势, 探究促进地区可持续发展的情景方案。【方法】以江苏省苏州市吴江南片区为例, 设置自然发展、生态保护优先和城镇发展优先等3种情景, 借助CA-Markov模型, 对2030年蓝绿空间格局变化趋势进行多情景模拟分析, 并运用形态学空间格局分析(MSPA)和景观连通性评价解读蓝绿空间景观生态结构与生态格局特征。【结果】不同发展情景下蓝绿空间规模与格局变化差异显著。自然发展和城镇发展优先情景下, 蓝绿空间面积呈现加速减少趋势, 分别减少了3 626.37、7 145.74 hm<sup>2</sup>。蓝绿空间核心区、孔隙等形态类型负向变化剧烈, 蓝绿空间破碎度增加, 连通性降低。生态保护优先情景与自然发展和城镇发展优先情景相比, 蓝绿空间面积分别增加了2 904.30、6 423.67 hm<sup>2</sup>, 蓝绿空间核心区等形态类型增幅明显, 孔隙率显著降低, 蓝绿空间破碎度降低, 连通性增强。【结论】自然发展和城镇发展优先情景对水网地区蓝绿空间呈现负向影响趋势, 生态保护优先情景在维持蓝绿空间面积与格局稳定, 改善蓝绿空间连通性方面效果显著。图4表4参23

**关键词:** 蓝绿空间; CA-Markov模型; 多情景模拟; 形态学空间格局分析; 水网地区

中图分类号: X171.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2024)01-0202-09

## Multi-scenario simulation and prediction of blue-green spatial pattern in the southern Jiangsu water network area

DING Jinhua<sup>1</sup>, SUN Qi<sup>2</sup>

(1. School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, Jiangsu, China; 2. Zaozhuang Vocational College, Zaozhuang 277800, Shandong, China)

**Abstract:** [Objective] The objective is to simulate and predict the multi-scenario development trend of the blue-green spatial pattern in the southern Jiangsu water network area, and explore scenario plans to promote sustainable development in the region. [Method] Taking the southern Wujiang District of Suzhou City, Jiangsu Province as sampling area, three scenarios were set up: natural development, ecological protection priority, and urban development priority. Based on CA-Markov model, a multi-scenario simulation analysis was conducted to simulate and analyze the changing trend of the blue-green spatial pattern in 2030. Morphological spatial pattern analysis (MSPA) and landscape connectivity evaluation were used to interpret the ecological structure and characteristics of the blue-green spatial landscape. [Result] There were significant differences in the scale and pattern of the blue-green space under different development scenarios. Under the priority scenario of natural development and urban development, the area of the blue-green space showed an accelerated reduction trend, with a reduction of 3 626.37 and 7 145.74 hm<sup>2</sup> respectively. The shape types of the core area and pore of the blue-green space changed sharply in the negative direction, resulting in an increase in fragmentation and a decrease in connectivity in the blue-green space. Compared with the priority scenarios of natural development

收稿日期: 2022-12-01; 修回日期: 2023-10-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41301191); 江苏省建设系统科技项目(2018ZD243); 江苏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)共同资助项目

作者简介: 丁金华 (ORCID: 0000-0002-4977-0765), 教授, 从事城乡环境生态规划与设计研究。E-mail: yzdingjh@163.com

and urban development, the priority scenario of ecological protection increased the area of the blue-green space by 2 904.30 and 6 423.67  $\text{hm}^2$ , and the core area of the blue-green space and other morphological types increased significantly, with a significant reduction in porosity, a reduction in the fragmentation of the blue-green space, and an increase in connectivity. [Conclusion] The priority scenarios of natural development and urban development have a negative impact on the blue-green space in the water network area, and the priority scenario of ecological protection has a significant effect on maintaining the stability of the area and pattern of the blue-green space and improving its connectivity. [Ch, 4 fig. 4 tab. 23 ref.]

**Key words:** blue-green space; CA-Markov model; multi-scenario simulation; MSPA; water network area

新型城镇化建设的推进为苏南水网地区城乡建设带来了经济的快速发展，但同时也给区域生态环境保护带来压力，蓝绿交织的水网地域特色景观正面临逐渐消失的危机。蓝绿空间是水网地区自然生态空间的重要组成部分，也是水网地区地域特色景观的载体<sup>[1]</sup>。水网地区的耕地以水田为主，具有涵养水源、调蓄雨洪的生态功能<sup>[2]</sup>，与林地、草地等共同构成绿色空间。蓝色空间则指河流、湖泊、湿地和坑塘等共同构成的水域空间<sup>[3]</sup>。目前，国内外学者对于蓝绿空间的研究多集中于景观格局演变<sup>[4-5]</sup>、空间营建与调控<sup>[6-8]</sup>、冷岛效应<sup>[9]</sup>以及健康服务功能评价<sup>[10-11]</sup>等方面，研究区域多集中于城市群区域或城市市域范围，对具有水网地域特征的城镇地区蓝绿空间格局的研究相对较少。

苏南水网地区属于太湖流域，具有得天独厚的地理条件，形成了水绿共生的整体格局。快速城镇化在促进苏南水网地区社会经济高速发展的同时，量大面广的居住区、工业园区等人工开发建设活动对蓝绿空间的干扰程度日趋增强。据 Landsat 8 影像数据统计，2000—2022 年，苏州市吴江区建设用地面积由 14 653.57  $\text{hm}^2$  增加至 31 008.33  $\text{hm}^2$ ，而蓝绿空间面积由 107 543.79  $\text{hm}^2$  减少至 91 790.00  $\text{hm}^2$ 。建设用地不断扩张使得蓝绿空间面临着面积下降、景观格局破碎、生态效益减弱等问题，水网地区的可持续发展受到冲击。模拟预测蓝绿空间未来发展格局，分析蓝绿空间格局未来发展趋势，总结蓝绿空间格局未来演变特征，是保护和恢复水网地区生态环境，促进苏南水网地区城乡可持续发展的关键。

本研究以具有典型苏南水网特征的苏州市吴江地区为代表，在总结 2000—2020 年蓝绿空间格局演变规律的基础上，借助 CA-Markov 模型，模拟 2030 年吴江南片区蓝绿空间土地利用多情景发展状态，并对多情景发展的蓝绿空间演变进行定量分析，结合形态学空间格局分析 (MSPA) 和景观连通性评价科学解读蓝绿空间景观生态结构与生态格局特征，为水网地区蓝绿空间的保护提供理论帮助与数据支持，以期促进水网地区城乡可持续发展。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区域概况

吴江南片区隶属于江苏省苏州市吴江区，地处江苏省东南部，位于  $31^{\circ}02' \sim 31^{\circ}13' \text{N}$ ， $120^{\circ}51' \sim 120^{\circ}42' \text{E}$ ，包括了横扇街道、平望镇、七都镇、震泽镇、盛泽镇和桃源镇，面积约 606.1  $\text{km}^2$ 。该片区自然环境条件优越，地势平坦，属于典型的水网平原，耕地、林地、河流和湖泊资源丰富，形成了水网地区蓝绿交错的独特格局。但在快速城镇化建设过程中，吴江区蓝绿空间面临着面积缩减，功能脆弱，空间破碎化等问题。

### 1.2 数据来源

①2000、2010、2020 年吴江区遥感影像从地理空间数据云平台 Landsat 8 卫星获取，分辨率均为 30 m。以此为基础数据，结合研究区实地调查结果，使用 ENVI 5.3 对遥感影像进行监督分类和人工目视解译，根据 GB/T 21010—2017《土地利用现状分类》的分类依据和标准，将土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域和建设用地等 5 类，经检验 3 期图像精度均达到 85% 以上。②行政区划边界数据来源于最新发布吴江区行政区划图，通过地图数字化处理得到行政区划边界矢量数据。③研究区数字高程 (DEM) 数据为 30 m 分辨率的 ASTER GDEM V 3 数据，来源于中国科学院地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>)，坡度数据由 DEM 高程数据提取得到。④城镇居民点数据来源于国家统计局官方网站

发布的统计用区划和城乡划分代码等相关信息,将其整理成格式化文本数据,通过地理编码等处理得到村镇居民点空间分布矢量点数据。

## 2 研究方法

### 2.1 蓝绿空间多情景模拟预测

2.1.1 CA-Markov 模型 CA-Markov 模型由 Markov 模型和离散动力学元胞自动机 (cellular automata, CA) 模型<sup>[12-13]</sup> 构成,能够基于土地利用转移概率矩阵与土地利用变化适宜性图集,模拟预测未来格局的演变趋势。本研究基于 IDRISI 7.0 中的 CA-Markov 模型,对吴江南片区的土地利用格局变化进行预测,将模拟得到的吴江南片区 2020 年土地利用类型图与实际情况进行比对,检验模型精度。在 CA-Markov 模型模拟可信度较高的情况下,以 2020 年吴江南片区土地利用图为基础年数据,分别选取 3 种情景下的转移概率和适宜性图集运行 CA-Markov 模型,得到 2030 年吴江南片区多情景土地利用模拟预测图像。

2.1.2 多标准评价模型 多标准评价模型 (multi-criteria evaluation, MCE) 由约束条件和适宜因子 2 个部分组成,是土地利用多情景模拟转换规则的核心。本研究借鉴前人的研究成果<sup>[14-16]</sup>,并结合研究区实际情况和模拟效果,从自然因素和社会因素 2 个方面选择高程、坡度、距村镇居民点距离、距河流和湖泊距离及人均国内生产总值 (GDP) 共 6 类因子,作为制作适宜性图集的主要影响因子,约束条件则根据不同的发展情景进行分别设置。

2.1.3 多情景设置 情景分析旨在描述和分析事物发展的各种可能性,对比不同发展路径下的状态,为科学规划决策提供依据<sup>[17]</sup>。本研究基于 CA-Markov 模型和 MCE 模型,综合考虑研究区不同情景的发展需求及转换规律,参照《苏州市国土空间总体规划 (2021—2035)》《苏州市吴江区国土空间规划近期实施方案》《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》等相关文件,设定吴江南片区 3 种土地利用变化模拟情景:①自然发展情景。自然发展情景是基于 2010—2020 年吴江南片区的土地利用变化趋势,按照目前的城镇化发展模式和土地利用转移速率,不对耕地、林地、草地和水域与建设用地间的相互转换进行限制,模拟自然发展情景下 2030 年吴江南片区蓝绿空间土地利用演变状况。②生态保护优先情景。生态保护优先情景是以推动生态文明建设为首要,结合苏南水网地区水网密布,蓝绿交织的地域特征,考虑将永久基本农田保护区和生态保护红线设置为限制转化区,对建设用地随意侵占耕地、林地、草地及水域实施管控,降低蓝绿空间向建设用地的转化速率。③城镇发展优先情景。该情景是以适应苏南水网地区的经济与城镇发展需求为前提,土地利用情景设置中的新增建设用地有可能会占用原有建设用地范围周边的部分耕地、林地、草地及水域。

### 2.2 形态学空间格局分析

形态学空间格局分析 (morphological spatial pattern analysis, MSPA) 是一种图像处理方法,可以识别目标像元集与结构要素之间的空间拓扑关系,能够有效地确定景观的类型和结构<sup>[18]</sup>。本研究借助 MSPA 分析蓝绿空间格局的形态变化及演变趋势,基于 3 种模拟情景下得到的 2030 年吴江南片区土地利用类型图,结合当地实际情况,利用 ArcGIS 平台的重分类工具将生物多样性潜在力较好的耕地、林地、草地和水域分类为前景像元,建设用地作为背景像元,运用 Guidos Toolbox 软件的 MSPA 工具对数据进行腐蚀、膨胀等运算,得到 3 种模拟情景下 2030 年吴江南片区蓝绿空间景观组成类型及其占比。

### 2.3 连通性特征分析

景观连接度是评价景观结构单元之间连续性的重要指标<sup>[19]</sup>,也是度量水网乡村蓝绿空间连通性的关键指标,数值越高,越有利于蓝绿空间格局整体生态效益的发挥。可能连通性指数 (PC) 综合考虑了物种迁移能力和扩散概率,是现阶段较为成熟的评价指标<sup>[20]</sup>。

选取对本研究有重要意义的核心区景观要素,运用 Conefor 2.6,参考相关文献<sup>[15,21-22]</sup>并结合本研究的研究尺度,设置斑块连通距离阈值为 500 m,连通的概率根据实际情况设为 0.5,对研究区的核心区进行景观连接度评价,筛选出 3 种模拟情景下景观连接度最大的 9 个斑块。按照连接重要性指数 (dI) 评价各核心区斑块在整体景观中的重要值,作为评判核心区景观连接度的指标,记作可能连通性重要值 (dPC),反映斑块重要性<sup>[23]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 CA-Markov 模型精度检验

利用 2000、2010 年的土地利用类型数据，获得 2000—2010 年土地利用类型的转移概率矩阵 (表 1)。以 2010 年的土地利用类型图作为基础年数据，以 10 a 为迭代周期，比例误差设为 0.15，预测 2020 年吴江区南片区土地利用类型图 (图 1)，与 2020 年实际土地利用分布图进行对比验证，得到 Kappa 值为 0.886 2，表示模拟的可信度较高，可用来预测研究区后续土地利用变化情况。

表 1 2000—2010 年吴江南片区土地利用类型转移概率矩阵

Table 1 Probability matrix of land use type transfer in southern Wujiang District from 2000 to 2010

2000年土地利用类型	2010年土地类型转移概率/%				
	耕地	林地	草地	水域	建设用地
耕地	63.74	0.03	0.02	4.58	31.63
林地	6.02	68.85	0.19	14.30	10.64
草地	0.01	0.73	72.42	26.83	0.01
水域	13.93	0.05	0.01	76.64	9.37
建设用地	19.95	0.06	0.01	4.21	75.77

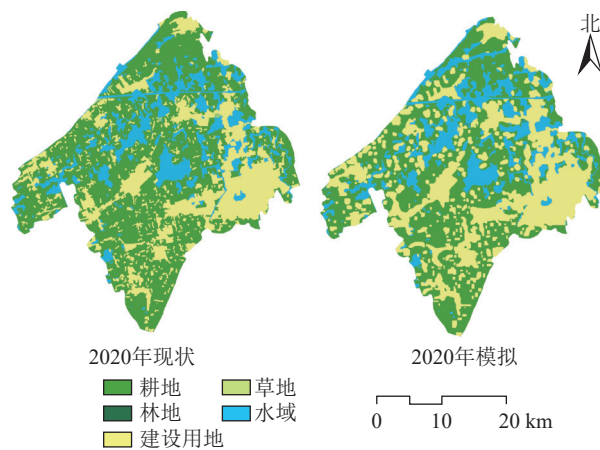
#### 3.2 多情景模拟下的蓝绿空间土地利用分析

以 2020 年吴江南片区土地利用空间分布图为基础数据，通过 MCE 模型，分析各类土地利用适宜性及吴江南片区 2010—2020 年的土地利用类型转移概率矩阵 (表 2)，并限制不同情景下各类土地利用的约束条件，利用 CA-Markov 模型预测 3 种情景下 2030 年吴江南片区蓝绿空间土地利用的变化及各类土地利用的面积、比例 (图 2，表 3)。

由图 2 和表 3 可知：2020—2030 年，3 种发展情景下的耕地、林地、草地和水域的土地利用面积及占比变化差异较大。①自然发展情景下，耕地、林地和水域面积随时间推移而缩减，分别减少了 3.32%、0.02% 和 2.56%，建设用地面积持续增加，增幅约为 5.99%，基本延续过去 10 a 吴江南片区土地利用的发展规律。②生态保护优先情景下，基于生态文明建设的需求，限制了耕地、林地和水域等向建设用地的无序转化，蓝绿空间土地利用相对稳定，耕地、林地、草地和水域的面积及占比有所增加。相对于自然发展情景，生态保护优先情景下耕地和水域增幅最为显著，分别为 1.84% 和 2.67%，建设用地增幅减少，从 3 627.54 hm<sup>2</sup> 减少到 929.88 hm<sup>2</sup>。③城镇优先发展情景下，蓝绿空间土地利用发生了较为剧烈的变化，相较于生态保护优先情景，城镇发展优先情景下耕地、林地面积减幅较大，其占比分别下降了 6.59%、0.19%，水域面积减少了 2 189.43 hm<sup>2</sup>，而建设用地面积显著增加，增幅达 10.25%。

#### 3.3 基于 MSPA 的蓝绿空间形态学空间格局分析

由表 4 和图 3 可知：2020—2030 年，①自然发展情景下的 7 类蓝绿空间景观要素基本延续前 10 a 的自然发展规律，核心区、边缘区等景观要素占比呈现出整体下降的趋势，孤岛下降率明显，孤岛面积从 54.54 hm<sup>2</sup> 减少至 30.30 hm<sup>2</sup>，变化率为 -44.44%。孤岛面积下降说明可供生物在吴江南片区蓝绿空间之间迁移的“踏脚石”数量正在减少。②生态保护优先情景下，蓝绿空间景观要素多呈现良好的发展态势，其中核心区的增幅最大，增长了 490.87 hm<sup>2</sup>。核心区可作为蓝绿网络中的源地，在生物多样性保



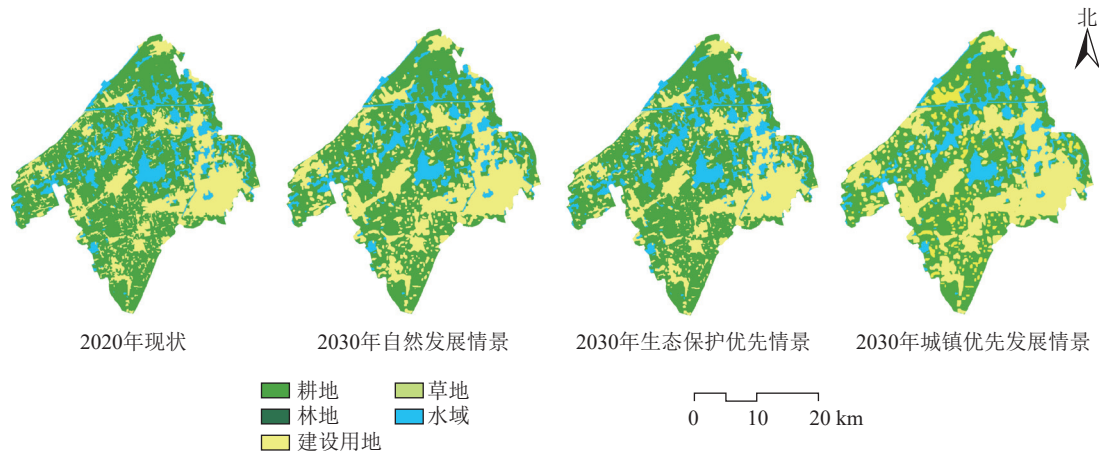
基于江苏省国土资源厅“标准地图服务”网站苏S(2021)024号标准地图制作，底图边界无修改。

图 1 2020 年吴江南片区土地利用现状与模拟  
Figure 1 Landuse status and simulation of southern Wujiang District in 2020

表2 2010—2020年吴江南片区土地利用类型转移概率矩阵

Table 2 Probability matrix of land use type transfer in southern Wujiang District from 2010 to 2020

2010年土地利用类型	2020年土地利用类型转移概率/%				
	耕地	林地	草地	水域	建设用地
耕地	65.13	0.01	0.01	3.44	31.41
林地	0.90	75.78	0.13	13.45	9.74
草地	15.42	0.01	84.55	0.01	0.01
水域	13.37	0.01	0.01	75.57	11.04
建设用地	14.27	0.01	0.01	5.13	80.58



基于江苏省国土资源厅“标准地图服务”网站苏S(2021)024号标准地图制作, 底图边界无修改。

图2 吴江南片区蓝绿空间土地利用变化

Figure 2 Landuse change of blue and green space in southern Wujiang District

表3 2020—2030年吴江南片区蓝绿空间土地利用数据

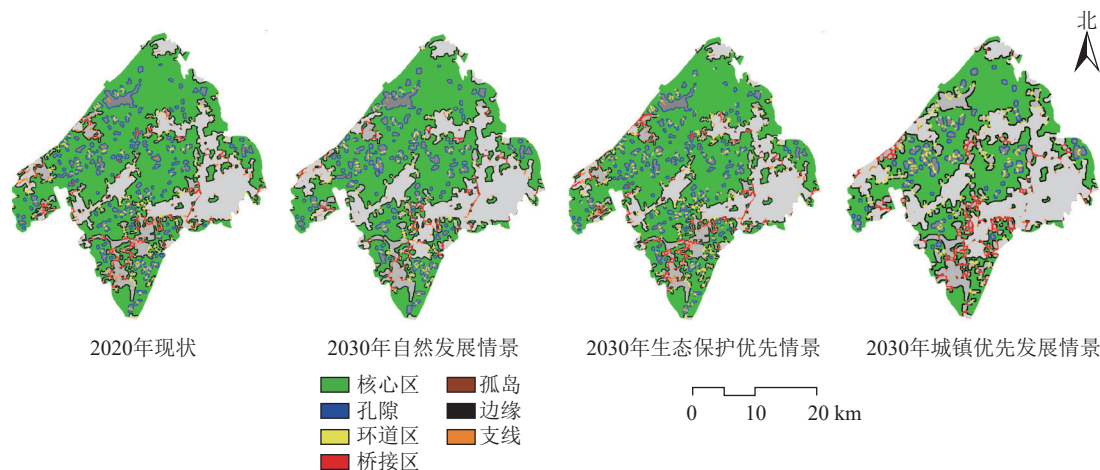
Table 3 Land use data of blue and green space in southern Wujiang District from 2020 to 2030

类型	2020年现状		2030年自然发展情景		2030年生态保护优先情景		2030年城镇发展优先情景	
	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%
耕地	33 837.03	55.84	31 826.79	52.52	33 058.35	54.36	28 946.79	47.84
林地	142.29	0.23	129.78	0.21	148.59	0.24	30.41	0.05
草地	19.44	0.03	17.64	0.03	22.14	0.04	17.64	0.03
水域	9 838.98	16.24	8 237.16	13.59	9 886.59	16.26	7 697.16	12.72
建设用地	16 763.22	27.66	20 390.76	33.65	17 693.10	29.10	23 810.58	39.36

表4 2020—2030年吴江南片区蓝绿空间MSPA景观类型变化

Table 4 Changes of MSPA landscape types in the blue and green space of southern Wujiang District from 2020 to 2030

类别	2020年实际面积/hm <sup>2</sup>	自然发展情景			生态保护优先情景			城镇优先发展情景		
		2030年预测面积/hm <sup>2</sup>	面积变化/hm <sup>2</sup>	变化率/%	2030年预测面积/hm <sup>2</sup>	面积变化/hm <sup>2</sup>	变化率/%	2030年预测面积/hm <sup>2</sup>	面积变化/hm <sup>2</sup>	变化率/%
核心区	31 312.51	29 258.13	-2 054.37	-6.56	31 803.37	490.87	1.57	23 804.05	-7 508.46	-23.98
孤岛	54.54	30.30	-24.24	-44.44	42.42	-12.12	-22.22	96.96	42.42	77.78
孔隙	4 005.72	3 508.79	-496.93	-12.41	2 817.94	-1 187.18	-29.65	4 496.59	490.87	12.25
边缘区	6 708.52	6 211.60	-496.93	-7.41	5 987.37	-721.15	-10.75	6 787.31	78.78	1.17
环道区	351.49	309.06	-42.42	-12.07	290.88	-60.60	-17.24	103.02	-248.46	-70.69
桥接区	454.51	327.25	-127.26	-28.00	230.28	-224.22	-49.33	696.91	242.40	53.33
支线	963.55	569.65	-393.91	-40.88	569.65	-393.91	-40.88	612.07	-351.49	-36.48



基于江苏省国土资源厅“标准地图服务”网站苏S(2021)024号标准地图制作,底图边界无修改。

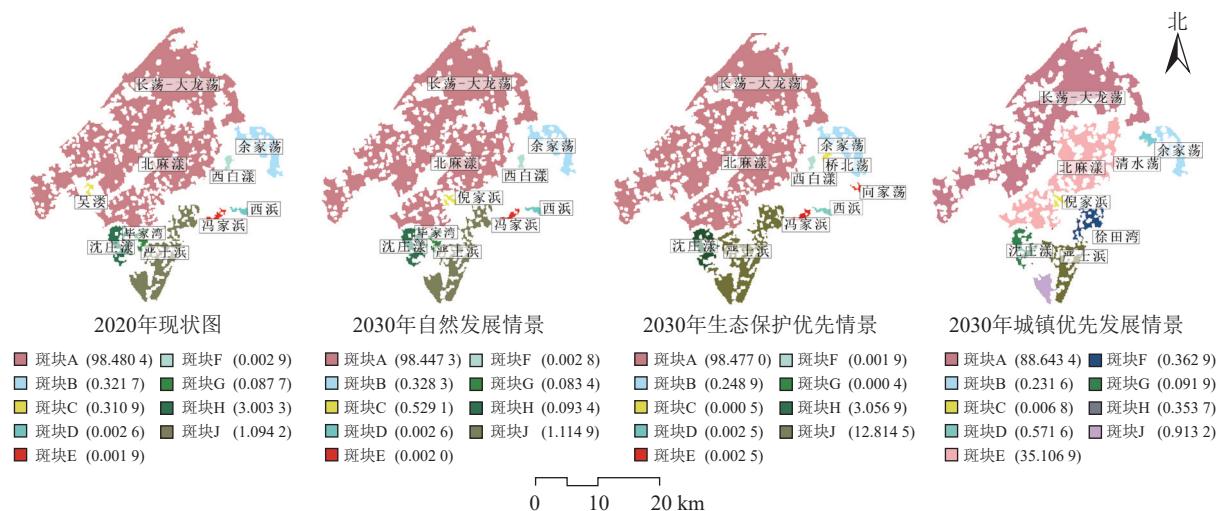
图 3 吴江南片区蓝绿空间形态学空间格局分析图

Figure 3 Analysis of morphological spatial pattern of blue and green space in southern Wujiang District

护方面发挥着重要作用,核心区面积的增加反映了吴江南片区蓝绿空间的生态功能有所增强。生态保护优先情景下的桥接区和环道区占比分别为 0.38% 和 0.48%,较自然发展情景分别减少了 0.21% 和 0.05%。桥接区是连通各核心区间廊道,环道区是核心区内部的廊道,两者是物种迁移、能量流动的重要通道,桥接区、环道区数量的减少反映了吴江南片区蓝绿空间景观破碎化程度的改善。③城镇优先发展情景下,受建设用地沿分布区域向内外扩张的影响,蓝绿空间核心区面积大幅减小,核心区内部的孔隙面积持续增加。孔隙是蓝绿空间核心区内部的孔洞,孔隙面积增幅越大代表蓝绿空间核心区内部零散的建设用地越多,蓝绿空间的破碎化程度越高。城镇优先发展情景下孔隙占比较生态保护优先情景增长了 2.77%,表明城镇优先发展情景下吴江南片区蓝绿空间正面临着外部面状、内部点状的生态破坏,对维持蓝绿空间景观格局稳定造成不利影响。

### 3.4 基于景观连接度指数的蓝绿空间连通性特征变化分析

由图 4 可知:2020—2030 年,①自然发展情景下,蓝绿空间整体景观连通性呈现略微下降的趋势。与 2020 年吴江南片区蓝绿空间景观连通性现状相比,毕家湾、沈庄漾区域景观连通性均有下降,可能连通性重要值分别下降了 0.004 3、2.909 9。②生态保护优先情景下,蓝绿空间研究区核心区重要斑块数量较多、相对面积较大,且斑块较为集中,蓝绿空间连通性有所增强。相较于自然发展情景,沈庄漾和严士浜区域景观连通性增长较为显著,可能连通性重要值分别增加了 2.963 5 和 11.699 6。③城镇发展优



基于江苏省国土资源厅“标准地图服务”网站苏S(2021)024号标准地图制作,底图边界无修改。括号内数值为景观连通性指数。

图 4 吴江南片区蓝绿空间景观连通性变化

Figure 4 Change of landscape connectivity of blue and green space in the southern Wujiang District

先情景下蓝绿空间受建设用地快速扩张的影响,连通性呈现出快速下降趋势,其中长荡—大龙荡、严士浜区域斑块所受影响较大。相对于生态保护优先情景,长荡—大龙荡区域斑块的可能连通性重要值从 98.477 0 下降至 88.643 4,降幅约为 9.98%。严士浜区域景观连通性受镇域内建设用地快速扩张的负面影响,同样呈现大幅下降趋势,可能连通性重要值由 12.814 5 下降至 0.353 7,降幅约为 97.24%。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本研究基于苏州市吴江南片区 2000、2010 和 2020 年 3 期土地利用数据,通过参数调配设置 CA-Markov 模型,模拟自然发展情景、生态保护优先情景和城镇发展优先情景等 3 种情景下吴江南片区 2030 年蓝绿空间的发展趋势,并运用 MSPA 和景观连通性评价对比各情景模拟下的蓝绿空间格局。主要结论如下:①从多情景模拟下的蓝绿空间土地利用分析来看,自然发展情景下,耕地、林地、草地和水域面积均有不同程度减少,基本延续过去 10 a 吴江南片区土地利用的发展规律。在生态保护优先情景下,蓝绿空间用地面积呈现整体上升趋势,建设用地面积增速明显放缓,反映出生态优先保护情景对控制非蓝绿空间用地无序扩张具有显著成效。城镇优先发展情景下,耕地、林地、草地和水域等蓝绿空间用地面积减少速率较 2020 年明显加快。②从多情景模拟下的蓝绿空间形态学空间格局分析结果来看,自然发展情景下,各蓝绿空间形态类型基本延续前 10 a 的发展趋势,呈现负向增长,表明如不调整未来发展模式,吴江南片区仍将面临生态环境保护的压力。生态保护优先发展情景下,蓝绿空间核心区等形态类型呈现出较为明显的增长趋势,表明蓝绿空间的整体生态效益有所提升。城镇优先发展情景下,蓝绿空间核心区、孔隙等形态类型面积及占比呈现负向发展趋势,反映出吴江南片区蓝绿空间核心区内部的集聚程度受到较大影响,斑块景观连通性下降,亟须加强保护力度。③从多情景模拟下的蓝绿空间景观连通性评价来看,蓝绿空间核心区的连通性程度在自然发展情景呈现出略微下降的趋势,毕家湾、沈庄漾区域的景观连通性降低程度相对明显。生态保护优先发展情景下,蓝绿空间景观连通性整体呈现上升趋势,表明以生态保护建设为首要的发展模式对吴江南片区蓝绿空间景观破碎化程度改善具有明显作用。在城镇优先发展情景下,受人为活动和建设用地快速扩张等因素影响,长荡—大龙荡等区域的景观连通性下降幅度较为剧烈,反映出未来吴江南片区蓝绿空间连通性降低程度还将持续加剧。

### 4.2 建议

CA-Markov 模型的模拟主要基于土地利用数据分析,虽然解译多时段的土地利用数据能更细致地体现时空变化,但受区域土地利用数据遥感影像图精度限制,导致模拟结果存在一定偏差。在后续研究中应进一步提升土地利用数据的分辨率,提高研究结果的精准性。同时,在多情景设置时,本研究结合前人的研究,情景设置主要考虑了自然地理和政策法规,对社会、经济、人文等方面指标的权衡作用尚未全面考虑,未来将进一步完善多情景模拟的指标体系设置,对每个情景做更全面的定量分析比较。苏州市吴江区蓝绿空间具有典型水网生态结构特征,伴随快速城镇化进程,水网地区蓝绿空间生态呈现复杂性。面对蓝绿空间面积减少,破碎化加剧等问题,未来应该加强对蓝绿空间保护,坚守生态保护红线,管控建设用地快速扩张,保护蓝绿空间用地规模,强化蓝绿空间生态环境治理。同时,建议整合现有蓝绿空间生态资源,通过科学识别重要蓝绿空间资源,构建吴江南片区蓝绿空间生态网络等一系列重要举措,增强蓝绿空间连通性,优化城镇复合生态系统,缓解地区生态矛盾,促进人地关系和谐。

## 5 参考文献

- [1] 杨朝斌,张亭,胡长涛,等.蓝绿空间冷岛效应时空变化及其影响因素——以苏州市为例[J].长江流域资源与环境,2021,30(3):677-688.  
YANG Chaobin, ZHANG Ting, HU Changtao, et al. Spatial-temporal characteristics of the cooling island for blue-green space and its driving factors in Suzhou, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(3): 677-688.
- [2] 张月朋,常青,郭旭东.面向实践的生态用地内涵、多维度分类体系[J].生态学报,2016,36(12):3655-3665.  
ZHANG Yuepeng, CHANG Qing, GUO Xudong. Management-oriented ecological land's conception and multi-dimensional

- classification system in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(12): 3655 – 3665.
- [3] 支林蛟, 王锦, 刘敏, 等. 滇中城市群绿色空间格局动态变化多尺度研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2021, **41**(5): 88 – 97.  
ZHI Linjiao, WANG Jin, LIU Min, *et al.* Multiscale dynamic change of green spatial pattern of urban agglomeration in central Yunnan [J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2021, **41**(5): 88 – 97.
- [4] 崔洁, 许浩, 刘伟. 近20年徐州都市圈蓝绿空间景观格局演变分析[J]. 园林, 2022, **39**(7): 75 – 81.  
CUI Jie, XU Hao, LIU Wei. Analysis on the evolution of blue-green spatial landscape pattern in Xuzhou metropolitan area in the past 20 years [J]. *Landscape Architecture Academic Journal*, 2022, **39**(7): 75 – 81.
- [5] 许浩, 金婷, 刘伟. 苏锡常都市圈蓝绿空间规模与格局演变特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, **46**(1): 219 – 226.  
XU Hao, JIN Ting, LIU Wei. Study on the scale and landscape pattern evolution characteristics of blue-green space in Suzhou-Wuxi-Changzhou metropolitan area, China [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2022, **46**(1): 219 – 226.
- [6] IOJĂ I, OSACI-COSTACHE G, BREUSTE J, *et al.* Integrating urban blue and green areas based on historical evidence [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, **34**: 217 – 225.
- [7] 曹靖. 全域一张蓝图导向的城乡蓝绿空间营建策略——以安徽省界首市为例[J]. 规划师, 2021, **37**(9): 26 – 32.  
CAO Jing. Construction strategy of urban and rural blue-green space on one blueprint: a case study of Jieshou in Anhui Province [J]. *Planners*, 2021, **37**(9): 26 – 32.
- [8] 吴岩, 贺旭生, 杨玲. 国土空间规划体系背景下市县蓝绿空间系统专项规划的编制构想[J]. 风景园林, 2020, **27**(1): 30 – 34.  
WU Yan, HE Xusheng, YANG Ling. Compilation conception of city and county level blue-green space system specialized planning under national territory spatial planning system [J]. *Landscape Architecture*, 2020, **27**(1): 30 – 34.
- [9] CRUZ J A, BLANCO A C, GARCIA J J, *et al.* Evaluation of the cooling effect of green and blue spaces on urban microclimate through numerical simulation: a case study of Iloilo River Esplanade, Philippines [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021, **74**: 103 – 184.
- [10] FINLAY J, FRANKE T, MCKAY H, *et al.* Therapeutic landscapes and wellbeing in later life: impacts of blue and green spaces for older adults [J]. *Health & Place*, 2015, **34**: 97 – 106.
- [11] TRIGUERO-MAS M, DONAIRE-GONZALEZ D, SETO E, *et al.* Natural outdoor environments and mental health: stress as a possible mechanism [J]. *Environmental Research*, 2017, **159**: 629 – 638.
- [12] WATERS D P. von Neumann's theory of self-reproducing automata: a useful framework for biosemiotics? [J]. *Biosemiotics*, 2012, **5**: 5 – 15.
- [13] GUAN Dongjie, LI Haifeng, INOHA E T, *et al.* Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model [J]. *Ecological Modelling*, 2011, **222**: 3761 – 3772.
- [14] 高星, 杨刘婉青, 李晨曦, 等. 模拟多情景下白洋淀流域土地利用变化及生态系统服务价值的空间响应[J]. 生态学报, 2021, **41**(20): 7974 – 7988.  
GAO Xing, YANG Liuwanqing, LI Chenxi, *et al.* Land use change and ecosystem service value measurement in Baiyangdian Basin under the simulated multiple scenarios [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(20): 7974 – 7988.
- [15] 林鸿煜, 钱晶, 严力蛟, 等. 基于形态学空间格局分析与 CA-Markov 模型的武义县绿色基础设施时空格局变化及情景模拟[J]. 浙江农业学报, 2019, **31**(7): 1193 – 1204.  
LIN Hongyu, QIAN Jing, YAN Lijiao, *et al.* Analysis of spatial-temporal pattern and scenario simulation of green infrastructure in Wuyi County based on morphological spatial pattern analysis and CA-Markov model [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2019, **31**(7): 1193 – 1204.
- [16] 汪辉, 刘媛, 时艳, 等. 基于 PLUS 模型的溱湖国家湿地公园情景模拟与预测[J]. 浙江农林大学学报, 2023, **40**(6): 1311 – 1321.  
WANG Hui, LIU Yuan, SHI Yan, *et al.* Scenario simulation and prediction of Qinhu National Wetland Park based on PLUS Model [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2023, **40**(6): 1311 – 1321.
- [17] 杨清可, 段学军, 金志丰, 等. 南通市建设用地扩张情景模拟与景观生态效应[J]. 地理科学, 2017, **37**(4): 528 – 536.



- YANG Qingke, DUAN Xuejun, JIN Zhifeng, *et al.* Spatial scenario simulation and landscape ecological effect based on construction land expansion of Nantong City [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, **37**(4): 528 – 536.
- [18] 李空明, 李春林, 曹建军, 等. 基于景观生态学的辽宁中部城市群绿色基础设施20年时空格局演变[J]. *生态学报*, 2021, **41**(21): 8408 – 8420.
- LI Kongming, LI Chunlin, CAO Jianjun, *et al.* Spatiotemporal evolution characteristics of urban green infrastructure in central Liaoning urban agglomeration during the past 20 years based on landscape ecology and morphology [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(21): 8408 – 8420.
- [19] 陈利顶, 傅伯杰. 景观连接度的生态学意义及其应用[J]. *生态学杂志*, 1996, **15**(4): 37 – 42, 73.
- CHEN Liding, FU Bojie. The ecological significance and application of landscape connectivity [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1996, **15**(4): 37 – 42, 73.
- [20] 谢婧, 李文, 贾佳, 等. 齐齐哈尔市主城区生态网络构建与优化[J]. *水土保持研究*, 2021, **28**(6): 308 – 315.
- XIE Jing, LI Wen, JIA Jia, *et al.* Construction and optimization of ecological network in the main urban area of Qiqihar City [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, **28**(6): 308 – 315.
- [21] 陈德超, 施祝凯, 王祖静, 等. 苏州环太湖地区生态网络构建与空间冲突识别[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, **36**(6): 778 – 787.
- CHEN Dechao, SHI Zhukai, WANG Zujing, *et al.* Ecological network construction and spatial conflict identification around Taihu Lake Area in Suzhou City [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, **36**(6): 778 – 787.
- [22] 李国煜, 林丽群, 伍世代, 等. 生态源地识别与生态安全格局构建研究——以福建省福清市为例[J]. *地域研究与开发*, 2018, **37**(3): 120 – 125.
- LI Guoyu, LIN Liqun, WU Shidai, *et al.* Recognition of ecological source and ecological security pattern construction: a case study of Fuqing City [J]. *Areal Research and Development*, 2018, **37**(3): 120 – 125.
- [23] 蒙吉军, 王雅, 王晓东, 等. 基于最小累积阻力模型的贵阳市景观生态安全格局构建[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, **25**(7): 1052 – 1061.
- MENG Jijun, WANG Ya, WANG Xiaodong, *et al.* Construction of landscape ecological security pattern in Guiyang based on MCR model [J]. *Resources and Environment in the Yangtza Basin*, 2016, **25**(7): 1052 – 1061.