

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.06.020.

蒙莎莎, 陆汝成, 庞晓菲. 2000—2020年广西陆地边境地区生境质量演变[J]. 水土保持研究, 2023, 30(6): 376-385.

Meng Shasha, Lu Rucheng, Pang Xiaofei. Evolution of Habitat Quality in the Land Border Areas of Guangxi from 2000 to 2020[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(6): 376-385.

## 2000—2020年广西陆地边境地区生境质量演变

蒙莎莎<sup>1</sup>, 陆汝成<sup>1,2</sup>, 庞晓菲<sup>3</sup>

(1. 南宁师范大学 自然资源与测绘学院, 南宁 530001;

2. 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001; 3. 南宁师范大学 地理科学与规划学院, 南宁 530001)

**摘要:** [目的] 评估广西陆地边境带生境质量和退化程度, 探索其演变特征和聚集效应, 为区域生态文明建设, 保护生态环境和生物多样性, 实现绿色发展提供参考。 [方法] 基于 InVest 模型和 Moran's  $I$  指数探究了广西边境地区的生境质量和生境退化程度, 分析了其在时空上的演变情况和聚集程度。 [结果] (1) 2000—2020 年广西边境地区发生生境质量退化程度较低的地区主要分布在林地、草地等自然生态条件较好的地区, 在耕地、建设用地、河流水域等人类活动区域发生生境退化明显。 (2) 总体来看, 广西边境地区生境质量得分较高, 2000 年、2010 年和 2020 年的平均生境质量值分别为 0.7392, 0.7395, 0.7342, 存在部分县市在城市建设中占用耕地导致生境质量降低。 (3) 广西边境地区生境质量在空间分布上有显著的集聚性, 高一高型集聚区面积虽明显大于低—低型集聚区, 但存在低—低型集聚区对高一高型集聚区进行切割导致高等生境集中连片的程度降低。 [结论] 广西边境地区土地利用变化对区域的生境质量有着深刻的影响, 未来应加强底线约束和人为活动引导。

**关键词:** 广西陆地边境; InVest 模型; 生境质量

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)06-0376-10

### Evolution of Habitat Quality in the Land Border Areas of Guangxi from 2000 to 2020

Meng Shasha<sup>1</sup>, Lu Rucheng<sup>1,2</sup>, Pang Xiaofei<sup>3</sup>

(1. School of Natural Resources and Surveying, Nanning Normal University, Nanning 530001, China; 2. Key Laboratory of Environmental Evolution and Resource Utilization in the Beibu Gulf, Ministry of Education, Nanning 530001, China; 3. School of Geographic Science and Planning, Nanning Normal University, Nanning 530001, China)

**Abstract:** [Objective] The aims of this study are to evaluate the quality and degradation of habitats in the land border zone of Guangxi, and explore their evolutionary characteristics and aggregation effects, so as to provide reference for the construction of regional ecological civilization, the protection of the ecological environment and biodiversity, and the realization of green development. [Methods] Based on the InVest model and Moran's  $I$  index, the habitat quality and degree of habitat degradation in the border areas of Guangxi was explored, and their spatiotemporal evolution and aggregation degree were analyzed. [Results] (1) From 2000 to 2020, the areas with a low degree of habitat quality degradation in the border areas of Guangxi mainly distributed in areas with good natural environmental conditions such as forests and grasslands, while significant habitat degradation occurred in human activity areas such as cultivated land, construction land, and river water. (2) Overall, the habitat quality score in the border areas of Guangxi was relatively high, with average habitat quality values of 0.7392, 0.7395 and 0.7342 in 2000, 2010 and 2020, respectively. There were some

收稿日期: 2022-09-11

修回日期: 2022-10-08

资助项目: 国家自然科学基金“‘四维度’的边境耕地多功能利用与国家战略农田划定研究——以广西边境地区为例”(42061043)

第一作者: 蒙莎莎(1999—), 女, 广西贵港人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源利用与规划。E-mail: 2946078718@qq.com

通信作者: 陆汝成(1972—), 男, 广西临桂人, 博士, 教授, 主要从事土地利用、土地规划与区域发展研究。E-mail: 710912213@qq.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

counties and cities that occupied farmland in urban construction, resulting in a decrease in habitat quality. (3) The habitat quality in the border areas of Guangxi had significant clustering in spatial distribution. Although the area of high-high type clustering areas was significantly larger than that of low-low type clustering areas, there were low-low type clustering areas that cut the high-high type clustering areas, resulting in a decrease in the degree of concentration and fragmentation of higher habitats. [Conclusion] Land use changes in the border areas of Guangxi have a profound impact on the quality of regional habitats. In the future, we should strengthen bottom-line constraints and guide human activities.

**Keywords:** land border of Guangxi; InVest model; habitat quality

早在 20 世纪 70 年代,由工业污染引起的生态环境问题就引起了国际社会的关注。1972 年,在世界环境污染日益严重、各国人民反对污染的呼声越来越高的背景下,联合国召开第一次人类环境会议,人们开始意识到生态环境问题不再是简单地排放污染物,还涉及到自然保护、生态平衡和资源利用的问题,发展与保护环境逐渐成为了世界上的一个重大的社会、经济、技术问题。党的十八大以来,建设生态文明成为我国长期工作的重点。尽管近年来我国在生态文明建设中取得重要进展,但经济发展面临越来越突出的环境制约使得人民群众对于良好生态环境的要求越来越迫切。生态文明的本质是生境<sup>[1]</sup>,生境是生物多样性的载体,因此生态文明建设与优化生境质量、维护生物多样性密不可分。生境是指物种或物种群体赖以生存的生态环境,生境质量表示生态系统为物种或物种群体提供持续生存的能力<sup>[2]</sup>。生境质量的优劣受到其他因素的影响,不完全由该生态环境决定,如建设用地的扩张造成生境范围的萎缩和破碎化,甚至导致生境的丧失,对生物多样性带来极强的负效应。随着人类活动强度的提高和土地利用变化程度的加剧,生境质量问题成为生态多样性保护和研究的核心内容之一。

现有研究中,国内外的众多学者在早期的生境质量研究主要是以小尺度区域为研究对象,通过野外生物多样性本底调查和构建生境质量评估体系进行生境质量的评估<sup>[3]</sup>,如测量和评估栖息地内的资源、质量、与其他物种的关系等各类属性<sup>[4]</sup>、直接记录物种密度的变化等<sup>[5]</sup>,关注的是物种及种群等水平的生境条件地域分异特征和生物多样性变化,该类研究具有研究尺度小、数据难以获取、评价准确度较高的特点。随着生态与环境科学领域的发展,学者们开始运用各类模型进行生境质量的研究,如运用生境适宜性模型(HIS)<sup>[6]</sup>展开生境评价,研究物种与土地等环境因素之间的关系,该模型可操作性强,但不适用于大尺度区域研究和环境变量多的情况;最大熵模型(max-Ent)<sup>[7]</sup>虽在物种生境质量的研究上具有较强的适用

性,但其在数据获取上较为困难等。而 InVest 模型凭借其可操作性强、研究结果可观等优点而被学者们广泛应用,学者们开始跳出单一物种的生境质量研究尺度,探索生境质量与景观格局、土地利用变化间的关系,以流域<sup>[8]</sup>、海岸带<sup>[9]</sup>、群岛<sup>[10]</sup>、省市县区<sup>[11-14]</sup>和城市圈等<sup>[15-16]</sup>小中大尺度区域为研究对象进行研究,并产生了丰富的成果。如谢余初等<sup>[17]</sup>通过 GIS 与 InVest 模型结合的方法,发现甘肃白龙江流域景观多样性较为丰富,在林业管护区和城乡农耕区分别出现增长和减少的现象;陈妍等<sup>[18]</sup>基于 InVest 模型发现耕地对生境退化的贡献最大,其次分别为城镇用地、农村居民点以及主要交通干道;刘园等<sup>[19]</sup>结合 InVest 模型和地形位指数研究生境质量的地形梯度效应,发现生境质量的等级随着地形位的提升而提高等等。该类研究具有在数据获取和处理上较为方便、多为多年份研究其演变特征、评估结果可视化强的特点。从现有文献来看,以土地利用变化与生境质量间关系为研究视角的文献更侧重于描述生境质量在时间和空间上的变化情况、土地利用变化与生境质量间的关系以及挖掘生境质量的影响因素,对于生境质量在空间分布上的关联性和集聚性研究较少。

边境地区作为生态文明建设排头兵的重要屏障,在优化区域布局、维护国土安全中承担着特殊功能,对边境地区开展生境质量研究对于生态文明建设具有重要意义。近年来,广西边境地区依托“一带一路”倡议、兴边富民、守边固边等工程,沿边开放功能和基础设施建设不断强化,缩短了广西边境地区与发达地区的经济差距和时空距离,边境地区经济密度和人口密度低的现状得以改善,然而在当前经济快速发展的驱动下,广西边境地区生物多样性维护或将受到威胁。鉴于此,本文以广西边境地区 8 个县(市)作为研究对象,首先利用 InVest 模型完成研究区生境质量和生境退化得分情况并分析其时空差异特征,而后运用 Moran's *I* 指数模型探析生境质量在空间分布上的集聚效应,发现当下生境质量较为脆弱的地区,相关研究结论在一定程度上能为广西边境地区生态治理提供参考。

## 1 研究区概况和数据来源

### 1.1 研究区概况

广西陆地边境地区(北纬  $20^{\circ}36'$ — $23^{\circ}34'$ , 东经  $105^{\circ}31'$ — $108^{\circ}36'$ )由防城区、东兴市、靖西市、那坡县、凭祥市、宁明县、龙州县和大新县 8 个县(市、区)(以下简称“研究区”)组成。研究区西北部地势较高,向东南部倾斜降低,地貌类型多样,以丘陵山地为主,总陆地占地面积约  $1.8 \text{ km}^2$ 。研究区地属亚热带季风气候,气候温暖,降水充沛,风能资源丰富。作为对外开放的前沿,边境地区在生态文明建设中具有特殊地位,承担着保障国家生态安全的重要任务。在近 20 a 里,广西边境地区经历了经济增长、人口增加和建设用地扩张,各方面的矛盾与冲突不断凸显,维护地区生态安全、优化当前生态环境、保护区域生物多样性是当下和未来的工作重点。

### 1.2 数据来源

研究所用的土地利用数据通过中国科学院资源环境科学中心获取,选取了 2000 年、2010 年和 2020 年共 3 期数据,分辨率为  $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 。DEM 数据源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/search>),空间分辨率为  $30 \text{ m}$ 。土地分类体系按照中国多时期土地利用/土地覆盖遥感监测数据分类系统进行划分成 01 耕地、02 林地、03 草地、04 水域、05 建设用地、06 未利用地六大类,包括 11 水田、12 旱地、21 有林地、22 灌木林、23 疏林地、24 其他林地、31 高覆盖草地、32 中覆盖草地、33 低覆盖草地、41 河渠、43 水库坑塘、45 滩涂、46 滩地、51 城镇用地、52 农村居民点、53 其他建设用地、61 沙地、66 裸岩石质地。

## 2 研究方法

### 2.1 InVEST 模型

生境质量与生态服务系统有着密切的联系,它在本质上具有空间化特征,因此,生境质量可以通过分析土地利用和土地覆盖情况及其对生境质量的威胁程度运算得到。在 InVEST 模型中,运用生境质量模块(habitat quality model)进行生境质量及退化情况的评估,其主要原理是构建生境与威胁源之间的联系,并根据不同生境对于威胁源的敏感程度,计算生境分布和退化结果,最后得到生境质量,从而评估地区的生境质量、退化水平等,具体公式如下<sup>[20]</sup>:

(1) 生境退化度( $D_{xy}$ )。威胁源对生境的影响用线性衰减(公式 1)和指数衰减(公式 2)函数来描述,公式如下:

$$i_{rxy} = 1 - \frac{d_{xy}}{d_{r\max}} \quad (1)$$

$$i_{rxy} = \exp\left[-\frac{2.99}{d_{r\max}} d_{xy}\right] \quad (2)$$

式中: $i_{rxy}$  为威胁源为  $r$  的栅格  $y$  对栅格  $x$  的影响; $d_{xy}$  为栅格  $x$  与栅格  $y$  的距离; $d_{r\max}$  为威胁源  $r$  的影响范围。假定栅格  $x$  处的生境类型为  $j$ ,则栅格  $x$  生境退化度  $D_{xj}$  可表示为:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \frac{\omega_r}{\sum_{r=1}^R \omega_r} \times r_y \times i_{rxy} \times \beta_x \times S_{jr} \quad (3)$$

式中: $R$  为威胁因子个数; $\omega_r$  为威胁源  $r$  的权重; $Y_r$  为威胁源  $r$  在土地利用栅格数据中的个数; $r_y$  为土地利用栅格数据中每个栅格上威胁源的个数; $S_{jr}$  为土地利用类型  $j$  对威胁源  $r$  的敏感度; $\beta_x$  为生境保护程度。

(2) 生境质量( $Q_{xj}$ )。

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z}\right) \quad (4)$$

式中: $k$  为半饱和常数,即退化度最大值的一半; $z$  为模型默认参数; $H_j$  为生境适宜度,一般取值  $0 \sim 1$ 。

在生境质量模块参数设置中,已有研究通过生境受人干扰的程度来确定威胁源的大小,人为干扰程度越低的生境质量越高,反之将导致生境质量降低。通过现有成果可以发现,裸地的增加会大幅削弱区域生境质量等<sup>[12]</sup>,建设用地是导致生境质量下降的主要原因<sup>[17]</sup>;耕地在一定程度上破坏了生态用地间的连通性导致其生境质量下降<sup>[21]</sup>;从土地类型是否对区域生境质量产生威胁的角度出发,将涉及人类生产活用地和可以对生境质量造成侵蚀和破坏等的土地利用类型通过重分类将其设置为威胁源,包括水田、旱地、农民居民点、城镇用地、其他建设用地、沙地和裸岩石质地,并对各个威胁源的最大影响距离和影响权重进行赋值(表 1)。此外,不同的土地利用类型有着不同的生境适宜度,通常来说,越接近自然状态的土地利用类型的生境适宜度越高,即生境质量越高,反之越低。各个土地利用类型处于自然界的各个系统当中,地类受到威胁源的影响,生境质量随之改变。土地利用类型对于威胁源的敏感度越高,表明其对威胁源的抗干扰性越弱,其生境质量变差的概率越高。通过参考已有文献<sup>[22]</sup>和模型推荐参数,确定土地利用类型对威胁源的敏感度值(表 2)。

### 2.2 Moran's I 指数模型

Moran's  $I$  指数可以揭示研究区内是否存在空间关联性及其与相邻要素存在何种程度的关联关系,具体公式如下<sup>[23]</sup>:

全局:

$$I = n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - x)(x_j - x) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2$$
  
(5)

局部:

$$I_i = \frac{(x_i - x) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - x)}{\sum_{j=1}^n (x_j - x)^2 / n}$$
  
(6)

式中: $n$  为检测值数目; $x_i, x_j$  为检测值  $i$  和检测值  $j$  的空间位置; $W_{ij}$  为  $i$  和  $j$  的空间位置关系,当二者相邻时, $W_{ij}=1$ ,当二者不相邻时, $W_{ij}=0$ 。

表 1 威胁源的最大影响距离和权重

Table 1 Maximum impact distance and weights of threat sources

威胁源	最大影响 距离/km	权重	退化 类型
水田	2	0.5	线性
旱地	2	0.5	线性
农村居民点	5	0.6	指数
城镇用地	10	1	指数
其他建设用地	8	0.7	指数
沙地	4	0.2	线性
裸岩石质地	3	0.1	线性

表 2 不同土地利用类型及其对各威胁源的敏感度

Table 2 Different land use types and their sensitivity to various threat sources

土地利用 类型	敏感度							
	生境适宜度	水田	旱地	农村居民点	城镇用地	其他建设用地	沙地	裸岩石质地
水田	0.4	0	0.3	0.4	0.5	0.4	0.1	0.2
旱地	0.3	0.3	0	0.4	0.5	0.4	0.2	0.2
有林地	1	0.5	0.6	0.8	0.9	0.6	0.2	0.3
灌木林	0.9	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.1	0.3
疏林地	0.85	0.5	0.6	0.8	0.9	0.6	0.3	0.3
其他林地	1	0.5	0.6	0.8	0.9	0.6	0.3	0.3
高覆盖草地	0.8	0.45	0.5	0.7	0.8	0.5	0.2	0.3
中覆盖草地	0.7	0.45	0.5	0.7	0.8	0.5	0.3	0.3
低覆盖草地	0.6	0.45	0.5	0.7	0.8	0.5	0.3	0.3
河渠	0.9	0.5	0.6	0.7	0.9	0.7	0.1	0.4
水库坑塘	0.6	0.55	0.65	0.7	0.9	0.7	0.1	0.4
滩涂	0.9	0.6	0.65	0.8	0.9	0.5	0.1	0.4
滩地	0.9	0.65	0.75	0.8	0.9	0.5	0.1	0.4
城镇用地	0	0	0	0	0	0	0	0
农村居民点	0	0	0	0	0	0	0	0
其他建设用地	0	0	0	0	0	0	0	0
沙地	0	0	0	0	0	0	0	0
沼泽地	0.5	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.1
裸岩石质地	0	0	0	0	0	0	0	0

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

广西边境地区 2000—2020 年不同土地利用类型的面积见表 3。林地始终为广西边境地区最主要的土地利用类型,在 8 个县(市)中广泛分布,约占研究区土地面积的 70%,其次为耕地和草地。将广西边境地区 DEM 高程数据与土地利用现状数据进行对比,发现研究区的土地利用类型分布受到区域地形地貌的影响,在空间分布上有一定的规律。在平原地区,建设用地沿着水域零散分布,耕地主要分布于在建设用地周围的平原或低缓丘陵;林地和草地主要分布在地势较高的山地丘陵地区及与越南接壤边境地区。2000—2020 年,各土地利用类型的总面积较为

稳定,仅有微微变动,研究区内建设用地、陆地水域范围扩大,耕地面积有所减少,总体来说广西边境地区土地利用格局较为稳定。

表 3 2000—2020 年广西边境地区不同土地利用类型面积

Table 3 Area of different land use types in Guangxi

土地利用 类型	border areas from 2000 to 2020			km <sup>2</sup>
	面积			
	2000 年	2010 年	2020 年	
草地	1149.5770	1131.6250	1134.0980	
耕地	3670.0820	3673.0820	3620.1060	
建设用地	271.0492	264.7548	360.3027	
林地	12405.5600	12412.2100	12362.4900	
水域	164.7716	179.8002	184.1248	
未利用土地	8.2803	7.8466	8.2018	



在2000—2010年,研究区内的土地利用转移主要发生在林地、草地、耕地和建设用地上(表4)。主要表现在由林地转为草地(11.651 7 km<sup>2</sup>)、林地转为耕地(37.108 4 km<sup>2</sup>)、草地转为林地(28.092 1 km<sup>2</sup>)、耕地转为林地(40.132 8 km<sup>2</sup>)、建设用地转为耕地(21.271 9 km<sup>2</sup>)。在该时段,广西陆地边境地区曾是交通大动脉难以抵达的“神经末梢”,落后闭塞是普遍现象,人们的生产生活主要依靠农业支撑,因此对于土地的退耕还林、草地开垦等与农业相关的活动较为频繁。

2010—2020年,土地利用类型的转移主要表现为林地和耕地、林地和草地间的双向转移和林地、草地、耕地等向建设用地的转入。其中,林地和耕地、林地和草地间的双向转移过程基本抵消,总体变化不明显。在林地、草地、耕地等地类转入建设用地的过程中,耕地和林地的转入贡献率分别为55.63%,

35.01%,共101.589 3 km<sup>2</sup>,建设用地占用耕地和林地现象明显。在这10 a里,随着国务院兴边富民决策的落实,广西边境地区路网建设持续升级加密、边境口岸经济得以发展、人口不断增加,人们的用地需求增大,建设用地明显增加。

受自然环境条件和社会经济发展等多因素的影响,2000—2020年,研究区内各土地利用类型的转移具有多样性且存在一定的规律,与同时期的地区发展状况较为符合。其中,耕地、林地、草地和建设用地这4种土地利用类型的转入转出较为频繁,耕地、林地和草地间的双向转出转入明显,在面积上基本保持动态稳定。建设用地的转出较少,转入较多,转入来源主要为耕地,说明研究区内的建设用地需求增加,有着扩张的趋势。建设用地的增加、耕地的减少、其他土地利用类型保持动态平衡成为这20 a里广西边境地区土地利用变化的主要特征。

表4 2000—2020年广西边境地区土地利用类型转移矩阵

Table 4 Stochastic matrix of land use types in Guangxi border areas from 2000 to 2020

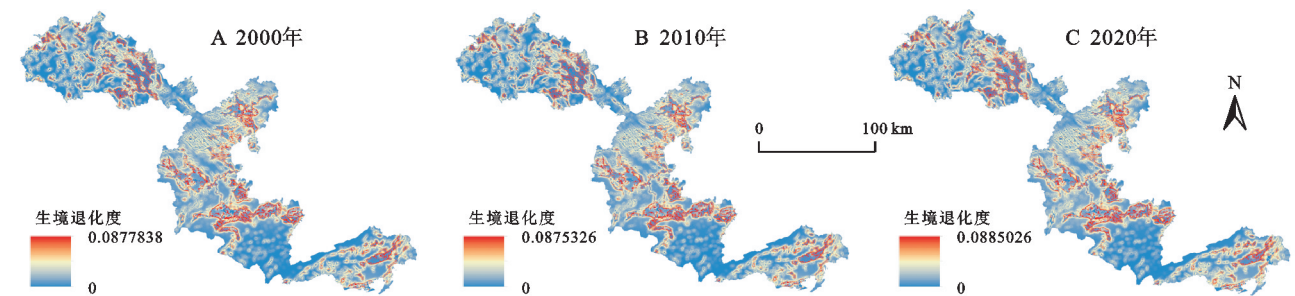
km<sup>2</sup>

年份	土地利用 类型	2010年						
		草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用土地	总计
2000年	草地	1117.5156	2.7993	0.5353	28.0921	0.5919	0.0433	1149.5774
	耕地	2.6980	3606.7236	12.3384	40.1328	8.1803	0.0089	3670.0819
	建设用地	0.0900	21.2719	246.4693	1.7011	1.5150	0.0018	271.0492
	林地	11.6517	37.1084	5.3120	12347.5372	3.8746	0.0776	12405.5616
	水域	0.1713	5.8939	0.1630	2.4489	156.0893	0.0052	164.7716
	未利用土地	0.0292	0.0103	0.0054	0.0720	0.4423	7.7211	8.2803
	总计	1132.1558	3673.8073	264.8236	12419.9841	170.6933	7.8579	17669.3219
年份	土地利用 类型	2010年						
		草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用土地	总计
2010年	草地	1068.3558	10.1263	8.3307	43.0009	1.6919	0.1198	1131.6253
	耕地	9.4318	3464.0338	62.3502	130.5561	6.6815	0.0284	3673.0819
	建设用地	0.3020	10.9031	248.2302	4.1484	1.1640	0.0071	264.7548
	林地	54.8285	130.3702	39.2391	12178.2672	9.2267	0.2814	12412.2131
	水域	1.1110	4.6499	2.1486	6.2516	165.3259	0.3132	179.8002
	未利用土地	0.0691	0.0222	0.0039	0.2648	0.0348	7.4518	7.8466
	总计	1134.0982	3620.1056	360.3027	12362.4889	184.1248	8.2018	17669.3219

### 3.2 生境退化度分析

生境退化度反映了土地利用类型受到威胁源作用的大小,生境退化度值处在0~1,值越高,说明地区受到的威胁源影响越大,自身抵抗力越弱,从而导致生境退化与生境降低的可能性越大。由广西边境地区2000年、2010年、2020年3期生境退化度可知(图1),这3 a的最高生境退化值分别为0.087 9,0.087 5,0.088 5,呈先小幅下降再上升的趋势,说明后10 a的土地利用变化更为剧烈,生境受到威胁源的程度加剧。生境退化度低值覆盖区域广泛分布于各市县中,该区域的土地利用类型主

要为林地和草地,受周围地类影响和人工干扰程度低,生境退化不明显。生境退化较高地区主要在各县市城镇中心的周边,主要以耕地为主,耕地属于人类生产经营范畴,周围分布有大量的农村居民点或其他建设用地,同时建设用地的扩张往往通过占用其附近的耕地实现,生境质量因此受到威胁,具有明显的生境退化趋势。生境退化最高的地区发生在河流水域及其附近、城镇用地及其周边等人类活动强度高的地区,该区域生态环境脆弱,生境主要以破碎化的形式存在,受威胁源影响程度最高。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号 GS(2019)1822 号的标准地图制作,底图未做修改,下图同。

图 1 2000—2020 年广西边境地区生境质量退化度

Fig. 1 Degradation degree of habitat quality in Guangxi border areas from 2000 to 2020

3.3 生境质量分析

为了便于观察研究区的生境质量变化情况,本研究对 InVest 模型评估结果进行得分等级划分,一共分成 5 等:低生境质量 I (0~0.2),较低生境质量 II (0.2~0.4),中等生境质量 III (0.4~0.6),较高生境质量 IV (0.6~0.8),高生境质量 V (0.8~1)。

在时间尺度上,广西边境地区的生境质量总体上保持着较高的生境质量水平,高等生境分布广,约占 60%。2000 年、2010 年和 2020 年的平均生境质量值分别为 0.739 2,0.739 5,0.734 2,生境质量较为稳定,后 10 a 出现小幅下降。随着时间的推移,广西边境地区生境质量变化呈现出两端分级化变动趋势,主要表现为低等生境质量范围的扩大和高等生境质量范围的减少,生境质量退化风险增加(表 5)。近年来,广西为加快补齐边境地区基础设施、公共服务、产业发展和乡村风貌改造等短板,大力实施兴边富民基础设施会战和重点项目建设,同时边境民族地区差别化土地政策的落实在一定程度上激发了地区土地资源活力,项目落地得到保障,生境质量有所降低。

表 5 2000—2020 年广西边境地区生境质量变化情况

Table 5 Changes in habitat quality in guangxi border areas from 2000 to 2020 %

生境质量等级	分值区间	2000 年	2010 年	2020 年	2000—2020 年变化
I	0~0.2	1.61	1.57	2.12	-0.51
II	0.2~0.4	21.46	21.57	21.40	0.06
III	0.4~0.6	3.63	3.63	3.64	-0.01
IV	0.6~0.8	14.73	14.58	15.06	-0.33
V	0.8~1	58.57	58.64	57.78	0.79

在空间尺度上,中高等生境地区主要分布在地势较高的山地丘陵地带,主要为林地、草地覆盖区域,生物多样性丰富。低等生境地区主要为建设用地类型所覆盖区域,该区域人为活动强度高,生境质量因此变低(图 2)。其中,靖西市、防城区、凭祥市、东兴市的低生境范围在 2000—2020 年内不断扩大,分别增

长 7.82%,3.41%,2.33%,1.05%,区域生境质量维持受到威胁。近年来,靖西市以衔接“一带一路”倡议和边境经济合作区建设为引擎,依托边境口岸、互市点推动发展,高速、铁路等基础设施升级,城镇化速度加快,加上各业发展对建设用地需求旺盛,建设用地的扩张使得靖西市生境质量降低。防城区和东兴市得益于边境口岸经济合作区、北部湾经济区等平台,统筹推进城建、生态、民生等重点工作,边贸交易日常活跃,临海工业和港口建设需求不断增加,加上城镇不断吸纳和转移农村人口,导致用地需求增加,同时,防城区和东兴市以平原为主,宜耕种,对原生生态系统产生一定的影响,使得生境质量降低。凭祥市不断强化自身的口岸优势发展加工制造业,不断完善基础设施、交通互联、通关便利等建设,立足旅游资源推动城市建设,在一定程度上加剧了土地利用变化。宁明县和大新县的低生境范围减少幅度最大,分别减少 8.41%,5.31%,同时较高生境范围小幅上升,这主要得益于国家生态文明建设战略的大力实施和“绿水青山就是金山银山”等绿色发展理念的深入践行,同时宁明县和大新县坚持生态优先推动绿色发展,推行“林长制”“河长制”等管理方式,通过封山育林、河道综合整治、石漠化综合整治等重要举措实现国土绿化扩面,在生态环境保护和控制建设用地扩张工作中取得成效。

将 2000 年、2010 年、2020 年的生境质量图进行对比分析,得到广西边境地区生境质量变化图(图 3)。生境质量值为 0~1,根据数值分布情况采用自然断点法将差值分析结果划分成快速下降(-1~-0.5)、下降(-0.5~-0.2)、无明显变化(-0.2~0.1)、提升(0.1~0.3)、快速提升(0.3~1)5 个等级,以表示各时段内地区生境质量的变化。可以发现,2000—2010 年,防城区和东兴市的东南部临海临边区域,即涉及广西北仑河口国家级自然保护区区域的生境质量明显提升,原因是保护区的建立有效地保障了红树林、湿地生态系统等重要生态系的生态恢复和生物多样性的维护,区域生态保护成效明显。生境质量提升区域还包括在

宁明县中部的建设用地占地区域,宁明县在城市建设中大力推进城市绿化、园林化工程,狠抓生态环境保护,城市内部的生态用地增加,生境连通性得到修复,因而生境质量有所提高。发生生境质量降低的区域主要集中在宁明县和大新县的耕地利用区,生境质量下降反映了区域内可能发生了因土地开垦导致的周围生境系统受到破坏。2010—2020 年的生境质量变

化体现在因城镇化进程的加速、建设用地扩张导致生境质量变差,多出现在城镇聚集中心及其周围。该时段里生境质量提升不明显。2000—2020 年,绝大部分地区的生境质量稳定,生境质量的变化以下降为主要特征,说明生境质量下降的区域在受到周围威胁源干扰的同时自身生态环境发生恶化,应及时调整这些区域的空间配置、给予适当保护。

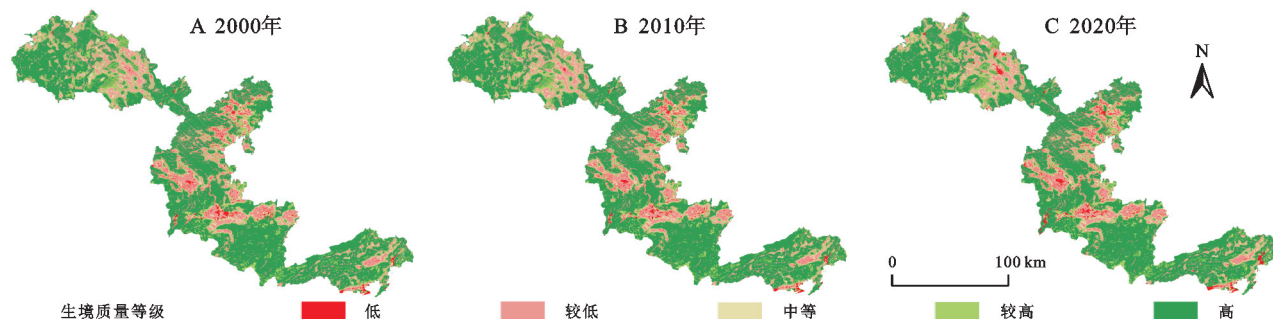


图2 广西边境地区 2000—2020 年生境质量等级

Fig. 2 Habitat quality levels in border areas of Guangxi from 2000 to 2020

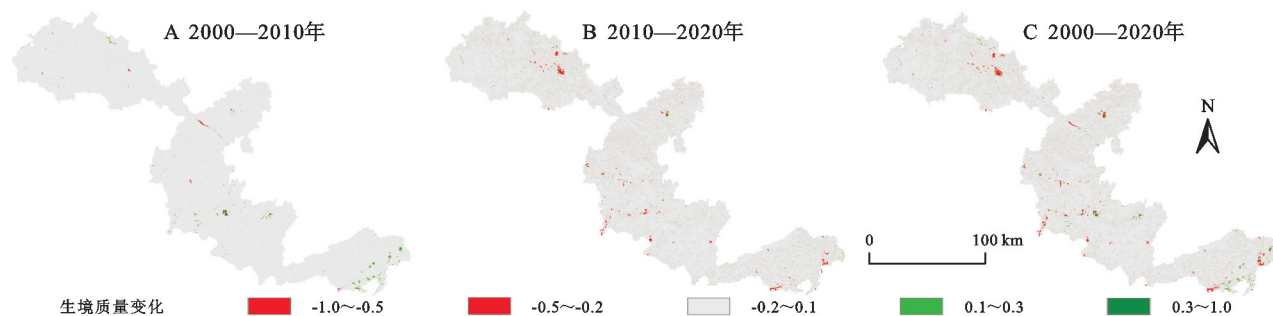


图3 广西边境地区 2000—2020 年生境质量变化

Fig. 3 Habitat quality changes in Guangxi border areas from 2000 to 2020

### 3.4 生境质量空间自相关分析

利用 ArcGIS 中的空间统计工具,探究广西边境地区生境质量空间分布规律。结果显示 2000 年、2010 年和 2020 年广西边境地区生境质量的分布具有统计显著性的空间结构。在全局自相关分析中,3 个研究时点的  $p$  值均小于 0.01,且  $Z$  得分远远大于 2.58,表明 3 期生境质量发生集聚现象不可能是随机过程产生的结果;3 期数据的 Moran's  $I$  指数分别为 0.267 6, 0.268 8, 0.268 6,说明高一—高型和低—低型集聚的数量比高一—低、低—高型的较多,即生境质量得分高(低)的地区在空间上更容易集聚。

在通过全局自相关检验后,对广西边境地区 3 期生境质量结果进行聚类 and 异常值分析,以揭示相邻区域间的空间关联状况(图 4)。广西边境地区生境质量受自然环境条件和人为因素的影响,其集聚性空间分布遵循一定的规律。可以发现,高一—高型集聚区在那坡县的中南部和靖西市的西部地区呈高度连片集中分布状态,在西南边境以及东南部地区呈不连续片状分布,主要涉及凭祥市、宁明县、防城区和东兴市

等,该区域为高值与高值集聚区,主要为林地覆盖,较为远离城镇区域,具有较优的生境质量。低—低型集聚区主要呈片状聚集分布于研究区的偏北部、中部地区,主要是耕地、建设用地等人类生产生活区域。值得注意的是在靖西市、宁明县、防城区的冷点区对热点区有着多处的切割效果,使得热点区集中连片的程度降低,原因是这些地区的经济发展水平相对较高,交通也较为便利,在“一带一路”倡议、乡村振兴建设等战略的刺激下,土地的人为利用程度更显著,造成原生境质量水平的下降。2020 年,高一—高型集聚区占广西边境地区总面积的 28.47%,较 2000 年增加 0.94%,低—低型集聚区也由 15.16%增加至 15.74%,同时高一—低型集聚区和低—高型集聚区零星分布在各个地区中,说明广西边境地区存在生境质量降低的潜在风险。

生境质量在空间上的关联性可以为区域的生态保护提供参考。生境保护应以保护为先,充分发挥高一—高型集聚区、高一—低型集聚区域的生态效益和自然恢复的潜力,划定生态保护红线并对其进行严格管控,保障生态安全;对于低—低型集聚区和低—高型



集聚区域,应根据实际情况适当调整区域土地利用的方向和布局,采用自然恢复与人工修复相结合的治理措施如封山育林、育沙育草、水土保持等,促进人与自然的和谐。

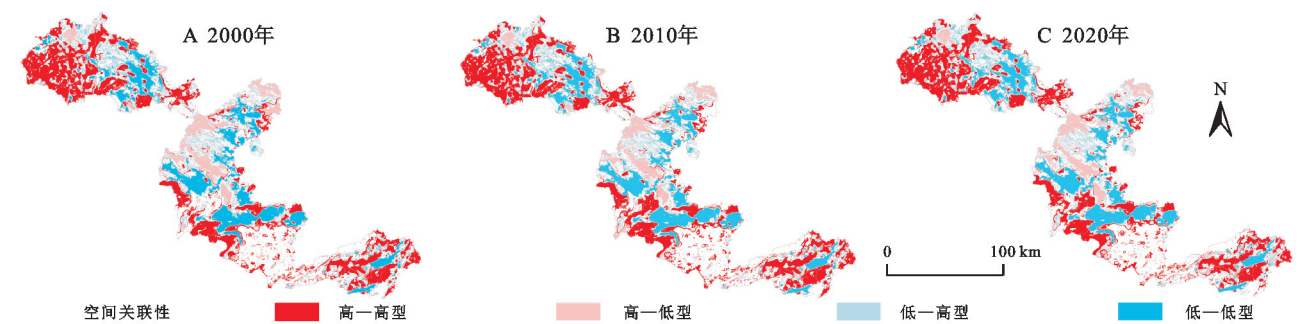


图 4 广西边境地区 2000—2020 年生境质量空间关联性

Fig. 4 Spatial correlation of habitat quality in Guangxi border areas from 2000 to 2020

4 讨论

在 140 多年前,恩格斯就以自然报复说提出生态警示,并列举了美索不达米亚、希腊、小亚细亚以及其他各地的居民将林地转为耕地却在今天变成不毛之地的案例。当下城市发展带来的建设用地扩张导致城市外围生境质量受到威胁、城市内部生境破碎化加剧的负面影响正在进行,土地利用变化作为环境与发展问题中的关键环节,探索其与生境质量之间的关系和影响历久弥新。虽然广西边境地区在研究时段中的各土地利用类型总面积变动较少,但其内部地类的转换较为剧烈,这也是导致研究区生境退化度在后 10 a 有所提高的原因。在发生农林用地转建设用地的地区,往往生境破碎化程度加剧,容易受到威胁源的干扰导致生境质量降低,因而应将这些区域列入生境质量敏感脆弱区,以国土空间开发转变保障地区生态安全。此外,生境质量与景观生态系统在生态层次上具有密不可分的联系,本研究结果表明生境质量的高低与土地利用的变化在空间上具有高度联系,如广西生境质量低值区主要为人类活动剧烈区域,生境质量高值区主要为地势较高的林地,与王有平等<sup>[24]</sup>在研究广西边境地区景观生态风险中的结果较为一致。本文着重从土地利用视角探究研究区生境质量在时间和空间上的变化,但生境质量是由自然环境与人类活动共同造就的,单个面积的生境质量不仅仅只受到周围土地利用变化程度的影响,在今后的研究中应考虑多方面因素如自然因素(如地形地貌、石漠化等)、社会经济因素(如 PM2.5 排放量、化肥使用量、人口密度等)等对其造成的影响。

本文基于 InVest 模型分析得到广西边境地区的生境质量水平,生境质量的优劣受到土地利用变化影响在一定程度上证实了建设用地的扩张将给生态环境和生物多样性带来负效应,因此边境地区在未来的

发展中应注重在生态与发展之间找到平衡点,在国土空间规划中明确底线约束和控制线划定,合理配置土地利用空间结构,构建国土空间生态安全格局。生境质量模型广泛应用于生物多样性服务功能评估研究中,模型的成熟性已在以往研究中得到验证<sup>[25]</sup>,但是在生境质量模型的实际应用中应注意以下两方面:一是生境质量模型分析结果的准确度受输入栅格的精度影响较大,高精度的栅格数据在模型计算中占有更大的优势,因此应尽量获取高精度影像图,本文所采用的数据分辨率为 30 m×30 m,符合模型精度需求。二是该模型在一定程度上具有主观性,例如部分文献<sup>[7]</sup>考虑到耕地本身具有一定的提供物种生存的能力,并未将耕地列为威胁源,但文章考虑到广西边境地区农业资源丰富,当地人民对耕地的利用强度较大,因此在本次研究中将耕地列入威胁源,以更客观实际地刻画研究区生境质量变化情况。可以发现,生境质量模型在威胁源和敏感度的参数设定中并没有统一的标准,文章通过参考已有文献和模型手册、结合研究区实际情况对威胁源的选取、威胁源的影响权重和最大影响距离、各土地利用类型对于威胁源的敏感程度进行取值,该过程受限于笔者的认知水平,分析结果存在一定的误差。

5 结论

(1) 广西 8 个县(市)边境地区内的土地利用受地形地貌影响显著,主要土地利用类型为林地、耕地和草地。2000—2020 年,广西边境地区发生了剧烈的土地利用转移,其中,林地、耕地、草地分别减少 43.072 6, 49.976 4, 15.479 2 km<sup>2</sup>, 建设用地增加 89.253 54 km<sup>2</sup>, 水域增加 19.353 15 km<sup>2</sup>。土地利用类型转移过程中,林地和耕地转为建设用地的变化过程较为明显,说明广西边境地区的建设用地扩张主要以占用林地和耕地为代价。



(2) 广西边境地区 2000—2020 年的生境退化程度主要受耕地、建设用地、沙地等威胁源的影响,生境退化的大小主要取决于人类活动影响强度,对于生境退化显著的地区,应及时给予生态保护措施。

(3) 总体来看,广西边境地区生境质量处于较高水平且相对稳定的状态,部分县市如靖西市、防城区、凭祥市、东兴市等在边贸加强和城市发展的驱动下,用地需求增加,使得高等生境质量水平降低。研究时段里,生境质量的变化主要为生境质量降低,这与同时期的县市高强度的土地利用开发和人类活动有密切相关。

(4) 广西边境地区生境质量的分布具有极强的空间相关性,生境质量高—高型集聚区域和低—低型集聚区域分布明显,高—高型集聚区主要分布在北部、西南边境以及东南部地区,低—低型集聚区域的分布面积虽只在 15% 左右,但明显对生境质量高值区域造成负面影响,未来应重点关注区域发展对生境质量产生的压力和威胁,改善生态系统的组成和结构,以实现地区的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 唐代兴. 生境主义: 生态文明的本质规定及社会蓝图[J]. 天府新论, 2014(3): 21-28.  
Tang D X. Habitat doctrine: Essential provisions and social blueprint of ecological civilization[J]. Tianfu New Idea, 2014(3): 21-28.
- [2] 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.  
Zhong L N, Wang J. Evaluating the impact of land consolidation on habitat quality based on InVEST model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(1): 250-255.
- [3] 肖洋, 张路, 张丽云, 等. 渤海沿岸湿地生物多样性变化特征[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 909-916.  
Xiao Y, Zhang L, Zhang L Y, et al. Characteristics of biodiversity changes in wetlands along the Bohai Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 909-916.
- [4] Johnson M D. Measuring habitat quality: A review[J]. The Condor, 2007, 109(3): 489-504.
- [5] 李莹, 徐文轩, 乔建芳, 等. 卡拉麦里山有蹄类自然保护区鹅喉羚的时空分布与生境选择[J]. 干旱区地理, 2009, 32(2): 261-267.  
Li Y, Xu W X, Qiao J F, et al. The spatiotemporal distribution and habitat selection of the goose-throated antelope in the Kalamari Mountain ungulate nature reserve[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 32(2): 261-267.
- [6] 廖颖, 王心源, 周俊明. 基于地理探测器的大熊猫生境适宜度评价模型及验证[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(6): 767-778.  
Liao Y, Wang X Y, Zhou J M. A model for evaluating the suitability of giant panda habitat based on geographic detectors and its validation[J]. Journal of Geo-Information Science, 2016, 18(6): 767-778.
- [7] 宫兆宁, 苏朔, 杜博, 等. 扎龙湿地丹顶鹤繁殖栖息地的选择及扩散[J]. 自然资源学报, 2021, 36(8): 1964-1975.  
Gong Z N, Su S, Du B, et al. Selection and diffusion of breeding habitats for red-crowned cranes in Zhalong Wetland[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(8): 1964-1975.
- [8] 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 H, Zhang J J, Zhu W B, et al. The impact of land use change on habitat in the Qihe River Basin of the Taihang Mountains[J]. Progress in Geography, 2018, 37(12): 1693-1704.
- [9] 褚琳, 黄翀, 刘庆生, 等. 2000—2010 年辽宁省海岸带景观格局与生境质量变化研究[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 1962-1972.  
Chu L, Huang C, Liu Q S, et al. A study on the landscape pattern and habitat quality changes in the coastal zone of Liaoning Province from 2000 to 2010[J]. Resources Science, 2015, 37(10): 1962-1972.
- [10] Moreira M, Fonseca C, Vergilio M, et al. Spatial assessment of habitat conservation status in a Macaronesian island based on the InVEST model: A case study of Pico Island (Azores, Portugal)[J]. Land Use Policy, 2018, 78: 637-649.
- [11] 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.  
Liang X Y, Yuan L H, Ning L X, et al. Spatial pattern and influencing factors of habitat quality in Heilongjiang Province based on the InVEST model[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2020, 56(6): 864-872.
- [12] 李亚楠, 多玲花, 张明. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的土地利用格局与生境质量时空演变及预测: 以江西省南昌市为例[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2): 345-354.  
Li Y N, Duo L H, Zhang M. Temporal and spatial evolution and prediction of land use pattern and habitat quality based on CA Markov and InVEST models: A case study of Nanchang City, Jiangxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(2): 345-354.
- [13] 吕大伟, 蔡海生, 张学玲, 等. 基于 InVEST 模型的万年县生境质量时空演变与景观格局分析[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(3): 783-793.  
Lv D W, Cai H S, Zhang X L, et al. Analysis of spati-

- otemporal evolution and landscape pattern of habitat quality in Wannian County based on the InVEST model[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2022, 44(3):783-793.
- [14] 黄康,戴文远,黄万里,等.基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的土地利用变化对生境影响评价:以福建省福州新区为例[J].水土保持通报,2019,39(6):155-162.  
Huang K, Dai W Y, Huang W L, et al. Evaluation of the impact of land use change on habitat based on CA Markov and InVEST models: A case study of Fuzhou New Area in Fujian Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2019, 39(6):155-162.
- [15] 杨志鹏,许嘉巍,冯兴华,等.基于 InVEST 模型的东北地区土地利用变化对生境的影响研究[J].生态科学, 2018, 37(6):139-147.  
Yang Z P, Xu J W, Feng X H, et al. Study on the impact of land use change on habitat in Northeast China based on the InVEST model[J]. *Ecological Science*, 2018, 37(6):139-147.
- [16] 王超,常勇,侯西勇,等.基于土地利用格局变化的胶东半岛生境质量时空演变特征研究[J].地球信息科学学报, 2021, 23(10):1809-1822.  
Wang C, Chang Y, Hou X Y, et al. Study on the spatiotemporal evolution characteristics of habitat quality in the Jiaodong Peninsula based on land use pattern changes [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2021, 23(10):1809-1822.
- [17] 谢余初,巩杰,张素欣,等.基于遥感和 InVEST 模型的白龙江流域景观生物多样性时空格局研究[J].地理科学, 2018, 38(6):979-986.  
Xie Y C, Gong J, Zhang S X, et al. Study on the spatiotemporal pattern of landscape biodiversity in the Bailong River Basin based on remote sensing and InVEST models [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(6):979-986.
- [18] 陈妍,乔飞,江磊.基于 InVEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的影响研究:以北京为例[J].北京大学学报:自然科学版, 2016, 52(3):553-562.  
Chen Y, Qiao F, Jiang L. Research on the impact of land use pattern change on regional scale habitat quality based on the InVEST model: A case study of Beijing[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2016, 52(3):553-562.
- [19] 刘园,周勇,杜越天.基于 InVEST 模型的长江中游经济带生境质量的时空分异特征及其地形梯度效应[J].长江流域资源与环境, 2019, 28(10):2429-2440.  
Liu Y, Zhou Y, Du Y T. The spatiotemporal differentiation characteristics and terrain gradient effect of habitat quality in the economic zone of the middle reaches of the Yangtze River based on the InVEST model[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(10):2429-2440.
- [20] 荣月静,张慧,王岩松.基于 Logistic-CA-Markov 与 InVEST 模型对南京市土地利用与生物多样性功能模拟评价[J].水土保持研究, 2016, 23(3):82-89.  
Rong Y J, Zhang H, Wang Y S. Simulation and evaluation of land use and biodiversity functions in Nanjing based on Logistic CA Markov and InVEST models[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(3):82-89.
- [21] 冯舒,孙然好,陈利顶.基于土地利用格局变化的北京市生境质量时空演变研究[J].生态学报, 2018, 38(12):4167-4179.  
Feng S, Sun R H, Chen L D. Study on the spatiotemporal evolution of habitat quality in Beijing based on land use pattern changes [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(12):4167-4179.
- [22] 张学儒,周杰,李梦梅.基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析[J].地理学报, 2020, 75(1):160-178.  
Zhang X R, Zhou J, Li M M. Analysis of spatiotemporal changes in regional habitat quality based on land use pattern reconstruction [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(1):160-178.
- [23] 赵晓阿,王建,苏军德,等.基于 InVEST 模型和莫兰指数的甘肃省生境质量与退化度评估[J].农业工程学报, 2020, 36(18):301-308.  
Zhao X J, Wang J, Su J D, et al. Evaluation of habitat quality and degradation degree in Gansu Province based on InVEST model and Moran index [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(18):301-308.
- [24] 王有小,刘少坤,陆汝成,等.“三生”空间视角下近 40 年广西边疆地区景观生态风险及地形梯度分析[J].生态与农村环境学报, 2021, 37(12):1586-1595.  
Wang Y X, Liu S K, Lu R C, et al. Analysis of landscape ecology risk and terrain gradient in the Guangxi border area in the past 40 years from the perspective of ‘Three Lives’ space[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, 37(12):1586-1595.
- [25] 郑宇,张蓬涛,汤峰,等.基于 InVEST 模型的昌黎县土地利用变化对生境质量的影响研究[J].中国农业资源与区划, 2018, 39(7):121-128.  
Zheng Y, Zhang P T, Tang F, et al. Study on the impact of land use change on habitat quality in Changli County based on the InVEST model[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(7):121-128.