

# 厦门市土地利用时空变化分析及生态环境质量评价

施益强<sup>1,2</sup>, 林晓凤<sup>1,2</sup>, 肖钟湧<sup>1,2</sup>, 谢先全<sup>1,2</sup>, 陈炯烽<sup>1,2</sup>, 陈颖锋<sup>1,2</sup>, 董雯菲<sup>1</sup>

(1. 集美大学港口与海岸工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 集美大学遥感与地理信息研究中心, 福建 厦门 361021)

**[摘要]** 基于遥感与地理信息系统技术, 以2004、2009和2014年遥感影像为主要数据源, 采用土地利用动态度和转移矩阵进行厦门市土地利用时空变化分析, 并运用综合指数法评价厦门市2014年的生态环境质量。结果表明: 1) 2004—2014年间, 主要土地类型为建设用地、林地与耕地, 三者占总面积的90%, 其中建设用地面积最大, 其次为林地与耕地。建设用地呈逐渐增加, 耕地呈逐渐减少, 而林地呈略微减少趋于稳定的态势, 土地利用类型转换主要表现在建设用地、林地与耕地之间。2) 生态环境质量指数为83.35, 表明厦门市生态环境总体较好, 但各区生态环境状况差异较为明显。其中, 同安区和集美区的生物丰度和植被覆盖较高, 思明区和湖里区较低, 翔安区各项评价指标处于中值, 海沧区的土地退化最为严重, 各区应针对性地采取不同的生态环境保护策略。

**[关键词]** RS; GIS; 土地利用; 时空变化; 生态环境质量评价; 厦门市

**[中图分类号]** X 826

## Analysis of Spatiotemporal Change of Land Use and Evaluation of Eco-Environmental Quality in Xiamen City

SHI Yiqiang<sup>1,2</sup>, LIN Xiaofeng<sup>1,2</sup>, XIAO Zhongyong<sup>1,2</sup>, XIE Xianquan<sup>1,2</sup>, CHEN Jiongfang<sup>1,2</sup>,  
CHEN Yingfeng<sup>1,2</sup>, DONG Wenfei<sup>1</sup>

(1. College of Harbour and Coastal Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Research Center of Remote Sensing and Geo-Information, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** Based on remote sense(RS) and geographic information system(GIS) technology, taking remote sensing images of 2004, 2009 and 2014 as the main data sources, the temporal and spatial changes of land use were analyzed by using land use dynamic degree and transfer matrix, and the ecological environment quality in 2014 was evaluated with the comprehensive index method in Xiamen City. The result revealed that during 2004 to 2014, the main land use types consist of built-land, forest land and cultivated land, accounting for more than 90% of the total area, of which the built-land area was the largest, followed by forest land and cultivated land. The built-land was gradually increasing, the cultivated land was gradually decreasing, and the forest land was decreasing slightly and tending to be stable. The conversion of land use types was mainly reflected in the built-land, forest land and cultivated land. The ecological quality index(EQI) was 83.35, which showed that the ecological environment of Xiamen City was better as a whole, but there were obvious differences for the ecological environment of each district. Tong'an District and Jimei District had higher biological abundance and vegetation

**[收稿日期]** 2020-10-30

**[基金项目]** 福建省自然科学基金项目(2015J01626, 2017J01659); 福建省教育厅科技项目(JA13186, JA14183)

**[作者简介]** 施益强(1977—), 男, 副教授, 主要从事GIS与RS应用、城市环境遥感。E-mail: yqshi\_2004@jmu.edu.cn

cover, Siming District and Huli District were lower, Xiang'an District was in the middle value, and Haicang District underwent the most serious land degradation. Therefore, different levels of ecological environment protection strategies should be adopted for each administrative region.

**Keywords:** RS; GIS; land use; spatiotemporal change; evaluation of eco-environmental quality; Xiamen City

## 0 引言

土地利用是人类改造自然,与土地进行能量与物质交换的动态过程<sup>[1]</sup>,是自然环境与人类社会经济活动相互作用的重要体现<sup>[2]</sup>。近年来,随着经济快速发展,城市化进程加快,大量人口涌入城市,引发城市土地利用时空格局的变化,导致城市生态系统发生变化,因此开展城市土地利用时空演变分析与生态环境质量评价具有很强的必要性和现实意义。由于区域经济差异性的存在,城市土地利用呈现出各自不同的时空特点<sup>[3]</sup>,利用传统人工监测技术已无法快速全面地对城市土地利用及其所影响的生态环境状况进行动态监测与分析,而遥感(remote sense, RS)、地理信息系统(geographic information system, GIS)等空间信息技术具有快速、准确和实时获取城市土地利用状况及其变化信息的优势<sup>[4-7]</sup>。如文献[8]通过三期遥感影像解译,结合土地覆被变化模型若干指标,定量分析上海市土地覆被变化的时空特征,并探究其影响的驱动力;文献[9]基于1990—2015年4期遥感图像解译土地利用数据,运用区域生态环境质量指数、土地利用变化类型生态贡献率、重心模型和土地利用转移矩阵等方法,研究江苏沿海土地利用转型的时空特征及其生态环境质量响应;文献[10]利用遥感与GIS技术解译三个时相遥感影像,分析2000—2017年大理市土地利用变化过程,并借助RSEI指数综合评价和定量分析土地利用类型转变对生态环境质量的影响;文献[11]运用GIS空间分析技术并结合1990—2015年6期遥感数据,探究广东省21个地级市用地转型的时空演变格局与生态环境效应;文献[12]基于黄河流域2005—2015年三个时相土地利用/覆盖变化数据,利用CA-Markov模型预测其2020和2025年的时空分布,分析其过去及未来生态环境时空动态变化特征。

厦门市位于福建省东南部,是我国东南沿海核心城市,是国家最早建立的经济特区之一,如何使社会经济和城市建设快速发展的同时保持其特有的生态环境和自然景观,已成为亟待深入研究的问题。从已有的厦门市相关文献<sup>[5,13-21]</sup>来看,研究主要围绕城市扩展、生态环境遥感制图、景观生态环境格局、海域生态环境和生态环境效应等内容进行,而针对厦门市土地利用或生态环境质量评价的研究并不多见,利用RS与GIS技术、社会与环境统计数据进行分析的土地利用和生态环境质量的综合研究案例则更少。本研究尝试以厦门市为研究对象,利用RS和GIS技术,以2004、2009、2014年的Landsat遥感影像为数据源解译土地利用,结合统计年鉴及环保、水利等辅助数据,采用土地利用动态度、转移矩阵和综合指数法,分析土地利用时空变化特征,评价生态环境质量,以期对厦门市的可持续发展提供决策支持。

## 1 数据来源与处理

### 1.1 区域概况

厦门市位于台湾海峡西岸中部、闽南金三角中心,全市土地面积1699.39 hm<sup>2</sup>,海域面积约390 hm<sup>2</sup>,由思明区、湖里区、翔安区、同安区、集美区、海沧区等6个行政区构成。地形由西北向东南倾斜,以滨海平原、台地和丘陵为主,属亚热带海洋性季风气候。2020年GDP为6384.02亿元,常住人口516万,生态环境质量居全国前列。

### 1.2 数据来源

选用Landsat 7遥感影像作为主要数据源,共获取2004、2009、2014年三个时相遥感影像(来自地理空间数据云<http://www.gscloud.cn>),其详细信息如表1所示。研究区的水资源量、河流长度、湖库面积、降水量、二氧化硫排放量、化学需氧量和固体废物排放量等数据来自厦门市统计年鉴以及

厦门市水利和环保等部门资料。

表 1 影像详细信息  
Tab. 1 Details of images

日期 Date	影像类型 Image type	分辨率 Resolution	云量 Cloud cover
2004-01-24	Landsat 7	30 m	0.61%
2009-01-21	Landsat 7	30 m	1.01%
2014-02-20	Landsat 7	30 m	1.19%

1.3 影像处理

所获取影像已经过几何粗校正，为保证分类结果的可靠性，再利用几何精校正将三个时相影像校正到统一的地理空间坐标系统。几何精校正包括影像到地图空间的校正，以及影像到影像的配准。先将 2004 年影像校正到厦门市 1:5 万地形图，然后以校正好的 2004 年影像为基准，将 2009 和 2014 年影像分别配准到基准影像空间上。影像校正、配准采用二次多项式变换，利用双线性内插将三个时相影像重采样为 30 m 空间分辨率，几何精校正误差分别为 0.4、0.3、0.3 个像元，满足利用多时相遥感影像进行动态监测的几何校正误差小于 0.5 个像元的要求<sup>[5]</sup>。根据研究区范围对遥感影像进行掩膜裁剪，利用线性拉伸进行影像增强处理，将三个时相影像较窄亮度拉伸到全辐射亮度范围，提高影像质量，便于后续解译与分析。各个波段影像都各有其特征，针对不同地物具有不同灵敏度，为提取更适合分析的土地利用信息，将遥感影像进行 5、4、3 波段彩色合成。

1.4 土地利用分类

根据厦门市土地覆被特征，参考全国土地资源分类，将厦门市土地利用分为耕地、林地、水体、建设用地、滩涂与养殖用地、未利用地等 6 类。利用监督分类法进行土地利用分类，其关键在于训练区和分类方法的选取。分类方法采用具有严密理论基础、较好统计特性及分类精度的最大似然法。选取训练区时综合考虑地物的形状、大小、色调、阴影、纹理、位置布局等特征，并结合地形图、实地调查和非监督分类结果数据。由于“同物异谱”“异物同谱”及空间分辨率等限制，对监督分类结果进行后处理以提高分类精度。三个时相土地利用分类结果如图 1 所示。分类精度是分类结果是否可信的一种度量，常用的基于误差矩阵精度评价的统计参数有总体精度和 Kappa 系数，经计算，其总体精度和 Kappa 系数均高于最低允许判别精度（70%）要求<sup>[22]</sup>，表明本研究所采用影像处理和分类方法可行。

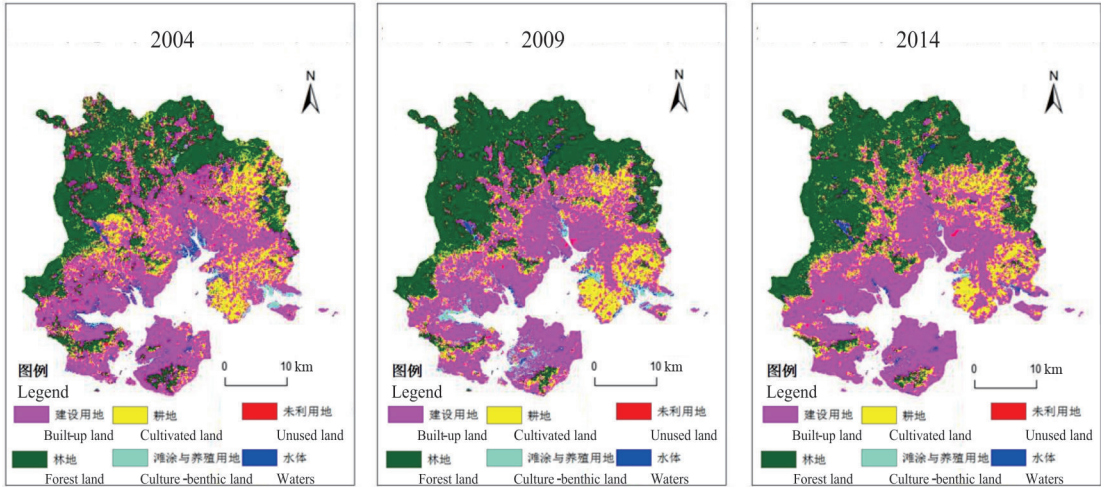


图 1 厦门市遥感影像土地利用分类(2004,2009,2014)

Fig.1 Land use classification of Xiamen City based on remote sensing images(2004,2009,2014)

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用时空变化分析

土地利用变化指土地用途转移和土地利用集约度变化,包括土地的质量、类型和属性等的改变。土地利用变化表现为时间与空间变化。本文对厦门市土地利用的数量结构变化、类型相互转化和变化速率等进行研究,探讨其时空变化特征。

#### 2.1.1 数量结构变化

土地利用数量结构指各类用地占总面积比例,反映各类用地之间比例关系及土地资源利用状况。土地利用系统的功能受土地利用结构影响,规划合理的土地利用结构有利于土地利用系统良性循环,提高土地利用综合效率,对社会经济发展具有积极意义。厦门市土地利用结构如表2所示。

表2 厦门市土地利用结构(2004,2009,2014)  
Tab.2 Land use structure of Xiamen City in 2004,2009 and 2014

类型 Type	2004		2009		2014	
	面积 Area /km <sup>2</sup>	占比 Ration /%	面积 Area /km <sup>2</sup>	占比 Ration /%	面积 Area /km <sup>2</sup>	占比 Ration /%
林地 Forest land	589.72	36.7	572.82	36.2	552.94	35.8
耕地 Cultivated land	321.62	20.0	264.06	16.7	239.87	15.8
建设用地 Built-land	621.61	38.7	667.86	42.2	699.23	46.5
水体 Waters	25.87	1.1	12.78	0.8	10.33	0.7
滩涂与养殖 Culture-benthic land	30.13	1.6	61.71	3.9	15.48	1.0
未利用地 Unused land	17.64	1.9	3.40	0.2	2.42	0.2

由表2可知2004—2014年用地类型面积从大到小依次为:建设用地>林地>耕地>滩涂与养殖用地>水体>未利用地。前三种用地类型占比高达95%。其中:建设用地在六种用地类型中面积最大,体现出厦门市城市化水平较高<sup>[13]</sup>;而林地和耕地面积之和也达50%以上,成为遥感影像中突出的地类,表明厦门市的可持续发展具有良好的自然环境基础。2004—2014年间土地利用格局发生了一定程度的变化,比较明显的是耕地和林地面积逐渐减少,建设用地面积逐渐增加,这与其快速的经济增长和城市化有关<sup>[17]</sup>。相对于建设用地,耕地因区位条件与经济效益的差异而不断向其他用地类型流转,虽然面积在10年间呈减少趋势,但变化速度逐渐减慢,2004—2009年间减少了57.56 km<sup>2</sup>,2009—2014年间只减少了24.19 km<sup>2</sup>,林地面积同样呈下降趋势,可见退耕还林等政策力度有待加强;水体面积在2004—2009年间减少了50%;滩涂与养殖用地在2009年成倍增加之后,在2014年呈较大幅度下降;而未利用地相比其他类型用地,所占比例甚少,2004—2009年呈现急剧减少,2009—2014年则基本不变。

#### 2.1.2 变化速率

采用土地利用年变化率的土地利用动态度来描述变化速度,其计算公式<sup>[23]</sup>为:

$$K=[(U_a-U_c)+(U_b-U_c)]\times U_a^{-1}\times T^{-1}\times 100\%。(1)$$

其中:K为时段T内某种用地类型变化速度;U<sub>a</sub>和U<sub>b</sub>分别为研究初期和末期某种用地类型数量;U<sub>c</sub>为未发生变化的某种用地数量。计算结果如表3所示。

从表3可知,2004—2009年、2009—2014年两个时段林地动态度变化最小,滩涂与养殖用地动态度变化最大。滩涂与养殖用地面积在前五年呈正向增加趋势,其可能与厦门市2004年提出的加强海岸防护林带及滩涂湿地生态林建设有关(其中马銮湾湿地公园规划用地155.7 hm<sup>2</sup>);而后五年其面积骤减,动态度下降至负值。在2004—2014年10年间,未利用地动态度变化最大,可见厦门市未利用地面积逐渐向其他用地类型流转,逐渐实现其利用价值。



表 3 厦门市土地利用变化速率(2004—2014)  
Tab.3 Rate of change of land use in Xiamen City during 2004—2014

							%
年份 Year	林地 Forest land	耕地 Cultivated land	建设用地 Built-land	水体 Waters	滩涂与养殖用地 Culture-benthic land	未利用地 Unused land	
2004—2009	-0.57	-3.58	1.49	-10.11	20.96	-16.14	
2009—2014	-0.69	-1.83	0.94	-3.83	-14.98	-5.73	
2004—2014	-0.62	-2.54	1.25	-6.00	-4.86	-8.62	

2.1.3 变化转移

土地利用转移矩阵反应某一时段内初期和末期各类土地之间相互转换的动态过程，可直观显示用地类型在空间位置上的转换，其计算公式<sup>[5]</sup>为：

$$N(i,j) = N(i) \times 10 + N(j) \quad (j > i, \text{土地利用类型} < 10 \text{ 类}). \tag{2}$$

其中： $N(i,j)$  为  $i, j$  两年份土地利用变化图； $N(i)$  为  $i$  年份土地利用分类图； $N(j)$  为  $j$  年份土地利用分类图。基于 ArcGIS 软技术，将地图数据空间叠加分析与 Excel 相结合，获取 2004—2009 年、2009—2014 年和 2004—2014 年三个时段土地利用转移矩阵，结果如表 4 ~ 6 所示。

表 4 厦门市 2004—2009 年土地利用转移矩阵  
Tab.4 Transition matrix of land use in Xiamen City from 2004 to 2009

		2009 年						%
项目 Item		林地 Forest land	耕地 Cultivated land	建设用地 Built-land	水体 Waters	滩涂与养殖用地 Culture-benthic land	未利用地 Unused land	
2004 年	林地 Forest land	29.50	2.49	2.76	0.01	0.27	0.03	
	耕地 Cultivated land	4.45	8.19	6.36	0.01	0.10	0.02	
	建设用地 Built-land	3.82	5.10	30.03	0.15	2.29	0.10	
	水体 Waters	0.01	0.01	0.65	0.29	0.53	0.04	
	滩涂与养殖用地 Culture-benthic land	0.01	0.01	0.61	0.37	0.74	0.03	
	未利用地 Unused land	0.09	0.07	0.74	0.01	0.13	0.00	

表 5 厦门市 2009—2014 年土地利用转移矩阵  
Tab.5 Transition matrix of land use in Xiamen City from 2009 to 2014

		2014 年						%
项目 Item		林地 Forest land	耕地 Cultivated land	建设用地 Built-land	水体 Waters	滩涂与养殖用地 Culture-benthic land	未利用地 Unused land	
2009 年	林地 Forest land	33.45	3.09	1.46	0.03	0.01	0.00	
	耕地 Cultivated land	1.66	9.47	4.54	0.00	0.00	0.02	
	建设用地 Built-land	1.52	4.67	34.71	0.06	0.22	0.10	
	水体 Waters	0.00	0.00	0.23	0.39	0.18	0.00	
	滩涂与养殖用地 Culture-benthic land	0.07	0.07	3.08	0.20	0.54	0.02	
	未利用地 Unused land	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	

表 6 厦门市 2004—2014 年土地利用转移矩阵  
Tab.6 Transition matrix of land use in Xiamen City from 2004 to 2014

		2014 年					
项目 Item		林地 Forest land	耕地 Cultivated land	建设用地 Built-land	水体 Waters	滩涂与养殖用地 Culture-benthic land	未利用地 Unused land
2004 年	林地 Forest land	28.96	2.97	3.03	0.03	0.02	0.02
	耕地 Cultivated land	4.02	8.02	7.01	0.01	0.02	0.03
	建设用地 Built-land	3.45	6.34	31.10	0.14	0.39	0.10
	水体 Waters	0.01	0.02	1.01	0.22	0.26	0.00
	滩涂与养殖用地 Culture-benthic land	0.01	0.01	1.18	0.27	0.30	0.01
	未利用地 Unused land	0.09	0.10	0.82	0.01	0.02	0.01

从表 4~6 可知, 林地、耕地、建设用地的主导变化为交换变化, 主要表现在空间位置上的转移, 林地和建设用地的大部分面积是稳定的。2004—2014 年间, 耕地 7.01% 转为建设用地, 4.02% 转为林地; 建设用地 3.45% 转为林地, 6.34% 转为耕地。2004—2009 年间, 水体、滩涂与养殖用地、未利用地转化为其他用地类型的百分比均小于 1%。未利用地 2004—2009 年主要表现为数量上的减少, 0.74% 面积转为建设用地, 而 2009—2014 年主要表现在空间位置上的转移。2009—2014 年间, 林地和耕地转为建设用地的比重有所下降, 相比 2004—2009 年减少 1%~2%。比较突出的是 2004—2009 年 3.08% 的滩涂与养殖用地转为建设用地, 而 2009—2014 年仅有 1.18% 的滩涂与养殖用地转为建设用地。水体和未利用地变化不明显。总之, 2004—2014 年间, 厦门市城市化进程较快, 土地利用类型转换主要是耕地、林地与建设用地之间的转化, 耕地、林地逐渐减少, 建设用地持续增加, 滩涂与养殖用地波动较大, 水体和未利用地虽有数量上变化和空间位置上转移但变化并不明显。

2.2 生态环境质量评价

生态环境质量评价方法主要有层次分析、指数评价、模糊综合评价、人工神经网络评价、物元分析、灰色综合评估、综合指数、景观生态法和主成分分析等<sup>[23]</sup>。本文采用能较好体现生态环境综合性、整体性和层次性的综合指数法进行评价。

2.2.1 评价指标选取

评价指标选取得合适与否直接影响评价结果准确性和可靠性, 应遵循科学性、代表性、全面性及可操作性等原则<sup>[1,24]</sup>。为建立符合厦门市区域状况的生态环境评价指标, 避免指标太多和结构过于复杂, 参考了文献 [25] 选择五项评价指标: 1) 生物丰富度。衡量生物多样性丰贫程度, 是生态系统最显著特征之一。2) 植被覆盖。指林地、草地及农田等类型面积占区域面积的综合比例, 是生态环境状态的重要表征。3) 水网密度。指河流总长度、水域面积和水资源量占区域面积的占比, 是生态系统物质流与能量流的重要载体。4) 土地退化。指风蚀、水蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀和工程侵蚀等面积占区域面积比, 是反应生态系统功能衰退的重要表征。5) 环境质量。指单位面积上承受污染量的强度, 在生态环境评价中具有重要意义。

2.2.2 评价指标计算方法

结合影像解译结果和区域特征, 参考生态环境状况评价技术规范<sup>[25]</sup>, 各评价指标的因子权重与计算方法如下:

生物丰富度指数 =  $A_{\text{bio}} \times (0.35 \times \text{林地面积} + 0.3 \times \text{水体与滩涂养殖面积} + 0.25 \times \text{耕地面积} + 0.05 \times \text{建设用地面积} + 0.05 \times \text{未利用地面积}) \div \text{区域面积},$

植被覆盖指数 =  $A_{\text{veg}} \times (0.5 \times \text{林地面积} + 0.3 \times \text{耕地面积} + 0.15 \times \text{建设用地面积} + 0.05 \times$

(3)

未利用地面积) ÷ 区域面积,

(4)

水网密度指数 =  $A_{riv} \times \text{河流长度} \div \text{区域面积} + A_{lak} \times \text{湖库面积} \div \text{区域面积} + A_{res} \times \text{水资源量} \div \text{区域面积}$ ,

(5)

土地退化指数 =  $A_{ero} \times (0.05 \times \text{轻度侵蚀面积} + 0.25 \times \text{中度侵蚀面积} + 0.7 \times \text{重度侵蚀面积}) \div \text{区域面积}$ ,

(6)

环境质量指数 =  $0.4 \times (100 - A_{so_2} \times \text{二氧化硫排放量} \div \text{区域面积}) + 0.2 \times (100 - A_{sol} \times \text{固体废物排放量} \div \text{区域面积}) + 0.4 \times (100 - A_{cod} \times \text{化学需氧量} \div \text{区域年均降水量})$ 。

(7)

式 (3) ~ (7) 中:  $A_{bio}$  为生物丰度指数归一化系数;  $A_{veg}$  为植被覆盖指数归一化系数;  $A_{riv}$  为河流长度归一化系数;  $A_{lak}$  为湖库面积归一化系数;  $A_{res}$  为水资源量归一化系数;  $A_{ero}$  为土地退化指数归一化系数;  $A_{so_2}$  为二氧化硫归一化系数;  $A_{sol}$  为固体废物归一化系数;  $A_{cod}$  为化学需氧量归一化系数。

生态环境质量指数 (ecological quality index, EQI)  $I_{EQ}$  计算方法为:

$I_{EQ} = 0.25 \times \text{生物丰度指数} + 0.2 \times \text{植被覆盖指数} + 0.2 \times \text{水网密度指数} + 0.2 \times \text{土地退化指数} + 0.15 \times \text{环境质量指数}$ 。

(8)

其中数值为各评价指标权重。根据 EQI 值将生态环境质量分为五级: 优 ( $I_{EQ} \geq 75$ )、良 ( $55 \leq I_{EQ} < 75$ )、一般 ( $35 \leq I_{EQ} < 55$ )、较差 ( $20 \leq I_{EQ} < 35$ ) 和差 ( $I_{EQ} < 20$ )。

2.2.3 评价结果分析

根据遥感土地利用分类结果、统计年鉴, 以及水利、环保等部门的资料, 计算出评价指标指数 (见表 7), 再计算出 EQI 值为 83.35。依据生态环境质量分级, 可知厦门市整体生态环境质量属“优”, 表明其生物种类丰富、植被覆盖广、生态系统稳定。

表 7 生态环境质量各评价指标计算结果

Tab.7 Calculation results of each evaluation index of ecological environment quality

生物丰度指数 Biological abundance index	植被覆盖指数 Vegetation cover index	水网密度指数 Water network density index	土地退化指数 Land degradation index	生态环境质量指数 Ecological quality index
71.83	150.98	47.24	61.84	89.2

考虑厦门市对高污染企业的不断外迁, 以及污染防控治理成效较显著, 水网密度主要取决于自然条件, 本文对生物丰度、植被覆盖和土地退化等指数进行分区计算与可视化表达, 结果见表 8。

表 8 厦门市各区生态环境质量评价指数

Tab.8 Evaluation index of ecological environment quality in each district of Xinmen City

地区 Area	生物丰度指数 Biological abundance	植被覆盖指数 Vegetation cover index	土地退化指数 Land degradddion index
思明区 Siming District	43.51	54.40	58.44
湖里区 Huli District	24.57	40.77	44.62
集美区 Jimei District	72.57	77.36	57.51
同安区 Tongan District	100.00	100.00	54.09
翔安区 Xiangan District	59.88	69.33	55.66
海沧区 Haicang District	59.62	68.72	100.00

由图 3 可看出同安区生物丰度指数最高, 集美区、翔安区、海沧区其次, 湖里区最低, 表明随着经济快速发展与城市化进程加快, 人口有向岛内 (思明、湖里区) 涌入趋势。人为活动过多将影响

生物多样性,岛外人口压力相对较小,生物多样性也相对丰富,但随着岛外城市建设用地日益扩张,以及外来人口不断流入,若不加以控制,最终亦会导致岛外区域生物丰度指数下降。各区植被覆盖指数与生物丰度指数分布相似,岛外相对岛内高,岛外四区的植被覆盖指数均在50以上,其中同安区最高,这与岛内人口与建筑物密集,人为活动频繁等因素有关。土地退化最为严重的是海沧区,其自然植被较多被破坏,土壤侵蚀较为严重,重度侵蚀土地面积高达 $6.9\text{ km}^2$ ,是轻度侵蚀面积与中度侵蚀面积的3倍,该区很有必要加强水土流失治理,改善土地侵蚀状况。

总之,在六个行政区中,同安区的生物丰度和植被覆盖为全市最高;集美区生物丰度和植被覆盖较高;翔安区的生物丰度、植被覆盖与土地退化等指标均为六个行政区的中间值,这表明作为厦门市新近重点推进开发的区在整体建设与生态保护方面较为平稳;而岛内的湖里区与思明区,由于城市化水平显著、建设用地占比高、人口密集、人类活动活跃,导致植被覆盖与生物多样性相对较差,可考虑适当增加生物量,进一步提高绿化面积,并将部分人类活动中心向岛外转移,提升本岛生态环境质量,使其生态环境更加协调。

### 3 结论与展望

本文采用多时相遥感影像,结合其他辅助资料,基于GIS与RS处理平台,进行土地利用解译与生态环境评价指标信息获取,借助土地利用动态度、变化转移矩阵和综合指数法等进行土地利用时空变化分析与生态环境质量评价。厦门市2004—2014年间林地、耕地、建设用地等占据厦门市总面积90%以上。林地呈现略微减少态势,但基本保持稳定;耕地、水体与未利用地也均呈减少趋势,其中未利用地变化最快;滩涂与养殖用地呈先增后减态势;而建设用地则呈稳步增加趋势,其与城市化进程加速相吻合。厦门市2014年的生态环境质量为优,同安区、集美区的生物丰度和植被覆盖较高,思明区与湖里区相对较低,翔安区各项指标处于中值,土地退化最严重的为海沧区,体现出有限的土地面积与城市化进程之间的较难协调的矛盾。

本研究尚存在一些不足,后续可在增加时间跨度,采用多源和更高空间分辨率的遥感影像,剖析土地利用时空变化驱动机理,以及构建更全面更精细的生态环境质量评价指标体系等方面,做进一步深入研究。

### [参考文献]

- [1] 樊晏利. 开封市土地利用变化及生态环境质量评价 [D]. 开封: 河南大学, 2015.
- [2] LAWLER J J, LEWIS D J, NELSON E, et al. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United States [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(20): 7492-7497.
- [3] 黄成毅, 邓良基, 方从刚. 城市用地遥感监测与动态变化分析: 以成都市土地利用为例 [J]. 地球信息科学, 2007, 9(2): 118-123.
- [4] 孙善磊, 周锁铨, 魏国栓, 等. 环杭州湾地区城市扩张的遥感动态监测 [J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 327-335.
- [5] 施益强, 朱晓铃, 张辰臣. 厦门市城市扩展遥感动态监测及其驱动力分析 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2010, 15(2): 150-155.
- [6] 牟凤云, 张增祥, 迟耀斌, 等. 基于多源遥感数据的北京市1973—2005年间城市建成区的动态监测与驱动力分析 [J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 257-268.
- [7] CUI E, REN L, SUN H. Evaluation of variations and affecting factors of eco-environmental quality during urbanization [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(5): 3958-3968.
- [8] 杨丽君. 基于遥感影像的上海市土地覆被变化及驱动力分析 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2020, 25(2): 152-160.
- [9] 张文华, 廉丽姝, 于森. 江苏沿海地区土地利用转型及其生态环境质量响应 [J]. 青岛农业大学学报 (自然科学版), 2020, 35(2): 152-160.



学版), 2018, 35(2): 119-124.

- [10] 陈秋雨. 区域土地利用变化及其生态环境质量评价: 以大理市为例 [D]. 昆明: 云南财经大学, 2018.
- [11] 龚亚男, 韩书成, 时晓标, 等. 广东省“三生空间”用地转型的时空演变及其生态环境效应 [J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 203-209.
- [12] 黄金亭, 曹艳萍, 秦奋. 基于土地利用/覆盖变化模拟的黄河流域生态环境质量分析 [J]. 河南大学学报 (自然科学版), 2020, 50(2): 127-138.
- [13] 全斌, 朱鹤健, 孙文君. 基于遥感的厦门市景观生态环境格局定量分析研究 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2003, 8(3): 275-279.
- [14] 全斌, 廖克, 陈逢珍, 等. 基于知识的厦门市生态环境遥感系列制图 [J]. 地球信息科学, 2005, 7(1): 122-130.
- [15] 林皆敏. 厦门市景观动态变化及其生态环境效应研究 [D]. 福州: 福建师范大学, 2007.
- [16] 林和山, 俞炜炜, 刘坤, 等. 基于 AMBI 和 M-AMBI 法的底栖生态环境质量评价 [J]. 海洋学报, 2015, 37(8): 76-87.
- [17] 梁发超, 刘诗苑, 刘黎明. 近 30 年厦门城市建设用地景观格局演变过程及驱动力机制分析 [J]. 经济地理, 2015, 35(11): 159-165.
- [18] 张明发, 王强, 曾月娥. 厦门市生态环境与社会经济协调发展研究 [J]. 福建师范大学学报 (自然科学版), 2015, 31(6): 99-108.
- [19] 李妍, 陈文惠, 陈雅君, 等. 基于第一次地理国情普查数据的厦门市生态环境评估 [J]. 亚热带资源与环境学报, 2016, 11(2): 67-75.
- [20] 陈雅君, 陈文慧, 陈辉煌, 等. 厦门市 2013 年生态环境质量评价 [J]. 福建师范大学学报 (自然科学版), 2016, 32(3): 144-151.
- [21] 王辰星, 徐舒, 张天海, 等. 路网扩张与生态环境压力变化的关系研究: 以厦门市为例 [J]. 生态学报, 2020, 40(2): 1-6.
- [22] 陈芸芝, 陈崇成, 汪小钦, 等. 多源数据在森林资源动态变化监测中的应用 [J]. 资源科学, 2004, 26(4): 146-152.
- [23] 邓春光. 北京市生态环境遥感动态监测与评价 [D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [24] NIEMEIJER D, GROOT R S D. A conceptual framework for selection for selecting environmental indicator sets [J]. Ecological Indicators, 2008, 8(1): 14-25.
- [25] 国家环境保护部. 生态环境状况评价技术规范 (试行): HJ/T192—2006 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄振坤)