

基于InVEST模型城市生境质量评价及空间 发展研究

——以济南市为例

韩卓*, 李靖

山东建筑大学建筑城规学院, 山东 济南

收稿日期: 2026年7月20日; 录用日期: 2026年8月20日; 发布日期: 2026年8月31日

摘 要

为分析济南市生境质量时空演变规律及城市发展对其的影响, 明确城市发展与生态环境的互动关系, 为区域生态系统可持续发展和生态保护提供参考, 本研究基于济南市2000、2010、2020年30 m分辨率土地利用数据, 运用土地利用转移矩阵和InVEST模型, 对生境质量进行定量评估与时空演变分析。研究发现, 济南市土地利用以耕地、林地和建设用地为主, 2000~2020年耕地面积持续下降, 建设用地显著增加且主要由耕地转入; 济南市域内各地区生境质量空间差异显著, 总体呈“中北部差、南部优”的格局, 2000~2020年生境质量持续下降, 差等级生境呈城镇、农村集聚特征, 良好、优等级集中在南部低山丘陵地区, 2010年后部分区域因生态建设生境质量有所提升。在快速城市化进程中建设用地扩张虽会挤压生态空间, 导致生境质量下降, 但2010年后生态保护政策推进使部分区域生境质量反而提升, 展现出城市发展与生态改善协同可能。并基于此, 从城镇建设和生态保护两个维度提出优化策略, 为城市未来发展提供参考。

关键词

InVEST模型, 生境质量, 土地利用变化, 空间发展

Evaluation and Spatial Development Research of Urban Habitat Quality Based on the InVEST Model

—A Case Study of Jinan City

Zhuo Han*, Jing Li

School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

*通讯作者。

文章引用: 韩卓, 李靖. 基于 InVEST 模型城市生境质量评价及空间发展研究[J]. 地理科学研究, 2026, 15(4): 763-773.
DOI: 10.12677/gser.2026.154069

Abstract

To analyze the spatiotemporal evolution patterns of habitat quality in Jinan City and the impact of urban development, clarify the interaction between urban development and the ecological environment, and provide references for the sustainable development of regional ecosystems and ecological conservation, this study quantitatively assesses and analyzes the spatiotemporal evolution of habitat quality using land use transfer matrices and the InVEST model, based on 30-meter-resolution land use data from 2000, 2010, and 2020 in Jinan City. The findings reveal that Jinan's land use is dominated by cultivated land, forest land, and construction land, with continuous decline in cultivated land area and significant expansion of construction land, primarily at the expense of cultivated land. Spatial variations in habitat quality across the city are pronounced, generally exhibiting a pattern of "poorer quality in the central and northern regions, superior quality in the southern areas". From 2000 to 2020, habitat quality consistently deteriorated, with low-quality habitats clustered in urban and rural areas, while high-quality habitats were concentrated in the southern low mountains and hills. After 2010, habitat quality improved in some regions due to ecological conservation efforts. Although urban expansion during rapid urbanization may compress ecological space and lead to habitat degradation, the advancement of ecological conservation policies post-2010 resulted in improved habitat quality in certain areas, demonstrating potential for synergistic urban development and ecological improvement. Based on these findings, optimization strategies are proposed from two dimensions—urban construction and ecological conservation—to provide references for future urban development.

Keywords

InVEST Model, Habitat Quality, Land Use Change, Spatial Development

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生境质量作为衡量生态系统完整性和服务功能的核心指标,是指生态系统为物种提供适宜长期生存、繁衍所需资源与环境条件的能力[1]。目前由于气候变化、地理特征、人类活动等因素,严重影响了土地利用的强度、效率以及方式,导致土地利用的重构和生物多样性的减少[2],威胁到了生态稳定性、生态安全和生态系统服务的可持续性[3],给生态环境的保护带来了巨大的压力。因此,分析和探究区域生境质量对人类活动和自然变化的响应[4],对于人类探究区域生态系统具有重大意义,有利于维持生态系统的平衡和人类社会的发展,为生态系统服务的可持续性提供参考[5]。

济南作为黄河流域中心城市,开展生境质量评价具有显著的现实意义。一方面,济南市快速城市化进程导致建设用地扩张与生态空间挤压矛盾突出,北部沿黄湿地群、南部山地溪源湿地等关键生境面临破碎化风险;另一方面,济南市作为黄河下游生态保护示范标杆,承担着建设绿色生态走廊、保障区域生态安全的重任,通过生境质量评估,对济南市生态建设的成效及潜在风险可以进行全方面检测。基于此,本研究以2000年、2010年和2020年的土地利用数据为基础,借助InVEST模型分阶段展开对各时间节点生境质量的系统评估,对济南市各时期的生境质量及变化情况进行全面评估,深入探究城市建设

进程中济南市生境质量的时空演变规律和特征, 为区域社会、经济与生态的协同发展提供科学参考。

2. 研究区概况

作为黄河流域重要中心城市和山东省省会, 济南市地处山东省中部, 总面积 10,244 平方公里。地形呈现南高北低的阶梯状特征(见图 1), 南部以泰山余脉构成低山丘陵为主, 平均海拔 500~800 米, 是区域重要生态屏障和水源涵养区; 中部为山前冲积平原, 系城市建成区集中分布带; 北部地势平坦, 农业耕作密集, 与黄河冲积平原相邻。济南市境内水系发达, 黄河、小清河、玉符河等 64 条河流纵横交错, 拥有趵突泉、大明湖等百余处天然泉群, 构成独特的“泉城生态系统”。2020 年常住人口 920 万, 城镇化率达 73.5%, 快速城市化进程与生态空间保护矛盾凸显。研究区涵盖森林、湿地、农田、城市等多类要素, 面临水土流失、地下水超采等生态退化问题, 具有开展生境质量评价的典型性和紧迫性。

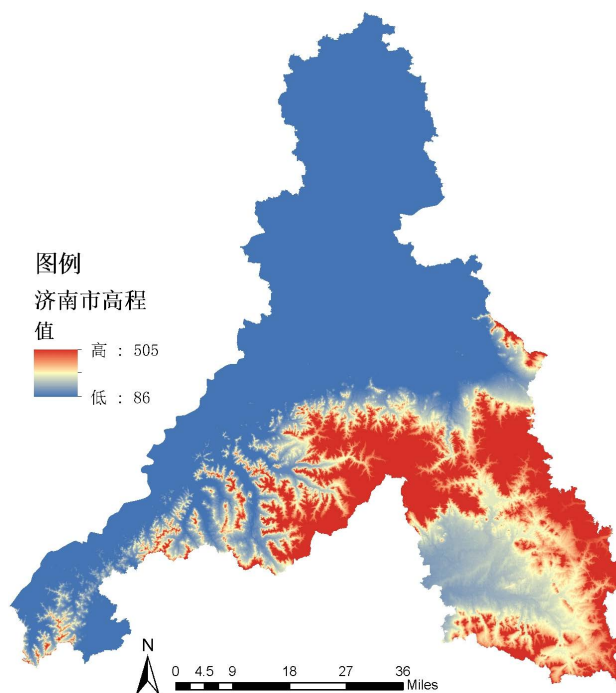


Figure 1. Schematic diagram of elevation in the research area
图 1. 研究区域高程示意图

3. 数据来源与研究方法

3.1. 数据来源与处理

本研究以济南市 2000、2010、2020 年三个时间节点的 30 m 分辨率的土地利用数据为基础, 按照《土地利用现状分类(GB/T 21010-2017)》¹将研究区土地利用归并为耕地、林地、草地、水域、建设用地、其他土地六大一级分类类型, 其所有基础数据均来自中科院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)。

3.2. 研究方法

3.2.1. 土地利用转移矩阵

作为分析各种土地利用类型相互转化的核心方法之一, 土地利用转移矩阵不仅可以对不同地类之间的转

¹<https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcno=224BF9DA69F053DA22AC758AAAADEEAA>

化情况进行定量的分析, 而且还可以揭示各类土地利用类型的转移速率[6]。该研究通过 ArcGIS 软件分析了济南市 2000~2020 年土地利用类型, 建立了济南市 2000~2020 年土地利用类型的转移矩阵。其计算公式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中: S 为面积, n 为土地利用类型的数量; i 为研究初期土地利用类型; j 为研究末期土地利用类型。

3.2.2. InVEST 模型生境质量评估

InVEST 模型中的生境质量模块(Habitat Quality)可以将区域土地覆被和生物多样性威胁因子有效地融合在一起, 作为定量的评估工具。本研究选用 InVEST3.15.1 版本的生境质量模块对济南市 2000~2020 年生境质量的状况开展系统定量评估。模块运行所需的基础数据涵盖了对研究区域不同威胁源敏感度参数的各类生境类型的现状用地数据、生物多样性威胁因子、威胁源属性表。生境质量等级越高的地区, 其生物多样性水平与环境适应能力在 InVEST 模型的评估体系中越强。生境质量指数的获取以生境退化程度计算为前提, 该计算过程通过对敏感性表进行赋值完成。在模型设定中, 生境类型对各种威胁因子的敏感度越高, 其生境退化程度也会相应增加, 具体计算公式[7]为:

$$D_{sj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^Y \left[\frac{\omega_r}{\sum_{r=1}^R \omega_r} \right] r_y i_{xy} \beta_x S_{jr} \quad (2)$$

$$i_{xy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{\max}} \right) \quad (3)$$

$$i_{xy} = \exp \left(\frac{2.99 d_{xy}}{d_{\max}} \right) \quad (4)$$

其中: r 表示威胁因子; i_{rxy} 为威胁因子的影响区域范围; R 为威胁源总量; ω_r 为威胁因子的权重, 取 0~1; r_y 代表一个栅格单元上威胁因子的数量; Y 表示威胁源的栅格数; β_x 表示法律准入水平, 取值 $\beta_x = 1$; d_{xy} 表示栅格 x 到栅格 y 之间的直线距离; $d_{\max}$ 为 r 的最大威胁距离; S_{jr} 为用地类型 j 对威胁因子 r 的敏感度, 该值越接近 1 越敏感。

假定模型中, 土地利用类型对威胁越敏感, 其退化程度越大。在得到生境退化的程度后, 利用半饱和函数将栅格退化分值解释译成生境质量的分值, 公式如下[7]:

$$Q_{sj} = H_j \left(1 - \frac{D_{sj}^z}{D_{sj}^z + K^z} \right) \quad (5)$$

式中: Q_{sj} 表示生境质量指数; H_j 表示不同地类的生境适宜度; D_{sj} 为栅格 x 生境退化度; z 为模型中的默认参数; K 为半饱和常数, 系统默认值为 0.5。

驱动生境质量变化的关键因素是人为活动干扰, 不同生境对威胁元的响应程度存在差异, 因此人类活动确定为本研究的核心考量因素。不同生境类型对各类威胁因子的敏感程度也存在差异, 其中敏感度越高的土地利用单元, 其抵御外部扰动的能力就越弱, 相应生境退化程度也就越高, 可见生境单元对各类威胁因素的敏感度是模型评估过程中不可或缺的关键参数。结合相关研究资料及研究区实际情况, 济南市以耕地和建设用地等为居民主要活动区域, 故最终选取耕地、城镇用地、农村用地和其他建设用地 4 种人口活动较多的区域作为胁迫因子, 并按软件参考手册[8]及相关研究[9] [10]绘制表 1 和表 2。

Table 1. Habitat suitability and sensitivity to different threat factors
表 1. 生境适宜性及对不同威胁因子的敏感度

土地利用类型	生境适宜指数	耕地	城镇	农村	其他建设用地
耕地	0.3	0.3	0.5	0.7	0.2
林地	0.9	0.6	0.9	0.75	0.55
草地	0.8	0.5	0.6	0.5	0.55
水域	0.75	0.7	0.8	0.75	0.8
城镇	0	0.7	0	0	0
农村居民点	0	0	0	0	0
其他建设用地	0	0	0	0	0
未利用地	0	0	0.7	0	0

Table 2. Maximum impact distance and weight of threat factors
表 2. 威胁因子最大影响距离及权重

威胁因子	最大影响距离	权重	退化形式
耕地	1	0.5	线性
城镇	10	1	指数
农村	5	0.6	指数
其他建设用地	8	0.8	线性

4. 结果与分析

4.1. 土地利用动态变化特征

4.1.1. 土地利用空间格局

由图 2 可知，研究区土地利用格局主要是耕地、林地和建设用地三个部分。其中，林地主要分布在南部低山丘陵地区；耕地主要集中在北部平原区域；草地主要集中在章丘区和莱芜区；水体以黄河及其支流、分布各区湖泊、水库等为主，流经城市的北部地区；建设用地主要集中在中部平原区，且呈逐年扩张趋势、主要沿东西部横向扩张。

4.1.2. 土地利用类型变化

从表 3 可以看出，各时期耕地的比重最大，是济南市土地利用的主要类型；紧随其后的是建设用地，平均占比为 19.71%；林地的面积占比也较多排在第三位，平均占比为 11.10%。2000~2020 年，济南耕地面积逐期下降，从 2000 年的 6737.85 km² 下降到 2020 年的 5948.83 km²，占比从 65.92% 下降到 58.20%；林地面积在 2010 年有所下降，但到 2020 年，林地面积明显上升，上升到 1237.89 km²，占比为 12.11%；建设用地面积增量最大，从 2000 年的 1607.93 km² 增加到 2020 年的 2382.63 km²，占比从 15.72% 上升到 23.30%，特别是 2010~2020 年，建设用地面积增长约 1 倍。

4.1.3. 土地利用转移矩阵

从图 2 中可以看出，济南市在 2000~2010 年及 2010~2020 年这两个研究阶段内，各种土地利用的类型面积占比排序为耕地 > 建设用地 > 林地 > 草地 > 水域 > 未利用地。同时，在图中可以清晰观察到，济南市中部地区建设用地 20 年间呈现出持续向外扩张的态势，其空间范围不断延伸。

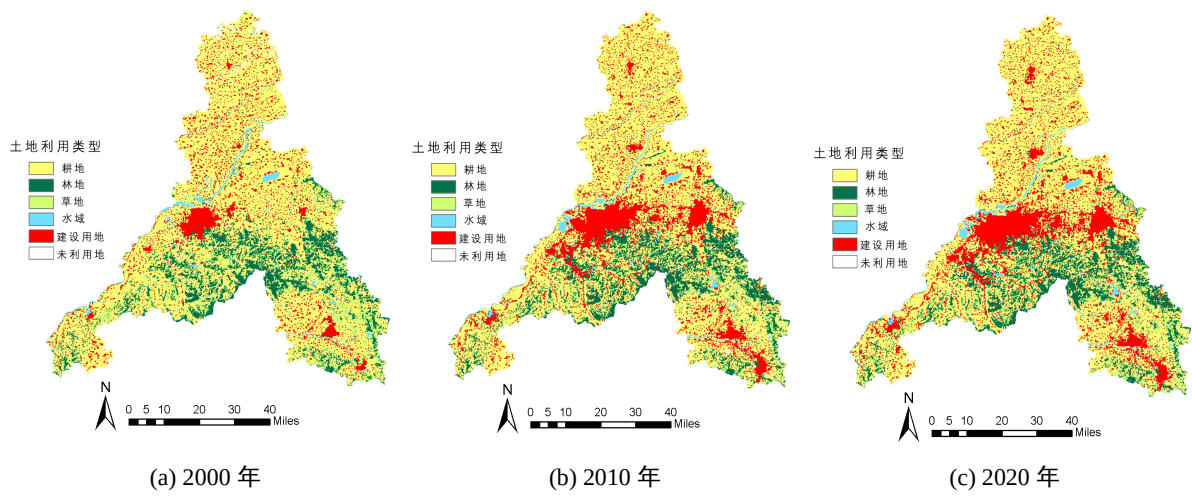


Figure 2. Schematic diagram of spatial distribution of land use types studied from 2000 to 2020
图 2. 2000~2020 年研究区土地利用类型空间分布示意图

Table 3. Area and proportion of land use types in the study area from 2000 to 2020
表 3. 2000~2020 年研究区土地利用类型面积及占比

土地利用类型	2000 年		2010 年		2020 年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
耕地	6737.85	65.92	6295.96	61.59	5948.83	58.20
林地	1089.76	10.66	1076.05	10.53	1237.89	12.11
草地	697.58	6.82	663.42	6.49	518.83	5.08
水域	88.72	0.87	130.53	1.28	133.26	1.30
建设用地	1607.93	15.72	2054.71	20.10	2382.63	23.30
未利用地	0.18	0.01	1.36	0.01	0.58	0.01
总计	10222.03	100.00	10222.03	100.00	10222.03	100.00

本研究利用 ArcGIS 对 2000~2010 年和 2010~2020 年两个时间段的研究区进行土地利用转移矩阵分析。首先分别对 2000 年、2010 年和 2020 年的矢量土地利用类型属性融合, 运行 ArcToolbox, 打开数据管理工具选择制图综合中的融合工具; 然后在叠加分析中打开分析工具选择相加工具, 进行参数调整设置, 输入要素选择一时期间段的数据; 最后选择表转 Excel 工具, 调出面板进行参数设置。输入表选择进行相交操作的数据, 最后得到土地利用转移矩阵数据。

从对济南市的土地利用转移矩阵(见表 4、表 5)来看, 在 2000~2010 年中济南各类用地均发生了不同情况的改变, 在这 10 年中, 耕地和草地为主要转出类型, 面积分别是 1019.89 km²、237.17 km²。建设用地为主要转入类型, 面积为 1067.58 km², 建设用地有 84.78%来自耕地的转入, 面积为 915.7374 km², 7.56%来自草地。总的来说 2000~2010 年期间, 土地利用变化的主要类型是将耕地转变为建设用地。

济南 2010~2020 年间各类土地利用类型变化较上一时间段略有不同, 其中, 耕地和建设用地为主要转出类型, 转出面积分别为 153.74 km²和 21.47 km²。建设用地为主要转入类型, 面积为 164.42 km², 建设用地有 94.65%来自耕地的转入, 面积为 138.59 km²。在 2010~2020 年期间, 土地利用变化的主要类型也是将耕地转变为建设用地; 在此期间也伴随者部分建设用地转变为耕地。

Table 4. Land use transfer matrix of Jinan city from 2000 to 2010
表 4. 济南市 2000~2010 年土地利用转移矩阵

2000~2010/km ²	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	5319.5706	35.4654	14.8401	50.0256	915.7374	3.825
林地	44.0163	1256.373	6.741	2.4183	42.9561	1.179
草地	137.493	7.9947	810.6039	4.5981	80.7012	6.3864
水域	43.3134	0.1809	0.5913	188.2332	18.468	0.4338
建设用地	228.3228	2.4795	2.988	2.5317	943.9182	0.0369
未利用地	59.0364	0.0045	0.1656	0.7272	9.7191	2.7567

Table 5. Land use transfer matrix of Jinan city from 2010 to 2020
表 5. 济南市 2010~2020 年土地利用转移矩阵

2010~2020/km ²	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	5678.0631	3.4272	4.2876	6.696	138.5874	0.7461
林地	3.3597	1293.408	3.7845	0.0909	1.4184	0.4563
草地	3.7944	3.7404	825.8517	0.1629	1.791	0.5922
水域	1.1808	0.0864	0.1557	246.6846	0.4266	0.0009
建设用地	19.1673	0.9108	0.7029	0.684	1990.0719	0.0072
未利用地	0.081	0.0279	0.0567	0	4.194	10.2582

4.2. 生境质量时空变化

根据 InVEST 参考手册及已有研究, 将生境质量等级划分为五个等级, [0~0.2)为差, [0.2~0.4)为较差, [0.4~0.6)为一般, [0.6~0.8)为良好, [0.8~1.0)为优, 对济南市 2000~2020 年进行生境质量评价。

4.2.1. 生境质量的总体格局特征

2000~2020 年济南市生境质量空间差异显著, 总体呈现中部、北部差, 南部优的空间格局, 中等级生境质量区分布较少, 主要集中在北部的河流区域(见图 3)。各等级生境质量空间分布呈现以下分布特征, 差、较差等级生境质量区呈现城镇、农村集聚特征, 主要集中在北部、中部平原地区, 植被覆盖率较低, 多为硬质地面; 一般等级生境质量区在全市没有分布; 良好等级生境质量区以北部河流周边区域分布最为集中, 有部分分布在南部低山丘陵地区; 优等级生境质量区趋于南部林地地区呈现带状分布的空间格局, 这是由于绿带保护, 植被覆盖率较高, 林地、草地、水域分布集中, 生境质量高。

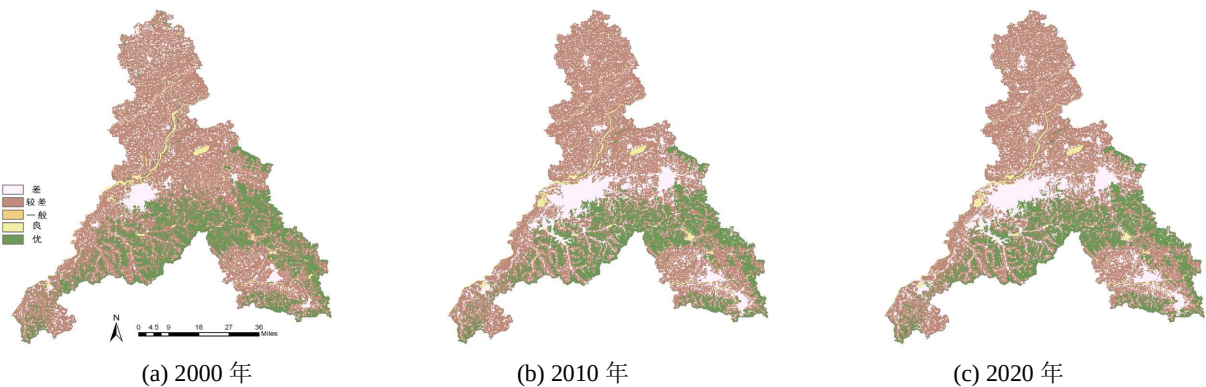


Figure 3. Spatial distribution of habitat quality in Jinan City from 2000 to 2020
图 3. 2000~2020 年济南市生境质量空间分布

4.2.2. 生境质量的时空变化特征

运用 ArcGIS 栅格计算器进行生境质量栅格数据代数运算, 得到 2000~2020 年济南市生境质量时空变化结果(见 表 6), 并根据生境质量指数代数运算结果, 将生境质量变化划分为提升(>0.03)、不变(-0.03~0.03)、下降(<-0.03) 3 个等级(见 图 4)。

Table 6. Changes in habitat quality in Jinan city from 2000 to 2020
表 6. 济南市 2000~2020 年济南市生境质量变化

等级	2000 年		2010 年		2020 年		2000~2020 年变化
	面积(km ²)	比例(%)	面积(km ²)	比例(%)	面积(km ²)	比例(%)	面积(km ²)
差	1249.99	12.23	2021.67	19.78	2143.79	20.97	893.81
较差	6325.13	61.88	5818.53	56.92	5692.65	55.69	-632.48
一般	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
良	1295.73	12.67	1082.18	10.58	1086.37	10.63	-209.37
优	1351.18	13.22	1299.64	12.72	1299.22	12.71	-51.96

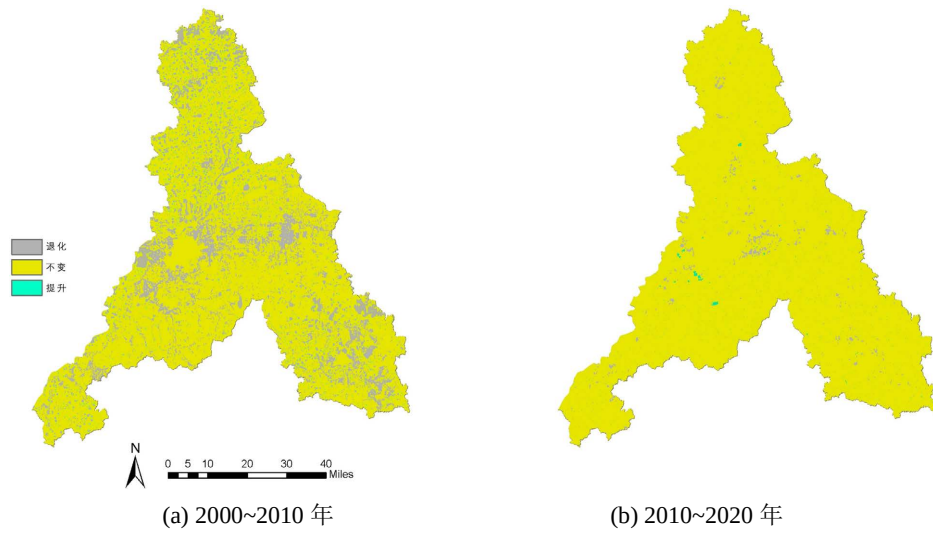


Figure 4. Spatial and temporal changes of habitat quality in Jinan city from 2000 to 2020
图 4. 2000~2020 年济南市生境质量时空变化图

2000~2020 年济南市整体生境质量呈现持续恶化态势, 生境质量差等级生境质量区不断扩大和其他等级生境质量区的持续收缩。2000~2010 年济南市生境质量明显退化, 大量区域从高等级向低等级生境质量转化, 生境质量恶化显著; 空间分布上除南部山区、黄河北部等零星散落分布地区生境质量有所提升, 其余均为生境质量退化占主导且形成大面积集聚, 这一时期变化主要与该阶段城镇建设加速、中心城区持续扩张密切相关。2010 年~2020 年, 济南市差等级生境质量区增速放缓, 在这期间, 济南市在产业升级转型的过程中加快推进生态文明建设, 建设形成多条生态廊道, 其中成效最显著的为玉符河济西湿地生态廊道, 周边区域生境质量得到了极大的提升, 一定程度上有效推动城市建设与生态协调的和谐发展; 但同时有部分地区开展新型城镇化、交通路网等建设, 加之近年来济南东站高铁等基础设施建设, 仍导致局部区域生境质量出现退化, 并在空间上呈现一定的集聚。

总的来说, 随着时间的不断推移济南市的退化速率在减慢, 前十年随着城镇建设的不断加快中心城区在不断扩张生境质量退化比较快; 随着城市的高质量发展逐步推进生境质量得到一定的改善, 退化速

率逐步降低, 同时在部分地区生境质量还得到一定的提升。

4.3. 城市发展对生境质量变化影响分析

城市的扩张建设是其生境质量下降的重要原因, 然而近几十年济南城市经济高速发展, 随之城市化加快, 建设用地不断扩张, 济南的城市生态环境也在逐步恶化。

21 世纪初, 在国家推进环渤海经济圈发展和黄河流域生态保护的战略背景下, 济南市确立了“建设黄河流域中心城市”的目标, 城市发展按下加速键, 人口密度大幅提升, 城市规模效应不断凸显。1996 年版城市总体规划中, 济南市开启了“东拓西进”的空间拓展战略, 东部依托高新区建设形成产业集聚区, 西部随着大学城和经开区的发展逐步连片, 同时旧城改造同步推进。这一阶段的高强度城市开发, 不可避免地对生境质量造成影响。通过对比 2000 年与 2010 年的生境质量等级图可以发现, 生境质量退化区域主要集中在中心城区, 并呈现出向东部高新区、西部经开区等新兴建设区域蔓延的趋势, 反映出城市快速扩张对周边生态空间的挤占。

2010 年后, 济南市进入城市发展转型期, 新的总体规划技术路线更加注重生态保护与城市建设的协调, 提出构建“山、泉、湖、河、城”一体的生态格局, 完善城镇体系结构, 优化产业布局向绿色低碳转型。2009~2013 年间, 城市扩展用地从早期的无序蔓延转变为以填充式、内涵式发展为主, 零星分布的新增建设用地更多集中在既有城区周边的低效用地改造区域。经过前期的大规模扩张, 济南市城市框架基本确立, 近十年城市扩展规模增速放缓, 生境质量退化区域也从连片分布转变为零散分布在各区县的局部开发热点地区。

与此同时, 济南市高度重视生态建设, 特别是 2018 年以来, 济南市围绕“大强美富通”现代化国际大都市建设目标, 以黄河流域生态保护和高质量发展国家战略为指引, 着力构建“南山北水、两城一环”的生态格局。南部加强泰山余脉生态保育, 实施济南南部山区生态保护与修复工程, 划定生态保护红线; 北部推进黄河生态廊道建设, 实施小清河综合治理、玉符河济西湿地保护等工程, 打造沿黄生态景观带。2019 年济南新旧动能转换先行区获批后, 更是将生态优先理念贯穿城市建设, 通过留白增绿、建设海绵城市等措施, 实现城市发展与生态保护的良性互动。在这一系列政策推动下, 2010~2020 年期间, 南部山区生态保护区、黄河沿岸湿地带的生境质量等级显著提升, 成为全市生境质量改善的核心区域, 特别是泰山余脉生态屏障区, 通过退耕还林、矿区修复等措施, 森林覆盖率持续提高, 生物多样性得到有效保护, 展现了城市发展与生态改善的协同共进。

4.4. 优化策略

基于前文济南市生境质量时空演变特征及城市发展对其的驱动影响分析, 结合区域生态系统服务功能需求与城市高质量发展目标, 从生态保护和城镇建设两个核心维度, 提出针对性、可操作的生境质量优化策略, 推动城市发展与生态保护协同推进, 为区域生态系统可持续发展提供实践支撑。

4.4.1. 生态保护层面

依托济南市“南优北差、中部低值”的生境空间格局, 以守住生态底线、修复退化区域、连通生态网络为目标, 实施差异化保护与修复措施。针对中部城市边缘生境退化区, 应以增绿连通为核心目标。依托玉符河、小清河等水系构建贯通南北的生态廊道, 串联城市公园、绿带与郊野绿地等; 在城镇边缘闲置地、城中村改造区域增加公园绿地、口袋公园与滨水绿道等; 推进海绵城市建设, 增加透水地面与雨水花园, 降低建成区生境胁迫强度。对于北部沿黄湿地群区域, 则以生态修复与风貌提升为核心目标。加快推进黄河生态风貌带建设, 依托济西、白云湖等 7 个国家及省级湿地公园, 实施湿地生态修复、植被恢复与栖息地重构工程; 建立沿黄湿地生境质量常态化巡查与评估机制, 借助卫星遥感与地面监测相

结合的手段开展动态评估,因地制宜推进滩区退地还湿,维护湿地生态系统的完整性与连通性。而面对南部山区水源涵养区域,保水护泉则成为另一重大核心目标,实施严格的生态保护与修复措施。以“两库三川”(卧虎山、锦绣川水库及锦绣川、锦阳川、锦云川)为重点推进流域综合治理,并强化二仙-店子等泉水重点渗漏带保护,清理违建并开展生态修复;持续推进历史遗留矿山治理,消除地质隐患以增强水源涵养功能;同时,通过生态环保督察、严守生态红线及严厉打击破坏行为建立长效监管机制。

4.4.2. 城镇建设层面

针对建设用地持续侵占耕地、城市扩张导致生境质量下降的核心问题,从空间管控、土地利用、产业发展三方面优化城镇建设格局。严格划定城镇开发边界,控制建设用地无序外延扩张,优先盘活存量建设用地、低效用地和城中村改造用地,减少对耕地与生态空间的占用,推动城市从外延扩张转向内涵提升。优化城市空间结构,延续“东拓西进、南控北跨”战略,在中心城区增加公园绿地、滨水绿道、口袋公园等生态空间,降低城镇内部生境胁迫强度。推动产业绿色转型与布局优化,在高新区、经开区等建设区严控高耗能、高污染项目,推进工业园区生态化改造,降低人类活动对周边生境的扰动。同时,将生态优先理念融入新旧动能转换起步区建设,通过留白增绿、海绵城市建设等方式,实现城镇建设与生态保护协同,促进济南“山、泉、湖、河、城”有机融合,支撑黄河流域中心城市绿色高质量发展。

5. 结论

相较于普通平原城市,济南市生境质量演变具有鲜明的地域特殊性,城市扩张、政策调控对生境的影响深度绑定本地泉水水文格局与黄河流域生态定位,其演变机制与治理逻辑更具典型性与特殊性。

济南作为泉城,在2000~2010年城市快速扩张阶段,中部建成区向南、向东无序蔓延,部分建设用地、硬化路面侵占泉脉重点补给区与渗漏带,破坏了地表水入渗补给地下水的自然通道,不仅造成区域生境质量下降、生态斑块破碎化,更直接扰动泉水涵养循环系统,加剧地下水超采、泉水间歇性停喷等生态问题。这一阶段的城市开发以土地经济效益为核心,忽视了济南独特的水文地质生态禀赋,导致城市建设与泉脉保护形成尖锐矛盾。2010年后,济南市逐步确立“保泉优先”发展理念,严格划定泉域生态保护红线,严控补给区、渗漏带开发建设,逐步修复泉脉核心区生境,实现城市建设与泉脉保护的初步平衡,也印证了特殊生态功能区差异化管控对生境质量提升的关键作用。

新旧动能转换先行区建设同样具有生态协同效应,先行区地处济南北部黄河沿岸,是城市北跨发展的核心载体,也是黄河生态廊道的关键组成部分,承担着城市产业转型、空间拓展与黄河生态保护的双重使命。研究发现,2010~2020年该区域未出现大规模生境退化,反而依托生态优先的建设理念,实现了开发建设与生态保护的动态平衡,与前期粗放式城市扩张形成鲜明对比。先行区摒弃了传统城市“先开发、后治理”的发展模式,将黄河生态廊道保护、湿地修复、海绵城市建设融入国土空间开发全过程,通过留白增绿、严控开发强度、优化产业布局,有效避免了建设用地无序扩张对黄河湿地、滩涂生态系统的破坏,维持了北部沿黄生境的完整性与连通性。同时,先行区产业绿色转型有效降低了人类活动对区域生境的扰动,成为济南城市高质量发展与生境质量协同提升的核心示范区,也为黄河下游沿岸城市统筹开发建设与生态保护提供了实践参考。

整体而言,济南市20年间生境质量的演变过程,本质是城市化人类活动扰动与生态政策修复调控双向博弈的结果。城市扩张是生境退化的核心驱动因素,而针对性的生态保护政策、差异化的区域管控模式是生境质量止跌回升的关键抓手。不同于常规城市生境演变规律,济南生境质量变化始终受“泉脉生态安全”与“黄河流域生态战略”双重约束,形成了“南部严控保泉护绿、中部提质降扰、北部治河修复”的独特演变格局。

参考文献

- [1] 靳宇鑫, 陈杰, 郭羽洁. 基于 InVEST 模型的山西省生境质量评价[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2024, 40(4): 101-105.
- [2] He, J., Huang, J. and Li, C. (2017) The Evaluation for the Impact of Land Use Change on Habitat Quality: A Joint Contribution of Cellular Automata Scenario Simulation and Habitat Quality Assessment Model. *Ecological Modelling*, **366**, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.10.001>
- [3] 胡静, 何如海, 刘娜, 等. 河南省生境质量时空演变特征及影响因素[J]. 安徽农业大学学报, 2022, 49(6): 961-970.
- [4] 梁晓瑶, 袁丽华, 宁立新, 等. 基于 InVEST 模型的黑龙江省生境质量空间格局及其影响因素[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(6): 864-872.
- [5] 陈实, 金云翔, 黄银兰. 长三角中心区生境质量时空变化及其影响机制[J]. 生态学杂志, 2023, 42(5): 1175-1185.
- [6] 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.
- [7] Peng, J., Pan, Y., Liu, Y., Zhao, H. and Wang, Y. (2018) Linking Ecological Degradation Risk to Identify Ecological Security Patterns in a Rapidly Urbanizing Landscape. *Habitat International*, **71**, 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.11.010>
- [8] Berta Aneseyee, A., Noszczyk, T., Soromessa, T. and Elias, E. (2020) The Invest Habitat Quality Model Associated with Land Use/Cover Changes: A Qualitative Case Study of the Winike Watershed in the Omo-Gibe Basin, Southwest Ethiopia. *Remote Sensing*, **12**, Article 1103. <https://doi.org/10.3390/rs12071103>
- [9] 杨苏诗. 基于 CLUE-S 和 InVEST 模型的天府新区生境质量评价[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2019.
- [10] 陈琳. 基于 InVEST 模型的四川省 2000-2020 年生境质量时空动态变化研究[J]. 河南科技, 2023, 42(4): 94-99.