DOI: 10.5846/stxb201904020639
彭建,吴见,徐飞雄,吕俭.基于价值评估的黄山市生境质量时空演变特征分析.生态学报,2021,41(2):665-679.
Peng J, Wu J, Xu F X, Lü J.Spatio-temporal evolution characteristics of habitat quality in typical tourism cities based on value evaluation: a case study of Huangshan.Acta Ecologica Sinica,2021,41(2):665-679.

基于价值评估的黄山市生境质量时空演变特征分析

彭　建[1,2],吴　见[2,*],徐飞雄[1],吕　俭[2]
1 湖南师范大学旅游学院, 长沙　410081
2 滁州学院地理信息与旅游学院, 滁州　239000

摘要:评价与分析特定区域的生境质量及其时空变化对其生态安全格局构建、可持续发展意义重大。本文以典型旅游城市黄山市为研究区,综合生态系统服务价值评价模型、基于 NPP 与 NDVI 的生境质量指数评价、InVEST 生境质量评价模型、空间分析等模型与方法对黄山市 1987—2017 年生境质量进行研究。结果表明:(1)1987—2007 年,黄山市生境质量总值持续下降,2017 出现回升,但生境受到的威胁仍增加,生境最优区为北部太平湖区域,生境质量低值主要分布在各县区主城区;生境质量栅格等级变化以 4 等级转变为 3 等级为主。(2)1987—2017 年,黄山市 105 个乡镇(街道)中有 84 个乡镇(街道)生境质量有所下降,主要分布在东部区域;北部环太平湖区域的乡镇为生境质量"高高"型聚集区及热点区域,屯溪区、徽州区南部、歙县、休宁县主城区的各镇为生境质量"低低"型聚集区及冷点区域。(3)黄山市城市发展对生境质量影响较大,大体上距离城市中心点越近的圈层,生境质量越差;距离黄山市旅游中心点 10—20、30—40、40—50 km 的 3 个圈层形成生境质量低值点,为旅游与城区互助发展的结果;黄山市旅游与生境质量空间分布相关性较强,旅游设施、景区核密度越高,低等级生境质量占比越高。

关键词:生境质量;生态系统服务价值;时空演变;旅游城市;黄山市

Spatio-temporal evolution characteristics of habitat quality in typical tourism cities based on value evaluation: a case study of Huangshan

PENG Jian[1,2], WU Jian[2,*], XU Feixiong[1], LÜ Jian[2]
1 *Tourism College, Hunan Normal University, Changsha* 410081, *China*
2 *School of Geographic Information and Tourism, Chuzhou University, Chuzhou* 239000, *China*

Abstract: The evaluation and analysis of habitat quality and its spatio-temporal distribution characteristics in a specific region are of great significance in the construction of regionally ecological security pattern and sustainable development. Taking Huangshan, Anhui Province, a typical tourist city, as example, this paper analyzed the dynamic change of its habitat quality form 2007 to 2017 based on the comprehensive model and methods of ecosystem service value, habitat quality index consisting of Net Primary Productivity(NPP) and Normalized Difference Vegetation Index(NDVI), InVEST habitat quality assessment model and spatial analysis methods. The results showed that: (1) from 1987 to 2007, the total value of habitat quality in Huangshan City continued to decline, while the total value of habitat quality rose in 2017, but the threat to habitats continued to increase. The high-quality habitat areas were the Taiping Lake in the north, but the low quality of habitats was mainly distributed in the urban areas of the counties. And the change of habitat quality grid grade was mainly from 4 grade to 3 grade in1987—2017. (2) The habitat quality of 84 out of 105 villages and towns (streets) in Huangshan City declined from 1987 to 2017, mainly in the eastern region. The areas of "High-High" habitat quality type clusters and hot spot areas were mainly located in the villages and towns around Taiping lake in the north of Huangshan,

基金项目:安徽省自然科学基金(1808085QC72); 安徽省哲学社会科学规划项目(AHSKY2018D19)
收稿日期:2019-04-02;　　**网络出版日期**:2020-11-27
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: pj107155@126.com

while the areas of "Low-Low" habitat quality type clusters and cold spot areas were located in and the towns of Tunxi district, Huizhou district, Shexian county, and Xiuning county. The secondary hot spot township did not appear in 2007 in the southwest mountain areas. (3) The urban development of Huangshan City had a great impact on the quality of habitat. Generally, the closer to the center of the city, the worse the habitat quality. The three circles of 10—20, 30—40, and 40—50 km away from the tourism center of Huangshan City formed the low value points of habitat quality, which was the result of the mutual development of tourism and urban areas. What is more, there was a strong correlation between tourism and habitat quality spatial distribution in Huangshan City. The higher the nuclear density of tourism facilities and scenic spots, the higher the proportion of low-grade habitat quality.

Key Words: habitat quality; ecosystem service value; spatio-temporal evolvement; tourist city; Huangshan

生境也称栖息地[1],为生物个体、种群或群落生活、繁衍的具体地段[2],主要包括土壤、地形、气候等环境因子。生境质量是指区域环境(自然环境)为个体和种群的持续生存与发展提供适宜条件的能力[3],是生物多样性的重要反映[4],是保障区域生态安全、可持续发展与提升人类福祉的关键环节[5-6]。对于特定区域的生境质量评价,国外早期较多关注野生动物栖息地质量[7],评价方法主要采用实地测量栖息地本身的属性指标或者动物数量的方式[8-10],但该方法获得的多为小区域单一时段的数据,且在单个指标是否正确指示生境质量方面存在争议[3]。随着土地利用/覆被变化成为全球变化的核心研究问题,国内外学者开始广泛关注土地利用变化对区域生境质量的影响[11-12]。同时随着学者对生境质量内涵认识的深入,生境质量评价方法体系不断被完善,主要分为模型法与指标体系评价法[13-14]。目前生境质量评价 InVEST 模型中的生境质量模块因其在数据、方法上的诸多优势应用最为广泛[13,15],我国学者 2010 年开始运用该模型对城市群、自然区、流域等特定区域的生境质量进行了评价,并对其时空格局进行分析[16-19],但在典型人地互动区域类型的旅游区还鲜少应用,且该模型也存在一定局限性[20],因而学者又转向综合模型构建。生态系统服务价值指从生态系统中人类可获得的各种直接和间接利益[21],生态系统服务的概念已有 30 多年,随着研究的深入,部分学者在评估生态系统服务价值时把生境质量作为重要组成部分,通过构建生境质量系数调整不同区域的生态系统服务价值[15,22],同时也有学者提出将生态系统服务价值作为本底生境质量的表征评价生境优劣,获得较好的效果[19],综合生态系统服务价值模型,采用价值法对生境质量进行评估既考虑为人类提供利益又最接近自然状态[23]。

旅游业发展促进城镇化是城市化的一种重要模式,然而旅游经济发展中资源利用过程存在显著的负外部性[24],黄山市是典型的旅游城市[25],旅游的发展使得城镇扩张[26],同时也对地区生态造成干扰[27],基于此,本文以黄山市为例,从生态系统服务价值、生境质量指数、InVEST 生境质量模块三方面构建综合生境质量模型对黄山市 1987、1997、2007、2017 年生境质量进行评价,运用热点分析、空间自相关等分析方法对生境质量时空格局进行分析,并选择与黄山市生境质量密切相关的城市、旅游等方面总结生境质量时空变化规律,以期为旅游地生态环境保护与空间优化、可持续发展、生态安全格局构建提供理论支撑。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

黄山市位于安徽省最南端,辖屯溪区、徽州区、黄山区 3 区和祁门县、歙县、黟县、休宁县 4 县(图 1),共 105 个乡镇(街道),土地面积约 9686 km^2,截止 2017 年年末,全市总人口 148.46 万人,常住人口 138.4 万人。境内地貌复杂,地表起伏大,海拔相对高差达 1700 m 多,为典型的山地丘陵区。黄山市属亚热带季风湿润气候,四季分明,雨水充沛,年均温 15.5—16.4℃,年降水量在 1395—1702 mm 之间。水系主要以太平湖和新安江为主,新安江发源黟县与休宁县,往东流经屯溪区、歙县汇入钱塘江。黄山市拥有独特的自然风光,丰富的人文资源,以黄山享誉全世界,森林覆盖率高,为多种野生珍惜动植物栖息地,近年来城市发展迅速带来的生

境问题不容忽视。

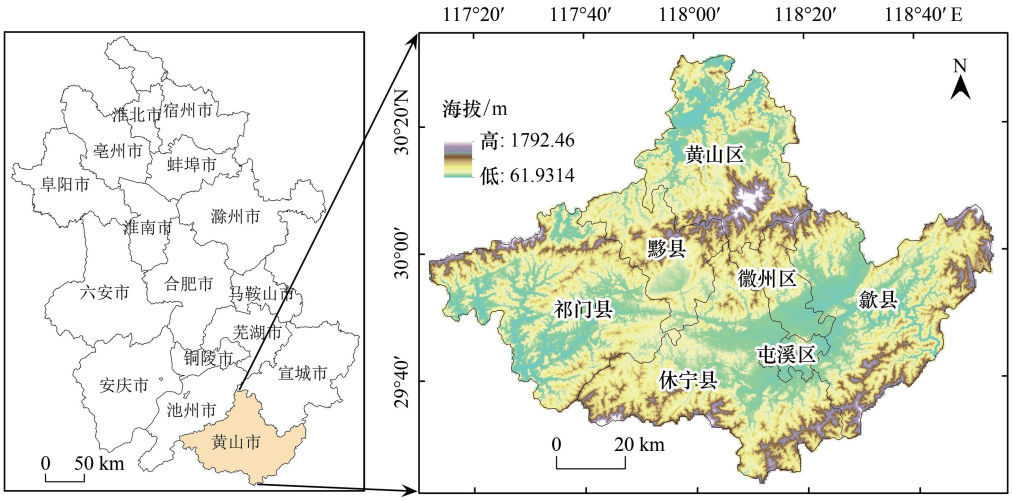

图 1　研究区位置

Fig.1　The location of study area

1.2　数据来源与预处理

遥感影像来源于地理数据空间云公开的分辨率为 30 m 的 landsat 数据,根据研究需要选取 1987、1997、2007、2017 四期 5—10 月云量覆盖低的影像(行列号:121/39、120/39、120/40),在 ENVI 软件中进行拼接、裁剪与校准;矢量边界从安徽省测绘局下载的 1∶400 万安徽省图在 ArcGIS 中矢量化提取获得;DEM 数据来源于 91 卫图下载的 Google earth 高程,分辨率为 30 m;旅游等统计数据来源于黄山市统计年鉴、安徽省统计年鉴、安徽省志:旅游志、黄山市统计公报;宾馆、购物店、餐饮店位置数据来源于百度地图 POI 兴趣点;气象数据为中国气象数据网及安徽省气象台资料信息共享平台提供。

利用 ENVI 软件采用面向对象分类法根据研究需要及土地利用现状分类标准(GB/T 21010—2017)将黄山市遥感影像分为:林地(有林地、疏林地、灌木林地)、草地、耕地(水田、旱地)、建设用地(城镇、农村居民点、工矿用地、交通用地)、水域(湖泊与水库、河流、滩涂湿地)、未利用地,以 2017 年的影像分类结果为基础数据,通过实地调研、天地图高清影像、Google earth 高清影像对分类结果进行目视校正,并建立影像分类依据,对 2007、1997、1987 年的影像利用 ENVI 软件进行解译、校正,获得黄山市 2007、1997、1987 年的土地利用分类结果。

1.3　研究方法

1.3.1　生境质量评估

生境质量评估方法根据数据来源大致可以分为模型评价法和指标测量法。指标测量法多采用野外实地调查的方法对小区域的河流、海洋、森林等生境类型的单一物种或群落提取该物种或环境相关因子建立指标体系进行生境质量评价[7,14]。该方法仅限于小区域范围,难以对不同类型、地区生境质量进行全面监测。模型评价法多采用遥感影像获得地类斑块数据,融合生态模型、GIS 技术等方法对大、中型区域生境质量进行定量、可视化评价、模拟[16-19]。相对于传统测量数据,以地类斑块为基础数据进行生境质量评估易于操作,可获得研究区时空可视化结果,更适用于监测研究区生境质量的全面变化[4]。基于此,本文以地类斑块数据为基础构建综合生境质量评估模型。根据生境质量含义[3],以地类斑块为基础数据进行生境质量评估时考虑三个层面因素:不同地类的生境价值差异;不同区域的地类生境能力差异;外部威胁对地类生境能力产生的影响。

(1)不同地类的本底生境质量价值

生态系统服务价值量高的地类是优质生境的表征,可为物种提供更好的生境能力[19],故以地类的生态系统服务价值作为本底生境质量值。生态系统服务价值评估方法采用基于单位面积当量因子法,地类的单位面积生态系统服务价值当量及生物量修正因子参考相关学者研究成果[28-29],1 个当量的经济价值按照研究区 1 公顷农田每年的主要自然粮食(大米、小麦、豆类、玉米)产值确定[28],由计算可得研究区 1 当量经济价值为 858.6 元/hm^2。为方便比较,1987、1997、2007 年均统一使用 2017 年值。根据土地利用分类结果、不同地类当量因子表、当量价值在 ArcGIS 中计算获得黄山市本底生境质量栅格分布结果(Q_1)。

(2)同种地类不同区域的生境能力

不同区域因气候等环境相异导致同种地类的提供服务的能力大小不一[30],植被覆盖度(NDVI)与植被净初级生产力(NPP)均为植被与环境综合作用的结果,可作为区域生境生产能力的体现,由 NDVI 与 NPP 组成的生境质量指数模型计算公式为[30]:

$$Q_i = \left(\frac{\mathrm{NPP}_i}{\mathrm{NPP}_{\mathrm{mean}}} + \frac{y_i}{y_{\mathrm{mean}}}\right) \div 2 \tag{1}$$

$$y_i = \frac{\mathrm{NDVI}_i - \mathrm{NDVI}_{\min}}{\mathrm{NDVI}_{\max} - \mathrm{NDVI}_{\min}} \tag{2}$$

式中,栅格 i 的植被覆盖度、植被覆盖度均值、植被净初级生产力、净初级生产力的均值分别表示为 y_i、y_{mean}、NPP_i、$\mathrm{NPP}_{\mathrm{mean}}$,$\mathrm{NDVI}_{\max}$与$\mathrm{NDVI}_{\min}$为研究区 NDVI 最大值与最小值, NPP((t DM hm^{-2} a^{-1}))依据气候—植被相关成果[31]计算,采用克里金插值法取得空间分布结果,NDVI 为遥感影像近红外与红光波段反射率波段组合比值,其中水体统一定义值为 1,根据公式计算得到研究区生境能力指数空间栅格分布结果(Q_2)。

(3)基于外部威胁的地类生境质量

生境退化主要受人类活动的影响,人类土地利用强度越大对生境造成的干扰也越强[19],InVEST 模型生境质量模块是基于生物多样性威胁因素开发的,该模型中不同地类为不同生境类型,人类集中利用的土地类型定义为威胁因子,生境类型 j 中栅格 x 所受到的总威胁水平 D_{xj} [18]为:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^{R} \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^{R} w_r}\right) r_y\, i_{rxy}\, \beta_x\, S_{jr} \tag{3}$$

最终土地覆盖类型 j 中的斑块 x 的生境质量 Q_{xj} 表示为[18]:

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

式中,R 表示威胁因子总数,r 表示某威胁因子, Y_r 指 r 威胁栅格图上的所有栅格,y 指威胁栅格图上的某栅格, r_y 是威胁 r 在栅格 y 中的值, w_r 是威胁因子引起生境退化的归一化威胁权重, i_{rxy} 为威胁 r 与生境栅格 x 之间的距离, S_{jr} 为生境 j 对威胁 r 的相对敏感性, β_x 是生境 x 的受保护程度, H_j 为地类 j 的生境适宜性,z 默认为 2.5,k 为半饱和常数,通常设定为 D_{xj} 最大值的一半,本文为 0.034, H_j 、w_r 、S_{jr} 及威胁因子的最大影响距离通过综合参考相关文献[18]及专家访谈结果获得。本文中城镇、农村居民点、水田、工矿地、旱地、交通用地、裸地设定为威胁因子。将土地利用类型图等数据导入 InVEST 模型得到基于威胁指数的黄山市生境质量空间栅格分布结果(Q_3)。

(4)综合生境质量模型

研究区综合生境质量评估模型最终表示为本底生境质量价值、基于生境能力的生境质量指数、基于威胁因素计算的生境质量系数的乘积,用价值方式表示研究区综合生境质量,使得生境质量评估既考虑最接近自然状态又考虑为人类提供的利益[23],计算公式为:

$$Q = Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \tag{5}$$

1.3.2　空间自相关与热点分析

空间自相关与热点分析是研究要素空间分布问题最常用的方法[5]。空间自相关用来检验某要素的某一属性在不同空间位置上的相互关联程度[31],分全局自相关和局部自相关分析,本文采用全局自相关 Moran's *I* 指数与局域空间自相关(Local indicators of Spatial association, LISA)集聚图来识别研究区不同年份生境质量在空间上的聚集与离散。热点分析用来识别某要素在空间分布上是否存在统计意义上显著的高值与低值[5],为局部聚类分析方法之一,文中采用 Getis-Ord Gi* 值来获得研究区生境质量空间分布的热点和冷点。

研究区不同年份 Moran's *I* 指数运用 Geoda 软件运算获得,LISA 与 Getis-Ord Gi* 值分布图依托 ArcGIS 平台完成。

2　结果分析

2.1　黄山市生境质量时空格局变化分析

2.1.1　黄山市生境质量时空分布特征

根据研究方法通过 ArcGIS 栅格运算得到分辨率为 30 m 的黄山市综合生境质量 1987—2017 空间分布图,为直观比较生境质量变化情况,依据黄山市生境实际情况以 1987 年的生境质量值为基础,将像元生境质量值分为:低—1 级(0)、较低—2 级(0—1000)、中等—3 级(1000—2000)、较高—4 级(2000—3000)、高—5 级(>3000)等 5 个等级,级别越高,生境质量越好(图 2),统计不同年份各等级栅格面积与比例(表 1)。

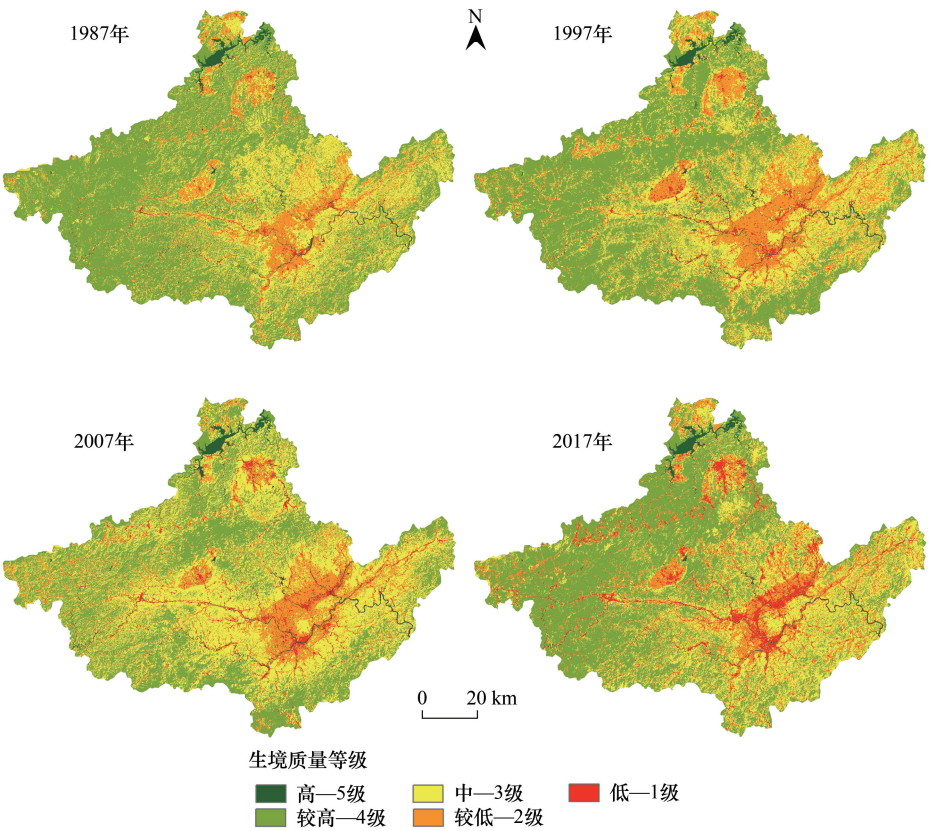

图 2　1987—2017 年黄山市生境质量空间分布

Fig.2　The spatial distribution of habitat quality in Huangshan City from 1987 to 2017

黄山市生境质量总值 1987 年为 1.97×10^{10} 元,每公顷平均值为 20403 元,1997 年总值下降到 1.85×10^{10} 元,2007 年生境质量总值持续下降,为 1.72×10^{10} 元,2017 年黄山市生境质量总值回升,为 1.84×10^{10},每公顷生

境质量值为 18627 元。生境质量最高值分布在北部太平湖区域,最低值分布在各县区主城区,其中屯溪区、徽州区、休宁县、歙县城区在 2017 年连成低值片区,为黄山市生境质量最差区域。1987—2017 年黄山生境质量呈现先下降后升高的趋势,2017 年黄山市生境质量优于 2007 年得益于黄山市政府近年执行的生态保护政策,近 5 年森林覆盖率逐步提高,然而利用 InVEST 模型基于外部威胁计算的生境质量结果表明,黄山市生境质量受到的威胁是逐渐增加的,因此,生境质量评估需关注多个方面指标。

表 1 1987—2017 年黄山市生境质量各等级面积及所占百分比

Table 1 Area and percentage of different grades of habitat quality in Huangshan City from 1987 to 2017

分级 Grade	像元值 Value of per digital	1987		1997		2007		2017	
		面积 Area/ km^2	/%	面积 Area/ km^2	/%	面积 Area/ km^2	/%	面积 Area/ km^2	/%
1	0	181.88	1.88	243.73	2.52	355.19	3.67	561.90	5.80%
2	0—1000	1203.20	12.42	1811.26	18.71	1536.97	15.87	1611.77	16.65%
3	1000—2000	3172.72	32.76	3026.15	31.25	4371.04	45.13	2986.91	30.86%
4	2000—3000	4935.22	50.95	4421.13	45.66	3211.79	33.16	4347.11	44.91%
5	>3000	193.01	1.99	180.33	1.86	211.05	2.18	172.17	1.78%
像元均值 Per value		1832.77		1719.20		1595.65		1707.80	

从生境质量等级面积变化表可知(表 1),1987 年到 2017 年像元值为 0 的等级生境比例在 30 年间逐渐增加,面积增加了 3 倍;第 5 等级的生境比例变化不大;第 4 等级的生境面积 1987—2007 年显著减少,2017 年有所增加,1987 年、1997 年、2017 年第 4 等级生境面积占比最高,其次是第 3 等级,2007 年相反,3 等级生境面积占比高于第 4 等级。

2.1.2 黄山市生境质量等级时空转移分析

为进一步了解黄山市生境质量格局时空变化,根据上文黄山市生境质量分的等级对不同年份生境质量等级相互转化情况进行统计,制成生境质量等级转化图(图 3)。

1987—1997 年黄山市 62%的栅格生境质量等级不变,13.8%的栅格生境质量等级升高,生境状况变好,以 2、3 等级向 3、4 等级转变为主,主要散布在西部山区乡镇;24.3%的栅格生境质量等级下降,生境状况变差,其中 4 等级转为 3 等级栅格最多,分布在各大县区城区与周边山区交界处,其次是 3 等级向 2 等级转变,分布在各大县区城区的城乡结合带。

1997—2007 年黄山市 43%的栅格生境质量等级发生转移,其中 15.6%的栅格生境质量等级升高,仍然以第 2、3 等级向 3、4 等级转变为主;生境质量等级下降的栅格比例较高,为 27.9%,其中 19.4%为第 4 等级转向第 2 等级,主要分布在西部、北部山区,其次为 3 等级转为 2 等级,分布在主城区城乡结合区域。

2007—2017 年黄山市 45%的栅格生境质量等级发生转变,生境质量等级升高的栅格比例高于降低的比例,与前两个时期相异,其中 26.7%的栅格等级比例上升,以 3 转向 4、2 转向 3 为主;19.1%的栅格生境等级下降,以 4、3 等级转向 3、2 等级为主。

1987—2017 年黄山市 29%栅格生境质量等级转移中,生境质量等级下降的栅格占 21.6%,其中 9.7%的栅格由 4 等级转变为 3 等级,转移比例最高,分布较分散,主要表现为由林地变为其他地类,其次是 3 等级转为 2 等级,围绕城区分布。

2.2 基于乡镇(街道)的黄山市生境质量时空格局分析

2.2.1 黄山市乡镇(街道)生境质量值变化分析

乡镇(街道)是我国最基础的行政单位,以乡镇为单位分析生境质量变化有助于对生境进行治理。对黄山市乡镇(街道)1987 年、2017 年的生境质量像元均值进行统计,并采用自然断裂法制成生境质量均值变化分类图(图 4)。1987 年到 2017 年,黄山市 105 个乡镇(街道)中有 84 个乡镇(街道)生境质量有所下降,其中

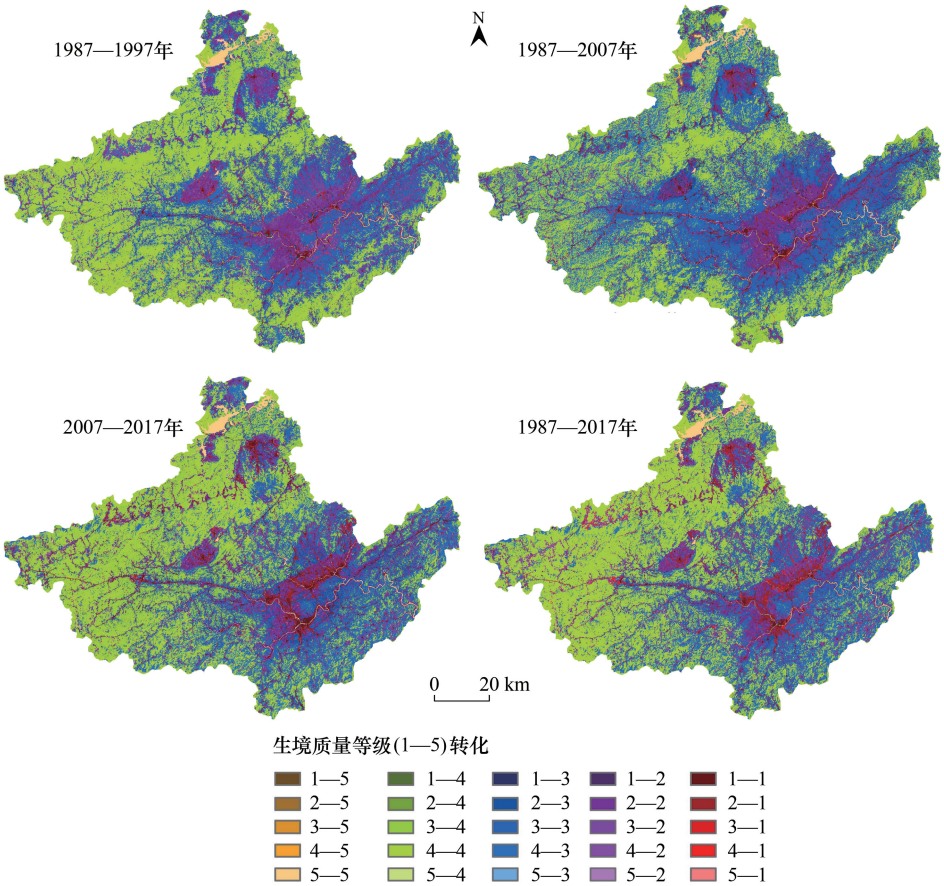

图 3　1987—2017 年黄山市生境质量等级转移图

Fig.3　Habitat quality grade transfer map of Huangshan City from 1987 to 2017

17 个乡镇每像元值下降在 330—730 元之间,主要分布在东部区域,14 个乡镇每像元值下降了 175—330 元,分布较为分散,为黄山区城区、祁门县城区及屯溪、歙县城区的外围区。像元均值增加区域主要分布在北部太平湖区域、中部休宁县西北部、徽州区北部乡镇,其中北部新丰乡、永丰乡、新华乡生境质量值增加最多。

2.2.2　黄山市乡镇(街道)生境质量空间自相关分析

为理清黄山市生境质量时空分布格局,首先在 GeoDa 中对黄山市各年份生境质量进行空间全局自相关 Moran′s *I* 指数计算,并从乡镇尺度识别生境质量空间关联性,统计各乡镇的生境质量像元均值,以此作为该乡镇生境质量的表征,运用 ArcGIS 软件进行 LISA 聚类分析与 Gi* 值热点分析。

由全局自相关结果可知,1987、1997、2007、2017 年黄山市生境质量 Moran′s *I* 指数分别为 0.136、0.112、0.150、0.133,P 值均为 0,表示黄山市生境质量在空间上呈正相关性,呈现集聚分布。其中 2007 年空间集聚程度最高。

1987—2017 年四期 LISA 聚类(图 5)图中,1987 年与 1997 年乡镇生境质量“高高”型聚集区为北部的太平湖镇和新华乡,2007 年与 2017 年增加了永丰乡和龙门乡,主要分布在环太平湖水域,太平湖及周边区域生境较好,可为黄山市生态涵养区,但太平湖风景区已为国家 4A 级旅游区,近年来随着旅游的发展,相邻乡镇土地利用强度增大,为保护生境,旅游开发必须进行严格分区控制;乡镇生境质量“低低”型聚集区主要分布在中部偏东南各镇,以屯溪区各镇为核心向南北扩散,西南到商山镇,东北到桂林镇,1997、2007、2017 年生境质量“低低”型聚集区向东南王村镇扩展,说明黄山市城市的扩张对生境质量有较大的威胁,导致低值聚集区扩散,后续发展中,应利用优良的生境本底,实现花园城市的建设。

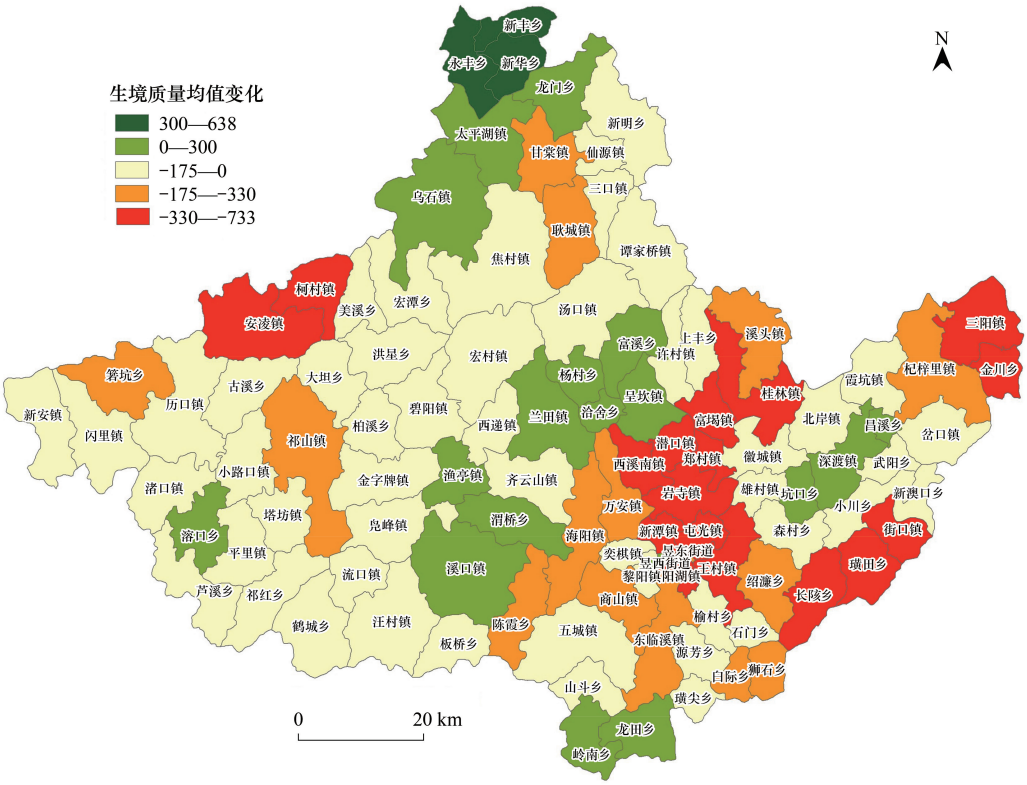

图 4 1987—2017 年黄山市乡镇生境质量像元均值变化图

Fig.4 Mean pixel change map of habitat quality in villages and towns (street) of Huangshan City from 1987 to 2017

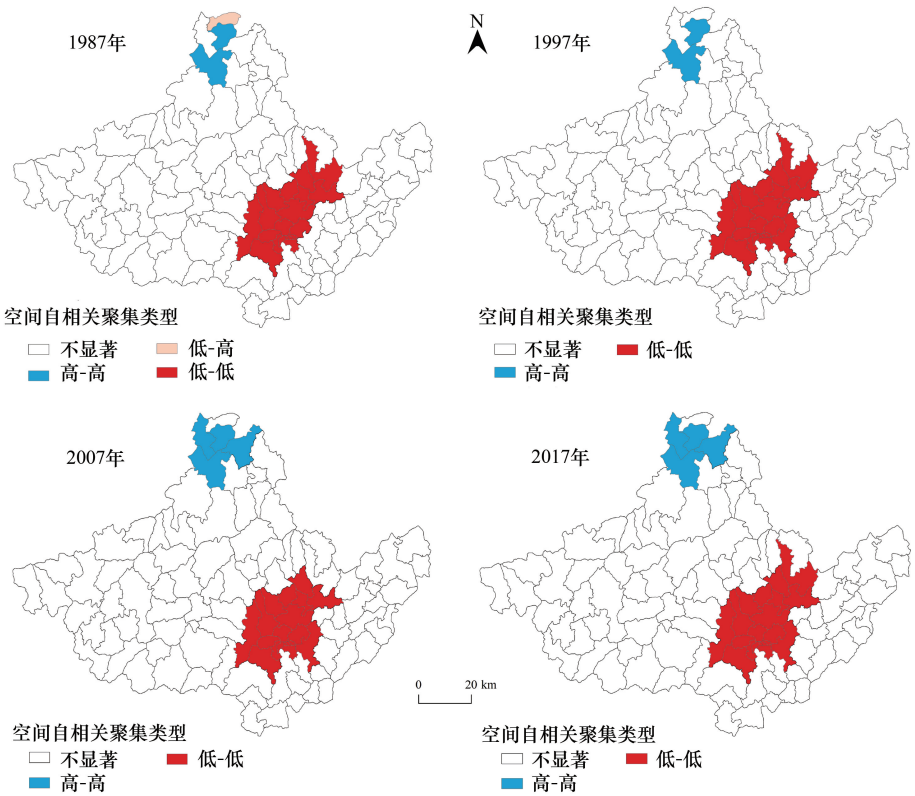

图 5 1987—2017 年黄山市乡镇(街道)生境质量局部空间自相关聚类图

Fig.5 Local indicators of Spatial association cluster diagram of habitat quality in villages and towns (street) of Huangshan City from 1987 to 2017

2.2.3　黄山市乡镇(街道)生境质量热点分析

对黄山市乡镇生境质量进行 Gi* 值分析(图 6),结果显示 1987、1997 年黄山市生境质量热点区域(99%置信水平)主要分布在北部和西南部乡镇,北部有大面积水域太平湖,因此,北部新华乡成为热点区域,周边乡镇成为次级热点区域(90%或 95%置信水平),生境质量较好,西南部区域为林地,乡镇森林覆盖率高,且人口较少,成为次级热点区。冷点区域(99%置信水平)分布在中部偏东南屯溪盆地乡镇,是屯溪区、徽州区、歙县、休宁县的城区联合区,主要为建设用地和耕地,生境质量低,次级冷点(90%或 95%置信水平)围绕冷点区东北和西南角分布。2007、2017 年黄山市北部太平湖周边的热点区域增多,但是西南区域热点区较少,2007 年西南区无热点区,冷点区域仍然集中在屯溪区、徽州区南部、歙县、休宁县主城区的各镇,并有向歙县其他相邻镇扩展的趋势。

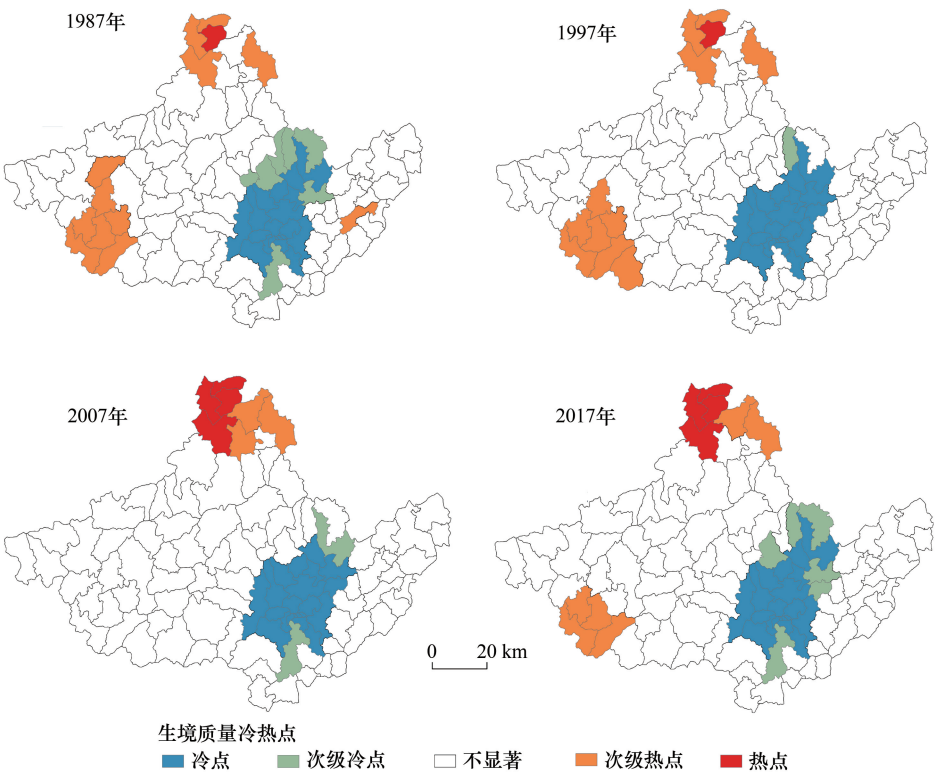

图 6　1987—2017 年黄山市乡镇(街道)生境质量冷热点分布图

Fig.6　Hot spot and cold spot of habitat quality in villages and towns (street) of Huangshan City from 1987 to 2017

2.3　基于中心点的黄山市生境质量时空变化分析

2.3.1　基于城市中心点的生境质量时空变化

城市扩张被证明对生境影响最为直接[19],为进一步分析黄山市生境质量与城市发展的关系,选取黄山市城市中心点屯溪区黄山市百大商厦(北纬 N29°42′32.65″,东经 E118°18′46.22″),以百大商厦为原点,向外画同心圆,统计不同距离圈层不同年份的生境质量等级比例及生境质量像元均值(图 7、表 2)。

由图 7 可知,1 等级生境面积占比基本符合距离衰减规律,距离城市中心点越近的圈层占比越高,生境质量越差,距离城市中心点 0—10 km 的圈层 1987 年到 2017 年 1 等级生境面积增加了三倍,增幅显著,表明黄山市主城区发展迅速;2 等级生境面积占比距离城市中心点 0—60 km 内的圈层符合距离衰减规律,60—70 km 圈层占比增高,70—80 km 圈层占比下降,但 80—113 km 圈层显著增高;与城市中心点不同距离 0—80km 的圈层中 3 等级生境面积占比先上升后下降,1987、1997 年 3 等级面积占比最高的为距离城市中心点 30—40 km 的圈层,2007、2017 年为距离城市中心点 20—30 km 的圈层;1987、1997、2017 年距离城市中心点 0—80 km

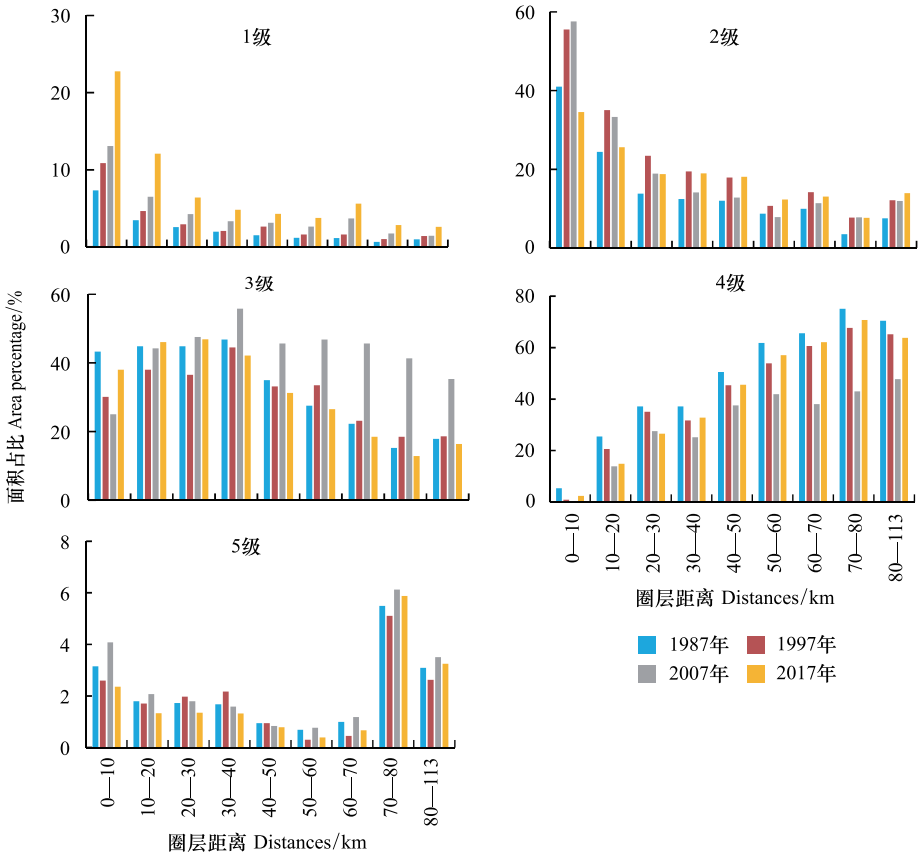

图 7 1987—2017 年距黄山市城市中心点不同距离的圈层生境质量等级比例变化图

Fig.7 Variation of the proportion of habitat quality grades at different distances from the center of Huangshan City from 1987 to 2017

的圈层距离越远,4 等级生境面积占比越高,80—113 圈层略有下降,2007 年 4 等级生境占比呈波浪式上升;距离城市中心点 70—80 km 的圈层中 5 等级生境占比在所有圈层中最高,其次是距离为 0—10 km、80—113 km 的圈层,因水域与河流在该圈层分布最多,1987—2017 年 5 等级面积占比变化不大。

表 2 1987—2017 年距黄山市城市中心点不同距离圈层生境质量像元均值

Table 2 The mean pixel value of habitat quality in different distances from the center of Huangshan City from 1987 to 2017

年份 Year	距离 Distance/km								
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—113
1987	1112.41	1489.39	1674.24	1681.21	1783.98	1905.94	1906.03	2407.12	2115.37
1997	737.58	1268.96	1572.68	1632.70	1664.90	1806.46	1810.11	2295.30	2013.94
2007	800.77	1164.70	1477.72	1531.42	1580.10	1682.82	1636.98	2081.02	1853.56
2017	916.00	1272.81	1545.58	1622.61	1661.18	1793.96	1799.87	2355.55	2058.33

由表 2 可知,四个年份中除 2007 年距离城市中心点 50—60 km 的圈层生境质量均值略高于 40—50 km 圈层外,在 0—80 km 的其他圈层中,距城市中心点距离与生境质量像元均值呈反比,80—113 km 生境质量均值略有下降;从年份上来看,1987 年各圈层生境质量像元均值最高,2007 年除 0—10 km 外,其余圈层均最低。

2.3.2 基于旅游中心点的生境质量变化

旅游是黄山市城市发展的主要驱动力之一[26],因此选取旅游中心点作为原始点,向外做同心圈,黄山市的旅游发展始于世界自然与文化遗产黄山风景区,旅游中心点选取为黄山风景区核心景区景点光明顶(北纬 N30°07′59.18″,东经 E118°10′6.95″),统计不同距离圈层的生境质量等级占比及生境质量像元均值(图 8、表 3)。

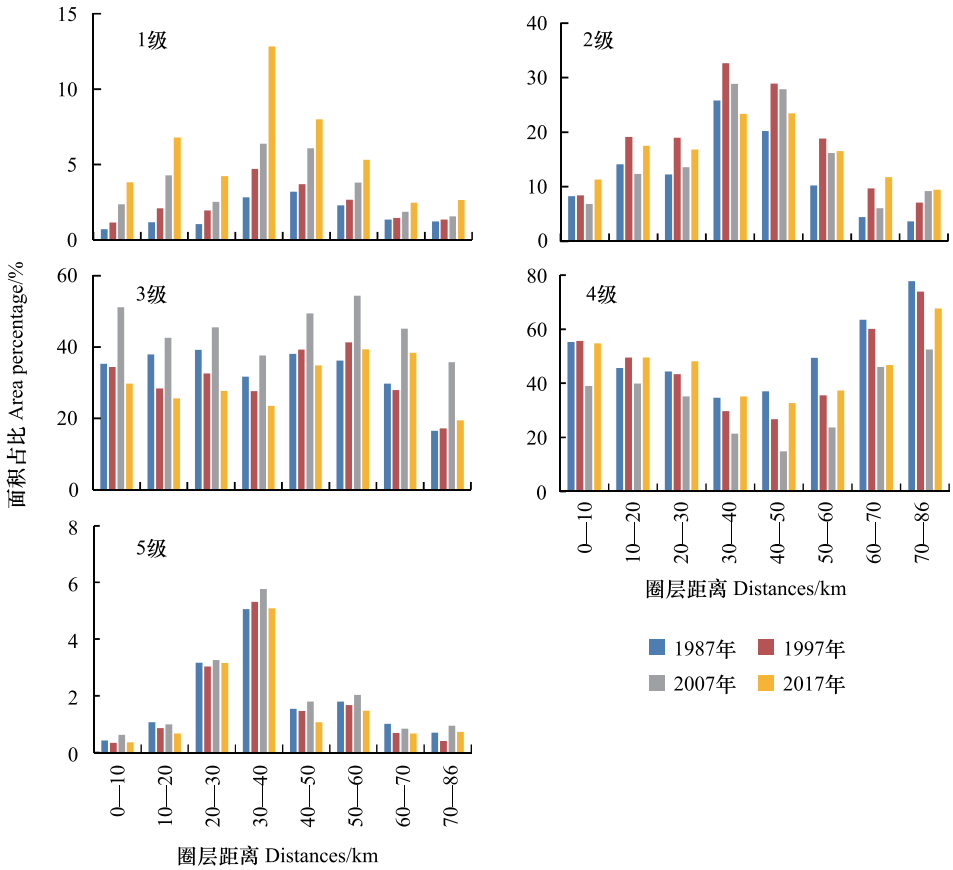

图 8　1987—2017 年距黄山市旅游中心点不同距离的圈层生境质量等级比例变化图

Fig.8　Proportion of scales of habitat quality grades at different distances from the tourist center of Huangshan City from 1987 to 2017

表 3　1987—2017 年距黄山市旅游中心点不同距离圈层生境质量像元均值

Table 3　The mean pixel value of habitat quality of different distances from the tourist center of Huangshan City from 1987 to 2017

年份 Year	距离 Distance/km							
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—96
1987	1833.95	1650.04	1820.19	1740.94	1590.84	1864.33	2013.76	2067.92
1997	1849.54	1679.94	1787.05	1587.12	1388.02	1635.07	1904.00	2002.32
2007	1652.02	1599.09	1744.51	1565.38	1273.54	1505.04	1729.51	1743.91
2017	1778.75	1659.13	1864.41	1687.00	1460.92	1670.81	1798.48	1936.66

1987 年到 2017 年与旅游中心点不同距离的圈层 1 等级面积占比均逐渐上升,从距离上来看,1987 年与旅游中心点距离 40—50 km 的圈层为 1 等级面积占比最高的圈层,而 1997、2007、2017 变更为 30—40 km 的圈层 1 等级面积占比最高。2 等级生境面积占比各年份变化规律不明显,空间上 2 等级生境面积占比基本在 30—40 km 圈层最高,其次是 40—50 km。1987 年距旅游中心点 40—50 km 的圈层 3 等级生境面积占比最高,1997、2007、2017 年距旅游中心点 50—60 km 的圈层 3 等级生境面积占比最高。距离旅游中心点最远的圈层 4 等级生境面积占比最高。距离旅游中心点 30—40 km 的圈层 5 等级生境面积占比最高,不同年份不同等级生境面积占比变化范围不大。

由表 3 可知,不同年份生境质量像元均值在距旅游中心点 10—20、30—40、40—50 km 的圈层形成三个低值点,10—20 km 圈层正好在黄山风景区外围区,发展旅游接待设施,因此生境质量较低,30—50 km 为黄山市屯溪区城区、徽州区城区、休宁县城区、歙县城区片区,因城市扩张与承接旅游集散而生境质量低,50 km 以上

的距离时,生境质量像元均值随着圈层距离的增大逐渐增加。

2.4 基于旅游要素的黄山市生境质量时空变化分析

为进一步识别旅游对黄山市生境质量的影响,将百度地图获得的黄山市 2365 家宾馆、4102 家餐饮店、3201 家旅游购物点叠加进行核密度分析,获得黄山市旅游设施密度分布图,同时将 52 家 A 级景区按照 A 级级别进行赋权的基础上利用核密度方法生成旅游景区密度分布图(图 9)。按照自然断裂法将旅游设施密度与旅游景区密度分为 5 个区间,统计不同密度区间黄山市生境质量各等级时空变化情况(图 10、11)。

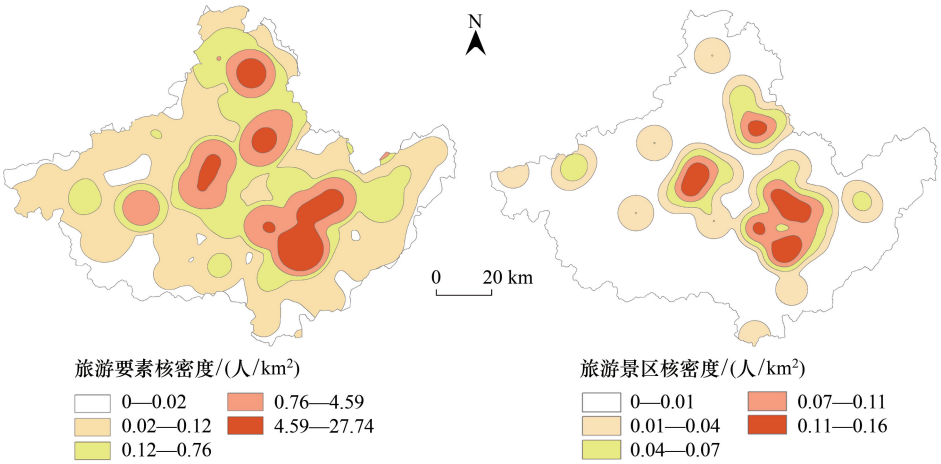

图 9 黄山市旅游设施与旅游景区核密度空间分布

Fig.9 The spatial distribution of kernel density of tourism facilities and scenic spots in Huangshan City

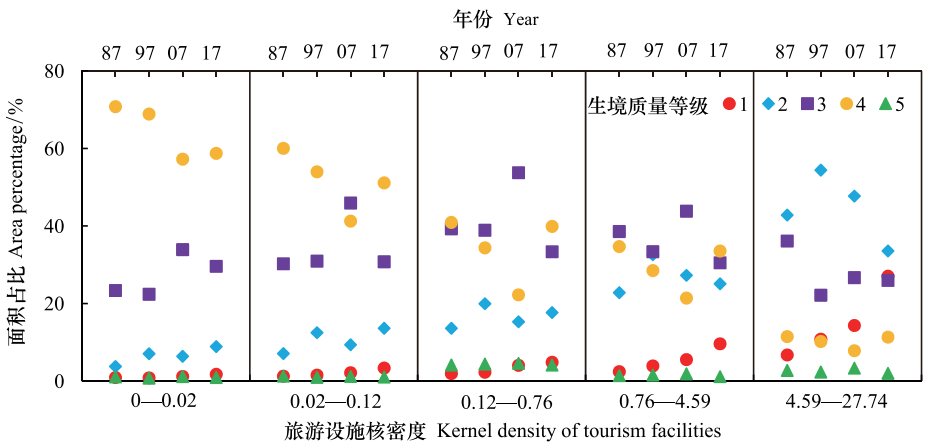

图 10 1987—2017 年黄山市旅游设施不同密度区生境质量各等级面积占比

Fig.10 The area percentage of different habitat quality grade in different density areas of tourism facilities in Huangshan City from 1987 to 2017

1987—2017 年,随着旅游设施、旅游景区核密度增加,低等生境 1、2 级区域面积显著增加,其中 2007、2017 趋势表现更加明显;高等生境 4 级区域面积显著减少,5 等级区域面积占比最低,变化规律不明显;中等生境 3 级区域面积有增有减,变化幅度较少。旅游设施、旅游景区密度较低区域,4、3 级生境面积占比最高,旅游设施、旅游景区密度较高区域 1987—2007 年 2、3 级生境面积占比最高,2017 年 2、1 级生境面积占比最高。

黄山市旅游发展与城市发展具有协同性,旅游设施密集区域集中在各县区的主城区,或者围绕旅游景区

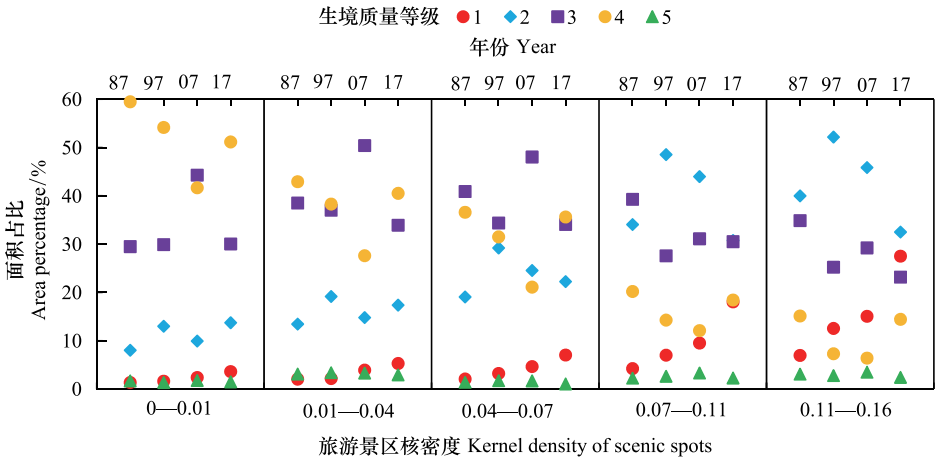

图 11　1987—2017 年黄山市旅游景区不同密度区生境质量各等级面积占比

Fig.11　The area percentage of different habitat quality grade in different density areas of tourism scenic spots in Huangshan City from 1987 to 2017

密集区分布,为主要的旅游观光与接待中心,建设用地扩张迅速,1987 到 2017 年低等生境质量区域面积持续增加,较高等级生境面积持续下降。

3　结论与讨论

3.1　结论

本文以典型旅游城市黄山市为案例地,基于地类斑块综合生态系统服务价值模型、生境能力指数模型、InVEST 模型构建综合价值评价方法对黄山市生境质量进行评估,并以乡镇为单位通过空间自相关、空间聚类分析方法识别黄山市生境时空变化格局,选取与黄山市生境质量密切相关的城市中心点、旅游中心点、旅游设施、旅游景区等要素详细分析黄山市生境质量时空格局。研究成果对黄山市及相关区域的生境质量评估、土地优化利用、生态安全格局构建提供参考与借鉴。分析表明:

(1)1987—2007 年黄山市生境质量总值持续下降,2017 回升,生境优质区分布在北部太平湖区域,低值分布在各县区主城区,其中屯溪区、徽州区、休宁县、歙县城区在 2017 年连成低值片区。2017 年黄山市生境质量总值回升,然而生境质量值为 0 的栅格面积显著增加,生境受到的威胁仍逐渐增加。1987—2017 年黄山市生境栅格等级变化以 4 等级转 3 等级为主,地类主要为林地向其他用地转换,转变区域分布在城镇周边;1987—1997、1997—2007 年生境等级转移以下降为主,2007—2017 年生境等级转移升高的栅格比下降的多。

(2)1987—2017 年,黄山市 105 个乡镇(街道)中有 84 个乡镇(街道)生境质量有所下降,像元均值下降乡镇主要分布在东部,主要由城区发展导致,像元均值增加区域主要分布在北部太平湖区域、中部休宁县西北部、徽州区北部乡镇,这主要得益于黄山市近年来推行的“增绿增效”、生态保护、太平湖湿地保护等行动。北部环太平湖区域的乡镇也成为生境质量“高高”型聚类区及热点区域,各乡镇生境质量“低低”型聚类区及冷点区域主要分布在屯溪区、徽州区南部、歙县、休宁县主城区的各镇,以屯溪区各镇为核心向周边扩散。

(3)黄山市城市发展对生境质量影响较大,大体上距离城市中心点越近的圈层,生境质量越差;距离黄山市旅游中心点 10—20、30—40、40—50 km 的三个圈层形成生境低值点,黄山市旅游与城市发展具有互助协同作用[26],旅游设施、景区核密度越高,低等生境 1、2 级面积显著增加,其中 2007、2017 趋势表现更加明显;较高等生境 4 级区域面积显著减少。

3.2　讨论

3.2.1　旅游发展对生境质量影响

从空间上来看,黄山市作为典型旅游城市,旅游发展是促进城市发展的主要驱动力,旅游与城市互助发

展,演化为现在的生境质量格局。中部偏东南的屯溪区、徽州区、与休宁县、歙县主城区分布有屯溪老街、唐模、呈坎、潜口民宅等高品质人文旅游资源,且交通发达、地势较低,近年来区域联动发展,建设用地扩张迅速,发展为主要的旅游接待、集散中心,生境质量退化明显,成为低等级生境聚集区;黄山风景区、宏村西递、齐云山风景区等高等级景区分布在围绕低值聚集区的西北部汤口镇、宏村镇、齐云山镇等乡镇,使得该区域生境出现一定程度退化,然而由于高等级景区的保护、地势等因素限制,发展为生境中值区;西部区域仅分布牯牛降风景区等自然景区,交通不便,未形成旅游集聚效应,林地覆盖率高,成为生境优质区;东南部歙县只有徽州大峡谷等个别景区,生境主要受其自然条件影响,成为中等生境与高等生境交替分布区;而北部环太平湖区域为大面积水域,成为生境优质区,近年来旅游发展使得生境出现一定程度退化,此外黄山区市区北有太平湖风景区,南有黄山风景区,旅游设施密集,为重要旅游集散地,成为生境低值区。

从时间上来看,黄山市旅游发展在 2003 年经历低谷,2004 年缓慢恢复后,2005 年进入全面发展阶段(图 12),旅游的蓬勃发展使得黄山市 2007 年、2017 年的低等级生境显著增加,其中 2017 年更为明显,黄山市旅游的快速发展同时又依赖于优质的生态环境,因此黄山市政府自 2005 年以来进行了大规模植树造林,尤其是 2011—2013 年每年造林面积超过 6000 公顷,近五年大力发展生态旅游,治理环境,使得黄山市生境质量总体上从 1987 到 2007 年持续下降后,2017 年出现回升。

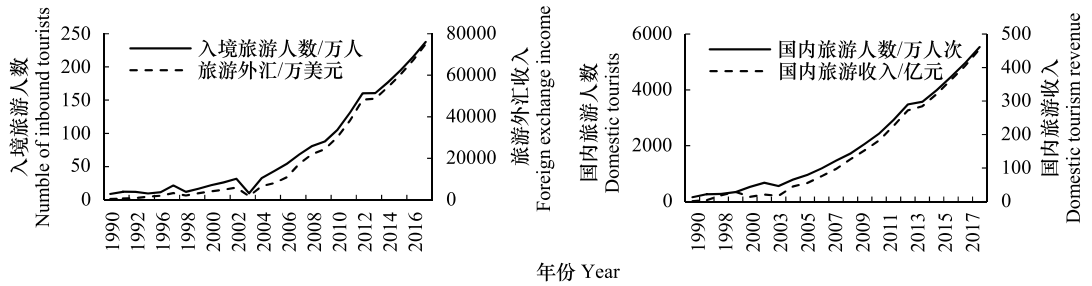

图 12 1900—2017 年黄山市旅游人次与旅游收入

Fig.12 The number of tourists and tourism revenue in Huangshan City from 1900 to 2017

现象上表明,黄山市生境质量时空格局演化与旅游发展有必然的联系,然而两者内部的影响机理、耦合机制仍有待进一步揭示。

3.2.2 生境质量评估方法精度

生境质量评估方法直接影响评估结果的精确度,本文虽从三个方面构建基于地类斑块的生境质量评估方法,但在 InVEST 模型中的相关系数设定难免存在一定主观性,且评估结果与生境质量实测情况是否相符难以考究,通过遥感影像反演生境质量仍需以实测生境质量数据为基础参照,然而实地对生境质量进行准确的测量亦是一个难以操作的问题,后续研究中应关注基于地类斑块评估的生境质量结果与通过指标体系实际测量的生境质量结果的异同,将两种方法研究结果进行关联,构建更为准确的生境质量评估普适方法。

同时,本文通过野外调查的方式对 2017 年遥感影像土地利用分类结果进行了验证,分类精度达 88%,然而,1987、1997、2007 年的遥感影像分类结果仅能依据 2017 年和个别年份的高清影像进行判断,不能实地验证,由此产生的数据精度问题可能会对结果产生一定的影响。

参考文献(References):

[1] 大卫·布林尼. 生态学. 李彦, 译. 北京: 生活·读书·新知三联书店, 2003: 37.

[2] 王孟本, 毋月莲. 英汉生态学词典. 北京: 科学出版社, 2004: 150.

[3] Van Horne B. Density as a misleading indicator of habitat quality. The Journal of Wildlife Management, 1983, 47(4): 893-901.

[4] 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.

[5] 刘春芳, 王川, 刘立程. 三大自然区过渡带生境质量时空差异及形成机制——以榆中县为例. 地理研究, 2018, 37(2): 419-432.
[6] Johnson M D. Measuring habitat quality: a review. The Condor, 2007, 109(3): 489-504.
[7] Gunnarsson T G, Gill J A, Newton J, Potts P M, Sutherland W J. Seasonal matching of habitat quality and fitness in a migratory bird. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2005, 272(1578): 2319-2323.
[8] Vickery P D, Hunter Jr M L, Wells Jr J V. Use of a new reproductive index to evaluate relationship between habitat quality and breeding success. The Auk, 1992, 109(4): 697-705.
[9] Marra P P, Holberton R L. Corticosterone levels as indicators of habitat quality: effects of habitat segregation in a migratory bird during the non-breeding season. Oecologia, 1998, 116(1-2): 284-292.
[10] Roloff G J, Kernohan B J. Evaluating reliability of habitat suitability index models. Wildlife Society Bulletin, 1999, 27(4): 973-985.
[11] Quinn J M, Cooper A B, Davies-Colley R J, Rutherford J C, Williamson R B. Land use effects on habitat, water quality, periphyton, and benthic invertebrates in Waikato, New Zealand, hill - country streams. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1997, 31(5): 579-597.
[12] Warner R E. Agricultural land use and grassland habitat in Illinois: future shock for Midwestern birds? Conservation Biology, 1994, 8(1): 147-156.
[13] 侯红艳, 戴尔阜, 张明庆. InVEST 模型应用研究进展. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2018, 39(4): 62-67.
[14] 刘红玉, 李兆富, 白云芳. 挠力河流域东方白鹳生境质量变化景观模拟. 生态学报, 2006, 26(12): 4007-4013.
[15] Grafius D R, Corstanje R, Warren P H, Evans K L, Hancock S, Harris J A. The impact of land use/land cover scale on modelling urban ecosystem services. Landscape Ecology, 2016, 31(7): 1509-1522.
[16] 郑宇, 张蓬涛, 汤峰, 赵丽, 赵旭. 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. 中国农业资源与区划, 2018, 39(7): 121-128.
[17] 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. 生态学报, 2018, 38(12): 4167-4179.
[18] 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.
[19] 吴健生, 毛家颖, 林倩, 李嘉诚. 基于生境质量的城市增长边界研究——以长三角地区为例. 地理科学, 2017, 37(1): 28-36.
[20] 白杨, 郑华, 庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华. 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控. 生态学报, 2013, 33(3): 711-717.
[21] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
[22] 高玲, 赵智杰, 张浩, 关学斌, 肖明. 基于生境质量与生态区位的海口市生态系统服务价值估算. 北京大学学报: 自然科学版, 2012, 48(5): 833-840.
[23] 李素馨, 林敬好, 吴治达, 庄永忠. 运用生境价值评估工具建构永续农村地景空间配置. 都市与计划, 2014, 41(1): 67-97.
[24] 钟伟. 旅游业扩张对旅游城市经济影响的均衡分析: 一个理论模型. 现代城市研究, 2016, (8): 106-111, 132-132.
[25] 谷永泉, 杨俊, 冯晓琳, 李闯, 李雪铭. 中国典型旅游城市人居环境适宜度空间分异研究. 地理科学, 2015, 35(4): 410-418.
[26] 丁娟, 焦华富, 李俊峰. 产业演进对旅游城市空间形态演变的作用机理——以黄山市为例. 地理研究, 2014, 33(10): 1966-1976.
[27] 章锦河. 旅游废弃物生态影响评价——以九寨沟、黄山风景区为例. 生态学报, 2008, 28(6): 2764-2773.
[28] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
[29] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
[30] 周广胜, 郑元润, 陈四清, 罗天祥. 自然植被净第一性生产力模型及其应用. 林业科学, 1998, 34(5): 2-11.
[31] 王培震, 石培基, 魏伟, 张胜武. 基于空间自相关特征的人口密度格网尺度效应与空间化研究——以石羊河流域为例. 地球科学进展, 2012, 27(12): 1363-1372.