

DOI: 10.5846/stxb202105171283

商煦, 荣月静, 严岩, 范捷朦, 赵春黎, 王辰星. 基于空间规划情景的雄安新区生态系统休闲服务评估预测与驱动分析. 生态学报, 2022, 42(11): 4640-4653.

Shang X, Rong Y J, Yan Y, Fan J M, Zhao C L, Wang C X. Ecosystem leisure services assessment, prediction and driving factors analysis in Xiong'an New Area based on spatial planning scenarios. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(11): 4640-4653.

基于空间规划情景的雄安新区生态系统休闲服务评估预测与驱动分析

商 煦^{1,2}, 荣月静^{1,2}, 严 岩^{1,*}, 范捷朦^{1,3}, 赵春黎¹, 王辰星¹

1 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

3 武汉理工大学, 资源与环境工程学院, 武汉 430070

摘要:雄安新区作为我国乃至世界智慧生态新型城市建设的重大探索和实践, 生态和谐、绿色宜居是新区规划和建设的重要目标之一, 城市生态系统为居民提供的生态休闲服务是实现该目标的重要保障与体现。随着新区的开发建设, 其土地利用、空间结构、景观组分以及内部生态过程等都将发生巨大变化, 这将对生态系统休闲服务供给能力的数量、质量以及可利用性产生复杂影响。从吸引力和可达性两个维度构建了新区生态系统休闲服务的评估模型, 对 2018 年与 2035 年生态系统休闲服务的能力进行评估与预测, 进一步利用地理探测器分析社会因子的驱动作用。研究表明: (1) 2018 年生态系统休闲服务综合指数为 5.10, 属于中等供给-可访问状态。其中, 白洋淀湿地及周围绿带为高吸引力的集中区, 可达性高的区域主要分布在雄州镇、安新镇、容城镇附近; (2) 相比于 2018 年, 2035 年生态系统休闲服务综合指数增加了 0.32, 但区域整体仍属于中等供给-可访问状态。 (3) 雄安新区生态系统休闲服务的主要驱动因子从 2018 年的人口密度和 GDP 密度转变为 2035 年的 GDP 密度与第三产业占比。评估预测结果指示: 在雄安新区未来生态系统休闲服务的建设中要特别考虑城镇化进程与经济发展所带来的影响, 重点关注起步区的规划、白洋淀沿线交通设施及农田景观的发展。

关键词: 生态系统服务; 生态系统休闲服务; 可达性; 地理探测器; 雄安新区

Ecosystem leisure services assessment, prediction and driving factors analysis in Xiong'an New Area based on spatial planning scenarios

SHANG Xu^{1,2}, RONG Yuejing^{1,2}, YAN Yan^{1,*}, FAN Jiemeng³, ZHAO Chunli¹, WANG Chenxing¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Wuhan University of Technology, School of Resource and Environmental Engineering, Wuhan 430070, China

Abstract: Ecological recreation service plays a vital role in the development of China from high-speed to high-quality urbanization. However, the research on eco-recreation services and their spatial associations has not yet been fully integrated into the assessment of ecosystem services, which has restricted the application of ecosystem services evaluation in decision-making management. Xiong'an New Area is a case of exploratory and practical significance for the construction of new smart ecological cities in China even all over the world. During the process of constructing and planning in this new distinct, two targets including 'ecological harmony' and 'green livable city' are of tremendous importance. In order to achieve these goals, it is imperative to enhance the ability of recreational ecosystem services for residents. Therefore, in this work, we

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFC0506905); 国家自然科学基金面上项目 (71673268); 国家自然科学基金面上项目 (72174193)

收稿日期: 2021-05-17; **采用日期:** 2021-11-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yyan@rcees.ac.cn

focused on two key scientific problems, namely eco-recreation services process and spatial analysis, to identify the spatial associations, developed a GIS application module, and realized spatial simulation and visualization of regional eco-recreation services. For evaluating the impact of the development on recreational ecosystem services, an evaluation model based on attractiveness and accessibility was established to assess the capabilities of recreational ecosystem services in Xiong'an New Area in 2018. Then, according to spatial planning scenarios, we also predicted the scenarios in 2035. Furthermore, the correlation between critically social influencing factors and recreational ecosystem services was analyzed on the basis of geographic detectors. Results showed that: (1) the attractiveness index of recreational ecosystem services in 2018, with Baiyangdian Lake as the core, decreased with the increase of distance. Besides, high-accessibility areas were mainly distributed in Xiongzhou, Anxin and Rongcheng towns. The comprehensive index of ecosystem leisure services in Xiong'an area was 5.10 in 2018, and the overall supply was medium-accessible. (2) Compared with 2018, the Complex Index of recreational ecosystem services will increase by 0.32 in 2035, while the distinct will be still in a medium-supply-accessible state. For the spatial distribution, the high attraction area will expand to some extent, for Baiyangdian Lake will be still the core, and the high accessibility areas will be concentrated in the northern starting area and surrounding groups. (3) There was an obvious spatio-tempo discrepancy in the driving forces of social factors on ecosystem leisure services. The main driving factors has switched from population density and GDP density in 2018 to GDP density and the proportion of tertiary industry in 2035. The results of the evaluation and prediction can provide systematic countermeasures and suggestions for the planning and construction of the Complex Index in Xiong'an New Area.

Key Words: ecosystem services; ecosystem leisure services; accessibility; geographic detectors; Xiong'an New Area

生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成的维持人类赖以生存的自然环境条件与效用,包括供给服务、调节服务、文化服务和支持服务^[1-3]。与生态系统供给、调节及支持服务相比,文化服务因其“无形性”、“不可比”的特征而难以量化^[4-5]。然而生态系统文化服务的发展潜力是衡量居民生活满意度是否提升、生态是否宜居、区域发展是否协调的重要维度^[6],系统评价区域文化服务并将其用于土地利用的决策是引导区域可持续发展的重要策略^[7]。基于此,国内外大量学者发展了一系列量化文化服务的方法,其中生态系统休闲服务是评估最多的文化服务类型^[7-8]。早期的研究以旅行费用、市场价值、意愿调查等货币化方法为主,但因部分属性难以价值化而存在评估结果小于实际的不足^[9]。随着研究的深入,有学者基于土地覆被类型、景观属性、可达性、休闲设施分布等因子构建了游憩机会图谱^[10-12]。该方法可以将生态系统休闲服务以空间化的形式展示,已在欧美等国大量开展研究^[13],国内也有少量学者将其引入并应用^[11,14-15]。

生态系统服务的驱动分析不仅可以了解致使其发生变化的机理^[16],亦可为城市发展战略、生态系统服务优化、生态保护政策制定等方面提供具有重要意义的参考依据^[17],因此也是当下的研究热点。驱动分析的研究方法可以分为定性和定量两大类,其中定性分析以探究各因子的驱动关系为主,不能确定因子的影响程度^[18],而定量研究则可以实现对驱动因子影响程度的量化,其主要研究方法包括主成分分析^[19]、回归分析^[20]、地理空间加权^[21]、相关性分析^[22]、地理探测器^[18]等。国内外学者对固碳释氧^[23]、水源涵养^[24]、水质净化^[25]、水土流失^[26]等服务的驱动做了大量研究,而生态系统休闲服务则因难以量化而集中于定性探究。

综上,生态系统休闲服务的研究一方面集中于提升货币化评估途径的准确性^[9,27],另一方面集中于多因子评估模型的构建^[10-13],其中针对我国特征因子的选取还有待进行本土化提升。此外,对其驱动机制的研究因定量化困难而相对不足。基于此,本文以河北省保定市雄安新区为研究对象,结合休闲服务资源分布的空间特征及利益相关者的可达性,构建生态系统休闲服务的综合评价指标体系,应用 Arcgis 及地理探测器揭示研究区生态系统休闲服务的空间分布特征及驱动因素,为雄安新区生态系统休闲服务的合理开发与利用提供科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

雄安新区地处京津冀腹地,2017年4月1日被中共中央、国务院在此设立国家级新区,范围如图1所示,包括雄县、容城县、安新县3个县及周边部分区域,总面积约1770km²。全境地形开阔,西北较高、东南略低,为缓倾平原。生态系统类型以农田和湿地为主,位于中部的白洋淀湿地是华北地区最大的淡水湖,在保障新区供水、调蓄及生态系统平衡的同时,也依托优良的生态环境为新区提供了重要的休闲服务资源。

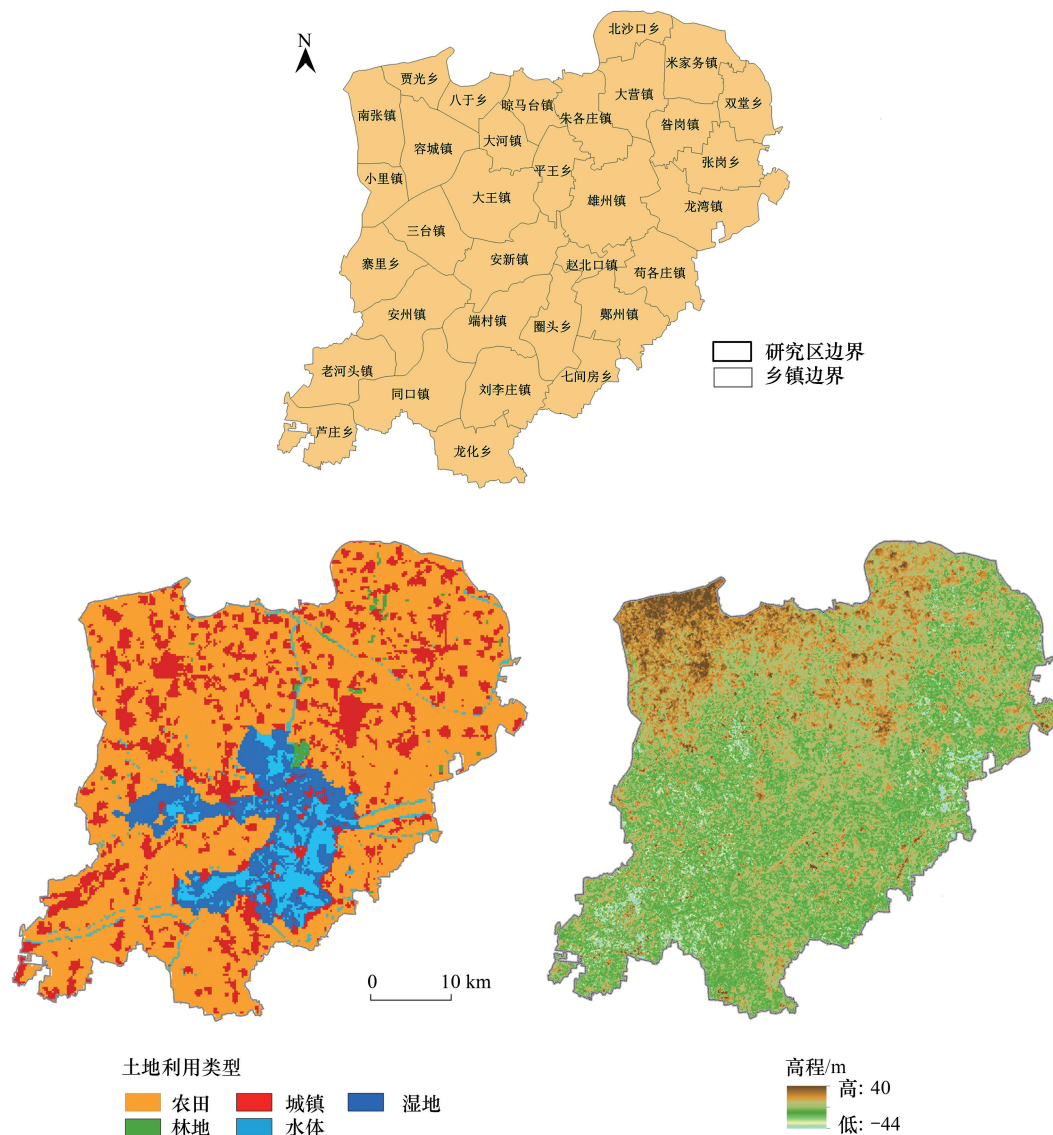


图1 雄安新区地理位置

Fig.1 Geographical location of Xiong'an New Area

1.2 数据来源

文中使用的数据来源:(1)土地利用数据由资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)下载,时间范围包含2000年、2005年、2010年、2015年、2018年5期影像,分辨率均为30m;(2)人口及GDP的空间分布公里网格数据来自中国科学院资源环境科学数据中心,空间分辨率为1km;(3)社会经济统计数据来源于河

北保定、上海、深圳、北京等各年份统计年鉴(2000—2019年);(4)重要政策规划文件来源于雄安人民政府网站(xiongan.gov.cn)。

2 研究方法

本文采用改进的游憩机会图谱,从吸引力和可达性两方面对雄安新区生态系统休闲服务进行现状评估及未来预测,并结合地理探测器解析雄安新区2018年与2035年两阶段生态系统休闲服务的驱动因素。研究框架如图2。

2.1 休闲服务评估与制图

本文从干扰程度、绿地及景观、到水距离三个维度对生态系统休闲服务的吸引力进行定义;从路网密度、居民点到景区距离两个维度定义可达性。其中干扰程度参考 Jiashu Shen 的研究结果对土地利用进行重分类^[28];绿地及景观的识别根据研究区景区的分布及《河北雄安新区规划纲要》,分成国家级自然保护区、省级自然保护区、绿地与人文景观、非绿地,依次赋值为1、0.8、0.5、0^[28—30];到水距离及居民点到景区距离的评价根据最小阻力模型(MRC)在 ArcGIS 中实现。对吸引力及可达性的评价结果标准化及等权重聚合,应用自然断点法将两维度评估结果依次分为3个等级、5个等级后进行交叉制表,以构建生态系统休闲服务综合评价指数(表1),依据表2进行赋分,得到最终评价结果。

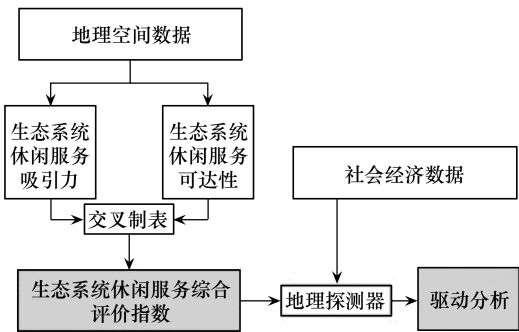


图2 研究框架
Fig.2 Research framework

表1 生态系统休闲服务分类及综合制表

Table 1 Leisure service classification and comprehensive tabulation									
可达性 Accessibility	吸引力 Attraction	1 低级 Low rank	2 中级 Middle rank	3 高级 High rank	可达性 Accessibility	吸引力 Attraction	1 低级 Low rank	2 中级 Middle rank	3 高级 High rank
1	附近	1	4	7	4	远	3	6	9
2	较近	1	4	7	5	很远	3	6	9
3	一般	2	5	8					

表2 生态系统休闲服务综合能力得分转化表

Table 2 Score conversion table of leisure service comprehensive ability					
生态系统休闲服务综合制表 Comprehensive tabulation result	类别 Type	娱乐分数 Scores	生态系统休闲服务综合制表 Comprehensive tabulation result	类别 Type	娱乐分数 Scores
1	低供给-方便访问	7	6	中等供给-不易访问	2
2	低供给-可访问	4	7	高供给-方便访问	9
3	低供给-不易访问	1	8	高供给-可访问	6
4	中等供给-方便访问	8	9	高供给-不易访问	3
5	中等供给-可访问	5			

2.2 驱动因素的选取与计算

2.2.1 驱动因素的选取

生态系统休闲服务的变化不仅受景观吸引力及交通可达性的影响,社会的动态演变也是其深层次的驱动。相关研究认为生态系统休闲服务的供给能力具有社会不公平性^[31],与人均 GDP 呈“N”型的库兹涅茨曲线关系^[32],且城市化的发展可能会给休闲服务带来一定的负向影响^[33]。本文参考前人重点关注的社会经济地位^[31]、人口^[34]、城市化水平等影响^[33],从社会角度选取 GDP 密度表示经济发展水平;人口密度表示休闲服务的需求;第二产业占比、第三产业占比表示经济结构;城镇化率代表城市化进程。

2.2.2 地理探测器

地理探测器是探测地理事物空间分异性并揭示各因子对模型贡献率的新统计学方法。本文借鉴地理探测器模型,将生态系统休闲服务综合评估结果作为因变量 Y ,各影响因素为 X ,计算模型如公式(1):

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \delta_h^2}{N \delta^2} \quad (1)$$

式中, q 为自变量对因变量的解释度,取值范围为 $[0-1]$, q 值越大表明因素的解释力越强; h 表示影响因素的类型; L 为基于自然断点法的该因素分类数; N 、 N_h 、 δ^2 、 δ_h^2 分别为全区与层内的单元数及方差。参考前人相关研究^[17,35]及雄安新区实际面积创建 2000 个随机点,对每个随机点上的驱动因子及评估结果的数值进行提取并代入模型。

2.3 数据预测方法

2.3.1 土地利用模拟

基于雄安新区多年土地利用数据、自然地理数据(DEM、坡度、坡向等)、交通区位数据(国道、省道、高速、铁路等),并结合《河北雄安新区规划纲要》、《河北雄安新区起步区控制性规划》等重要权威批复性文件及相应规划示意图,利用 PLUS 土地利用模拟模型^[36]对新区 2035 年国土空间结构进行初步预估。

2.3.2 人口密度

雄安新区是由中共中央决定设立,而非市场自下而上形成,因此无法根据历史人口数据进行预测^[37],但其成立情况与深圳的建设较为相似,因此采用地区类比法,预设新区人口变化情况符合深圳人口增长规律。在此基础上,结合《河北雄安新区规划纲要》,将新区未来整体划分为两部分:一部分为 2035 年规划指出集中发展的起步区,根据《河北雄安新区起步区控制性规划》,设该区 2035 年平均人口密度为 1 万人/ km^2 ;另一部分为非起步区,由于该区域在 2035 年前受政策影响相对较小,因此采用平均增长率法,以新区 2015 年人口密度分布为基础,根据公式(2)及前人预设的模型参数^[37]进行计算。

$$P_n = P_0 \times (1 + k)^n \quad (2)$$

式中, P_n 表示预测年人口数, P_0 表示基年人口总数, n 表示年数, k 表示人口规模综合增长率。

2.3.3 经济密度

参照人口密度预测的方法,以雄安新区 2015 年研究区 GDP 为基期值,将起步区依据深圳经济增长的特点,预设 GDP 在 2015—2020 年、2021—2025 年、2026—2030 年、2031—2035 年 4 个时间段的平均增速分别为 60%、20%、15%、10%,推算雄安新区的 GDP 规模^[38];非起步区经济密度预测采用平均增长率法,根据雄县、容县和安新县 2012—2017 年 GDP 的年平均增长率,预测 2035 年 GDP 空间分布情况,计算公式为:

$$E_n = E_0 \times (1 + k)^n \quad (3)$$

式中, E_n 表示预测年地均 GDP, E_0 表示基年地均 GDP, n 表示年数, k 表示 GDP 年平均增长率。

2.3.4 产业结构

雄安新区受政策规划的影响而不再适用遵循自然演进规律的产业动态分析模型。基于此,本文以《河北雄安新区规划纲要》为基础,以疏解北京非首都功能及北京产业结构的演进特征为导向,设定 2035 年的产业结构情景。

3 结果与分析

3.1 现状与预测结果

3.1.1 土地开发强度

2018 年、2035 年雄安新区土地利用类型的空间分布及转移矩阵如图 3、表 3 所示。2018 年土地利用以农田为主占 65.95%;城镇面积次之,占 18.76%,主要分布在雄县、容城县和安新县的县城;湿地及水体主要位于

中部的白洋淀,占比合计达 14.69%;林地占比最少仅 0.59%。2035 年土地利用格局发生明显变化,其中农田面积减少了 486.99km²,但占比仍为最大,达 38.51%;城镇用地在起步区内显著增加,总占比扩大近一倍,达 31.76%;与此同时,白洋淀水域及绿带的面积也有所扩大,达 19.85%、9.88%。综上,2018—2035 年雄安新区土地利用转移以农田转为城镇、林地、水体为主。

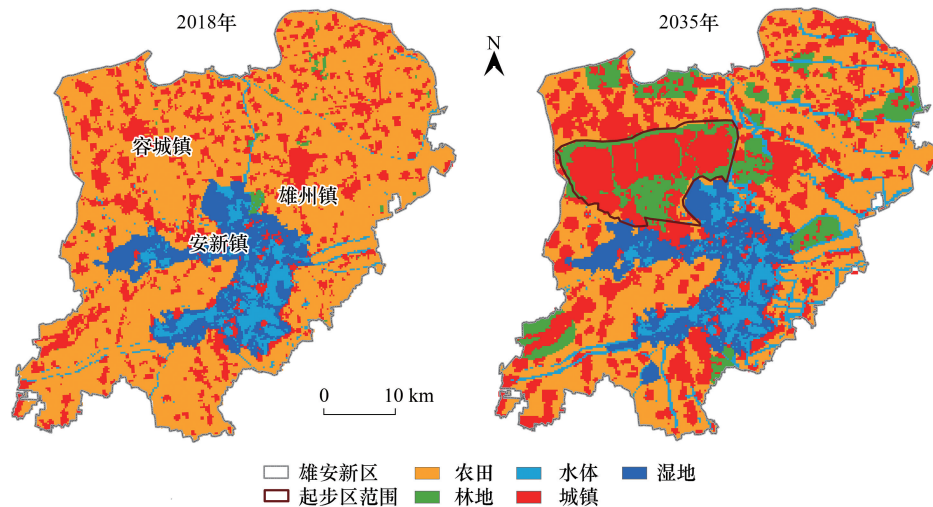


图 3 雄安新区土地利用情况

Fig.3 Estimated land use structure of the Xiong'an New Area

表 3 2018—2035 年雄安新区土地利用变化转移矩阵/km²

Table 3 Land cover transfer matrix in the Xiong'an New Area during 2018—2035

2035	2018				
	城镇 Urban area	农田 Farmland	森林 Forest	湿地 Wetland	水体 Water
城镇 Urban area	300.88	256.26	0.88	3.53	2.31
农田 Farmland	12.08	660.44	3.42	2.12	5.75
森林 Forest	12.55	158.01	2.71	0.16	1.92
湿地 Wetland	3.15	22.68	0.07	145.82	9.20
水体 Water	4.54	73.40	3.35	8.55	81.71

3.1.2 人口现状及预测结果

雄安新区 2018 年与 2035 年的人口密度分布结果如图 4 所示。2018 年雄安新区人口密度整体较小,高值区集中分布在容城镇、雄州镇、安新镇三个县城。2035 年新区人口集中在起步区及组团周围,整体规模预计达 332 万左右,这与相关学者所预测的 279—400 万范围相接近^[35,38]。

3.1.3 经济密度现状及预测结果

雄安新区 2018 年与 2035 年的 GDP 密度空间分布结果如图 5 所示。2018 年 GDP 密度平均值为 1729.54 万元/km²,不仅远低于参考城市深圳,也低于河北省与全国的平均水平。具体来看,GDP 密度高值区主要分布在东南区域、雄县及容城县;2035 年新区经济规模有所提升,区域 GDP 总量预计达 1.87 万亿元,与其他学者所预测的 1.4 万—1.9 万亿元的经济体量^[38]相一致;另一方面,GDP 密度的空间格局也发生了一定变化,其中高值区集中在起步区,平均 GDP 密度为 306700 万元/km²,非起步区 GDP 将达到 80196 万元/km²。

3.1.4 产业结构

雄安新区不同时期产业结构如图 6 所示。2018 年新区三产比例大致相当于北京 1990 年水平,参照北京 17 年间产业结构的演进规律,推算新区 2035 年的三产比例为 5.49%:24.70%:69.81%^[39]。然而,随着信息技术的提升,未来产业转型的速度势必加快,且新区规划明确提出 2035 年数字经济占 GDP 比重不低于 80%的

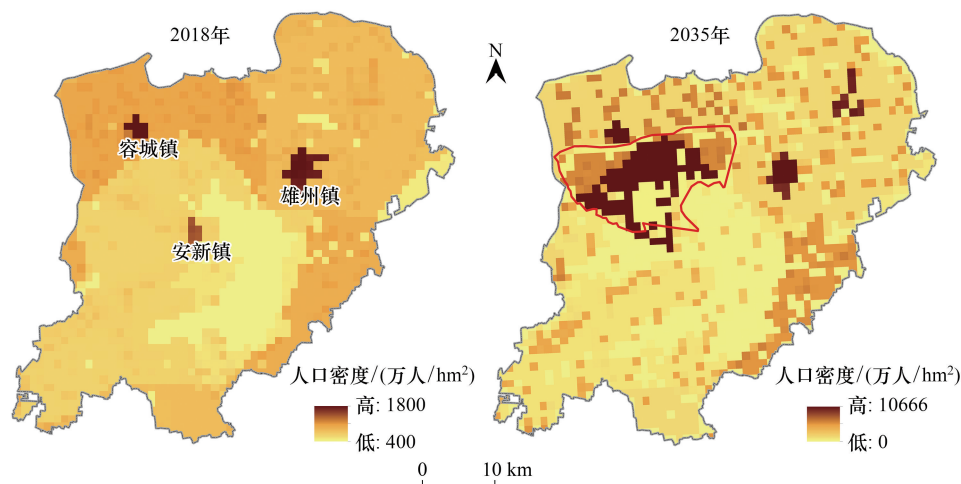


图4 雄安新区单位面积人口的现状及未来结构

Fig.4 population per unit area in Xiong'an New Area

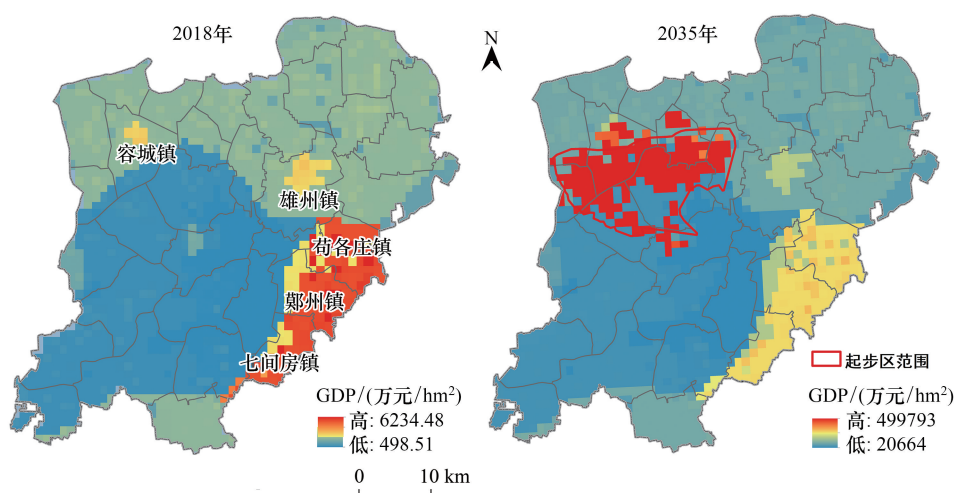


图5 雄安新区单位面积 GDP 的现状及未来结构

Fig.5 Current situation and future structure of GDP per unit area of Xiong'an New Area

要求。基于此,本文预设新区产业结构在北京现阶段的基础上,即 0.4%:16.5%:83.1%,略有提升,达 0.5%:9.5%:90%。

3.2 生态系统休闲服务吸引力

2018 年雄安新区生态系统休闲服务吸引力结果如图 7 所示。因白洋淀周围景点密集、河道发达、干扰度低,而形成明显的高吸引力区,占比达 35.00%;低吸引力区主要集中在东北、西北美感不足的耕地、城镇,占比为 13.74%,其余区域为中等吸引力,占 51.26%。

2035 年雄安新区生态系统休闲服务高吸引力的分布仍以白洋淀湿地及周围绿带为主,此外,东北部也出现几处分散的高吸引力区,合计占 22.49%;低吸引力区主要集中在以建设用地为主的起步区,占 22.25%;其余区域以中等吸引力为主,占 55.27%(图 8)。进一步对比吸引力等级的转移矩阵(表 4),相较于 2018 年,由低吸引力转为中吸引力的面积最大,达 256.26km²。推测是因为新区规划中“退耕还淀”、“引黄入冀补淀”、多水源补水机制及以“千年秀林”为代表的九大森林斑块国土绿化行动等的实施将有效增加白洋淀湿地及绿地

景观的面积;另一方面,新区也将面临因城镇扩张,所致的 158.01km^2 高吸引力区流失问题。

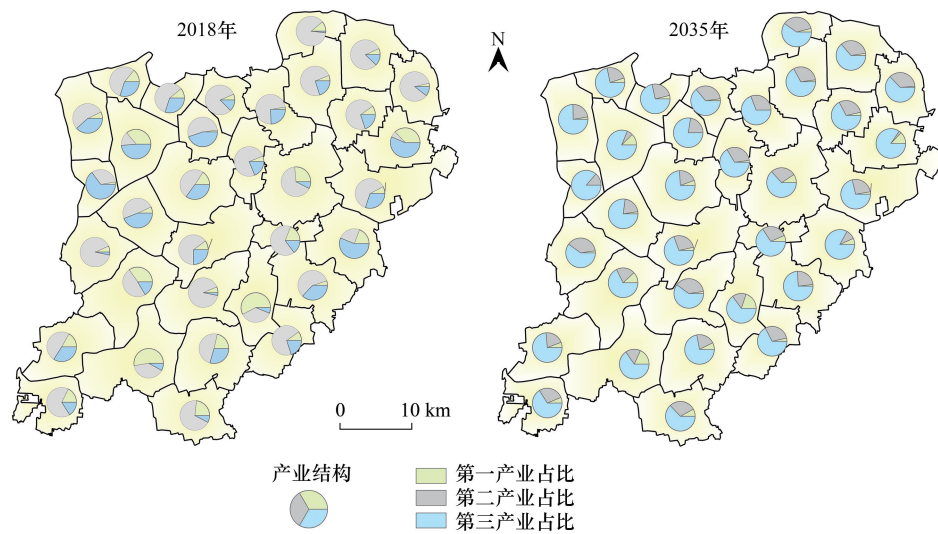


图6 雄安新区产业结构的现状和未来结构

Fig.6 Present situation and future structure of industrial structure in Xiong'an New Area

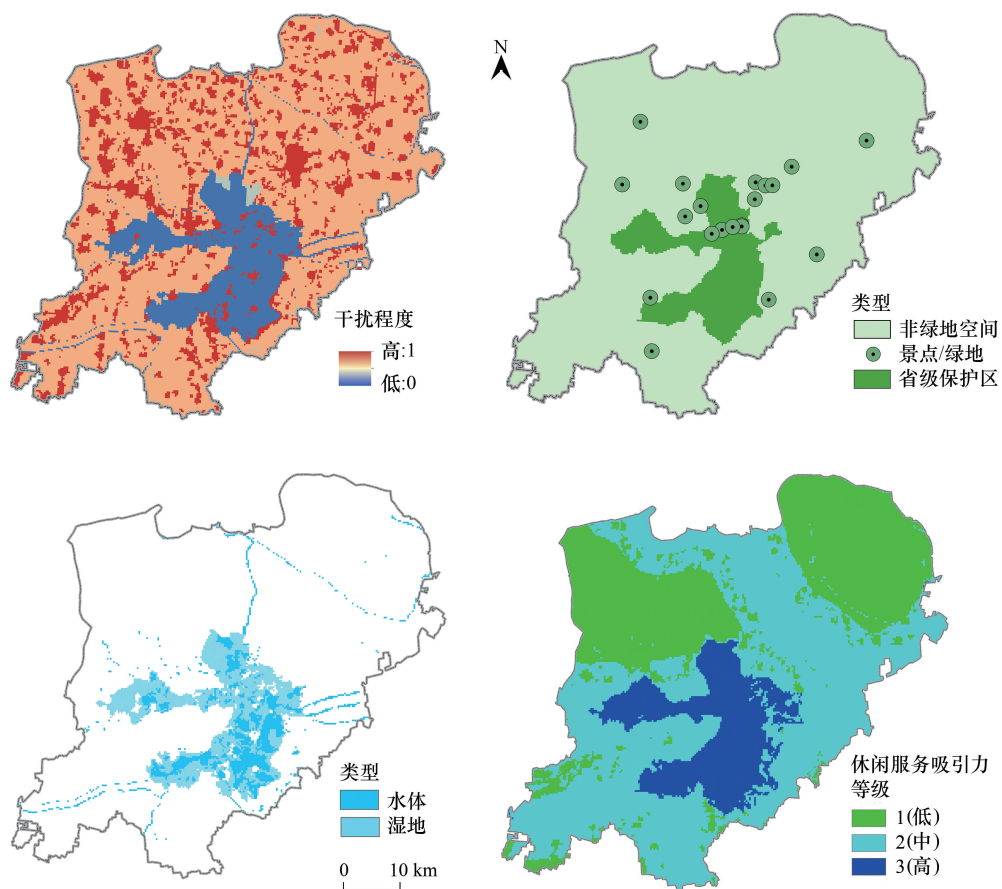


图7 雄安新2018年区生态系统休闲服务吸引力评估

Fig.7 Evaluation of leisure service attraction of Xiong'an New Area in 2018

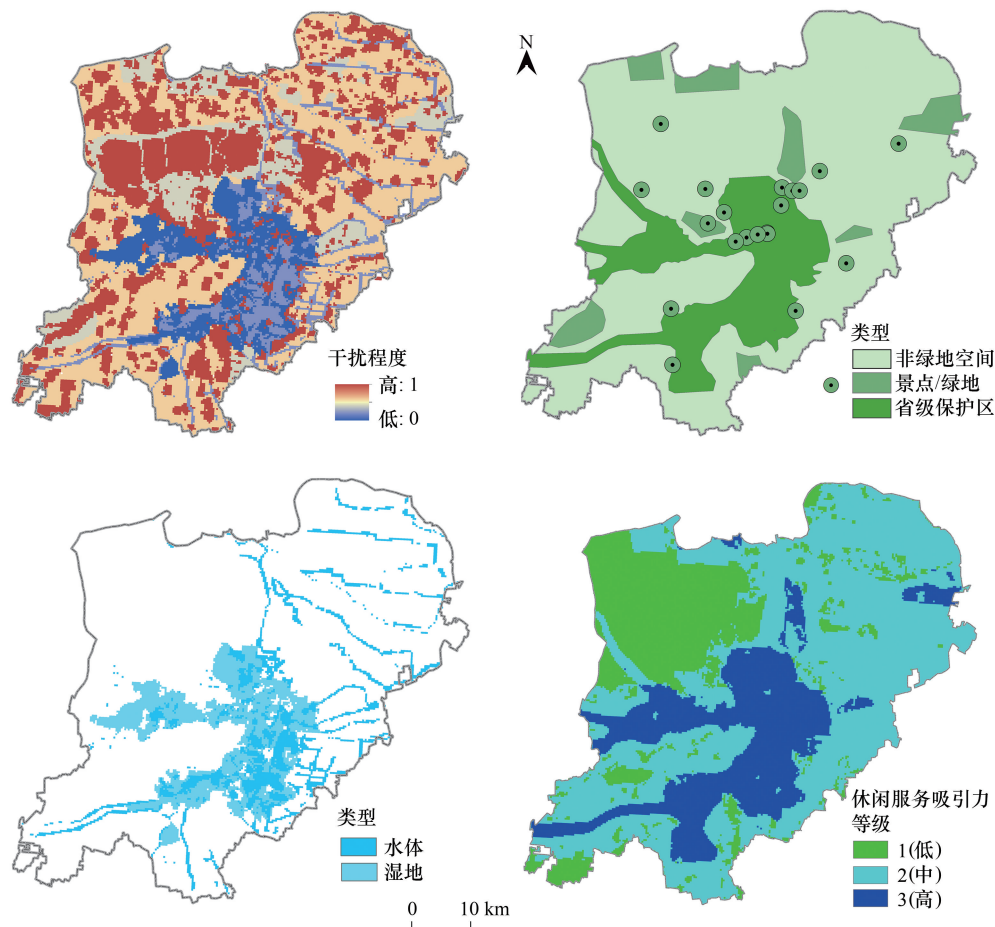


图 8 雄安新区 2035 年区休闲服务吸引力评估

Fig.8 Evaluation of leisure service attraction of Xiong'an New Area in 2035

表 4 2018—2035 年雄安新区休闲服务吸引力转移矩阵/ km^2

Table 4 Leisure service attraction transfer matrix in the Xiong'an New Area during 2018—2035

2035	2018		
	低级 Low rank	中级 Middle rank	高级 High rank
低级 Low rank	300.88	256.26	0.88
中级 Middle rank	12.08	660.44	3.42
高级 High rank	12.55	158.01	2.71

3.3 生态系统休闲服务可达性

2018 年雄安新区可达性评估结果如图 9。生态系统休闲服务可达性的分布以“一般”(37.64%)、“远”(30.16%)为主。由于经济发展的异质性,可达性高的区域主要集中在雄州镇、安新镇、容城镇三个中心城镇,而居民出行不方便的低值区主要分布在西南及中部。

2035 年雄安新区休闲服务可达性整体提高,特别是北部改善明显(图 10)。根据表 5 的转移矩阵可知,2035 年“附近”这一等级增加 655km^2 ,由“较近”、“一般”、“远”的转入量依次为 236.85km^2 、 216.41km^2 、 196.58km^2 ;从“远”转为“一般”的转移量次之,达 95.02km^2 。其变化的根本原因在于新区将建立连接京津及周边其他城市的高速、铁路、城市轨道,发展起步区和外围组团的轨道交通,升级村镇公共交通系统。

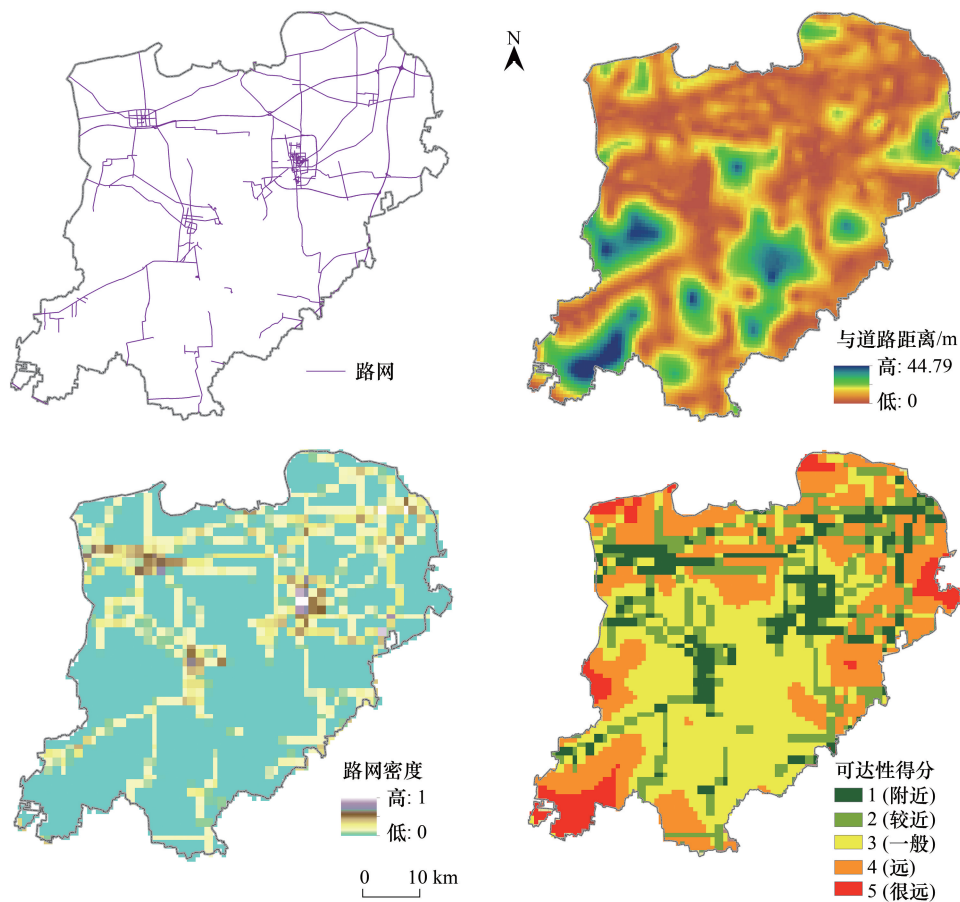


图9 雄安新区2018年区生态系统休闲服务可达性评估

Fig.9 Evaluation of accessibility to ecosystem leisure services of Xiong'an New Area in 2018

表5 2018—2035年雄安新区休闲服务综合得分转移矩阵/km²

2035		2018				
		附近 Very near	很远 Very far	较近 Near	一般 Moderate	远 Far
附近 Very near		186.82	15.51	236.85	216.41	196.58
很远 Very far		0.34	16.56	2.52	4.18	20.40
较近 Near		1.83	0.54	3.09	2.04	6.57
一般 Moderate		4.42	27.89	12.62	345.05	182.01
远 Far		3.67	32.95	16.05	95.02	120.54

3.4 生态系统休闲服务综合指数

观察图 11 可知,生态系统休闲服务综合指数以白洋淀湿地为高供给中心,离湿地及水域最近的区域交通不便,呈高供给-可访问,面积占比达 7.30%,其外围交通逐渐发达呈高供给-方便访问(5.98%);吸引力因远离白洋淀而逐渐降低,呈中等供给。其中,中等供给-不易访问(17.04%)主要分布于新区南侧近水域附近交通不便的区域;中等供给-可访问(23.92%)则以农田生态系统为主,如晾马台镇、朱各庄镇、鄭州镇等乡镇;中等供给-方便访问(12.33%)分布在以雄州为代表的建设用地比例较大的乡镇;较为发达的县镇则是低供给的集中区(15.09%),如新区北部、东南两侧,其外围随路网发达程度的降低而呈低供给-可访问(11.95%)。综上,休闲服务综合指数的分布规律是以白洋淀及交通发达的县镇为中心点依次向外扩散融合。

2035 年雄安新区休闲服务的综合得分为 5.42,其中高供给区仍以白洋淀为中心,但范围更大。其次,起步区因道路的修建,使可达性提高、景观吸引力下降,导致低供给区有所扩大。进一步对比 2018—2035 年综

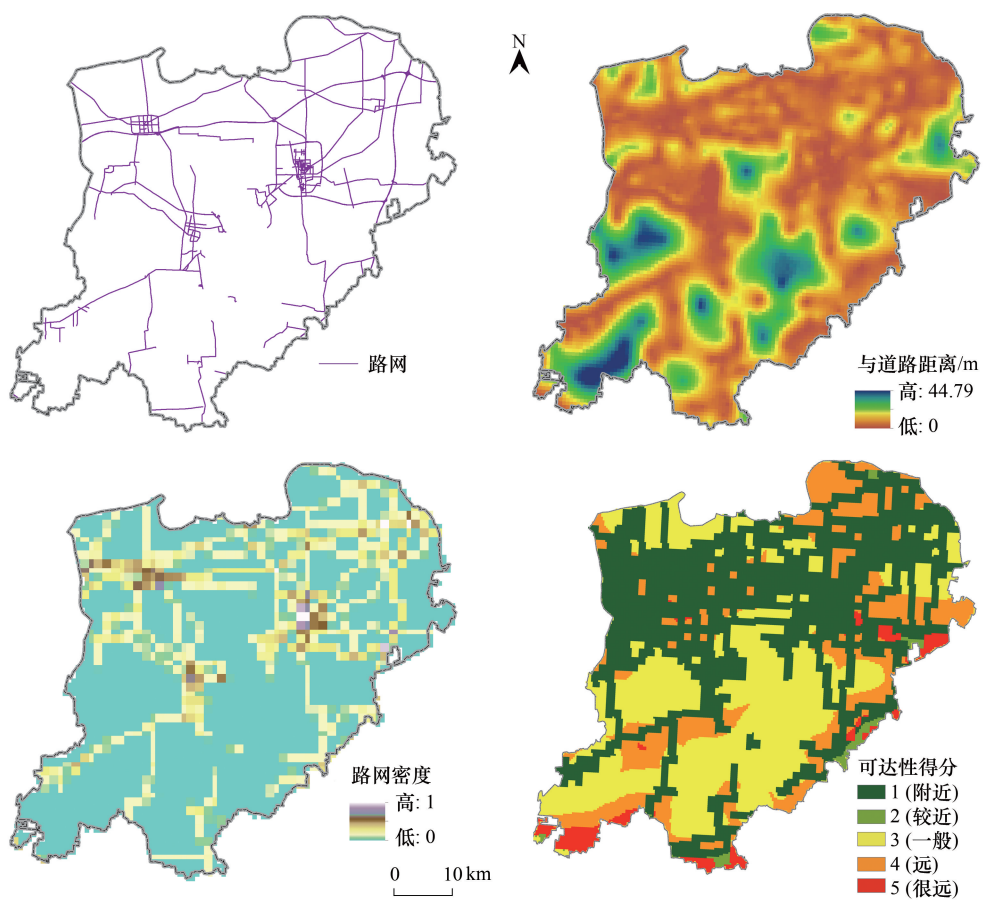


图 10 雄安新区 2035 年区生态系统休闲服务可达性评估

Fig.10 Evaluation of accessibility to ecosystem leisure services of Xiong'an New Area in 2035

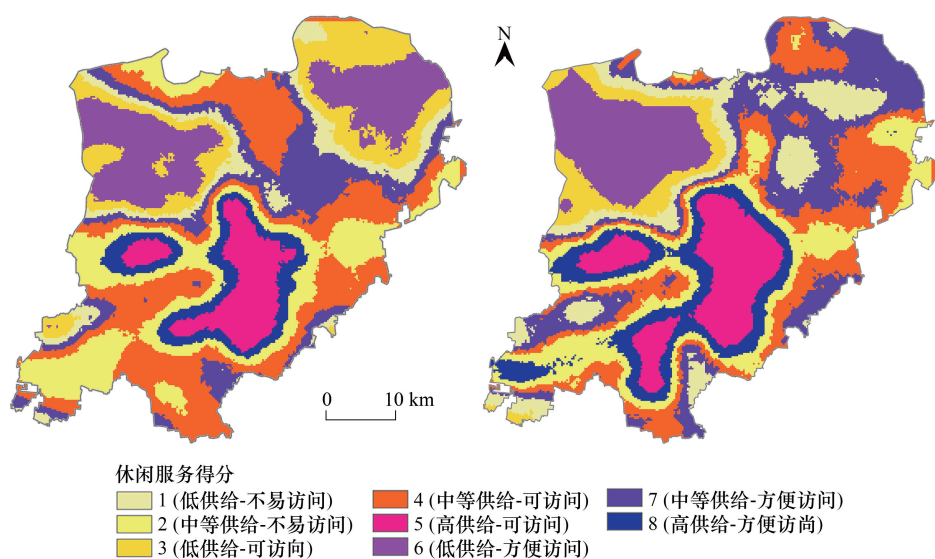


图 11 雄安新区休闲服务综合得分

Fig.11 Comprehensive score of leisure services in Xiong'an New Area

合得分转移矩阵(表6)。其中由低分转入“8分”的面积最多,达142.85km²;其次,由“2分”转入“9分”的面积也达到76.80km²;然而,值得注意的是也存在达66.31km²的“5分”区域流向“2分”的情况。由此说明,随着可达性的提升,新区能够一定程度上缓解因交通不便、基础设施差所致休闲服务资源不能充分利用的问题,但却面临因城市建设所带来的生态空间挤占的新挑战。

3.5 驱动因素分析结果

地理探测器的结果显示,各因子的决定力有明显差异(表7)。其中2018年显著驱动的因素q值由高到低依次为:人口密度>GDP密度>第三产业占比>第二产业占比;到2035年时,城镇化率的驱动提升最为明显,并成为显著因素,q值由高到低依次为:GDP密度>第三产业占比>人口密度>城镇化率>第二产业占比。

表6 2018—2035年雄安新区休闲服务综合得分转移矩阵/km²

Table 6 Comprehensive score of leisure services transfer matrix in the Xiong'an New Area in 2018—2035									
分数 Scores		2018							
		1	2	4	5	6	7	8	9
2035	1	20.12	10.04	12.07	49.97		38.03	53.60	
	2	9.17	133.46	7.82	66.31	0.68	3.22	19.40	7.67
	4	15.59	0.89	24.43	20.43		20.22	20.62	
	5	21.20	43.80	49.67	151.88	0.00	14.92	36.96	1.45
	6	0.00	17.25		13.78	112.80		1.12	44.89
	7	17.21		47.87	0.49		128.18	11.15	
	8	25.77	17.58	68.77	96.69		62.82	70.64	0.09
	9	2.91	76.80	0.12	21.95	16.11		3.77	52.11

表7 2018、2035雄安新区生态休闲服务驱动因素探测值

Table 7 Detected values of driving factors of ecological leisure services in Xiongan New Area in 2018 and 203				
年份 Year 驱动因素 Driving factors	2018		2035	
	q	P	q	P
GDP 密度 The density of GDP	0.085 **	0	0.094 **	0
城镇化率 Urbanization rate	0.004	0.153	0.046 **	0
第二产业占比 The proportion of the secondary industry	0.028 **	0	0.042 **	0
第三产业占比 The proportion of the tertiary industry	0.029 **	0	0.062 **	0
人口密度 The population density	0.104 **	0	0.060 **	0

** 为具有显著驱动

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究依据吸引力与可达性两项指标所构建的雄安新区生态系统休闲服务的评估体系相较于其他空间化的方法,不再局限于以公园、街道为主的小尺度辐射范围,能够系统评价区域的服务能力及其影响因素,模型可靠并具可推广性。评估模型中吸引力指标在参考前人选用景观多样性、地形、文化遗迹、自然保护区等指标的基础上^[15-17],基于新区未来规划,添加水体、绿地空间、景点作为评估指标。评价指出生态系统休闲服务高吸引力区主要集中在白洋淀及周边绿带范围,与相关研究认为河流与大型城郊公园附近的供需匹配较高的规律相一致^[40];模型中可达性指标的构建在参考路网密度、露营地密度等指标的基础上^[29,31,41],进一步考虑基础设施、景区、绿地、居民点位置等因素,应用最小距离成本法,将居民的潜在景感与生态休闲空间相结合^[42],充分体现雄安新区生态系统休闲服务的评估需求。生态系统休闲服务是一个复杂体系,吸引力及可达性两维度基本可以有效评估区域层面生态系统休闲服务的空间格局与趋势,但尚未考虑研究区不同群体的偏好差异,今后可以根据不同群体的关注点对指标进行加权赋值,提高评估模型精度。

本文运用地理探测器方法描述雄安新区生态系统休闲服务驱动因子的空间特征,相较以往量化影响因素的研究方法^[19-22],该模型能更好地体现地理空间的异质性。研究结果发现:(1)社会因素中的 GDP 密度及人口密度对生态系统休闲服务的影响较大,也有其他研究结果验证了这种影响^[43]。进一步观察发现生态系统休闲服务可达性高的区域主要集中在 GDP 密度高、人口密集的区域,推测是因为区域经济的发展关系着基础设施的投入,从而影响居民的交通出行及对休闲服务的需求意愿^[29]。(2)产业结构与城镇化率对休闲服务的影响次之。研究认为建设用地的扩张、工业、服务业的快速发展势必对土地利用方式带来改变,即城镇化及产业转型的本质是经济效益对生态效益的空间置换^[32],进而影响区域生态系统休闲服务的供给能力。由于不同社会因素对生态系统休闲服务的发展存在不同方向的影响,本文仅分析了单因素的影响,未考虑各影响因素的交互作用。今后可对有显著驱动作用的因素进行更深入研究,判断其对生态系统休闲服务的影响方向及交互作用。

4.2 结论

本文基于土地利用、各地年鉴数据、相关重要权威批复性文件及图件等,提出了针对雄安新区的生态系统休闲服务评价体系及空间制图方法,分别对 2018 年、2035 年两时期进行评估与预测,并应用地理探测器分析了社会因素的影响。研究认为新区生态系统休闲服务将随绿色生态系统的构建与交通基础设施的完善而提升,但与此同时也面临着因城区建设挤占生态用地,而导致高吸引力区流失的问题。通过对社会因子的驱动分析,认为新区未来要特别考虑城镇化进程、经济发展给生态系统休闲服务带来的机遇与挑战。基于上述分析,本文对雄安新区的建设提出如下建议:

1)加强起步区人口调控及生态休闲空间的建设。起步区作为新区经济、人口的核心聚集区,生态系统休闲服务的供给能力有限,因此需要严格调控区域的人口规模与开发强度,减缓快速城镇化及高密度人口所带来的压力。与此同时,合理把握大量人流带来的潜在发展机遇,发挥区位优势,开拓商务旅游、公务旅游、会展旅游等,提升起步区的吸引力。

2)加强白洋淀及周边多处公园绿道之间道路的建设。白洋淀及周边绿带作为生态系统休闲服务的主要供给区,受地形、位置、人口等的影响,基础设施有待完善,着力推进白洋淀区域交通沿线的建设,可有效提升生态系统休闲服务资源的利用效率。

3)发展农业旅游。雄安新区的大面积农田使中吸引力生态系统休闲服务提升陷入瓶颈。未来可以将农耕文化与农业景观相结合,推进村镇道路及基础设施的修建,合理发展农业旅游、度假村等项目,将生态系统休闲服务供给力低的农业生产空间升级成与娱乐休闲相结合的复合空间。

参考文献 (References):

- [1] Costanza R, De Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, Farber S, Grasso M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?. *Ecosystem Services*, 2017, 28: 1-16.
- [2] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] 张彪, 谢高地, 肖玉, 等. 基于人类需求的生态系统服务分类. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(6): 64-67.
- [4] Finlayson M, Cruz R D, Davidson N, et al. Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. *Data Fusion Concepts & Ideas*, 2005, 656(1): 87-98.
- [5] Small N, Munday M, Durand I. The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. *Global Environmental Change*, 2017, 44: 57-67.
- [6] Weyland F, Laterra P. Recreation potential assessment at large spatial scales: a method based in the ecosystem services approach and landscape metrics. *Ecological Indicators*, 2014, 39: 34-43.
- [7] Daniel T C, Muhar A, Arnberger A, Aznar O, Boyd J W, Chan K M A, Costanza R, Elmqvist T, Flint C G, Gobster P H, Grêt-Regamey A, Lave R, Muhar S, Penker M, Ribe R G, Schauppenlehner T, Sikor T, Soloviy I, Spierenburg M, Taczanowska K, Tam J, Von Der Dunk A. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(23): 8812-8819.
- [8] Milcu A I, Hanspach J, Abson D, Fischer J. Cultural ecosystem services: a literature review and prospects for future research. *Ecology and Society*, 2013, 18(3): 44.

- [9] 曹先磊, 刘高慧, 张颖, 李秀山. 城市生态系统休闲娱乐服务支付意愿及价值评估——以成都市温江区为例. 生态学报, 2017, 37(9): 2970-2981.
- [10] Wolff S, Schulp C J E, Verburg P H. Mapping ecosystem services demand: a review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators*, 2015, 55: 159-171.
- [11] 王志芳, 王思睿, 徐敏. 县域景观游憩服务评价——以四川省武胜县为例. 南方建筑, 2020, (3): 27-33.
- [12] 于佳. 沈阳城市绿地游憩机会谱构建[D]. 沈阳农业大学, 2016.
- [13] Villamagna A M, Angermeier P L, Bennett E M. Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 2013, 15: 114-121.
- [14] 彭闯, 钟永德. 国内游憩机会谱研究综述. 中南林业科技大学学报: 社会科学版, 2015, 9(5): 50-53, 61-61.
- [15] 郭洋, 杨飞龄, 王军军, 武瑞东. “三江并流”区游憩文化生态系统服务评价研究. 生态学报, 2020, 40(13): 4351-4361.
- [16] Sonter L J, Watson K B, Wood S A, Ricketts T H. Spatial and temporal dynamics and value of nature-based recreation, estimated via social media. *PLoS One*, 2016, 11(9): e0162372.
- [17] 董天, 肖洋, 张路, 肖焱, 郑华, 欧阳志云. 鄂尔多斯市生态系统格局和质量变化及驱动力. 生态学报, 2019, 39(2): 660-671.
- [18] 郑续, 魏乐民, 郭建军, 周妍妍, 陈冠光, 岳东霞. 基于地理探测器的干旱区内陆河流域产水量驱动力分析——以疏勒河流域为例. 干旱区地理, 2020, 43(6): 1477-1485.
- [19] 祁宁, 赵君, 杨延琦, 苟睿坤, 陈佳琦, 赵鹏祥, 李卫忠. 基于服务簇的东北地区生态系统服务权衡与协同. 生态学报, 2020, 40(9): 2827-2837.
- [20] 赵育恒, 曾晨. 武汉城市圈生态服务价值时空演变分析及影响因素. 生态学报, 2019, 39(4): 1426-1440.
- [21] 韩增林, 孟琦琦, 闫晓露, 赵文祯. 近 30 年辽东湾北部区土地利用强度与生态系统服务价值的时空关系. 生态学报, 2020, 40(8): 2555-2566.
- [22] 师庆三, 王智, 吴友均, 高炜, 师庆东. 新疆生态系统服务价值测算与 NPP 的相关性分析. 干旱区地理, 2010, 33(3): 427-433.
- [23] 尤海舟, 王超, 毕君. 河北省森林生态系统固碳释氧服务功能价值评估. 西部林业科学, 2017, 46(4): 121-127.
- [24] 柳冬青, 曹二佳, 张金茜, 巩杰, 燕玲玲. 甘肃白龙江流域水源涵养服务时空格局及其影响因素. 自然资源学报, 2020, 35(7): 1728-1743.
- [25] 吴瑞, 刘桂环, 文一惠. 基于 InVEST 模型的官厅水库流域产水和水质净化服务时空变化. 环境科学研究, 2017, 30(3): 406-414.
- [26] 白云鹏, 赵广举, 张丽梅, 穆兴民, 高鹏, 孙文义. 近 55 年来渭河流域输沙变化及驱动因子分析. 水土保持学报, 2020, 34(4): 91-97.
- [27] 朱捷缘. 北京市生态休闲服务需求与供给的特征与空间分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2016.
- [28] Shen J S, Li S C, Liang Z, Liu L B, Li D L, Wu S Y. Exploring the heterogeneity and nonlinearity of trade-offs and synergies among ecosystem services bundles in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Ecosystem Services*, 2020, 43: 101103.
- [29] Paracchini M L, Zulian G, Kopperoinen L, Maes J, Schägner J P, Termansen M, Zandersen M, Perez-Soba M, Scholefield P A, Bidoglio G. Mapping cultural ecosystem services: a framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU. *Ecological Indicators*, 2014, 45: 371-385.
- [30] Schirpke U, Meisch C, Marsoner T, Tappeiner U. Revealing spatial and temporal patterns of outdoor recreation in the European Alps and their surroundings. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 336-350.
- [31] 江海燕, 周春山, 肖荣波. 广州公园绿地的空间差异及社会公平研究. 城市规划, 2010, 34(4): 43-48.
- [32] Zhao J J, Chen S B, Jiang B, Ren Y, Wang H, Vause J, Yu H D. Temporal trend of green space coverage in China and its relationship with urbanization over the last two decades. *Science of the Total Environment*, 2013, 442: 455-465.
- [33] 荣益, 李超, 许策, 严岩. 城镇化过程中生态系统服务价值变化及人类活动影响的空间分异——以黄骅市为例. 生态学杂志, 2017, 36(5): 1374-1381.
- [34] Tan P Y, Wang J, Sia A. Perspectives on five decades of the urban greening of Singapore. *Cities*, 2013, 32: 24-32.
- [35] 冯运双, 石龙宇. 雄安新区生态系统服务需求空间分布格局预测. 生态学报, 2020, 40(20): 7187-7196.
- [36] Liang X, Guan Q F, Clarke K C, Liu S S, Wang B Y, Yao Y. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: a case study in Wuhan, China. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2021, 85: 101569.
- [37] 梁林, 曾建丽, 刘兵. 雄安新区未来人口趋势预测及政策建议. 当代经济管理, 2019, 41(7): 59-67.
- [38] 叶振宇, 张倩. 2050 年雄安新区主要经济社会发展指标预测. 发展研究, 2018, (1): 29-34.
- [39] 王彦芳, 边继云, 李国庆. 未来情景下高温对雄安新区产业劳动生产率的影响及应对策略. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(6): 73-83.
- [40] Wei F. Greener urbanization? Changing accessibility to parks in China. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 157: 542-552.
- [41] 王甫园, 王开泳, 刘汉初. 珠三角城市群生态空间游憩服务供需匹配性评价与成因分析——基于改进的两步移动搜寻法. 生态学报, 2020, 40(11): 3622-3633.
- [42] 荣月静, 严岩, 赵春黎, 朱婕缘, 郑天晨, 王辰星, 卢慧婷, 章文. 基于生态系统服务供需的景感尺度特征分析和应用. 生态学报, 2020, 40(22): 8034-8043.
- [43] 徐秀玉. 广州市基本公共休闲服务水平空间格局演变及影响因素. 资源开发与市场, 2020, 36(11): 1227-1232, 1238-1238.