

## 雄安新区土地利用变化及其对生态质量的影响

潘婷<sup>1,2,3</sup>, 王懿祥<sup>1,2,3</sup>, 刘宪钊<sup>4</sup>, 徐成立<sup>5</sup>, 刘志军<sup>5</sup>

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江 杭州 311300; 3. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 杭州 311300; 4. 中国林业科学研究院 资源信息研究所 国家林业和草原局森林经营与生长模拟重点实验室, 北京 100091; 5. 中国雄安集团生态建设投资有限公司, 河北 保定 071699)

**摘要:** 【目的】研究雄安新区建区前后土地利用变化和生态质量动态变化, 以为雄安新区各行业建设和管理提供理论依据和数据支撑。【方法】以雄安新区 3 个县为研究区, 基于 2000、2017 和 2020 年 3 期土地利用数据, 利用遥感生态指数 (remote sensing ecological index, RSEI) 模型评价生态质量的时空变化特征, 研究土地利用变化对生态质量的影响, 探讨土地利用变化的生态效应。【结果】①传统城镇化建设阶段 (2000—2017 年) 土地利用类型主要由耕地向建设用地和未利用地转移, 新区建设阶段 (2017—2020 年) 土地利用类型主要由耕地和未利用地向林地转移; ②2000—2017 年雄安新区 RSEI 均值从 0.62 下降至 0.57, 生态质量总体有所退化; 2020 年 RSEI 均值增加至 0.59, 生态质量轻微改善; ③土地利用与生态质量的分布和变化在空间上基本一致, 林地、耕地面积的增减对生态质量的变化影响显著。在当前建设水平和 1 km 空间尺度下, 未利用地转耕地面积比每增加 10%, 则生态质量改善的面积比约增加 13%; 未利用地转林地面积比每增加 10%, 则生态质量改善的面积比约增加 7%。【结论】雄安新区应维护林地和耕地质量和数量, 改善雄安新区生态质量, 从而有效促进雄安新区可持续健康发展。图 4 表 6 参 29

**关键词:** 雄安新区; 土地利用变化; 生态质量; 遥感生态指数; 城镇化

**中图分类号:** P901 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2023)05-1102-09

## Land use change and its impact on ecological quality in Xiong'an New Area

PAN Ting<sup>1,2,3</sup>, WANG Yixiang<sup>1,2,3</sup>, LIU Xianzhao<sup>4</sup>, XU Chengli<sup>5</sup>, LIU Zhijun<sup>5</sup>

(1. College of Environment and Resources, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 4. Key Laboratory of Forest Management and Growth Modelling, National Forestry and Grassland Administration, Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 5. Xiong'an Group Ecological Construction Investment Co. Ltd., Baoding 071699, Hebei, China)

**Abstract:** [**Objective**] This study, with an investigation into the dynamics of land use change and ecological quality of Xiong'an New Area, is aimed to provide a theoretical basis and data support for the policy making in this area. [**Method**] With all the three counties of Xiong'an New Area included as the study area, on the basis of three intervals of land use data in 2000, 2017 and 2020, the remote sensing ecological index (RSEI) model was employed in the evaluation of the spatial and temporal changes of ecological quality and the exploration of the potential effects of land use changes on ecological quality. [**Result**] (1) In the traditional urbanization stage

收稿日期: 2022-09-16; 修回日期: 2023-03-07

基金项目: 公益性科研院所基本科研专项重点项目 (CAFYBB2019ZB005)

作者简介: 潘婷 (ORCID: 0009-0005-5856-4559), 从事森林资源遥感与信息技术研究。E-mail: [pt370@foxmail.com](mailto:pt370@foxmail.com)。

通信作者: 刘宪钊 (ORCID: 0000-0001-5979-9281), 研究员, 博士, 从事可持续森林经营, 多功能森林城市营建技术研究。E-mail: [lxz9179@163.com](mailto:lxz9179@163.com)

(2000–2017), land use types mainly changed from arable land to construction land or unutilized land whereas in the new area construction stage (2017–2020), the change was mainly from arable land and unutilized land to woodland. (2) From 2000 to 2017, the average value of RSEI in Xiong'an New Area decreased from 0.62 to 0.57, with the overall ecological quality degraded while the average value of RSEI increased to 0.59 in 2020, with the ecological quality improved slightly. (3) With the distribution and changes of land use consistent with ecological quality in space, significant impact was detected of the area changes in woodland and arable land on ecological quality. (4) At the current construction level and 1 km spatial scale, the ecological quality of 13% area ratio was improved with 10% increased area ratio of unutilized land converted to arable land while the ecological quality of 7% area ratio was improved with 10% increased area ratio of unutilized land converted to woodland. [Conclusion] The optimization of quality and quantity of woodland and arable land can not only help maintain the ecological quality of Xiong'an New Area but also contribute to the sustainable and healthy development of this area. [Ch, 4 fig. 6 tab. 29 ref.]

**Key words:** Xiong'an New Area; land use change; ecological quality; remote sensing ecological index; urbanization

城镇化进程的加快和建设用地的快速扩张, 导致城镇区域土地利用结构发生了巨大变化, 人地矛盾日益突出, 造成植被破坏、水土流失和土地荒漠化等一系列生态问题。如何正确认识土地利用变化对城镇区域生态环境的影响, 是国内外研究的一个重要课题。目前有关土地利用变化的生态效应研究多集中于大气环境<sup>[1]</sup>、水体<sup>[2]</sup>、土壤<sup>[3]</sup>等自然环境方面, 多采用生态系统服务价值 (ESV)<sup>[4]</sup>、景观生态指数<sup>[5-6]</sup>、生态环境质量指数 (EV)<sup>[7]</sup>等方法。已有研究发现: 快速城镇化导致的土地利用变化会引起水环境恶化、土壤质量改变、植被严重退化等生态环境问题<sup>[8-9]</sup>; 造林绿化和生态修复能降低景观破碎化程度, 提高生境质量<sup>[10]</sup>; 人工湖泊、湿地公园的增多会降低陆地生态服务功能, 增加湿地生态服务功能<sup>[11]</sup>。当前研究多集中在传统的城镇化扩张对景观格局和生态效应的影响, 对于少数新型化城镇建设中土地利用的转变和生态质量影响的研究并不多见。

雄安新区是承载着“千年大计、国家大事”的创新型城市, 始终坚持生态优先、绿色发展的理念, 遵循“先植绿、后建城”的建设思路, 将森林作为新区有生命的基础设施, 设计伴随城市生长的复层、异龄、混交的“千年秀林”, 最大限度降低城市建设和发展中建筑不透水面取代地表原有的自然生态系统而形成的生态环境压力。雄安新区城镇化扩张和绿色基底“千年秀林”的建设综合影响着新区的生态环境质量, 因此, 科学客观地开展生态质量监测评估、评价基础设施建设对生态质量的影响, 可为雄安新区后期生态建设和城市管理提供重要依据。本研究以雄安新区 3 个县为研究区, 基于 2000、2017 和 2020 年 3 期土地利用数据, 利用遥感生态指数 (remote sensing ecological index, RSEI) 模型评价生态质量的时空变化特征, 剖析土地利用变化对生态质量的影响, 揭示土地利用变化的生态效应, 以期优化雄安新区土地利用管理、保护生态环境提供理论支撑。

## 1 研究区域数据源

### 1.1 研究区概况

雄安新区地处北京、天津、保定腹地, 包括容城、雄县、安新 3 个县及其周边部分区域, 总面积为 1 770.00 km<sup>2</sup>, 38°43'~39°10'N、115°38'~116°20'E, 四季分明, 夏季高温多雨, 冬季寒冷干燥, 年均气温为 12.4 °C, 年均降水量为 495.1 mm, 属于典型的暖温带季风型半湿润半干旱气候。地处太行山东麓冲洪积平原前缘地带, 全境地势西北高, 东南低, 海拔 5~26 m, 为缓倾平原, 土层深厚, 地势开阔。由于白洋淀水域面积较大且影响评价效果, 所以本研究剔除雄安新区周边水域, 研究区总面积为 1 571.69 km<sup>2</sup> (图 1)。

### 1.2 数据源及预处理

影像数据来源于地理空间数据云网站 (www.gscloud.cn), 参照前人的研究结论<sup>[12-13]</sup>, 4 月中下旬至

5月上旬为研究区冬小麦 *Triticum aestivum* 的拔节生长期, 该阶段小麦在遥感影像上表现为“绿地”, 且林木在此期间开始展叶生长, 因此选取2000年4月22日、2017年5月7日 (OLI/TIRS) 和2020年4月29日 (OLI/TIRS) Landsat 遥感影像作为耕地及林地信息提取的数据源, 且云量较低 (低于10%), 质量完好, 空间分辨率为30 m。由于地表反射率会受到光照与大气因素的影响, 不同时相的影像存在地形上的变化差异, 因此, 在计算各分量指标前, 需要对这3期影像进行辐射定标<sup>[14]</sup>、大气校正等预处理。为消除因大气吸收和散射造成的辐射误差, 利用FLAASH模型进行大气校正<sup>[15]</sup>, 最后利用雄安新区行政区划矢量数据裁剪出研究区预处理后的影像。

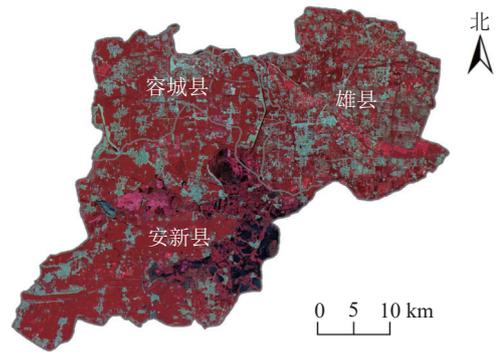


图1 雄安新区研究区2020年Landsat OLI/TIRS影像示意图

Figure 1 Sketch map of three counties of Xiong'an New Area

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用类型解译

参照文献 [16], 基于 ENVI 5.3 平台, 采用最大似然法监督分类方法, 将研究区土地利用类型分为未利用地、耕地、林地、建设用地和水域等5类。采用误差矩阵精度评价法, 利用谷歌地球 (Google Earth) 高分辨率影像对分类结果进行检验, 3期影像监督分类结果总体精度分别为91.26%、90.89%和92.14%, Kappa系数分别为0.84、0.81和0.85, 分类效果较好, 精度满足研究需求。

### 2.2 遥感生态指数计算

利用2000、2017和2020年Landsat遥感影像数据, 提取湿度分量 (WET)、归一化植被指数 (NDVI)、地表温度 (LST) 和归一化建筑-裸土指数 (NDSI), 分别代表湿度、绿度、热度和干度指标, 构建遥感生态指数 (RSEI), 具体方法参照文献 [17-21], 并以像元作为评价单元, 对雄安新区生态质量变化状况进行评价分析。运用等间距分级方法, 将生态质量指数 (RSEI) 划分为5个等级, 即 [0, 0.2)、[0.2, 0.4)、[0.4, 0.6)、[0.6, 0.8) 和 [0.8, 1.0], 分别对应生态质量差、较差、中等、良和优。

### 2.3 土地利用变化与生态质量的相关性分析

为揭示雄安新区土地利用变化与生态质量之间时空变化的定量关系, 基于 ArcGIS 10.4 的 Fishnet 工具, 将研究区按 1 km×1 km 的大小划分网格, 剔除边缘的碎小网格后共 1 455 个网格, 利用分区统计功能统计各网格的信息, 具体公式参照文献 [22], 如下:  $R_{Lij} = A_{LUij} / A_{Gj} \times 100\%$ ;  $R_{Aij} = A_{Eij} / A_{Gj} \times 100\%$ ;  $R_{ADj} = A_{EDj} / A_{Gj} \times 100\%$ 。其中,  $R_{Lij}$  为第  $j$  个网格内第  $i$  种土地利用类型转移方式占网格面积的比例;  $A_{LUij}$  为第  $j$  个网格内第  $i$  种土地利用类型转移方式面积;  $R_{Aij}$  ( $R_{ADj}$ ) 为第  $j$  个网格内生态质量改善 (退化) 面积占网格面积的比例;  $A_{Eij}$  ( $A_{EDj}$ ) 为第  $j$  个网格内生态质量改善 (退化) 面积;  $A_{Gj}$  为第  $j$  个网格的面积。

运用 SPSS 21 的相关与回归分析方法, 分析显著影响雄安新区生态质量改善 (退化) 的土地利用转移方式, 进而拟合两者之间的关系,  $R_{Ai} = f(R_{Lm})$  或  $R_{AD} = f(R_{Ln})$ , 揭示土地利用变化的生态质量响应与生态效应。

## 3 结果与分析

### 3.1 雄安新区土地利用类型时空变化分析

由图2和表1可见: 2000—2017年, 雄安新区土地利用变化主要为建设用地和未利用地2类用地面积增加, 林地、水域和耕地3类用地面积减少, 呈“两增三减”的特征, 其中2017年大量耕地调整为未利用地进入后期建设规划, 未利用地新增326.30 km<sup>2</sup>, 城镇化扩张也增加了建设用地的面积 (46.85 km<sup>2</sup>)。由于新区规划建设和前期城镇化发展, 耕地减少最多 (354.15 km<sup>2</sup>)。随着新区规划建设的快速推进, 2017—2020年间新区林地 (249.23 km<sup>2</sup>)、水域 (23.22 km<sup>2</sup>) 面积快速增多, 未利用地则快速减少 (268.66 km<sup>2</sup>), 该阶段林地和水域面积的增加大多与可持续发展, 重视生态环境保护, 建设千年秀林, 南水北调、引黄济淀等水利工程措施保持白洋淀湖体水量有关<sup>[23-24]</sup>。

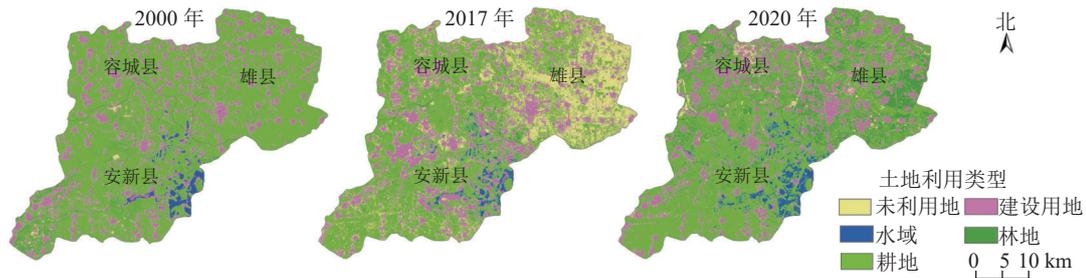


图 2 雄安新区 2000、2017 和 2020 年土地利用类型空间分布示意图

Figure 2 Spatial distribution map of land use types of Xiong'an New Area in 2000, 2017 and 2020

表 1 雄安新区 2000—2020 年土地利用面积变化特征

Table 1 Characteristics of land use area change in Xiong'an New Area from 2000 to 2020

土地利用类型	土地面积/km <sup>2</sup>			土地面积变化量/km <sup>2</sup>	
	2000年	2017年	2020年	2000—2017年	2017—2020年
林地	64.70	45.85	295.08	-18.85	249.23
水域	27.48	27.33	50.55	-0.15	23.22
耕地	1 143.04	788.89	771.45	-354.15	-17.44
建设用地	327.09	373.94	387.59	46.85	13.65
未利用地	9.38	335.68	67.02	326.30	-268.66

### 3.2 雄安新区遥感生态质量时空变化分析

从表 2 可以看出：PC1 中 WET、NDVI 为正影响指标，LST、NDSI 为负影响指标，且各指标对 PC1 的贡献度表现为 NDVI 大于 WET，NDSI 大于 LST，表明 NDVI 和 NDSI 对雄安新区生态质量的影响较大。此外，WET 和 NDVI 均值呈先下降后上升的趋势，LST 和 NDSI 均值呈先上升后下降的趋势；RSEI 由 2000 年的 0.62 下降至 2017 年的 0.57，降幅为 8.06%，由 2017 年的 0.57 上升至 2020 年的 0.59，增幅为 3.5%，表明 2000—2020 年雄安新区生态质量总体呈先下降后上升的趋势。

表 2 雄安新区遥感生态指数主成分分析结果及各指标均值标准差统计结果

Table 2 Principal component analysis of remote sensing ecological index in Xiong'an New Area

指标	PC1	PC2	PC3	PC4	2000年	2017年	2020年
					均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差
WET	0.51	0.47	-0.52	0.51	0.88±0.04	0.58±0.23	0.67±0.11
NDVI	0.52	-0.02	0.79	0.32	0.65±0.14	0.55±0.26	0.63±0.21
LST	-0.42	0.85	0.31	-0.05	0.82±0.13	0.84±0.21	0.57±0.41
NDSI	-0.55	-0.24	0.04	0.81	0.25±0.18	0.53±0.22	0.43±0.16
RSEI					0.62±0.14	0.57±0.23	0.59±0.21

说明：WET 为湿度分量，NDVI 为归一化植被指数，LST 为地表温度，NDSI 为归一化建筑-裸土指数，RSEI 为遥感生态指数。PC1-PC4 为主成分 1~4。

进一步分析不同生态质量等级的变化情况可以看出 (图 3 和表 3)，2000 年生态质量以优为主 (55.53%)，其次是良 (26.19%)；2017 年以较差为主 (30.44%)，其次为中等 (25.20%)，大部分位于雄县；而 2020 年生态质量差的面积占比仅为 0.62%，主要位于容城县。其生态质量的优劣与土地利用使用的结构模式相一致。

2000—2017 年，雄安新区生态退化面积最多 (845.00 km<sup>2</sup>)，极少区域生态质量改善 (142.62 km<sup>2</sup>)，且主要分布在安新县，在空间上呈“总体退化、局部改善”的特征。2017—2020 年，新区生态未改变面积最多 (647.57 km<sup>2</sup>)，且生态改善面积有所增加 (473.44 km<sup>2</sup>)，表明该研究区总体生态质量在这 3 a 基本维持稳定且有好转趋势。生态质量改善的区域主要分布于雄县，与“千年秀林”的建设有明显关系。该阶段雄安新区更加重视生态保护，生态质量相应改善。

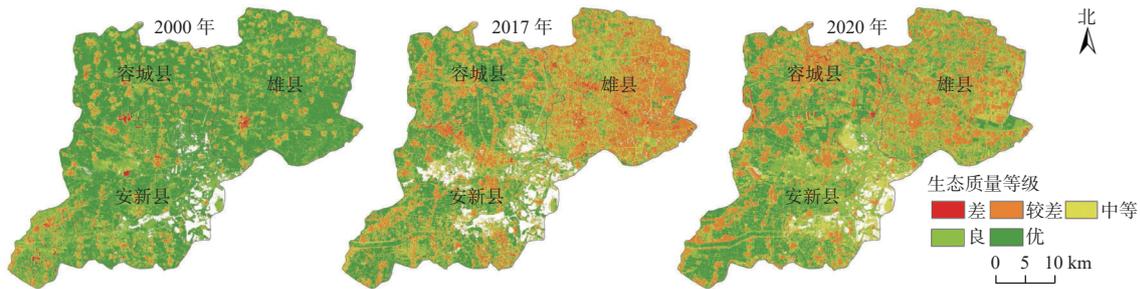


图3 雄安新区2000—2020年生态质量等级分布示意图  
Figure 3 Distribution of Ecological Quality Grade of Xiong'an New Area from 2000 to 2020

表3 2000—2020年雄安新区生态质量等级面积统计

Table 3 Area statistics of ecological quality grades from 2000 to 2020 in Xiong'an New Area

RSEI等级	2000年		2017年		2020年	
	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
差	11.83	0.77	19.59	1.34	9.43	0.62
较差	105.02	6.84	445.04	30.44	388.73	25.54
中等	163.89	10.67	368.33	25.20	336.85	22.14
良	402.33	26.19	275.44	18.84	419.68	27.58
优	853.05	55.53	353.47	24.18	367.10	24.12

### 3.3 雄安新区土地利用变化对生态质量的影响

3.3.1 生态质量改善区土地利用变化的生态效应 由图4和表4可见：2000—2017年雄安新区生态质量改善面积比例(RAI)与建设用地转耕地面积比(RL<sub>ca</sub>)呈极显著正相关( $R=0.558, P<0.001$ ),与林地转耕地面积比(RL<sub>wa</sub>)呈极显著正相关( $R=0.614, P<0.001$ ); 2017—2020年RAI与未利用地转耕地面积比(RL<sub>ua</sub>)呈极显著正相关( $R=0.753, P<0.001$ ),与未利用地转林地面积比(RL<sub>uw</sub>)呈极显著正相关( $R=0.488, P<0.001$ ),而RAI与耕地转林地面积比(RL<sub>aw</sub>)负相关( $R=-0.022$ ),但相关性不显著。回归方程为： $y_{RAI}=1.257x_{RLua}+0.196 (R=0.753, P=0.000, R^2=0.867)$ ,  $y_{RAI}=0.727x_{RLuw}+0.267(R=0.488, P=0.000, R^2=0.739)$ 。显示在雄安新区(2017—2020年)建设水平和1 km空间尺度下,未利用地转耕地面积比每增加10%,生态质量改善的面积比约增加13%,未利用地转林地面积比每增加10%,生态质量改善的面积比约增加7%。

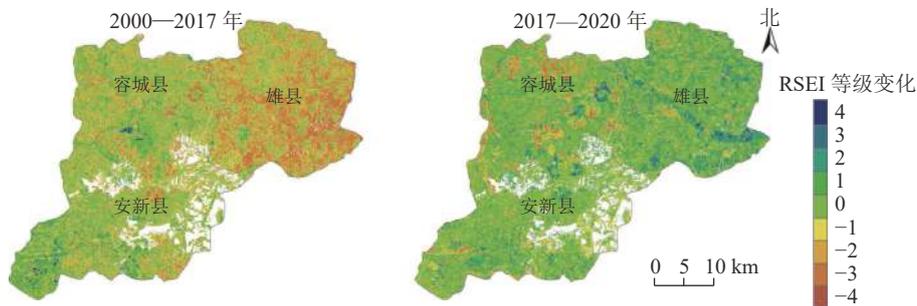


图4 雄安新区2000—2020年生态质量变化情况示意图  
Figure 4 Changes of ecological quality from 2000 to 2020 in Xiong'an New Area

3.3.2 生态质量退化区土地利用变化的生态效应 由表5和表6可见：2000—2017年雄安新区生态质量退化区面积比例(RAD)与耕地转未利用地面积比(RL<sub>au</sub>)呈极显著正相关关系( $R=0.714, P<0.001$ ),与耕地转建设用地面积比(RL<sub>ac</sub>)呈极显著正相关关系( $R=0.289, P<0.001$ ); 2017—2020年,RAD与RL<sub>ac</sub>呈极显著正相关关系( $R=0.535, P<0.001$ ),与耕地净退化面积比(AED<sub>a</sub>)呈极显著正相关关系( $R=0.557, P<0.001$ )。回归方程为： $y_{RAD}=0.816x_{RLau}+0.437 (R=0.714, P=0.000, R^2=0.851)$ ;  $y_{RAD}=0.696x_{AEDa}+0.124(R=0.557, P=0.000, R^2=0.710)$ 。显示在传统城镇化(2000—2017年)建设水平和1 km空间尺度下,耕地转未利用地面积比每增加10%,生态质量的退化面积比约增加8%,而在雄安新区(2017—

表 4 雄安新区生态质量等级变化监测统计

Table 4 Statistics of ecological quality grade changes in Xiong'an New Area

类型	级差	2000—2017年			2017—2020年		
		级面积/km <sup>2</sup>	类面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	级面积/km <sup>2</sup>	类面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
生态退化	-4	8.28			2.71		
	-3	201.23			45.77		
	-2	278.32	845.00	58.18	63.61	335.99	23.06
	-1	357.17			223.90		
生态未改变	0	469.37	469.37	32.21	647.57	647.57	44.45
	1	115.70			285.26		
生态改善	2	18.49			137.88		
	3	5.62	142.62	9.83	48.28	473.44	32.49
	4	2.82			2.02		

表 5 雄安新区生态改善区主要土地利用类型转移方式面积比相关性分析

Table 5 Correlation analysis of the area ratio of main land use type transfer mode in improved area of Xiong'an New Area

阶段	土地利用类型转移方式面积比	相关系数	双侧显著性	样本数
2000—2017年	RL <sub>ca</sub>	0.558**	0	1 455
	RL <sub>wa</sub>	0.614**	0	1 455
2017—2020年	RL <sub>ua</sub>	0.753**	0	1 455
	RL <sub>aw</sub>	-0.022	0.403	1 455
	RL <sub>uw</sub>	0.488**	0	1 455

说明：RL<sub>ca</sub>指建设用地转耕地面积比；RL<sub>wa</sub>指林地转耕地面积比；RL<sub>ua</sub>指未利用地转耕地面积比；RL<sub>aw</sub>指耕地转林地面积比；RL<sub>uw</sub>指未利用地转林地面积比；\*\*表示极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

表 6 雄安新区生态退化区主要土地利用类型转移方式面积比相关性分析

Table 6 Correlation analysis of the area ratio of main land use type transfer mode in deteriorated area of Xiong'an New Area

阶段	土地利用类型转移方式面积比	相关系数	双侧显著性	样本数
2000—2017年	RL <sub>au</sub>	0.714**	0	1 455
	RL <sub>ac</sub>	0.289**	0	1 455
2017—2020年	RL <sub>ac</sub>	0.535**	0	1 455
	AED <sub>a</sub>	0.557**	0	1 455

说明：RL<sub>au</sub>指耕地转未利用地面积比；RL<sub>ac</sub>指耕地转建设用地面积比；AED<sub>a</sub>指耕地净退化面积比；\*\*表示极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

2020年)建设水平和1 km空间尺度下,耕地面积净退化10%,生态质量退化的面积比约增加7%。

## 4 讨论

本研究采用分辨率为30 m的Landsat遥感影像,并结合Google Earth高分辨率影像对研究区不同时期土地利用分类结果进行修正,3期影像监督分类结果各类型分类精度和总体精度均 $> 90\%$ ,Kappa系数在0.80以上,表明基于30 m空间分辨率的Landsat遥感影像进行土地利用类型变化监测具有非常高的可靠性。

雄安新区设立前近20 a的生态质量变化趋势与传统城镇化建设带来的生态质量变化趋势相似<sup>[25]</sup>。雄安新区设立后,生态优先、绿化发展的建设理念使新区从传统的外延扩张模式转变为生态保护与经济社会协调的内敛发展模式,“千年秀林”绿化工程对生态质量的改善起到了很大作用,尤其是雄县东南部区域生态质量提升明显,这与刘礼群等<sup>[16]</sup>对2014—2020年雄安新区生态系统服务价值增益区域评估一致,安新县由于白洋淀及其周边生态环境的管理严格,生态质量变化相对稳定。土地利用变化会改变区域生态格局并影响生态质量变化,传统城镇建设方式下的土地利用变化会持续造成区域生态环境质量的下降<sup>[26]</sup>。新区通过未利用地造林、退耕还林等方式建设“千年秀林”绿色基底,显著提高了新区生态质量<sup>[27]</sup>。

传统城镇化扩张造成建设用地增加,新区成立节点期的耕地转为未利用地,这些都导致了明显的区域生态质量退化。本研究表明:耕地转未利用面积比每增加10%,生态质量的退化面积比约增加8%,这与施婷婷等对建设用地生态评估结果相近<sup>[28]</sup>。

新区建设阶段,林地的增加、未利用地的减少明显促进了新区生态质量改善,研究表明:未利用地向林地和耕地的转变能有效提高新区生态质量,这与王志杰等<sup>[22]</sup>对贵阳花溪的研究结果相近。对于雄安新区而言,生态质量改善是保障生态环境状况的关键原因,植被的恢复与未利用地的合理规划对于雄安新区生态质量的改善具有积极的促进作用。由于新区林地主要由耕地和未利用地转化而来,且新造林时间较短,森林生态系统尚处于早期阶段,土地利用转化带来的生态效益增量还不明显<sup>[29]</sup>,随着“千年秀林”的生长,雄安新区生态质量将会持续改善。

后续研究将基于 Google Earth Engine 平台融合多个时相的影像进行信息提取,在分析区域生态质量的影响因素时,应加入生物气候、人类活动等因子,进行全要素分析。

## 5 结论

本研究发现:2000—2017年,雄安新区土地利用变化面积呈“两增三减”特征,耕地主要转向建设用地和未利用地;2017—2020年,土地利用变化特征与传统城镇化阶段不同,耕地与未利用地主要转向林地。2000—2017年雄安新区生态质量呈明显退化趋势,RSEI均值由2000年的0.62下降到2017年的0.57,在空间上呈“总体退化、局部改善”的特征;2017—2020年雄安新区生态质量呈轻微改善趋势,RSEI均值由2017的0.57上升到2020年的0.59,该研究区总体的生态质量在这3a基本维持稳定且有好转趋势。生态质量空间分布及其变化与土地利用类型的分布变化在空间上基本吻合。生态质量较好的区域主要分布在耕地、林地等区域,生态质量退化与耕地、林地面积的退化减少和建设用地、未利用地的增加在空间上有直观的对立关系。在当前建设水平和1 km空间尺度下,未利用地转耕地面积比每增加10%,生态质量改善的面积比约增加13%,未利用地转林地面积比增加10%,生态质量改善的面积比约增加7%。这表明对于雄安新区而言,植被的恢复与建设对于生态质量的好转具有积极的促进作用。

## 6 参考文献

- [1] ZHU Jialei, PENNER J E, YU Fangqun, *et al.* Decrease in radiative forcing by organic aerosol nucleation, climate, and land use change [J]. *Nature Communications*, 2019, **10**(1): 423.
- [2] DAMANIK-AMBARITA M N, BOETS P, THI H, *et al.* Impact assessment of local land use on ecological water quality of the Guayas river basin (Ecuador) [J]. *Ecological Informatics*, 2018, **48**: 226–237.
- [3] 任荣秀, 杜章留, 孙义亨, 等. 华北低丘山地不同土地利用方式下土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. *生态学报*, 2020, **40**(19): 6991–6999.  
REN Rongxiu, DU Zhangliu, SUN Yiheng, *et al.* Soil aggregate and its organic carbon distribution characteristics at different land use patterns in hilly areas of north China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(19): 6991–6999.
- [4] DU Xuejun, HUANG Zhonghua. Ecological and environmental effects of land use change in rapid urbanization: the case of Hangzhou, China [J]. *Ecological Indicators*, 2017, **81**: 243–251.
- [5] 侯蕊, 李红波, 高艳丽. 基于景观格局的武汉市江夏区土地利用生态风险评价[J]. *水土保持研究*, 2021, **28**(1): 323–330.  
HOU Rui, LI Hongbo, GAO Yanli. Ecological risk assessment of land use in Jiangxia district of Wuhan based on landscape pattern [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, **28**(1): 323–330.
- [6] 元冰瑜, 高建华, 池源, 等. 1990—2020年江苏省海岸带景观生态状况指数跨尺度时空特征[J]. *应用生态学报*, 2022, **33**(2): 489–499.  
YUAN Bingyu, GAO Jianhua, CHI Yuan, *et al.* Cross-scale spatiotemporal characteristics of landscape ecological conditions index in coastal zone of Jiangsu Province, China during 1990–2020 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, **33**(2): 489–499.
- [7] 苑韶峰, 唐奕钰, 申屠楚宁. 土地利用转型时空演变及其生态环境效应——基于长江经济带127个地级市的实证研究[J]. *经济地理*, 2019, **39**(9): 174–181.  
YUAN Shaofeng, TANG Yiyu, SHENTU Chuning. Spatiotemporal change of land-use transformation and its eco-environmental response: a case of 127 counties in Yangtze River economic belt [J]. *Economic Geography*, 2019, **39**(9): 174–181.
- [8] 赵锐锋, 姜朋辉, 陈亚宁, 等. 塔里木河干流区土地利用/覆被变化及其生态环境效应[J]. *地理科学*, 2012, **32**(2): 244–

250.  
ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, CHEN Yaning, *et al.* Land use/cover change and its eco-environment effect in the main stream of Tarim River [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, **32**(2): 244 – 250.
- [9] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2014, **34**(12): 3311 – 3319.  
LIU Guilin, ZHANG Luocheng, ZHANG Qian. Spatial and temporal dynamics of land use and its influence on ecosystem service value in Yangtze River Delta [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(12): 3311 – 3319.
- [10] 刘智方, 唐立娜, 邱全毅, 等. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究[J]. 生态学报, 2017, **37**(13): 4538 – 4548.  
LIU Zhifang, TANG Li'na, QIU Quanyi, *et al.* Temporal and spatial changes in habitat quality based on land-use change in Fujian Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(13): 4538 – 4548.
- [11] 金声甜, 肖文海, 杨胜苏, 等. 长江经济带土地利用变化及其生态系统响应[J]. 经济地理, 2020, **40**(7): 166 – 173.  
JIN Shengtian, XIAO Wenhai, YANG Shengsu, *et al.* Land use change and its ecosystem response in the Yangtze River Economic belt [J]. *Economic Geography*, 2020, **40**(7): 166 – 173.
- [12] 刘吉凯, 钟仕全, 梁文海. 基于多时相Landsat 8 OLI影像的作物种植结构提取[J]. 遥感技术与应用, 2015, **30**(4): 775 – 783.  
LIU Jikai, ZHONG Shiquan, LIANG Wenhai. Extraction on crops planting structure based on multi-temporal Landsat 8 OLI images [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2015, **30**(4): 775 – 783.
- [13] 郭力娜, 李帅, 牛振国, 等. 基于物候差和多时相影像的耕地种植结构遥感调查——以唐山玉田为例[J]. 测绘科学, 2019, **44**(10): 50 – 58.  
GUO Li'na, LI Shuai, NIU Zhenguo, *et al.* Remote sensing investigation of farmland planting structure based on phenological difference and multi-temporal images-taking Yutian in Tangshan as an example [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2019, **44**(10): 50 – 58.
- [14] 张志杰, 张浩, 常玉光, 等. Landsat系列卫星光学遥感辐射定标方法综述[J]. 遥感学报, 2015, **19**(5): 719 – 732.  
ZHANG Zhijie, ZHANG Hao, CHANG Yuguang, *et al.* Review of radiometric calibration methods of Landsat series optical remote sensors [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2015, **19**(5): 719 – 732.
- [15] 陈趁新, 胡昌苗, 霍连志, 等. Landsat TM数据不同辐射校正方法对土地覆盖遥感分类的影响[J]. 遥感学报, 2014, **18**(2): 320 – 334.  
CHEN Chenxin, HU Changmiao, HUO Lianzhi, *et al.* Effect of different radiation correction methods of Landsat TM data on land-cover remote sensing classification [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2014, **18**(2): 320 – 334.
- [16] 刘礼群, 江坤, 胡智, 等. 雄安新区国土空间开发的生态系统服务价值响应特征[J]. 生态学报, 2022, **42**(6): 1 – 14.  
LIU Liqun, JIANG Kun, HU Zhi, *et al.* Response characteristics of ecosystem services values in territorial space development of Xiong'an New Area [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, **42**(6): 1 – 14.
- [17] YU Tan, XU Shuwen, ZHOU Xinyu, *et al.* Semi-automatic extraction of the threshold segmentation of coastline based on coastline type [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, **690**(1): 12012 – 12019.
- [18] 岳辉, 刘英. 基于Landsat 8 TIRS的地表温度反演算法对比分析[J]. 科学技术与工程, 2018, **18**(20): 200 – 205.  
YUE Hui, LIU Ying. Comparison and analysis of land surface temperature retrieval algorithms based on landsat 8 TIRS [J]. *Science Technology and Engineering*, 2018, **18**(20): 200 – 205.
- [19] 丁凤, 徐涵秋. TM热波段图像的地表温度反演算法与实验分析[J]. 地球信息科学, 2006, **8**(3): 125 – 130.  
DING Feng, XU Hanqiu. Comparison of two new algorithms for retrieving land surface temperature from landsat TM thermal band [J]. *Geo-Information Science*, 2006, **8**(3): 125 – 130.
- [20] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数[J]. 中国环境科学, 2013, **33**(5): 889 – 897.  
XU Hanqiu. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes [J]. *China Environmental Science*, 2013, **33**(5): 889 – 897.
- [21] 徐涵秋, 施婷婷, 王美雅, 等. 雄安新区地表覆盖变化及其新区规划的生态响应预测[J]. 生态学报, 2017, **37**(19): 6289 – 6301.  
XU Hanqiu, SHI Tingting, WANG Meiya, *et al.* Land cover changes in the Xiong'an New Area and a prediction of ecological response to forthcoming regional planning [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(19): 6289 – 6301.
- [22] 王志杰, 代磊. 黔中喀斯特山地城市土地利用/覆被变化及其生态效应评价——以贵阳市花溪区为例[J]. 生态学报,

- 2021, **41**(9): 3429 – 3440.
- WANG Zhijie, DAI Lei. Assessment of land use/cover changes and its ecological effect in karst mountainous cities in central Guizhou Province: taking Huaxi District of Guiyang City as a case [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(9): 3429 – 3440.
- [23] 王凯霖, 李海涛, 吴爱民, 等. 人工补水条件下白洋淀湿地演变研究[J]. *地球学报*, 2018, **39**(5): 549 – 558.
- WANG Kailin, LI Haitao, WU Aimin, *et al.* An analysis of the evolution of Baiyangdian wetlands in Hebei Province with artificial recharge [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2018, **39**(5): 549 – 558.
- [24] 马远. 雄安新区城市森林建设的经验和启示[J]. *林业与生态*, 2019(6): 23 – 25.
- MA Yuan. Experience and inspiration of urban forest construction in Xiong'an New Area [J]. *Forestry and Ecology*, 2019(6): 23 – 25.
- [25] 杨江燕, 吴田, 潘肖燕, 等. 基于遥感生态指数的雄安新区生态质量评估[J]. *应用生态学报*, 2019, **30**(1): 277 – 284.
- YANG Jiangyan, WU Tian, PAN Xiaoyan, *et al.* Ecological quality assessment of Xiong'an New Area based on remote sensing ecological index [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(1): 277 – 284.
- [26] 高星, 刘泽伟, 李晨曦, 等. 基于“三生空间”的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究[J]. *生态学报*, 2020, **40**(20): 7113 – 7122.
- GAO Xing, LIU Zewei, LI Chenxi, *et al.* Land use function transformation in the Xiong'an New Area based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(20): 7113 – 7122.
- [27] 关瑜, 陈影, 潘肖燕, 等. 基于土地利用转型的生态服务交叉敏感性分析——以雄安新区为例[J]. *生态经济*, 2021, **37**(3): 153 – 160.
- GUAN Yu, CHEN Ying, PAN Xiaoyan, *et al.* Cross-sensitivity analysis of ecological services based on land use transition: a case study of Xiong'an New Area [J]. *Ecological Economy*, 2021, **37**(3): 153 – 160.
- [28] 施婷婷, 徐涵秋, 孙凤琴, 等. 建设项目引发的区域生态变化的遥感评估——以敖江流域为例[J]. *生态学报*, 2019, **39**(18): 6826 – 6839.
- SHI Tingting, XU Hanqiu, SUN Fengqin, *et al.* Remote-sensing-based assessment of regional ecological changes triggered by a construction project: a case study of Aojiang River Watershed [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(18): 6826 – 6839.
- [29] 金佳莉, 王成, 贾宝全. 北京平原造林后景观格局与热场环境的耦合分析[J]. *应用生态学报*, 2018, **29**(11): 3723 – 3734.
- JIN Jiali, WANG Cheng, JIA Baoquan. Coupling analysis of landscape pattern and thermal fields after the afforestation in Beijing plain area [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29**(11): 3723 – 3734.