

DOI: 10.5846/stxb201903290609

王耕, 常畅, 韩冬雪, 白天骄. 老铁山自然保护区景观格局与生境质量时空变化. 生态学报, 2020, 40(6): 1910-1922.

Wang G, Chang C, Han D X, Bai T J. Temporal-spatial changes of landscape pattern and habitat quality in Laotieshan nature reserve. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(6): 1910-1922.

老铁山自然保护区景观格局与生境质量时空变化

王 耕*, 常 畅, 韩冬雪, 白天骄

辽宁师范大学地理科学学院, 大连 116029

摘要: 由于人口数量的增长和日益频繁的人类活动促进了城市扩张, 自然生态系统面积逐渐缩小, 一些自然保护区内部生态环境和物种栖息地随之受到影响。因此以辽宁蛇岛老铁山国家级自然保护区中的老铁山自然保护区为研究区, 以 1997 年、2007 年和 2017 年该地区的遥感影像为数据源, 解译出 15 种景观类型, 分析景观格局变化趋势。再选取 3 个景观指数作为衡量人类干扰强度的指标, 生成人类干扰强度空间分布图。InVEST 模型由美国自然资本项目组开发, 能够定量分析生态系统服务功能, 因此采用 InVEST 模型计算生境质量, 并探讨该地区 20 年来人类干扰强度与生境质量的时空变化, 并分析二者的相关性。结果表明: (1) 1997—2017 年, 老铁山自然保护区建筑用地、园地面积增加最多, 林地、草地略有减少; 耕地向园地的转移面积最大。(2) 1997—2017 年, 研究区内试验区和缓冲区人类干扰强度逐年增强, 而核心区部分呈现先减弱再增强的趋势, 保护区整体呈现出干扰逐渐增强的趋势。(3) 1997—2017 年该地区的生境质量整体呈现逐渐下降的趋势, 生境质量时空变化的热点集中在研究区核心区的周边地带。(4) 生境质量与代表人类干扰强度的景观指数呈现出较强的负相关。

关键词: 老铁山自然保护区; 景观格局; 生境质量; InVEST 模型

Temporal-spatial changes of landscape pattern and habitat quality in Laotieshan nature reserve

WANG Geng*, CHANG Chang, HAN Dongxue, BAI Tianjiao

School of Geography, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

Abstract: Rapid population growth and irrational human activities have led to dramatic changes in land use, urban expansion, shrinking natural ecosystems, and landscape patterns, further leading to a decline of habitat quality. The landscape pattern is the arrangement of landscape patches with different shapes and sizes in the landscape space, which reflects the heterogeneity of the landscape and is the final result of many natural and human factors acting on different spatial and temporal scales. Habitat quality refers to the ability of ecosystems to provide sustainable development to individuals and populations within a certain time and space. It is the premise and basis for all ecosystem services. In recent years, with the development of the economy, the rapid growth of the population, and the changes of the urban landscape pattern, the regional habitat quality have also been affected to varying degrees. For the nature reserves, the changes of the landscape pattern in their peripheral area will profoundly affect the resources, environment, and ecology. Laotieshan part in the Liaoning Snake Island and Laotieshan National Nature Reserve was selected as the study area. Based on remote sensing images of the study area in 1997, 2007 and 2017, 15 types of landscape pattern were interpreted by ENVI. The views of the landscape pattern change network derived from the visualization tool NetDraw were used to analyze landscape pattern change trend. Then the Fragstats software was used to calculate the landscape pattern index and 3 indices were selected to show the

基金项目: 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(15JJD790039, 18JJD790005); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA13020401)

收稿日期: 2019-03-29; **网络出版日期:** 2019-12-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangeng@lnu.edu.cn

human disturbance intensity. The spatial distribution map of human disturbance intensity was produced by ArcGIS10.2. The InVEST model was used to calculate the habitat quality. Based on them, the temporal and spatial changes of human disturbance intensity and habitat quality in Laotieshan over the past 20 years were discussed, and the correlation between the two was analyzed. The results showed that: (1) From 1997 to 2017, the construction land and garden area increased at most; the forest land and grassland decreased slightly and the transfer area of cultivated land to the garden was the largest in the landscape pattern change of the Laotieshan Nature Reserve. (2) From 1997 to 2017, the intensity of human disturbance in the experimental area and buffer zone in the study area increased year by year, while the core area showed a trend of weakening and then enhancing. (3) The habitat quality in the study area from 1997 to 2017 showed a trend of persistently decreasing. The hotspots of temporal and spatial changes in habitat quality are concentrated in the surrounding areas of the core area of the study area. (4) The habitat quality was significantly and negatively correlated with the human disturbance intensity represented by landscape index.

Key Words: Laotieshan nature reserve; landscape pattern; habitat quality; InVEST model

景观格局是由形状大小不同的景观斑块在景观空间上的排列,体现了景观的异质性,是诸多自然和人为因素在不同时空尺度上作用的最终结果^[1-2]。景观指数数字化了景观格局的信息,是反映其结构和空间配置的定量指标^[3]。一些景观指数能够从一定程度上反映人类的干扰强度,景观形状越规则代表人类活动的干扰越强烈。如张月等^[4]选取了边缘密度(Edge Density, ED)和面积加权平均斑块分形指数(Area-Weighted Mean Patch Fractal Dimension, AWMPFD)分析了艾比湖湿地景观格局对生态干扰类型的响应。相关研究^[5]中的香农多样性指数(Shannon's Diversity Index, SHDI),景观分裂指数(Landscape Division Index, DIVISION)等常用的景观指数,它们的生态意义更侧重于景观异质性,而面积加权的平均形状因子(Area-Weighted Mean Shape Index, AWMSI)和 AWMPFD,是生态学意义上的形状指标,ED 属于边缘指标,它们都能够从不同类型景观形状的规则程度上反映出人类干扰程度的强弱。生境质量,又称栖息地质量,是指在一定的时空范围内生态系统所能提供给个体和种群持续发展的能力,是所有生态系统服务功能的前提和基础,是生物多样性的重要影响因素^[6-9]。城镇化背景下,人类活动导致的景观格局变化将打破原有的生境格局,不仅会缩小生境面积,影响生物迁徙路径,影响生境或生境内部物质、能量和信息的流动、交换、迁移转化^[10],从而降低生境质量。对于自然保护区生境而言,外围地区的景观格局演变必将深刻影响保护区内的资源、环境和生态^[11-13],而将对生境质量产生负面影响。

自然保护区作为脆弱生态系统和珍稀野生动植物的聚集地,应受到更多的关注与保护。国际上较早地以景观生态学的视角关注了自然保护区^[14], Emanuela 和 Corrado^[15]基于物种保护对城市郊区森林景观进行保护区规划。我国自然保护区的相关研究多以保护区内某种稀有动植物为依托^[16],也有一些通过探究保护区内生境质量或景观格局,以此判断保护区内的生态环境状况^[17]。为促进自然保护区内生境的持续发展,为保护区内动植物提供良好的生态环境,有必要研究景观格局的演变对生境的影响程度。

陈一萌等^[18]分析了广东潼湖湿地 1965 年以来的景观格局对生境质量的影响,褚琳等^[19]基于景观格局分析了生境质量并对未来质量状况进行模拟。目前关于生境质量与景观格局相的研究中,以流域和行政区界为案例的研究居多^[20-22],且它们多以不同景观类型在时间上的面积变化作为依据,分析其对生境质量的影响。因此,本文以辽宁蛇岛老铁山自然保护区中的老铁山部分为案例,对其 1997—2017 年的景观格局与生境质量时空变化特征进行分析。为探明人类干扰强度对生境质量的影响程度,引入了 ED、AWMSI 和 AWMPFD 三个景观指数作为指标,旨在丰富自然保护区生境质量评估与人类干扰强度关联研究的案例,清楚地展现人类活动对生境质量的影响情况,从而便于指导保护区外围区域土地规划及城乡规划建设,维持保护区的生态环境,保护生物多样性,促进自然保护区的良好发展。

1 研究区概况

辽宁蛇岛老铁山国家级自然保护区(121°06′31″—121°12′24″E;38°43′02″—38°47′02″N)于1980年建立,地处辽东丘陵南端,大连市旅顺口区西部(图1)。总面积72.35 km²,分为蛇岛、老铁山、老虎尾和九头山四部分。共有鸟类20目63科340种;哺乳动物2目9科16种;两栖类动物1目3科4种;爬行类动物分布有2目5科10种;植物共108科703种。其中鸟类属国家Ⅰ级保护鸟类的有9种,国家Ⅱ级保护鸟类49种^[23]。老铁山自然保护区动植物资源丰富,素有“老铁山鸟栈”的美誉。本文以保护区中的老铁山部分为研究区,老铁山自然保护区位于辽东半岛最南端,千山山脉余脉,与山东半岛隔海相望,面积为38.2 km²。老铁山具有重要的地理意义,它位于黄渤海交界处,它与山东蓬莱的理论对角线即为黄、渤海两海分界线。老铁山是东北亚大陆候鸟南北迁徙的主要通道之一,对于生物多样性的保护具有重要意义。老铁山自然保护区内部分为核心区,缓冲区和试验区三部分,核心区位于研究区东南部,约占老铁山自然保护区面积的一半,海拔高,植被覆盖率高,生物种类丰富;试验区位于研究区的东部,人类活动频繁,大部分被村庄、农田等景观覆盖;缓冲区位于核心区与试验区的交界处及核心区南部边缘,景观变更频繁。该地区为温带半湿润季风气候,年平均气温9—11℃,年平均降水量614.5 mm,风力较强,年均风速达到6 m/s,以偏西风和偏北风为主,空气湿润温和,降水比较集中,冬无严寒,夏无酷暑^[24]。

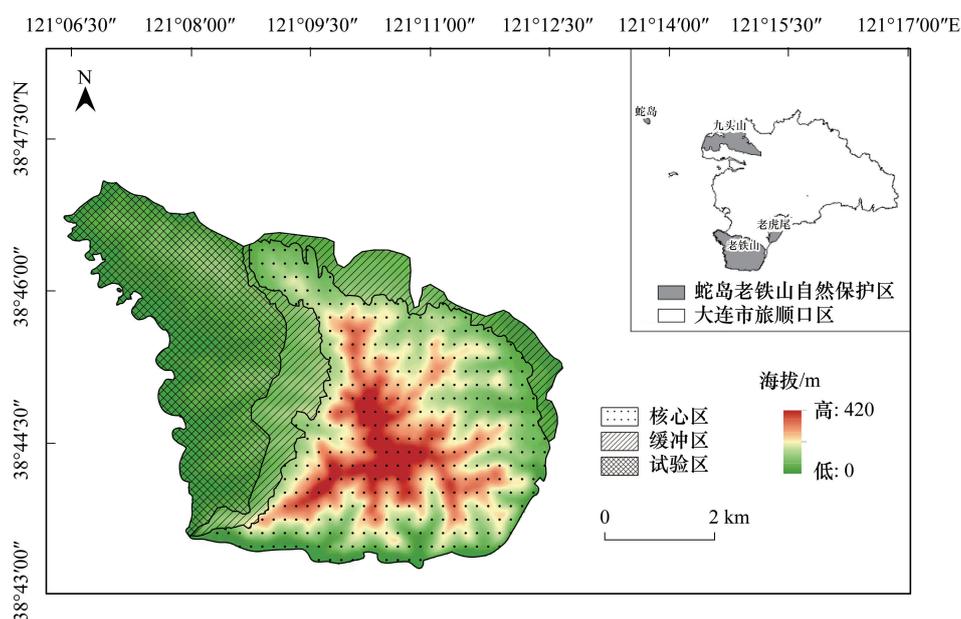


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

文章以1997年、2007年和2017年的老铁山地区的Landsat系列遥感影像(分辨率30 m,行列号120033)为数据来源。选择秋季无云或少云影像,基于ENVI5.1对三期影像进行几何校正、全色锐化、裁剪等预处理,并进行监督分类,再结合Google Earth电子地图和实地考察样点对软件的解译结果进行精度检验,得出3期的解译结果Kappa系数均大于85%,能够满足本研究对精度的要求。参照土地利用分类标准(GB/T21010—2007)将土地利用现状分为7种一级景观类型,在结合研究区实际情况分成15种二级景观类型,最终得到老铁山自然保护区景观类型分布情况。

2.2 景观格局变化网络可视图

基于1997年、2007年和2017年的7种一级景观类型,得到各阶段的景观格局变化转移矩阵,再利用社会网络分析软件Ucinet及可视化工具NetDraw,使得景观格局变化情况得到清晰的展现,有利于揭示一段时期内景观格局类型的转移方向和空间演化过程^[25]。为使网络图更加清晰明朗,本文采用7种一级景观类型分析,而非使用15种二级景观类型。

2.3 景观指数

在众多景观指数中,能够体现景观形状复杂程度的指数并不多,为探究人类活动对景观的干扰程度,结合景观指数的生态学含义,文章仅选取三个景观格指数如表1,作为衡量人类活动干扰的指标。利用Fragstats软件分别计算三个时期的不同类型景观及整个景观的指数,并对3个指标进行极差标准化,采用AHP法确定三个指标的权重,获取三个时期的人类活动强度信息,再基于ArcGIS创建50 m×50 m 格网,保留其中点要素,插值得到1997—2017年人类活动对景观的干扰强度空间分布。

表1 景观指数的生态学含义及权重

Table 1 Ecological meaning and weight of landscape index

景观指数 Landscape index	类别 Type	生态学含义 Ecological meaning	权重 Weight
边缘密度 Edge Density	边缘指标	指景观总体单位面积的异质景观要素斑块间的边缘长度 ^[2]	0.3
面积加权的平均形状因子 Area-Weighted Mean Shape Index	形状指标	是度量景观空间格局复杂性的重要指标之一,并对许多生态过程都有影响。AWMSI值越大,斑块形状越复杂	0.3
面积加权的平均斑块分形指数 Area-Weighted Mean Patch Fractal Dimension	形状指标	反映景观格局总体特征的重要指标,一定程度上反映了人类活动对景观格局的影响。一般来说,受人类活动干扰小的自然景观的AWMPFD值高,而受人类活动影响大的人为景观的AWMPFD值低	0.4

2.4 InVEST 模型生境质量评估

InVEST模型是美国自然资源项目组开发的、用于评估生态系统服务功能及其经济价值、支持生态系统管理和决策的一套模型系统,它包括陆地、淡水和海洋三大类生态系统服务评估模型,其中包括生境质量、产水量、土壤保持等模块^[26-29]。它能够定量评估生态系统服务功能,并将分析结果以栅格图的形式直观地呈现出来。InVEST模型中的生境质量(Habitat Quality)模块,基于LULC(Land Use and Land Cover)数据,根据不同的土地利用类型的敏感度,不同威胁因子的位置、威胁强度、最大威胁距离计算出生境质量、生境退化程度和生境稀缺性^[30],生境质量计算公式为:

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

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^{Y_r} \left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr}$$

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \quad (\text{线性衰减})$$

$$i_{rxy} = \exp \left(\frac{-2.99 d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \quad (\text{指数衰减})$$

式中, Q_{xj} 为第j类景观类型中栅格x的生境质量; H_j 为第j类景观的生境适宜度; D_{xj} 为第j类景观中栅格单元x的生境退化程度; k 为半饱和系数模型默认值为0.5, z 为归一化常量,模型中设置为2.5。 R 为威胁因子个

数, W_r 为威胁因子 r 的权重, y 为第 r 类威胁因子的栅格数, Y_r 是威胁因子 r 栅格单元的总数; i_{rxy} 为栅格 y 的胁迫值 r_x 对栅格 x 的胁迫程度; β_x 为各种威胁因子对栅格 x 的可达性; S_{jr} 为第 j 类景观类型对第 r 类威胁因子的敏感度; d_{xy} 为第 r 类威胁因子的最大威胁距离。

为使模型中需要的相关参数包括威胁因子数据和生境敏感性参数尽可能复合研究区实际情况, 采用了德尔菲法(Delphi)对威胁因子和生境的适宜性和敏感性相关参数进行打分, 最终确定参数值, 得到威胁因子参数表(表 2)和生境敏感性参数表(表 3), 使模型参数得到本土化, 确保了研究的客观性、可靠性。

表 2 威胁因子参数表
Table 2 Threats parameter table

威胁因子 Threats	最大影响距离/km Maximum distance of influence	权重 Weight	空间衰减类型 Spatial decay type
港口码头 Port and pier	3	0.40	指数
采矿用地 Mining land	4	0.50	指数
公路 Road	3	0.60	线性
二级公路 Secondary road	2	0.30	线性
村庄 Village	3	1.00	指数
耕地 Cultivated land	1	0.15	线性
风景名胜區 Scenic spot	2	0.30	指数

表 3 景观类型分类体系及生境敏感性参数表

Table 3 Landscape pattern classification system and habitat sensitivity parameter table

一级景观类型 Landscape type	二级景观类型 Secondary landscape type	生境适宜性 Habitat suitability	港口码头 Port and pier	采矿用地 Mining land	公路 Road	二级公路 Secondary road	村庄 Village	耕地 Cultivated land	风景名胜區 Scenic spot
林地 Forest	有林地	1.0	0.6	0.8	0.6	0.5	0.8	0.3	0.6
	其他林地	0.6	0.7	0.5	0.8	0.7	0.6	0.2	0.7
草地 Grass land	草地	0.4	0.5	0.6	0.4	0.3	0.7	0.3	0.8
	沿海滩涂	0.6	0.8	0.7	0.6	0.5	0.7	0.6	0.7
水域 Water	坑塘水面	0.7	0.2	0.7	0.5	0.4	0.5	0.5	0.7
	果园	0.4	0.3	0.5	0.5	0.4	0.7	0.3	0.4
园地 Garden	水浇地	0.3	0.3	0.6	0.6	0.5	0.8	0.2	0.2
	旱地	0.2	0.3	0.5	0.5	0.4	0.7	0.3	0.2
未利用地 Unused land	裸地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	风景名胜區	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.7	0.3	0.0
建筑用地 Construction land	村庄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	公路	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	二级公路	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	采矿用地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	港口码头	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3 结果与讨论

3.1 景观格局变化分析

老铁山自然保护区 1997—2017 年各景观类型面积如表 4 所示。为清楚地探明各个景观类型之间的相互转化情况, 绘制景观类型变化可视图如图 2。据图 2 得出, 1997—2007 年中耕地向园地转化面积最大达到 50.9 hm^2 ; 其次是林地向草地转移了 32 hm^2 ; 2007—2017 年林地向建筑用地转移了 54.3 hm^2 , 耕地向园地转移了 45.6 hm^2 ; 整体来看, 2007—2017 年里耕地向园地, 以及林地向建筑用地转移的面积最大, 这与当地农业发

展方式和人口数量增长有关。1997—2017年里老铁山自然保护区林地、草地面积明显减少,20年里林地减少了7.33%,草地减少了19.31%,而建筑用地增加明显,20年中增加了37.52%,是由于人口数量增加,对居住用地和粮食产量的需求增加,使得林地和草地被开发利用。水域和未利用地的变化幅度不大,且基数较小,难以代表研究区内的变化情况。耕地则出现先增后减的态势,先减少了7.15%又增加了4.14%,耕地面积的下降与国家“退耕还林”的政策息息相关,后期的小幅增长说明当地人口的增加对粮食需求也随之增加。所有用地类型中,园地变化幅度最大且保持持续增长,由1997年的192.97 hm²增长到2017年的334.89 hm²,增长率达73.54%,园地面积的大幅增加是由于该地适宜的气候和土壤适合苹果、樱桃等果树的生长,距离城镇、港口码头较近,有着广阔的市场,加之微商等网络销售模式影响力日渐加强,当地水果的知名度显著提高,当地农民为增加收入,投入大量土地用以果树种植,使得该地区园地占地面积与日俱增。数据显示,1997年、2007年和2017年老铁山自然保护区人口数分别为4822、4858、5650人,显示出先低后高的增速,1997—2007年这一阶段的较低的增长速度与当地严格执行计划生育政策有关,2007年以来,生活水平提高,加之“二胎”政策开放导致人口数的大幅增加。建筑用地的面积变化与当地人口数的变动有着必然的联系,建筑用地20年来同人口数变化相似,呈现着先缓速增长,再快速增长的趋势,1997—2007年这一阶段,增长率为10.74%,2007—2017年的增长率为24.18%(表4)。

通过分析7种一级景观类型在20年里面积的相互转化,可以看出以林地、草地为主的自然景观类型面积呈下降趋势,而以园地、建筑用地为主的人文景观类型面积大幅增加,展现出人类活动在对该地区的干扰日益增强。

表4 1997—2017年景观类型面积变化/hm²

Table 4 Changes of landscape pattern types from 1997 to 2017

一级景观类型 Landscape types	1997年	2007年	2017年	一级景观类型 Landscape types	1997年	2007年	2017年
林地 Forest	2452.62	2391.24	2272.77	园地 Garden	192.97	251.60	334.89
草地 Grass land	134.34	168.48	108.39	建筑用地 Construction land	288.01	318.94	396.07
耕地 Cultivated land	512.03	475.44	495.12	未利用地 Unused land	74.20	46.26	58.67
水域 Water	169.39	170.65	161.89				

3.2 人类干扰强度时空变化分析

为探究人类活动对老铁山地区的干扰程度,本文基于15个二级景观类型,计算整个景观的景观格局指数如表5,以及不同景观类型的景观格局指数,并对其进行标准化处理并赋权,为清楚地展现景观格局层面人类干扰强度的空间差异,得出人类干扰强度空间分布如图3。

表5 1997—2017年各景观指数变化

Table 5 Changes in landscape indices from 1997 to 2017

年份 Year	边缘密度 Edge Density	面积加权的平均形状因子 Area-Weighted Mean Shape Index	面积加权的平均斑块分形指数 Area-Weighted Patch Fractal Dimension
1997	112.7728	1.7980	1.2036
2007	112.3094	1.7661	1.2014
2017	112.3862	1.7457	1.1958

结合图3,空间格局上看,保护区整体的人类干扰强度体现出中部和南部低、西部及东北部边缘较强的态势。人类干扰强度低的地区一直处在研究区的核心区,强度高的地区分布于试验区和缓冲区,这与生境质量的空间分布有着一致性,主要是由于当地监管部门对保护区核心区的重点保护,以及核心区的地形地貌较为复杂,难以开发,才使得人类干扰强度较低;试验区和核心区由于地形平坦,已经得到大面积的开发,村庄、耕地面积较大,人类足迹广布,人类干扰强度偏高。

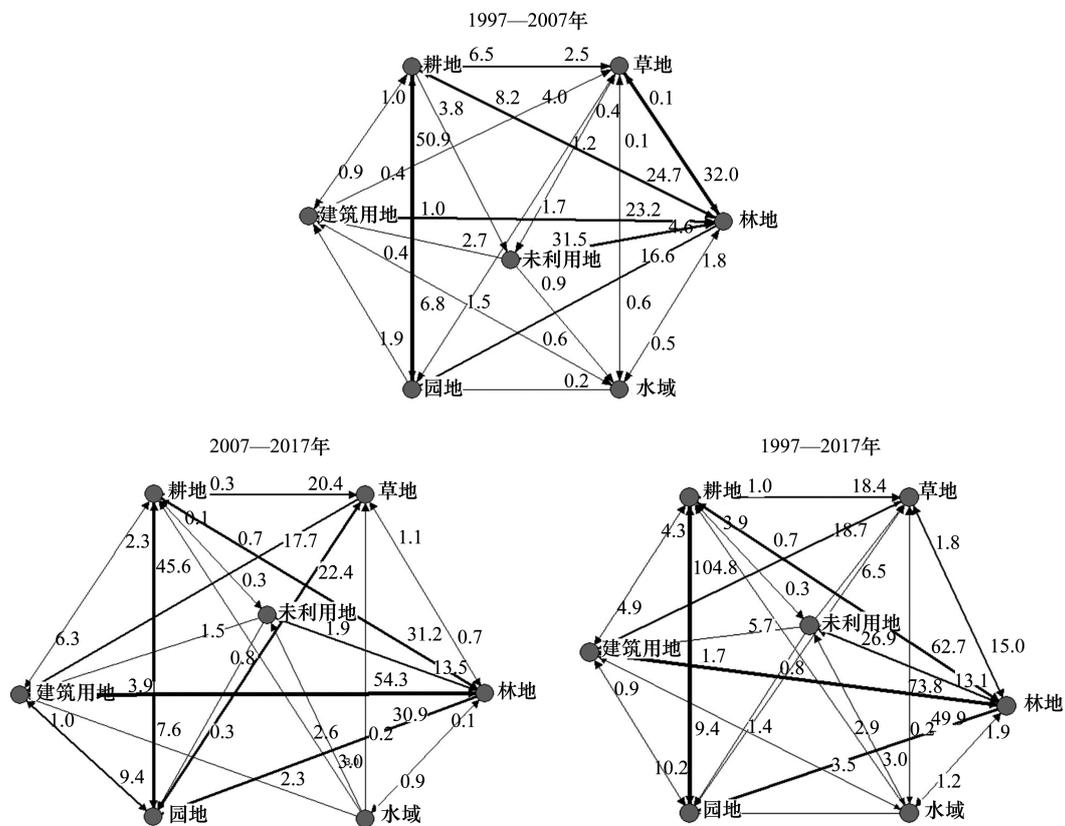


图2 景观类型变化可视图

Fig.2 The views of landscape pattern changes

图中数据为景观类型面积,单位:hm²

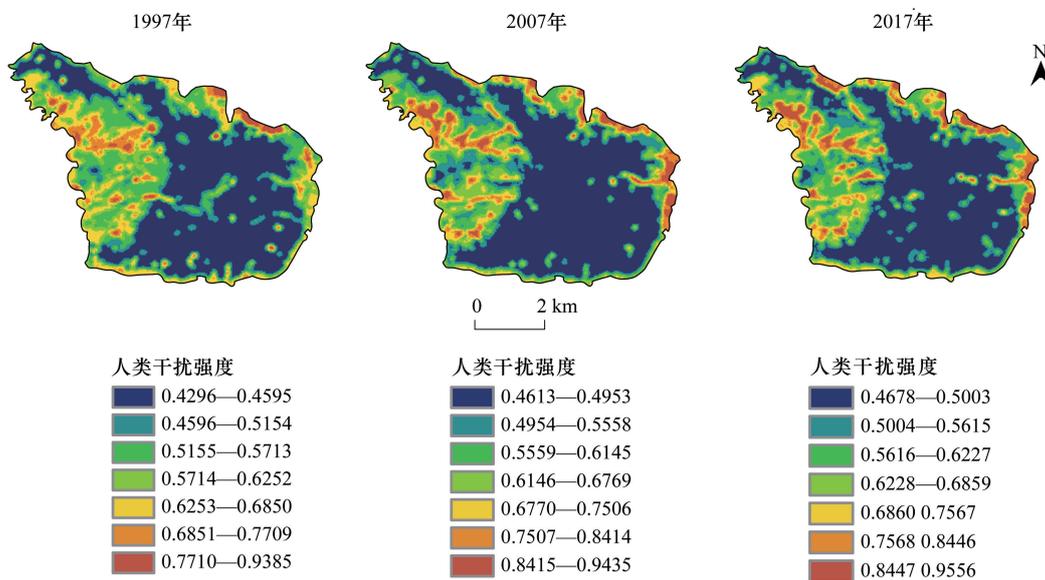


图3 老铁山自然保护区 1997—2017 年人类干扰强度空间分布

Fig.3 Spatial distribution of human disturbance intensity in Laotieshan Nature Reserve from 1997 to 2017

从时间上看,结合表 5,边缘密度 ED、面积加权的平均形状因子 AWMSI 和面积加权的平均斑块分形指数 AWMPFD 三个指数大体上呈下降趋势,指标数值降低说明景观形状的复杂程度降低,一定程度上说明了整体景观受人类活动的干扰程度在增加。图 5 中高值区的面积在三个阶段中依次增加,且每一时期的最高值和最低值都在保持稳定上升的态势。1997—2007 年这一阶段,虽然人口增长率较低,耕地面积先减后增,且波动不大,但由于生活水平提高,人们对农副产品的需求量激增,加之旅顺新港的扩建,扩大了该地区特产水果的出口量,以果园为主的园地面积增加,使得试验区和缓冲区人类干扰强度大幅增强。增幅较大地区出现在保护区西北部和东部边缘干扰强度,这两部分均为沿海地势平坦地区,说明对沿海地区的开发强度在逐渐增加,愈加注重海洋资源的开发。但相比于 1997 年,2007 年核心区内部的高值区斑块明显减少或缩小,核心区的边界也更加清晰,说明虽然试验区和缓冲区人类干扰强度大幅增强,但当地对核心区的管护较为完善,对核心区内原本的植被覆盖率低的土地或裸地进行了修复。2007—2017 年这一阶段,相比于前一阶段变化不大,但 2017 年核心区内部相对高值区的斑块大量增加,说明人类活动已经向核心区内部渗透,可能由于近些年各种景点的开放,如老铁山灯塔、黄渤海分界线、各种寺庙等,游客数量增加,加之景区的管理不当,使核心区内部的人类干扰强度增加。这一阶段试验区和缓冲区的干扰强度略有增强,最明显的地方出现在研究区西北部,主要是由于这一阶段人口数量增加,建筑用地和耕地面积也随之增加,增强了对地区的干扰强度。

为清楚探明 1997—2017 年老铁山自然保护区人类干扰程度上的变化,将人类干扰强度划分成 3 个等级,重度干扰(1.0—7.5)、中度干扰(7.5—6.0)和轻度干扰(6.0—0),各年份各干扰程度面积占比如图 4。由图 4 可以很清晰地看出,3 个时期重度干扰和中度干扰的比重都在增加,而轻度干扰的比重一直在减少。这足以说明,整个保护区的人类干扰强度一直在升高,虽然 2007 年时核心区内部干扰强度有降低的趋势,但试验区和缓冲区干扰强度的大幅增长,抵消了核心区的干扰度的降低,使得老铁山自然保护区的人类干扰强度呈现逐步上升的趋势。然而轻度干扰的面积在 1997 年为 2908.75 hm^2 ,2007 年下降为 2701.75 hm^2 ,到了 2017 年则降到了 2567.75 hm^2 ,1997—2007 年的减少率为 7.12%,而 2007—2017 年的减少率为 4.96%,由此说明,虽然轻度干扰的面积一直处于下降趋势,但第二阶段下降幅度明显要低于第一阶段,说明当地对保护区采取了一定的有效保护措施。

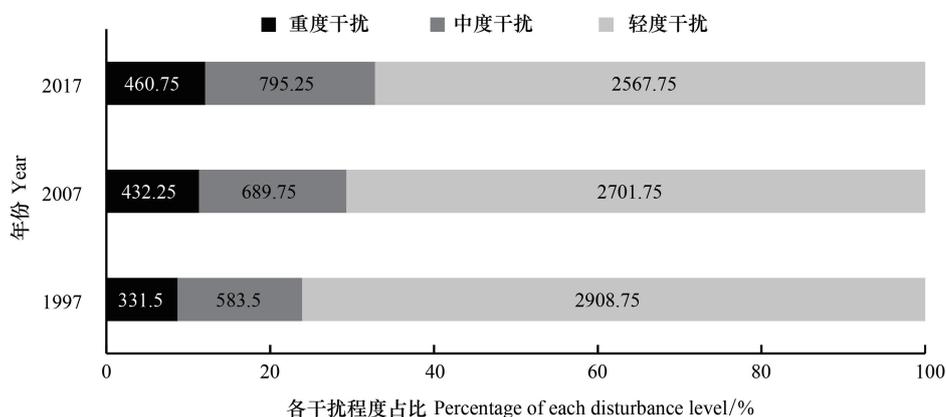


图 4 老铁山自然保护区不同干扰强度面积占比

Fig.4 Percentage of each disturbance level area in Laotieshan Nature Reserve

图中数据单位: hm^2

表 6 展示了三种干扰程度 20 年来的面积转移变化,由较高程度向较低程度的面积转移,也就意味着人类干扰强度的降低,和生态环境向好的方向转化,故称为正向转移;由较低程度向较高程度转移,意味着人类干扰强度的提高,称为负向转移。由表 6 可知,(1)所有正向转移面积之和为 155.25 hm^2 ,而所有负向转移面积之和为 555.25 hm^2 ,正向转移面积明显小于负向转移。(2)轻度转中度这一转移类型是 6 种转移类型中面积

变化最大的,不论是第一阶段还是第二阶段。(3)重度转轻度这一转移类型是6种转移类型中面积变化最小的,其次是重度转中度。(4)三种正向转移类型的第二阶段的转移面积均大于第一阶段,说明2007年以来的保护区监管取得成效。以上结果均说明,整个保护区的人类干扰强度在增加,为维持原本良好的生态环境,仍需有关部门和广大群众的共同努力。

表6 各干扰类型转移面积/hm²

Table 6 Area transition of each types

转移类型 Transition types	转移属性 Transition property	1997—2007年 转移面积 The transition area from 1997 to 2007	2007—2017年 转移面积 The transition area from 2007 to 2017	1997—2017年 转移面积 The transition area from 1997 to 2017
轻度转中度 The mild to the moderate	负向	212	140.25	326.5
轻度转重度 The mild to the severe	负向	36.5	48.25	73
中度转轻度 The moderate to the mild	正向	39	42.5	50.5
中度转重度 The moderate to the severe	负向	83	35.25	77.75
重度转轻度 The severe to the mild	正向	2.75	12	8
重度转中度 The severe to the moderate	正向	11.75	47.25	13.25

3.3 生境质量时空变化分析

1997—2017年老铁山自然保护区的生境质量空间分布情况,如图5,根据Natural Breaks(Jenks)自然断点法将生境质量划分成1、2、3、4四个等级,各个等级的分值区间、各年份在每个等级的土地面积比重及生境质量均值见表7。

表7 1997—2017年老铁山自然保护区生境质量分级表

Table 7 The level of habitat quality of Laotieshan Nature Reserve from 1997 to 2017

等级 Level	分值区间 Value interval	1997年		2007年		2017年	
		面积比重/% Area weight	质量均值 Average value	面积比重/% Area weight	质量均值 Average value	面积比重/% Area weight	质量均值 Average value
1级 Level1	0—0.2	7.78		9.02		10.43	
2级 Level2	0.2—0.4	10.76		12.61		12.95	
3级 Level3	0.4—0.7	21.43	0.6682	20.64	0.6511	20.66	0.6386
4级 Level4	0.7—1	60.00		57.73		55.96	

通过图5可以看出,在空间上,生境质量的空间分异基本与土地利用状况基本吻合,整体上体现出中部和南部偏高,西部及东北部边缘较低的特点,有林地的生境质量较高,而裸地、建筑用地等景观类型生境质量偏低。生境质量为1级、2级的低值区多出现研究区西部及东北部边缘地带,也就是保护区的缓冲区和试验区,这里地势平坦,人类活动频繁,大部分被村庄、耕地、园地等景观占用,人类足迹广布不适宜生物生存,生境质量偏低。生境质量等级达到4级的地区占保护区的大部分,集中出现在中部和南部,也就是老铁山自然保护区的生境质量的核心区,除此之外还有保护区西北部的一小部分地区,均是由于这些地区海拔较高,地形以丘陵为主,相比于研究区西部起伏较大,不容易被人类所利用,使得这里树木茂盛,郁闭度高,植被覆盖度高,才成为诸多种鸟类、昆虫等生物的栖息地。生境质量为4级的地区内部出现一些面积小的低值区斑块,推测是由于保护区内部的风景区用地和一些由于自然或人为原因造成的植被退化而产生的裸地。

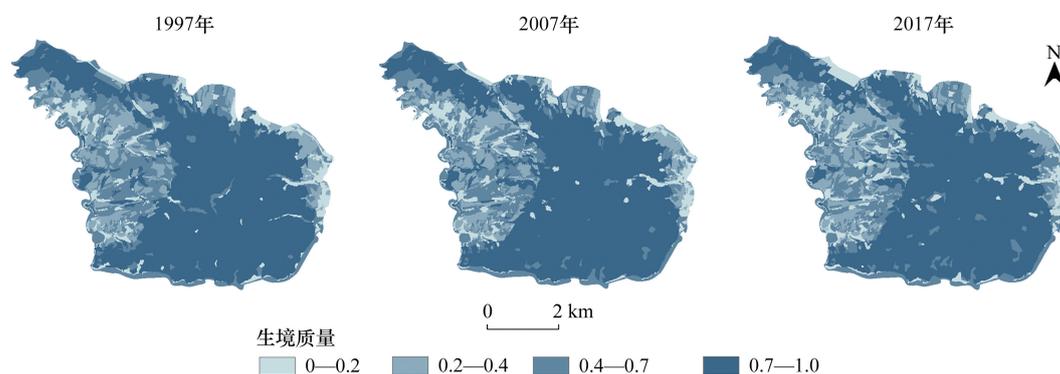


图5 老铁山自然保护区 1997—2017 年生境质量空间分布

Fig.5 Spatial distribution of habitat quality in Laotieshan Nature Reserve from 1997 to 2017

结合表 7 和图 5,从时间上看,老铁山自然保护区生境总体质量从 1997 年的 0.6682 到 2007 年的 0.6511,再到 2017 年 0.6386,整体上呈现下降的趋势。1997—2007 年里,1 级、2 级质量地的面积比重均出现不同程度的上升,分别增长了 1.24% 和 1.85%,3 级质量地面积比重降低了 0.79%,而 4 级质量地比重下降了 2.30%。结合上文,这一时期由于园地、建筑用地面积增加,对生境的威胁程度也随之增加,部分林地向草地转移,使得生境适宜度较高的景观类型面积减少。主要根源在于,这一时期正值我国经济发展的加速期,追求经济而忽略环境保护,导致了生境质量的恶化。2007—2017 年这一时期,虽然 1 级、2 级质量地的面积比重也有所增加,分别为 1.42% 和 0.34%,2 级质量地增幅明显小于上一阶段,3 级质量地面积变化不大,4 级质量地面积比重缩减了 1.77%,但减幅小于上一阶段。这一时期,由于人口增长,建筑面积增加,对周边生境的质量产生了威胁,故而生境质量整体下滑。但相比于上一阶段生境质量的恶化速度,有明显有减缓的趋势,究其根源,主要是由于 2012 年 11 月,党的十八大提出了“大力推进生态文明建设”的战略决策,近几年来各地方政府积极贯彻落实这一政策,保护区作为生态系统的外在体现得到了更多的关注与管理。这一时期人们对核心区周边的开发比较频繁,核心区和缓冲区交界部分土地被村庄、耕地占用,且核心区内部的低值区斑块的增加是由于近几年游客大量增加,景区得到了开发,以简易停车场为主的裸地面积增加,以及游客的不文明行为对植被造成了破坏,降低了核心区的生境质量。

为了更加清晰明确地了解老铁山自然保护区生境质量的时空变化特征,绘制了 1997—2017 年生境质量时空变化图,并进行冷热点分析,得出分布情况如图 6。冷热点分析能够清楚地识别要素集聚分散的位置和程度,根据图 6 可以看出热点、次热点集中在研内部究区的西北、南部和东部的小部分地区,几乎是保护区核心区的外围地带。热点在西北部和东部,说明该地区在 20 年中相比于其他地区生境质量变化较大,推测是原本植被覆盖较高的地区被人们开发利用转变成了村庄或农田,使得生境质量出现了较大幅度的转变。南部地区的热点可能是由于近些年沿海旅游景观的开发,游客量增加,加之丘陵阻挡,位置偏远,不便于有关部门管理,导致植被退化严重,生境质量降低。冷点、次冷点分布主要在研究区中部,也就是试验区和缓冲区交界处,以及核心区东部。冷点、次冷点代表该地区 20 年来生境质量变化不大,结合生境质量空间变化图,发现冷点、次冷点区生境质量在三个时期里都属于 1 级或 2 级,可能是一直处于被开发状态,土地利用变更不频繁。

3.4 景观格局与生境质量相关性分析

结合图 7 和上文可知,1997—2017 年林地面积减少了 7.33%,园地和建筑面积分别增加了 73.54% 和 37.52%,说明人文景观用地侵占了自然景观用地,使得自然景观面积减少,且前一阶段的干扰强度涨幅要大于后一阶段;通过图 8 和上文得出,生境质量 1 级和 2 级质量用地面积分别增加 2.65% 和 2.19%,3 级质量用地变化不大,比重下降了 0.77%,而 4 级质量用地面积减少 4.07%,前一阶段的生境质量下降速度要大于后一阶段。结合两个阶段的干扰程度和生境质量的空间分异与变化幅度得出,人为因素对生境的影响不容忽视。

为探明景观格局变化对生境质量的的影响程度,本文基于景观类型变化生成景观格局指数时空分布图和生境质量时空变化图,虽然二者均来源于景观类型的划分,但本质却存在差异。本文代表人类干扰强度的景观格局指数是基于不同景观类型及其斑块的外部形状特征,而生境质量是基于景观类型内部属性的差异及不同种景观之间的实际距离,因此二者存在质上的区别。本研究中结合图 3、图 4 发现景观格局指数所代表的人类干扰强度与生境质量变化又存在着相似性。为证实这一观点,利用 Pearson 指数对 1997—2017 年的人类干扰强度与生境质量进行相关性分析,得出 1997 年、2007 年和 2017 年的相关性在 0.01 水平(双侧)上显著相关指数分别为-0.812、-0.738 和-0.732,说明该地区人类干扰强度与生境质量呈负相关,表明人类干扰强度对生境质量的负面影响。由此说明,人类干扰对生境质量的影响较大,可视为生境质量的驱动因子。虽然生境退化并不一定完全来源于人类活动的干扰,仍有自然原因的

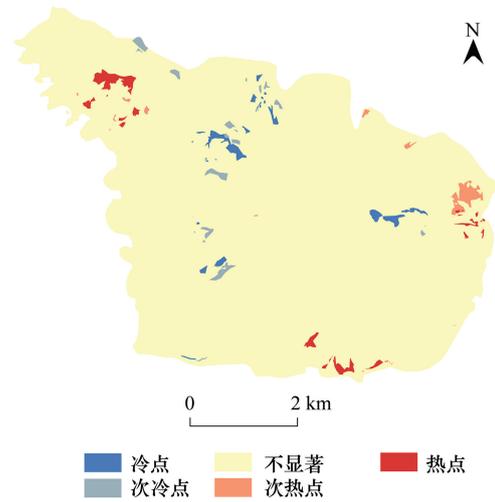


图 6 老铁山自然保护区 1997—2017 年生境质量变化冷热点分布
 Fig.6 Cold-hot spot distribution of habitat quality change in Laotieshan Nature Reserve from 1997 to 2017

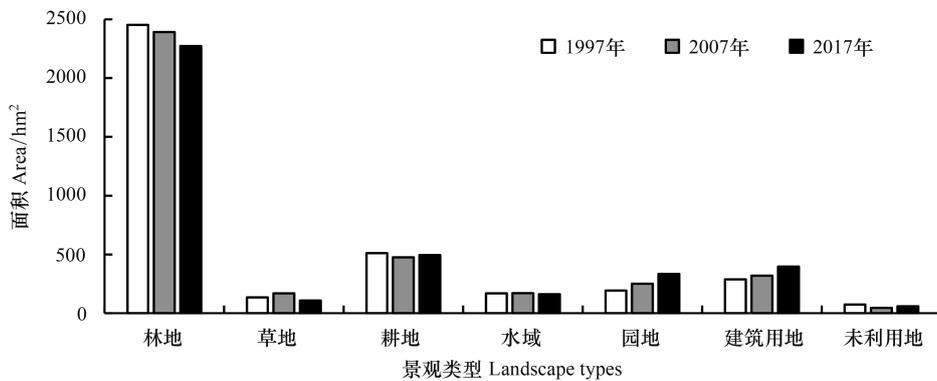


图 7 老铁山自然保护区各景观类型所占面积
 Fig.7 Area of each landscape pattern in Laotieshan Nature Reserve

作用,比如强对流天气对植被的破坏,海岸侵蚀造成的地表裸露等,但不可否认人类活动干扰是造成生境退化的主要原因。人类往往在寻求切身利益时忽视了对生态环境的影响,一味地改造自然,因此在以后的管理中人类的的活动范围与开发强度需要严格控制,务必遵循“尊重自然、顺应自然、保护自然”的原则。

4 结论

老铁山自然保护区不仅在生物多样性的保护方面有着重要的生态意义,而且其特殊的地理位置使它具有较高的旅游经济价值。基于以上分析结果,可以看出:

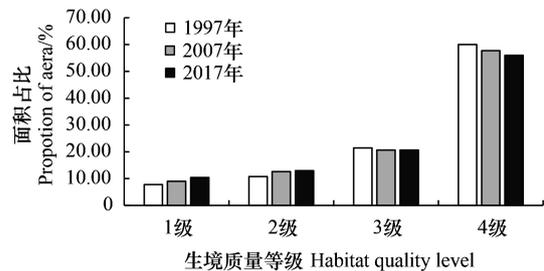


图 8 老铁山自然保护区各质量等级生境面积所占比例
 Fig.8 Proportions of area of each habitat quality level in Laotieshan Nature Reserve

(1)1997—2017年,老铁山自然保护区的景观格局变化中建筑用地、园地面积增加最多,林地、草地略有减少,耕地向园地的转移面积最大,整体上看,人为景观面积增加,自然景观面积减少。

(2)人类干扰强度方面该地区核心区有着先减弱再增强的态势,而试验区和缓冲区则一直呈现出增强的态势。研究区总体上还是呈现出干扰强度不断升高,后一阶段幅度的干扰强度涨幅要低于上前一阶段。

(3)1997—2017年,由于建筑用地等威胁因子面积的增加,老铁山地区核心区生境质量略有下降,低值区斑块数量增加,面积增大,缓冲区和试验区人类活动较为频繁,生境质量下降幅度较大。但后一阶段的生境质量下降幅度要明显低于前一阶段。生境质量变化的热点、次热点多集中在核心区边缘,而冷点、次冷点集中在试验区与缓冲区交界处。

(4)相关性分析得出,人类干扰强度对生境质量有着极大的负面影响,需要严格控制人类在保护区的活动范围。此外,研究还发现,20年以来缓冲区与试验区之间的界限一直不够清晰,这将对保护区的监管产生不利影响。

本文仍存在不足之处:(1)威胁因子参数和生境敏感性参数存在一定的主观性。(2)有关3个景观指数的选取,主要是通过相关文献和对景观指数生态学含义的理解而进行选取,也存在一定的主观性。以上均有待后期研究进一步深入探讨。

因此,自然保护区的监管部门应加大对保护区内试验区和缓冲区的管理,加强对核心区林地的保育工作;将整个保护区划定生态保护红线,以减小城镇扩张对保护区内生境的影响;旅游景点的管理力度也应加强,明确划定景区界限,禁止游客无故翻越界限,防止其对林区造成一定破坏;保护区范围内增加管理站,增设管理岗位,责任到人加强管束力度;加强生态保护的宣传,让周边居民意识到老铁山自然保护区的重要意义,从根源上杜绝保护区生境的破坏。

参考文献(References):

- [1] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶.关于景观格局演变研究的几个问题.地理科学,2003,23(3):264-270.
- [2] 张芸香,郭晋平.森林景观斑块密度及边缘密度动态研究——以关帝山林区为例.生态学杂志,2001,20(1):18-21.
- [3] 刘玺,何守阳,刘贝贝.岩溶山区城镇化进程的土地利用景观格局演变特征——以贵阳市为例.地球与环境,2019,47(4):527-536
- [4] 张月,张飞,王娟,任岩, Ghulam A, Kung H T, 陈芸.近40年艾比湖湿地自然保护区生态干扰度时空动态及景观格局变化.生态学报,2017,37(21):7082-7097.
- [5] 刘绿怡,丁彦彦,任嘉衍,卞子元.景观空间异质性地表水质服务的影响研究——以河南省伊河流域为例.地理研究,2019,38(6):1527-1541.
- [6] 刘春芳,王川.基于土地利用变化的黄土丘陵区生境质量时空演变特征——以榆中县为例.生态学报,2018,38(20):7300-7311.
- [7] 谢余初,巩杰,张素欣,马学成,胡宝清.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.地理科学,2018,38(6):979-986.
- [8] He J H, Huang J L, Li C. 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, 2017,366:58-67.
- [9] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D, Chan K M, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. Frontiers in Ecology and the Environment, 2009,7(1):4-11.
- [10] 刘吉平,赵丹丹,田学智,赵亮,刘家福.1954—2010年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力.生态学报,2014,34(12):3234-3244.
- [11] 陈利顶,孙然好,刘海莲.城市景观格局演变的生态环境效应研究进展.生态学报,2013,33(4):1042-1050.
- [12] Olsson E G A, Austrheim G, Grenne S N. Landscape change patterns in mountains, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960-1993. Landscape Ecology, 2000,15(2):155-170.
- [13] Theobalda D M, Crools K R, Norman J B. Assessing effects of land use on landscape connectivity: loss and fragmentation of western U.S. Forests Ecological Applications, 2011,21(7):2445-2458.
- [14] Baker W L. The landscape ecology of large disturbances in the design and management of nature reserves. Landscape Ecology, 1992,7(3):181-194.

- [15] Lorenzetti E, Battisti C. Nature reserve selection on forest fragments in a suburban landscape (Rome, Central Italy): indications from a set of avian species. *Landscape Research*, 2007, 32(1): 57-78.
- [16] 谢富斌, 刘红玉, 李玉凤, 王娟, 刘伶. 基于极坐标定位的丹顶鹤多尺度越冬生境选择研究——以江苏盐城自然保护区为例. *生态学报*, 2018, 38(15): 5584-5594.
- [17] 王艳芳, 沈永明. 盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力. *生态学报*, 2012, 32(15): 4844-4851.
- [18] 陈一萌, 于竹筱, 许尔琪. 1965 年以来 6 个时期广东童湖湿地的景观格局和生境质量. *湿地科学*, 2018, 16(4): 486-492.
- [19] 褚琳, 张欣然, 王天巍, 李朝霞, 蔡崇法. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的城市景观格局与生境质量时空演变及预测. *应用生态学报*, 2018, 29(12): 4106-4118.
- [20] 郝月, 张娜, 杜亚娟, 王熠辉, 郑艳东, 张长春. 基于生境质量的唐县生态安全格局构建. *应用生态学报*, 2019, 30(3): 1015-1024.
- [21] 孔令桥, 张路, 郑华, 徐卫华, 肖焱, 欧阳志云. 长江流域生态系统格局演变及驱动力. *生态学报*, 2018, 38(3): 741-749.
- [22] Li H P, Qi Y N, Qu Y Y. Use a spatial analysis model to assess habitat quality in Lashihai watershed. *Journal of Resources and Ecology*, 2018, 9(6): 622-631.
- [23] 栾天宇. 辽宁蛇岛老铁山国家级自然保护区昆虫多样性初步研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2017.
- [24] 周丹, 王子彦, 王小平, 孙立新. 自然保护区人类生态系统的冲突分析——以辽宁蛇岛老铁山国家级自然保护区为例. *科技管理研究*, 2015, 35(15): 245-248, 258-258.
- [25] 杨志鹏, 许嘉巍, 冯兴华, 郭蒙, 靳英华, 高雪娇. 基于 InVEST 模型的东北地区土地利用变化对生境的影响研究. *生态科学*, 2018, 37(6): 139-147.
- [26] 王志强, 傅建春, 全斌, 张东水, 王芳. 扎龙湿地丹顶鹤繁殖生境质量变化. *应用生态学报*, 2010, 21(11): 2871-2875.
- [27] Leh M D K, Matlock M D, Cummings E C, Nalley L L. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 165: 6-18.
- [28] Tallis H T, Ricketts T, Guerry A, Wood S, Sharp R, Chaplin-Kramer R. InVEST 3.0.1 User's Guide. Stanford, CA, USA: The Natural Capital Project, 2013.
- [29] 周彬, 余新晓, 陈丽华, 张振明, 吕锡芝, 范敏锐. 基于 InVEST 模型的北京山区土壤侵蚀模拟. *水土保持研究*, 2010, 17(6): 9-13, 19-19.
- [30] Yang S Q, Zhao W W, Liu Y X, Wang S, Wang J, Zhai R J. Influence of land use change on the ecosystem service trade-offs in the ecological restoration area: Dynamics and scenarios in the Yanhe watershed, China. *Science of the Total Environment*, 2018, 644: 556-566.