

城市扩张对安徽省马鞍山市生境质量的影响

赵铭, 周振宏, 智菲, 杨宗霖, 高超群

(安徽农业大学 林学与园林学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: [目的] 以转型中的资源型城市安徽省马鞍山市为研究对象, 研究城市扩张对该市生境质量的影响, 旨在为实现区域可持续发展提供参考依据。[方法] 利用马鞍山市 2000, 2010 和 2020 年的 Globe Land 30 数据, 采用重心分析和标准差椭圆等技术手段, 对城市用地扩张进行了深入研究, 同时计算了马鞍山市的生境质量。此外, 使用 PLUS 模型模拟不同情景下的土地利用变化, 以分析城市扩张对生境质量变化的影响。[结果] ① 2000—2020 年, 马鞍山市的建设用地和水域面积显著增加, 其他各类用地面积则有所减小。② 2000—2020 年, 马鞍山市生境质量整体上显露出衰退的迹象, 尤其是中部平原生境质量较低, 东西部则相对较好。马鞍山市生境质量的分布特征与土地利用类型和人类活动强度密切相关。③ 在自然发展、城镇发展和生态保护 3 种情景下, 研究区的生境质量指数分别为 0.448, 0.451, 0.459。显示出在所有情景下生境质量均有所退化。[结论] 城市扩张造成马鞍山市的生境质量下降。生态保护情景下生境质量指数最高, 是最佳的发展趋势。

关键词: 土地利用变化; PLUS 模型; 多情景模拟; 安徽省马鞍山市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)06-0288-10

中图分类号: X171.1, F291

文献参数: 赵铭, 周振宏, 智菲, 等. 城市扩张对安徽省马鞍山市生境质量的影响[J]. 水土保持通报, 2024, 44(6): 288-297. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20241104.001; Zhao Ming, Zhou Zhenhong, Zhi Fei, et al. Influence of urban expansion on habitat quality in Ma'anshan City of Anhui Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(6): 288-297.

Influence of Urban Expansion on Habitat Quality in Ma'anshan City of Anhui Province

Zhao Ming, Zhou Zhenhong, Zhi Fei, Yang Zonglin, Gao Chaoqun

(College of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

Abstract: [Objective] Taking Ma'anshan City of Anhui Province, a resource-based city in transition, as the research object, the influence of urban expansion on the habitat quality of this city was studied, aiming at providing reference for realizing regional sustainable development. [Methods] Based on the Globe Land30 data in 2000, 2010 and 2020, the urban land expansion was studied by means of center of gravity analysis and standard deviation ellipse, and the habitat quality of Ma'anshan City was calculated. In addition, the PLUS model was used to simulate land use change under different scenarios to analyze the impact of urban expansion on habitat quality change. [Results] ① From 2000 to 2020, the construction land and water areas increased significantly in Ma'anshan City, while the areas of other land types decreased. ② Over the same period, habitat quality in Ma'anshan City showed a downward trend, with lower habitat quality in the central plain and higher quality in the eastern and western regions. These results indicate that the spatial distribution of habitat quality is closely related to topography, land use types, and the intensity of human activities. ③ Under three scenarios—natural development, economic development, and ecological protection—the habitat quality indices for Ma'anshan City were 0.448, 0.451, and 0.459, respectively, indicating habitat

收稿日期: 2024-08-07

修回日期: 2024-09-29

资助项目: 国家自然科学基金青年科学资助项目“基于结构—生态功能耦合关系的城镇绿色空间构建研究: 以合肥市为例”(41301650)

第一作者: 赵铭(1999—), 女(汉族), 山东省枣庄市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用碳排放。Email: zmaixuexi@stu.ahau.edu.cn.

通信作者: 周振宏(1979—), 男(汉族), 安徽省望江县人, 硕士, 讲师, 主要从事城乡规划、土地利用/覆盖变化和景观可持续研究。Email: zhouzhenhong@ahau.edu.cn.

quality degradation in all scenarios. [Conclusion] Urban expansion has led to a decline in habitat quality in Ma'anshan City. The ecological protection scenario yielded the highest habitat quality index, suggesting it is the most favorable development trend.

Keywords: land use change; PLUS model; multi-scenario simulation; Ma'anshan City, Anhui Province

土地利用是自然生态系统与人类活动相互作用的产物。它反映了一个地区生态环境中自然条件、社会经济因素以及政策导向的相互影响^[1]。随着城市发展和工业技术进步,城市扩张和土地利用结构发生了转变。这一过程加速了建设用地对周边生态用地的侵占,进而引发生态用地面积的缩减和生态空间的破碎化,导致生境质量下降。这些变化不仅对生态环境造成了破坏,还引发资源短缺问题,对人类的持续发展构成了潜在威胁^[2]。因此,深入了解当前以及未来的城市扩张趋势和生境质量变化,对城市的可持续发展至关重要。

生境质量作为生态系统提供适宜生存条件的能力,对保障区域生态安全和推动可持续发展至关重要^[3]。生境质量评价通常分为两大类:基于指标体系的评价和模型评价。指标体系评价侧重于选择生态影响因子,但可能忽视了如威胁源等因素。但随着计算机技术和 ArcGIS 技术的发展,模型评价法变得日益流行。例如,SoIVES^[4],InVSET^[5]和 HSI^[6]等模型已被用于评估生境质量,而 InVEST 模型由美国自然资本项目组开发,因其在评估精度和数据处理方面的优势而广受青睐,它通过综合分析生境斑块在特定基质中面临的威胁来评估区域生境质量^[7-8]。能够实现生态系统服务的量化评估并能够实现空间上的可视化。在预测土地在未来的空间分布情况中,研究者们现在能够构建更为精细的土地利用变化预测模型,主要应用的预测模型包括 CA-Markov,CLUE-S,FLUS 等。如 Darvishi A. 等^[9]通过应用 CA-Markov 模型对伊朗东北部大都市区的未来土地利用变化进行模拟,并对其景观生态风险进行了评估,研究发现土地利用的转变可能会引起生态功能的退化;杨阳等^[10]通过结合 Markov 模型和 CLUE-S 模型,对 2021 年海坛岛在不同情景下的土地利用的空间分布及其景观生态风险进行了模拟研究,为理解土地利用变化对生态环境的影响提供了新的视角;李玮麒等^[11]利用广州市的历史土地利用数据,采用 FLUS 模型并考虑空间发展的限制条件,对广州市进行了多情景的土地利用模拟。目前 PLUS 模型则因其在模拟精度和多地类综合模拟方面的优势而成为最新选择。PLUS-InVEST 耦合模型特别在生境质量评估^[12-13]、城市碳储量的时空演变预测^[14-15],以及土地

利用多情景模拟^[16-17]等领域显示出广泛的应用潜力,为城市规划和生态保护提供了强有力的工具。然而,目前大部分研究集中于土地利用变化与生境质量之间的关系,鲜有研究将视角关注在城市扩张对生境质量的影响及对于通过情景模拟来发展城市不同的发展方向,并以此提出对于未来的优化建议。

鉴于此,本研究选取安徽省马鞍山市作为研究区域,基于 2000—2020 年的土地利用数据,采用 PLUS 模型进行土地利用变化的预测。本研究旨在通过耦合 InVEST 模型与 PLUS 模型,预测 2030 年在自然演变、城镇发展和生态保护 3 种不同发展情景下的城市发展格局和生境质量状况。利用重心和标准差椭圆对城市用地扩张进行研究;探究城市扩张对生境质量的影响,为马鞍山市探索生态保护红线等政策调整提供重要的参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

马鞍山市作为安徽省东部城市介于 $31^{\circ}17'26''$ — $32^{\circ}03'39''N$ 与 $117^{\circ}53'15''$ — $118^{\circ}52'44''E$ 之间^[18],土地面积约 $4\ 049\ km^2$ 。马鞍山市地理位置优越,扼守安徽东大门,西北与合肥市交界,东与南京市为邻,东北方向与滁州市交界,位处多个城市群。该区地形情况见图 1。

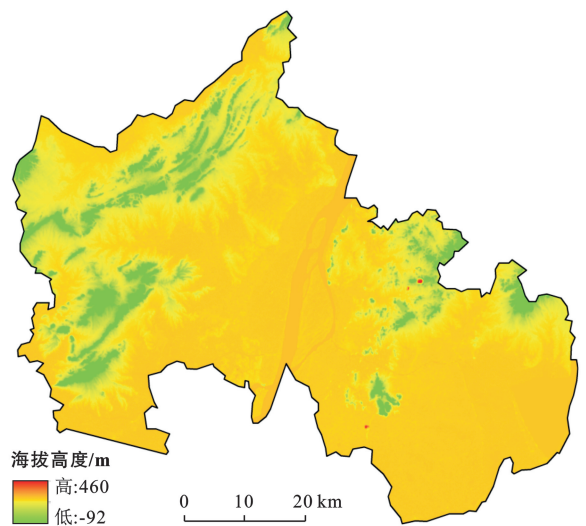


图 1 安徽省马鞍山市地形图

Fig.1 Topographic map of Ma'anshan City in Anhui Province

马鞍山市耕地主要分布在“三县”地区,市辖区多为建设用地和居民点及工矿用地。随着部分矿场的枯竭,粗放型的发展方式已导致山体裸露、滑坡等问题^[18]。提升马鞍山市土地利用的效率和质量,推进生态文明建设,以及在城市发展中平衡土地利用与生态保护的需求,是当前亟需关注和解决的关键问题。

表 1 安徽省马鞍山市相关数据来源

Table 1 Relevant data sources of Ma'anshan City in Anhui Province

数据种类	数据名称	数据来源
基础数据	土地利用数据	中国科学院资源环境与数据中心(http://www.resdc.cn/DOI)
	DEM 高程数据	地理空间数据云网站(http://www.gscloud.cn/)
	坡度	通过高程计算所得
自然因素	年均降雨量	中国科学院资源环境与数据中心(http://www.resdc.cn/DOI)
	年均气温土壤	中国科学院资源环境与数据中心(http://www.resdc.cn/DOI)
社会因素	人口密度	OSM 数据集(https://www.openstreetmap.org)
	GDP	
区域可达性因素	距铁路距离	全国地理信息资源目录服务系统(https://www.webmap.cn)
	距道路距离	

2 研究方法

2.1 土地利用变化分析

土地利用的动态度是衡量某一研究区域内某种土地利用类型在一定时间段内数量变化的指标,它能够反映出土地利用变化的速率和范围^[19]。

$$K = \frac{U_2 - U_1}{U_1 T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 代表研究期间内某种地类的动态度; U_1 表示研究起始时该地类的总面积; U_2 表示研究期末该地类的总面积; T 表示研究期的时间跨度; K 的绝对值较小意味着变化速度较慢,而较大则表示变化速度较快。

2.2 基于 InVEST 模型的生境质量计算

采用 InVEST 模型的生境质量模块,对马鞍山市 2000—2020 间生境质量时空演变特征进行评估。在该模型中,生境质量指数取值为 $[0, 1]$,值越接近 1 证明生境质量越好^[20],生物多样性越丰富,受人类干扰的程度越低。

InVEST 模型通过分析区域内的土地利用变化,结合威胁因子和生态敏感性,得到生境质量的空间分布特征。生境质量计算公式为:

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

式中: Q_{xj} 为某一栅格单元的生境质量指数; H_j 为生境适宜度; k 为半饱和和常数,其数值为最大退化度的

1.2 数据来源

本文所使用的国民生产总值(GDP)、人口、海拔高度(DEM)、坡度及土地利用等数据来源见表 1。上述数据使用 ArcGIS 软件处理为统一坐标系的 WGS_1984_UTM_Zone_50 N 的 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的栅格文件。

一半; z 为归一化常量,取 0.05。

参考文献[21-22],并结合研究区域的实际状况,最终选择耕地、建设用地、未利用地、公路、铁路、高速作为生境威胁因子,林地、草地、水体作为生境因子;对威胁因子属性(表 2)以及生境对威胁因子的敏感程度进行设定,结果见表 3。

表 2 安徽省马鞍山市生境威胁因子属性

Table 2 Habitat-threatening factor attributes of Ma'anshan City in Anhui Province

威胁因子	最大影响距离/km	权重	空间衰退类型
耕地	6.0	0.5	linear
建设用地	10.0	1.0	exponential
未利用地	1.0	0.2	linear
公路	1.0	0.5	linear
铁路	5.0	0.6	linear
高速	2.5	0.6	linear

2.3 基于 PLUS 模型的土地利用模拟

PLUS 模型是一种以基于土地利用变化的斑块生成模型,本研究应用两大模块,基于土地扩展分析策略(LEAS)的规则挖掘框架,以及基于多类型随机斑块种子(CARS)的 CA 模块^[23]。模型设定如下:

(1) 驱动因子选取与限制性区域的界定。借鉴先前研究及研究区特点,本研究从自然、社会和区域可达性 3 个维度选取了人口密度、年均气温、高程、坡度、土壤、年均降雨量、距不同道路距离(一级、二级、三级)、距高速距离、距铁路距离和 GDP 等 12 个驱动因子。

表3 安徽省马鞍山市生境威胁因子敏感度

Table 3 Habitat-threatening factor sensitivity in Ma'anshan City of Anhui Province

名称	生境适宜度	威胁因子敏感度					
		耕地	建设用地	未利用地	公路	铁路	高速
无数据	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
耕地	0.5	0.0	0.5	0.5	0.2	0.1	0.3
林地	1.0	0.6	1.0	0.2	0.5	0.4	0.6
草地	0.7	0.5	0.7	0.2	0.5	0.3	0.6
水域	0.9	0.8	0.9	0.2	0.5	0.3	0.6
建设用地	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
未利用地	0.1	1.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1

(2) 土地利用模拟的多情景设置。结合马鞍山市及安徽省的相关政策和规划指导,考虑钢铁城市转型,本研究设置了3种土地利用变化发展趋势情景。自然发展情景:允许各类土地自由转换;生态优先情景:降低林地、草地、水体向其他地类的转移概率,提高耕地等向林地、草地、水体的转换概率;耕地保护情景:限制耕地转换,而对其他类型的土地转换不做限制。

(3) 模拟精度的验证。为验证 PLUS 模型对土地利用动态变化的准确性,本文基于 2000 和 2010 年的两期土地利用数据,运用 Markov 链预测方法得到预测 2020 年土地利用类型分布。与现实的 2020 年进行对比。

2.4 城市扩张分析

(1) 重心。量化城市空间演变的一个重要指标就是其重心的转移^[24]。本文依据人口重心的计算规则来计算不同时期城市建设用地的重心位置,其移动规律能够客观明确地反映城市扩张总体格局的位移趋势。公式为:

$$X_i = \frac{\sum A_{ij} + x_{ij}}{\sum A_{ij}}, \quad Y_i = \frac{\sum A_{ij} + y_{ij}}{\sum A_{ij}} \quad (3)$$

式中: X_i 和 Y_i 为第 i 年用地的重心坐标; A_{ij} 为第 i 年第 j 块的图斑面积。

(2) 标准差椭圆。常用于分析地理要素的方向与分布^[25]。本文以面积加权法将城市用地斑块转换为对应几何中心上的点数据,再通过这一方法衡量城市在不同发展阶段扩张用地的主导方向和平均中心。

3 研究结果

3.1 模型模拟精度检验

通过研究区 2020 年土地利用模拟图,与土地利用现状图对比发现(图 2),北部山区和绿洲区模拟结果较好;虽然中部城区和西部山区部分区域有偏差,但各土地利用类型在空间分布上整体一致。在精度验证中,kappa 系数为 0.923,FOM 系数为 0.043 5,表明 PLUS 模型能够较好地反映出马鞍山地区土地利用变化的实际情况。

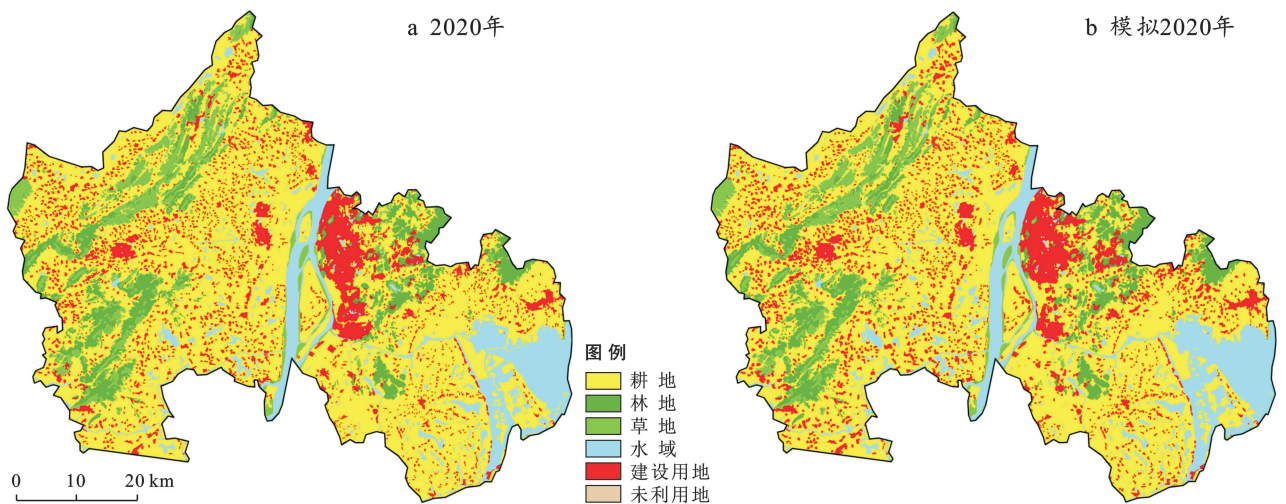


图2 2020年安徽省马鞍山市土地利用现状与模拟对比

Fig.2 Comparison of land use status and simulation in Ma'anshan City of Anhui Province in 2020

3.2 土地利用变化分析

由图3可以看出,2010—2020年期间,马鞍山市

经历了快速的城镇化进程,这一进程显著地改变了土地利用类型的分布。水体面积增加,特别是西部地

区,水域面积的集中度提高,但这种增加是以牺牲部分耕地和草地为代价的。西部和东南部的耕地面积增加,并且土地的破碎化程度得到了改善。草地面积的变化并不显著。随着城市人口的持续增长,中心城区的扩张导致周边的耕地被建设用地所侵占。然而,耕地仍然是马鞍山市的主要土地类型。过去的 10 a 中,随着经济的发展和城市化的推进,马鞍山市的林地资源主要集中分布在西北部的丘陵山地区。

通过公式(1)计算得到土地利用的动态度(见表 4)。由表 4 可以看出,建设用地和水域的变化幅度最

为剧烈,2000—2010 年建设用地动态度为 2.93%,而在 2010 至 2020 年间,这一数值下降至 0.88%,这表明在早期的城市发展阶段,建设用地的扩张是土地利用类型变化主导因素;且在 2010 至 2020 年间出现了 0.10% 的减少量,可能与城市化进程中土地利用的重新分配有关;水域在 2000—2010 期间变化值为 1.15%;耕地、林地和草地动态度变化都呈现下降的趋势。由此可见,与 2010—2020 年相比,马鞍山市在 2000—2010 年耕地、水域、建设用地等用地变化程度增强。

表 4 2010—2020 年安徽省马鞍山市土地利用变化情况及动态度

Table 4 Land use change and dynamics in Ma'anshan City of Anhui Province from 2010 to 2020

土地利用	面积/km ²			土地利用单一动态度/%		
	2000 年	2010 年	2020 年	2000—2010 年	2010—2020 年	2000—2020 年
耕地	2 684.01	2 542.93	2 504.56	-0.53	-0.15	-0.72
林地	406.49	400.19	398.34	-0.16	-0.05	-0.20
草地	212.06	209.50	207.24	-0.12	-0.11	-0.23
水域	389.99	434.90	434.73	1.15	0.00	1.03
建设用地	356.44	460.92	501.71	2.93	0.88	2.90
未利用地	0.65	0.65	0.65	0.03	-0.10	-0.07

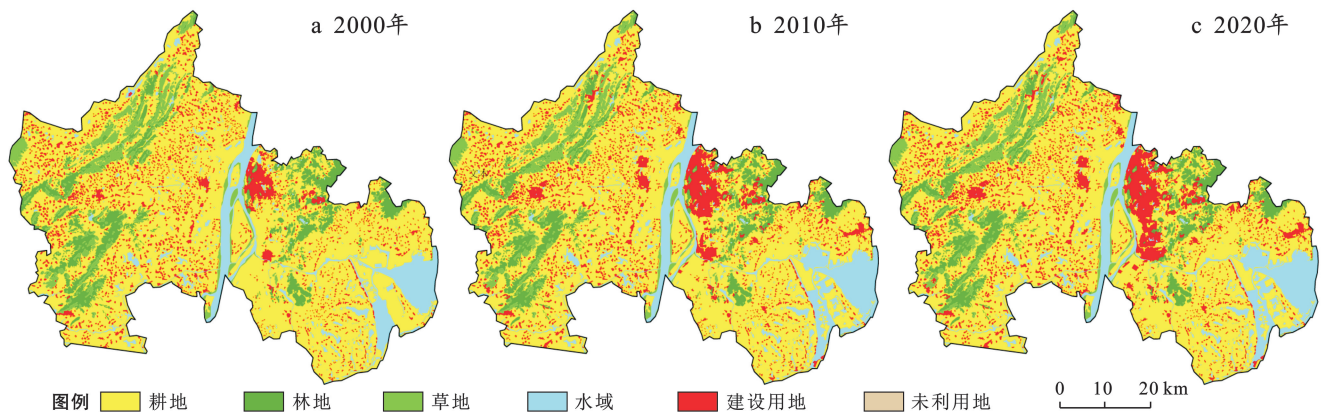


图 3 2000—2020 年安徽省马鞍山市土地利用类型的分布

Fig.3 Distribution of land use types of Ma'anshan City in Anhui Province from 2000 to 2020

3.3 多情景下土地利用模拟结果与分析

根据马鞍山市的发展趋势,本研究运用马尔可夫模型预测了不同的发展情景的土地类型面积的需求,并结合 PLUS 模型进行模拟,结果见图 4,表 5。

3 种情景下的土地利用模拟的差异主要集中于研究区西北部的山区及中部主城区。自然增长情景下,耕地主要转化为建设用地,其次是草地和未利用地向林地和水域的转变。具体表现为耕地较 2020 年减少了 36.77 km²,建设用地在此情景下增加了 39.91 km²,草地和未利用地的面积略有减少,而林地和水域面积则呈现小幅增长。城镇发展情景下,建设用地面积显著扩张,其他土地类型面积均有所下降,其中耕

地的流失最为严重,面积减少了 44.48 km²,草地减少 2.73 km²,其他地类也有轻微的下降,表明城市中心的建设用地已难以满足经济生产和市民生活的需求,开始向郊区扩散,导致耕地和生态用地的严重流失,严重阻碍了城市的可持续发展。在生态保护情景下,建设用地面积增长了 17.25 km²;耕地减少了 16.31 km²;草地和未利用地面积略有减少,而林地和水域面积有所增加。

综合 3 种情景的预测结果,耕地面积均有减少。在自然增长情景下,耕地、林地和未利用地主要转变为建设用地,草地和水域也有所增加;在城镇发展情景下,各类地类主要流向建设用地,耕地和草地流失

面积最为显著。但由于大面积占用耕地林地导致使生态环境恶化在该情景中最为突出;在生态保护情境

下,得益于退耕还林还草政策实施,耕地在所有情景中是最高的,而林地等生态用地得到有效的保护。

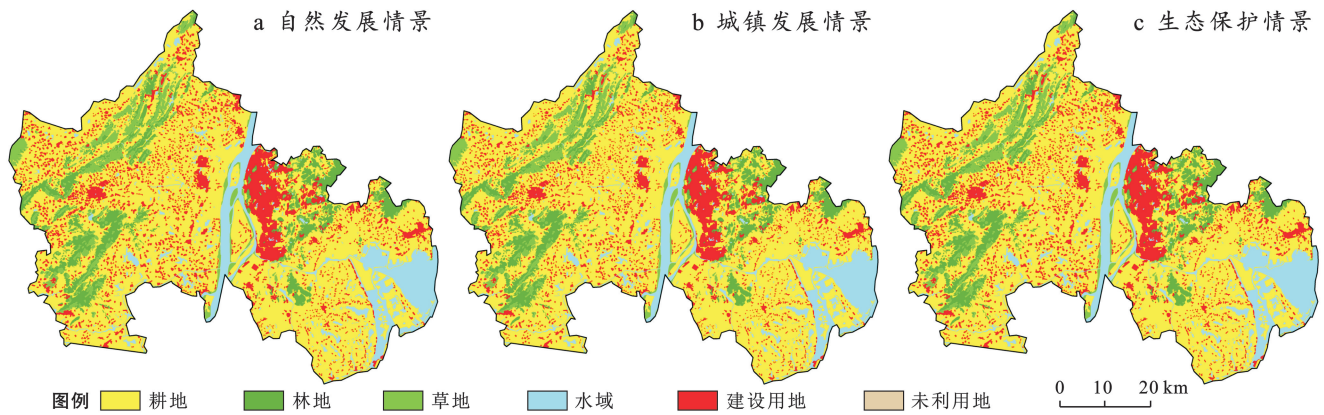


图 4 2030 年安徽省马鞍山市不同情景下土地利用类型分布的预测

Fig.4 Prediction of land use type distribution under different scenarios in Ma'an shan City of Anhui Province in 2030

表 5 安徽省马鞍山市不同情景下的土地利用面积预测
Table 5 Prediction of land use area under different scenarios in Ma'an shan City of Anhui Province

土地利用类型	2020 年面积/hm ²	不同情景 2030 年预测面积/hm ²		
		自然发展	城镇发展	生态保护
耕地	2 506.77	2 470.52	2 462.29	2 490.46
林地	398.80	397.23	396.87	398.42
草地	207.41	205.19	204.68	206.72
水域	435.21	435.34	435.31	435.35
建设用地	502.13	542.04	551.18	519.38
未利用地	0.65	0.65	0.65	0.65

呈现向外扩张的趋势。在城镇发展情景下,标准差椭圆扁率增加,马鞍山市的建设用地呈现向四周扩张的趋势。生态保护情景下,马鞍山市的发展趋势远离东部水域,表明市政府在推进城市发展时更加注重生态保护,对建设用地的限制更加严格,不仅实现生态用地面积适度增加,还确保城市的高质量发展。

表 6 安徽省马鞍山市不同情景下的建设用地标准差椭圆分析
Table 6 Elliptic analysis table of standard deviation of construction land in Ma'an shan City of Anhui Province under different scenarios

年份	椭圆半径/km		方位角/(°)	扁率	
	长轴	短轴			
2000	35.23	20.72	111.54	0.41	
2010	35.55	20.77	112.32	0.42	
2020	35.58	20.87	112.79	0.41	
2030 年	自然发展情景	34.87	19.92	116.02	0.43
	城镇发展情景	35.33	20.66	116.25	0.42
	生态保护情景	35.33	20.30	116.85	0.43

3.4 多情景下城市扩张分析

对马鞍山市 2000,2010,2020 和 2030 年的建设用地进行标准差椭圆(见表 6,图 5)分析可得,2000—2020 年,马鞍山市的建设用地扩张在空间分布上呈现出以“南—西南”为主导的标准椭圆形态,长半轴距离从 35.23 增加到 35.58,短半轴距离从 20.72 到 20.87,

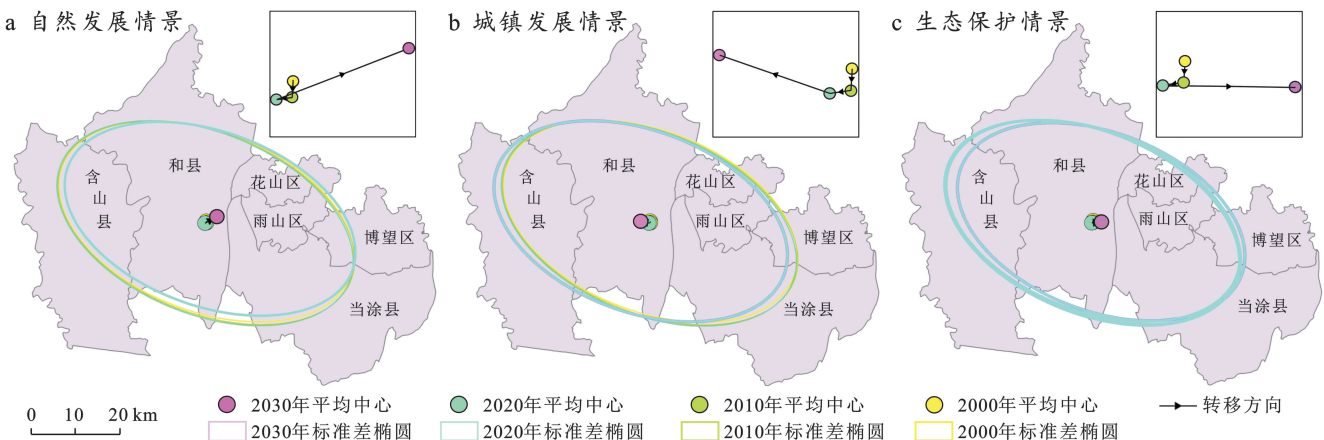


图 5 安徽省马鞍山市多情景下建设用地标准差椭圆分析

Fig.5 Standard deviation ellipse analysis of construction land in Ma'an shan City of Anhui Province under multiple scenarios

3.5 多情景下生境质量分析

基于 InVEST 模型对马鞍山市 2000, 2010 和 2020 年 3 期生境质量数据进行计算, 得到马鞍山市生境质量时空分布结果(图 6), 对马鞍山生境质量指

数用自然断点法划分为 5 个等级: 低 $[0, 0.1]$, 较低 $(0.1, 0.4]$, 中等 $(0.4, 0.6]$, 较高 $(0.6, 0.8]$, 高 $(0.8, 1]$ 。结果表明, 马鞍山市生境质量平均值分别为 0.470, 0.458, 0.453, 呈逐年衰退的趋势。

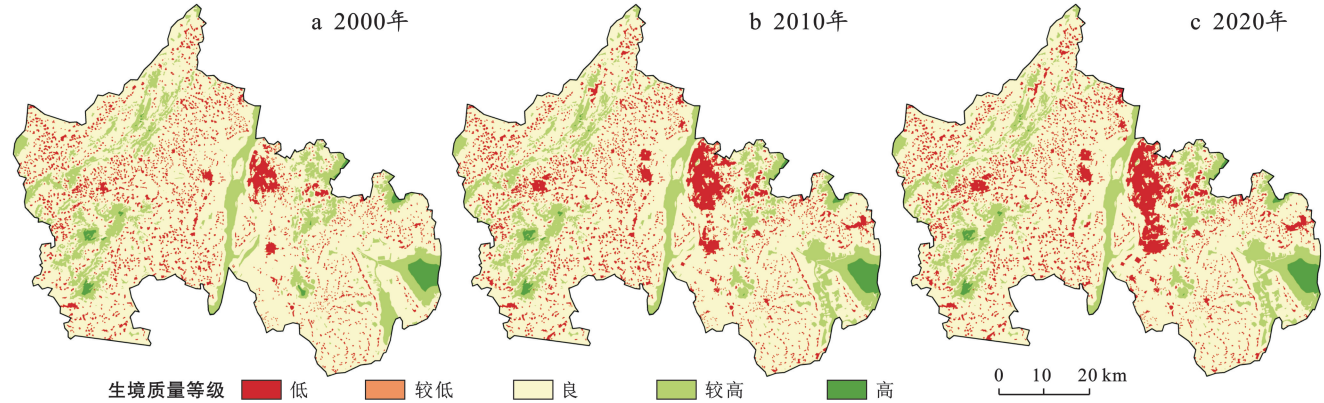


图 6 2000—2020 年安徽省马鞍山市生境质量分布

Fig.6 Distribution of habitat quality in Ma'anshan City of Anhui Province from 2000 to 2020

从空间上看, 低生境质量主要集中在人口密集的城市地区, 这些地区人类活动频繁, 对生态环境造成较大压力; 而较低生境质量主要是未利用地中的裸岩石砾地, 虽然受人类活动影响较小, 但这些地区的自然条件限制了生境质量的提升; 中等生境质量主要发布于耕地; 生境质量较高的地区为太湖、长江沿岸, 以及城市内部河流、湖泊周边; 生境质量高的区域是太

湖、石臼湖等自然水体为代表, 远离人类活动。从时间维度分析, 预计未来 10 a 内马鞍山市区域的生态环境整体呈现下降趋势, 这可能与城市化进程中土地利用变化、生态空间受压等因素有关。

基于 PLUS 和 InVEST 模型对 2030 年马鞍山市不同情境下生境质量进行预测(图 7), 并分析了各情景下生境质量等级的面积变化情况(表 7)。

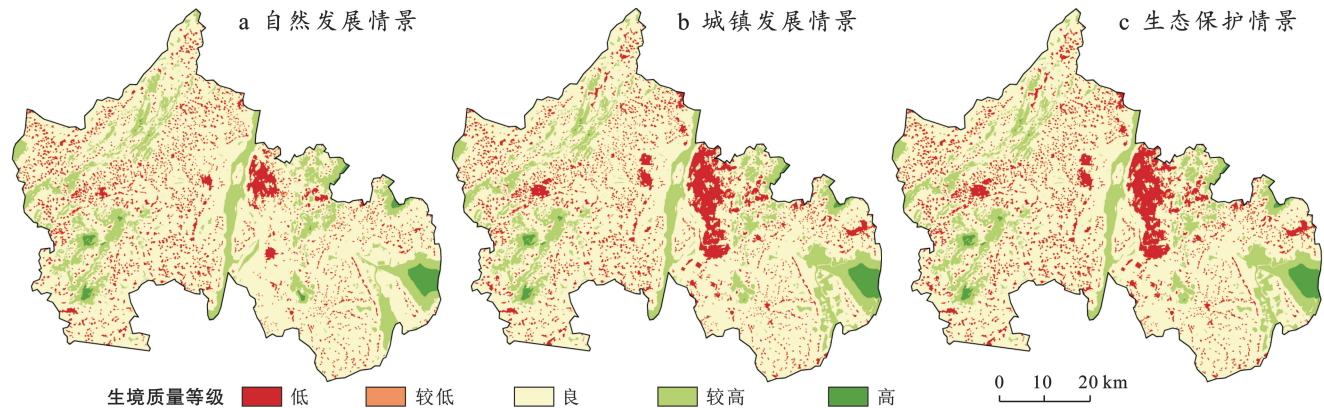


图 7 安徽省马鞍山市多情景下的生境质量分布

Fig.7 Habitat quality distribution of Ma'anshan City in Anhui Province under multiple scenarios

表 7 2030 年不同情景下马鞍山市不同等级生境质量面积及所占比例的预测

Table 7 Prediction of area and proportion of habitat quality of different grades in Ma'anshan City under different scenarios in 2030

生境质量等级	2020 年		2030 年					
	面积/km ²	比例/%	自然		城镇		生态	
			面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
低	502.36	12.41	542.09	13.40	519.25	12.82	480.03	11.85
较低	3.693 6	0.09	3.66	0.09	3.77	0.09	3.57	0.09
一般	2 916.32	72.06	2 889.14	71.40	2 911.04	71.85	2 947.61	72.76
较高	571.85	14.13	559.81	13.83	564.58	13.94	566.93	13.99
高	52.99	1.31	51.99	1.28	52.62	1.30	53.13	1.31

到2030年,自然、城镇、生态保护情景生境质量指数平均值分别为0.448,0.451,0.459,与2020年相比存在部分衰退现象。随着非生境区的不断扩张,到2030年,不同情境下低质量区面积均有显著增加,但低生境区面积的扩张速度逐渐减缓,远低于前2000—2020年的增长速率。在自然发展情景中,生境质量持续恶化,平均值较2020年下降了0.05,生境质量受损速度较前10a逐渐减缓,说明如果以自然状态发展,到2030年马鞍山生境质量会存在持续衰减的趋势,主要表现为低质量区面积增加,其余各等级质量区面积减少,其中低质量区增加 41.73 km^2 ,所占比例增加了1.01%,说明低质量区是构成生境质区进一步恶化的主要来源;城镇发展情景下,生境质量指数平均值为0.451,各生境质量等级变化较2020年主要表现为中等、较高、高质量区面积减少,较低、低质量区增加;生态保护情景下,各生境等级面积变化相比2020年主要表现为,一般质量区增加,其余各质量区减少,其中低质量区面积大幅下降,共转移出 22.33 km^2 ,较其余两个情景由减反增,为绿色发展情景模式下生境质量整体提升提供主要贡献,主要由于耕地向林地转移概率增加,使更多的非生境区转化为生境适宜度较高的地类,是最具生境发展潜力的发展情景。

4 讨论

结合之前的城市扩张分析可得,在城镇发展情景中,相比于其他情景,扁率更小,说明在不加限制的情况下城市会向两边扩张,向着东部水域与西部林地扩张,从生境质量变化也可看出高质量去相比其他情景下降。生态保护情景下建设用地中心向西迁移,低质量区减少,保护了西部的林地。

通过分析土地利用模拟数据与生境质量等级变化对比,本研究发现,2000至2020年间马鞍山市生态质量整体呈现上升趋势,这一发现与张立伟等^[26]对皖江城市带生态环境质量的研究结果相吻合。在自然发展和城镇发展情景模拟中,马鞍山市农业与生态用地面积减少,主要是由于城市建设用地的显著扩张,进而导致生境质量退化,对地区生态的可持续性构成了挑战。然而,在生态保护情景下,得益于退耕还林等政策的实施,生态用地尤其是林地面积的增加,促进了生境质量的恢复。

面对城镇化和经济增长的挑战,城市建设用地的增长趋势不可避免。缺乏合理规划的扩张可能导致资源的低效利用和生态环境的破坏。为引导马鞍山市向现代化迈进,市政府应该增加对科技领域的投

资,加大和服务业的发展,以此作为优化产业结构和促进工业城市转型升级的关键手段。这不仅能够为经济的高质量增长注入新动力,还能为生态环境的保护提供坚实基础。在生态文明建设方面,市政府需采取双轨策略:一方面,通过制定和执行科学的城市规划,确保城市发展与生态保护相协调;另一方面,通过增强生态环境的承载力和恢复力,提升生态系统服务功能,从而实现城市化进程与生态环境的和谐共生。这包括但不限于实施生态修复项目、推广绿色基础设施、优化资源利用效率以及加强环境监管和污染控制。

马鞍山市的土地利用模拟结果表明,未来城市建设用地的扩张趋势将主要集中在东部地区,这与该市“两脉、四区、四中心”的发展规划相一致。土地利用是一个受多种因素影响的动态过程。在本研究中,驱动因子的选择主要基于数据的可用性和可获取性,可能未能涵盖所有可能影响土地利用的因素。此外,土地利用转移矩阵中转移概率的设定参考了现有文献,可能存在一定的主观性。这些局限性表明了未来研究需进一步深入探讨和优化的方向。

5 结论

本研究以马鞍山为研究对象,深入分析了2000—2020年间的土地利用变化及其驱动因素,通过PLUS模型对未来3种情景下的土地利用变化进行了模拟,并对比不同情景下的土地利用结构变化得出以下结论。

(1) 马鞍山市建设用地和水域的变化幅度较大,其中建设用地由2000—2010年的2.93%下降至2010—2020年期间的0.88%,呈现减少的趋势,表明在早期城市的发展过程中,建设用地的扩展是主要特征。

(2) 从2000—2020年,马鞍山市的生境质量整体呈现衰退趋势,空间分布上表现为中部平原地区的生境质量较低,而东部和西部地区相对较好。这种分布特征与土地利用类型有着密切的联系,生境质量好以及较好的区域主要分布在受人类活动影响较小、生物多样性较高的林地以及水域地区,生境质量低主要分布在人类干扰严重的中部耕地平原以及城镇地区。

(3) 在3种情景下,马鞍山市的生境质量指数分别为0.448(自然发展),0.451(城镇发展)和0.459(生态保护),与2020年相比,所有情景下的生境质量均显示出下降趋势。生境质量等级为差的区域面积占比有所提升,而生境质量等级为较高、高以及一般的区域面积比例相对稳定。尤其是生境质量等级为高

的区域面积比例出现了下降。然而,在生态保护情景下,生境质量等级为低以及较低的区域面积比例开始减少,而生境质量等级为高的区域面积比例则有显著增加。

参考文献 (References)

- [1] Sohl T L, Claggett P R. Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decision-makers [J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, 129: 235-243.
- [2] 刘鹏飞,孙斌栋.中国城市生产、生活、生态空间质量水平格局与相关因素分析[J].*地理研究*, 2020, 39(1): 13-24.
Liu Pengfei, Sun Bindong. The spatial pattern of urban production-living-ecological space quality and its related factors in China [J]. *Geographical Research*, 2020, 39(1): 13-24.
- [3] 郑斌成,谢炳庚,游细斌.基于土地利用变化的广东省生境质量时空演变特征[J].*生态学报*, 2022, 42(17): 6997-7010.
Zheng Jiancheng, Xie Binggeng, You Xibin. Spatio-temporal characteristics of habitat quality based on land-use changes in Guangdong Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(17): 6997-7010.
- [4] Sherrouse B C, Semmens D J, Clement J M. An application of social values for ecosystem services (SolVES) to three national forests in Colorado and Wyoming [J]. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 68-79.
- [5] 肖欢,员学锋,杨悦,等.西安市建设用地扩张与生境质量变化及其耦合协调关系研究[J].*干旱区资源与环境*, 2023, 37(10): 56-64.
Xiao Huan, Yun Xuefeng, Yang Yue, et al. Relationships between construction land expansion and habitat quality change and coupling coordination in Xi'an [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(10): 56-64.
- [6] Collier J J, Chiotti J A, Boase J, et al. Assessing habitat for lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) reintroduction to the Maumee River, Ohio using habitat suitability index models [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2022, 48(1): 219-228.
- [7] 魏文飞,包玉,王志泰,等.喀斯特多山城市生境质量对土地利用变化的时空响应:以贵阳市为例[J].*生态学报*, 2023, 43(10): 3920-3935.
Wei Wenfei, Bao Yu, Wang Zhitai, et al. Spatio-temporal responses of urban environment quality to land use change in mountainous cities of Karst areas [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(10): 3920-3935.
- [8] Wang Yuyu, Chao Bixiao, Dong Peng, et al. Simulating spatial change of mangrove habitat under the impact of coastal land use: Coupling MaxEnt and Dyna-CLUE models [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 788: 147914.
- [9] Darvishi A, Yousefi M, Marull J. Modelling landscape ecological assessments of land use and cover change scenarios. Application to the Bojnourd Metropolitan Area (NE Iran) [J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: 105098.
- [10] 杨阳,黄义雄,李潇,等.海坛岛土地利用变化模拟与景观生态风险评价[J].*水土保持通报*, 2017, 37(6): 146-151.
Yang Yang, Huang Yixiong, Li Xiao, et al. Land use change simulation and landscape ecological risk assessment of Haitan Island [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2017, 37(6): 146-151.
- [11] 李玮麒,兰泽英,陈德权,等.广州市土地利用多情景模拟及其生态风险时空响应[J].*水土保持通报*, 2020, 40(4): 204-210.
Li Weiqi, Lan Zeying, Chen Dequan, et al. Multi-scenario simulation of land use and its spatial-temporal response to ecological risk in Guangzhou City [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020, 40(4): 204-210.
- [12] 胡丰,张艳,郭宇,等.基于 PLUS 和 InVEST 模型的渭河流域土地利用与生境质量时空变化及预测[J].*干旱区地理*, 2022, 45(4): 1125-1136.
Hu Feng, Zhang Yan, Guo Yu, et al. Spatial and temporal changes in land use and habitat quality in the Weihe River basin based on the PLUS and InVEST models and predictions [J]. *Arid Land Geography*, 2022, 45(4): 1125-1136.
- [13] 梁甜,黄茜,杨霏,等.基于 InVEST-PLUS 模型的三峡库区(重庆段)生境质量演变及预测[J].*长江流域资源与环境*, 2023, 32(10): 2184-2195.
Liang Tian, Huang Xi, Yang Fei, et al. Evolution and prediction of habitat quality in the Three Gorges Reservoir (Chongqing section) based on the InVEST-PLUS model [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(10): 2184-2195.
- [14] 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.
Lin Tong, Yang Muzhuang, Wu Dafang, 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.
- [15] Niu Lu, Zhang Zhengfeng, Liang Yingzi, et al. Assessing the impact of urbanization and eco-environmental quality on regional carbon storage: A multiscale spatio-temporal analysis framework [J]. *Remote Sensing*,

- 2022,14(16):4007.
- [16] 杨朔,苏昊,赵国平.基于 PLUS 模型的城市生态系统服务价值多情景模拟:以汉中市为例[J].干旱区资源与环境,2022,36(10):86-95.
Yang Shuo, Su Hao, Zhao Guoping. Multi-scenario simulation of urban ecosystem service value based on PLUS model: A case study of Hanzhong City [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022,36(10):86-95.
- [17] Li Shifeng, Hong Zenglin, Xue Xuping, et al. Evolution characteristics and multi-scenario prediction of habitat quality in Yulin City based on PLUS and InVEST models [J]. Scientific Reports, 2024,14(1):11852.
- [18] 王虹.马鞍山市降水酸度的时空变化特征及其成因初探[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2004,27(2):208-211.
Wang Hong. The spatio-temporal variability of precipitation acidity and its driving factors in Ma'anshan City [J]. Journal of Anhui Normal University (Natural Science), 2004,27(2):208-211.
- [19] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等.1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].地理学报,2014,69(1):54-63.
Wu Linna, Yang Shengtian, Liu Xiaoyan, et al. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River basin since 1976 [J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(1):54-63.
- [20] 任涵,张静静,朱文博,等.太行山淇河流域土地利用变化对生境的影响[J].地理科学进展,2018,37(12):1693-1704.
Ren Han, Zhang Jingjing, Zhu Wenbo, et al. Impact of land use change on habitat in the Qihe River basin of Taihang Mountains [J]. Progress in Geography, 2018,37(12):1693-1704.
- [21] 侯建坤,陈建军,张凯琪,等.基于 InVEST 和 GeoSoS-FLUS 模型的黄河源区碳储量时空变化特征及其对未来不同情景模式的响应[J].环境科学,2022,43(11):5253-5262.
Hou Jiankun, Chen Jianjun, Zhang Kaiqi, et al. Temporal and spatial variation characteristics of carbon storage in the source region of the Yellow River based on InVEST and GeoSOS-FLUS models and its response to different future scenarios [J]. Environmental Science, 2022,43(11):5253-5262.
- [22] 王军,严有龙,王金满,等.闽江流域生境质量时空演变特征与预测研究[J].生态学报,2021,41(14):5837-5848.
Wang Jun, Yan Youlong, Wang Jinman, et al. Temporal-spatial variation characteristics and prediction of habitat quality in Min River basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021,41(14):5837-5848.
- [23] 叶南客,吴海瑾,曾盛红.“南京都市圈”发展战略下南京江北新区提升区域辐射力的路径[J].中共南京市委党校学报,2022(1):85-89.
Ye Nanke, Wu Haijin, Zeng Shenghong. The path to enhance the regional radiation power of Nanjing Jiangbei new district under the development strategy of "Nanjing metropolitan circle" [J]. Journal of Party School of Nanjing Municipal Committee of CPC, 2022(1):85-89.
- [24] 李启珍,胡希军,韦宝婧,等.长沙市绿色空间与城市扩张耦合关系研究[J].经济地理,2022,42(11):87-94.
Li Qizhen, Hu Xijun, Wei Baojing, et al. Coupling relationship between green space and urban expansion in Changsha [J]. Economic Geography, 2022,42(11):87-94.
- [25] Zhong Yang, Lin Aiwen, He Lijie, et al. Spatiotemporal dynamics and driving forces of urban land-use expansion: A case study of the Yangtze River economic belt, China [J]. Remote Sensing, 2020,12(2):287.
- [26] 张立伟,张运,黄晨.皖江城市带近 20 a 生态环境变化遥感指数分析[J].长江流域资源与环境,2018,27(5):1061-1070.
Zhang Liwei, Zhang Yun, Huang Chen. Remote sensing index analysis on ecological environment changes in the recent 20 years of city belt in Wanjiang [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018,27(5):1061-1070.