

# 水网型城市的蓝绿景观变化对生境质量的影响分析

## ——以南昌市为例

唐燕 冯兴华 曾凡盛 李建新 肖泽平 毕曼玉

江西师范大学地理与环境学院 江西师范大学江西经济发展研究院

**摘要:** 蓝绿景观是生态系统的重要组成部分,对保障生物多样性与生态安全具有重要意义。以我国南方典型水网型城市—南昌市为研究区,综合运用景观生态学模型和空间分析方法定量评估蓝绿景观格局及生境质量演化状况,并深入探究城市生境质量与蓝绿景观变化的时空响应关系。结果表明:(1)2005~2020年,蓝绿景观与耕地、建设用地间的转换频度与广度显著提升;生态屏障区蓝绿景观聚合度处于较高水平,中心城区的蓝绿景观持续收缩、破碎化程度加剧。(2)南昌市生境质量出现下降趋势并具有“外围高中间低”地域分异特征,高等级生境区主要分布在城市生态屏障区,中心城区的低等级生境区在研究期内出现跨江拓展、南向扩张和内部填充等演化特征。(3)蓝绿景观的景观格局对生境质量的影响具有空间异质性和方向性,景观聚合度(AI)与生境质量整体呈正相关,而边缘密度(ED)、散布与并列指数(IJI)和斑块密度(PD)对生境质量的正向影响主要集中在耕地和建设用地景观区域。该文认为蓝绿景观格局调控是促进生境质量提升的有效途径之一,在快速城镇化背景下水网型城市应合理布局中心城区蓝绿景观、强化生态屏障区蓝绿景观完整性保护、构建蓝绿景观交织的生态格局。研究结果为水网型城市生态安全保障、实现“水陆共生、韧性发展”格局提供科学参考。

**关键词:** 蓝绿景观; 生境质量; 地理加权回归; 水网型城市; 南昌市

**作者简介:** 唐燕(1998~),女,硕士研究生,主要研究方向为韧性城市与区域生态安全. E-mail:202140100088@jxnu.edu.cn;  
\*冯兴华, E-mail:fengxinghua@jxnu.edu.cn

**收稿日期:** 2022-10-21

**基金:** 国家自然科学基金项目(42001189,42201187);江西省教育厅研究生创新基金项目(YC2022-s245);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ200315)

21世纪以来,中国城市化取得了世界瞩目的成绩,社会经济发展水平不断提升、区域人居环境也得到一定改善。与此同时,快速城市化也带来了资源约束趋紧、生态系统失衡、生态功能下降等诸多不利影响,城市已在这些影响下变得异常敏感和脆弱[1]。土地作为城市生态系统服务功能的重要载体,土地利用变化是人类活动与自然环境相互作用的直接表现,对生态系统的物质循环和能量交换起着潜移默化的作用[2]。随着城市化进程加速,人类对土地开发利用的强度不断加深,逐渐改变了地表景观格局,使得生物栖息地破碎化严重、迁徙廊道逐步丧失,严重影响着城市生态系统的稳定性和抗干扰能力,进而威胁着城市生态安全发展[3];而保障区域生态安全、维持生态系统功能稳定已成为促进人与自然和谐共生的关键路径之一,对践行区域高质量发展、提升人类福祉具有重要的意义。

生境质量是评估区域生态安全的重要指标之一,是指一定时空范围内的生态系统为个体和种群提供生存及持续发展的能力

[4]。目前,国内外学者对生境质量评估开展了大量实地调查研究,主要通过分析植物群落[5]、鸟类[6]、亚洲象[7]等分布状况反演动植物的生境条件及生境影响因子。此类方法结果虽准确性较高,但数据获取难度大、时效性差,时间和人力成本高,适用范围较小。随着3S技术的推广,模型构建法在定量评估生境质量方面具有显著优势,被广泛应用于长时间序列和多尺度的生境研究中,如InVEST[8]、HSI[9]和MAXENT[10]等。其中,InVEST模型基于参量替代方法对区域生境质量进行模拟分析,具有科学性高、直观性好和操作性强等优势[11],不仅在认知区域生境质量时空分异规律[12,13]、揭示社会经济与生境质量间内在交互关系等方面得到广泛运用[14,15],也为生态系统管理与政策制定提供了有力的技术支持。城市作为社会经济要素高度集聚、建设用地景观连片发展的动态系统,其生态安全建设对城市韧性发展具有重要作用;现有研究多从景观功能视角出发探究城市生境质量时空变化[16,17],而往往忽略城市关键景观的空间格局对生境质量的时空响应及其强度分析。

蓝绿景观是城市自然生态空间的组成部分,是由各类水域、绿地等开敞空间共同组成的有机系统。其中,蓝色景观包括河流、湖泊、滩涂、湿地等自然水体空间及水库、沟渠等人工水体;绿色景观包括林地、草地等生态绿地以及公共绿地、防护绿地、附属绿地等空间[18,19]。合理布局蓝绿景观不仅有利于缓解城市生态安全压力、维持生态系统稳定,而其空间组织与协调所产生的多元综合效应也有利于提升城市生态空间品质[20,21]。目前,学术界对城市蓝绿景观研究多与城市安全发展问题或生态服务功能紧密联系,普遍认为蓝绿景观对城市灾害缓解具有显著促进作用,应合理利用其多元生态价值、促进自然生态与城市发展的有机融合[22,23]。整体来看,虽然城市蓝绿景观在学术界引起了一定重视,但相关文献多从单一蓝色或绿色景观进行生态价值的探讨,而缺乏蓝绿景观聚合生态效益的综合分析。作为相互交织、相互补充的复合景观系统,蓝绿景观不仅是城市生态服务供给的重要源地,更是保障区域生态安全的关键要素。因此,高度关注城市蓝绿景观格局的总体变化特征及其生态价值,对于提升区域生境质量、维持生态系统功能稳定具有重要意义。

水网型城市多位于我国水域系统的重点流域地带,区内不仅拥有大量河网与水域,还邻近大型湖泊、江河,内部多形成以水体串联蓝绿交织的景观系统[24]。这一系统是城市发展进程中重要的生态屏障地,对保护生物栖息环境、维持生态系统稳定、缓解城市慢性压力均具有显著作用。快速城市化背景下,随着水网型城市内经济要素高度集聚、建设用地吞噬蓝绿空间等问题逐渐凸显,出现了“人水争地”现象;面对自然灾害的急性冲击与累积性压力的不断提升,而景观本底的高度敏感性促使水网型城市容易出现生态服务供给不足、灾害破坏力更大、城市韧性水平不足等问题[25,26]。在不断增长的扰动要素及异常敏感的生态本底双重约束条件下,科学认知蓝绿景观对生态功能的时空响应关系不仅是优化蓝绿景观布局的重要依据,也是促进水网型城市韧性发展的关键内容。基于此,本文以我国南方典型水网型城市—南昌市为案例区,基于1 km网格尺度定量刻画2005~2020年蓝绿景观格局及生境质量的时空变化特征,并借助GWR模型进一步探讨生境质量对蓝绿景观的时空响应状况,以期在水网型城市蓝绿景观系统优化与差异化生境保育对策制定提供参考,进而助力水网型城市韧性发展格局构建。

## 1 研究区及数据来源

### 1.1 研究区概况

南昌市是江西省省会城市、长江中游城市群中心城市,地处我国南方主要生态屏障区。市域范围内水网密布,赣江、抚河等河流纵横境内;湖泊众多,拥有青岚湖、军山湖、瑶湖、金溪湖等近百个大小湖泊;临近我国第一大淡水湖—鄱阳湖。南昌市“滨江、临湖、多水域”的整体格局造就了其“城在湖中,湖在城中”的景观本底特征,使其成为我国南方典型的水网型城市。同时,市域东南地区地形相对平缓、西北地区多丘陵山地、东部地区水域集聚分布,整体形成“西山东水”的景观格局(图1)。2015~2020年南昌市GDP总值由3 778.8亿元增加到5 745.5亿元,城镇化率达78.08%。随着城镇化进程加速,城市建设用地的持续扩张导致蓝绿景观空间不断萎缩、景观破碎化现象严重,这对维持区域生态系统稳定带来了诸多不利影响;探讨蓝绿景观格局对城市生境质量的时空响应关系不仅丰富了城市“人地关系”的认知途径,而且也水网型城市生态安全保障提供理论依据与科学指导作用。

### 1.2 数据来源

为更精确刻画城市内部生境质量及其与景观格局间的交互关系,本文依据等间距采样方法,将研究区划分为 6 891 个 1 km × 1 km 的完整样地单元和 670 个不完整样地单元(图 1)。土地利用数据来源于 LandsatTM/ETM 遥感影像,在 ENVI 5.1 支持下进行校正、融合、镶嵌、裁剪等预处理工作,将遥感影像坐标系统转换为 GCS Krasovsky 1940 地理坐标系和 Albers 投影坐标系。根据《土地利用现状分类标准》(GB/T21010—2007),利用 ArcInfo Workstation 进行人机交互式判断解译,解译精度达到 90% 以上,共划分为 6 类一级地类、18 个二级地类,最终得到南昌市 2005、2010、2015、2020 年 4 期土地利用数据。

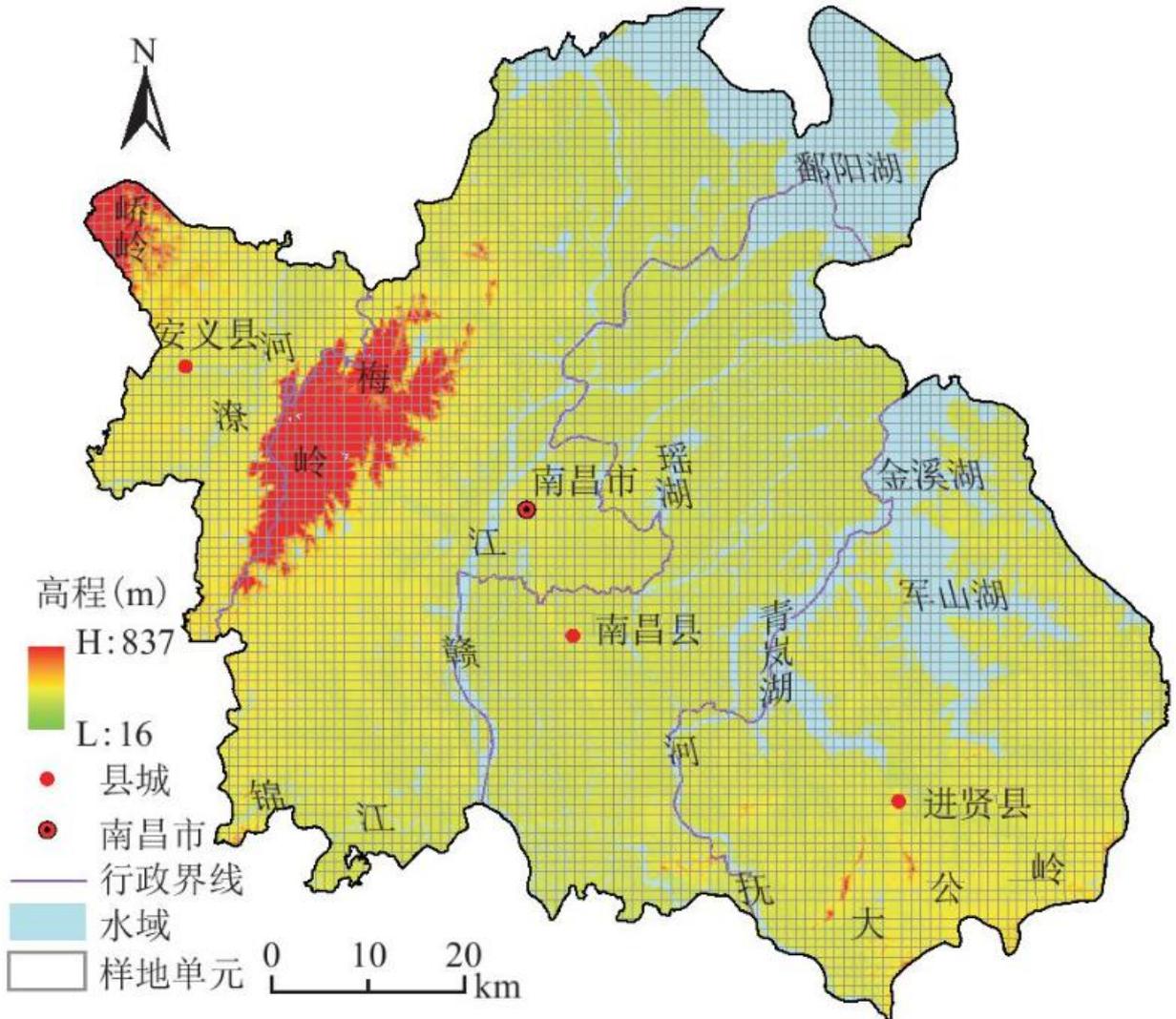


图 1 研究区及样地单元划分

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用变化分析

土地利用转移矩阵是以不同地类面积为向量用以刻画一定时期内土地利用类型的结构特征和变化方向的有效方法。其公式为[27]:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中：S 表示面积；i、j 分别代表研究期内初期和末期的土地利用类型；n 为土地利用类型总数量；S<sub>ij</sub> 为研究时间段内第 i 类土地利用向第 j 类土地利用转移的面积。

## 2.2 蓝绿景观格局分析

景观指数可用于描述景观格局的时空动态变化状况，既能相对全面地反映景观格局特征，又能减少格局信息冗余度[21]。基于蓝绿景观破碎化和连通性，根据研究区特点及参照前人研究成果[21, 22, 23]，本文采用 Fragstats 4.2 软件的移动窗口法，选取 1 000 m 窗口半径分析南昌市蓝绿景观格局特征和演变趋势，其中景观格局指数的包括：选取斑块聚合度(AI)用以刻画蓝绿景观斑块的聚合程度，而边缘密度(ED)是测度蓝绿景观斑块边缘平整程度的有效指标，利用散布并列指数(IJI)揭示蓝绿景观斑块的离散和团聚水平，斑块密度(PD)为衡量蓝绿景观的破碎化程度和生境斑块间的间隔程度提供有效途径。

## 2.3 生境质量评价

InVEST 模型中的 Habitat Quality 模块能有效测度生态系统对物种生存繁衍能力的供给状况。该模型由 4 个变量决定，包括威胁因子的影响距离、生境对威胁因子的敏感度、生境与威胁源的距离及土地受法律保护程度。其计算公式如下[12, 13, 14, 15]：

$$Q_{xj} = H_j \left[ 1 - \left( \frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right) \right] \quad (2)$$

式中：j 为生境类型；Q<sub>xj</sub> 代表土地利用与土地覆盖 j 中栅格 x 的生境质量；D<sub>xj</sub> 为土地利用与土地覆盖 j 中栅格 x 所受胁迫水平；k 为半饱和常数；通常取 D<sub>xj</sub> 最大值的一半；H<sub>j</sub> 为土地利用与土地覆盖 j 的生境适合性；z 为归一化常量，通常取值 2.5，是该模型默认值。D<sub>xj</sub> 通过式(3)计算获得[12, 13, 14, 15]：

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left[ w_r / \left( \sum_{r=1}^R w_r \right) \right] r_y i_{rxy} \beta_y S_{jr} \quad (3)$$

式中：R 是威胁因子；y 是威胁因子 r 栅格图层的栅格数；Y<sub>r</sub> 为威胁因子所占栅格数；W<sub>r</sub> 是威胁因子权重，取值 0~1；r<sub>y</sub> 为栅格 y 的威胁因子值（0 或 1）；i<sub>rxy</sub> 为栅格 y 的威胁因子值 r<sub>y</sub> 对生境栅格 x 的威胁水平；β<sub>x</sub> 为栅格 x 的可达性水平，取值 0~1，1 表示极易达到；S<sub>jr</sub> 代表生境类型 j 对威胁因子 r 的敏感程度；i<sub>rxy</sub> 通过式(4)得到[12, 13, 14, 15]：

$$i_{rxy} = 1 - (d_{xy}/d_{rmax}) \quad (4)$$

式中： $d_{xy}$  为栅格  $x$  与栅格  $y$  之间的直线距离； $d_{rmax}$  为胁迫因子  $r$  的最大影响距离。

在运行 Habitat Quality 模型过程中需对威胁源、生境适宜度及生境对威胁源的敏感度等参数进行前期设定。其中，威胁源设定主要考虑土地利用方式对生境的干扰程度，人类活动强度大的土地类型(建设用地和耕地)直接影响生物栖息和迁徙、制约区域生物多样性保护。生境适宜度表示各生境类型作为生物栖息地的适宜程度，通常认为景观系统越接近自然、越复杂，其生境适宜度往往越大。根据生物多样性保护的原则确定生境类型受威胁敏感性。一般认为生态系统越复杂，其自我修复能力越强，敏感度相对越低。本文参照 InVEST 模型使用推荐值及前人研究[12, 13, 14, 15]基础上对相关模型参数进行设定(表 1、表 2)。

表 1 威胁因子及最大影响距离和权重

胁迫因子	最大影响距离 (km)	权重	衰退类型
水田	8	0.6	线性
旱地	8	0.6	线性
城镇用地	10	1	指数
农村居民点	6	0.5	指数
工矿用地	9	0.8	指数

表 2 生境适宜度及其对威胁因子的敏感性

土地利用类型	生境适宜度	水田	旱地	城镇用地	农居民点	工矿用地
水田	0.6	0.3	0.3	0.5	0.4	0.35
旱地	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4	0.35
有林地	1	1	1	1	0.9	0.8
灌木林地	1	0.4	0.4	0.6	0.45	0.8
疏林地	0.9	0.85	0.85	1	0.9	0.7
其他林地	0.8	0.9	0.9	1	0.8	0.75
高覆盖度草地	0.8	0.4	0.4	0.7	0.5	0.65

中覆盖度草地	0.7	0.5	0.5	0.6	0.5	0.65
低覆盖度草地	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.5
河渠	1	0.7	0.7	0.85	0.7	0.8
湖泊	1	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7
水库/坑塘	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7
滩涂	0.6	0.8	0.8	0.8	0.7	0.75
城镇用地	0	0	0	0	0	0
农村居民点	0	0	0	0	0	0
工矿用地	0	0	0	0	0	0
沼泽	0.9	0.8	0.8	1	0.8	0.6
裸岩	0	0	0	0	0	0

## 2.4 地理加权回归分析

地理加权回归 GWR 模型通过计算出每个位置的回归系数构建研究区每个网格上的局部回归方程，从而精确地描述各种关系的空间特征。GWR 模型反映了因空间自相关和空间异质性的存在，不同区域的影响因素对因变量的影响的差异。其计算公式为 [15]：

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^P \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad (5)$$

式中： $\beta_0$  为模型常数； $(u_i, v_i)$  为第  $i$  个采样点的坐标； $\beta_k$  为第  $i$  个采样点第  $k$  个回归参数； $\varepsilon_i$  是第  $i$  个样点的残差；与一般线性回归相区别的是， $\beta$  为地理坐标  $(u_i, v_i)$  的函数。

## 3 结果分析

### 3.1 南昌市蓝绿景观转移时空特征

为刻画蓝绿景观转换的空间特征和变化方向，本文提取 2005 ~ 2020 年城市蓝绿景观并进行空间叠加分析，计算得到蓝绿景观与各地类间的转移规模和分布状况(图 2)。

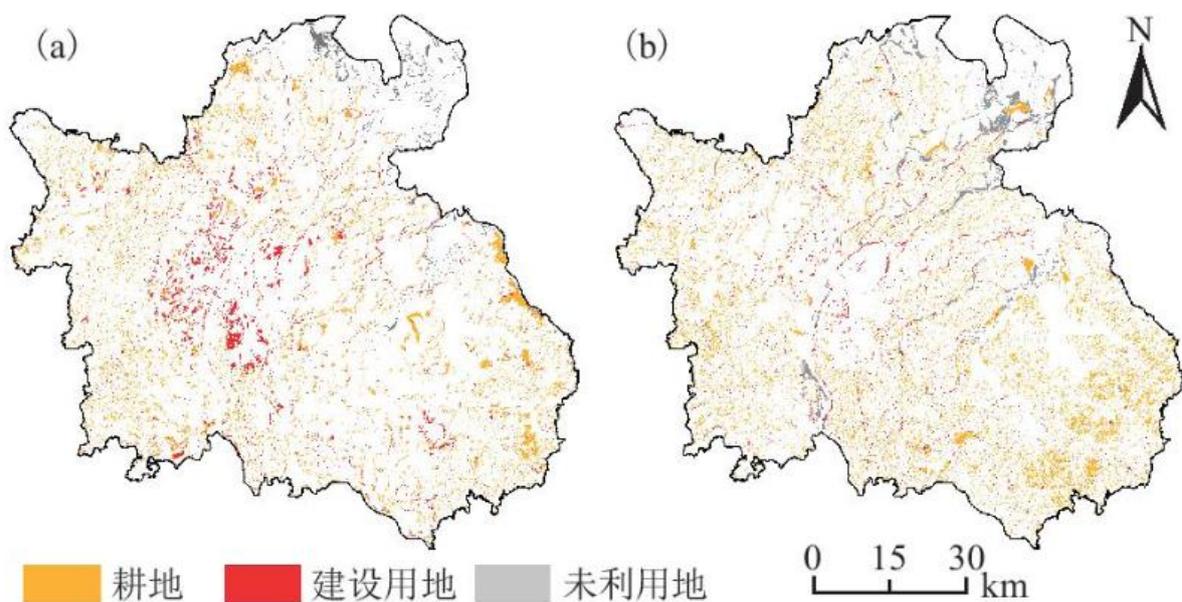


图 2 2005~2020 年蓝绿景观转移变化 (a) 蓝绿景观转出为其他地类 (b) 其他地类转化为蓝绿景观

从转出方面来看，2005~2020 年蓝绿景观转出总面积为 702.92 km<sup>2</sup>，耕地及建设用地成为蓝绿景观转出的主导类型、总占比高达 92.3%。从空间上来看，为满足基本生产生活需求，蓝绿景观转为耕地主要呈散点状零星散布于建成区外围地区以及低矮山地与平地的交界地带；伴随着城市建设用地持续扩张，蓝绿景观转为建设用地主要呈团块状分布于赣江两岸的主城区。从转入方面来看，2005~2020 年蓝绿景观转入总面积达到 859.75 km<sup>2</sup>，耕地是蓝绿景观转入的主要来源、占比达到 73.1%，主要呈散点状均衡分布态势；赣江上游、鄱阳湖等水域的部分未利用地转化为蓝绿景观；建设用地转变为蓝绿用地区域呈条带状分布在赣江沿江两岸的城市建成区及道路干线两侧，主要为河流沿岸绿化带以及交通隔离带等基础设施修建。整体来看，蓝绿景观规模在研究期内呈现出一定增长趋势，蓝绿景观与各地类间的转换频度、规模与广度随着城镇化速度加快而普遍提升，尤其以蓝绿景观与耕地、建设用地间的转换最为显著。

### 3.2 蓝绿景观的景观格局指数特征

为进一步揭示各时期蓝绿景观的景观格局特征，本文基于 Fragstats 软件平台利用移动窗口方法选取斑块聚合度、边缘密度、散布并列指数、斑块密度等 4 个指标进行综合测度并计算格网单元内各指标的平均值，得到图 3。

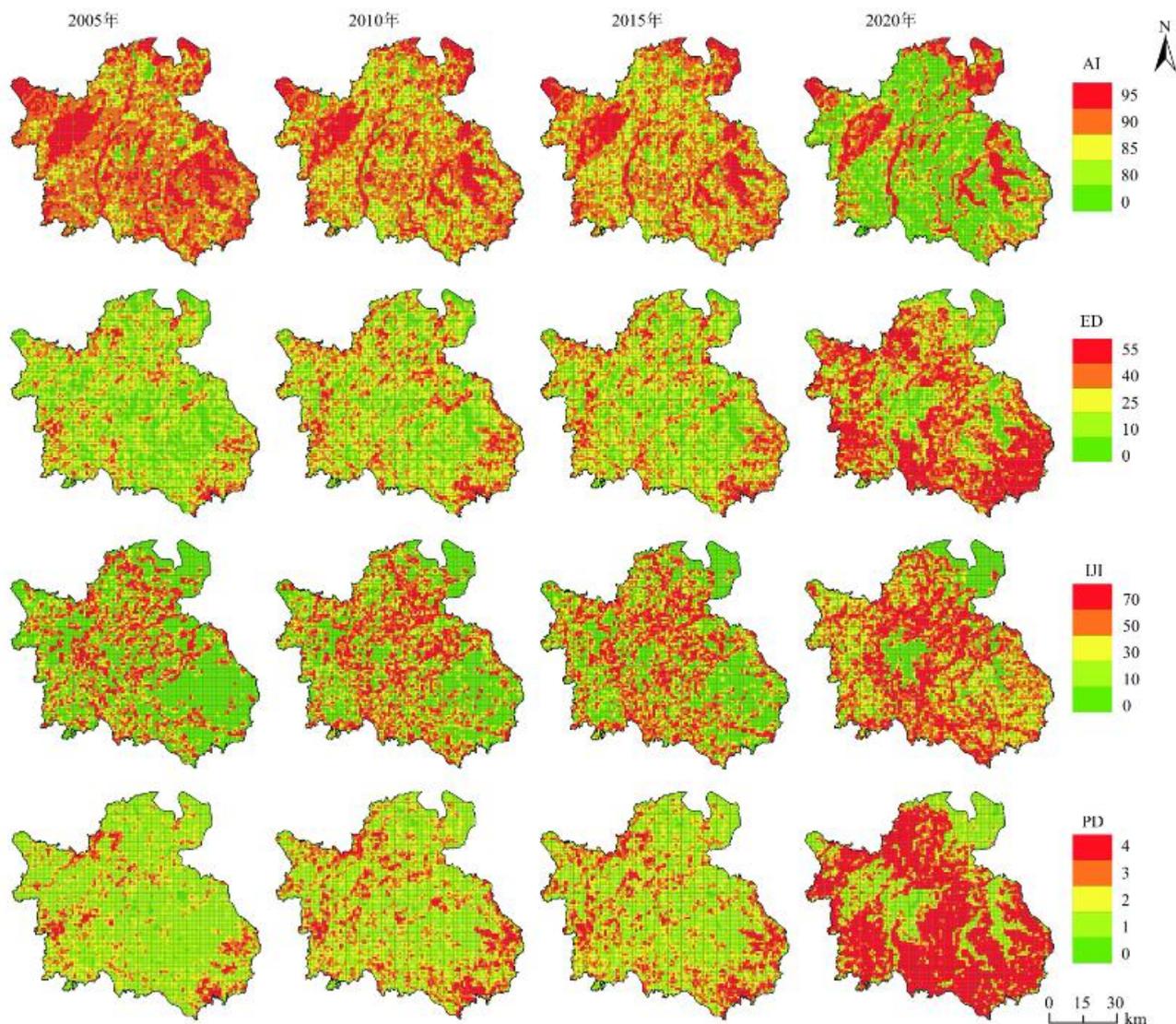


图3 2005~2020年蓝绿景观格局指数变化图

斑块聚合度(AI)高值区集中分布在南昌西部的梅岭、东部军山湖和青岚湖、东北部鄱阳湖及部分赣江流域等生态屏障区，区内蓝绿景观优势斑块连片分布、景观类型单一；而低值区主要为城市中心和城镇区域，此类区域建设用地空间逐步趋于紧张，蓝绿景观相对匮乏，而建筑、交通道路网的分割进一步加剧了蓝绿景观斑块破碎化现象。其中，2005~2015年，AI高值区的范围呈缩小趋势、低值范围则不断扩大，蓝绿景观的斑块连通度下降、景观聚合水平显著下降；2015~2020年，AI指数出现两极分化现象，高值区与低值区规模不断扩张，分析其原因是建设用地和耕地的不断充填，取代了原有的林地、草地和水域等生态用地，使得众多小斑块汇合成单一类型景观，景观连通性增强。边缘密度(ED)、散布并列指数(IJI)、斑块密度(PD)数值方向在空间上的分布相对一致，低值分布在蓝绿景观集聚区，高值集中分布在中心城区及其周边地带。蓝绿景观集聚区，优势景观呈团聚状连片扩展、斑块连通性好、斑块边缘平整，ED、IJI、PD景观值普遍偏低；而在城市中心及其周边地带，大量蓝绿景观被耕地及建设用地侵占导致蓝绿景观斑块破碎化加剧、连通性下降、斑块形状不规则化，ED、IJI和PD水平较高。2005~2020年，在高强度经济活动扰动下，城市建设用地拓展以及建筑物、交通路网等人造景观割裂、侵占生态空间，ED、IJI、PD的高值区范围不断增长。总体来看，研究期内南昌市蓝绿景观的景观格局具有明显的地域分异特征，突出表现在生态屏障区蓝绿景观的AI

较高, ED、IJI、PD 较低; 而中心城区及其拓展区的 AI 较低, 而 ED、IJI、PD 较高。

### 3.3 南昌市生境质量时空格局演变

结合土地利用数据及相关参数设定, 基于 InVEST 模型中的 Habitat Quality 模块对南昌市生境质量进行测度计算格网单元内的生境平均值, 并利用相等间隔法 (Equal Interval) 将其划分为低 (0~0.2)、较低 (0.2~0.4)、中 (0.4~0.6)、较高 (0.6~0.8) 和高 (0.8~1) 5 个等级, 得到图 4。

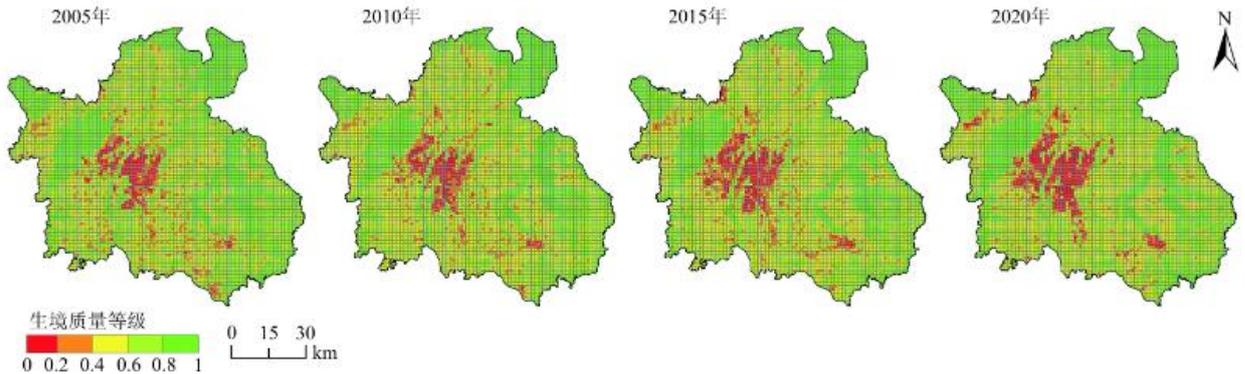


图 4 2005~2020 年南昌市生境质量变化图

2005~2020 年, 区域生境质量指数平均值由 0.653 降至 0.641, 南昌市出现生境退化现象; 低等级生境质量占比显著提高, 而高等级生境质量占比呈下降趋势。在 2005~2015 年, 在“撤县改区”、“跨江发展一体化”政策推动下, 南昌市建设用地持续扩张、城市社会经济要素的高度集聚等因子导致蓝绿景观空间显著收缩, 高等级占比由 2005 年的 26.93% 下降到 2015 年 23.09%、而低等级占比则由 2.67% 增长至 4.08%, 生境质量出现退化趋势。2015~2020 年, 随着打造生态文明先行示范区、生态都市建设, 南昌市严格管控城镇开发边界、注重蓝绿景观的生态保护效应, 城市生境退化趋势得到有效控制。

南昌市生境质量呈现“外围高中间低”的空间分布特征。南昌市西部的梅岭, 东北部的鄱阳湖, 东部的军山湖、青岚湖以及赣江等地区生境质量整体良好, 这些区域为生物栖息、繁衍和迁徙提供稳定的场所与廊道, 生物多样性水平较高。而中心城区及城镇受高强度人类活动的干扰、建设用地的连片发展、蓝绿景观破碎化等因素影响导致区域生境质量均处于较低水平。2005~2015 年, 低等级生境质量区在中心城区呈现出跨江和南向拓展趋势, 而在安义、进贤等县域中心城镇区域虽得到一定城市扩张但扩张速度相对缓慢; 西部梅岭山区、北部滨湖区出现生境退化现象, 表现在高等级生境质量连片区内部出现散点状低水平生境斑块, 蓝绿景观在人类活动干扰下呈现出破碎化趋势。2015~2020 年, 低等级生境质量区的扩张主要以内部填充为主、而在城区外围的扩张明显减缓, 安义及进贤中心城镇等区域生境退化相对明显、低等级生境质量区在该类区域内出现显著扩张趋势; 西部梅岭山区、北部滨湖区等生态保障区蓝绿景观恢复良好、生境质量整体得到一定回升。

### 3.4 蓝绿景观变化对生境质量的影响分析

为了进一步揭示景观格局与生境质量的时空响应关系, 本文以 AI、ED、IJI 和 PD 等景观格局因子为自变量、以生境质量为因变量进行地理加权回归 (GWR) 分析, 探测蓝绿景观变化对区域生境质量的影响, 得到图 5。

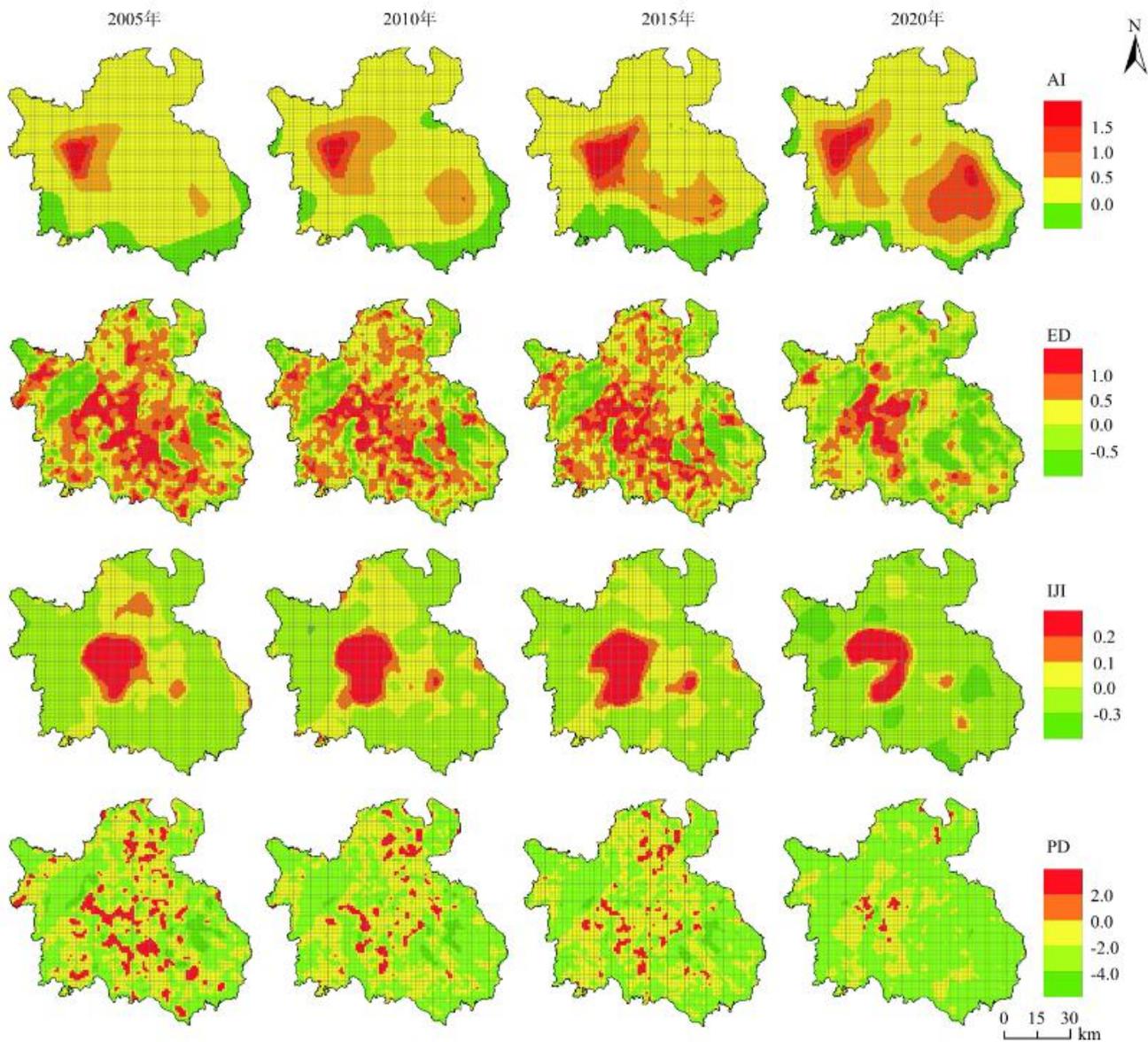


图5 基于地理加权回归(GWR)蓝绿景观变化对生境质量的影响

AI 与城市生境质量总体呈正相关关系。南昌市西部的梅岭山区、北部的鄱阳湖和东部的水域等地区属于南昌市生态屏障区，受人类活动的干扰相对较小、生态保育能力强；蓝绿景观的片状发展也为物种提供了充足的栖息空间，生境质量整体水平较高、生态系统功能稳定性强。而南部的边缘地区，绿地及水域地带较为分散，生境质量水平较高，AI 对生境质量产生负面影响。随着城市社会经济要素不断集聚、人类活动作用不断增强，区域生境退化风险升高；而蓝绿景观的高度聚合能产生多元生态效益，对缓解生境退化风险具有积极作用，影响程度在快速城市化进程中得到显著提升。

ED 对生境质量的影响在不同景观地区具有典型方向性特征。在耕地、建设用地景观连片区域，ED 与生境质量呈现出正相关关系。耕地、建设用地等区域均受人类活动作用深刻，景观单一化趋势日益显著，区域内合理布局一定面积的蓝绿景观斑块、提升蓝绿景观斑块边缘密度能为生物栖息和迁徙提供场所，而营造多样化景观也有利于缓解潜在生态风险问题。在西部梅岭山区、东部水域及北部鄱阳湖等地区蓝绿景观高度集聚、斑块边缘密度低，而生境质量总体水平较高，二者呈现出负相关关系；此类型区域应进一步降低人类活动的干扰作用、防止蓝绿景观出现破碎化趋势。

IJI 与生境质量的正相关区域以团块状集中分布在中心城区,中心城区高密度经济活动使得建设用地成为区内主导景观、景观类型相对单一、景观多样性水平较低,而蓝绿景观的相对不足进一步导致了生境质量普遍偏低;当中心城区蓝绿景观面积一定时,适当分离、散布蓝绿景观不仅有利于提升蓝绿景观的均衡性和区域景观的异质性水平还有助于缓解中心城区潜在生态风险、维护区域生态系统稳定。在中心城区外围地带,景观类型多为耕地景观和蓝绿景观,蓝绿景观聚集区的景观类型单一但整体生境质量处于较高水平,而其他区域的景观多样性水平较高但生境质量普遍偏低,导致 IJI 与生境质量在此类区域存在负相关关系。

PD 对生境质量的正向促进作用主要体现在建设用地外围地带,影响区域在研究期内出现收缩趋势。建设用地外围地区斑块类型丰富、景观多样性水平较高,与此同时该地区易受人类活动影响而导致生境质量普遍偏低;在城市空间拓展背景下,多样化景观类型区逐步向建设用地转变、斑块同质性增强,从而导致正相关区域出现逐步收缩态势。蓝绿景观聚集区的斑块聚合趋势显著,斑块密度低、生境质量水平较高,二者形成显著的负相关关系但影响程度逐步降低;该区域应严格管控城镇发展边界并以生态手段增强蓝绿景观斑块的聚合水平、提升蓝绿景观多元生态效益。

## 4 结论与讨论

本文从水网型城市这一特殊地理形态区域出发,以 1 km 格网为基本研究单元,结合空间分析及生态分析方法系统,刻画了南昌市蓝绿景观变化特征及生境质量演变规律、探讨了蓝绿景观与生境质量间的时空响应关系,以为水网型城市生态安全保障构建提供科学依据。得到以下主要结论:(1)2005~2020 年,蓝绿景观规模虽呈现出一定增长趋势,但蓝绿景观与耕地、建设用地间的转换频度与广度随着城镇化进程深入推进而显著提升。(2)南昌市蓝绿景观的景观格局具有显著地域分异特征,生态屏障区蓝绿景观聚合程度较高,ED、IJI、PD 较低;建设用地持续扩张导致中心城区蓝绿景观面积持续收缩、破碎化程度加剧,蓝绿景观的 AI 较低,而 ED、IJI、PD 等景观格局指数普遍较高。(3)南昌市生境质量整体呈下降趋势,低等级生境质量范围不断扩张、高等级生境质量区出现收缩现象;城市生境退化在 2005~2015 年间相对显著,而在 2015~2020 年间得到一定遏制。南昌市生境质量格局整体呈“外围高中间低”,这一特征与城市自然景观本底紧密相关;高等级生境区主要分布在城市生态屏障区,中心城区的低等级生境区在研究期内出现跨江拓展、南向扩张和内部填充等演化特征。(4)蓝绿景观的景观格局对生境质量的影响具有空间异质性和方向性特征。AI 与生境质量总体上呈正相关,蓝绿景观的聚合对物种多样性保护及生态功能稳定具有重要作用;ED、IJI 和 PD 对生境质量的正向影响区主要为耕地和建设用地景观区域,当此类区域的蓝绿景观规模恒定时,适度分散的蓝绿景观斑块和带状廊道可为生物栖息和迁徙提供保障,有助于发挥其多元生态效益。

研究期内,南昌市生境质量虽整体处于较高水平,但存在地域差异性大、城镇化进程下逐步出现退化现象。景观格局调控可为区域生境质量保育提供有效途径,未来城市管理中如何优化蓝绿景观格局以进行生境质量保育与恢复是水网型城市实现“水陆共生、韧性发展”的关键问题之一。本文基于蓝绿景观与生境质量的时空响应关系提出南昌市蓝绿景观格局优化对策:(1)合理布局中心城区蓝绿景观,激发蓝绿景观多元生态效益。中心城区建设用地连片发展、生境退化最为显著,通过设置邮票绿地、口袋公园、社区园林等开放空间不仅有利于提升蓝绿景观的斑块密度、增强蓝绿景观的要素供给,也有利于提升中心城区的景观异质水平、释放蓝绿景观的多元生态功能。赣江沿岸、交通基础设施等沿线地区应适当设置绿色廊道,打造连续开放的滨水空间和城市绿道为生物栖息和迁徙提供源地保障,发挥蓝绿空间的休闲游憩功能和生态保护效益。(2)加强生态屏障区蓝绿景观完整性保护。南昌的西部梅岭、东部连片水域以及北部鄱阳湖等区域属于城市生态屏障区,区内蓝绿景观高度集聚、生境质量整体较高、生态系统功能稳定。在生态保护过程中应提升生态景观斑块的聚合度、防止蓝绿景观斑块破碎化,进一步降低人类活动干扰、继续推行“退耕还林、还草”和“休耕轮作”等生态修复工程,保障由山川、林草、湖沼等蓝绿空间组成的景观生态系统安全。(3)合理控制城市增长边界,构建蓝绿景观交织生态格局。合理控制城市建设用地的空间拓展,设定城市增长边界、促进城市精明增长,设置生态保护底线、为城市发展提供一定的“缓冲空间”,防止建设用地的无序扩张侵占蓝绿景观空间。充分利用城市山水林田湖草资源禀赋,构建以鄱阳湖、抚河、锦江-赣江、潦河为主体的“一湖三脉”蓝色景观体系,以峒岭-梅岭、大公岭、瑶湖绿廊、扬子洲绿廊为主体的“两屏多廊”绿色景观体系,通过河湖湿地、郊野公园、城市内部公园体系、环状绿带等连接蓝绿景观体系,形成蓝绿交织的景观生态系统。

---

本文以人类作用下的景观格局为代理变量,揭示了蓝绿景观与生境质量之间的响应关系,认为蓝绿景观调控可作为缓解生境退化的重要途径之一,这对于城市管理和规划者转变发展思维、保障水网型城市的生态安全具有重要启示作用。城市生态系统具有复杂、开放、动态等特征,生境质量作为生态系统安全发展状态的表征要素之一,不仅受到来自景观格局的直接影响,也会受到不仅社会经济要素、文化制度等因子的直接或间接作用,未来将结合社会经济要素进一步探讨生境质量演化的人文因子及其交互关系。

## 参考文献

- [1] 陈万旭,李江风,曾杰,等.中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理[J].地理研究,2019,38(9):2173-2187. CHEN W X, LI J F, ZENG J, et al. Spatial heterogeneity and formation mechanism of eco-environmental effect of land use change in China[J]. Geographical Research, 2019, 38(9):2173-2187.
- [2] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等.20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J].地理学报,2014,69(1):3-14. LIU J Y, KUANG W H, ZHANG Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1):3-14.
- [3] 陈利顶,孙然好,刘海莲.城市景观格局演变的生态环境效应研究进展[J].生态学报,2013,33(4):1042-1050. CHEN L D, SUN R H, LIU H L. Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: Progresses, problems, and perspectives[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4):1042-1050.
- [4] 包玉斌,刘康,李婷,等.基于InVEST模型的土地利用变化对生境的影响——以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J].干旱区研究,2015,32(3):622-629. BAO Y B, LIU K, LI T, et al. Effects of land use change on habitat based on InVEST model: Taking Yellow River wetland nature reserve in Shaanxi Province as an Example[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(3):622-629.
- [5] DEL VECCHIO S, SLAVIERO A, FANTINATO E, et al. The use of plant community attributes to detect habitat quality in coastal environments[J]. AoB PLANTS, 2015, 8:plw040.
- [6] 王春晓,何建华,刘殿锋,等.土地利用变化对鸟类栖息地连通性的影响——以鄂州市为例[J/OL].生态学报,2022:1-12. (2022-01-11). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20220110.1117.058.html>. WANG C X, HE J H, LIU D F, et al. Impact of land use change on bird habitat connectivity: A case study in Ezhou City[J/OL]. Acta Ecologica Sinica, 2022:1-12. (2022-01-11). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20220110.1117.058.html>.
- [7] 吴林霖,王思远,杨瑞霞,等.斯里兰卡亚洲象栖息地生境质量时空变化及分异特征[J].遥感学报,2021,25(12):2472-2487. WU L L, WANG S Y, YANG R X, et al. Spatio-temporal patterns and differentiations of habitat quality for Asian elephant (*Elephas maximus*) habitat of Sri Lanka[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2021, 25(12):2472-2487.
- [8] TERRADO M, SABATER S, CHAPLIN-KRAMER B, et al. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning[J]. Science of the Total Environment, 2016, 540:63-70.
- [9] LI X, LI D, LI Y, et al. Habitat evaluation for crested ibis: A GIS-based approach[J]. Ecological Research, 2002, 17(5):565-573.

- 
- [10] REMYA K, RAMACHANDRAN A, JAYAKUMAR S. Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India[J]. *Ecological Engineering*, 2015, 82:184-188.
- [11] 王雅, 蒙吉军, 齐杨, 等. 基于 InVEST 模型的生态系统管理综述[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(12):3526-3532. WANG Y, MENG J J, QI Y, et al. Review of ecosystem management based on the InVEST model[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(12):3526-3532.
- [12] 尚俊, 蔡海生, 龙月, 等. 基于 InVEST 模型的鄱阳湖区生境质量时空演化及其变迁特征分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(8):1901-1915. SHANG J, CAI H S, LONG Y, et al. Temporal-spatial distribution and transition of habitat quality in Poyang Lake region based on InVEST model[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(8):1901-1915.
- [13] 贾磊, 姚顺波, 邓元杰, 等. 2000-2020 年陕西秦巴山区生境质量时空演变及其地形梯度效应[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(2):398-413. JIA L, YAO S B, DENG Y J, et al. Temporal and spatial evolution of habitat quality and its topographic gradient effect in Qinling-Daba mountain area, Shanxi Province, 2000-2020[J]. 2022, 31(2):398-413.
- [14] 白立敏, 冯兴华, 孙瑞丰, 等. 生境质量对城镇化的时空响应——以长春市为例[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(4):1267-1277. BAI L M, FENG X H, SUN R F, et al. Spatial and temporal responses of habitat quality to urbanization: A case study of Changchun City, Jilin Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(4):1267-1277.
- [15] 王惠, 许月卿, 刘超, 等. 基于地理加权回归的生境质量对土地利用变化的响应——以河北省张家口市为例[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2019, 55(3):509-518. WANG H, XU Y Q, LIU C, et al. Response of habitat quality to land use change based on geographical weighted regression[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2019, 55(3):509-518.
- [16] 张月, 张飞, 王娟, 等. 近 40 年艾比湖湿地自然保护区生态干扰度时空动态及景观格局变化[J]. *生态学报*, 2017, 37(21):7082-7097. ZHANG Y, ZHANG F, WANG J, et al. Analysis of the temporal and spatial dynamics of landscape patterns and hemeroby index of the Ebinur Lake Wetland Nature Reserve, Xinjiang, over the last 40 years[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(21):7082-7097.
- [17] 王耀斌, 赵永华, 韩磊, 等. 西安市景观格局与城市热岛效应的耦合关系[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(8):2621-2628. WANG Y B, ZHAO Y H, HAN L, et al. Coupling relationship of landscape pattern and urban heat island effect in Xi'an, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(8):2621-2628.
- [18] 王世福, 刘联璧. 从廊道到全域——绿色城市设计引领下的城乡蓝绿空间网络构建[J]. *风景园林*, 2021, 28(8):45-50. WANG S F, LIU L B. From corridor to whole region: Construction of urban and rural blue-green space network under the guidance of green urban design[J]. 2021, 28(8):45-50.
- [19] WANG Y S, ZHANQ M, OUYANG W L, et al. How to quantify the relationship between spatial distribution of urban waterbodies and land surface temperature?[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 671:1-9.
- [20] 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 C B, ZHANG T, HU C T, 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.

[21] MASOUDI M, TAN P Y. Multi-year comparison of the effects of spatial pattern of urban green spaces on urban land surface temperature[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 184:44-58.

[22] FÁBOS J G, RYAN R L. An introduction to greenway planning around the world[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 76(1/2/3/4):1-6.

[23] 姜允芳, 黄静. 蓝绿景观结构对城市热岛的减缓效应定量分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(9):2060-2072. JIANG Y F, HUANG J. Quantitative analysis of mitigation effect of urban blue-green spaces on urban heat island. [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(9):2060-2072.

[24] 杨帆, 唐菲儿. 河网型城市雨洪生态空间规划: 方法体系与控制框架——以岳阳市雨洪生态空间规划为例[J]. *城市发展研究*, 2019, 26(8):23-30. YANG F, TANG F E. The planning of rain flood ecological zone of water network city: Method system and control framework with the case of Yue Yang[J]. *Urban Development Studies*, 2019, 26(8):23-30.

[25] 王跃峰, 许有鹏, 张倩玉, 等. 太湖平原区河网结构变化对调蓄能力的影响[J]. *地理学报*, 2016, 71(3):449-458. WANG Y F, XU Y P, ZHANG Q Y, et al. Influence of stream structure change on regulation capacity of river networks in Taihu Lake Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3):449-458.

[26] 韩龙飞, 许有鹏, 杨柳, 等. 近 50 年长三角地区水系时空变化及其驱动机制[J]. *地理学报*, 2015, 70(5):819-827. HAN L F, XU Y P, YANG L, et al. Temporal and spatial change of stream structure in Yangtze River Delta and its driving forces during 1960s-2010s[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5):819-827.

[27] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. *地理学报*, 2014, 69(1):54-63. WU L N, YANG S T, LIU X Y, et al. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River basin since 1976[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1):54-63.