

葛韵宇, 李雄. 基于多源数据的北京市第二道绿化隔离地区生态系统支持服务与景观多样性关联研究 [J]. 风景园林, 2021, 28 (8) : 100-105.

基于多源数据的北京市第二道绿化隔离地区生态系统支持服务与景观多样性关联研究

Research on Relationship Between Ecosystem Support Services and Landscape Diversity in the Second Green Belt Area of Beijing Based on Multi-source Data

葛韵宇 李雄 *
GE Yunyu, LI Xiong*



中图分类号: TU986
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2021)08-0100-06
DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.08.0100.06
收稿日期: 2020-10-23
修回日期: 2021-06-21

葛韵宇 / 女 / 博士 / 北京林业大学园林学院
讲师 / 研究方向为风景园林规划与设计
GE Yunyu, Ph.D., is a lecturer in the School
of Landscape Architecture, Beijing Forestry
University. Her research focuses on
landscape planning and design.

李雄 / 男 / 博士 / 北京林业大学副校长、教
授 / 本刊编委会主任 / 研究方向为风景园林
规划设计理论与实践
通信作者邮箱 (Corresponding author Email):
bearlixiong@sina.com
LI Xiong, Ph.D., is a vice president,
professor in Beijing Forestry University, and
editorial committee director of this journal.
His research focuses on landscape planning
and design, theory and practice.

摘要: 当前, 快速的城市化建设导致绿色空间萎缩和生态系统退化等一系列生态环境问题, 在城市边缘区建设“绿化隔离地区”是有效引导城绿合理布局并满足首都生态环境保护需求的重要手段。以北京市第二道绿化隔离地区为例, 综合应用多源大数据, 结合 Fragstats 模型、CASA 模型和 InVEST 模型评估区域的景观多样性和生态系统支持服务的时空演变特征, 并利用 GWR 模型探究二者间的驱动和反馈机制。研究表明: 2003—2018 年间二道绿隔地区景观多样性呈减少态势, 支持服务呈现一定的圈层式空间分布变化特征, 且生态系统提供的支持服务对于景观多样性的驱动作用远大于景观多样性变化对支持服务的影响。应用多源大数据和空间分析模型定量评估二道绿隔地区的景观多样性和生态系统支持服务时空变化特征, 并结合空间回归模型探究二者间的相互作用机制; 有助于科学识别生态系统支持服务与景观多样性的强关联区域, 可为后续绿化隔离地区的规划建设和各类政策的制定提供科学指导。

关键词: 风景园林; 多源数据; 北京市第二道绿化隔离地区; 景观与服务; 关联机制

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (编号 BLX202001); 国家自然科学基金 (编号 31670704); 北京市自然科学基金 (编号 8194071); 教育部人文社科基金 (编号 19YJC760042)

Abstract: At present, the rapid urbanization construction has led to a series of ecological environment problems, such as green space shrinkage and ecosystem degradation. The construction of “green belt area” in the urban fringe is an important means to effectively guide the rational layout of urban greening and meet the needs of the capital in ecological and environmental protection. Taking the second green belt area of Beijing as an example, this research applies the Fragstats model, CASA model, InVEST model and multi-source big data to evaluate the spatial and temporal evolution characteristics of regional landscape pattern diversity index and ecosystem support services. It also adopts the GWR model to explore the driving and feedback mechanisms between the two. The results demonstrate a decreasing trend of the landscape diversity of the second green belt area from 2003 to 2018. The support services displayed certain characteristics of circle spatial distribution changes. Besides, the driving effect of the support services provided by the ecosystem on the landscape diversity is far greater than the impact of the changes of landscape diversity on the support services. The innovation of the research lies in the application of multi-source big data and spatial analysis model to quantitatively evaluate the spatial-temporal variation characteristics of landscape diversity and ecosystem support services in the second green belt area, and the exploration of the interaction mechanism between them combined with the spatial regression model. This research is conducive to scientifically identify the areas with strong correlation between ecosystem support services and landscape diversity, and could provide scientific guidance for the planning and construction of the subsequent green belt areas and the promulgation of various policies.

Keywords: landscape architecture; multi-source data; the second green belt area of Beijing; landscape and services; correlated mechanism

Fund Items: The Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. BLX202001); the National Natural Science Fund of China (No. 31670704); Beijing Natural Science Foundation (No. 8194071); Humanities and Social Sciences Fund of the Ministry of Education (No. 19YJC760042)

1 研究背景与研究对象

首都快速的城市化建设在促进社会经济快速发展的同时也导致生态环境恶化、动植物栖息地减少等一系列生态问题。为了科学管控城市空间扩张,在城市边缘区建设“绿化隔离地区”从而改善城市环境、控制城市无序蔓延的相关规划和实践由来已久。早在1958年,《北京城市建设总体规划方案》就提出“分散集团式”的城市空间布局模式,设想在不同规模的集团之间保留绿地,通过绿地来控制集团之间的融合。1993年修订版《北京城市总体规划(1991年—2010年)》在此基础上明确了绿化隔离地区的空间范畴,自2002年起,北京市第二道绿化隔离(简称二道绿隔)地区建设正式启动,二道绿隔地区成为维持首都生态、社会、经济可持续发展的重要区域之一,对于优化北京城市景观格局,构建中心城区绿色生态屏障具有重要意义。

在综合考虑研究的有效性和完整性的基础上,本研究根据2003年批复的《北京市第二道绿化隔离地区规划》以及2017年颁布的《北京城市总体规划(2016年—2035年)》中的相关规定,将二道绿隔地区政策实施单元划定为研究对象。研究范围总面积约为2600 km²,内边缘为一道绿隔政策实施单元的外边界,外边缘为二道绿隔政策实施单元范畴内的全部乡镇级别行政边界^[1]。当前对于二道绿隔地区的相关研究多针对其区域发展历程、政策实施状况以及未来管理策略进行宏观分析^[2-7],对于具体的规划方法也多从政策层面入手归纳,仅有王思杰^[8]、欧小杨等^[9]、李方正等^[9]从空间层面探究区域内系统保护规划方法,但对区域提供的自然系统服务功能的时空演变规律研究尚处于空白阶段。近年来,大数据和地理信息技术迅速发展^[10],生态系统功能和过程的物质质量评估逐渐与空间显式的景观格局模拟呈现集成趋势,成为有效识别景观格局演变驱动力的重要手段,对于生态系统的管理优化也至关重要^[11-12]。

二道绿隔地区具有丰富的自然生态资源,其景观格局的多样性变化特征对缓解快速城市化带来的城市病、维系首都城市发展和营建理想人居环境至关重要。区域内大量的绿

表1 研究数据来源及处理平台
Tab. 1 Research data sources and processing platforms

数据类型	数据来源	处理平台
卫星遥感影像数据	中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云 (http://www.gscloud.cn/)	ENVI 5.3
DEM 数据		ArcGIS 10.6
NDVI 数据		ENVI 5.3
气温数据	中国气象数据网 (http://data.cma.cn)	ArcGIS 10.6
降水数据		
太阳辐射数据		
土壤属性数据		
	寒区旱区科学数据中心 (http://westdc.westgis.ac.cn)	

色空间可充分发挥植物固定和转化光能的作用。因此,衡量二道绿隔地区可提供的植物净初级生产力(net primary productivity, NPP)可用以表征陆地生态系统发展质量,评估区域生境质量变化,是优化野生动植物栖息环境、支持自然生态系统正常运行的重要手段。基于此,本研究借助多源大数据,科学评估二道绿隔地区可提供的主要生态系统支持服务以及景观多样性的时空变化趋势,通过深入探究二者间的驱动与反馈关联机制,意图实现精准提升区域生态系统支持服务,并为二道绿隔地区整体生态空间的科学规划和建设实施提供有力支持。

2 主要数据来源与研究方法

2.1 研究数据

开展生态系统支持服务与景观多样性关联研究需全面探究区域内现状用地情况和自然环境影响因素。本研究选取二道绿隔政策开始落实的2003年为研究起点,综合所需数据的可获得性和精度,以2018年作为研究时间终止点,且每5年为一个研究阶段,探究2003—2018年16年间的生态系统支持服务以及景观多样性指示性指数的时空演变规律。本研究应用的数据包括用于评估二道绿隔地区景观多样性的30 m精度多光谱卫星遥感影像数据,以及用于评估二道绿隔地区生态系统支持服务的数据,具体分为描述区域自然特征的数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据、归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)数据、土壤属性数据,以及描述研究期限内受自然环境变化因素影响的气温、降水和太阳辐射等气

象数据(表1)。

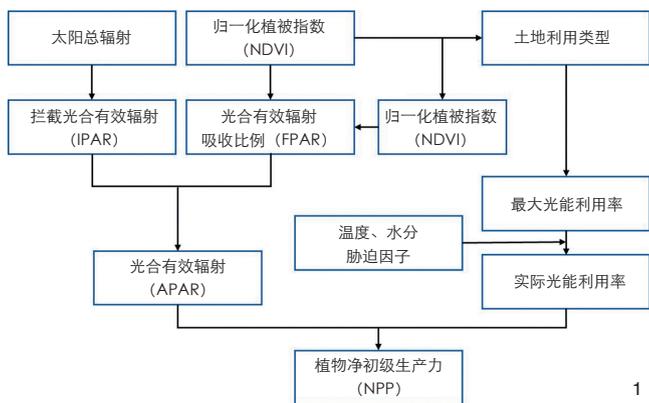
评估二道绿隔地区景观多样性所用的多光谱卫星遥感影像数据,借助遥感影像处理软件ENVI(The Environment for Visualizing Images) 5.3完成遥感影像的预处理、融合、镶嵌、裁剪、监督分类以及精度校验工作,最终得到耕地、林地、草地、湿地及水域、建设用地、其他用地6类用地分布,作为研究的基础。评估二道绿隔地区生态系统支持服务的数据除应用ENVI 5.3平台提取NDVI数据外,均采用ArcGIS 10.6平台进行处理。其中,研究区域周边21个气象站点的气温、降水和太阳辐射数据均采用插值分析进行处理,作为评估二道绿隔地区生态系统支持服务的基础数据。

2.2 主要研究方法

本研究以ArcGIS 10.6为主要研究平台,基于2003、2008、2013以及2018年4期二道绿隔地区遥感影像处理结果计算香农多样性指数(Shannon's diversity index, SHID),从而揭示二道绿隔地区景观多样性变化特征。对于区域提供的生态系统支持服务,研究分别应用光能利用率(Carnegie-Ames-Stanford Approach, CASA)模型和生态系统服务和权衡的综合评估(Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs, InVEST)模型中的“Habitat Quality”模块科学评估其演变趋势。对于二道绿隔地区景观多样性与生态系统支持服务间的驱动与反馈关联机制研究则借助地理加权回归(geographically weighted regression, GWR)模型综合分析。

2.2.1 香农多样性指数

SHID是基于信息理论的测度指数。相关



1

1 CASA 估算 NPP 流程图
Flow chart of CASA model for NPP estimation

表 2 不同用地类型最大光能利用率取值^[15]
Tab. 2 The value of maximum light use efficiency of different land types^[15]

单位: gC/MJ

用地类型	取值	用地类型	取值
耕地	0.542	湿地及水域	0.542
林地	0.692	建设用地	0.542
草地	0.542	其他用地	0.542

研究表明, SHID 可描述各类用地斑块分布的均匀程度, 从而揭示研究区域的物种丰富程度。研究以二道绿隔地区用地类型分布数据为基础, 结合 Fragstats 4.3 软件, 计算 2003—2008 年、2008—2013 年、2013—2018 年以及 2003—2018 年二道绿隔地区景观类型水平的 SHID 变化, 并通过 ArcGIS 10.6 的“栅格计算器”工具实现 SHID 变化的空间差异性分析, 具体计算公式如下:

$$SHID = -\sum_{i=1}^n [P_i \ln(P_i)], \quad (1)$$

式中, P_i 为第 i 类斑块类型占景观中的面积比重; $i \geq 1$; SHID 取值无上限。

2.2.2 光能利用率模型

计算二道绿隔地区 NPP 是测度生态系统支持服务时空变化的重要内容, 也是维持生态系统功能正常运行和物质循环的重要参数。NPP 与植物本身属性、生态环境以及植物自身可吸收的光合有效辐射具有一定的相关性^[13]。本研究参考朱文泉等^[14]的研究成果, 应用 ENVI 平台, 搭载修正过的 CASA 模型评估二道绿隔地区 NPP 功能的时空分布变化。CASA 模型在区域尺度研究中已得到广泛验证。

根据 CASA 计算流程(图 1), 光能利用率不止受不同植被类型和太阳辐射的影响, 还受到气温、降雨、土壤属性等因素影响。根据相关文献对于最大光能利用率取值的研究^[15], 本研究结合用地类型的不同, 设定二道绿隔地区各类用地的最大光能利用率取值作为 CASA 模型的计算基础(表 2)。

2.2.3 生态系统服务和权衡的综合评估模型

InVEST 模型具有多个模块和多种算法,

可科学评估多项生态系统服务的数量变化和空间分布特征, 具有动态化、空间化和可视化等优点^[16]。本研究应用 InVEST 3.7.0 模型中的“Habitat Quality”模块评估二道绿隔地区的生境质量变化的时空趋势, 该模块根据生境类型、土地覆被类型范围以及植被退化程度评估生态系统提供栖息地的质量。根据模型指导手册, 生境质量指数具体计算公式如下:

$$Q(x)_i = H_i \left[1 - \left(\frac{D(x)_i^j}{D(x)_i^j + k^i} \right) \right], \quad (2)$$

式中, $Q(x)_i$ 代表第 i 种土地覆被类型中栅格 x 的生境质量指数; H_i 代表第 i 种土地覆被类型的生境适应性; $D(x)_i$ 是第 i 种土地覆被类型中栅格 x 的受威胁水平; k 为半饱和常数, 其值通常与 D 相等, 本研究取 $D(x)_i$ 最大值的半数; j 是另一比例因子, 研究取常数 2.5^[17]。

2.2.4 地理加权回归模型

研究应用 ArcGIS 中的“GWR 工具”模块, 探究二道绿隔地区景观多样性与生态系统支持服务变化之间的关联以及影响系数的空间差异性。应用 GWR 模型需要因变量和解释变量具有相同的空间统计单元, 研究选取生态学中常用的 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 的栅格单元进行计算, 具体公式如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^k \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i, \quad (3)$$

式中, y_i 为样点 i 的因变量; (u_i, v_i) 为观测点 i 的观测地理区位坐标; $\beta_0(u_i, v_i)$ 为线性空间截距; x_{ik} 为第 i 个点上第 k 个变量的观测值; $\beta_k(u_i, v_i)$ 为独立变量 x_{ik} 的局部估计系数; ε_i 为第 i 个样点的随机误差。

对于 GWR 模型的局部估计系数的修正,

需要确定权重, 权重的大小与观测点的距离有关, 距离越远则对应权重越小, 通常使用单调递减的连续型空间核函数进行校正, 本研究选取的高斯函数作为空间权重函数, 计算公式如下:

$$W_{ij} = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{b} \right)^2}, \quad (4)$$

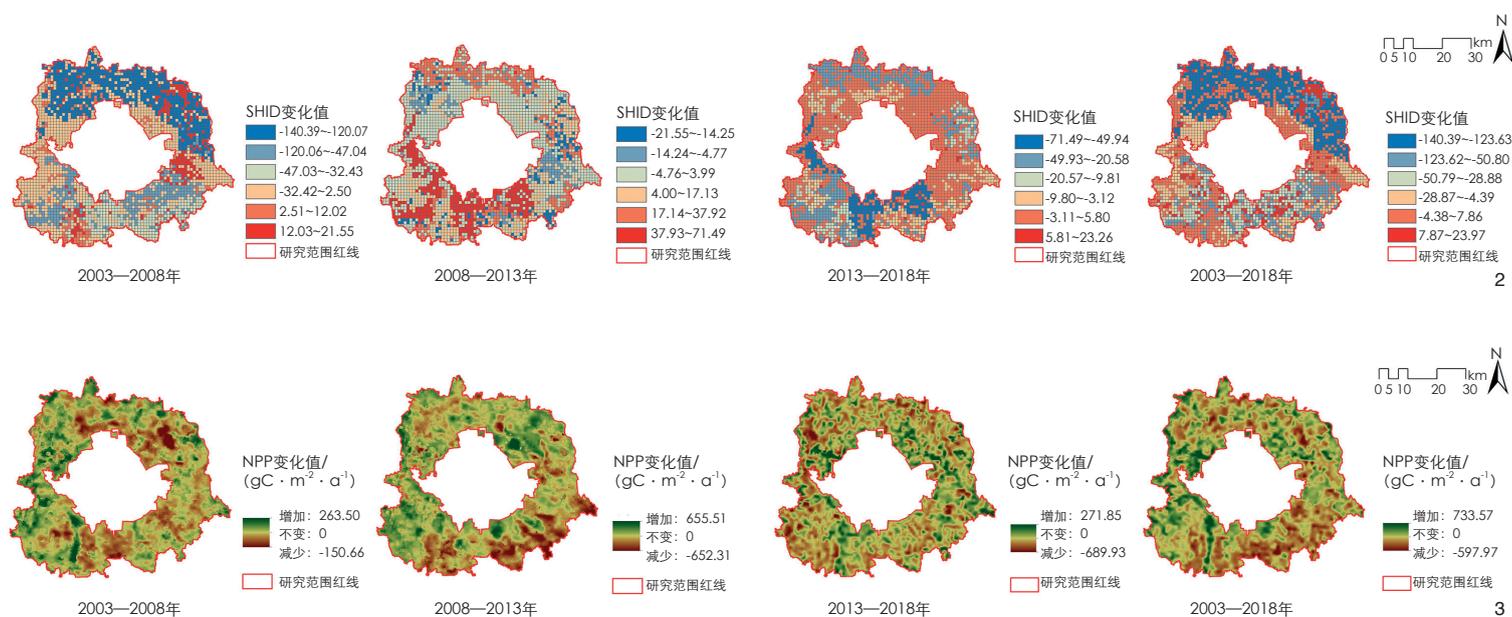
式中, W_{ij} 是观测点 j 对于位置 i 的权重; d_{ij} 为观测点 i 相对于 j 的距离; b 为权衡模型复杂度和拟合数据优良性的标准算法, 本研究选择软件自带的 AIC 准则计算模型拟合的优良性^[18-20]。

3 结果与分析

3.1 二道绿隔地区景观多样性的时空演变特征分析

根据 2003—2018 年二道绿隔地区 SHID 的空间变化趋势可知, 16 年间二道绿隔地区大部分区域 SHID 呈大幅减少趋势, 仅有研究区域南部以及东北部有零星斑块的 SHID 有所增加, 可说明区域内整体景观多样性指数呈减少态势, 不利于生态系统整体生物多样性的发展。

不同研究阶段 SHID 的空间变化特征鲜明: 2003—2008 年间, 二道绿隔地区大部分区域 SHID 呈大幅减少的变化趋势, 仅在永定河流域局部、通州和顺义区的小部分区域的 SHID 呈增加的趋势。2008—2013 年间, SHID 变化幅度与上一阶段相比有所减小; SHID 增加区域主要分布在二道绿隔地区南部永定河流域周边, 尤在郊野公园较多的区域, SHID 的增加趋势较为明显, 如南海子郊野公园周



2 二道绿隔地区 SHID 空间变化趋势

The SHID spatial variation trend chart of the second green belt area

3 二道绿隔地区 NPP 空间变化趋势

The NPP spatial variation trend chart of the second green belt area

边，侧面说明在此阶段，郊野公园环以及百万亩造林绿化建设等重大园林绿化工程建设初见成效，景观多样性有所提升。2013—2018年间，大部分区域的SHID变化不大，SHID减少区域沿六环路向二道绿隔地区外边缘拓展，且呈一定蔓延趋势，说明环路建设逐渐引导城市向外边缘拓展，仅有少量郊野公园建设较为集中的区域景观多样性有小幅增加趋势（图2）。

3.2 二道绿隔地区生态系统支持服务时空演变特征分析

3.2.1 植物净初级生产力时空变异特征

将CASA模型计算结果导入ArcGIS平台，运用“栅格计算器”工具分析不同研究阶段NPP功能时空演变特征可知：对比研究始末，二道绿隔地区提供NPP功能有所增加的区域多集中于西部西山地区以及南部永定河和小清河流域周边；减少区域多分布于研究区域的北部和南部，且在外边缘呈现一定的圈层式空间分布特征。

1) 2003—2008年间，二道绿隔地区NPP减少区域主要集中在区域北部和南部的内边缘，尤其是首都机场周边减少幅度较大；NPP增加区域主要集中在研究区域的北部以及西部西山地区，永定河流域局部NPP增加幅度也

相对较大。2) 2008—2013年间，NPP功能变化幅度比上一研究阶段更大，NPP功能增加区域主要分布在二道绿隔地区西部西山地区，以及靠近中心城区的内边缘，郊野公园和东北部高尔夫球场集中分布区域的NPP增加幅度较大；NPP功能减少区域主要分布在二道绿隔地区外边缘的东北部和南部。3) 2013—2018年间，二道绿隔地区可提供NPP支持功能变化幅度较小，且圈层式的分布特征更为明显。NPP功能增加区域多分布在二道绿隔地区内边缘，其中永定河和温榆河流域等水系沿岸以及西部浅山区域增加趋势相对集中；减少区域则主要分布于研究区域的外边缘（图3）。

3.2.2 生境质量时空变异特征

根据InVEST 3.7.0模型中“Habitat Quality”模块计算结果，二道绿隔地区在2003—2018年间生境质量变化显著，其中生境质量恶化区域多分布于二道绿隔地区内边缘，提升区域则多集中于外边缘，各研究阶段变化特征鲜明。

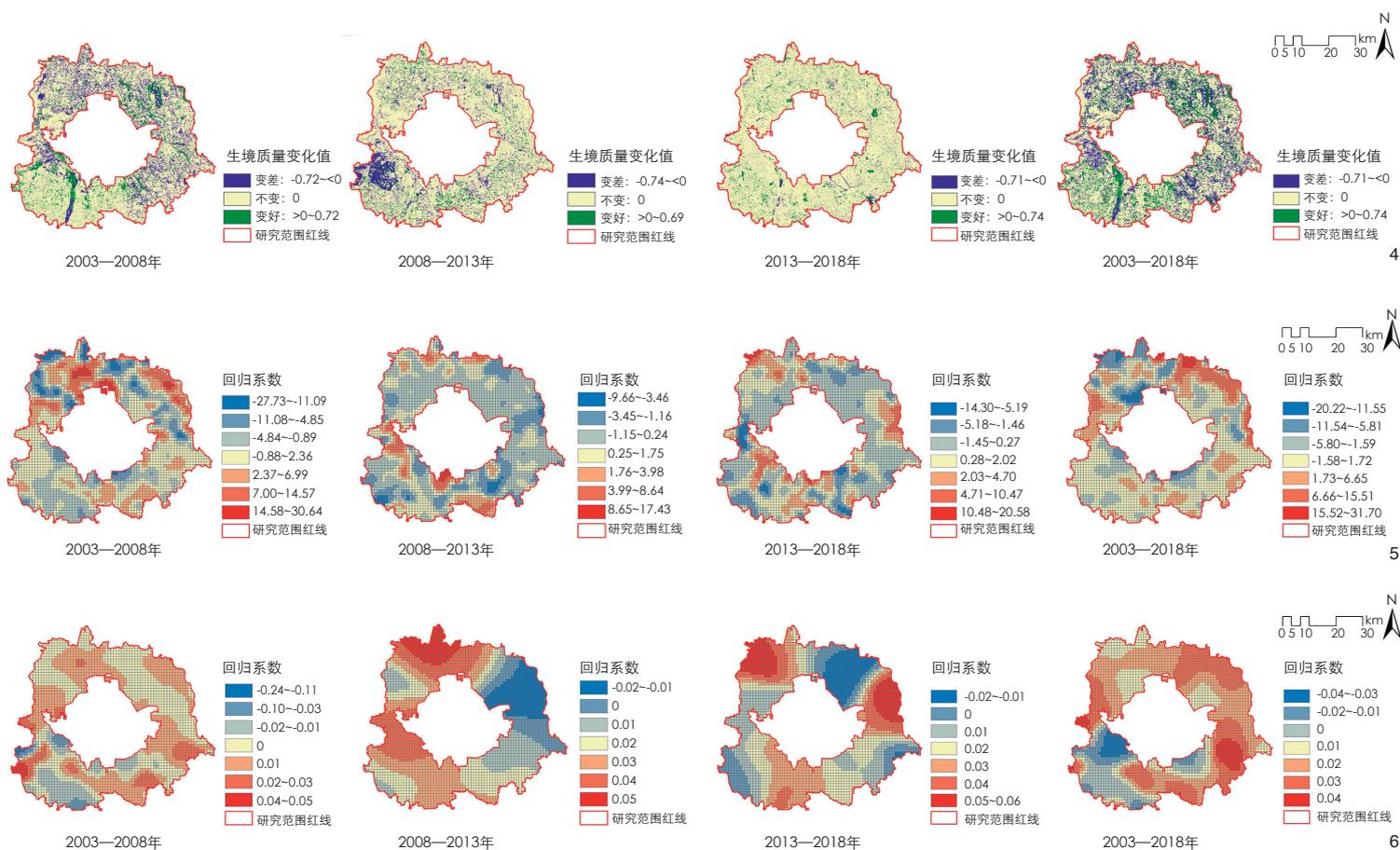
1) 2003—2008年间，二道绿隔地区生境质量恶化区域面积较大且分布较为分散，在西部浅山区、永定河流域靠近外边缘，以及首都机场周边呈现一定的组团式分布空间特征，与此阶段这些区域的高强度建设开发直接相关。生境质量提升区域主要沿温榆河流

域和永定河流域等水系沿岸，分布更靠近二道绿隔地区内边缘，具有一定的线性分布特征。2) 2008—2013年间，生境质量恶化区域多呈片状分布，主要集中在二道绿隔地区西南部房山和丰台部分区域，在东北部首都机场附近呈组团式分布。呈散点状生境恶化区域多集中在六环路周边，呈现一定的圈层式分布特征。在此阶段，二道绿隔地区生境提升区域则分布相对分散，且多集中在研究区域的外边缘。3) 2013—2018年间，二道绿隔地区生境质量变化幅度有所降低，生境恶化区域线性分布特征明显，多沿永定河、温榆河等主要水系周边分布，主要由于此期间河道周边建设发展强度较大。生境提升区域多呈散点状分布，在南海子公园、东郊湿地公园等重要郊野公园的建设区域斑块较为聚集，与首都一系列园林绿化工程建设的开展密不可分（图4）。

3.3 生态系统支持服务与景观多样性关联研究

3.3.1 生态系统支持服务对二道绿隔地区景观多样性驱动机制分析

以SHID为因变量，以生态系统支持服务为解释变量，代入GWR模型，可探究不同研究阶段二道绿隔地区提供的生态系统支持服务对于SHID变化的驱动作用。根据模型计



4 二道绿隔地区生境质量空间变化趋势
The habitat quality spatial variation trend of the second green belt area

5 支持服务变化对 SHID 变化影响系数空间分布
The spatial distribution of the influence coefficient of support service changes on SHID changes

6 SHID 对生态系统支持服务变化影响系数空间分布
The spatial distribution of the influence coefficient of SHID on ecosystem support service changes

算结果可知，不同研究阶段支持服务对 SHID 的驱动作用呈现一定空间差异性。总体来看，正影响分布区域和负影响分布区域相对均衡，影响系数变化相对较大。

1) 2003—2008 年间，二道绿隔地区提供的生态系统支持服务对 SHID 变化的正影响和负影响区域分布相对均衡，研究区域北部的变化幅度明显大于南部，正影响作用最大的区域主要分布在永定河流域昌平段以及顺义区中部，和 SHID 变化趋势基本吻合。负影响系数较大区域呈现环状分布特征，和京密引水渠以及温榆河流域分布区域大致相近。2) 2008—2013 年间，生态系统支持服务对二道绿隔地区 SHID 变化幅度的影响与上一阶段相比明显变小，且多为负影响分布，仅在研究区域内边缘的西南部和外边缘的北部呈正影响分布。3) 2013—2018 年间，正影响区域呈现一定的向西南部扩散的趋势，依然呈现

组团式的空间分布态势，大部分区域仍呈现负影响关系。总体来看，对比研究时期始末，二道绿隔地区生态系统支持服务变化对研究区域西部和东南部靠近外边缘地区的正影响作用较大，对研究区域内边缘尤其是西北部区域的负影响作用相对明显(图 5)。

3.3.2 二道绿隔地区景观多样性对生态系统支持服务反馈机制分析

以生态系统支持服务为因变量，以 SHID 变化为解释变量，根据 GWR 模型计算结果可知二道绿隔地区 SHID 变化对生态系统支持服务反馈作用相对较弱，但空间异质性特征明显。总体来看，正影响作用分布区域明显大于负影响作用分布区域，且影响系数变化幅度相对较小。

1) 2003—2008 年间，SHID 变化对生态系统支持服务多呈正影响作用，回归系数相差较小，仅在二道绿隔地区西南部，有局部区域

呈现负影响作用。2) 2008—2013 年间，SHID 变化对生态支系统持服务的反馈作用呈现一定楔形分布特征，在此期间二道绿隔地区楔形绿地建设逐步开展，对于生态系统支持服务变化影响较大有所关联。其中，负影响作用区域集中在二道绿隔地区东北部，正影响作用较强区域主要分布在研究区域西北部。3) 2013—2018 年间，正影响分布区域和负影响分布区域相对均衡，依旧呈现楔形分布的空间特征。其中，正影响作用分布区域主要集中在二道绿隔地区西北部和东部，负影响作用较为明显的区域仍主要集中在研究区域东北部。对比研究时期始末，二道绿隔地区 SHID 对生态系统支持服务的负影响作用多分布在研究区域西南部，且靠近内边缘的负影响作用明显大于外边缘。正影响作用较强的区域主要分布在二道绿隔地区西部西山地区及研究区域的东部(图 6)。

4 结论与讨论

大数据时代的到来拓展了风景园林规划设计相关研究的手段和方法,借助多源大数据可辅助科学探究二道绿隔地区提供的生态系统支持服务变化特征,分析景观格局多样性指数变化的空间分布态势。本研究以二道绿隔地区为研究对象,选择 Fragstats 软件结合 ArcGIS 平台探究 2003—2018 年间的景观多样性变化。研究表明,不同研究阶段的景观多样性指数变化特征鲜明,总体呈减少态势,不利于生物多样性的发展。研究基于 CASA 模型和 InVEST 模型综合评估 16 年间二道绿隔地区生态系统支持服务的时空变化特征,其中,提供 NPP 功能受太阳辐射、降水、气温等自然条件变化影响,NPP 增加区域多集中在西部西山地区以及南部永定河和小清河等流域周边,减少区域呈现一定圈层式分布的空间特征。利用 GWR 模型,在空间层面探究景观多样性与生态系统支持服务间的驱动和反馈机制,根据评价结果可知,生态系统支持服务对景观多样性变化的驱动作用较强,且正负影响区域分布相对均衡,景观多样性变化对生态系统支持服务变化的反馈作用相对较弱,且正影响作用区域分布明显大于负影响作用分布。

本研究的意义主要在于以下 3 方面:1) 通过二道绿隔地区景观多样性变化研究,可以辅助识别研究区域景观多样性变化剧烈区域以及破碎化程度高、连接度较差的关键区域,以此作为新建郊野公园选址的基础之一;2) 通过二道绿隔地区生态系统支持服务时空演变研究,可辅助识别陆地生态系统质量发展分布趋势以及动植物生境质量变化特征,有助于划定现状生态敏感区域;3) 景观多样性与生态系统支持服务间相互作用的关联机制研究,对于实现精准提升区域生态系统服务功能,以及指导具体郊野公园规划选址工作,从而提升二道绿隔地区整体生态环境质量,具有一定的科学指导意义。

受所需数据时效性限制,本研究也存在一定局限性。由于遥感数据精度有限,研究中对于二道绿隔地区用地类型划分较为粗糙,也导致景观多样性和生态系统支持服务的评

估精度受限。后续若可获得精度更高的遥感影像数据,则可进一步划分用地类型,得到更精确的评估结果,生态系统支持服务与景观多样性之间的关联机制分析将更为准确。此外,二道绿隔地区作为北京郊野公园环的主要布局区域,人群活动也会给二道绿隔地区生态系统支持服务和景观多样性变化带来重要影响。本研究的研究时段开始于 2003 年,PM_{2.5} 等实时环境监测数据尚不完整,使用人群的趋向性分布数据由于时效性较强,也未能覆盖研究全阶段。后续研究可结合实时环境监测数据和大众点评、微博签到等人群使用数据,更为精准地评估二道绿隔地区可提供的各类生态系统服务变化特征和各类景观指数变化间的关联,从而更为有效地指导二道绿隔地区整体生态空间优化和各类规划政策的制定。

参考文献 (References):

- [1] 王思杰. 城市游憩视角下北京二道绿隔郊野公园布局优化研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [2] 尹慧君. 转型中的北京市“二道绿隔”规划实施方案探索: 以朝阳区金盏乡为例 [C]// 中国城市规划学会, 贵阳市人民政府. 新常态: 传承与变革: 2015 中国城市规划年会论文集 (11 规划实施与管理). 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 11.
- [3] 王月波. 北京市第二道绿化隔离地区村庄规划研究 [D]. 北京: 清华大学, 2015.
- [4] 郭昊. 北京市绿隔村庄规划模式与政策研究 [D]. 北京: 清华大学, 2014.
- [5] 孙晓鹏, 王天明, 葛剑平. 基于 MODIS 的北京绿化隔离地区植被格局与趋势分析 [J]. 地理与地理信息科学, 2012, 28 (6) : 2, 20-23.
- [6] 马静. 北京市绿化隔离带政策绩效评价 [D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [7] 刘红滨. 关于北京市绿化隔离地区公园建设的思考 [J]. 北京园林, 2010, 26 (3) : 3-10.
- [8] 欧小杨, 郑曦. 基于系统保护规划方法的城市边缘区绿色空间优先保护区域规划: 以北京市第二道绿化隔离地区为例 [C]// 中国风景园林学会. 中国风景园林学会 2019 年会论文集 (下册). 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 975-982.
- [9] 李方正, 李科慧, 李雄. 北京市第二道绿化隔离带郊野公园环情景规划研究 [J]. 风景园林, 2021, 28 (4) : 58-64.
- [10] 李涛, 李云鹏, 王新军. 基于卫星遥感的国土空间监测理论与应用 [J]. 南方建筑, 2021 (2) : 39-44.
- [11] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系 [J]. 生态学报, 2017, 37 (2) : 341-348.
- [12] 梁友嘉, 刘丽珺. 生态系统服务与景观格局集成研究综述 [J]. 生态学报, 2018, 38 (20) : 7159-7167.

- [13] MONTEITH J L. Climate and the Efficiency of Crop Production in Britain[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 1977, 281(980): 277-294.
- [14] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算 [J]. 植物生态学报, 2007, 31 (3) : 413-424.
- [15] 米晓飞, 余涛, 李慧芳, 等. HJ-1 星北京地区植被净初级生产力估算研究 [J]. 微计算机信息, 2012, 28 (9) : 231-233.
- [16] 侯红艳, 戴尔卓, 张明庆. InVEST 模型应用研究进展 [J]. 首都师范大学学报 (自然科学版), 2018, 39 (4) : 62-67.
- [17] SHARP R, TALLIS H T, RICKETTS T, et al. InVEST 3. 7.0 User's Guide[R]. Stanford: The Natural Capital Project, 2018.
- [18] HUANG X, HUANG X J, LIU M M, et al. Spatial-Temporal Dynamics and Driving Forces of Land Development Intensity in the Western China from 2000 to 2015[J]. Chinese Geographical Science, 2020, 30(1): 16-29.
- [19] LI H L, PENG J, LIU Y X, et al. Urbanization Impact on Landscape Patterns in Beijing City, China: A Spatial Heterogeneity Perspective[J]. Ecological Indicators, 2017, 82: 50-60.
- [20] 刘彦文, 刘成武, 何宗宜, 等. 基于地理加权回归模型的武汉城市圈生态用地时空演变及影响因素 [J]. 应用生态学报, 2020, 31 (3) : 987-998.

图表来源 (Sources of Figures and Tables):

文中图表均由作者绘制, 其中表 2 中数据整理自参考文献 [15], 图 1~6 底图来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 平台获取的遥感影像。

(编辑 / 刘昱霏 李卫芳)