

# 粤港澳大湾区土地利用及生态系统服务价值的变化 ——以广佛肇为例

肖红克<sup>1,2,3</sup>, 李洪忠<sup>1,2</sup>, 王莉<sup>3</sup>, 陈劲松<sup>1,2</sup>, 韩宇<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院 深圳先进技术研究院, 广东 深圳 518055; 2.深圳海洋环境信息大数据分析与应用工程实验室, 广东 深圳 518055; 3.河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454003)

**摘 要:**以广州、佛山、肇庆三市整体为研究对象,基于研究区 1990 年、2000 年、2010 年、2015 年遥感影像解译数据,借助于模型分析法研究了广佛肇近 25 年来的土地利用变化特征;采用生态系统服务价值系数法,并结合研究区的实际情况定量估算了研究区 1990—2015 年不同土地利用类型的生态系统服务价值,并对其变化特征进行了分析。结果表明:(1) 1990—2015 年,林地和耕地面积持续减少,人工表面用地面积逐渐增加,草地先减少后增加,湿地先增加后减少,其他用地变化相对复杂。人工表面的动态度最大,其次是其他用地。耕地转出的面积最多,人工表面转入的面积最多;(2) 研究区生态系统服务价值总量呈现出先增加后逐年减少的趋势,25 年间共减少了 3.59 亿元。林地和湿地的生态服务价值之和在总的生态服务价值中占据主导地位。耕地面积的持续下降,使其保持土壤的服务价值下降最明显;(3) 各地类的敏感性系数均小于 1,说明研究区生态系统服务价值对其生态服务价值系数缺乏弹性,结果可信。

**关键词:**土地利用变化; 生态系统服务价值; 敏感性指数; 粤港澳大湾区; 广佛肇

**中图分类号:**F301.2; X171.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2020)01-0290-08

## Changes of Land Use and Ecosystem Service Value in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area —A Case Study of Guangzhou-Foshan-Zhaoqing

XIAO Hongke<sup>1,2,3</sup>, LI Hongzhong<sup>1,2</sup>, WANG Li<sup>3</sup>, CHEN Jinsong<sup>1,2</sup>, HAN Yu<sup>1,2</sup>

(1.Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, Guangdong 518055, China; 2.Shenzhen Engineering Laboratory of Ocean Environmental Big Data Analysis and Application, Shenzhen, Guangdong 518055, China; 3.School of Surveying & Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454003, China)

**Abstract:**Based on the interpretation data of remote sensing images of 1990, 2000, 2010 and 2015, we studied the characteristics of land use changes in Guangzhou-Foshan-Zhaoqing in the past 25 years by using the model analysis method. The ecosystem service value of different land use types in the study area from 1990 to 2015 were quantitatively estimated by using the ecosystem service value coefficient method and combining with the actual situation of study area, and its variation characteristics were also analyzed. The results showed that: (1) from 1990 to 2015, the areas of forestland and cultivated land continued to decrease, while artificial surface land increased gradually, the grassland decreased at first and then increased, while the wetland increased at first and then decreased, and the area of other land changed relatively complicated; the artificial surface had the highest degree of dynamics, followed by other land; the area of cultivated land transferred out was the most, and the area of the transferred artificial surface was the most; (2) the total value of ecosystem services in the study area showed a decreasing trend of firstly and then the decreasing trend year by year,

收稿日期:2019-02-27

修回日期:2019-03-18

**资助项目:**中国科学院战略性先导科技专项(A类)资助(XDA19030301);国家重点研发计划(2016YFC0500201-07);国家自然科学基金(41771403);深圳市科技计划基础研究(JCYJ20170818155853672);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,河南平顶山人,硕士研究生,研究方向为 3S 集成与应用。E-mail:3040292390@qq.com

**通信作者:**李洪忠(1982—),男,山东济南人,博士后,副研究员,主要研究方向为雷达遥感与生态环境遥感监测。E-mail:hz.li@siat.ac.cn

with a total reduction of 359 million yuan in 25 years; the sum of the ecological service value of forestland and wetland dominated the total ecological service value; the continuous decline in the area of cultivated land made it the most obvious decline in the value of maintaining soil; (3) the sensitivity coefficient of each class was less than 1, showing that the value of ecosystem service in the study area lacked flexibility in its service value index, and the results were credible.

**Keywords:** land use change; ecosystem services value; sensitivity index; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; Guangzhou-Foshan-Zhaoqing

人类的生存与发展离不开土地资源,人类生存生活环境质量的好坏和人与自然能否和谐相处都是以合理并且有效地利用土地资源为前提<sup>[1]</sup>。作为地球环境变化中最突出的表现形式,土地利用变化情况间接影响着全球气候变化、地球化学循环以及资源可再生利用等地表物质循环和生态过程<sup>[2]</sup>。进入 21 世纪之后,随着全球人口持续的增长和人类经济活动的快速发展,地球表面发生了深刻的变化,同时引发了环境污染、水土流失等生态方面的问题,此时人类先后开展了有关全球环境变化的研究工作<sup>[3]</sup>。基于土地利用变化背景,研究一定区域范围的生态服务价值变化对其土地利用类型变化的响应情况能够了解人类开展的经济活动对生态系统的影响,对协调人与自然之间的良好关系以及促进生态建设工作意义重大<sup>[4]</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的支持产品和服务<sup>[5]</sup>,主要分为供给服务、调节服务和文化服务,以及维持其他类型服务所必须的支持服务,共 4 种类型<sup>[6]</sup>。人类的活动导致了土地利用类型的变化,一方面改变了地表的生态格局,另一方面引起了生态系统功能发生变化,从而致使生态系统所能提供的服务种类和价值大小发生了变化。对区域内的生态系统服务价值进行评估计算,已成为人类合理高效配置生态环境资源的基础<sup>[7-8]</sup>。自 20 世纪末期以来,以 Costanza<sup>[5]</sup>、欧阳志云<sup>[9]</sup>等为代表的国内外学者对全球生态系统服务与自然资本价值估算展开了研究,在生态系统服务价值理论和评价计算方法上取得了重要进展。其中国内研究学者谢高地<sup>[10-12]</sup>等结合中国的实际情况对生态系统服务价值的评估方法进行了多次修正,得出了适合中国国情的生态系统服务价值的基础当量表,为我国区域生态系统服务价值的研究工作提供了计算的基础,并在国内得到了广泛应用<sup>[13-15]</sup>。

2019 年 2 月随着《粤港澳大湾区发展规划纲要》的发布,广州作为四大中心发展城市之一,而佛山和肇庆同时作为重要的节点城市,三市未来的发展和联系会越来越紧密。广佛肇三市(以下简称广佛肇)人

口聚集密度大、城镇化和工业化水平高,导致整体的耕地面积不断下降,人地矛盾突出,同时引发了一系列的生态问题。人类活动强度的加强导致用地结构发生了较大变化,势必会对其内部生态系统服务价值产生重大的影响。近年来已有国内相关研究学者对广州<sup>[16-19]</sup>、佛山<sup>[20-21]</sup>、肇庆<sup>[22]</sup>的土地利用变化和生态系统服务价值进行了分析,但对于广佛肇整体长时间序列、大尺度探讨土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究较少,此外对该地区土地利用和生态系统服务价值的整体性变化特征研究也缺乏综合考虑。因此本文旨在整体性地分析广佛肇 1990 年、2000 年、2010 年、2015 年的土地利用和生态服务价值变化规律,为促进该地区土地资源合理使用和生态建设工作平稳推进提供理论和方法支持,同时对推进粤港澳大湾区生态文明建设 and 加强环境保护具有重要的参考意义。

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 研究区概况

广佛肇整体位于粤港澳大湾区的西北部,其地理位置为东经 111°21′—114°03′,北纬 22°26′—24°24′(图 1)。广佛肇的陆地总面积为 26 232.1 km<sup>2</sup>,约占粤港澳大湾区总面积的 46.4%。西江干流在广佛肇境内流过,三市之间的河网和山脉紧密相连,使其在生态文明建设方面独具优势。广佛肇以平原、丘陵和山地地貌为主,气候属亚热带季风性湿润气候,土地肥沃,气候较温和,一年四季有充足的雨量。广佛肇经济发达并且发展迅速,尤其是广州市和佛山市在广东省乃至国家经济建设社会发展中具有重要的战略地位。2015 年广佛肇共辖 19 个市辖区、4 个县、1 个县级市。常住人口约为 2 446.69 万,2015 年生产总值约为 28 074.34 亿元<sup>[23]</sup>。

### 1.2 数据来源与处理

采用数据源为 USGS(<http://glovis.usgs.gov>)提供的广州市、佛山市、肇庆市 1990 年、2000 年、2010 年的 Landsat TM 影像和 2015 年的 Landsat OLI 影像,成像时间为 8—11 月,分辨率为 30 m。利用 ENVI 5.3 软件对遥感影像进行预处理并采用监

督分类的方法进行目视解译,参考全国土地覆盖数据分类体系与研究区实际情况,根据具体研究目标将广佛肇的土地利用类型分为林地、草地、湿地、耕地、人工表面、其他用地 6 种土地利用类型,每期影像的总体分类精度在 90% 左右,分类结果可靠。借助于 ArcGIS 10.2 平台进行影像处理和空间分析计算,最终得到研究区四期土地利用分类现状图(图 2)。社会经济数据依据《广东省统计年鉴》<sup>[24]</sup>和《中国统计年鉴》<sup>[25]</sup>,收集 1990—2015 年广佛肇粮食作物的总产量、种植面积等资料,整理后作为生态系统服务价值计算的数据源。

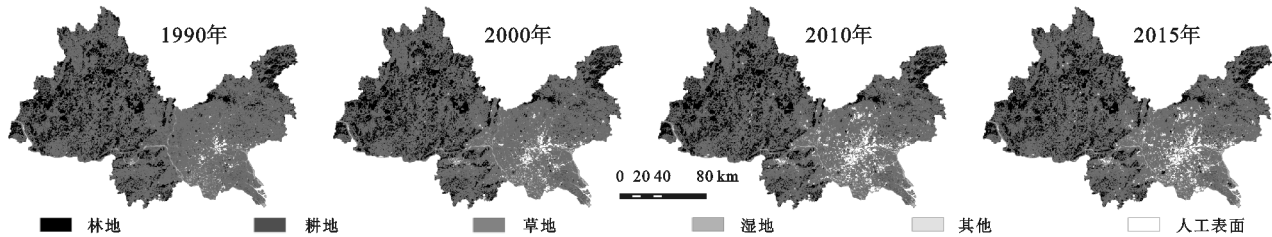


图 2 1990—2015 年广佛肇土地利用分类

2 研究方法

2.1 土地利用类型变化动态度

单一土地利用动态度( $K$ )是研究不同土地利用类型在一定时间段内的变化速度和幅度的常用指标,反映出人类活动对单一土地利用类型的影响情况<sup>[26]</sup>,计算公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$
 (1)

式中: $U_a$ 、 $U_b$ 为研究初期和末期某一土地利用类型的面积; $T$ 为研究时长。

2.2 土地利用变化转移矩阵

土地利用转移矩阵在土地利用变化研究中应用广泛,其可以描述各种土地利用类型相互之间的转换情况,反映出研究区域土地类型的具体流向与各种土地利用类型的转入与转出面积。利用土地利用转移矩阵能够详细地分析区域内土地利用变化的数量结构特征与各用地类型变化的方向<sup>[27]</sup>。具体数学表达形式见式(2)。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}$$
 (2)

式中: $S$ 代表土地利用面积; $i, j$ 分别代表研究初期和末期的土地利用类型; $n$ 代表土地利用类型数。

2.3 生态系统服务价值评价方法

2.3.1 生态系统服务价值系数修正 本文基于谢高

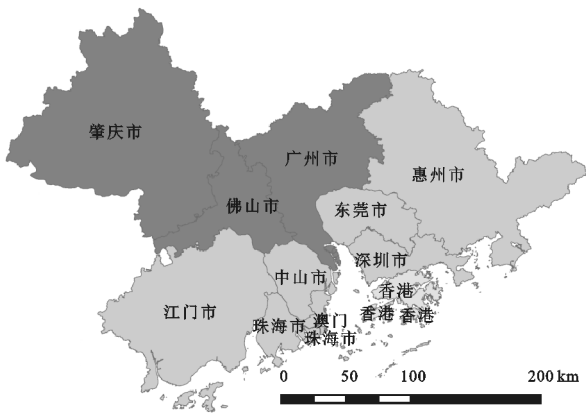


图 1 研究区在粤港澳大湾区中的位置

地等<sup>[11]</sup>修订的“中国生态系统单位面积生态系统服务价值当量”,结合广佛肇的实际情况,粮食产量的修正采用徐丽芬等<sup>[28]</sup>“以农田为基准的地区修正”方法,对当量因子表进行市域尺度修正(见公式 3、4)。参考公式 5 得出农田生态系统单位面积所提供食物生产服务的经济价值,最终得出广佛肇修正后的生态系统服务价值系数。具体修正过程如下:依据广东省统计年鉴可以计算出广佛肇 1990—2015 年粮食平均产量为 5 321.49 kg/hm<sup>2</sup>,根据全国的农田单位面积粮食产量得到广佛肇生态服务价值当量因子表的修正系数为 1.14,最后根据华南粮网交易中心粮食价格统计数据,估算出 2015 年广佛肇粮食收购价格为 2.69 元/kg。再将广佛肇的各种土地类型与最接近的生态系统类型联系起来。其中人工表面产生的生态服务价值暂不考虑,耕地与农田对应,林地与森林对应,其他用地取荒漠的对应值,乘以单位当量生态服务价值,得到适合研究区的生态系统服务价值系数表(表 1)。

$$\lambda = \frac{Q}{Q_0}$$
 (3)

式中: $Q$ 为广佛肇 1990—2015 年各年单位面积平均粮食产量; $Q_0$ 为全国年平均单位面积粮食产量; $\lambda$ 为当量因子修正系数。

$$E_i = \lambda E_0$$
 (4)

式中: $E_i$ 为*i*类土地利用类型修正后的当量因子; $E_0$ 为谢高地等确定的同类土地利用类型当量因子。

$$E_a = \frac{1}{7} \frac{PQ}{M}$$
 (5)



式中: $E_a$  为  $1\text{ hm}^2$  生态系统服务价值当量因子的经济价值(元/ $\text{hm}^2$ ); $P$  为广佛肇 2015 年粮食的平均价格(元/kg); $Q$  为广佛肇粮食总产量(kg); $M$  为广佛肇粮食种植总面积( $\text{hm}^2$ )。

表 1 广佛肇不同土地利用类型的生态系统服务价值系数元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )

一级类型	二级类型	林地	草地	耕地	湿地	其他
供给服务	食物生产	777.09	1002.04	2331.27	838.44	40.90
	原材料生产	6952.90	838.44	899.79	490.79	552.14
调节服务	气体调节	10061.25	2392.61	1676.88	5623.67	143.15
	气候调节	9488.66	3640.05	2269.92	31594.79	306.75
	水文调节	9529.56	3537.80	1799.57	31328.94	163.60
	废物处理	4008.14	3067.46	3231.05	33578.41	613.49
支持服务	保持土壤	9365.96	5214.67	3435.55	4642.08	388.54
	维持生物多样性	10511.15	4355.79	2372.17	8609.32	940.69
文化服务	提供美学景观	4846.58	2024.52	388.54	10940.59	552.14

2.3.2 生态系统服务价值计算 利用 Costanza 等<sup>[5]</sup>提出的生态系统服务价值分析模型计算广佛肇的生态系统服务价值和生态系统单项服务价值,其计算公式为:

$$ESV = \sum(A_k \times VC_k) \tag{6}$$

$$ESV_f = \sum(A_k \times VC_{jk}) \tag{7}$$

式中:ESV 表示生态系统服务价值; $A_k$  表示研究区  $k$  种土地利用类型的面积; $VC_k$  表示生态服务功能价值系数; $ESV_f$  表示第  $f$  种类型生态系统服务功能的总价值; $VC_{fk}$  表示第  $f$  种类型的第  $k$  种生态系统服务功能的价值。

2.4 敏感性分析

采用敏感性指数(coefficient sensitive,CS)研究广佛肇 ESV 随时间的变化对于价值指数的依赖程度。敏感性指数是指生态服务价值系数变动 1%引起 ESV 的变化情况。如果  $CS < 1$ ,表明 ESV 相对于 VC 是缺乏弹性的,即生态服务价值对价值系数不敏感,其准确度较高,研究结果可信;反之,如果  $CS > 1$ ,表明 ESV 相对于 VC 是富有弹性的,其准确度低,结果可信度低。本文将研究区各类土地利用类型的价值指数分别上下调整 50%,揭示 ESV 对 VC 的敏感程度<sup>[29-30]</sup>。计算公式为:

$$CS = \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{ij} - VC_{ik}) VC_{ik}} \tag{8}$$

式中: $VC_{ik}$  和  $VC_{jk}$  代表调整前后的第  $K$  类生态系统单位面积生态服务价值系数; $ESV_i$  和  $ESV_j$  分别代表调整前后的生态服务总价值。CS 为研究区各生态系统服务价值系数的敏感度。

3 结果与分析

3.1 广佛肇土地利用变化分析

3.1.1 土地利用面积变化分析 从广佛肇 1990—

2015 年土地利用总体情况来看(表 2),林地和耕地是广佛肇最主要的土地利用类型,两者之和占研究区总面积的 77%以上;而草地和其他用地所占比例均低于 1%。1990—2015 年广佛肇的土地利用类型发生了不同程度的变化,主要表现在林地和耕地面积持续减少,人工表面持续增加,草地先减少后增加,湿地先增加后减少,其他用地变化相对复杂,呈现出先缓慢增加后急速下降最后又急速上升的变化趋势。从不同地类变化情况来看,林地由 1990 年的  $15\,966.41\text{ km}^2$  减少到 2015 年的  $15\,724.39\text{ km}^2$ ,共减少了  $242.02\text{ km}^2$ 。林地持续减少,一方面由于该地区经济的快速发展和城镇化的不断推进,导致一部分林地转化为工业厂用地、居住用地;另一方面由于人口的增多,需要更多的耕地,再加上对林地的违法使用都导致了林地的面积持续下降;耕地 25 a 来共减少  $1\,562.74\text{ km}^2$ ,3 个阶段中 1990—2000 年耕地面积减少最多,为  $922.36\text{ km}^2$ 。耕地持续减少主要是因为 25 a 间广佛肇城镇建设用地的扩张和基础设施的修建(包括水利设施、交通设施等)占用了大量耕地,同时由于退耕还林政策的实施,都从一定程度上导致了耕地面积的快速下降;草地在 1990—2000 年十年间草地减少最多,2010—2015 年草地出现缓慢增加。草地由于总量比较小,所以总体上变化不是很大;湿地在 1990—2000 年湿地面积变化最大,增加了  $465.32\text{ km}^2$ 。湿地的增加主要是由于南方降雨较多,加上一些人工水利设施的修建,增加了湿地的面积,后期缓慢减少主要转变成了人工表面;人工表面 25 a 来共增加了  $1\,425.92\text{ km}^2$ 。人工表面的增加主要是因为广佛肇地区经济的高速发展,其他类型的用地多往建设用地方向发展;其他用地在 2010—2015 年面积变化最大。2000—2010 年其他用地面积出现了下降,共减少了  $47.51\text{ km}^2$ 。其他用地主要包括裸土和裸岩,而南方地区裸岩相对比较少,主要是林地转化

为其他用地。2000—2010 年,其他用地主要用于建设用地的扩张。而 2010—2015 年由于林地等用地类型的减少,导致暂时转化为了其他用地。总体来说 25 a 来其他用地的面积在增加。

表 2 1990—2015 年广佛肇地类面积及所占比重

地类	1990 年		2000 年		2010 年		2015 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
林地	15966.41	61.73	15905.75	61.49	15785.39	61.03	15724.39	60.79
耕地	5785.94	22.37	4863.58	18.80	4455.86	17.23	4223.20	16.33
草地	25.08	0.10	19.34	0.07	14.44	0.05	17.48	0.07
湿地	1948.17	7.53	2413.49	9.33	2324.12	8.98	2269.23	8.77
人工表面	2033.19	7.86	2554.76	9.88	3224.62	12.47	3459.11	13.37
其他	107.29	0.41	109.16	0.42	61.65	0.24	172.67	0.67

3.1.2 土地利用变化动态度分析 根据公式(1)计算得出广佛肇的土地利用变化动态度(表 3)。1990—2015 年,动态度最大的是人工表面,其次是其他用地。25 a 来广佛肇由于人类活动强度的加大,导致城市建设用地不断地增加,人工表面处在不断地动态变化之中。从 3 个时期来看,1990—2000 年人工表面的动态度最大,湿地和草地的动态度次之。2000—2010 年其他用地的动态度最大,人工表面和草地的动态度均超过了 2%。2010—2015 年其他用地的动态度最大,达到了 36.02%,林地和湿地的动态度最小,均低于 1%。

3.1.3 土地利用转移分析 通过 ArcGIS 软件叠加得出 1990—2015 年广佛肇土地利用类型转移矩阵(表 4)。根据土地利用转移矩阵可以看出,耕地转出的面积最

多,达到了 1 698.73 km<sup>2</sup>,耕地主要转换成人工表面、湿地和林地;人工表面转入的面积最多,25 a 间共转入了 1 437.45 km<sup>2</sup>,主要转入来源是耕地,其次是林地。1990—2015 年林地主要转向人工表面、其他用地和耕地。而其他用地主要转向林地和人工表面。其他用地主要是裸土,一部分又重新发展成林地,另一部分主要发展成为人类开发的建设用地。

表 3 1990—2015 年广佛肇土地利用变化动态度

时间	林地	耕地	草地	湿地	人工表面	其他
1990—2000	-0.04	-1.59	-2.29	2.39	2.57	0.17
2000—2010	-0.08	-0.84	-2.53	-0.37	2.62	-4.35
2010—2015	-0.08	-1.04	4.21	-0.47	1.45	36.02
1990—2015	-0.06	-1.08	-1.21	0.66	2.81	2.44

表 4 研究区 1990—2015 年土地利用转移矩阵

土地利用类型		2015 年					
		林地	耕地	草地	湿地	人工表面	其他
1990 年	林地	15435.96	100.68	2.33	28.31	272.12	127.01
	耕地	207.40	4087.21	2.84	545.07	934.40	9.02
	草地	6.06	0.14	12.11	0.03	6.73	0.01
	湿地	25.87	28.08	0.16	1688.34	203.23	2.49
	人工表面	4.77	3.14	0.03	3.47	2021.65	0.13
	其他	44.32	3.95	0.01	2.82	20.97	35.22

3.2 广佛肇生态系统服务价值变化

3.2.1 不同土地利用类型的 ESV 变化分析 广佛肇 1990 年、2000 年、2010 年和 2015 年的生态服务价值分别为 1 402.68 亿元,1 440.98 亿元,1 413.88 亿元,1 399.09 亿元。总体上呈现出先增加后逐年减少的趋势,1990—2000 年增加了 38.3 亿元,2000—2010 年减少了 27.10 亿元,2010—2015 年减少了 14.79 亿元,25 a 间广佛肇生态系统服务总价值共减少了 3.59 亿元(表 5)。由于林地和耕地的面积 25 a 间持续下降,导致林地和耕地的生态价值持续减少,1990—2015 年林地和耕地各减少了 15.86 亿元和 28.76 亿元;草地的生态服务价值从 1990—2010 年呈现出缓慢下降趋势,20 a 间减少了 0.27 亿元,到了 2015 年,草地的生态服务价值增加到了 0.46 亿元,总的来说草地 25 a 间减少了 0.19 亿元;湿地的生态价值呈现

出先增加后减少的趋势,1990—2000 年湿地的生态服务价值实现了较大程度上的增长,这主要与这 10 a 间湿地的面积增加有关。2000—2015 年湿地的生态价值出现缓慢下降趋势,但是总的来说 1990—2015 年湿地的生态服务价值还是增加了,共增加 40.98 亿元;其他用地在 1990—2000 年生态服务价值基本上无变化,从 2000—2010 年减少了 0.17 亿元,到 2015 年总的生态服务价值增加到 0.64 亿元。湿地和其他用地 25 a 间的生态服务价值增加量小于林地、耕地和草地的生态服务价值减少量,同时由于人工表面不会增加生态系统服务价值,所以 1990—2015 年广佛肇生态服务价值总体呈减小趋势。1990—2015 年广佛肇土地利用类型结构的变化对区域内部生态系统服务总价值的变化影响值较大,按价值变化大小排序依次为

湿地>耕地>林地>其他>草地。根据广佛肇生态系统服务价值的构成及占比来看,林地产生的生态服务价值最大,这主要是与广佛肇地区林地面积所占的比例比较大有关。其次是湿地,其主要原因是与湿地的单位面积生态服务价值当量大有关。林地和湿地的生态服务价值总量在 4 个时期所占的比例都超过了 92%,说明林地和湿地的生态价值在研究区生态系服务总价值中占据突出地位。耕地产生的生态价

值在 4 个时期所占的比例都超过了 5%,但因耕地面积不断下降促使耕地的生态系统服务价值呈下降趋势。草地和其他用地由于面积较少,所产生的生态服务价值较低,在各个时期所占总价值的比例都非常低,并且所占比例基本处在一个相对稳定的状态。广佛肇林地和耕地的生态系统服务价值不断下降,湿地的生态价值又呈现出缓慢下降趋势,促使区域内生态服务功能逐步下降。

表 5 1990—2015 年广佛肇生态服务价值

地类	1990 年		2000 年		2010 年		2015 年	
	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%
林地	1046.46	74.60	1042.48	72.35	1034.59	73.17	1030.60	73.66
耕地	106.49	7.59	89.51	6.21	82.01	5.80	77.73	5.56
草地	0.65	0.05	0.50	0.03	0.38	0.03	0.46	0.03
湿地	248.68	17.73	308.07	21.38	296.67	20.98	289.66	20.70
其他	0.40	0.03	0.40	0.03	0.23	0.02	0.64	0.05
合计	1402.68	100.00	1440.98	100.00	1413.88	100.00	1399.09	100.00

3.2.2 生态系统单项服务价值变化 通过计算得到 1990 年、2000 年、2010 年与 2015 年各单项生态服务功能价值(表 6),可知广佛肇 25 a 来各单项生态服务价值总量及结构变化不大。从各单项功能服务价值贡献率高低排序来看,气候调节>水文调节>维持生物多样性>气体调节>保持土壤>废物处理>原材料生产>提供美学景观>食物生产。气候调节和水文调节功能价值贡献率最大,说明研究区调节功能服

务的价值最大。从单项服务价值排序可以看出,广佛肇调节功能和支持功能生态服务价值远大于供给功能和文化功能服务价值之和。从 1990—2015 年各单项生态服务功能价值变化来看,保持土壤、食物生产与原材料生产的服务价值明显减少,其余单项生态服务功能价值都是先增加后减少。其中保持土壤的服务价值下降最明显。耕地面积的减少是保持土壤价值下降最直接的原因。

表 6 1990—2015 年广佛肇各项生态服务功能价值变化

生态功能	1990 年		2000 年		2010 年		2015 年	
	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%
气体调节	181.38	12.93	181.82	12.62	179.41	12.69	178.12	12.73
气候调节	226.31	16.13	238.32	16.54	233.40	16.51	230.60	16.48
水文调节	223.71	15.95	236.03	16.38	231.32	16.36	228.63	16.34
保持土壤	178.63	12.73	177.03	12.29	174.04	12.31	172.48	12.33
废物处理	148.25	10.57	160.63	11.15	155.79	11.02	153.03	10.94
维持生物多样性	198.53	14.15	199.69	13.86	196.62	13.91	195.07	13.94
食物生产	27.56	1.96	25.75	1.79	24.62	1.74	23.99	1.71
原材料生产	117.26	8.36	116.23	8.07	114.95	8.13	114.35	8.17
提供美学景观	101.05	7.20	105.48	7.32	103.73	7.34	102.81	7.35
合计	1402.68	100.00	1440.98	100.00	1413.88	100.00	1399.08	100.00

3.3 广佛肇生态系统服务价值敏感性指数变化分析

本研究将各土地类型的生态价值系数上下调整 50%,得出广佛肇 1990—2015 年各土地类型的敏感性指数(表 7)。结果表明,不同时期不同土地利用类型的敏感性系数均小于 1,说明广佛肇生态服务总价值对其生态服务价值系数缺乏弹性,经过修正的生态

服务价值系数适用于广佛肇地区,间接证明了本研究计算的生态系统服务价值结果是真实可信的。1990—2015 年耕地的敏感性系数呈现出下降趋势,说明了 25 a 来耕地生态系统价值系数变化对广佛肇生态系统服务总价值产生了缩小的作用。林地在 1990—2000 年生态敏感性指数呈现出下降趋势,

2000—2015 年又呈现出上升趋势,说明林地对广佛肇生态服务总价值的贡献是先减小后缓慢增加的。而湿地正好与林地相反,在 1990—2000 年敏感性指数先从 0.177 3 上升到 0.213 8,到了 2015 年又缓慢下降为 0.207 0。说明湿地对广佛肇生态服务总价值的贡献是先增加后缓慢减小的。草地和其他用地敏感性指数变化不大,说明草地与其他用地对广佛肇生态服务总价值影响较小。敏感性指数值由大到小排序依次为林地>湿地>耕地>草地>其他。敏感性指数最大值为林地,为 0.723 5~0.746 0,说明林地对服务价值的贡献率最大,当林地生态系统价值系数增加 1%时,生态系统服务价值增加 0.723 5%~0.746 0%,由于林地面积占比比较多又加上生态服务价值系数比较大,导致林地是影响广佛肇生态价值变化的一种主要的生态用地类型。

表 7 广佛肇生态系统服务价值的敏感性					
年份	林地	耕地	草地	湿地	其他
1990	0.7460	0.0759	0.0005	0.1773	0.0003
2000	0.7235	0.0621	0.0003	0.2138	0.0003
2010	0.7317	0.0580	0.0003	0.2098	0.0002
2015	0.7366	0.0555	0.0030	0.2070	0.0004

## 4 结论与讨论

(1) 研究区在 1990—2015 年,林地和耕地面积持续减少,人工表面用地面积逐渐增加,草地先减少后增加,湿地先增加后减少,其他用地呈现出先缓慢增加后急速下降最后又急速上升的变化趋势。25 a 间,人工表面的动态度最大,其次是其他用地。耕地的转出量最大,主要转换成人工表面、湿地和林地;人工表面转入的面积最多,25 a 间共转入了 1 437.45 km<sup>2</sup>,主要转入来源是耕地,其次是林地。经济的发展和城镇化进程的推进不应以破坏林地和耕地为前提,广佛肇应加强对林地和耕地的保护,严格控制人工表面的扩张,确保土地利用向可持续性方向发展。

(2) 广佛肇在 1990—2015 年,土地利用的生态系统服务价值总体上呈现出先增加后逐年减少的趋势,25 a 间共减少了 3.59 亿元。林地和耕地的生态服务价值持续减少,湿地的生态价值呈现出先增加后减少的趋势。林地和湿地的生态价值在研究区生态系服务总价值中占据突出地位,林地和耕地面积的减少是广佛肇生态服务价值减少的主要原因;从单项服务价值排序可以看出,广佛肇调节功能和支持功能生态服价值远大于供给功能和文化功能服务价值之和。

耕地面积的下降使保持土壤的服务价值下降最明显。土地利用变化带来的生态系统服务价值减少问题,值得引起当地政府的重视。

(3) 广佛肇在不同时期不同土地利用类型的敏感性系数均小于 1,说明广佛肇整体的生态服务总价值对其生态服务价值系数缺乏弹性,经过修正的生态服务价值系数适用于广佛肇。敏感性指数值由大到小排序依次为林地>湿地>耕地>草地>其他,研究期间林地对广佛肇生态系统服务价值的贡献率最大。

本文在研究广佛肇整体的生态系统服务价值时,没有考虑人工表面的生态价值计算,而人工表面主要包括工矿用地、交通用地、居民地等,它对水文调节等单项功能会产生一定的负面效益,但有关人工表面的生态服务价值计算目前研究评价方法不一,因此关于人工表面的生态服务价值核算将是下一步的研究重点。生态系统服务价值受多种因素的影响,本研究虽然对生态系统服务功能评价的方法进行了局部修正,得出的结果具有一定的参考价值。但修正时考虑的因素较少,会对最后的分析结果造成一定的影响,后续将会考虑其他影响生态系统服务价值的因素,以便使估算结果更加准确。

### 参考文献:

[1] 黄梅.珠江三角洲典型城市土地利用时空变化及驱动力研究[D].长沙:中南大学,2014.

[2] Kaplan J O, Krumhardt K M, Zimmermann N E. The effects of land use and climate change on the carbon cycle of Europe over the past 500 years[J]. *Global Change Biology*, 2012,18(3):902-914.

[3] 范丽娟,田广星.1995—2015 年上海市土地利用及其景观格局变化[J].*水土保持通报*,2018,38(1):287-292.

[4] 熊倡英,师学义.黄土山丘区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以长河流域为例[J].*水土保持研究*, 2018,25(2):335-340.

[5] 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.

[6] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].*地理科学进展*,2014,33(4):441-446.

[7] 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等.城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应[J].*生态学报*,2013,33(8):2565-2576.

[8] 刘桂林,张落成,张倩.长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J].*生态学报*,2014,34(12):3311-3319.

[9] 欧阳志云,王效科,苗鸿.中国陆地生态系统服务功能及



其生态经济价值的初步研究[J].生态学报,1999,19(5):19-25.

[10] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 顾剑红,王玉杰,王云琦,等.土地利用变化对生态服务价值的影响:以广西隆林县和西林县为例[J].中国水土保持科学,2016,14(5):100-109.

[14] 罗维,易海杰,李红举,等.洋河流域土地利用时空变异及其对生态服务功能价值的影响[J].生态学报,2017,37(16):5342-5351.

[15] 刘亚茹,王聪,严力蛟.华北平原农区土地利用变化对生态系统服务的影响:以河南省商丘市为例[J].应用生态学报,2018,29(5):1597-1606.

[16] 叶延琼,章家恩.广州市土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[J].生态科学,2008,27(2):119-123.

[17] 王璐,杨洁,胡月明,等.广州市土地利用生态服务价值测算研究[J].水土保持通报,2009,29(4):229-234.

[18] 张轶秀.广州市土地生态系统服务价值分析与评价[D].广州:广州大学,2011.

[19] 胡应龙,陈颖彪,郑子豪,等.广州市生态系统服务价值空间异质性变化[J].热带地理,2018,38(4):475-486.

[20] 冯荣光,林媚珍,葛志鹏,等.快速城市化地区土地利用变化对生态服务的影响:以佛山市顺德区为例[J].生态科学,2014,33(3):574-579.

[21] 叶延琼,章家恩,陈丽丽.佛山市顺德区土地利用变化及社会经济发展对生态系统服务的影响[J].生态科学,2014,33(5):872-878.

[22] 张燕,杨木壮,宋榕潮.土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以广东省肇庆市鼎湖区为例[J].安徽农业科学,2010,38(4):1948-1951.

[23] 周颖.广佛肇产业布局一体化中地方政府合作研究[D].广州:华南理工大学,2016.

[24] 广东省统计局.广东统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2016.

[25] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2016.

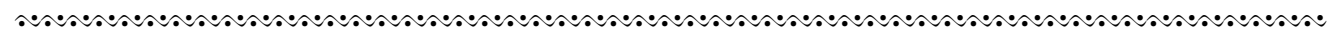
[26] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等.1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].地理学报,2014,69(1):54-63.

[27] 李一琼,白俊武.近 20 年苏州土地利用动态变化时空特征分析[J].测绘科学,2018,43(6):58-64.

[28] 徐丽芬,许学工,罗涛,等.基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法:以渤海湾沿岸为例[J].地理研究,2012,31(10):1775-1784.

[29] 周文霞,石培基,王永勇,等.河谷型城市生态系统服务价值效应:以兰州为例[J].干旱区研究,2017,34(1):232-241.

[30] 李怡,郭力宇,温豪.陕西渭北旱塬区土地利用与生态系统服务价值变化:以陇县为例[J].水土保持研究,2019,26(1):368-373.



(上接第 289 页)

[30] 佟光臣,林杰,陈杭,等.1994—2014 年连云港市赣榆区生态变化评估[J].水土保持研究,2016,23(6):352-357.

[31] 李粉玲,常庆瑞,申健,等.黄土高原沟壑区生态环境状况遥感动态监测:以陕西省富县为例[J].应用生态学报,2015,26(12):3811-3817.

[32] 原伟鹏,刘新平,曾庆敏.阜康市城市土地供给侧政策绩效综合评价[J].中国农学通报,2016,32(17):199-204.

[33] 朱英.阜康市煤炭资源开发生态补偿机制研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.

[34] 陈玉香.阜康市工业废气排放的环境规制问题及对策研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.

[35] 朱英.阜康市煤炭资源开发生态补偿机制研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.

[36] 魏振,蒲春玲,王琰,等.阜康市新一轮土地利用总体规划实施评价[J].黑龙江农业科学,2015(1):136-140.

[37] 刘思佳.新疆农产品产地污染问题的分析研究:以新疆阜康市为例[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.

[38] 周小靖.新疆阜康市城区居住环境调查及优化研究[D].辽宁大连:大连理工大学,2015.