

# 基于生态系统格局变化的东西部结合区 生态服务价值评价

——以珠江—西江经济带为例

肖红克<sup>1,2</sup>, 王莉<sup>1</sup>, 李洪忠<sup>2</sup>, 陈劲松<sup>2</sup>, 韩宇<sup>2</sup>

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000;

2. 中国科学院深圳先进技术研究院 空间信息研究中心, 广东 深圳 518055)

**摘要:** [目的] 以珠江—西江经济带为例, 分析典型东西部结合区生态系统格局变化特征以及对其生态系统服务价值进行评价, 为积极构建区域生态安全格局和开展生态补偿研究提供科学依据。[方法] 基于珠江—西江经济带 2000—2015 年生态系统类型数据, 采用生态系统类型年均变化率、生态系统类型转移矩阵研究其生态系统格局变化特点; 参考生态系统服务价值估算方法, 对研究区近 15 a 来的生态服务价值进行评价与分析。[结果] ① 2000—2015 年珠江—西江经济带以森林和农田生态系统为主, 生态系统空间分布格局较稳定, 变化的部分主要体现在东部人工表面生态系统的扩张上。② 近 15 a 间农田和草地生态系统面积下降最多, 湿地下降较少, 其余生态系统类型面积均有不同程度地增加。生态系统类型转换主要发生在森林、农田和人工表面生态系统三者之间。③ 2000—2015 年珠江—西江经济带生态服务价值减少了 14.55 亿元, 其中草地生态系统服务价值下降最多, 森林生态系统服务价值增加最多。④ 珠江—西江经济带各县区生态服务价值空间分布格局稳定, 但东部地区单位面积生态服务价值有持续下降的趋势。[结论] 2000—2015 年珠江—西江经济带东部生态系统格局变化对其生态服务价值下降产生了较大影响。今后在生态建设方面需重点合理控制东部人工表面生态系统面积的扩张速度, 预防其生态服务价值持续下降。

**关键词:** 生态系统; 格局变化; 生态服务价值; 东西部结合区; 珠江—西江经济带

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2019)06-0252-08

**中图分类号:** TP79, X171.1

**文献参数:** 肖红克, 王莉, 李洪忠, 等. 基于生态系统格局变化的东西部结合区生态服务价值评价[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 252-259. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.037; Xiao Hongke, Wang Li, Li Hongzhong, et al. Evaluation of ecological service value of east-west combined area based on changes of ecosystem pattern[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 252-259.

## Evaluation of Ecological Service Value of East-West Combined Area Based on Changes of Ecosystem Pattern

—A Case Study in Pearl River-Xijiang River Economic Zone

Xiao Hongke<sup>1,2</sup>, Wang Li<sup>1</sup>, Li Hongzhong<sup>2</sup>, Chen Jinsong<sup>2</sup>, Han Yu<sup>2</sup>

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic

University, Jiaozuo, He'nan 454000, China; 2. Center for Geospatial Information, Shenzhen

Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, Guangdong 518055, China)

**Abstract:** [Objective] Taking the Pearl River-Xijiang River economic zone as an example, this paper analyzed the change of ecosystem pattern and evaluated its ecosystem service value in the typical east-west junction area, in order to provide a scientific basis for the construction of the regional ecological security pattern and ecological compensation research. [Methods] Based on the data of ecosystem types in the Pearl River-Xijiang

收稿日期: 2019-06-21

修回日期: 2019-08-05

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)地球大数据科学工程专项数字一带一路项目“一带一路生态环境监测与评估”(XDA19030301); 国家重点研发计划项目“华南地区土地覆被遥感监测”(2016YFC0500201-07); 河南省科技攻关项目(192102310025); 河南省哲学社会科学规划项目(2017BTY007); 河南省高等学校重点科研项目支持计划(18B890001); 河南理工大学年度项目(SKND2018-05); 河南理工大学博士基金(SKB2016-10)

第一作者: 肖红克(1994—), 男(汉族), 河南省平顶山市人, 硕士研究生, 研究方向为生态系统环境质量评价。E-mail: 3040292390@qq.com.

通讯作者: 王莉(1981—), 女(汉族), 辽宁省营口市人, 博士, 讲师, 主要从事地理信息系统教学及其应用研究。E-mail: wangli29@hpu.edu.cn.

River economic zone from 2000 to 2015, the change characteristics of ecosystem pattern were studied by using the annual average change rate and the transfer matrix of ecosystem types. The ecosystem service value in the research area was evaluated and analyzed in the past 15 years. [Results] ① During 2000—2015, the Pearl River-Xijiang River economic zone was dominated by forest and farmland ecosystems, and the spatial distribution pattern of ecosystems was relatively stable. The changes were mainly the expansion of the eastern artificial surface ecosystem. ② The area of farmland and grassland ecosystems decreased the most, while the wetland decreased least, and the area of the other ecosystem types increased in varying degrees. The conversion of ecosystem types mainly occurred between forest, farmland and artificial surface ecosystems. ③ From 2000 to 2015, the ecosystem service value in the Pearl River-Xijiang River Economic Zone decreased by 1.455 billion RMB, of which the value of grassland ecosystem service declined the most, while the value of forest ecosystem service increased the most. ④ The spatial distribution pattern of ecosystem service value in the counties and the districts of the Pearl River-Xijiang River economic zone was stable, but the ecosystem service value of per unit area in the eastern region showed a continuous decline trend. [Conclusion] The changes in the ecosystem pattern in the eastern part of the Pearl River-Xijiang River economic zone from 2000 to 2015 had a great impact on the decline of its ecosystem service value. In the future, it is necessary to control the expansion rate of the area of the artificial surface ecosystem in the east, to prevent the continuous decline of ecological service value.

**Keywords: ecosystem; pattern change; ecosystem service value; east-west junction; the Pearl River-Xijiang River economic zone**

随着区域经济一体化的迅速发展和城市化进程的迅猛推进,人类的生产生活改变了自然界原有的生态系统结构和功能<sup>[1]</sup>。然而人类生存环境的优劣和生活质量的高低都和生态系统有着密不可分的联系,生态系统的格局和结构变化特征在一定程度上展示了各种生态系统类型的空间分布规律和不同生态类型的空间结构关系,不同类型生态系统的变化可以很好地反映出人类活动与生态系统间的相互关系<sup>[2]</sup>。目前,国内关于生态系统格局变化特征的研究主要集中在城市<sup>[3-4]</sup>、流域<sup>[5]</sup>、自然保护区<sup>[6]</sup>、生态脆弱区<sup>[7]</sup>、生态屏障区<sup>[8]</sup>。生态系统能较好地与人类发展系统互相联系起来主要是由于生态系统服务概念的提出<sup>[9]</sup>。生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务,从而形成和维持了人类生存的基础保障和发展的环境条件与效用<sup>[10-12]</sup>。目前基于谢高地<sup>[13-14]</sup>等改进的中国陆地生态系统服务价值当量表,采用当量因子法对不同类型、不同尺度的生态系统服务价值进行评价并分析其时空分异性成为了生态系统服务研究的一大热点<sup>[15]</sup>。万勤等<sup>[16]</sup>对新疆生产建设兵团 2000—2010 年的生态服务价值时空分异特征进行了分析,同时指出人为开垦是导致新疆兵团生态系统服务价值变化的首要因素;李哲等<sup>[17]</sup>以艾比湖湿地自然保护区为研究区,结合地统计方法分析了艾比湖生态服务价值时空变化及分异特征;盛晓雯等<sup>[18]</sup>基于土地利用变化研究和分析了京津冀地区各城市生态系统服务价

值的时空差异;罗盛峰等<sup>[19]</sup>采用格网的方法计算和分析了广西北部湾沿岸地区生态服务价值,并分析了北部湾沿岸地区不同生态系统空间分布变化与驱动因素。以上研究为开展生态环境建设、加强区域生态安全和生态补偿研究起到了积极的实践作用。

珠江—西江经济带在地域上较好地把我我国东部发达地区与西部欠发达地区连接在了一起,主要包括广东省 4 市和广西省 7 市,11 市在社会经济发展和自然生态环境方面存在较大差异<sup>[20]</sup>,主要表现在广西段比广东段自然资源丰富,而广东段经济较广西段发展快。当前随着城市化的发展、经济发展速度的加快、资源需求的增加,珠江—西江经济带面临着环境污染和生态破坏等问题,水资源和水环境方面的问题尤其突出<sup>[21]</sup>。现阶段对其整体及内部生态系统格局变化特征研究较少,不能很好地掌握其生态环境变化情况。已有的研究大多集中探究土地利用变化下对其生态服务价值的影响,而将生态系统格局变化和生态服务价值联系起来的研究较少,并且基于东西部结合区开展生态服务价值评价的成果更少,不能很好地为基于区域经济协同发展背景下研究不同区域、不同尺度下的生态服务价值评价提供借鉴意义。基于此,本研究以属典型东西部结合区的珠江—西江经济带为研究区域,基于遥感影像资料提取珠江—西江经济带 2000—2015 年生态系统类型数据,分析其生态系统格局变化特征;使用修正后的生态服务价值系数对

研究区不同尺度下的生态服务价值进行评价,研究其生态系统格局变化下的生态服务价值时空变化特征,以期获得对该区域生态系统格局和生态服务价值变化过程有更加清晰的认识,同时对珠江—西江经济带整个流域加强生态环境建设,推动流域经济和生态健康发展,开展区域生态补偿机制研究提供科学依据。

## 1 研究区概况

珠江—西江经济带主要包括广东省的广州、佛山、肇庆、云浮 4 市和广西壮族自治区的南宁、柳州、梧州、贵港、百色、来宾、崇左 7 市<sup>[22]</sup>,邻近南海,地处中国华南地区,地理位置为 104°28′—114°03′E, 21°36′—26°03′N,总面积 1.65×10<sup>5</sup> km<sup>2</sup>。珠江—西江经济带在区域协调发展和面向东南亚国家对外开放合作中起着重要的示范作用。珠江—西江经济带气候类型亚热带季风性湿润气候,年均温 22.4℃,年均降水量 1 806 mm。大部地区气候温暖,热量丰富,雨水丰沛,干湿分明,日照适中。地形以山地、丘陵为主,森林覆盖率高,自然资源丰富,航运条件优越。2015 年末常住人口 5 348.69 万人,地区生产总值 37 009.48 亿元,其中广州市的 GDP 占珠江—西江经济带总量的 48.91%,远远高于其余 10 市,而南宁市的 GDP 仅占 9.21%,不到佛山 GDP 总量的 1/2。近年来随着基础设施的修建以及经济的加速发展,对区域内部生态系统环境变化产生了一定的影响,间接造成了其生态服务价值空间格局的变化。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

生态系统类型数据是基于珠江—西江经济带 2000,2005 和 2010 年 Landsat 5TM 影像以及 2015 年 Landsat 8OLI 影像,在 ENVI 5.3 和 eCognition 8.7 软件支持下,对遥感影像进行几何校正等预处理工作,采用基于面向对象的分类方法解译而来。其中影像来源为 USGS(<http://glovis.usgs.gov>);结合《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)和国家《生态环境遥感调查分类规范》,将研究区的生态系统分为森林、草地、农田、湿地、人工表面和其他生态系统共 6 大类型(表 1);2000—2015 年珠江—西江经济带粮食作物的总产量和种植面积来源于《广东省统计年鉴》、《广西壮族自治区统计年鉴》,各市统计公报等统计资料。粮食作物价格来源于《中国农产品价格调查年鉴》。基础地理数据包括 2015 年珠江—西江经济带市、县界行政区划数据。

表 1 珠江—西江经济带生态系统分类体系

一级类型	二级类型
森林	阔叶林、针叶林、针阔混交林、园地、绿地、其他林地
农田	水田、旱地
草地	草丛、草本绿地
湿地	河流、湖泊、水库/坑塘、草本湿地
人工表面	交通用地、建设用地、采矿场
其他	裸土、裸岩

### 2.2 研究方法

2.2.1 生态系统类型面积年均变化率 年均变化率可以表示研究区一定年限内某种生态类型面积变化速度的快慢,计算公式为:

$$K = \sqrt[T]{U_b/U_a} - 1 \quad (1)$$

式中: $U_a, U_b$ ——研究初期和末期某一生态系统类型的面积; $T$ ——研究时长(a)。

2.2.2 生态系统类型转移矩阵 根据不同时期、不同生态系统类型的面积,分别统计 2000—2005 年、2005—2010 年和 2010—2015 年的转移矩阵<sup>[2]</sup>,具体数学表达形式为:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: $S$ ——生态系统类型面积; $i, j$ ——研究初期和末期的生态系统类型, $n$ ——生态系统类型数。

2.2.3 生态系统服务价值估算 使用谢高地等<sup>[14]</sup>最新修订的中国生态系统单位面积生态系统服务价值当量表,并结合珠江—西江经济带的生态系统类型一级类和二级类进行当量因子的调整与计算,此外本研究对研究区的人工表面生态系统的生态服务价值不作评估,因此价值当量为 0。参考农田生态系统单位面积食物生产的生态服务价值相当于研究区当年平均粮食单产市场价值的 1/7,依据广东省、广西壮族自治区统计年鉴可以计算出珠江—西江经济带 2000—2015 年粮食平均产量为 5 018.99 kg/(hm<sup>2</sup>·a),参考研究区 2000—2015 年粮食价格统计数据并计算出多年平均价格为 2.50 元/kg,估算出珠江—西江经济带单位面积生态服务价值当量因子的经济价值为 1 792.50 元/(hm<sup>2</sup>·a),通过计算得到适合珠江—西江经济带的生态系统服务价值系数表(表 2)。

利用 Costanza<sup>[10]</sup>等提出的生态系统服务价值评价模型计算珠江—西江经济带的生态系统服务价值,同时为了消除面积大小的差异,便于比较研究不同尺度下区域生态服务价值的分异特征,使用单位面积生态系统价值进行表示。其计算公式为:

$$ESV = \sum (A_k \cdot VC_k) \quad (3)$$

$$PESV = ESV/S \quad (4)$$

式中:ESV——生态系统服务价值(元); $A_k$ ——研究

区第  $k$  类生态系统的面积( $\text{hm}^2$ );  $VC_k$ ——生态服务价值总量和总面积的比值( $\text{元}/\text{hm}^2$ );  $S$ ——不同区域的功能价值系数[ $\text{元}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ]; PESV——生态服务价值的面积( $\text{hm}^2$ )。

表 2 珠江—西江经济带生态系统服务价值系数

元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 

一级生态服务分类	二级生态服务分类	森林	农田	草地	湿地	人工表面	其他
供给服务	食物生产	448.13	1 989.68	681.15	1 434.00	0.00	0.00
	原料生产	1 039.65	448.13	1 003.80	412.28	0.00	0.00
	水资源供给	537.75	-2 348.18	555.68	14 859.83	0.00	0.00
调节服务	气体调节	3 423.68	1 595.33	3 531.23	1 380.23	0.00	35.85
	气候调节	10 235.18	842.48	9 338.93	4 104.83	0.00	0.00
	净化环境	2 993.48	250.95	3 083.10	9 948.38	0.00	179.25
	水文调节	6 703.95	2 688.75	6 847.35	183 265.20	0.00	53.78
支持服务	土壤保持	4 158.60	932.10	4 302.00	1 667.03	0.00	35.85
	维持养分循环	322.65	286.80	322.65	125.48	0.00	0.00
	生物多样性	3 800.10	304.73	3 907.65	4 570.88	0.00	35.85
文化服务	美学景观	1 667.03	143.40	1 720.80	3 387.83	0.00	17.93

### 3 结果与分析

#### 3.1 珠江—西江经济带 2000—2015 年生态系统格局变化特征

3.1.1 生态系统构成及其空间分布格局 珠江—西江经济带以森林和农田生态系统为主(附图 8),各期面积比重之和均在 90%以上。其中森林生态系统面积占总面积的比例始终最大,4 期面积占比均保持在 63%以上,除农田生态系统外其余生态系统面积占总面积的比例较小,均在 5%以下。

近 15 a 来珠江—西江经济带各类生态系统占总面积的比例排序始终为:森林>农田>人工表面>湿地>草地>其他生态系统。从不同生态系统类型的空间分布来看,森林生态系统分布在珠江—西江经济带的中东部、北部、西部和西南部,具体区域主要表现为肇庆市、云浮市、梧州市、贵港市东南部,来宾市东北部,柳州市北部,百色市西部和西南部,崇左市南部。该地区海拔较高且多为林地;农田生态系统分布在珠江—西江经济带的中部和南部,中东部有零散分布。具体区域主要表现为贵港市南部和西南部,来宾市西南部,南宁市东部和崇左市北部。其多为地势较平坦的地区,适宜农作物生长;湿地生态系统主要沿珠江—西江经济带的水系呈线状分布特征;草地生态系统主要分布在珠江—西江经济带西部,中部和北部有零散分布;人工表面生态系统主要分布在珠江—西江经济带东部和中部。具体区域主要表现为广州市西南部,佛山市、南宁市、柳州市南部、南宁—来宾—贵港三市交界地区。该地区多为经济发达的城区;其他生态系统主要分布在珠江—西江经济带东部。

2000—2015 年珠江—西江经济带生态系统空间分布格局整体较稳定、变化相对较小,只有东部人工表面生态系统的空间格局变化较大,且呈现出不断扩张的趋势。其生态系统空间分布格局及其变化特点,与珠江—西江经济带自身独特的地理环境和不同区域的经济发展情况紧密相关。

3.1.2 生态系统类型面积变化分析 从珠江—西江经济带不同生态系统类型面积变化来看(表 3),近 15 a 来农田和草地生态系统面积总体均呈现出持续下降趋势,15 a 间农田生态系统面积共减少了 1 362.69  $\text{km}^2$ ,草地生态系统面积共减少了 556.24  $\text{km}^2$ 。农田生态系统面积在 2010—2015 年年均下降率达到了最大值,而草地生态系统面积在 2005—2010 年年均下降率最大;人工表面生态系统面积总体呈现出不断上升趋势,15 a 间共增加了 1 280.46  $\text{km}^2$ ,2005—2010 年年均增长率达到了最大;森林和湿地生态系统均出现先减后增的变化特点,其中森林生态系统从 2000—2010 年面积一直呈下降趋势,2010—2015 年开始出现大幅上升趋势。而湿地生态系统仅在 2000—2005 年面积出现下降,之后一直在缓慢增加。其他生态系统呈现出波动变化的特点。

为了更好地研究导致珠江—西江经济带不同生态系统类型面积变化的原因,按照其行政区划分为广东段和广西段两个部分研究其面积变化特征。2000—2015 年广东段和广西段的人工表面生态系统面积都呈现出持续增加的趋势,这主要是由于两段各自的区域经济发展规划和城市化产生的后果。但广东段近 15 a 间增加的面积总量远大于广西段,同时广东段三个阶段的人工表面生态系统面积年均增长

率均大于广西段,二者都是在 2005—2010 年达到了最大年均增长率。广东段作为发达地区,尤其是广州市和佛山市经济发展的总量和速度远大于经济属欠发达地区的广西段。

2005—2010 年两段人工表面生态系统的面积快速增加,导致此时期整体的人工表面面积年均增长率为最大;广东段森林和农田生态系统面积 15 a 间的变化趋势与珠江—西江经济带整体变化趋势相同,而广西段森林生态系统面积仅在 2000—2005 年出现了下降趋势,2005 年后面积呈持续增长趋势;广东段农田生态系统面积在 2010—2015 年下降最多,年均下降率达到了最大值;而广西段农田生态系统面积 2000—2010 年一直出现缓慢增加的趋势,2010—2015 年出现快速下降趋势,但年均下降率小于同时

期广东段的年均下降率,说明 2010—2015 年珠江—西江经济带农田生态面积的快速下降主要是因为广东段农田生态系统的面积下降造成的结果;广西段草地生态系统面积与珠江—西江经济带整体变化趋势相同,一直呈下降趋势。2005—2010 年年均下降率最大。而广东段草地生态系统呈现出波动变化特点,2005—2010 年下降最多,且大于同时期广西段草地生态系统面积的年均下降率;广东段湿地生态系统面积一直呈现下降趋势,2000—2005 年年均下降率最大。而广西段则出现一直缓慢增加的趋势。广东段湿地生态系统面积的下降主要是由于城市化的建设和人类活动对水环境的破坏,导致其转化为人类建设用地。而广西段由于一直以来重视发展水运事业,增加了河流的面积。

表 3 珠江—西江经济带 2000—2015 年生态系统面积及其年均变化率

区域	生态系统类型	面积/km <sup>2</sup>				年均变化率/%		
		2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2000—2005	2005—2010	2010—2015
整体	森林	104 639.13	104 448.11	104 363.24	105 106.29	-0.04	-0.02	0.14
	农田	45 579.85	45 350.42	45 299.62	44 217.16	-0.10	-0.02	-0.48
	草地	2 928.61	2 881.76	2 519.75	2 372.37	-0.32	-2.65	-1.20
	湿地	4 848.43	4 794.98	4 828.93	4 840.60	-0.22	0.14	0.05
	其他	342.66	499.60	432.35	521.79	7.83	-2.85	3.83
	人工表面	6 104.60	6 468.40	6 999.41	7 385.06	1.16	1.59	1.08
广东段	森林	21 395.67	21 242.31	21 096.40	21 476.16	-0.14	-0.14	0.36
	农田	6 457.25	6 194.27	6 051.65	5 659.05	-0.83	-0.46	-1.33
	草地	34.49	36.61	23.61	24.44	1.20	-8.40	0.69
	湿地	2 636.59	2 563.64	2 550.90	2 488.56	-0.56	-0.10	-0.49
	其他	297.38	458.53	396.53	189.10	9.05	-2.86	-13.77
	人工表面	2 831.06	3 157.07	3 533.35	3 815.11	2.20	2.28	1.55
广西段	森林	83 243.46	83 205.81	83 266.84	83 630.13	-0.01	0.01	0.09
	农田	39 122.60	39 156.15	39 247.97	38 558.11	0.02	0.05	-0.35
	草地	2 894.12	2 845.15	2 496.14	2 347.93	-0.34	-2.58	-1.22
	湿地	2 211.84	2 231.34	2 278.03	2 352.04	0.18	0.42	0.64
	其他	45.29	41.07	35.81	332.69	-1.94	-2.70	56.17
	人工表面	3 273.54	3 311.33	3 466.06	3 569.95	0.23	0.92	0.59

3.1.3 生态系统类型转移特征 使用 ArcGIS 分析工具分别得到珠江—西江经济带 2000—2015 年不同时期的生态系统类型转移矩阵(表 4—6)。2000—2005 年,珠江—西江经济带生态系统类型间未发生转移的比例达到了 99.23%,说明此期间生态系统受到的人为干扰最小。从发生转移的情况来看,森林生态系统转出的面积最多,共转出了 461.61 km<sup>2</sup>,其主要转出为其他生态系统,大部分林地为满足经济发展的需要,被砍伐或者被占用,临时性地转化为裸土。其次是农田生态系统转出的面积最多;人工表面

生态系统转入的面积最多,达到了 366.75 km<sup>2</sup>,转入源主要是农田和湿地生态系统,转入比例分别为 58.21%与 27.26%。2005—2010 年,珠江—西江经济带生态系统类型间未发生转移的比例达到了 99.05%,说明此期间生态系统受到的人为干扰比 2000—2005 年有所增强。从转出方面来看,依然是森林和农田生态系统的转出量最多,分别转出了 560.83 和 439.59 km<sup>2</sup>,略高于 2000—2005 年的转出量。森林生态系统主要转向农田生态系统,转出比例达到了 55.82%,此期间林地主要被开垦为农用地,

满足粮食生产的需要;从转入方面来看,人工表面生态系统转入的面积依然是最多,达到了 531.61 km<sup>2</sup>,转入源主要是森林和农田生态系统。2010—2015 年,珠江—西江经济带生态系统类型间未发生转移的比例达到了 97.85%,说明此期间生态系统受到的人为干扰是近 15 a 间最大的 5 a。从转出方面来看,农田生态系统的转出量最多,转出了 1 532.87 km<sup>2</sup>,

占转出总面积的 43.32%,农田生态系统主要转出为森林生态系统,5 a 间共转出 859.67 km<sup>2</sup>,其次是转出为人工表面生态系统。此期间农田主要为满足退耕还林和经济快速发展的要求,大部分农田被占用。农田生态系统的转出量远大于其转入量;从转入方面来看,森林生态系统转入的面积最多,达到了 1 572.35 km<sup>2</sup>。

表 4 珠江—西江经济带 2000—2005 年生态系统转移矩阵

生态系统类型	2005 年						
	森林	农田	草地	湿地	人工表面	其他	
2000 年	森林	104 177.52	107.07	97.72	17.89	42.92	196.01
	农田	93.53	45 154.40	1.51	92.30	213.48	24.64
	草地	120.90	24.81	2 781.31	0.91	0.53	0.15
	湿地	5.51	53.58	0.31	4 682.35	99.99	6.69
	人工表面	1.08	1.36	0.02	0.33	6 101.65	0.17
	其他	49.58	9.21	0.91	1.20	9.83	271.94

表 5 珠江—西江经济带 2005—2010 年生态系统转移矩阵

生态系统类型	2010 年						
	森林	农田	草地	湿地	人工表面	其他	
2005 年	森林	103 887.27	313.04	15.96	54.56	156.35	20.92
	农田	93.32	44 910.84	1.00	68.19	273.83	3.25
	草地	337.50	35.49	2 502.68	1.95	3.75	0.39
	湿地	5.84	33.35	0.08	4 701.75	53.52	0.44
	人工表面	0.03	0.17	0.02	0.40	6 467.79	0.01
	其他	39.27	6.74	0.02	2.08	44.16	407.33

表 6 珠江—西江经济带 2010—2015 年生态系统转移矩阵

生态系统类型	2015 年						
	森林	农田	草地	湿地	人工表面	其他	
2010 年	森林	103 533.94	159.31	42.41	19.85	248.32	359.41
	农田	859.67	43 766.75	15.19	75.94	506.19	75.88
	草地	194.46	4.40	2 310.03	1.34	5.37	4.14
	湿地	44.67	30.47	0.71	4 683.28	65.69	4.10
	人工表面	98.39	255.83	3.84	59.55	6 557.14	24.66
	其他	375.16	0.39	0.18	0.66	2.35	53.60

### 3.2 珠江—西江经济带生态系统服务价值时空变化

3.2.1 生态服务价值时间变化分析 由表 7 可知,近 15 a 间珠江—西江经济带 ESV 减少了 14.55 亿元,2000—2005 年 ESV 下降率最大。各生态系统类型服务价值在不同时期占总价值的比例排序依次为:森林>湿地>农田>草地>其他生态系统服务价值。从不同生态系统类型的 ESV 变化情况来看,森林 ESV 增加量最多,这与 2010 年后广西段和广东段森林生态系统面积大幅增加有关;草地 ESV 减少量最多,2005—2010 年草地生态系统面积大幅减少是其

下降的主要原因。结合不同的时期来看,森林 ESV 从 2000—2010 年一直呈下降趋势,主要是由于该时期森林生态系统转化为其他和农田生态系统。但又由于森林生态系统占总面积的比例最大,其面积的缓慢下降不足以引起生态价值的大幅变化,所以价值变化率相对较小;农田 ESV 从 2000—2015 年一直呈减少趋势,主要是由于农田转化为人工表面和森林生态系统,导致其面积持续下降;湿地 ESV 仅在 2000—2005 年出现了下降,其余时期均呈现出增加的趋势。2000—2005 年湿地生态系统转化为人工表面生态系

统是其服务价值下降的主要原因。2000—2010 年珠江—西江经济带 ESV 下降是森林、农田和草地生态系统服务价值持续下降造成的结果。2010 年后森

林、湿地、其他生态系统服务价值的增加弥补了农田和草地生态系统服务价值的下降,导致总 ESV 有所增加。

表 7 珠江—西江经济带 2000—2015 年生态系统服务价值变化

生态系统类型	总 ESV/亿元				变化率/%		
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2000—2005	2005—2010	2010—2015
森林生态系统	3 696.92	3 690.17	3 687.17	3 713.42	-0.18	-0.08	0.71
农田生态系统	325.17	323.54	323.17	315.45	-0.50	-0.11	-2.39
草地生态系统	103.36	101.71	88.93	83.73	-1.60	-12.57	-5.85
湿地生态系统	1 091.65	1 079.62	1 087.26	1 089.89	-1.10	0.71	0.24
其他生态系统	0.12	0.18	0.15	0.19	50.00	-16.67	26.67
合计	5 217.23	5 195.22	5 186.69	5 202.68	-0.42	-0.16	0.31

3.2.2 生态系统服务价值空间变化 基于珠江—西江经济带生态系统服务价值系数表(表 2)和研究区 11 个市以及 88 个县 2000—2015 年生态系统类型数据,采用 PESV 分析各市和各县的 ESV 变化特征。由图 1 可知,珠江—西江经济带 11 市中佛山市的 PESV 减少最多,近 15 a 间共减少了 7 886.22 元/hm<sup>2</sup>;南宁市的 PESV 增量最大,共增加了 491.25 元/hm<sup>2</sup>。分段来看,广东段中除了云浮市,其余三市的 PESV 均出现了下降;而广西段中仅有梧州市出现了下降。结合其地理位置来看,PESV 减少了区域主要位于珠江—西江经济带的东部。而东部人工表面生态系统空间格局变化较明显。为了研究珠江—西江经济带 ESV 在空间分布上的差异性,根据研究区域不同县区 PESV 的高低将其分为 5 类:低(小于 2 万元/hm<sup>2</sup>)、较低(2~4 万元/hm<sup>2</sup>)、中(4~6 万元/hm<sup>2</sup>)、较高(6~8 万元/hm<sup>2</sup>)、高(大于 8 万元/hm<sup>2</sup>),并利用 ArcGIS 软件,得到珠江—西江经济带各县区 PESV 空间分布图(图 2)。2000—2015 年 PESV 属于较低等级的县区出现成片分布,且近 15 a 间空间分布格局基本保持不变。这些县区生态系统类型变化相对较小,致使其 ESV 变化也相对较小;PESV 属于低等级的县区分布较分散,主要有港南区、宾阳县、天河区、邕宁区、合山市。珠江—西江经济带由于东部水系较多,湿地生态系统的价值系数远大于其它,导致东部地区 PESV 普遍偏高。其中顺德区、南沙区、三水区的 PESV 最高,均超过了 78 000 元/hm<sup>2</sup>。从各县区的 PESV 变化来看,禅城区和顺德区下降最多,分别下降了 20 355.46 元/hm<sup>2</sup> 与 19 617.29 元/hm<sup>2</sup>。PESV 下降最多的县区主要属于佛山市和广州市;PESV 得到提升的县区主要有柳北区、兴宁区、鼎湖区、宾阳县,分布相对分散。总体来看近 15 a 间珠

江—西江经济带东部地区生态系统格局的变化,主要是人工表面生态系统的扩张对其 PESV 下降产生了较大影响。

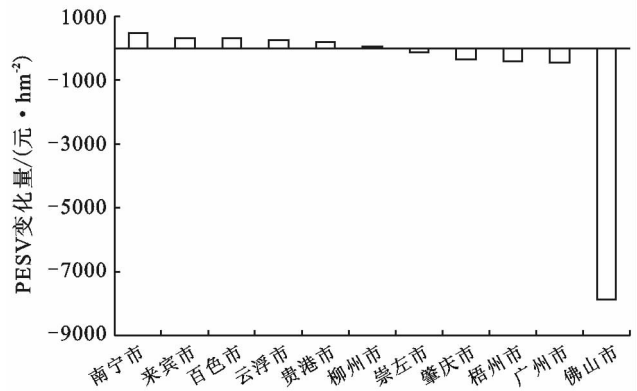


图 1 珠江—西江经济带 2000—2015 年 11 市 PESV 变化量

## 4 结论

(1) 2000—2015 年珠江—西江经济带生态系统空间分布格局较稳定,主要以森林和农田生态系统为主。近 15 a 间农田和草地生态系统的面积持续下降,而人工表面生态系统面积呈现出不断上升趋势,森林和湿地生态系统均出现先减后增的变化趋势,其他生态系统呈现出波动变化的特点。广东段生态系统类型的变化对珠江—西江经济带整体生态系统的变化产生了较大的影响。

(2) 珠江—西江经济带生态系统受到的人为干扰越来越大,生态系统类型之间的转移在不同时期呈现不同的特点。2000—2010 年主要体现在森林生态系统的转出和人工表面生态系统的转入上,而 2010—2015 年主要体现在农田生态系统的转出和森林生态系统的转入上。

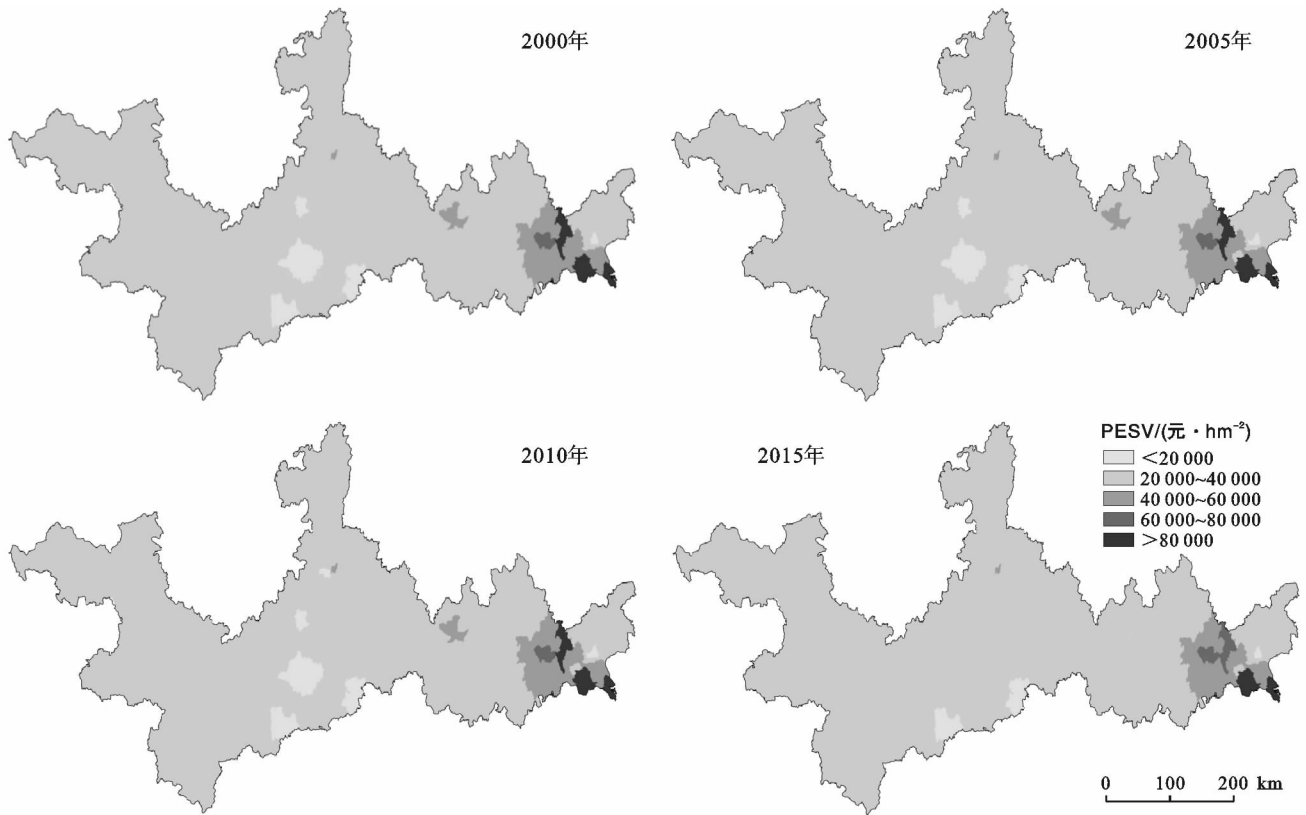


图 2 珠江—西江经济带 2000—2015 年各县区 PESV 空间分布

(3) 2000—2015 年珠江—西江经济带生态服务价值共减少了 14.55 亿元,且主要发生在 2010 年之前。2000—2010 年珠江—西江经济带生态服务价值出现下降趋势是森林、农田和草地生态系统服务价值持续下降造成的结果。各生态系统类型服务价值在不同时期占总价值的比例排序依次为:森林>湿地>农田>草地>其他生态系统服务价值。

(4) 近 15 a 间珠江—西江经济带 11 市中佛山市的单位面积生态服务价值减少量最多,而南宁市增量最大。珠江—西江经济带生态服务价值空间分布格局差异明显且变化较小,生态服务价值减少的区域主要位于东部。珠江—西江经济带生态系统格局的变化对其生态服务价值的影响显著。

本文主要分析了 2000—2015 年珠江—西江经济带生态系统格局和生态服务价值时间与空间分布特征,但对生态系统格局变化导致生态服务价值时空变化的定量化分析以及驱动因素缺乏深入的研究。基于当量因子法分析了珠江—西江经济带不同尺度下的生态服务价值变化特征,但价值量的绝对价值意义不是很大,由于从当量因子的选择到后面生态服务价值系数的确定会受主客观因素的影响,导致评价结果可能存在误差。但其动态变化特征可以在一定条件下反映出人类活动带来的影响。下一步应重点基

于造成生态系统格局变化的自然和人为因素,分析其在空间方面对生态服务价值的影响,建立预测模型与驱动分析机制,为珠江—西江经济带生态补偿研究提供更加全面的借鉴。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 甘琳,陈颖彪,吴志峰,等. 近 20 年粤港澳大湾区生态敏感性变化[J]. 生态学杂志, 2018, 37(8): 2453-2462.
- [2] 幸赞品,颜长珍,冯坤,等. 1975—2015 年宁夏生态系统格局宏观变化分析[J]. 生态学报, 2018, 38(22): 7912-7920.
- [3] 孟楠,韩宝龙,王海洋,等. 澳门城市生态系统格局变化研究[J]. 生态学报, 2018, 38(18): 6442-6451.
- [4] 林金煌,陈文惠,祁新华,等. 闽三角城市群生态系统格局演变及其驱动机制[J]. 生态学杂志, 2018, 37(1): 203-210.
- [5] 孔令桥,张路,郑华,等. 长江流域生态系统格局演变及驱动力[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 741-749.
- [6] 李霞,杜世勋,桑满杰,等. 山西省自然保护区生态系统格局及稳定性变化趋势研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(2): 208-218.
- [7] 黄麟,曹巍,巩国丽,等. 2000—2010 年中国三北地区生态系统时空变化特征[J]. 生态学报, 2016, 36(1): 107-117.
- [8] 吴丹,邹长新,林乃峰,等. 长江经济带生态系统宏观结构变化特征分析[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(6): 499-503.

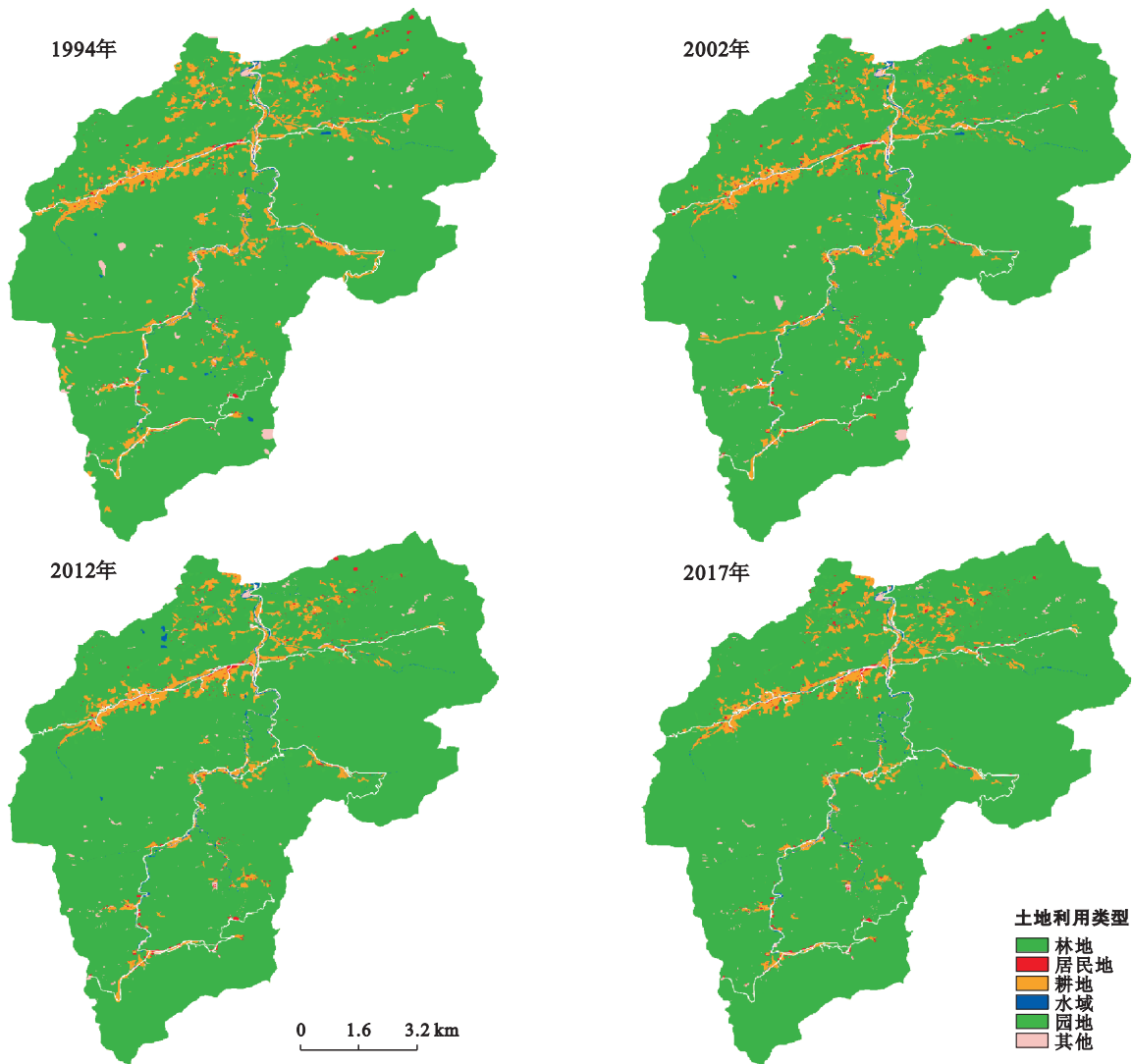


接原因。改善城市热环境,缓解城市热岛效应,可以通过控制建成区的扩展,增加地表平均温度较低的植被和水体的面积比例来实现。

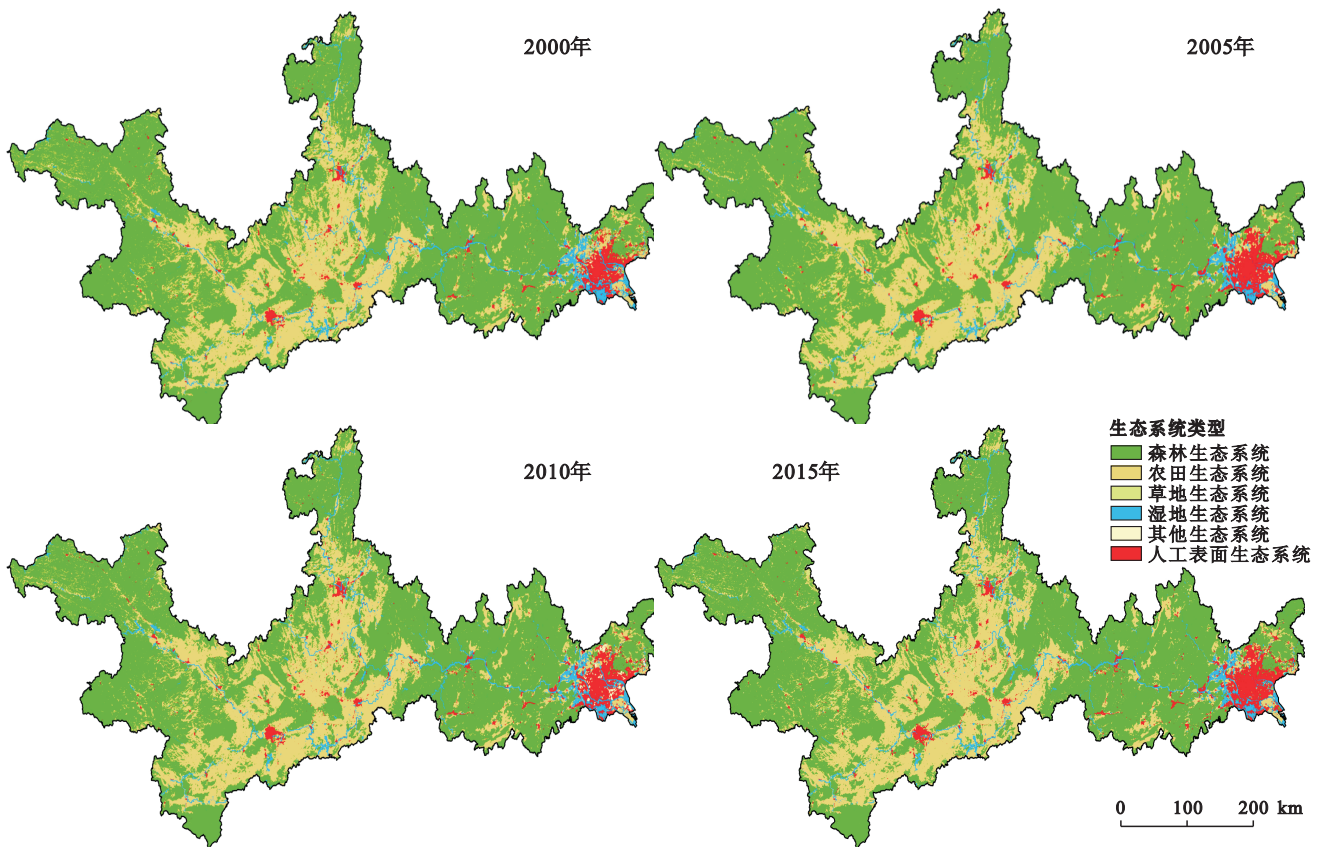
### [参 考 文 献]

- [1] 覃志豪, Zhang M, Arnon K, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.
- [2] Jiménez M, Juan C. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22): 4688.
- [3] Rozenstein O, Qin Z, Derimian Y, et al. Derivation of land surface temperature for Landsat-8TIRS using a split window algorithm [J]. Sensors, 2014, 14(4): 5768-5780.
- [4] Sobrino J A, Jiménez-Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5 [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.
- [5] 崔耀平, 刘纪远, 张学珍, 等. 京津唐城市群土地利用变化的区域增温效应模拟[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 993-1003.
- [6] 葛荣凤, 王京丽, 张力小, 等. 北京市城市化进程中热环境响应[J]. 生态学报, 2016, 36(19): 6040-6049.
- [7] 孙明, 谢敏, 丁美花, 等. 2001—2015 年间广西壮族自治区防城港市热岛效应时空变化研究[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1): 135-143.
- [8] 赵梓淇, 李丽光, 王宏博, 等. 沈阳市区土地利用类型与地表温度关系研究[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(6): 102-108.
- [9] 乔伟峰, 盛业华, 方斌, 等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘: 以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究, 2013, 32(8): 1497-1507.
- [10] Qin Z, Dall'Olmo G, Karnieli A, et al. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high resolution radiometer data [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2001, 106(D19): 22655-22670.
- [11] 宋挺, 段峥, 刘军志, 等. Landsat 8 数据地表温度反演算法对比[J]. 遥感学报, 2015, 19(3): 451-464.
- [12] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004, 15(3): 28-32, 36, 41.
- [13] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133.
- [14] 刘宇, 匡耀求, 吴志峰, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响: 以广东东莞为例[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 597-602.
- [9] 陈万旭, 李江风, 朱丽君. 长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(2): 325-337.
- [10] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [11] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [12] 王军, 顿耀龙. 土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(05): 798-808.
- [13] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [14] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 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[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [15] 徐媛银, 孙思琦, 薛达元, 等. 基于地形梯度的赣南地区生态系统服务价值对人为干扰的空间响应[J]. 生态学报, 2019, 39(1): 97-107.
- [16] 万勤, 孟优, 谢新辉, 等. 新疆生产建设兵团生态系统服务价值时空分异特征[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 7057-7066.
- [17] 李哲, 张飞, Hsiang-teKung, 等. 1998—2014 年艾比湖湿地自然保护区生态系统服务价值及其时空变异[J]. 生态学报, 2017, 37(15): 4984-4997.
- [18] 盛晓雯, 曹银贵, 周伟, 等. 京津冀地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(6): 79-86.
- [19] 罗盛锋, 闫文德. 广西北部湾沿岸地区生态系统服务价值变化及其驱动力[J]. 生态学报, 2018, 38(9): 3248-3259.
- [20] 农殷璇, 臧俊梅, 许进龙. 珠江—西江经济带土地承载力测算及其系统耦合协调度研究[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 264-269.
- [21] 刘民坤, 陈湘漪. 珠江—西江经济带生态补偿机制建设研究[J]. 广西大学学报: 哲学社会科学版, 2015, 37(2): 62-67.
- [22] 国家发改委. 珠江—西江经济带发展规划[EB/OL]// (2014-07-28)[2019-06-17]. [http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201408/t20140801\\_620974.html](http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201408/t20140801_620974.html).

(上接第 259 页)



附图7 鹞落坪自然保护区1994—2017年土地利用类型分布(第248页)



附图8 珠江—西江经济带2000—2015年生态系统类型组成及其空间分布(第255页)