

面向主体功能分区的建设用地强度研究：模式识别与时空演变*

RESEARCH ON DEVELOPMENT LAND INTENSITY FOR MAIN FUNCTIONAL ZONES:
PATTERN IDENTIFICATION AND SPATIOTEMPORAL EVOLUTION

岳文泽 周秋实 李蒙蒙 张衍春

YUE Wenze; ZHOU Qiushi; LI Mengmeng; ZHANG Xianchun

【摘要】作为国土空间治理的基础性制度，主体功能区战略对于国土空间开发保护秩序具有重要的规范与引导作用。建设用地强度是建设用地管理的重要维度，分析不同主体功能区的建设用地强度变化，有助于深化主体功能区战略效应的理论认知，同时为后续规划实施提供方向引导。基于中国2000—2020年人口普查、建设用地分布数据，分析全国各县区建设用地强度变化，识别面向主体功能分区的建设用地利用模式与时空演变特征，并探究人口规模与利用强度变化对于建设用地扩张的解释程度。研究发现：首先，2000—2020年间，城市化地区建设用地强度有所上升，而限制开发区建设用地强度显著下降；其次，“人口收缩—用地强度下降”是全国占比最高的建设用地利用模式，城市化地区与限制开发区建设用地利用模式呈现差异化特征；最后，建设用地强度变化是建设用地扩张的主导性因素，用地强度变化在2000—2010、2010—2020年解释了全国88.18%与94.81%的建设用地扩张，限制开发区中用地强度变化对建设用地扩张解释度随时间加强，城市化地区则有所减弱。本文对不同主体功能区下建设用地强度进行了及时、系统评估，也为推动主体功能区战略优化提供政策参考。

【关键词】主体功能区；建设用地强度；人口规模；人均用地；中国

ABSTRACT: As the basic system of territorial space governance, the functional zoning strategy plays a crucial role in regulating and guiding land development activities and environment protection. Analyzing the changes in development land intensity – an important dimension of development land management of different functional zones – will deepen the theoretical understanding of the strategic effect of main functional zones and provide direction guidance for subsequent planning implementation.

Therefore, based on the data of Chinese census and development land distribution from 2000 to 2020, this paper analyzes the change of development land intensity of counties in China, identifies the patterns and spatiotemporal evolution characteristics of development land for main functional zones, and examines the effect of changes in population size and land use intensity on development land expansion. The following results are found. Firstly, the period from 2000 to 2020 saw an increase in the development land intensity of urbanized areas, yet a significant decrease in development land intensity of restricted development zones. Secondly, “population shrinkage-land use intensity decline” is the most common land use pattern in China, and the development land use pattern presents different characteristics in urbanized areas and restricted development areas. Finally, the change of development land intensity is the dominant factor for development land expansion, which was responsible for 88.18% and 94.81% of development land expansion in the periods of 2000-2010 and 2010-2020 respectively. Change of land use intensity plays an increasingly significant role in development land expansion of restricted development zones as time

【作者简介】

岳文泽(1977—)，男，博士，浙江大学公共管理学院土地管理系教授，博士生导师，wzyue@zju.edu.cn。

周秋实(1996—)，男，浙江大学公共管理学院土地管理系博士研究生。

李蒙蒙(1992—)，男，阿姆斯特丹自由大学博士研究生，浙江大学公共管理学院土地管理系科研助理。

张衍春(1988—)，男，博士，浙江大学公共管理学院土地管理系，百人计划研究员，博士生导师，本文通信作者，zhangxianchun@zju.edu.cn。

【文章编号】 1002-1329
(2023)05-0015-10

【中图分类号】 TU982;
F301.2

【文献标识码】 A

【doi】 10.11819/cpr20231607a

【修改日期】 2023-01-30

* 国家社会科学基金重大项目：构建高质量发展的国土空间布局和支持体系研究(21ZDA064)；中国国土勘测规划院外协项目：面向“双循环”格局的城市群国土空间规划编制技术研究(2022年第81号—18)。

goes on, while it weakens in urbanized areas. This paper not only is a timely and systematic assessment of development land intensity of main functional zones, but also provides a policy reference for strategic optimization of main functional zones.

KEYWORDS: main functional zones; development land intensity; population size; land use per capita; China

主体功能区战略对建设用地开发利用产生深远影响。伴随着全球人口、经济的不断增长,建设用地扩张造成了耕地流失、生态栖息地退化、生物多样性丧失等问题,阻碍全球可持续发展^[1]。改革开放以来,中国城镇化进程不断深化,建设用地扩张与耕地保护、生态保育的矛盾不断加剧,对国家粮食安全、生态安全、人民福祉造成一定威胁^[2-4]。为贯彻落实生态文明战略,中国编制并实施“主体功能区规划”,旨在以明确地区主导功能、实施差异化空间治理策略的方式,推动人口、经济、生态的协调发展,对国土空间开发保护行为形成规划引领^[5-6]。主体功能区规划实施后,优化开发区建设用地扩张速率明显下降,而重点开发区则显著上升^[7]。《中共中央第十四个五年规划和面向2035年的远景目标》指出,各地区未来应坚持以主体功能为导向,形成城市化地区、农产品主产区、生态功能区三大格局,优化国土空间开发保护秩序。党的“二十大”报告进一步明确主体功能区战略在未来国土空间治理体系中的重要地位。可以预见,主体功能区战略将持续对建设用地开发利用形成规范与引导。

建设用地强度是深入分析国土空间开发利用的关键维度。土地利用变化是人与环境交互作用的重要表征,可表现为土地覆被变化或土地利用强度变化^[8],其中建设用地强度着重反映了建设用地内部人类活动对自然的干扰程度^[9-10]。伴随着中国城市由增量扩张逐步转向存量发展,合理提高建设用地强度将成为突破城市发展用地需求瓶颈,化解经济增长、粮食安全、生态保育之间矛盾的重要抓手。因此,仅从土地覆被变化的视角出发难以充分刻画建设用地利用模式及其生态环境影响,需要强化建设用地强度研究,准确描述建设用地强度时空差异,为深化用地强度与生物多样性、能源消耗、气候变化之间交互作用的理论认知、推进国土空间可持续利用奠定基础^[11-12]。虽然现有研究探究了建设用地强度的理论内涵,并从建设用地结构、功能、形态等视角,在多空间尺度上测算建设用地强度^[10, 13-14],但是对于中国近期建设用地强度变化仍缺乏系统的、及时的研究。

建设用地强度变化是主体功能分区效应研

究的重要内涵。在主导功能引导下,各县区针对区域国土空间开发和保护行为实施差异化管控。已有研究在充分辨析主体功能区划分的必要性和科学性基础上^[15],提出基于“地域功能适宜性评价”等方法的主体功能区划分方案,并针对规划实施过程中制度或管理实践困境提出解决思路^[16],如针对单一的空间主导功能难以满足地区复杂社会经济发展、实际管理需要的问题,有学者主张以“三区三线”为依托,实现主体功能区战略在国土空间规划体系中的降尺度传导;为推动主体功能区类型细分,形成差异化的空间引导与管控,相关研究提出了“单一功能主导地区+过渡地区”等类型细分策略^[17-18]。针对主体功能区的政策效应,相关研究比较了主体功能区实施前后建设用地时空演变特征,并对限制开发区是否有效限制建设用地扩张,是否有效保护区域生态系统服务功能进行分析^[17, 19-21]。但是我国的主体功能区规划已执行十余年,针对主体功能区的分析较多仍从土地覆被的视角出发,对建设用地强度变化仍缺乏系统分析。各主体功能区建设用地利用模式是否具有时空演化规律?用地强度变化如何影响建设用地利用模式?以上问题对于有效评估主体功能区规划影响,构建合理的国土空间开发保护秩序具有重要参考价值。

全国人口普查数据和长时序建设用地空间分布数据为分析主体功能区战略的政策效应、剖析其影响机制,提供了系统的数据支撑。因此,本文从主体功能区政策效应评价视角切入,基于2000、2010、2020年人口普查数据、建设用地数据,选取人均用地量作为建设用地利用强度指标,在对比分析主体功能区规划实施前后10年间的人口变化、人均建设用地变化的基础上,识别不同主体功能区的建设用地利用模式差异,并测算人口规模与用地强度变化对于建设用地变化的解释程度,以期形成对主体功能区规划实施成效的科学认知,并为后续国土空间规划编制中落实主体功能区战略提供参考。

1 研究数据与方法

1.1 数据来源

研究使用的区县级人口数据来自全国第五次、第六次、第七次人口普查。2000年以来,中国区县级行政区划存在较大变动,利用第五次、第六次人口普查街道级人口数据对大多数存在区划变更的县区的人口规模进行了校正。但是仍存在部分县区下辖街道存在边界变化,难以校正的现象,因此,进一步利用“全球人口网格化数据”(Gridded Population of the World, Version 4),再对这部分县区的人口数据进行了校核统计^[22]。

使用的建设用地数据来自中国土地覆被数据集 (China Land Cover Dataset, CLCD), 空间分辨率为30m, 在具体分析时将该数据集中“人造地表”(地类号: 8) 认作建设用地^[23]。

1.2 研究方法

1.2.1 建设用地强度测算与利用模式识别

由于缺乏共识性的建设用地强度测算方法, 在充分考虑现有研究和数据可获得性后, 选择人均建设用地量作为建设用地强度的表征指标^[24-26]。人均建设用地量曾广泛应用于大尺度建设用地强度分析, 同时被列入联合国可持续发展目标SDG11.3, 以评估全球建设用地管理能力、城市化可持续发展水平等^[27]。

人口规模、建设用地强度是识别建设用地利用模式的关键因素。人口规模变化影响建设用地需求, 而建设用地强度则能有效反映区域建设用地集约利用水平与承载能力^[14, 25, 28]。因此, 研究从人口规模与建设用地强度切入, 基于人口变化率、人均用地变化率测算识别全国2000—2010、2010—2020年建设用地利用模式。具体流程如下:

(1) 计算各县区人口变化率、人均用地量变化率

$$AGR_{POP} = \left(\left(\frac{POP_{end}}{POP_{start}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$AGR_{BPC} = \left(\left(\frac{BPC_{end}}{BPC_{start}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \times 100\% \quad (2)$$

式(1)式(2)中, AGR_{POP} 和 AGR_{BPC} 分别代表各县区年度常住人口变化率、人均用地量变化率; POP_{start} 和 POP_{end} 代表期初和期末常住人口规模; BPC_{start} 和 BPC_{end} 是期初和期末人均用地量; n 为研究期年数。

(2) 明确人口变化率、人均用地变化率分类阈值

通过分类阈值, 将人口变化率、人均用地变化率划分为下降、相对稳定、上升3级, 然后基于分级后的人口变化率与人均用地变化率将全国建设用地利用模式分为9类。人口变化率与人均用地变化率分类阈值是在遵循“Freedman Diaconis Rule”准则的基础上, 利用一种基于直方图(Histogram-Based Approach)的方式所划定, 这一方法多次被用于大尺度土地利用变化模式识别, 显然适用于本研究^[29-33]。具体划定方式是, 利用直方图明确指标的数据分布, 划定数值0附近1/3的样本为相对稳定类型, 其余的为上升或者下降类型。基于此, 人口变化率、人均用

地变化率分类阈值分别确定为 $\pm 0.6\%$ 和 $\pm 2\%$ 。另外, 为保证研究期内模式可比, 2000—2010、2010—2020模式分类过程中使用一致的分类阈值。

1.2.2 建设用地规模变化归因

研究从人口规模、人均用地量变化的视角对建设用地规模变化进行归因。人口规模对于建设用地变化具有重要影响^[12, 24]。改革开放以来, 人口空间分布格局呈现高度的动态性, 深刻影响地区产业、交通、住宅用地需要, 进而驱动建设用地扩张^[34-35]。而人均建设用地量, 作为建设用地利用强度的重要表征, 其变化能着重体现区域土地集约利用水平, 综合反映区域政策、规划等因素对于建设用地的影响^[27]。同时, 从数理角度来看, 建设用地规模变化是人口规模与人均用地量变化的综合结果。因此, 分别测算人口规模与人均用地量变化所导致的建设用地规模变化^[14, 25, 36-37]。同时, 4种基于不同视角的测算方法被分别应用于建设用地变化量分解, 以探究研究结果对于方法选择的敏感性^[31-32]。测算过程如下:

方法一:

$$A_{pop} = (Area_{end} - Area_{start}) \times \left(\ln \frac{POP_{end}}{POP_{start}} \right) / \left(\ln \frac{Area_{end}}{Area_{start}} \right) \quad (3)$$

$$A_{bpc} = (Area_{end} - Area_{start}) \times \left(\ln \frac{BPC_{end}}{BPC_{start}} \right) / \left(\ln \frac{Area_{end}}{Area_{start}} \right) \quad (4)$$

式(3)式(4)中, $Area_{start}$ 、 $Area_{end}$ 代表研究期初和期末建设用地面积; POP_{start} 和 POP_{end} 为研究期初和期末常住人口规模; BPC_{start} 和 BPC_{end} 为研究期初和期末各县区人均用地量; A_{pop} 、 A_{bpc} 代表人口规模变化、人均用地量变化所带来的建设用地规模变化量, 两者相加即建设用地净变化量 $(Area_{end} - Area_{start})$;

方法二:

$$A_{pop} = BPC_{start} \times (POP_{end} - POP_{start}) \quad (5)$$

$$A_{bpc} = POP_{end} \times (BPC_{end} - BPC_{start}) \quad (6)$$

方法二假定县区人口规模变化 $(POP_{end} - POP_{start})$ 所带来的建设用地量变化 A_{pop} 取决于研究期初的人均用地量 BPC_{start} ;

方法三:

$$A_{pop} = BPC_{end} \times (POP_{end} - POP_{start}) \quad (7)$$

$$A_{bpc} = POP_{start} \times (BPC_{end} - BPC_{start}) \quad (8)$$

方法三与方法二相反,假定人口规模变化导致的建设用地量 A_{pop} 主要受研究期末的人均用地量影响 BPC_{end} ;

方法四:

$$A_{pop}=f(BPC) \times (POP_{end}-POP_{start}) \quad (9)$$

$$A_{bpc}=f(POP) \times (BPC_{end}-BPC_{start}) \quad (10)$$

方法四假定人口规模变化所带来的建设用地变化量 A_{pop} 受人口规模变化方向的影响,当县区人口规模上升时, $f(BPC)=BPC_{end}$, $f(POP)=POP_{start}$;而县区人口下降时, $f(BPC)=BPC_{start}$, $f(POP)=POP_{end}$ 。

利用4类计算方式分别测算 A_{pop} 、 A_{bpc} ,并在全国和主体功能区尺度汇总 A_{pop} 、 A_{bpc} ,可探索不同空间尺度人口规模变化、人均用地量变化对于建设用地的解释程度。

基于 A_{pop} 和 A_{bpc} 的计算,进一步比较了人口规模或者人均用地量变化所带来的建设用地净变化量与总变化量区别。建设用地净变化量即研究区域 $Area_{end}$ 、 $Area_{start}$ 差值。建设用地总变化量则包括建设用地总增加量与建设用地总减少量。例如,人口规模变化带来的建设用地总增加量是人口增长县区 A_{pop} 总和,人口规模变化带来的建设用地总减少量则是人口减少县区 A_{pop} 总和。人均用地量变化所带来的建设用地总增加与总减少量计算方式与之类似。

2 结果分析

2.1 建设用地强度变化:城市化地区利用强度显著提升

2000年以来,全国建设用地强度总体上升,而农产品主产区利用强度有所下降(图1)。首先,2000—2010年间,全国各县区人均用地量变化率均值为3.47%,该数值于2010—2020年间下降至3.01%,意味着建设用地强度在全国尺度上有所提高。其次,优化开发区、重点开发区、重点生态功能区人均用地量变化率均有所下降,其中优化开发区下降幅度最为显著,2010—2020年间人均建设用地量增速仅为0.45%,这表明优化开发区在引导建设用地高效利用方面发挥一定作用,而农产品主产区人均用地量变化率由3.45%增长至3.78%,利用强度呈现下降趋势。

中部与东北地区的限制开发区建设用地强度均有所下降。首先,中部与东北地区限制开发区人均用地增长率的显著上升意味着该功能区利用强度明显下降,尤其是东北地区农产品主产区与重点生态功能区人均用地增长率分别上升了2.34%与2.14%。其次,西部重点生态功能区与农产品主产区建设用地强度有所提高,人均用地增长率分别下降了1.19%与0.68%,有益于发挥区域生态保育与农业生产功能。最后,除东北外,全国其他区域的城市化地区建设用地强度有所上升。其中,东部地区优化开发区建设用地强度上升最为明显,表现为人均用地变化率下降幅度达2.01%。东北地区重点开发区人均用地变化率涨

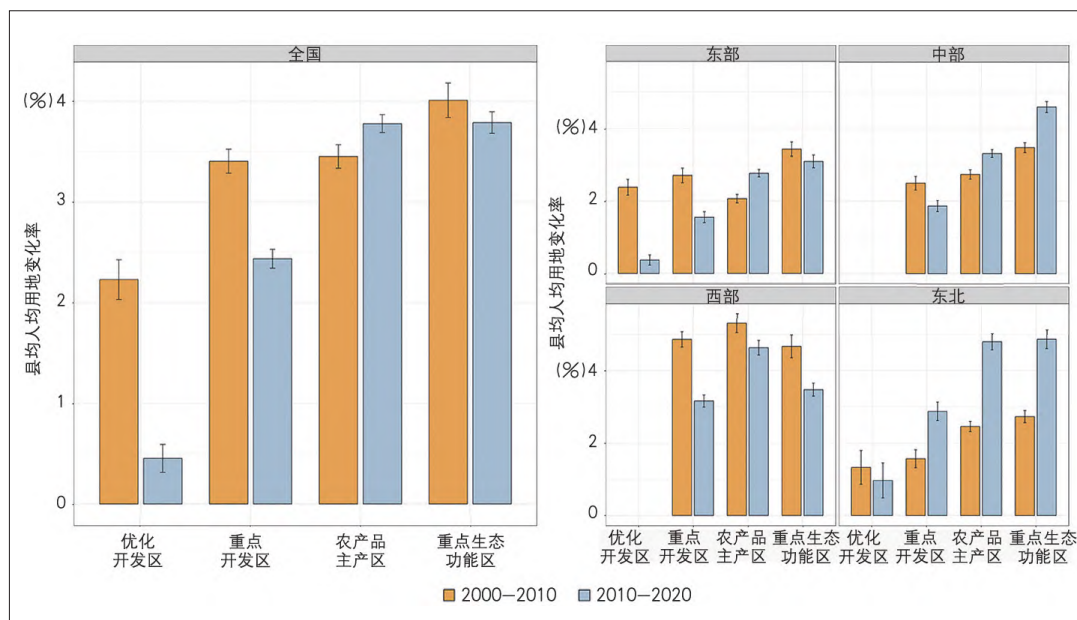


图1 主体功能区建设用地强度的区域差异

Fig.1 Regional differences in development land intensity among main functional zones

注:误差棒为各主体功能区人均用地变化率均值的标准误。

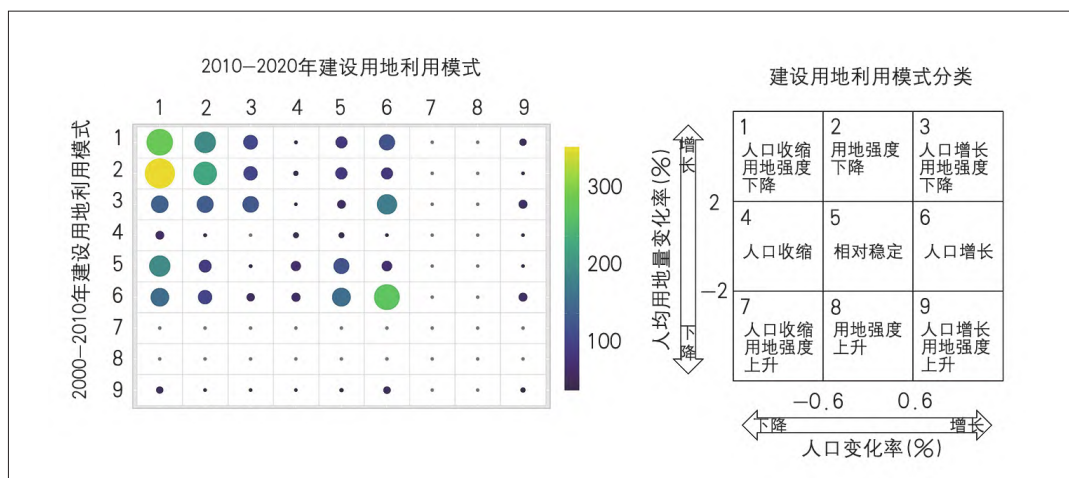


图2 中国建设用地利用模式转移矩阵

Fig.2 The conversion matrix of development land use pattern in China

注：左图中圆圈颜色和大小代表发生各种建设用地利用模式转变的县区数量。

幅最高，为1.31%，利用强度下降趋势明显。

2.2 建设用地利用模式：城市化地区与限制开发区的差异化表现

全国建设用地利用模式主要表现为“人口收缩—用地强度下降”“用地强度下降”“人口增长”等类型(图2)。第一，“人口收缩—用地强度下降”是全国最主要的建设用地利用模式，其占比由21.82%上升至34.12%。第二，“用地强度下降”“人口增长”模式在2000—2010年间占比分别为23.75%与21.12%，2010—2020年间分别下降了3.90%与1.72%，其中“用地强度下降”模式下27.43%的县区转变为“人口收缩—用地强度下降”，而“人口增长”模式下24.82%的县区转变为“人口增长—用地强度下降”。第三，“人口增长—用地强度上升”虽然整体占比较小，2000—2010年间仅为1.83%，但是2010—2020年间该占比上升至2.88%，“人口增长—用地强度下降”“人口增长”模式下各有25个县区转变为该模式。

限制开发区与城市化地区建设用地利用模式呈现差异化演变(图3)。首先，农产品主产区与重点生态功能区占比最高的建设用地利用模式均由“用地强度下降”转变为“人口收缩—用地强度下降”，而优化开发区与重点开发区占比最高的利用模式则始终为“人口增长”。其次，优化开发区“人口增长”模式的县区占比由2000—2010年间的31.37%上升至2010—2020年间的46.67%，该占比上升主要源自2010—2020年间44个原属于“人口增长—用地强度下降”模式的县区转变为“人口增长”模式。最后，2000—2010年间农产品主产区与重点生态功能区“人口收缩—用地强度下降”模式占比分别为24.84%与21.54%，

2010—2020年间该模式占比分别增长了21.80%与22.71%，其中农产品主产区新增的“人口收缩—用地强度下降”县区主要来自于“相对稳定”“人口增长”等模式，而重点生态功能区则主要来自于“用地强度下降”“人口增长—用地强度下降”模式。

全国超六成县区建设用地利用模式有所变化，建设用地利用模式演变呈现典型的区域异质性(图4)。各县区人口变化率、人均用地量变化率的演变趋势和规模随时间有所变化，全国68.90%县区建设用地利用模式发生变化。从利用模式的空间分布来看：第一，2000—2010年间，广东、福建、天津、河北等省份建设用地利用模式主要为“人口增长—用地强度下降”“人口增长”等类型，而贵州等地主要为“人口收缩”“人口收缩—用地强度下降”等类型。第二，2010—2020年间，西部地区主要模式仍为“人口增长”，但是东北三省、河北、山西等地区建设用地利用模式发生较大转变。例如，东北地区较多县区由“人口增长”“人口增长—用地强度下降”等模式转变为“人口收缩”“人口收缩—用地低强度下降”等模式；长江三角洲地区整体上“人口增长—用地强度下降”占比有所下降，“人口增长—用地强度上升”“人口增长”占比有所上升(图4)。

2.3 建设用地变化归因：用地强度下降主导建设用地扩张

建设用地强度下降是建设用地规模变化的主要原因。从全国尺度来看，建设用地强度下降(人均用地量上升)对于建设用地扩张的解释程度有所增强(图5)。2000—2010年间，人均用地量的上升可解释88.18%的建设用地扩张，这一比

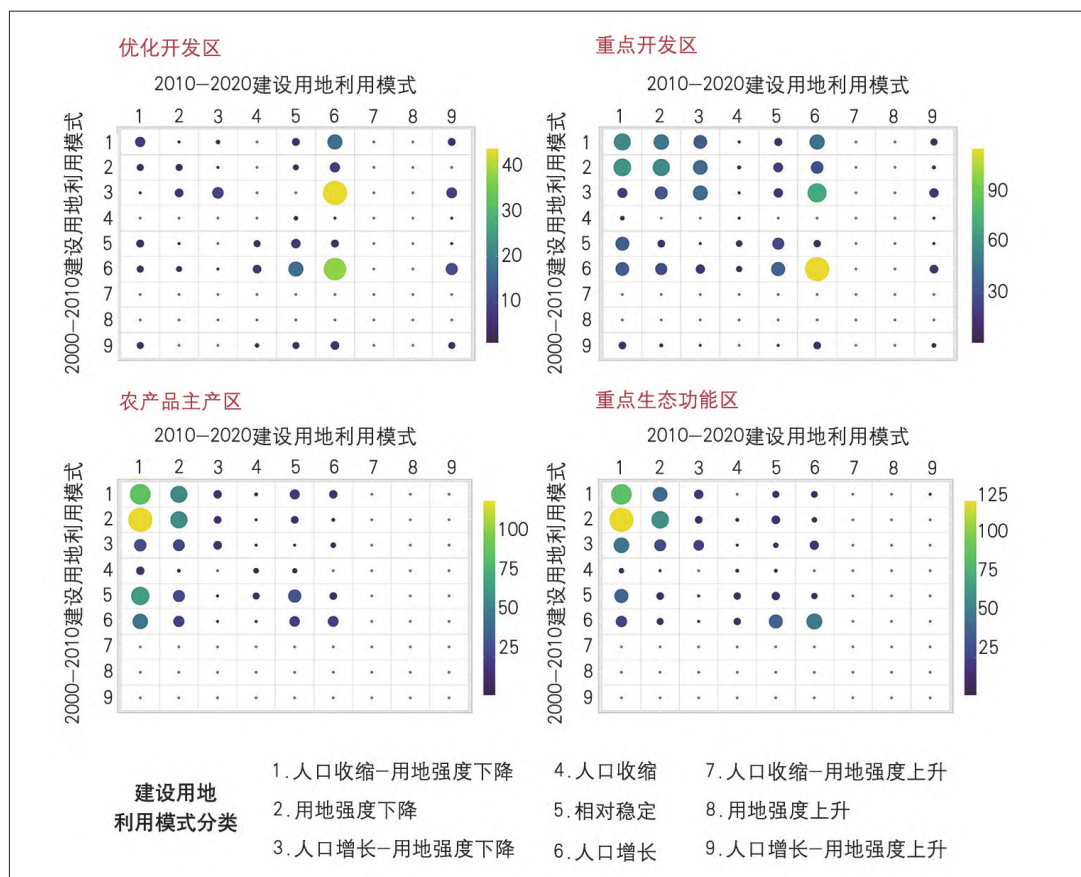


图3 主体功能区建设用地利用模式转移矩阵
Fig.3 The conversion matrix of development land use pattern in main functional zones
注：图中圆圈颜色和大小代表发生各种建设用地利用模式转变的县区数量。

例于2010—2020年间上升至94.81%。对比不同主体功能区可发现：第一，农产品主产区人均用地量变化对于全国建设用地扩张的解释度增加，增幅达14.46%；第二，重点开发区和重点生态功能区2010—2020年间人均用地量变化分别解释全国27.08%、19.72%的建设用地扩张；第三，优化开发区与重点开发区人均用地量变化对于建设用地扩张的解释程度呈现下降趋势，解释度分别下降了11.04%和3.6%；第四，人口规模变化对于建设用地扩张的影响在不同主体功能区之间差异明显，优化开发区、重点开发区人口规模变化对于建设用地扩张的解释度有所上升，农产品主产区、重点生态功能区则有所下降。

进一步对比不同尺度建设用地总变化量与净变化量差异。首先，全国人口规模变动带来的建设用地总变化量与净变化量差异较大，并且随时间有所增加(图6)。其次，优化开发区人均用地量变化带来的建设用地总变化量远大于净变化，2010—2020年间，优化开发区人均用地量变化所产生的建设用地净变化量为1301.26km²，但是优化开发区人均建设用地量变化所产生的建设用地总增加量和总减少量分别为4002.99km²和

2701.73km²。再次，重点开发区建设用地总变化量和净变化的差异则主要源自于人口规模变化，2010—2020年间，重点开发区人口规模变化所导致的建设用地净变化量为4935.96km²，而其总增长和总减少量分别为8566.84km²与3630.88km²。与城市化地区相反，限制开发区人口规模、人均用地量变化所导致建设用地总变化量与净变化量差别不大。

3 讨论与结论

3.1 讨论

本文从利用强度视角切入，探究主体功能分区对于建设用地利用的影响，有效补充了主体功能区的政策效应研究。首先，优化开发区、重点开发区在主体功能区规划实施后，建设用地强度明显提升，与该主体功能区对国土空间开发的要求相契合。而农产品主产区作为提供农产品的重要功能区，其人均建设用地量有所上升，建设用地利用强度持续下降，建设用地持续扩张，加剧了建设用地与耕地之间的矛盾，限制其有效发挥农业生产的主导功能。其次，本文基于人口变化

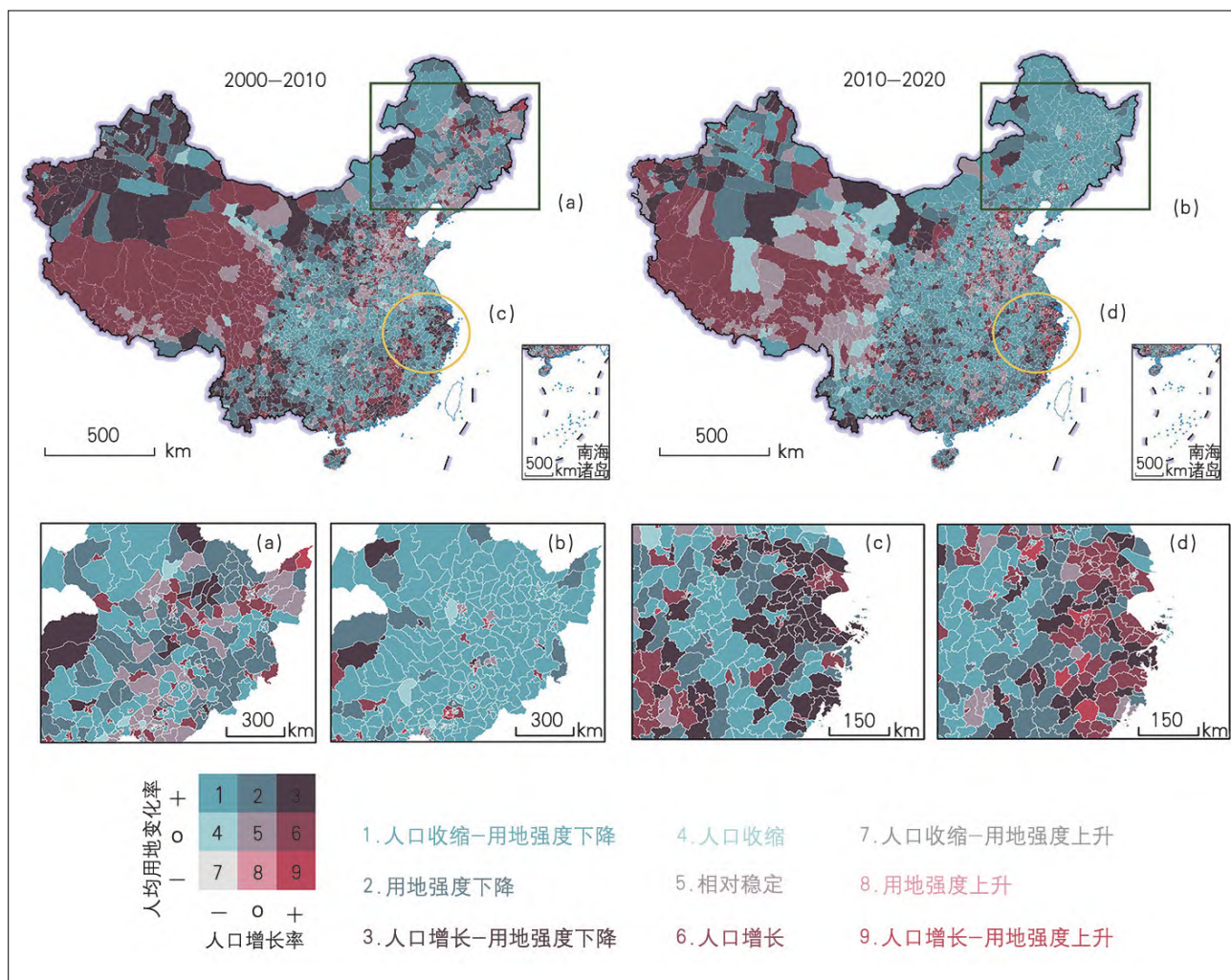


图4 中国2000—2010、2010—2020年建设用地利用模式识别

Fig.4 Identification of development land use pattern in China during 2000-2010 and 2010-2020

资料来源：本图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1823的标准地图制作，底图无修改。台湾等地无数据。

率与建设用地强度变化，识别了不同主体功能区的利用模式差异与模式转变规律，进一步证明了城市化地区在引导建设用地高强度利用方面的积极作用。再次，虽然已有研究从全球尺度对建设用地利用模式进行了探索^[31]，但是本研究以中国为研究区，模式识别过程阈值选择更贴合中国国情，更能精细刻画中国建设用地的利用模式演变。同时，研究利用了第七次人口普查数据，充分考虑中国人口变化最新趋势，更准确地评价了主体功能区政策对近期建设用地强度的影响。

对比研究发现，建设用地强度下降不仅仅是中国，同时也是欧洲、美洲、南半球城市扩张的主要驱动力^[11, 25, 38]。建设用地快速扩张地区应通过提升集约利用水平，控制低强度建设开发对生态环境造成的负面影响，推动区域可持续发展。就限制开发区而言，2000—2020年间持续的建设用地利用强度下降与地区空间主导功能并不吻合，制约了其空间主导功能的发挥。限制开发

区应紧抓乡村振兴、产业结构转型等战略背景，改变以资源投入为核心的经济发展方式，避免建设用地的闲置浪费和无序扩张。限制开发区是国家生态功能维持、农产品保障的重要基础，应充分考虑城乡增减挂钩、全域土地综合整治等手段，盘活低效存量建设用地，提升土地集约利用水平，减少土地浪费，强化主体功能引导作用。

建设用地高强度利用与气候变化、能源消耗、居民健康之间的关联需要进一步探讨。虽然建设用地高强度利用可以控制建设用地无序蔓延，缓解建设用地与耕地保护、生态保护之间的冲突，但是部分研究指出，建设用地高强度利用对于城市热岛、能源消耗有促进作用^[39-40]，对于居民健康存在负面影响^[41]。因此，过度追求建设用地强度的提升存在较高的社会成本，需要谨慎处理强度提升收益与成本之间的权衡关系。研究表明，中国城市化地区过去10年土地利用强度管控卓有成效。考虑到未来人口仍将进一步向城市

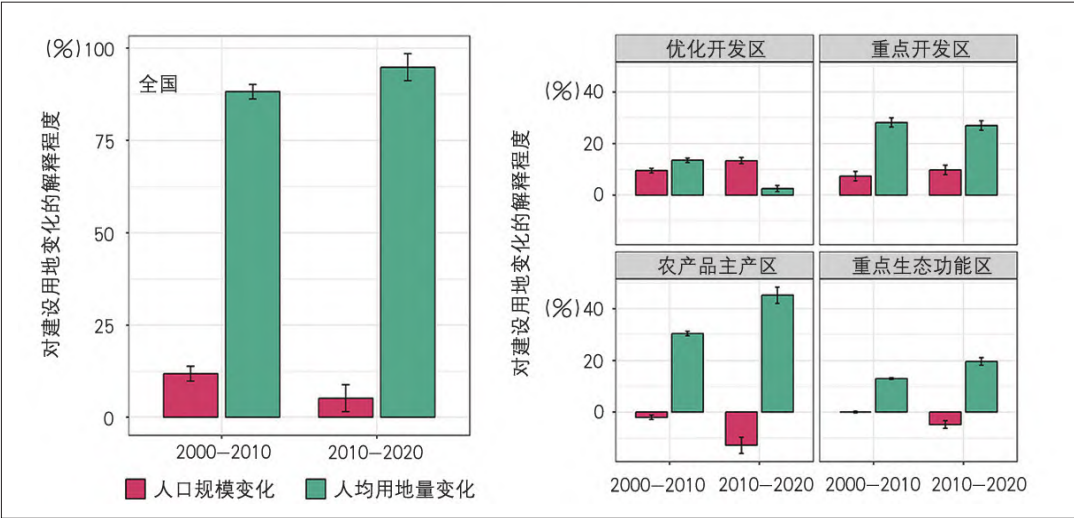


图5 人口规模变化、人均用地量变化对于建设用地变化的解释程度
 Fig.5 The effect of change in population size and land use per capita on change in development land
 注：误差棒为人口规模、人均用地量变化对于建设用地扩张解释程度的标准误差。

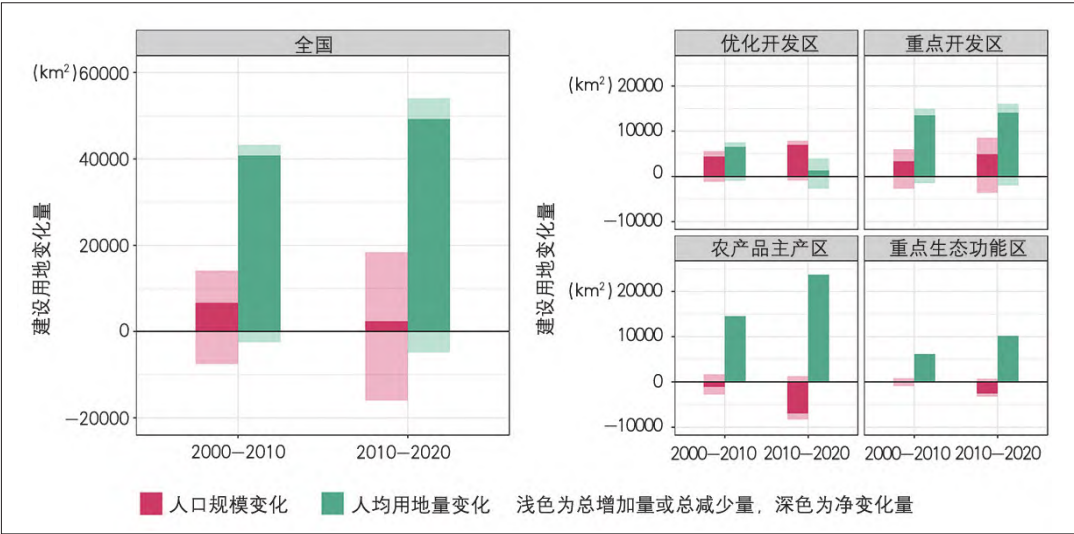


图6 人口规模变化、人均用地量变化所导致的建设用地总变化量与净变化量
 Fig.6 Gross and net changes of development land due to change of population size and land use per capita
 注：本图展示了方式一计算结果。方式二、方式三、方式四结论一致，为控制篇幅不做具体展示。

化地区集聚，建设用地需求仍处于上升趋势，城市化地区需要进一步加强建设用地强度管控，有效利用城市更新等手段，提升存量用地再开发力度^[42]。同时，对于目前利用强度过高的区域应通过合理的规划、管控等政策手段，优化用地布局，增加绿地、广场等开敞空间，推动绿色城市、健康城市、可持续城市建设。

本文存在一定的局限性。选择人均建设用地量作为建设用地强度衡量指标，评估结果可能无法全面反映建设利用强度的多维内涵。但考虑到研究区空间尺度较大，人均建设用地量作为大尺度研究中常见的利用强度评估指标，评估结果相对可靠。伴随着遥感、大数据、云计算等技术不断进步，未来研究可从建设用地投入、产出等维

度出发，充分利用建筑高度、容积率，耗电量等多元大数据，更为全面刻画建设用地强度的复杂内涵^[25, 43]。

3.2 结论

本文基于多轮人口普查与长时序建设用地遥感数据，探究全国县区尺度建设用地强度变化，识别不同主体功能区建设用地利用模式与空间演变特征，并分析人口规模与用地强度对建设用地规模变化的解释度。研究表明：第一，城市化地区与限制开发区建设用地强度变化呈现差异化特征，较大比例限制开发区建设用地强度的下降伴随着人口规模的下降，而部分城市化地区建设用地强度上升伴随着人口的上升；第二，利用强度

下降是建设用地扩张的主要动力,用地强度下降对于建设用地扩张的解释程度随时间有所上升,尤其体现在限制开发区中;第三,主体功能区战略后续实施过程中,需充分考虑区域建设用地强度变化规律,积极引导土地利用与主体功能相协调,同时未来研究中应积极探索应用新技术、新数据,助力主体功能区战略、国土空间规划及相关政策的效应评估。

参考文献(References)

- [1] XIAO W, CHEN W, YUE W, et al. Waterbody Loss Due to Urban Expansion of Large Chinese Cities in Last Three Decades[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1):17498.
- [2] 岳文泽, 夏皓轩, 吴桐, 等. 浙江省生境质量时空演变与生态红线评估[J]. 生态学报, 2022, 42(15): 1-12.
YUE Wenze, XIA Haoxuan, WU Tong, et al. Spatio-Temporal Evolution of Habitat Quality and Ecologic Red Line Assessment in Zhejiang Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(15):1-12.
- [3] 张街春, 胡国华, 单卓然, 等. 中国城市区域治理的尺度重构与尺度政治[J]. 地理科学, 2021, 41(1): 100-108.
ZHANG Xianchun, HU Guohua, SHAN Zhuoran, et al. Rescaling and Politics of Scale in China's City-Regional Governance[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(1):100-108.
- [4] 张街春, 唐承辉, 许顺才, 等. 中国城市群空间规划的历史演化与空间逻辑——基于新国家空间视角[J]. 城市规划, 2021, 45(5): 21-29.
ZHANG Xianchun, TANG Chenghui, XU Shuncai, et al. Historical Evolution and Spatial Logic of Spatial Planning of Urban Agglomerations in China: From the Perspective of New State Space[J]. City Planning Review, 2021, 45(5):21-29.
- [5] 樊杰. 中国主体功能区划方案[J]. 地理学报, 2015, 70(2): 186-201.
FAN Jie. Draft of Major Function Oriented Zoning of China[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(2):186-201.
- [6] 吴桐, 岳文泽, 夏皓轩, 等. 国土空间规划视域下主体功能区战略优化[J]. 经济地理, 2022, 42(2): 11-17, 73.
WU Tong, YUE Wenze, XIA Haoxuan, et al. Optimization of Major Function Zoning Strategy from the Perspective of Territorial Spatial Planning[J]. Economic Geography, 2022, 42(2): 11-17, 73.
- [7] 刘纪远, 刘文超, 匡文慧, 等. 基于主体功能区规划的中国城乡建设用地扩张时空特征遥感分析[J]. 地理学报, 2016, 71(3): 355-369.
LIU Jiyuan, LIU Wenchao, KUANG Wenhui, et al. Remote Sensing-Based Analysis of the Spatiotemporal Characteristics of Built-Up Area Across China Based on the Plan for Major Function-Oriented Zones[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(3): 355-369.
- [8] ERB K, HABERL H, JEPSEN M R, et al. A Conceptual Framework for Analysing and Measuring Land-Use Intensity[J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2013, 5(5):464-470.
- [9] KUEMMERLE T, ERB K, MEYFROIDT P, et al. Challenges and Opportunities in Mapping Land Use Intensity Globally[J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2013, 5(5):484-493.
- [10] 刘芳, 闫慧敏, 刘纪远, 等. 21世纪初中国土地利用强度的空间分布格局[J]. 地理学报, 2016, 71(7): 1130-1143.
LIU Fang, YAN Huimin, LIU Jiyuan, et al. Spatial Pattern of Land Use Intensity in China in 2000[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(7):1130-1143.
- [11] MAHTTA R, MAHENDRA A, SETO K C. Building Up or Spreading Out? Typologies of Urban Growth Across 478 Cities of 1 Million+[J]. Environmental Research Letters, 2019, 14(12):124077.
- [12] ANGEL S, PARENT J, CIVCO D L, et al. The Dimensions of Global Urban Expansion: Estimates and Projections for All Countries, 2000-2050[J]. Progress in Planning, 2011, 75(2):53-107.
- [13] XU G, ZHOU Z, JIAO L, et al. Compact Urban Form and Expansion Pattern Slow Down the Decline in Urban Densities: A Global Perspective[J]. Land Use Policy, 2020, 94:104563.
- [14] WANG Y, Van VLIET J, PU L, et al. Modeling Different Urban Change Trajectories and Their Trade-Offs with Food Production in Jiangsu Province, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2019, 77:101355.
- [15] 樊杰. 我国主体功能区划的科学基础[J]. 地理学报, 2007(4): 339-350.
FAN Jie. The Scientific Foundation of Major Function Oriented Zoning in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2007(4):339-350.
- [16] 黄征学, 潘彪. 主体功能区规划实施进展、问题及建议[J]. 中国国土资源经济, 2020, 33(4): 4-9.
HUANG Zhengxue, PAN Biao. Progress, Problems and Suggestions on the Implementation of Main Functional Area Planning[J]. Natural Resource Economics of China, 2020, 33(4):4-9.
- [17] 樊杰, 周侃. 以“三区三线”深化落实主体功能区战略的理论思考与路径探索[J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 1-9.
FAN Jie, ZHOU Kan. Theoretical Thinking and Approach Exploration on Deepening the Implementation of Major Function Zoning Strategy with “Three-Zones and Three-Lines” [J]. China Land Science, 2021, 35(9):1-9.
- [18] 解永庆, 张婷, 曾鹏. 省级国土空间规划中主体功能区细化方法初探[J]. 城市规划, 2021, 45(4): 9-15.
XIE Yongqing, ZHANG Ting, ZENG Peng. Research on Subdivision Method of Main Functional Area in Provincial Territorial Planning[J]. City Planning Review, 2021, 45(4):9-15.
- [19] HE Z, LING Y, FÜRST C, et al. Does Zoning Contain Built-Up Land Expansion? Causal Evidence from Zhangzhou City, China[J]. Landscape and Urban Planning, 2022, 220:104339.

- [20] HE Z, ZHAO C, FÜRST C, et al. Closer to Causality: How Effective Is Spatial Planning in Governing Built-Up Land Expansion in Fujian Province, China?[J]. *Land Use Policy*, 2021, 108:105562.
- [21] NIE X, LU B, CHEN Z, et al. Increase or Decrease? Integrating the CLUMondo and InVEST Models to Assess the Impact of the Implementation of the Major Function Oriented Zone Planning on Carbon Storage[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 118:106708.
- [22] NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4) [DB/OL]. [2022-6-30]. <https://doi.org/10.7927/H4JW8BX5>, 2018.
- [23] 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.
- [24] SETO K C, FRAGKIAS M, GÜNERALP B, et al. A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion[J]. *PloS One*, 2011, 6(8): e23777.
- [25] Van VLIET J, VERBURG P H, GR DINARU R, et al. Beyond the Urban-Rural Dichotomy: Towards a More Nuanced Analysis of Changes in Built-Up Land[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2019, 74: 41-49.
- [26] 孙菲菲, 张增祥, 左丽君, 等. 土地利用强度研究进展、瓶颈问题与前景展望[J]. *草业科学*, 2020, 37(7): 1259-1271.
SUN Feifei, ZHANG Zengxiang, ZUO Lijun, et al. Current Bottlenecks and Prospects of the Land Use Intensity[J]. *Pratacultural Science*, 2020, 37(7):1259-1271.
- [27] SCHIAVINA M, MELCHIORRI M, CORBANE C, et al. Built-Up Areas Are Expanding Faster than Population Growth: Regional Patterns and Trajectories in Europe[J]. *Journal of Land Use Science*, 2022:1-18.
- [28] WANG Y, Van VLIET J, DEBONNE N, et al. Settlement Changes After Peak Population: Land System Projections for China Until 2050[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 209:104045.
- [29] HU Q, XIANG M, CHEN D, et al. Global Cropland Intensification Surpassed Expansion Between 2000 and 2010: A Spatio-Temporal Analysis Based on GlobeLand30[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 746:141035.
- [30] LI M, Van VLIET J, KE X, et al. Mapping Settlement Systems in China and Their Change Trajectories Between 1990 and 2010[J]. *Habitat International*, 2019, 94:102069.
- [31] LI M, VERBURG P H, Van VLIET J. Global Trends and Local Variations in Land Take Per Person[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2022, 218:104308.
- [32] YU Q, HU Q, van VLIET J, et al. GlobeLand30 Shows Little Cropland Area Loss but Greater Fragmentation in China[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, 66:37-45.
- [33] FREEDMAN D, DIACONIS P. On the Histogram as a Density Estimator: L2 Theory[J]. *Probability Theory & Related Fields*, 1981, 57(4):453-476.
- [34] YUE W, LIU Y, FAN P. Measuring Urban Sprawl and Its Drivers in Large Chinese Cities: The Case of Hangzhou[J]. *Land Use Policy*, 2013, 31:358-370.
- [35] LIU Y, FAN P, YUE W, et al. Impacts of Land Finance on Urban Sprawl in China: The Case of Chongqing[J]. *Land Use Policy*, 2018, 72:420-432.
- [36] EITELBERG D A, Van VLIET J, DOELRNAN J C, et al. Demand for Biodiversity Protection and Carbon Storage as Drivers of Global Land Change Scenarios[J]. *Global Environmental Change*, 2016, 40:101-111.
- [37] Van ASSELEN S, VERBURG P H. Land Cover Change or Land-Use Intensification: Simulating Land System Change with a Global-Scale Land Change Model[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(12):3648-3667.
- [38] MAHTTA R, FRAGKIAS M, GÜNERALP B, et al. Urban Land Expansion: The Role of Population and Economic Growth for 300+ Cities[J]. *npj Urban Sustainability*, 2022, 2(1):5.
- [39] HUANG X, WANG Y. Investigating the Effects of 3D Urban Morphology on the Surface Urban Heat Island Effect in Urban Functional Zones by Using High-Resolution Remote Sensing Data: A Case Study of Wuhan, Central China[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019, 152:119-131.
- [40] HUANG K, LI X, LIU X, et al. Projecting Global Urban Land Expansion and Heat Island Intensification Through 2050[J]. *Environmental Research Letters*, 2019, 14(11):114037.
- [41] 谢波, 郑依玲, 李志刚, 等. 中国城市高密度居住环境对居民脑卒中的影响——对武汉的实证[J]. *城市规划*, 2021, 45(5): 30-39.
XIE Bo, ZHENG Yiling, LI Zhigang, et al. Influence of Urban High-Density Living Environment on Stroke Risk: A Case Study of Wuhan[J]. *City Planning Review*, 2021, 45(5):30-39.
- [42] 郭旭, 田莉. 产权重构视角下的土地减量规划与实施——以上海新浜镇为例[J]. *城市规划*, 2016, 40(9): 22-31.
GUO Xu, TIAN Li. Land Decremental Planning and Implementation from the Perspective of Property Right Reconfiguration: A Case Study on Xinbang Town, Shanghai[J]. *City Planning Review*, 2016, 40(9):22-31.
- [43] LI M, KOKS E, TAUBENBÖCK H, et al. Continental-Scale Mapping and Analysis of 3D Building Structure[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 245:111859.