

1980—2018年海南岛人类活动强度时空变化特征及其驱动机制

刘 采^{1,2}, 张海燕^{3*}, 李 迁¹

(1. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 成都理工大学, 成都 610059;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘要:定量评价区域人类活动强度,可反映人与环境关系的变化,为土地利用政策制定和生态环境建设提供科学依据。论文基于1 km分辨率的土地利用/土地覆被数据,从总体变化、空间自相关性及其影响因素等方面对海南岛1980—2018年人类活动强度进行分析研究。结果表明:① 2018年,海南岛土地利用/土地覆被类型以林地和耕地为主,分别占研究区总面积的62.85%和25.27%。1980—2018年间,仅有城乡、工矿和居民用地面积出现大幅度增加,其他类型面积均减少,其中耕地和草地减少的面积较大,分别减少397.81 km²和303.02 km²。② 1980年海南岛人类活动强度为10.54%,2018年达到12.86%,增长了22.01%。2000年以前基本保持不变,2010年以后增长迅速。③ 近40 a间海南岛人类活动强度空间分布格局具有四周高、中间低的特点,并具有显著的空间集聚特征,人类活动强度变化热点地区主要集中在海口市、三亚市等城市建设迅速地区。④ 海南岛人类活动强度主要受政府政策、人口增长、经济发展等因素的驱动。

关键词:人类活动强度;土地利用/土地覆被;海南岛

随着社会经济的快速发展,人类对自然资源的需求不断加速,人类活动改造自然的力度和规模不断增强,对生态环境产生的干扰和压力也不断增加。人类活动强度的定量化和空间化表达,是评价人类活动对生态环境影响的基础^[1]。人类活动强度是指一定面积的区域受人类活动的影响而产生的扰动程度,表征人类活动对陆地表层影响程度^[2-3]。当前人类活动强度定量评价主要从2种角度考虑:一是侧重于人类活动本身所产生的压力变化,如基于权重的多指标叠加分析方法^[4-5]、人类足迹方法^[6-7]、环境扰动指数方法^[8]等;二是由人类活动引起的状态变化,如基于土地利用状态变化^[9]、基于生态系统服务变化^[9]、基于多种状态因子的变化^[10]等。其中,土地利用是人类活动对地表生态系统最直接且主

要表现形式,从景观、土地利用变化的角度定量化评价区域人类活动强度是目前国内最常用的方法。刘纪远等^[11]认为人类对各种生态系统类型的利用程度不同,对未利用地、林草地和水域、农业用地、建设用地进行不同的分级,采用面积加权求和法计算出土地利用程度综合指数,从而构建土地利用程度模型。近年来,徐勇等^[9]提出更为细化的分类标准,提出将建设用地当量作为衡量人类活动对陆地表层作用的程度当量,从而提出了依据建设用地当量面积占区域土地总面积百分比法来构建人类活动强度的计算模型。该方法因能基于土地利用遥感解译数据,较准确地反映土地利用程度的综合状况,且适用于不同空间领域的研究,特别是在无法获取足够社会经济统计数据的情况下,普适性

收稿日期:2019-04-24;修订日期:2019-07-23。

基金项目:中国地质调查局项目(DD20190705);中国博士后面上基金项目(2019M650820)。[Foundation: China Geological Survey Project, No. DD20190705; China Postdoctoral Science Foundation, No. 2019M650820.]

第一作者简介:刘采(1987—),女,北京人,博士生,工程师,主要研究方向为遥感地质。E-mail: cindy676@126.com

*通信作者简介:张海燕(1987—),女,山东潍坊人,博士后,主要研究方向为生态遥感与模型应用。

E-mail: zhanghy.13b@igsr.ac.cn

引用格式:刘采,张海燕,李迁. 1980—2018年海南岛人类活动强度时空变化特征及其驱动机制[J]. 地理科学进展, 2020, 39(4): 567-576. [Liu Cai, Zhang Haiyan, Li Qian. Spatiotemporal characteristics of human activity intensity and its driving mechanism in Hainan Island from 1980 to 2018. Progress in Geography, 2020, 39(4): 567-576.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.04.004

强,在全国和区域尺度上都得到很好的应用^[12-13]。

海南岛位于中国最南端,是中国第一个生态省主体,唯一的省域国际旅游岛。近年来,随着海南旅游房地产业高速发展,生态破坏严重,各种环境问题接踵而来,例如海岸线资源被廉价开发占有;非法矿产开采造成环境破坏,逐步演变成“人为热带海岸沙漠”等^[14],而对于海南岛人类活动强度的深入综合评估却鲜有报道。本文基于人类活动对区域土地利用变化的驱动作用,定量评价海南岛长时间序列下的受人类活动干扰程度,分析全区及各县人类活动强度时空动态变化,并从社会经济和自然因素等方面来探讨其主要驱动因素。研究结果可为海南省规划执行情况、土地利用政策的制定和生态环境建设提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本文所使用的主要数据为土地利用/土地覆被空间分布数据,来源于中国科学院资源环境数据中心的全国土地利用数据库,共包含1980、1990、1995、2000、2005、2010、2015和2018年8期,空间分辨率为1 km。该数据集以Landsat TM/ETM/OLI和HJ等遥感影像为主要数据源,通过人工交互目视解译生成。土地利用/土地覆被类型包括耕地、林地、草地、水域、城乡/工矿/居民用地和未利用土地6个一级类型以及25个二级类型。每期数据都进行了统一的质量检查和数据集成,并通过野外调查实地验证,一级和二级类型综合评价精度均在90%以上^[15-16]。此外,1980—2018年生产总值、总人口、农业总产值、工业总产值、旅游业收入、矿产产值、城镇化率、固定资产投资总额及第一、二、三产业产值占GDP比重的数据来自对应年份的《海南省年鉴》。

1.2 人类活动强度的计算

人类活动强度(human activity intensity of land surface, HAILS)计算方法采用徐勇等提出的人类活动强度算法模型和土地利用/土地覆被类型的建设用地当量系数(conversion index of construction land equivalent, CI)折算方法^[3]。计算公式如下:

$$\text{HAILS} = \frac{S_{\text{CLE}}}{S} \times 100\% \quad (1)$$

$$S_{\text{CLE}} = \sum_{i=1}^n (\text{SL}_i \times \text{CI}_i) \quad (2)$$

式中:HAILS为陆地表层人类活动强度; S_{CLE} 为建设用地当量面积; S 为区域总面积; SL_i 为第*i*种土地利用/土地覆被类型的面积; CI_i 为第*i*种土地利用/土地覆被类型的建设用地当量折算系数; n 为区域内土地利用/土地覆被类型数。其中,建设用地当量折算系数通过两层级分步式算法计算得出。

1.3 空间自相关

空间自相关是指同一个变量在不同空间位置上的相关性,是空间单元属性值聚集程度的一种度量^[17],包括全局空间自相关和局部空间自相关2种。全局指标是探索整个空间上属性数据的分布模式以及空间结构情况,而局部指标可以进一步探索属性数据在空间上的聚集行为、聚集位置等空间信息。本文选择全局指标Moran's *I*指数来定量分析空间自相关,选择局部指标Getis-Ord G_i^* 指数来识别不同的空间位置上的高值聚集与低值聚集,即热点区与冷点区的空间分布。以上指标均利用ArcGIS 10.2计算得到。

1.3.1 全局指标

Moran's *I*指数是由Moran于1948年提出^[18-19],用于反映空间邻接或空间邻近的人类活动强度的相似程度,其计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中: x_i 、 x_j 为区域*i*、*j*的属性值,即本文中人类活动强度; w 为空间权矩阵, w_{ij} 代表空间单元*i*和*j*之间的影响程度; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$,即本文中整个海南岛的人类活动强度均值。Moran's *I*指数的取值范围近似在-1~+1之间:Moran's *I*>0表示空间正相关性,其值越大,空间相关性越明显;Moran's *I*<0表示空间负相关性,其值越小,空间差异越大;Moran's *I*=0,空间呈随机性。

1.3.2 局部指标

Getis-Ord G_i^* 指数^[20]的计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2}{n-1}}} \quad (4)$$

式中: w_{ij} 为单元*i*、*j*之间的空间权重; $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$,

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j^2 - \bar{X}^2}$$

若 $G^*(Z$ 值) 为正, 且具有显著统计学意义, Z 值越高, 高值(热点)的聚类就越紧密; 相反, 若 $G^*(Z$ 值) 为负, Z 值越低, 低值(冷点)的聚类越紧密。

1.4 线性回归模型

根据相关研究成果^[21-23], 结合海南岛的社会经济发展状况, 选取人口、经济、产业结构等 11 个指标作为自变量, 选取海南岛人类活动强度作为因变量构建线性回归模型, 来分析海南岛人类活动变化的相关影响因素。11 个自变量为: 地区生产总值 (GDP) x_1 、总人口 x_2 、农业总产值 x_3 、工业总产值 x_4 、旅游业收入 x_5 、矿产产值(煤炭、黑色金属、有色金属、建材及其他非金属) x_6 、城镇化率 x_7 、固定资产投资总额 x_8 、第一产业产值占 GDP 比重 x_9 、第二产业产值占 GDP 比重 x_{10} 、第三产业产值占 GDP 比重 x_{11} 。因指标要素间具有相关性, 为避免共线性问题对回归模型的影响, 本文选择一元线性回归方程模型, 根据各拟合优度的判定系数 (R^2) 比较人类活动强度变化与不同指标要素之间的相关程度, 具体模型如下:

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon \tag{5}$$

式中: α 为常量; β 为相关变量的系数, 表示因变量对各指标要素的弹性变化; ε 为随机误差项。

2 结果分析

2.1 土地利用变化时空特征分析

2018 年海南岛土地利用/土地覆被类型(表 1、图 1)以林地为主, 占研究区总面积的 62.85%, 其中

有林地、灌木林、疏林地和其他林地分别为 12913.83、2404.78、936.40 和 5050.83 km^2 , 各占总面积的 38.09%、7.09%、2.76%、14.90%, 主要分布在中部和南部山区丘陵地带。其次为耕地, 占研究区总面积的 25.27%, 所包含的旱地和水田面积各为 3026.74、5539.30 km^2 , 分别占总面积的 8.93%、16.34%, 主要分布在海南岛沿海平原地区。水域、城乡/工矿/居民用地和草地面积相近, 分别占研究区总面积的 4.20%、3.81% 和 3.44%。水域以河渠、水库坑塘、滩涂和滩地为主; 城乡/工矿/居民用地包括城镇用地、农村居民点和其他建设用地, 主要分布在海口市、三亚市、琼海市等区域; 草地所包含的高、中和低植被覆盖草地分别占比 2.89%、0.50%、0.04%, 主要分布在海南岛平原地区; 未利用土地面积最小, 仅占研究区总面积的 0.43%, 以沙地、海洋、沼泽地为主。

近 40 a 间, 林地整体变化不大, 面积比例保持在 62.64%~64.67% 之间。仅有城乡/工矿/居民用地出现大幅增长趋势, 从 1980 年的 615.54 km^2 增至 2018 年的 1292.37 km^2 , 增长了 109.96%。其他土地利用类型均呈现不同程度的减少, 其中, 未利用土地的减幅最大, 减少了 45.03 km^2 , 减少面积占 1980 年该类型的 23.53%; 耕地面积减少最大, 共减少 397.81 km^2 , 减少面积占 1980 年该类型的 4.44%; 草地面积减少也较大, 共减少 303.02 km^2 , 占 1980 年该类型的 20.64%; 而水域仅有微弱的减小趋势。

2.2 人类活动强度的时空变化分析

海南岛历年建设用地当量面积和人类活动强度见图 2、图 3 和表 2, 变化大致以 2000、2010 年为界, 前期基本保持不变, 中期 2000—2010 年增长相

表 1 海南岛 1980—2018 年土地利用/土地覆被一级类型构成及变化

Tab.1 Level I category of land use/land cover and their changes in Hainan Island, 1980—2018

(km^2)

年份/时段	耕地	林地	草地	水域	城乡/工矿/居民用地	未利用土地
1980 年	8963.86	21236.26	1467.84	1425.42	615.54	191.37
1990 年	9077.67	21536.89	1420.29	1092.91	606.84	165.68
1995 年	8497.41	21923.51	1397.70	1259.72	643.26	178.68
2000 年	8915.15	21707.41	1213.71	1161.94	752.72	149.35
2005 年	8908.82	21860.63	1167.04	1042.61	799.77	121.42
2010 年	8827.45	21722.22	1132.80	1256.23	841.14	120.45
2015 年	8681.89	21534.99	1130.91	1261.32	1175.70	115.48
2018 年	8566.04	21305.84	1164.82	1424.87	1292.37	146.34
1980—2018 年	-397.81 (-4.44%)	69.58 (0.33%)	-303.02 (-20.64%)	-0.55 (-0.04%)	676.83 (109.96%)	-45.03 (-23.53%)

注: 括号中数据为 1980—2018 年各土地利用/土地覆被面积变化比例。

对缓慢,后期2010—2018年增长迅速。1980年,海南岛建设用地当量面积为3592.70 km²,人类活动强度为10.54%;2000年,海南岛建设用地当量面积为

3725.41 km²,人类活动强度为10.94%;2018年,建设用地当量面积为4409.89 km²,人类活动强度为12.86%,海南岛历年人类活动强度均高于同年全国平均水平^[3]。1995年,由于海南岛水田、旱地、其他林地面积较1980、1990、2000年减少约1500 km²,有林地、灌木林、疏林地面积较1980、1990、2000年增加约1400 km²,导致海南岛1995年建设用地当量面

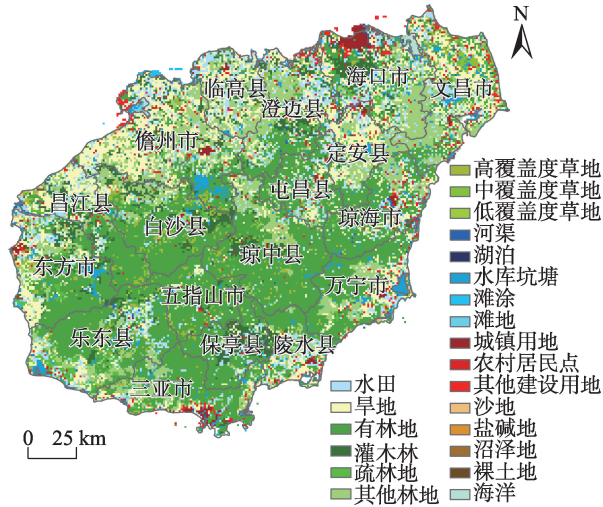


图1 2018年海南岛土地利用现状
Fig.1 Land use of Hainan Island, 2018

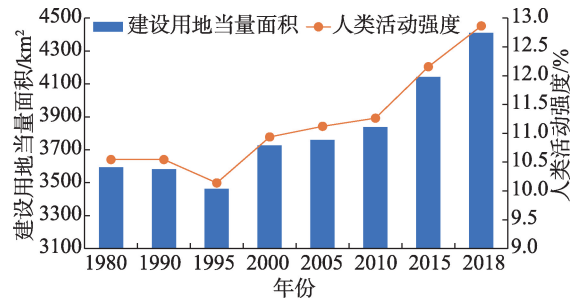


图2 1980—2018年海南岛建设用地当量面积和人类活动强度变化
Fig.2 Changes of construction land equivalent area and human activity intensity of Hainan Island,1980—2018

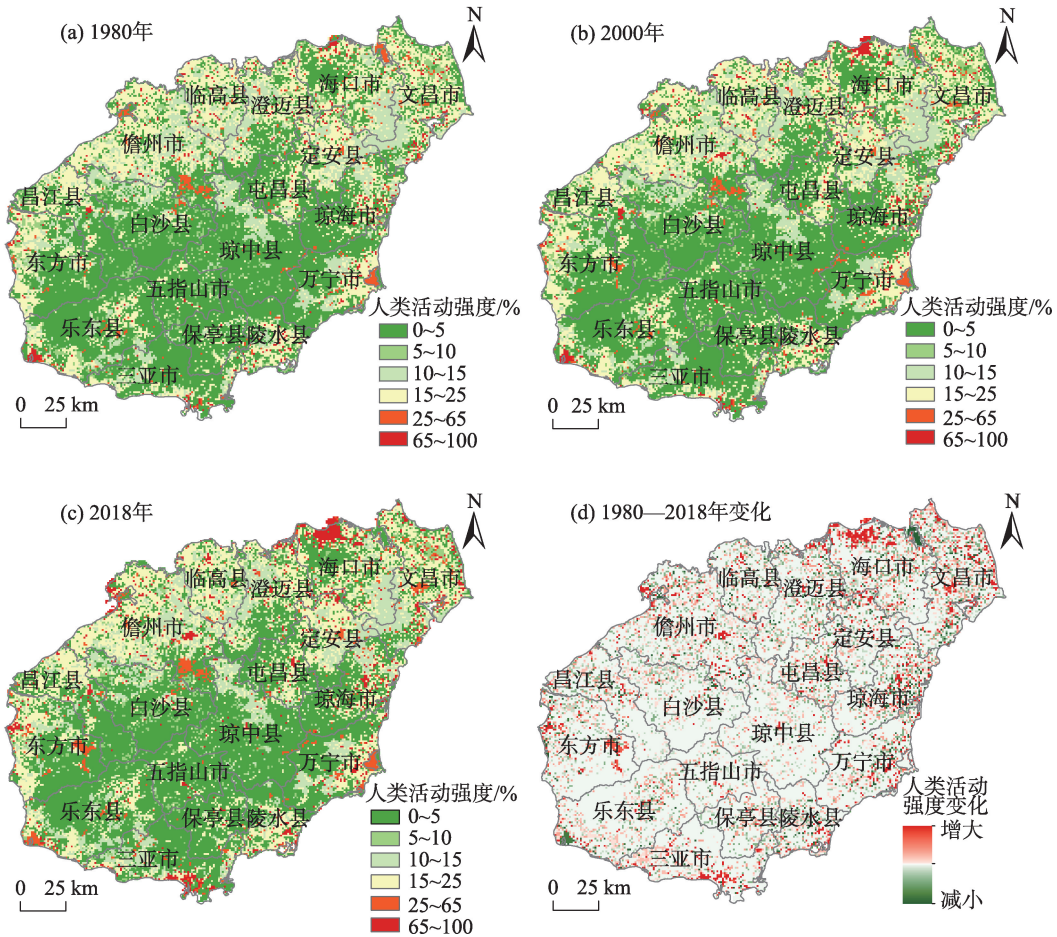


图3 1980—2018年海南岛人类活动强度分布
Fig.3 Spatial distribution of human activity intensity in Hainan Island, 1980—2018

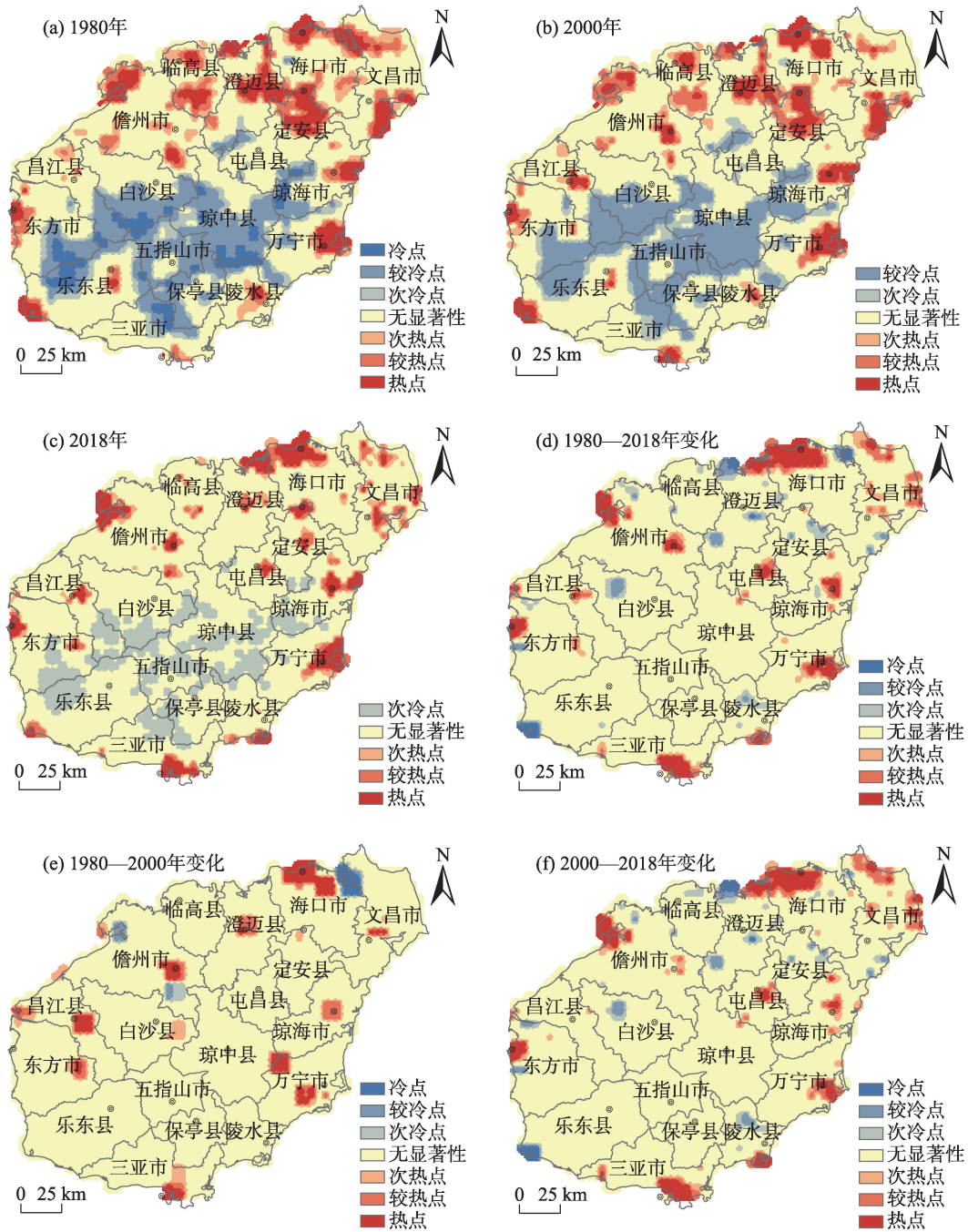


图4 1980—2018年海南岛人类活动强度变化热点图

Fig.4 Hotspots mapping of human activity intensity in Hainan Island,1980-2018

点区域的整体格局基本保持稳定,但各种类型区的比例随着时间的推移而有所变化,热点区(置信度99%)、较热点区(置信度95%)和次热点区(置信度90%)的范围逐渐减少;冷点区(置信度99%)、较冷点区(置信度95%)消失,只有次冷点区(置信度90%)范围有所扩大,处于两极(冷点区和热点区)状态的类型区向中间状态(不显著区和次冷点区)分化。总体上,热点地区所占空间由1980年的18.52%逐渐下

降到2000年的15.89%,至2018年达10.75%;冷点地区由1980年的25.91%下降到2018年的12.95%。表明海南岛人类活动强度集聚效应越来越弱,人类活动强度整体提高。

从空间分布来看,热点地区主要分布在海口市、文昌市、澄迈县、定安县、临高县、儋州市等海南岛北部平原和台地地区,此外,三亚市南部、东方市西部、乐东县西部、陵水县、万宁市、琼海市东部等

也是热点地区;冷点地区主要分布在五指山市、白沙县、琼中县、保亭县、东方市东南部、乐东县北部等海南岛中南部山区。

从时空格局变化来看,1980—2018年海南岛人类活动强度变化的热点主要集中在海口市、儋州市、东方市、三亚市、陵水县、万宁市、琼海市等市区,以及文昌东部,均为城市建设和旅游业发展活跃地区。2000年后海南岛人类活动强度逐年升高,本文以此为界分开讨论。1980—2000年,海南岛人类活动强度变化主要集中在海口、澄迈、儋州、昌江、万宁、琼海地级市及县级市市区;2000—2018年主要集中在海口、东方、三亚、屯昌、琼海市区,以及海南岛设立的海南老城经济开发区、海口桂林洋经济开发区、清澜经济开发区、海南龙湾港经济开发区、海南洋浦经济开发区、三亚亚龙湾国家旅游度假区、东方化工城等地区。

3 人类活动强度变化的驱动因素分析

人类活动强度变化是一个复杂的过程,影响因素多种多样,总体来说包括自然因素和社会经济因素2大方面。本文利用11个主要影响因素构建的线性回归模型结果如表4,从中可以看出,人类活动强度与第一产业产值占GDP比重呈负相关关系,与其余各指标要素(除第二产业产值占GDP比重外)均呈现显著的正相关关系,其中人类活动强度变化与城镇化率最显著, R^2 达0.845,其次为农业总产值、总人口、GDP、旅游业收入、工业总产值,再次为固定资产投资总额、第一产业产值占GDP比重、第三产业产值占GDP比重,说明随着海南岛城镇化水平的提

高、人口的增长、经济的发展,人类活动强度逐年增大,因此,下面从政府政策、人口增长、经济发展3个方面进行分析。

3.1 政府政策

国家和地区的政策对人类活动强度及其变化的影响具有重要的作用。海南省于1988年成立,20世纪90年代新设琼海、儋州、琼山(后并入海口)、文昌、万宁、东方6个县级市,这些县级市及当时的2个地级市海口、三亚由于城市建设发展,成为海南省1980—2000年人类活动强度变化的热点地区。90年代后,海南省先后设立了海南老城经济开发区、海口桂林洋经济开发区、清澜经济开发区、海南龙湾港经济开发区、临高金牌港开发区及13个主要工业区^[24],其中海南洋浦经济开发区(1992年3月)、海口高新技术产业开发区(1991年3月)、三亚亚龙湾国家旅游度假区(1992年1月)、海南洋浦保税港区(2007年9月)列为国家开发区,海南东方工业园区(2011年6月)、海南老城经济开发区(2006年3月)列为省级开发区,相关政策刺激着当地的经济的发展,这些地区也多成为海南省2000—2018年人类活动强度变化的热点地区。

同时,政府的总体规划和对各个区县的功能定位,对人类活动强度变化也产生了深刻的影响。例如,《海南生态省建设规划纲要》把全省划分为“三圈一区”:海洋生态圈、海岸生态圈、沿海台地生态圈和中部山地生态区,主要的开发建设集中在沿海台地生态圈;东南部以生态旅游和热带高效农业为主。此外,政府为更好地统筹土地资源的开发、利用和保护,协调保护耕地、保障建设、改善生态的关系,促进产业结构和布局调整优化,充分合理地利用土地资

表4 海南岛人类活动强度变化的线性回归模型拟合结果

Tab.4 Fitting results of the model for human activity intensity changes in Hainan Island

自变量	回归模型	R^2	显著性	相关系数
GDP	$y=0.001x+10.212$	0.777**	0.009	0.882**
总人口	$y=0.006x+6.537$	0.791**	0.007	0.890**
农业总产值	$y=0.002x+10.077$	0.828**	0.004	0.910**
工业总产值	$y=9.205E-08x+10.216$	0.729*	0.012	0.866*
旅游业收入	$y=0.003x+10.413$	0.768*	0.022	0.876*
矿产产值	$y=2.686E-06x+10.419$	0.468	0.134	0.684
城镇化率	$y=0.046x+9.156$	0.845**	0.003	0.919**
固定资产投资总额	$y=5.653E-08x+10.368$	0.694*	0.020	0.833*
第一产业产值占GDP比重	$y=-0.6x+12.986$	0.668*	0.025	-0.817*
第二产业产值占GDP比重	$y=0.158x+7.301$	0.372	0.146	0.610
第三产业产值占GDP比重	$y=0.075x+7.683$	0.659*	0.027	0.812*

注:**、*分别表示显著性 $P < 0.01$ 、 $P < 0.05$ 。

源,先后颁布了《海南省土地利用总体规划(1997—2010年)》《海南省土地利用总体规划(2006—2020年)》,在保护耕地面积的同时,保障各项建设用地、优化各类用地结构、提高集约用地水平等。

3.2 经济发展

经济的高速发展是海南岛人类活动强度变化的主要推动因素。1980—2017年,海南省经济保持着高速增长的势头^[25],GDP总量由1980年的19.33亿元增长至2017年的4462.54亿元,人均GDP也不断提高,由1980年的354元增长至2017年的48430元。受海南国际旅游岛建设影响,固定资产投资总额、旅游业、社会消费品零售总额是影响海南GDP的重要行业^[26]。海南省固定资产投资总额由1980年的3.47亿元增至2017年4125.40亿元,旅游业总收入由1990年的4.09亿元增至2017年811.99亿元,与之相伴随的是对土地的大量需求,主要表现在农用地及未利用地转变为建设用地、增强了土地的利用强度,尤其是建筑行业的发展,促使城市居住用地、商业用地、工业用地持续扩张,城镇规模不断扩大,由此产生人类活动强度不断增强。

伴随着经济的快速发展,海南省产业结构也在不断优化,三次产业结构由1980年的55.9:18.6:25.5变化为2017年的21.6:22.3:56.1,第一产业比重大幅下降,第二、三产业比重逐年提高。海南省产业结构的优化调整影响了土地利用结构的变化^[27],1980—2018年间,第一产业用地中分别有293.58 km²耕地、294.58 km²林地、35.83 km²草地转为第二、三产业城乡/工矿/居民用地^[28]。

对于农业总产值,海南省立足本地资源优势,大力发展海南热带特色农业,不断优化调整农业产业结构。海南省农业总产值由1980年的10.24亿元增长至2017年1528.18亿元,其中农业产值占比由33.86%增至47.57%、林业由50.97%降至7.22%、牧业由8.23%增至16.02%、渔业由1.52%增至25.21%、农林牧渔专业及辅助性活动由3.99%增至5.43%。而在2017年农业产值中,41.57%来自蔬菜园艺作物,40.77%来自水果、坚果、饮料和香料作物,谷物及其他作物仅占15.23%,粮食作物播种面积占农作物总播种面积由1980年82.6%锐减到2017年43.7%,农业机械总动力由6.98万kW增至556.86万kW。与此同时,1980—2018年间,耕地减少397.81 km²、林地增加69.58 km²、草地减少303.02 km²,说明海南省农业结构由传统农业向机械化、科学化、集约化的现代农业转变。

3.3 人口增长

人口,作为人类活动的主体,是影响人类活动强度最基本的因素。海南省的总人口从1980年552.73万,到2017年达910.41万人,增加了357.88万人,其中城镇人口增加268.09万人,乡村人口增加89.79万人;城镇化率由1980年8.93%增至2017年58.04%,提高了49.11%,以年均提高1.29个百分点的速度高于全国年均提高1.03个百分点的水平^[29-30]。海南省城镇化的快速发展以及大量新增的人口势必需要新的承载空间,由此产生建设用地的旺盛需求,导致城乡、工矿、居民用地面积在近40 a间增加了312.49 km²,占用了158.24 km²耕地、101.51 km²林地、16.92 km²草地、9.95 km²未利用地、25.87 km²滩涂等其他用地,其城市化进程促进了人类活动强度的增加。此外,人口的增长也刺激工业生产,由此导致工业用地的增加。

4 结论

(1) 1980—2018年期间,海南岛土地利用/土地覆被类型以林地为主,其次为耕地,草地、水域和城乡/工矿/居民用地的所占比例较小。近40 a间,随着社会经济的快速发展,人类活动对土地的利用程度加深,城乡/工矿/居民用地面积出现大幅度增加,林地维持不变,其他类型均呈减少趋势,其中耕地减少面积最大,共减少397.81 km²;草地减少的面积也较大,减少303.02 km²。

(2) 海南岛人类活动强度变化大致以2000年和2010年为界,前期基本保持不变,中期2000—2010年增长相对缓慢,后期2010—2018年增长迅速。1980—2000年人类活动强度维持在10.13%~10.94%,2010年达到11.26%,2018年上升至12.86%。

(3) 近40 a间,海南岛人类活动强度空间分布格局呈现出四周高、中间低的特点;空间自相关分析表明,研究时段内海南岛人类活动强度具有显著的空间集聚特征,热点地区主要分布在海口市、文昌市等北部平原、台地地区及三亚市、陵水县等县市的市区;冷点地区主要分布在五指山市、白沙县等中南部山区。研究期间,海南岛人类活动强度变化的热点主要集中在海口市、三亚市、陵水县、万宁市、琼海市的市区,以及文昌市东部,即城市建设和旅游业发展地区。

(4) 通过构建线性回归方程模型,探讨了海南岛人类活动强度变化的主要驱动因素,结果表明:

人类活动强度与城镇化率呈现最显著的正相关,其次为农业总产值、总人口、GDP、旅游业收入、工业总产值,再次为固定资产投资总额、第三产业产值占GDP比重;与第一产业产值占GDP比重呈负相关关系。政府政策、人口增长、经济发展等因素共同影响海南岛人类活动强度的变化。

参考文献(References)

- [1] 刘世梁, 刘芦萌, 武雪, 等. 区域生态效应研究中人类活动强度定量评价 [J]. 生态学报, 2018, 38(19): 6797-6809. [Liu Shiliang, Liu Lumeng, Wu Xue, et al. Quantitative evaluation of human activity intensity on the regional ecological impact studies. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(19): 6797-6809.]
- [2] 文英. 人类活动强度定量评价方法的初步探讨 [J]. 科学对社会的影响, 1998(4): 55-60. [Wen Ying. Preliminary discussion on the method of quantitative assessment of human activity intensity. *Impact of Science on Society*, 1998(4): 55-60.]
- [3] 徐勇, 孙晓一, 汤青. 陆地表层人类活动强度: 概念、方法及应用 [J]. 地理学报, 2015, 70(7): 1068-1079. [Xu Yong, Sun Xiaoyi, Tang Qing. Human activity intensity of land surface: Concept, method and application in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(7): 1068-1079.]
- [4] Magalhães J L L, José Leonardo Lima, Lopes M A, et al. Development of a Flooded Forest Anthropization Index (FFAI) applied to Amazonian areas under pressure from different human activities [J]. *Ecological Indicators*, 2015, 48: 440-447.
- [5] Han Z, Cui B. Development of an integrated stress index to determine multiple anthropogenic stresses on macrophyte biomass and richness in ponds [J]. *Ecological Engineering*, 2016, 90: 151-162.
- [6] Sanderson E W, Jaithem M, Levy M A, et al. The human footprint and the last of the wild [J]. *Bioscience*, 2002, 52(10): 891-904.
- [7] Venter O, Sanderson E W, Magrach A, et al. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation [J]. *Nature Communications*, 2016, 7: 12558. doi: 10.1038/ncomms12558.
- [8] Van Beynen P, Townsend K. A disturbance index for karst environments [J]. *Environmental Management*, 2005, 36(1): 101-116.
- [9] Dodds W K, Perkin J S, Gerken J E. Human impact on freshwater ecosystem services: A global perspective [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(16): 9061-9068.
- [10] Li S C, Zhang Y L, Wang Z F, et al. Mapping human influence intensity in the Tibetan Plateau for conservation of ecological service functions [J]. *Ecosystem Services*, 2018, 30: 276-286.
- [11] 刘纪远, 等. 西藏自治区土地利用 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. [Liu Jiyuan, et al. Land use in the Tibet Autonomous Region. Beijing, China: Science Press, 1992.]
- [12] 刘慧明, 高吉喜, 张海燕, 等. 2010—2015年中国生物多样性保护优先区域人类干扰程度评估 [J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(11): 1456-1465. [Liu Huiming, Gao Jixi, Zhang Haiyan, et al. Human disturbance monitoring and assessment in the biodiversity conservation priority area China. *Journal of Geo-information Science*, 2017, 19(11): 1456-1465.]
- [13] 徐小任, 徐勇. 黄土高原地区人类活动强度时空变化分析 [J]. 地理研究, 2017, 36(4): 661-672. [Xu Xiaoren, Xu Yong. Analysis of spatial-temporal variation of human activity intensity in Loess Plateau region. *Geographical Research*, 2017, 36(4): 661-672.]
- [14] 董正华. 海南经济开发中的环境保护与生态文明建设 [J]. 学术研究, 2013(10): 109-117. [Dong Zhenghua. Research on the environmental protection and ecological civilization construction in Hainan Province development. *Academic Research*, 2013(10): 109-117.]
- [15] Liu J Y, Liu M L, Tian H Q, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990-2000: An analysis based on Landsat TM data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98(4): 442-456.
- [16] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [17] 张松林, 张昆. 全局空间自相关Moran指数和G系数对比研究 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(4): 93-97. [Zhang Songlin, Zhang Kun. Comparison between general Moran's I Index and Getis-Ord general G of spatial autocorrelation. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2007, 46(4): 93-97.]
- [18] Moran P A P. The interpretation of statistical maps [J]. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 1948, 37: 243-251.
- [19] Moran P A P. Notes on continuous stochastic phenomena [J]. *Biometrika*, 1950, 37: 17-33.
- [20] Ord J K, Getis A. Local spatial autocorrelation statistics: Distribution issues and an application [J]. *Geographical Analysis*, 1995, 27(4): 286-306.
- [21] 樊杰, 许豫东, 邵阳. 土地利用变化研究的人文地理视角与新命题 [J]. 地理科学进展, 2003, 22(1): 1-10. [Fan Jie, Xu Yudong, Shao Yang. The human geography view of land use study and new proposition. *Progress in Geography*, 2003, 22(1): 1-10.]
- [22] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制 [J]. 经济地理, 2015, 35(5): 148-154. [Han Huiran, Yang Chengfeng, Song Jinping. The spatial-temporal characteristic of land use change in Beijing and its driving

- mechanism. *Economic Geography*, 2015, 35(5): 148-154.]
- [23] 李进涛, 刘彦随, 杨园园, 等. 1985—2015年京津冀地区城市建设用地时空演变特征及驱动因素研究 [J]. *地理研究*, 2018, 37(1): 37-52. [Li Jintao, Liu Yansui, Yang Yuanyuan, et al. Spatial-temporal characteristics and driving factors of urban construction land in Beijing-Tianjin-Hebei region during 1985-2015. *Geographical Research*, 2018, 37(1): 37-52.]
- [24] 海南省人民政府. 海南省土地利用总体规划 2006—2020 年 [Z]. 海口, 2009. [The People's Government of Hainan Province. Land use master plan of Hainan Province (2006-2020). Haikou, China, 2009.]
- [25] 钱耀军. 从数据看海南经济特区三十年发展 [J]. *中国统计*, 2018(9): 26-28. [Qian Yaojun. 30 years development of Hainan Special Economic Zone from data. *China Statistics*, 2018(9): 26-28.]
- [26] 孔朝莉, 李国徽, 石明, 等. 基于GM(1, 1)与主成分回归的海南GDP预测及其影响因素分析 [J]. *数学的实践与认识*, 2016, 46(17): 66-80. [Kong Zhaoli, Li Guohui, Shi Ming, et al. Production on GDP of Hainan Province and factors analysis based on GM(1, 1) and principle component regression. *Mathematics in Practice and Theory*, 2016, 46(17): 66-80.]
- [27] 但承龙, 熊华. 海南土地利用结构与产业发展关系研究 [J]. *资源科学*, 2010, 32(4): 718-723. [Dan Chenglong, Xiong Hua. A study on the relationship between the land use structure and industrial development in Hainan Province. *Resources Science*, 2010, 32(4): 718-723.]
- [28] 刘平辉, 郝晋珉. 土地利用分类系统的新模式: 依据土地利用的产业结构而进行划分的探讨 [J]. *中国土地科学*, 2003, 17(1): 16-26. [Liu Pinghui, Hao Jinmin. New model on the land use classification system: Classification study based on land use industry structure. *China Land Science*, 2003, 17(1): 16-26.]
- [29] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1999. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China statistical yearbook*. Beijing, China: China Statistics Press, 1999.]
- [30] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China statistical yearbook*. Beijing, China: China Statistics Press, 2017.]

Spatiotemporal characteristics of human activity intensity and its driving mechanism in Hainan Island from 1980 to 2018

LIU Cai^{1,2}, ZHANG Haiyan^{3*}, LI Qian¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China;

2. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

3. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Quantitative assessment of regional human activity intensity can reflect the relationship between people and environment, which can provide a scientific basis for landuse-related decision making and eco-environment construction. Based on the land use/land cover data with 1 km resolution, we quantitatively evaluated the spatial-temporal features of human activity intensity in Hainan Island from 1980 to 2018. On this basis, we analyzed the overall change and spatial correlation of human activity intensity and explored its driving mechanism. The results showed that: 1) The main types of land use were woodland and farmland in the study area in 2018, accounting for 62.85% and 25.27%, respectively. Only built-up land increased sharply, and areas of all other land use types reduced from 1980 to 2018. The areal reductions of farmland and grassland were the largest and the decreases were 397.81 km² and 303.02 km², respectively. 2) Human activity intensity gradually increased from 10.54% (1980) to 12.86% (2018), risen by 22.01%. Before 2000, it was relatively stable and after that, it grew fast. 3) The spatial distribution of human activity intensity was high in the coastal areas and low in the central part of the island. Human activity intensity showed significant spatial agglomeration effect and the hotspots were concentrated mainly in areas of rapid urban development, such as Haikou City and Sanya City. 4) The human activity intensity in Hainan Island was mainly driven by government policy, rapid population growth, economic development, and so on.

Keywords: human activity intensity; land use/land cover; Hainan Island