

# 基于 InVEST 模型的漳州市生境质量时空演变特征

林仕宇, 陈馨, 陆东芳\*

(福建农林大学风景园林与艺术学院, 福建 福州 350007)

**摘要:**区域生境质量是影响生态系统服务功能、维持生态环境可持续发展的关键因素,研究土地利用类型转变造成的生境质量变化,可以更好地揭示城市扩张对生境破碎、退化、丧失的影响,从而为区域生态的修复提供科学依据。该文利用 InVEST 模型,对漳州市 2000—2020 年生境质量时空演变进行分析,运用 ArcGIS 工具对处理后的数据进行可视化呈现。结果表明:(1)漳州市 2000—2020 年生境质量指数基本维持在 0.705 左右,表明生态环境总体良好、稳定,抗干扰能力强。(2)2000—2020 年,漳州市部分区域的生态环境质量在城市化和工业化的推进中,出现了逐年下降的趋势。总体而言,研究区生境质量下降的地区数量较少,零星分布;而生境质量不变或改善的地区比例达到 92.16%。(3)漳州市西北部边缘生境质量从 2000 年至今有显著提升,总体上呈现较高的演化趋势,漳州中部、南部生境质量明显下降,应适时适地开展生态修复工程。

**关键词:**InVEST 模型;土地利用;生境质量;演变;漳州市

**中图分类号:**F301;F327;P901;Q948.15<sup>+</sup>6 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2023.01.003

## Temporal and spatial evolution characteristics of habitat quality in Zhangzhou City based on InVEST model

Lin Shiyu, Chen Xin, Lu Dongfang\*

(College of Landscape Agriculture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** Regional habitat quality is a key factor affecting ecosystem service function and maintaining sustainable development of ecological environment. Studying the change of habitat quality caused by the change of land use type can better reveal the impact of urban expansion on habitat fragmentation, degradation and loss, so as to provide scientific basis for the restoration of regional ecology. In this article, InVEST model was used to analyze the temporal and spatial evolution of habitat quality in Zhangzhou City from 2000 to 2020, and ArcGIS tool was used to visualize the processed data. The results showed that: (1) The habitat quality index of Zhangzhou City from 2000 to 2020 was basically maintained at about 0.705, indicating that the ecological environment was generally good, stable and strong anti-interference ability. (2) From 2000 to 2020, the ecological environment quality in some regions of Zhangzhou City has shown a trend of decline year by year in the process of urbanization and industrialization. In general, the number of areas with declining habitat quality was small and scattered in the study area. The proportion of areas with unchanged or improved habitat quality reached 92.16%. (3) The quality of marginal habitats in northwestern Zhangzhou has improved significantly since 2000, showing a relatively high evolutionary trend on the whole. The quality of habitats in central and southern Zhangzhou has decreased significantly, so ecological restoration projects should be carried out timely and appropriately.

**Key words:** InVEST model; Land use; Habitat quality; Evolution; Zhangzhou City

收稿日期:2022-11-10;修回日期:2022-12-15

基金项目:福建省社会科学基金项目(FJ2022BF061);福建农林大学优势特色学科建设项目(115-722022006)

作者简介:林仕宇(1996-),男,福建福州人,硕士研究生。研究方向:风景园林规划设计。E-mail:446053179@qq.com

\*通信作者:陆东芳(1977-),女,福建莆田人,副教授,博士。研究方向:风景园林规划与设计。E-mail:995300247@qq.com

在城镇化快速发展背景下,频繁的人类社会生产活动导致了区域土地利用类型在不断的解构与重构,随之产生的生境退化等环境问题极大地影响生境质量。为完善生态文明制度体系,国家深入探索并开展生态文明试验区建设。漳州市作为福建省管辖的地级市,正积极融入国家生态文明试验区建设,坚持生态优先、绿色发展,协调城镇化与生态文明的发展与建设,提升城市生境质量<sup>[1]</sup>。对城市生境质量进行评估有助于维护城市生态系统、保护区域生态安全格局。

生境质量是指生态系统为生存在其中的个体和种群在一定时间和空间内提供适宜生存的条件与能力<sup>[2-4]</sup>,它的高低能够直接反映该区域提供物种生存的能力,它是一切生态系统功能服务提供的前提和基础,更是生态可持续发展的关键一环<sup>[5-7]</sup>。了解在城镇化发展过程中漳州市生境质量时空演变的规律,对区域土地利用的规划和管理提出科学参考依据,对城市提高生物多样性和生态承载力有着重要意义。

在已有研究成果中,人类社会活动与生境质量的响应是十分密切的。土地利用类型则是其维持关系的媒介,土地利用类型的转变能够直观地表达区域的经济水平与人口的空间聚集程度<sup>[8-9]</sup>。因此分析区域生境质量的时空动态变化具有非常重要的实用性价值。目前,对于生境质量评估模型愈发多样,如张杰京等<sup>[10]</sup>运用 MaxEnt 模型计算普洱澜沧地区亚洲象种群活动区的生境适应性,分析人象冲突与生境变化的关联;孟庆林等<sup>[11]</sup>以吉林省东部地区为研究区建立 HSI 模型,模拟评价区域生境质量的动态变化,为区域生态环境保持长期稳定提供参考依据;任胤铭等<sup>[12]</sup>运用 InVEST 模型模拟评估了京津冀地区不同情景下的生境质量,为研究区未来不同政策情景下土地利用规划管理提出建议。在众多生境质量评估模型之中,InVEST 模型最为成熟,其优势不仅能够直观地将数字结果映射为图形,而且还涵盖较多领域所需的计算模块,是目前运用最多的生态系统服务评估模型<sup>[13-15]</sup>。国内外学者以城市、流域、山脉等不同地形地貌的区域作为研究对象,通过分析土地利用的时空演变对研究区生境质量变化及影响作出分析,取得了丰硕的研究成果。

本文以 2000—2020 年漳州市土地利用类型的变化为基础,运用 InVEST 模型评估漳州市生境质

量并结合土地利用分析其时空演变特征及规律,研究结果在一定程度上为推进漳州市生态文明建设可持续发展,缓解城市快速发展对生态系统造成的负面影响提供理论支持。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

漳州市作为海峡西岸经济区中心城市,地处闽南金三角南端,漳州陆域地处北纬 23°34′—25°15′,东经 116°54′—118°08′ 之间,全市陆地面积 12 600 km<sup>2</sup>,海域面积 1.86 km<sup>2</sup>。漳州市属亚热带季风性湿润气候,年平均气温 21 ℃,雨水充沛,平均降水量 1 500 mm 左右。

### 1.2 数据来源

本文所应用的 2000—2020 年 5 期 30 m 分辨率的栅格数据集均来源于中国科学院资源与环境科学数据中心 (<http://www.resde.cn/Default.aspx>),土地利用数据采用二级分类系统,共 6 个一级类,18 个二级类,如表 1 所示。漳州市电子地图矢量数据来源于地理国情监测云平台 ([www.dsac.cn/](http://www.dsac.cn/)),地图坐标统一为 CGCS\_2000。

表 1 漳州市土地利用分类体系

一级地类	二级地类
耕地	水田
	旱地
林地	有林地
	灌木林地
	疏林地
	其他林地
草地	高覆盖度草地
	中覆盖度草地
	低覆盖度草地
水域	河渠
	湖泊
	海涂
	滩地
城乡、工矿、居民用地	城镇
	农村居民点
	其他建设用地
未利用土地	裸土地
	裸岩石砾地

### 1.3 研究方法

1.3.1 生境质量计算方法 本文运用 InVEST 模型 3.10.2 版本中的 Habitat Quality 生境质量评估模

块,利用研究区土地利用信息、威胁源胁迫距离和权重、各景观的适宜度和不同威胁源的敏感度,得出研究区的生境质量指数,从而评价研究区生态环境质量。具体计算表达式如下<sup>[16]</sup>:

生境退化度:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} (W_r / \sum_{r=1}^R W_r) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr};$$

$$i_{rxy} = 1 - (d_{xy} / d_{rmax}) \quad (\text{线性衰退时});$$

$$i_{rxy} = \exp(-2.99 d_{xy} / d_{rmax}) \quad (\text{指数衰退时})。$$

式中,  $D_{xj}$  为生境类型  $j$  中  $x$  栅格的生境退化程度;  $R$  为威胁源个数;  $W_r$  为威胁源  $r$  的权重;  $Y_r$  为威胁源的栅格数;  $r_y$  为栅格  $y$  的胁迫值;  $i_{rxy}$  为栅格  $y$  的胁迫值  $r_y$  对栅格  $x$  的胁迫水平;  $\beta_x$  为威胁源度栅格  $x$  的可达性;  $S_{jr}$  为生境类型  $j$  对威胁源  $r$  的敏感度;  $d_{xy}$  为栅格  $x$  与栅格  $y$  的直线距离;  $d_{rmax}$  为威胁源  $r$  的最大胁迫距离。

生境质量:

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

式中,  $Q_{xj}$  为生境类型中  $x$  栅格的生境质量指数;  $H_j$  为生境类型  $j$  的生境适宜度, 值域为  $[0, 1]$ ;  $k$  为半饱和常数, 取值为 0.5。  $z$  为归一化指数, 为模型的默认参数。

由于不同的土地利用对生态环境的威胁程度存在差异, 而人为因素对生态环境的影响是最大的, 所以根据该模型手册建议的参照值以及前人研究成果<sup>[17-18]</sup>结合漳州市土地利用现状, 本文将城镇用地、农村居民点和其他建设用地设置为生态环境的威胁因子, 威胁因子的最大威胁距离、权重及空间衰退类型如表 2 所示。

表 2 威胁因子及其胁迫强度

威胁因子	最大威胁距离/km	权重	空间衰退类型
城镇用地	10	1	指数型
农村居民点	8	0.7	指数型
其他建设用地	7	0.6	指数型

依据黄宇斌、赵智源等<sup>[19-20]</sup>的对于南方城市生境质量的研究成果, 漳州市生态系统服务价值量最高的林地和水域用地类型生境适宜度设定为高 ( $>0.75$ ), 生态系统服务价值量较高的草地生境适宜度设定为较高 ( $>0.5$ ), 生态系统服务价值量低的裸土地和裸岩石砾地等未利用地生境适宜度设定

为 0, 人为开发的城镇用地、农村居民点用地及其他建设用地生境适宜度设定为 0。漳州市生境适宜性及生境对各类威胁源的敏感程度如表 3 所示。

表 3 漳州市土地利用类型的生境适宜性及其对胁迫因子的敏感性程度

土地利用类型	生境适宜度	对威胁因子的敏感性程度		
		城镇用地	农村居民点	其他建设用地
水田	0.3	0.5	0.7	0.5
旱地	0.3	0.5	0.7	0.5
有林地	1	0.5	0.85	0.55
灌木林地	0.9	0.8	0.65	0.6
疏林地	0.7	1	0.9	0.75
其他林地	0.5	1	0.95	0.65
高覆盖度草地	0.8	0.6	0.45	0.3
中覆盖度草地	0.75	0.65	0.4	0.3
低覆盖度草地	0.7	0.7	0.55	0.5
河渠	0.8	0.85	0.7	0.7
湖泊	0.8	0.9	0.75	0.8
海涂	0.6	0.9	0.8	0.8
滩地	0.6	0.95	0.85	0.8
城镇	0	0	0	0
农村居民点	0	0	0	0
其他建设用地	0	0	0	0
裸土地	0	0	0	0
裸岩石砾地	0	0	0	0

1.3.2 生境质量服务功能区域划分方法 利用 ArcGIS 10.5 空间分析模块的重分类工具对生境质量的评估结果进行重分类, 按生态系统服务功能的分级标准(见表 4), 将其划分为较低、一般、较高和高 4 个等级。

表 4 生态系统服务功能分级标准

服务功能	等级划分			
	较低	一般	较高	高
生境质量指数	$<0.25$	$0.25-0.5$	$0.5-0.75$	$0.75-1.0$

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用变化

2020 年漳州市主要的土地利用规模由大到小依次为林地、耕地、草地、建设用地、水域和未利用地。由图 1 和表 5 可以看出, 从 2020 年起, 耕地转化为建设用地的土地数量大幅增长, 达到 602.55 km<sup>2</sup>, 其中耕地转变为建设用地的面积最大, 为 281.85 km<sup>2</sup>, 占总面积的 30%, 其次是林地, 为

224.47 km<sup>2</sup>, 占总面积的 24%, 说明 2000 年后漳州市在政府的扶持下, 建筑产业蓬勃发展。草地、林地的面积变化不大, 说明期间漳州市生态环境保护规划落实到位。水域相比较于 2000 年增加了

166.27 km<sup>2</sup>, 增长了 95%, 说明漳州市水系得到了有效的管理与保护。20 a 来, 耕地面积增长 119.03 km<sup>2</sup>, 其中以林地和草地为主。

表 5 2000—2020 年土地利用转移矩阵

km<sup>2</sup>

2000 年土地利用类型	2020 年土地利用类型						2000 年总计
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
耕地	2 440.86	80.97	28.81	35.73	281.85	0.10	2 868.33
林地	76.81	6 312.51	102.50	13.76	224.47	0.74	6 730.79
草地	26.01	92.16	2 087.26	4.75	87.30	0.35	2 297.83
水域	4.98	4.16	1.25	174.12	8.05	0.04	192.60
建设用地	11.08	9.23	4.62	111.72	323.58	0.00	460.22
未利用地	0.09	0.44	0.59	0.30	0.88	10.88	13.17
2020 年总计	2 559.83	6 499.46	2 225.03	340.39	926.14	12.12	12 562.95

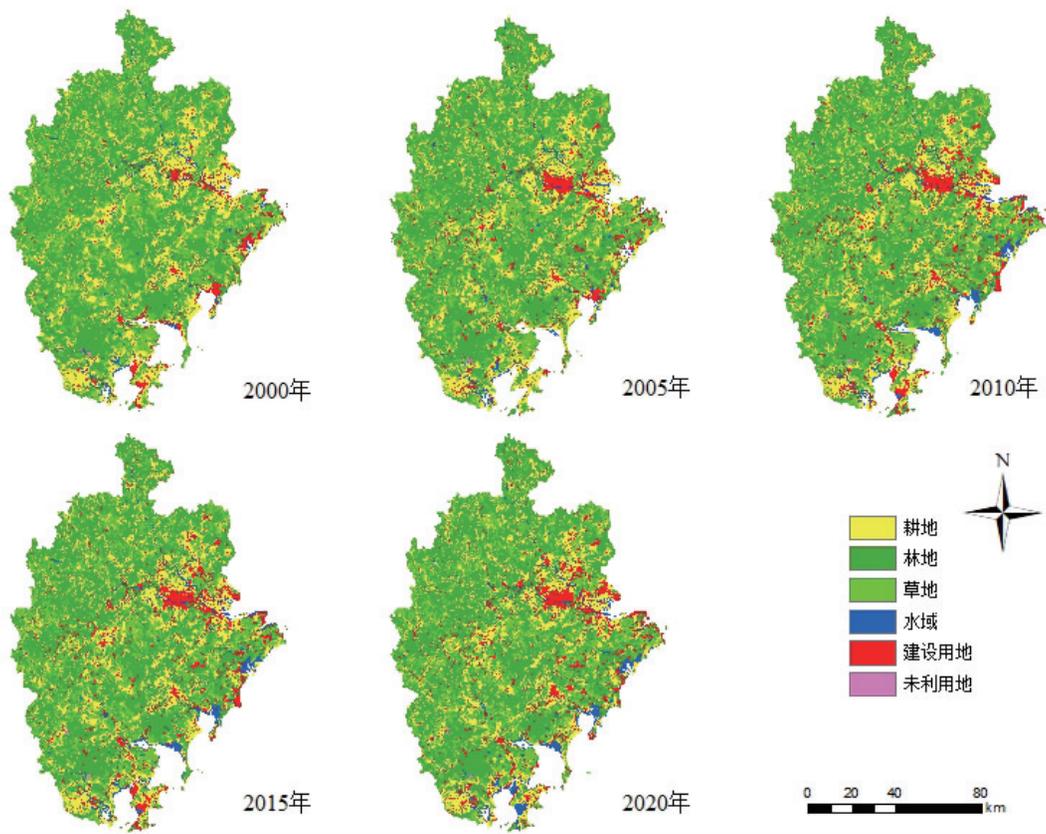


图 1 2000—2020 年漳州市土地利用变化情况

### 2.2 生境质量变化

通过 InVEST 模型中得到的生境质量分布图, 其指数介于 0—1 之间, 数值越大则表明区域生境质量越好。本研究通过 Arcgis10.5 平台采用分区统计得到 2000—2020 年漳州生境质量指数。2000, 2005, 2010, 2015, 2020 年漳州生境质量指数分别为

0.706, 0.707, 0.704, 0.704, 0.706, 表现出先上升后减少随之又增加的演变趋势。在 2000—2005 年, 生境质量指数增加 0.14%, 之后 2015—2020 年增长了 0.28%; 与此同时, 漳州市生境质量指数长期处于 0.705 左右的水平, 呈现小幅度波动, 表明研究区生境质量整体较为稳定, 这得益于漳州长期的生态环

境保护规划。

### 2.3 生境质量时空变化

由图2来看,漳州市生境质量指数的高值区都位于西部和北部,主要集中在华安县、南靖县和平和县。生境指数的低值区主要集中在漳州市东部长泰县、龙海市以及南部的东山岛与诏安县。同时,研究区2000—2020年的生境质量指数逐渐减小的地区主要集中在漳州市中部、南部,且西北边沿区域生境质量逐步提高。在各地区,生境质量指标无变动区域主要集中在已建成的城镇地区,且空间上分布比较集中。根据研究区的生境质量指数的时空变化来看,2000—2020年期间,其生境质量变

化幅度较为明显。自2000年至2005年以来,研究区总体生境质量有着显著的提高;2005年至2010年出现了微幅下降的趋势;2010至2015年度的变化幅度较为平稳;2015年至2020年的增长势头有所增强,其中2020年的增幅尤为明显。漳州市东部漳浦县、东山岛流域在2020年的生境质量得到了显著的改善,2020年漳州东部漳浦县与南部东山岛2地流域的生境质量有明显的提升,这主要得益于漳州长期的生态环境规划保护,实施加强区域、城市生态保护体系、加大水环境整治力度、推动生态保护补偿机制等措施,使得流域生态走廊得到了进一步的改善,生境质量也由此得到提升。

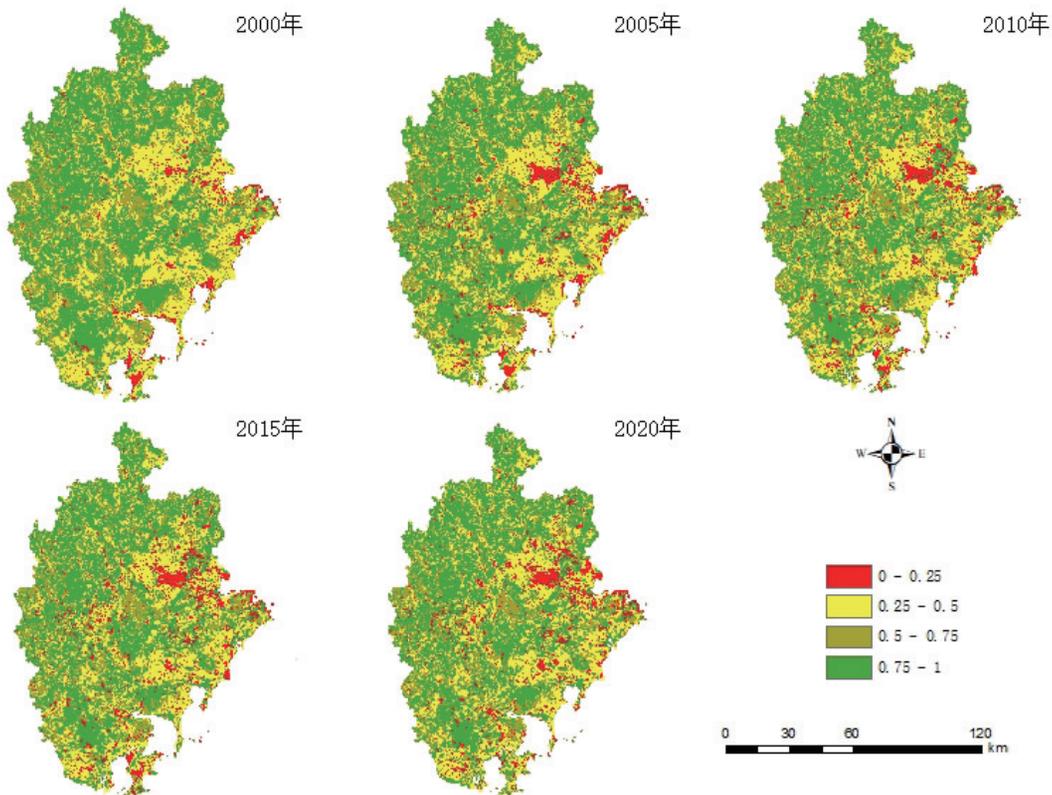


图2 2000—2020年漳州生境质量变化情况

### 2.4 生境质量等级的面积变化

2000年至2020年,研究区生境质量等级为一般及以上区域面积占比约为85%,在时空维度上处于稳定发展的趋势,表明研究区总体生境质量水平较高。从图3看,2000,2005,2015年研究的生境质量指数处于较高和高等级区域的面积占总面积比重较为突出,较高级区域面积占比分别为17.42%,16.95%和17.30%,高等级区域面积占比分别为

40.58%,39.40%和39.48%。整体上来看,生境质量较高和高等级区域面积占比呈现先下降后上升的U形曲线,表明研究区生境质量有逐渐好转的趋势,但速率较为缓慢。生境质量处于较低等级区域面积占比高达17.37%,并且呈现逐年上升的趋势,反映出研究区人为干扰,生态脆弱区的面积不断增大,主要是由于漳州市的工业化和城市化的加速,以及地产行业的迅速发展。同时,研究区生境质量

处于一般及以下等级区域面积呈现先上升后下降的趋势,说明 2010 年以来,漳州市对于这类用地类型的生态修复较为重视,推进生态文明建设的工作得到了初步的成效。

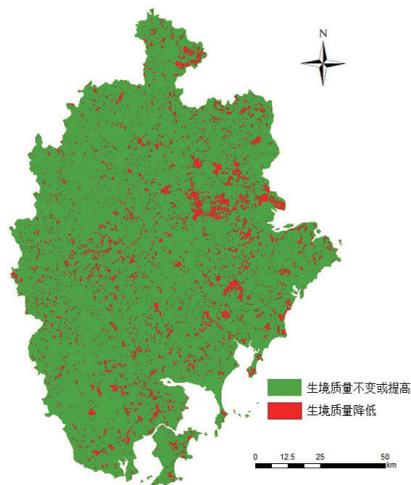


图 3 2000—2020 年漳州市各级生境质量面积占比

### 3 结论与讨论

本文基于土地利用并运用 InVEST 模型、Arcgis 等软件,分析 2000—2020 年漳州市生境质量时空演变规律,得到的结论与以往的研究结果一致。

(1)从时间跨度上来看,20 a 间研究区的生境质量指数整体在 0.705 附近波动,呈现平稳起伏的特征,由此看出,漳州市生态系统稳定性较强,说明人为干扰还未加深生境质量的退化,需要维持现状成果,并提出更高的生态保护规划要求,使之朝着更好的方向发展。

(2)从空间格局上看,研究区生境质量保持不变和有所提高的区域具有较强的集聚性,其占比达到整体区域面积的 92.16%,以漳州市西北部边缘地区最为显著。研究区生境质量降低的区域面积较小,呈零星分布,这与该区域的自然和人为因素密切相关,地形地貌等自然条件决定了生境质量的基底,而土地利用等人为因素则影响了生境质量变化的趋势。

(3)从整体上看,研究区生境质量较高,但研究期间仍有下滑的趋势。本文通过 InVEST 模型和 Arcgis 软件结合土地利用时空变化,分析研究区 20 a 间生境质量的时空演变及规律,以期为漳州市和其他城市加强生态环境保护提供思路,为生态文明建设贡献力量。

本文通过 InVEST 模型得到的生境质量评价结果,能较好地表征研究期间研究区生境质量的时空演变规律,但仍然存在一些不足之处:(1)近年来运用 InVEST 模型得到的研究成果越来越多,其模型发展愈发成熟,功能也愈发完善,模型的空间动态分析精度对比于其他传统的生态评估方法更加准确,但计算过程中其相关参数设定由于参考使用指南和前人的研究成果,故存在一定程度的主观性;(2)本研究对生态环境的状况包含范围较为狭窄,不仅包括生境质量,其他净化水质、净化空气和土壤保持等生态系统功能也十分重要,有待在此基础上深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈长,顾红,刘颜.国家生态文明试验区经济高质量发展政策效应研究[J].生态经济,2023,39(1):215-222.
- [2] 邱天琦,王向荣.基于 InVEST 模型的长株潭城市群生境质量时空演变分析研究[J].林业资源管理,2022(5):99-106. DOI: 10.13466/j.cnki.lyzygl.2022.05.013.
- [3] 胡露,冯彬,白文科,等.四川大熊猫保护地生境质量时空演变特征[J/OL].生态学杂志:1-11[2023-02-13].http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20221229.1405.005.html.
- [4] TANG F,WANG L,GUO Y, et al. Spatio-temporal variation and coupling coordination relationship between urbanisation and habitat quality in the Grand Canal, China[J].Land Use Policy, 2022, 117:106-119.
- [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/OL].生态学杂志:1-14[2023-02-13].http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20221020.1139.007.html.
- [6] 路亚方,李红波.2000—2020 年基于土地利用变化的生境质量时空动态演变——以武汉城市圈为例[J].水土保持研究, 2022,29(6):391-398.
- [7] DAI L M, LI S L, LEWIS B J, et al. The influence of land use change on the spatial - temporal variability of habitat quality between 1990 and 2010 in Northeast China[J].Journal of Forestry Research, 2019,30:2227-2236.
- [8] 钱红运,陈爽.特大城市新区土地利用变化对生态系统服务权衡-协同关系影响:以南京江北新区为例[J/OL].生态与农村环境学报:1-10[2023-02-13].https://doi.org/10.19741/j.issn.1673-4831.2022.0580.
- [9] SALLUSTIO L,DE TONI A,STROLLO A, et al. Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy[J].Journal of Environmental Management, 2017, 201: 129-137.
- [10] 张杰京,陈飞,谢菲,等.亚洲象生境长时序变化及其对人象冲突的影响——基于融合 MaxEnt 与 HSI 模型的生境适宜性评价方法[J/OL].生态学报,2023(9):1-13[2023-02-13].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.q.20220915.1843.002.html.

(下转第 24 页)

## 参考文献:

- [1] PARHAM R, HERGERT H. Fluff pulp: a review of its development and current technology [J]. Pulp paper, 1980, 54(3): 110-115, 121.
- [2] SEALEY J E, FIELDS B A. Fluff pulp and high sap loaded core; US11041272B2[P]. 2021-06-22.
- [3] SMITHER S. Market Reports and Trends. The future of fluff pulp to 2027[M/OL]. English: Smithers, 2022[2022-5-27]. <https://www.smithers.com/services/market-reports/nonwovens/the-future-of-fluff->
- [4] ALIREZA A. Nonwood Fibers—A potential source of raw material in papermaking [J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2006, 45(10):1133-1136.
- [5] 丁雨龙. 我国竹浆生产现状及发展前景[J]. 国土绿化, 2019(11):2.
- [6] 王梦迪, 雷以超. 温和碱预处理制备慈竹绒毛浆的工艺研究[J]. 中国造纸, 2022(4):22-29.
- [7] 周仕强. 非木材纤维绒毛浆[J]. 四川造纸, 1994, 23(3): 107-114.
- [8] 东旭, 于明娇, 赵宏宇, 等. 竹碳纤维及其纺织品的开发现状和应用发展[J]. 辽宁丝绸, 2020(2):41-42.
- [9] 邓燕群, 金颖, 于丹妮, 等. 负离子纤维/竹碳纤维混纺纱及面料开发[J]. 纺织科学与工程学报, 2022, 39(1): 13-16, 21.
- [10] ASKLING C, WAGBERG L, RIGDAHL M. Effects of the process conditions during dry-defibrillation on the properties of cellulosic networks [J]. Journal of Materials Science, 1998, 33(8): 2005-2012.
- [11] LUND K, SJOSTROM K, BRELID H. Alkali extraction of kraft pulp fibers: Influence on fiber and fluff pulp properties [J]. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2012, 7(2): 63-69.
- [12] SEALEY J E, FIELDS B A, FROASS P M. Fluff pulp and high sap loaded core; U. S Patents, EP2882900B1[P]. 2014-2-13.
- [13] 苟立异, 杨桓柏, 韩成辉, 等. 竹材纤维绒毛浆及其制造方法; CN1103124 A[P]. 1994-06-17.
- [14] XU Y J, NING Y Z, ZUO L, et al. Effects of silane debonder on the properties of fluff pulp and the study of relevant mechanism [J]. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2016, 11(2): 32-39.
- [15] 江国华, 施宇斐, 孙延芳, 等. 一种竹纤维绒毛浆及其制备方法和应用; CN202210333279X[P]. 2022-03-31.
- [16] 徐永建, 王倩, 王皎. 膨松剂对绒毛浆性能的影响及其作用机理[J]. 中国造纸, 2013, 32(11): 14-19.
- [17] 徐永建, 敬玲梅. 马尾松绒毛浆板耐破度及其吸水性的研究[J]. 纸和造纸, 2010(10):4.
- [18] 宋宝祥. 造纸碳酸钙品质特性与应用现状及前景[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2006(3):9-15.
- [19] OH S Y, YOO D I, SHIN Y, et al. Crystalline structure analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide by means of X-ray diffraction and FTIR spectroscopy [J]. Carbohydrate Research, 2005, 340(15):2376-2391.
- [20] FENGEL D. Characterization of cellulose by deconvoluting the OH valency range in FTIR spectra[J]. Holzforschung, 1992, 46(4): 283-288.
- [21] 徐永健, 闫瑛. 用 Origin 软件辅助 FT-IR 分析纤维素纤维氢键模式[J]. 纸和造纸, 2013, 32(7):36-39.
- [16] SHARP R, DOUGLASS J, WOLNY S, et al. InVEST 3.10.2. User's Guide[M]. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, the Nature Conservancy, World Wildlife Fund, 2020:307.
- [17] LI Q, ZHOU Y, MARRY A C, et al. Spatio-temporal changes in wildlife habitat quality in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1980 to 2100 based on the InVEST model [J]. Journal of Resources and Ecology, 2021, 12(1):43-55.
- [18] 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):6406-6417.
- [19] 黄宇斌. 基于生境质量评估的厦门市绿色空间格局优化研究[D]. 福州:福建农林大学, 2022.
- [20] 赵智源, 武国胜, 林惠花. 基于 LUCC 和 InVEST 模型的长汀县生境质量研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2022, 17(4): 37-45.

(上接第 17 页)

- [11] 孟庆林, 李明玉, 任春颖, 等. 基于 HSI 模型的吉林省东部地区生境质量动态评价[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(3): 140-147.
- [12] 任胤铭, 刘小平, 许晓聪, 等. 基于 FLUS-InVEST 模型的京津冀多情景土地利用变化模拟及其对生态系统服务功能的影响研究[J/OL]. 生态学报: 1-15[2023-02-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20230207.1115.037.html>.
- [13] 马良, 金陶陶, 文一惠, 等. InVEST 模型研究进展[J]. 生态经济, 2015, 31(10):126-131, 179.
- [14] 钟莉娜, 王军. 基于 InVEST 模型评估土地整治对生境质量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1):250-255.
- [15] ANESEYEE A B, NOSZCZYK T, SOROMESSA T, et al. 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[J]. Remote Sensing, 2020, 12:1103.