

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2024.04.031

彭文英,陈泽宇,孙加峰,等.京津冀土地绿色利用效率时空格局及影响因素[J].水土保持学报,2024,38(4):257-266.

PENG Wenying, CHEN Zeyu, SUN Jiafeng, et al. Spatio-temporal pattern of green land use efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei and its influencing factors[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(4): 257-266.

京津冀土地绿色利用效率时空格局及影响因素

彭文英, 陈泽宇, 孙加峰, 单子溢, 孙岳

(首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院, 北京 100070)

摘要: [目的] 探索京津冀土地绿色利用效率时空格局与影响因素, 为推动土地利用绿色发展转型、促进国土空间开发保护格局优化提供理论参考。[方法] 以京津冀为研究区域, 构建土地绿色利用效率评价指标体系, 运用 SBM-DEA 模型、探索性空间数据分析 (ESDA), 揭示京津冀土地绿色利用效率时空格局特征, 并采用 Tobit 多元回归模型探讨其影响因素。[结果] (1) 2008 年以来, 京津冀土地绿色利用效率整体呈上升趋势, 尤其是 2012 年以来明显上升, 达到有效状态。(2) 空间上呈现“中间高四周低”的空间非均衡性特征, 京津两市处于高效率中心, 且全域空间正相关性显著且不断增强, 局域空间集聚特征明显, 邻近城市间效率值关联特征显著。(3) 经济发展、生态环境治理对土地绿色利用效率提升具有显著的正向影响, 经济发展水平影响最为突出, 而土地城镇化、人口集聚体现为明显的负向影响。[结论] 加快促进京津冀绿色发展转型, 进一步深化京津冀协同发展, 着力提高低效率区域的经济发展水平。建议加强优化国土空间开发保护格局, 实施严格的土地利用制度, 加强土地生态系统修复与维护, 差异化制定土地绿色利用效率提升举措, 全面推动土地绿色利用效率提升。

关键词: 土地绿色利用; 土地利用效率; 时空格局; 影响因素; 京津冀

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242-(2024)04-0257-10

Spatio-temporal Pattern of Green Land Use Efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei and Its Influencing Factors

PENG Wenying, CHEN Zeyu, SUN Jiafeng, SHAN Ziyi, SUN Yue

(School of Urban Economics and Public Administration, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

Abstract: [Objective] This paper explores the spatial-temporal pattern and influencing factors of green land use efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei, and provides theoretical reference for promoting the green development and transformation of land use and optimizing the spatial development and protection pattern of land. [Methods] Taking Beijing-Tianjin-Hebei as the research area, we constructed a land green utilization efficiency evaluation index system, used the SBM-DEA model and exploratory spatial data analysis (ESDA) to reveal the characteristics of spatial and temporal patterns of land green utilization efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei, and explored the influencing factors by using the Tobit multiple regression model. [Results] (1) Since 2008, the overall green land use efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei has been on the rise, especially since 2012, which has reached an effective state. (2) The spatial non-equilibrium characteristics of “high in the middle and low in the surroundings” are shown in the space, with Beijing and Tianjin in the high-efficiency centers, and the positive spatial correlation in the whole area is significant and increasing, the local spatial agglomeration characteristics are obvious, and the efficiency value correlation characteristics among the neighboring cities are significant. (3) Economic development and ecological governance have a significant positive impact on the improvement of land green use efficiency, with the level of economic development having the most prominent impact, while land urbanization and population agglomeration reflect a significant

收稿日期: 2024-03-13

修回日期: 2024-04-05

录用日期: 2024-04-18

网络首发日期 (www.cnki.net): 2024-06-05

资助项目: 国家社会科学基金重点项目 (17AJY005); 北京市社会科学基金重大项目 (19ZDA03)

第一作者: 彭文英 (1967—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土地利用与生态文明建设研究。E-mail: pengwenying0316@163.com

通信作者: 彭文英 (1967—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土地利用与生态文明建设研究。E-mail: pengwenying0316@163.com

http://stbcxb.alljournal.com.cn

negative impact. [Conclusion] It should accelerate the promotion of the green development transition in Beijing-Tianjin-Hebei, further deepen the Beijing-Tianjin-Hebei synergistic development, and focus on improving the level of economic development in inefficient regions. It is recommended that the optimization of the spatial development and protection pattern of land be strengthened, a strict land-use system be implemented, the restoration and maintenance of land ecosystems be strengthened, and initiatives to improve the efficiency of the green use of land be formulated in a differentiated manner, so as to comprehensively promote the improvement of the efficiency of green land use.

Keywords: green land use; land use efficiency; spatio-temporal pattern; influencing factors; Beijing-Tianjin-Hebei

Received: 2024-03-13

Revised: 2024-04-05

Accepted: 2024-04-18

Online(www.cnki.net): 2024-06-05

土地利用是导致全球环境变化的主要因素,对生态环境、生物多样性和气候变化等方面产生重大影响^[1],已成为全球关注的重点问题^[2-3]。绿色发展是世界各国在资源环境约束下实现可持续发展的必然选择,也是中国突破发展瓶颈的重要路径^[4],将绿色发展理念贯彻到土地利用过程中,实现土地绿色利用是推动经济社会发展绿色转型的关键突破口^[5]。土地绿色利用效率是评价土地绿色利用与否的重要方法^[6],国外研究相对较早且成果丰富,主要集中于土地绿色利用效率^[7]、土地绿色利用效率影响因素^[8]、土地利用对生态系统服务的影响^[9-10]等。近年来,国内学者也就土地绿色利用效率问题展开了大量的实证研究。一是将绿色发展理念引入土地利用效率评价指标体系,强调土地利用过程与结果的“绿色化”“生态化”^[6],提出涵盖经济、社会、生态等多方面产出效益,以及土地利用过程中生态破坏、环境污染等非期望产出的评价指标体系^[4-5]。二是多以随机前沿分析(SFA)为代表的参数法^[11]、以数据包络分析(DEA)为代表的非参数法^[4]2类主流方法进行定量测度分析,随机前沿分析法(SFA)强调对投入指标进行显著性检验,使投入指标选择严谨^[11],数据包络分析法(DEA)具有非主观赋权,不受计量单位影响的优点,可以更有效计算相对效率^[4]。有研究^[12]进一步提出超效率 SBM 模型对 DEA 模型进行补充,能有效避免除松弛变量和角度选择造成的误差,使计算结果更加客观。三是通过 Tobit 模型、中介效应模型、双重差分模型等方法,讨论经济发展水平^[13]、城镇化水平^[14]、产业结构^[6]、环境管制^[15-16]、科技创新水平^[17]等因素对土地绿色利用效率的影响研究。其中,Tobit 模型侧重于分析多因素对土地绿色利用效率的影响^[16],中介效应模型侧重于讨论具体因素的影响机制^[17],双重差分模型侧重于评价政策对土地绿色利用效率的影响^[15]。

京津冀是我国重大战略区,受自然地理条件、经济社会发展等影响,资源开发利用^[18]、人地关系^[19]、

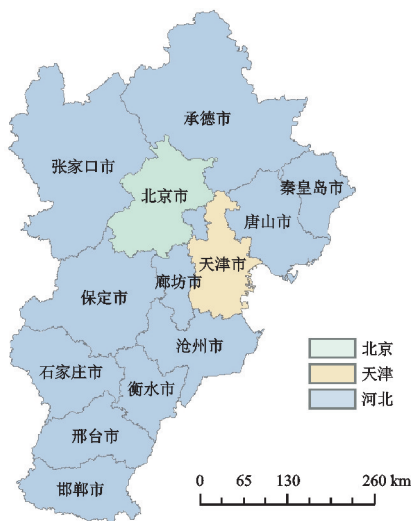
城市群绿色发展效率^[20]等仍有待提高,优化土地利用、促进绿色发展对于深化推进京津冀协同发展具有重要意义,近年来,学术界也开展一定的研究。比如,从城市群视角来探讨京津冀土地绿色利用效率问题^[20],从土地利用与经济增长耦合协调视角来分析京津冀土地绿色利用^[12],从生态压力视角来分析京津冀土地利用协同调控问题^[21]。既有研究为土地绿色利用效率评价指标选取、测度方法、影响因素等方面奠定了基础,为提升京津冀土地绿色利用效率提供了理论依据。但是,已有研究对于土地绿色利用效率涵义尚未达成共识,评价指标选取往往忽视了土地利用过程中可能产生的生态效益,社会效益的表征指标相对单一,对于京津冀土地绿色利用效率也还缺乏全面深入的分析研究。因此,本研究拟在进一步界定土地绿色利用效率内涵基础上,以京津冀为研究对象,将土地绿色利用过程中产生的生态效益纳入评价指标体系,构建社会发展指数(SDI)衡量土地绿色利用过程中产生的综合社会效益,从而形成包含投入、期望产出和非期望产出的土地绿色利用效率评价指标体系,运用 SBM-DEA 模型、探索性空间数据分析(ESDA),揭示京津冀土地绿色利用效率时空格局特征,并采用 Tobit 多元回归模型探讨其影响因素,以期京津冀土地利用协同调控、差异化制定土地绿色利用效率提升举措提供理论参考,促进京津冀全面绿色发展转型。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

京津冀地处我国华北平原北部,北临燕山山脉、西接太行山脉、东靠渤海湾(113°04′—119°53′E,36°01′—42°37′N),属于暖温带大陆性季风气候,总面积约 $21.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,包括北京市、天津市直辖市及河北省的石家庄市、唐山市、秦皇岛市、廊坊市、保定市、张家口市等 11 个地级市(图 1)。截至 2020 年末,京津冀常住人口 11 039.7 万,地区生产总值(GDP)86 000

亿元,是中国北方地区整体发展水平最高、最具经济活力和创新能力的人口经济集聚地区^[22]。根据 2020 年第三次全国国土调查数据,京津冀耕地、园地、林地、草地、湿地、城镇及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地面积分别为 6.44×10^4 , 1.17×10^4 , 7.55×10^4 , 1.97×10^4 , 0.18×10^4 , 2.76×10^4 , 0.51×10^4 , 0.87×10^4 km²,相较于第二次全国国土调查,地类增减变化明显。耕地、草地、水域及水利设施用地面积减少,草地面积减少最多,减少 31.32%;林地增加 59.37%,城镇及工矿用地增加 44.88%。



注:审图号 GS(2019)1822 号。下同。

图 1 京津冀地理位置

Fig. 1 Location of Beijing—Tianjin—Hebei region

1.2 研究方法

1.2.1 SBM—DEA 模型及指标体系构建

(1)SBM—DEA 模型原理

数据包络分析方法(data envelopment analysis, DEA)是一种比较典型的效率评价方法,可以对多个同类型的决策单元从多投入、多产出变量来评价,对效率的测度结果也较为精准^[23],在效率测度上被广泛使用。SBM—DEA 模型(Slacks—based Measure)是基于松弛变量测度的 DEA 相对效率分析方法,该方法避免了径向、角度问题,又可以对效率值为 1 的决策单元有效分解^[24],其模型设定为:

$$\rho = \frac{1 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{r_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{r_1 + r_2} \left(\sum_{m=1}^{r_1} \frac{r_m^g}{y_{mk}^g} + \sum_{m=1}^{r_2} \frac{r_m^b}{z_{mk}^b} \right)} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} x_k \geq XA - r^- \\ y_k^g \leq Y^g A + r^g \\ z_k^b \geq Z^b A - r^b \\ r^- \geq 0, r^g \geq 0, r^b \geq 0, A \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: ρ 为测度的土地绿色利用效率值; n 为投入指标数量; r_1 为期望产出指标数量; r_2 为非期望产出指标数量; r^- 为投入的松弛量; r^g 为期望产出松弛量; r^b 为非期望产出的松弛量; x 为利用投入值; y^g 为期望产出值; z^b 为非期望产出值; A 为权重向量; X 为利用投入矩阵; Y^g 为期望产出矩阵; Z^b 为非期望产出构成的矩阵。当 x 投入一定时, y^g 越大, z^b 越小,效率越高。将京津冀 13 个市分别作为一个生产决策单元(DMU),每个 DMU 均包含投入向量、期望产出向量和非期望产出向量。

(2)土地绿色利用效率评价指标体系

土地绿色利用是在绿色发展理念下的节约集约、低碳循环、可持续利用土地的综合方式,经济层面体现绿色的产业结构,防止土地资源浪费,社会层面要形成符合人民群众需求的土地利用结构,不断增加民生福祉,生态层面要保障生态安全、利于提升优质生态产品供给能力,促进人与自然和谐共生的现代化建设。因此,基于 SBM—DEA 模型机理,结合京津冀实际情况,构建土地绿色利用效率评价指标体系(表 1)。

表 1 土地绿色利用效率评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for green land use efficiency

指标类型	要素	指标层
利用投入	土地	生产生活用地面积占比(%)
	资本	地均固定资产投资额(万元/km ²)
	劳动力	地均从业人数(人/km ²)
	科技	科技经费支出占 GDP 比重(%)
	能源	地均能源消费量(万 t 标准煤/km ²)
期望产出	经济效益	地均绿色 GDP(万元/km ²)
	社会效益	社会发展指数
	生态效益	生态用地面积占比(%)
非期望产出	环境污染	建成区绿地覆盖率(%)
		地均大气污染物排放量(万 t/km ²)
	生态破坏	地均固体废弃物排放量(万 t/km ²)
		土地退化面积占比(%)

在投入方面,土地、资本、劳动投入是土地利用的基础要素^[4],农用地和建设用地面积代表生产生活用地,可作为土地投入指标^[12];地均固定资产投资额是资本投入的重要表征指标^[6];从业人员表征劳动投入规模,地均从业人员更体现劳动投入强度^[13];科技水平对土地绿色利用效率的影响十分重要^[17],科技经费支出占 GDP 比重在一定程度上表征资源节约集约、绿色技术等发展能力和水平;能源是支撑经济社会发展的重要生产资料,地均能源消费量一定程度上体现经济社会发展水平^[20]。在期望产出方面,土地绿色利用不只是追求单一经济效益,更要将环境污

染、生态破坏等负效应降到最低,运用绿色 GDP 的核算方法^[25],即生产总值减去资源耗损价值、环境治理投入,选择地均绿色 GDP 作为土地绿色经济产出指标;社会产出体现在人口、城镇化、科技及医疗卫生、教育等多个方面,运用社会发展指数(social development index,SDI)方法来进行综合计量^[4,25](表 2);生态产出应体现生态系统的良性循环、人与自然和谐共生实现程度,选择生态用地面积、建成区绿地覆盖率来表征,生态用地面积为林地、草地、湿地 3 个用地类型之和。在非期望产出方面,污染破坏是最重要的非期望产出,选择地均大气污染物排放量和地均固体废弃物排放量作为表征土地利用环境污染指标,选择土地退化面积占比作为表征土地利用生态破坏指标。

表 2 社会发展指数评价指标

Table 2 Social development index evaluation indicators

目标层	准则层	指标层	指标解释
社会发展 指数	民生福祉 最大化	人均可	地区可支配总收入/
		支配收入	区域总人口(万元)
		教育发展	地均普通本、
		水平	专科当年毕在校人数(人)
		医疗卫生	地均医院床位数(个)
	社会长远 发展	水平	人口自然
		人口自然	(出生人口-死亡人口)/
		增长率	总人口*100%(%)
		人口城镇化	城镇人口/
		科技创新	总人口*100%(%)
		水平	地均规模以上工业企业 新产品销售利润(万元)

1.2.2 探索性空间数据分析 探索性空间数据分析(exploring spatial data analysis,ESDA)是以可视化的方式说明地理事物或现象空间关联特征的有效方法^[26]。常用的方法有全局和局部 Moran's I_G 指数,全局 Moran's I_l 指数反映整个地理空间内事物或现象是否相关,局部 Moran's I_l 指数能够揭示相互邻近的事物或现象的空间关联情况^[4]。本文运用此方法来揭示京津冀土地绿色利用效率的空间关联特征。计算公式为:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

$$\text{Moran's } I_G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij}} \quad (4)$$

$$\text{Moran's } I_l = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

式中: n 为空间单元的个数; x_i 和 x_j 分别为第 i 个和第 j 个要研究的地理事物或现象; S^2 为方差; $\bar{x}$ 为所研究的对象对象的均值; w_{ij} 为空间权重矩阵。其中,Moran's I 指数值域是 $[-1,1]$,越接近 1 说明同一地理事物或现象的空间之间集聚程度越高,越接近 0 则表示同一地理事物或现象在空间之间无相关性或关联度很低。

1.2.3 Tobit 回归模型及指标体系构建

(1) Tobit 回归模型原理

Tobit 模型常用于探究部分连续分布或离散分布的因变量,在某些因素影响下是如何变化的问题,因变量为受限变量^[27]。通过 SBM-DEA 方法测算得出的京津冀土地绿色利用效率值是离散的,且具有显著的截断现象。因此,本文引入 James Tobin 提出的截尾回归 Tobit 模型进行影响因素分析,模型设定为:

$$r_{it} = \begin{cases} r_{it}^* = \beta_0 + \sum_{t=1}^n \beta_t x_{it} + \epsilon & r_{it}^* > 0 \\ 0 & r_{it}^* \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: r_{it} 为解释变量,表示第 i 个城市的第 t 期的土地绿色利用效率; x_{it} 为解释变量,表示第 i 个城市的第 t 期的对应解释变量; β_0 为常数项; β_t 为模型的估计系数, $t=1,2,\dots,n$; n 为解释变量的数量; ϵ 为的含义是随机扰动项,其中 $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。

(2) 土地绿色利用效率影响因素变量选择

土地绿色利用受经济、社会、生态及环境治理等多方面因素的影响^[6],经济发展水平更高的地区更可能加大在生态环境治理方面投入^[28],产业结构升级促进土地资源节约集约利用^[6]。对外开放水平高一方面容易通过吸引外来资金和技术推动经济和就业增长,另一方面也可能因环境管制问题造成生态破坏和环境污染^[29]。土地城镇化主要体现农业用地转为建设用地的程度,在产业转型升级下增加地均经济产出效益,也可能造成耕地资源减少、挤占生态用地^[14];人口集聚代表人力资源丰富,激励基础设施建设,扩大公共服务^[30],也有可能造成人口承载力、交通拥挤、生活垃圾等问题,影响土地绿色利用效率^[31]。在生态环境治理层面,环境管制有效减少生产生活中的污染排放,倒逼企业绿色技术创新^[15],增加绿色经济效益产出;生态产出水平的提高源于区域生态用地面积扩大^[32],生态用地有着降解污染、维护生物多样性的功能,也会提高邻近区域生态环境质量,具有溢出效应^[33]。基于以上分析,土地绿色利用效率影响因素选择见表 3。

表3 土地绿色利用效率影响因素变量选择

Table 3 Selection of variables influencing the efficiency of green land use

目标层	准则层	指标层	变量解释	单位
影响 因素	经济层面	经济发展水平 (X_1)	GDP 总额/ 总人口	元
		产业结构升级 (X_2)	第三产业产值/ 第二产业产值 * 100%	%
		对外开放水平 (X_3)	实际利用外资额/ GDP 总额 * 100%	%
		土地城镇化 (X_4)	建成区土地面积/ 土地总面积 * 100%	%
		人口集聚水平 (X_5)	人口总数/ 土地面积	人/km ²
		环境管制水平 (X_6)	一般工业固体 废物处理率	%
	生态环境 治理层面		污水处理率	%
			生活垃圾处理率	%
		生态产出水平 (X_7)	绿地面积/ 市辖区总面积 * 100%	%
			生态用地面积/ 土地总面积 * 100%	%

1.3 数据来源

本文所涉及数据主要来源于国家统计局官网 (<http://www.stats.gov.cn/>)、北京市、天津市、河北省的统计年鉴^[34-36]、《中国城市统计年鉴》^[37]《中国环境统计年鉴》^[38]，以及各地方统计年鉴和政府公报。国土方面数据主要来源于中国水土保持监测网站 (<https://www.cnscm.org>)、各市的规划和自然资源局和生态环境局的公报^[39-40]。

2 结果与分析

2.1 京津冀土地绿色利用效率时间变化

2007年,党的十七大首次把生态文明写入全国代表大会报告,标志着生态文明建设治国方略的正式确立和其理论形态的初步形成,另外,由于部分城市土地绿色利用效率逐年变化不太明显,所以,本文运用 MaxDEA_8 软件中的超效率 SBM 模型,以 2008 年为起点,分别计算 2008 年、2012 年、2016 年、2020 年 4 个时间节点京津冀土地绿色利用效率,整体变化见图 2。通过分析可以看出,京津冀三地土地绿色利用效率变化比较一致,整体上可分为 2 个阶段,2008—2012 年效率略有下降,整体上未达到有效状态;2012—2020 年效率明显上升,由 0.473 提升到 0.808,增幅达 64%,达到有效状态。2012 年以前,京津冀经济社会发展期望产出增加的同时,土地资源投入大,环境污染、土地退化非期望产出高,比如地均固体废弃物排放量增加 41.2%,致使土地绿色利用效率较低。2012 年以来,大力推进生态文明建设,着力加

强生态环境领域的京津冀协同发展,国土空间格局不断优化,污染防治联防联控机制逐渐建立,2012—2016 年地均绿色 GDP 提高 32%,地均污染物排放下降 18.7%,2016—2020 年建成区绿化覆盖率提高 4.0%,地均大气污染物排放下降 49.4%,期望产出效益增加而非期望产出却减少,致使土地绿色利用效率明显上升。

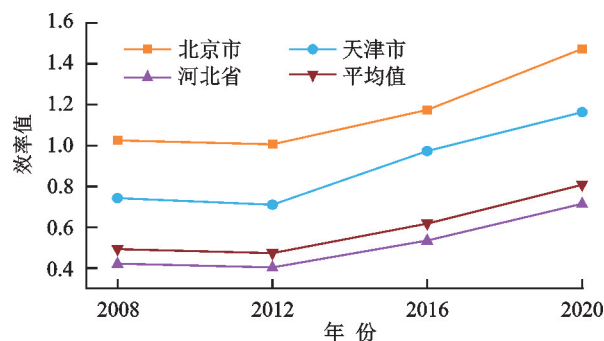


图2 2008—2020年京津冀市域土地绿色利用效率值

Fig. 2 Green land use efficiency values in the Beijing-Tianjin-Hebei region from 2008 to 2020

2.2 京津冀土地绿色利用效率变化的空间特征

为了探讨京津冀土地绿色利用效率变化的空间特征,基于 SBM-DEA 模型机理,确定土地绿色利用效率阈值,运用 ArcGis 10.8 软件对京津冀 2008 年、2012 年、2016 年、2020 年的土地绿色利用效率进行分类和可视化制图。由图 3 可知,京津冀土地绿色利用效率整体上呈现“中间高四周低”的空间非均衡性特征,由北京单高中心发展为以北京为首的高效率城市群;北京市、天津市长期处于完全效率状态,这主要源于两市经济和科技水平发达,产业结构合理,环境管制严格,基础设施完善,利用投入和期望产出较高且非期望产出较低;地处北京、天津两市附近的廊坊市、唐山市、沧州市和保定市,土地绿色利用效率提升十分显著。上述城市工业基础好,在非首都功能疏解的背景下,较好地承接京津两市的产业转移,使得地均产出水平较高,同时加强生态建设和环境治理,特别是廊坊市,2020 年地均绿色 GDP 为 $4\,478.15 \times 10^4$ 元/km²,相较于 2008 年的 $2\,350.00 \times 10^4$ 元/km² 提升近 2 倍,2020 年廊坊市地均废气排放量 0.50×10^3 kg/km²,远低于 2008 年的 3.42×10^3 kg/km²;冀北和冀中南地区还没有达到高效率状态,包括石家庄、衡水、邢台、邯郸、秦皇岛、张家口和承德 7 个城市。还没有达到高效率的原因各不相同,河北省会城市石家庄市土地绿色利用效率波动明显,2012 年相较于 2008 年效率值下降 21.3%。石家庄市经济社会发展占有明显优势,但污染物排放量、生态用地面积

减少,2020 年地均废气排放量 $3.14 \times 10^3 \text{ kg/km}^2$, 远高于平均水平,生态用地面积不足该市国土总面积的

30%。其他城市多地处重要生态功能区和粮农产品区,整体投入产出效率低于京津冀平均水平。

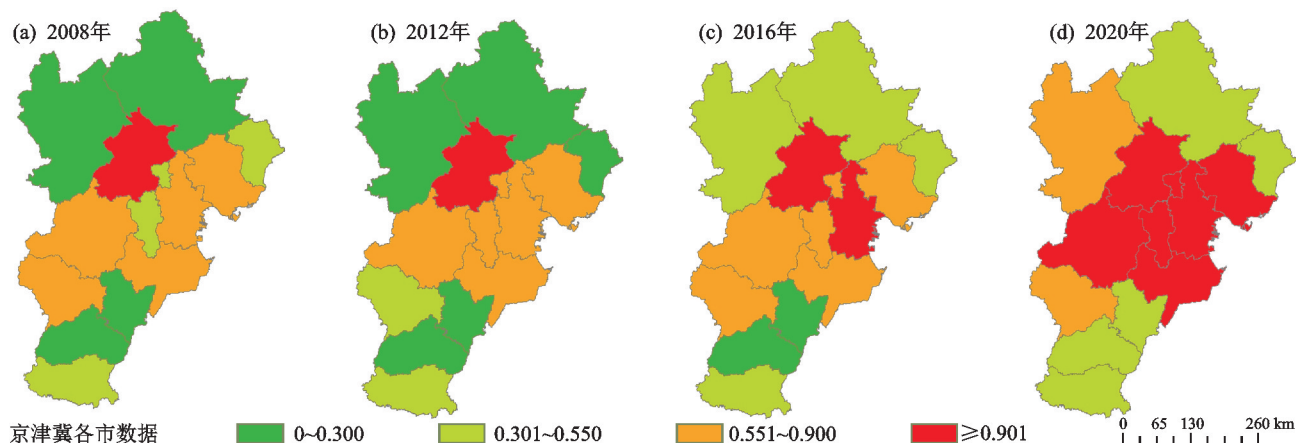


图 3 京津冀土地绿色利用效率空间演变

Fig. 3 Spatial evolution of land green utilization efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei region

为了进一步分析空间相关性特征,运用 Moran's I 指数方法,测算出 2020 年京津冀土地绿色利用效率全局 Moran's I 指数为 0.343 4, p 值为 0.024,在 5% 的显著水平下通过检验,表明京津冀土地绿色利用效率的空间正相关显著,相邻城市之间相互影响,空间相似值呈空间聚集的状态。运用 GeoDa 1.20 软件绘制空间分布散点图,将各市划分为 4 个象限区域(图 4)。一是高值集聚区(H-H 关联型),主要分布在京津冀中部地区,包括北京市、天津市、廊坊市、沧州市和保定市,反映京津高效率对冀中地区的辐射带动作用;二是高值异质区域(H-L 关联型),主要分布在唐山市,河北省内经济社会发展水平高,但因产业结构升级缓慢,对邻近的东北部秦皇岛市、北部承德市效率辐射作用不显著,反映空间溢出效应较低;三是低值异质区域(L-H 关联型),主要分布在张家口市和承德市,虽然处于高效率扩散范围内,但因自然地理条件、区域发展定位及产业结构等而使得效率整体水平较低;四是低值集聚区(L-L 关联型),主要分布在石家庄市、衡水市、邯郸市、邢台市和秦皇岛市,这些城市距离京津高效率区较远,重化工业、制造业较为聚集,土地开发利用率高,虽然经济社会发展水平得到一定的提升,但生态用地面积不足、地均污染物排放量大等问题依然突出,京津辐射带动作用十分有限。

2.3 京津冀土地绿色利用效率影响因素

基于 Stata 15.0 统计软件,运用随机效应 Tobit 模型对京津冀土地绿色利用效率的影响因素进行估计,回归结果见表 4。结果分析来看,社会层面的土地城镇化、人口集聚水平对土地绿色利用效率负向显

著。土地城镇化(X_4)回归系数为 0.21,在 10% 水平下负向显著,表明随着土地城镇化水平的提高,土地绿色利用效率下降。城镇空间扩张挤占林地、草地、湿地等生态空间,生态用地面积大幅锐减。京津冀部分城市国土开发强度超过 30%^[41],生态破坏、环境污染、“大城市病”等问题依然突出^[31]。

经济层面、生态环境治理层面对土地绿色利用效率均正向显著,经济因素影响系数最高。经济发展水平(X_1)回归系数高达 1.83,在 5% 水平下正向显著,表明经济越发达越有能力进行产业结构升级、生态环境治理,土地绿色利用效率越高。对外开放水平高外资引入大,一般来说发展环境较好,会提高就业和收入水平,能显著提升经济社会发展效益,从而促进土地绿色利用效率提升。环境管制水平(X_6)反映政府生态环境治理水平和能力,对推动土地资源的绿色利用尤为必要^[16],政府的生态环境治理措施既推动企业生产的绿色转型,有效降低污染物排放量^[32],也扩大生态用地面积^[16]。

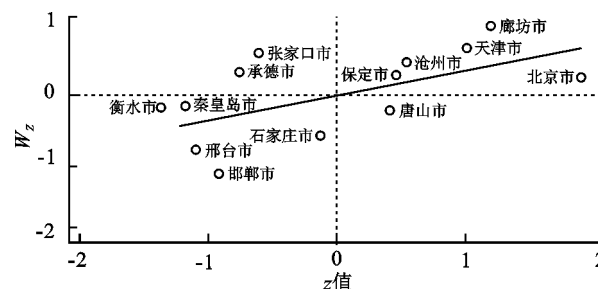


图 4 2020 年京津冀土地绿色利用效率空间分布散点图

Fig. 4 Scatter plot of spatial distribution of green land use efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei in 2020

表 4 土地绿色利用效率影响因素回归结果

Table 4 Regression results of factors influencing land green utilization efficiency

变量	回归系数	估计标准 误差	Z 值	p 值
经济发展水平(X_1)	1.83e-06**	9.60e-07	1.90	0.047
产业结构升级(X_2)	0.002 2	0.003 9	0.58	0.563
对外开放水平(X_3)	0.107 2*	0.186 1	1.78	0.061
土地城镇化(X_4)	-0.205 2*	0.147 8	-1.19	0.075
人口密度水平(X_5)	-0.040 7	0.007 0	-1.21	0.275
环境管制水平(X_6)	0.041 0***	0.013 4	3.06	0.002
生态产出水平(X_7)	0.015 6***	0.003 1	4.98	0
常数项(_cons)	-0.223 8	0.191 1	-1.17	0.242

注: *、**、*** 分别表示解释变量在 10%、5%、1%置信水平下显著。

3 讨论

绿色发展是正确处理经济社会发展与生态环境保护的关系,转变经济发展方式,是大力发展循环经济、绿色技术、绿色消费,改善人民群众生存环境的发展方式,是高效率、可持续、和谐共生的发展方式。土地绿色利用是在绿色发展理念下的节约集约、低碳循环、可持续利用土地的综合方式。为了探讨土地绿色利用问题,本文以土地绿色利用效率为研究对象,以经济绿色化、能源消耗最低化、环境破坏最小化、科技高投入化为主要内容,从绿色投入和绿色产出视角构建土地绿色利用效率评价指标体系,识别影响因素,以京津冀为实在分析,基于“问题导向—要素把控”思路,提出土地绿色利用效率提升策略。从研究结果来看,京津冀土地绿色利用效率整体上还可以进一步提升,空间上还存在低效率区域,高效率区域的辐射能力及范围也有待提升,土地绿色利用效率的影响因素较为突出。

从时空格局来看,京津冀土地绿色利用效率普遍呈上升趋势,但空间格局不均衡。京津冀土地绿色利用效率的整体提升,表明京津冀各城市土地、资本、劳动力、科技、能源等利用投入和期望产出效率高,环境污染、生态破坏等非期望产出降低,不断促进社会经济发展与土地生态保护协调统一。但是,京津冀自然生态条件、产业结构、生态环境治理水平等地区差异较大,社会经济发展水平、科技投入能力也有明显的地区差异,致使土地绿色利用效率具有明显的空间差异。对京津冀土地绿色利用效率的时空格局分析,与已有研究关于京津冀土地利用效率的研究结果比较一致^[12,20]。从影响因素来看,经济发展水平意味着

产业结构水平高,有更多资金技术投入到绿色转型发展,生态治理投入大,降低污染排放、生态破坏等非期望产出;城镇化发展、人口集聚意味着更多的建设用地,挤占耕地、林地、草地等绿色空间^[28,31],将提高土地开发强度^[41],如果过度追求发展将导致效率降低。

需要说明的是,土地绿色利用效率涉及到资源、能源及人力、资金、技术等投入,关系到土地利用的经济、社会、生态效益产出,与土地利用造成的生态破坏、环境污染等直接相关,还与以上投入、产出的最佳组合效益关联。因此,鉴于数据获得,本文在土地绿色利用效率评价体系及影响因素选择等存在一些局限性,评价尺度还应进一步细化到县域、乡镇域,甚至到地块尺度,以期更好地推动土地绿色利用和精准治理差异化施策。

4 结论

(1)2008 年以来京津冀土地绿色利用效率整体上呈上升趋势,具有 2 个阶段性特征:2008—2012 年,表现为低效状态,并略有下降;2012—2020 年,效率明显上升,达到有效状态,反映了党的十八大以来,大力推进生态文明建设有效提升土地绿色利用效率。

(2)京津冀土地绿色利用效率整体上呈现“中间高四周低”的空间非均衡性特征,京津位于高效率中心,长期处于完全效率状态,冀北和冀中南地区长期处于低效率水平。

(3)京津冀全域空间正相关性显著且不断增强、局域空间集聚特征明显,相邻城市间效率值关联特征显著。京津冀中部地区属于高值集聚区(H—H 关联型),远离京津的石家庄市、衡水市、邯郸市、邢台市和秦皇岛市处于低值集聚区(L—L 关联型)。

(4)经济因素、生态环境治理因素对土地绿色利用效率提升具有显著的正向影响,城镇化、人口集聚对土地绿色利用效率具有明显的负向影响。

5 政策建议

(1)促进京津冀经济社会发展绿色转型,全面推行土地绿色利用。经济发展、生态环境治理将显著提升效率,应进一步加强经济建设,增强科技创新投入,深化科技、环保、高端制造等领域的对外合作,引导产业规模化、集约化、低碳化、清洁化发展,源头上减少土地利用的污染排放,控制建设用地规模,保障生态空间用地,过程上加强土地利用的环境规制,终端上着力加强污染治理,加快提升土地绿色利用效率。

(2)进一步深化京津冀协同发展,着力提高低效

率区域经济社会发展。产业发展、生态环境是京津冀协同发展的重要优先领域,在全面绿色发展转型的重要时期,应进一步深化资金、技术、人才等各项要素的协同发展,深化北京、天津的辐射带动作用,加快推动低效率区产业转型升级、生态修复及环境治理,整体上推动经济社会、生态环境的高质量发展。

(3)优化国土空间开发保护格局,差异化定制效率提升举措。京津冀土地绿色利用效率的空间差异明显,而制约因子和影响因素有所不同。应科学、合理地进行国土空间规划,整体上针对城镇发展空间、农业生产空间、生态空间分别进行土地绿色利用管控,地区空间上实施差异化策略,京津两市进一步严格控制建设用地规模,增强经济社会的辐射带动作用;冀北地区加强生态涵养区建设,着力增强生态产品供给能力,促进经济社会发展;冀中南地区加快优化土地利用结构,促进产业转型升级,加强生态建设和环境治理,拓展生态用地面积,全面推动绿色发展转型。此外,京津冀沿海地区应加强海洋生态环境保护,提高海洋资源开发能力,大力发展海洋绿色经济,推动陆海统筹的绿色发展新局面。

参考文献:

- [1] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, et al. Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [2] GRIMM N B, FAETH S H, GOLUBIEWSKI N E, et al. Global change and the ecology of cities[J]. *Science*, 2008, 319(5864): 756-760.
- [3] NEWBOLD T, HUDSON L N, HILL S L L, et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity[J]. *Nature*, 2015, 520: 45-50.
- [4] 梁流涛, 雍雅君, 袁晨光. 城市土地绿色利用效率测度及其空间分异特征: 基于 284 个地级以上城市的实证研究[J]. *中国土地科学*, 2019, 33(6): 80-87.
LIANG L T, YONG Y J, YUAN C G. Measurement of urban land green use efficiency and its spatial differentiation characteristics: An empirical study based on 284 cities[J]. *China Land Science*, 2019, 33(6): 80-87.
- [5] 胡碧霞, 李菁, 匡兵. 绿色发展理念下城市土地利用效率差异的演进特征及影响因素[J]. *经济地理*, 2018, 38(12): 183-189.
HU B X, LI J, KUANG B. Evolution characteristics and influencing factors of urban land use efficiency difference under the concept of green development[J]. *Economic Geography*, 2018, 38(12): 183-189.
- [6] 卢新海, 李佳, 刘超, 等. 中国城市土地绿色利用效率驱动因素及空间分异[J]. *地理科学*, 2022, 42(4): 611-621.
LU X H, LI J, LIU C, et al. Driving factors and spatial differentiation of the urban land green use efficiency in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(4): 611-621.
- [7] IRWIN E G. New directions for urban economic models of land use change: Incorporating spatial dynamics and heterogeneity[J]. *Journal of Regional Science*, 2010, 50(1): 65-91.
- [8] VERBURG P H, VAN BERKEL D B, VAN DOORN A M, et al. Trajectories of land use change in Europe: A model-based exploration of rural futures[J]. *Land-use Ecology*, 2010, 25(2): 217-232.
- [9] THORNTON P E, CALVIN K, JONES A D, et al. Biospheric feedback effects in a synchronously coupled model of human and Earth systems[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7: 496-500.
- [10] EDWARDS D P, SOCOLAR J B, MILLS S C, et al. Conservation of tropical forests in the anthropocene[J]. *Current Biology*, 2019, 29(19): 1008-1020.
- [11] 金贵, 邓祥征, 赵晓东, 等. 2005—2014 年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(7): 1242-1252.
JIN G, DENG X Z, ZHAO X D, et al. Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005—2014[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(7): 1242-1252.
- [12] 梁彦庆, 官洋溢, 黄志英, 等. 京津冀土地绿色利用与经济增长耦合协调的时空异质性研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(12): 1522-1531.
LIANG Y Q, GUAN Y Y, HUANG Z Y, et al. Spatial-temporal heterogeneity of coupling and coordination between green land use and economic growth in Beijing-Tianjin-Hebei area[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(12): 1522-1531.
- [13] 丁一, 郭青霞, 秦明星. 黄河流域资源型城市土地绿色利用效率时空演变及影响因素[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(19): 250-259.
DING Y, GUO Q X, QIN M X. Temporal-spatial evolution and influencing factors of land green use efficiency of resource-based cities in the Yellow River Basin, China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(19): 250-259.
- [14] 樊鹏飞, 冯淑怡, 苏敏, 等. 基于非期望产出的不同职能城市土地利用效率分异及驱动因素探究[J]. *资源科学*, 2018, 40(5): 946-957.
FAN P F, FENG S Y, SU M, et al. Differential characteristics and driving factors of land use efficiency in different functional cities based on undesirable outputs[J]. *Resources Science*, 2018, 40(5): 946-957.
- [15] 徐志雄, 徐维祥, 刘程军. 环境规制对土地绿色利用效率的影响[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(8): 87-95.
XU Z X, XU W X, LIU C J. Influences of environmental regulations on green land use efficiency[J]. *China Land Science*, 2021, 35(8): 87-95.

- [16] 卢新海,陶向前,匡兵,等.环保考核、政府环境注意力与城市土地绿色利用效率[J].中国土地科学,2023,37(8):104-112.
LU X H, TAO X Q, KUANG B, et al. Environmental assessment, environmental attention of government and green utilization efficiency of urban land[J].China Land Science,2023,37(8):104-112.
- [17] 张瑞,文兰娇,王宁柯,等.科技创新对城市土地绿色利用效率的影响:以武汉都市圈48个区县为例[J].资源科学,2023,45(2):264-280.
ZHANG R, WEN L J, WANG N K, et al. Impact of scientific and technological innovation on green use efficiency of urban land: A case study of 48 districts and counties in the Wuhan Metropolitan Area[J].Resources Science,2023,45(2):264-280.
- [18] 郭轲,王立群.京津冀地区资源环境承载力动态变化及其驱动因子[J].应用生态学报,2015,26(12):3818-3826.
GUO K, WANG L Q. Change of resource environmental bearing capacity of Beijing-Tianjin-Hebei region and its driving factors[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2015,26(12):3818-3826.
- [19] 彭文英,刘念北.首都圈人口空间分布优化策略:基于土地资源承载力估测[J].地理科学,2015,35(5):558-564.
PENG W Y, LIU N B. Optimization strategy of population distribution in capital metropolitan region: Based on land resources carrying capacity evaluation[J].Scientia Geographica Sinica,2015,35(5):558-564.
- [20] 王德起,庞晓庆.京津冀城市群绿色土地利用效率研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(4):68-76.
WANG D Q, PANG X Q. Research on green land-use efficiency of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J].China Population, Resources and Environment,2019,29(4):68-76.
- [21] 彭文英.京津冀地区土地生态压力及协同调控策略[J].中国流通经济,2018,32(3):95-101.
PENG W Y. Land ecological pressure and coordinated regulation strategy in Beijing-Tianjin-Hebei region[J].China Business and Market,2018,32(3):95-101.
- [22] 李国平,吕爽.京津冀协同发展战略实施十年回顾及展望[J].河北学刊,2024,44(1):60-69.
LI G P, LYU S. Ten-year review of coordinated development strategy of the Beijing-Tianjin-Hebei region and its outlook[J].Hebei Academic Journal,2024,44(1):60-69.
- [23] BATTESE G E, COELLI T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data[J].Empirical Economics,1995,20(2):325-332.
- [24] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2001,130(3):498-509.
- [25] 孙才志,姜坤,赵良仕.中国水资源绿色效率测度及空间格局研究[J].自然资源学报,2017,32(12):1999-2011.
SUN C Z, JIANG K, ZHAO L S. Measurement of green efficiency of water utilization and its spatial pattern in China[J].Journal of Natural Resources,2017,32(12):1999-2011.
- [26] MESSNER S F, ANSELIN L, BALLER R D, et al. The spatial patterning of county homicide rates: An application of exploratory spatial data analysis[J].Journal of Quantitative Criminology,1999,15(4):423-450.
- [27] TOBIN J. Estimation of relationships for limited dependent variables[J].Econometrica,1958,26(1):e24.
- [28] 溫柔,李洪义,吴儒练,等.基于多源数据的江西省县域土地绿色利用效率时空分异及影响因素分析[J].地域研究与开发,2023,42(4):136-142.
WEN R, LI H Y, WU R L, et al. Temporal and spatial differentiation and influencing factors analysis of land green use efficiency at county scale in Jiangxi Province based on multi-source data[J].Areal Research and Development,2023,42(4):136-142.
- [29] 周亮,车磊,周成虎.中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J].地理学报,2019,74(10):2027-2044.
ZHOU L, CHE L, ZHOU C H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China[J].Acta Geographica Sinica,2019,74(10):2027-2044.
- [30] 曹琳剑,王杰,王欢欢,等.京津冀基础设施建设与人口集聚耦合演进分析:基于推拉理论解析[J].地理科学,2019,39(8):1256-1264.
CAO L J, WANG J, WANG H H, et al. Evolutional analysis of coupling between infrastructure and population agglomeration in Beijing-Tianjin-Hebei region: An analysis based on push-pull theory[J].Scientia Geographica Sinica,2019,39(8):1256-1264.
- [31] 孙久文,李姗姗,张和侦.“城市病”对城市经济效率损失的影响:基于中国285个地级市的研究[J].经济与管理研究,2015,36(3):54-62.
SUN J W, LI S S, ZHANG H Z. The impact of urban issues on loss of urban economic efficiency[J].Research on Economics and Management,2015,36(3):54-62.
- [32] 杨清可,段学军,王磊,等.基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.
YANG Q K, DUAN X J, WANG L, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta[J].Scientia Geographica Sinica,2018,38(1):97-106.
- [33] 卢新海,任文琴,杨浩,等.城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的影响:基于空间计量的实证分析[J].中国人口·资源与环境,2023,33(3):113-124.
LU X H, REN W Q, YANG H, et al. Impact of com-

- pact development of urban transportation on green land use efficiency: An empirical analysis based on spatial measurement[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2023, 33(3): 113-124.
- [34] 北京市统计局.北京市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2008—2020.
Beijing Municipal Bureau of Statistics. Beijing statistical year-book[M].Beijing: China Statistics Press,2008—2020.
- [35] 天津市统计局.天津市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2008—2020.
Tianjin Municipal Bureau of Statistics. Tianjin statistical year-book[M].Beijing: China Statistics Press,2008—2020.
- [36] 河北省统计局.河北省统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2008—2020.
Hebei Provincial Bureau of Statistics. Hebei statistical year-book[M].Beijing: China Statistics Press,2008—2020.
- [37] 国家统计局.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2008—2020.
National Bureau of Statistics. China urban statistics yearbook [M].Beijing: China Statistics Press,2008—2020.
- [38] 国家统计局,生态环境部.中国环境统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2008—2020.
National Bureau of Statistics. Ministry of Ecology and Environment. China environmental statistics yearbook [M].Beijing: China Statistics Press,2008—2020.
- [39] 北京市规划和自然资源委员会.北京市第三次全国国土调查主要数据公报[EB/OL].[2021-11-05].https://ghzrzyw.beijing.gov.cn/zhengwuxinxi/sjtj/tdbgdctj/202111/t20211105_2529986.html.
Beijing Municipal Commission of Planning and Natural Resources. Main data bulletin of the third national land survey in Beijing [EB/OL]. [2021-11-05]. https://ghzrzyw.beijing.gov.cn/zhengwuxinxi/sjtj/tdbgdctj/202111/t20211105_2529986.html.
- [40] 北京市生态环境局.2020年北京市生态环境状况公报[EB/OL].[2021-05-13].<https://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718882/10985106/index.html>.
Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau. 2020 Beijing ecological environment status bulletin[EB/OL].[2021-05-13].<https://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718882/10985106/index.html>.
- [41] 欧阳晓,朱翔.中国城市群城市用地扩张时空动态特征[J].地理学报,2020,75(3):571-588.
OUYANG X, ZHU X. Spatio-temporal characteristics of urban land expansion in Chinese urban agglomerations [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(3): 571-588.
- (上接第 256 页)
- [24] 林彤,杨木壮,吴大放,等.基于 InVEST-PLUS 模型的碳储量空间关联性及其预测:以广东省为例[J].中国环境科学,2022,42(10):4827-4839.
LINT, YANG M Z, WU D F, et al. Spatial correlation and prediction of land use carbon storage based on the InVEST-PLUS model: A case study in Guangdong Province[J]. *China Environmental Science*, 2022, 42(10): 4827-4839.
- [25] 巩晟萱,张玉虎,李宇航.基于 PLUS-InVEST 模型的京津冀碳储量变化及预测[J].干旱区资源与环境,2023,37(6):20-28.
GONG S X, ZHANG Y H, LI Y H. Spatio-temporal variation and prediction of carbon storage in Beijing-Tianjin-Hebei region: A PLUS-InVEST model approach[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(6): 20-28.
- [26] ZHOU R B, LIN M Z, GONG J Z, et al. Spatiotemporal heterogeneity and influencing mechanism of ecosystem services in the Pearl River Delta from the perspective of LUCC[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(5): 831-845.
- [27] LI W, CHEN Z J, LI M C, et al. Carbon emission and economic development trade-offs for optimizing land use allocation in the Yangtze River Delta, China[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 147: e109950.
- [28] 边蕊,赵安周,刘宪锋,等.关中平原城市群土地利用变化对碳储量的影响[J].环境科学,2024,45(6):3260-3269.
BIAN R, ZHAO A Z, LIU X F, et al. Impact of land use change on carbon storage in urban agglomerations in the Guanzhong Plain [J]. *Environmental Science*, 2024, 45(6): 3260-3269.
- [29] CANADELL J G, RAUPACH M R. Managing forests for climate change mitigation [J]. *Science*, 2008, 320(5882): 1456-1457.
- [30] PAUSTIAN K, LEHMANN J, OGLE S, et al. Climate-smart soils[J]. *Nature*, 2016, 532(7597): 49-57.
- [31] YANG J, HUANG X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8): 3907-3925.
- [32] 李月,罗红芬.黔中喀斯特地区典型县域碳储量时空演变及多情景模拟预测:以普定县为例[J].环境科学,2024,45(2):961-973.
LI Y, LUO H F. Spatio-temporal evolution and multi-scenario simulation of carbon storage in Karst regions of central Guizhou Province: Taking Puding County as an example[J]. *Environmental Science*, 2024, 45(2): 961-973.