

DOI: 10.5846/stxb201606221223

孙晓,李锋.城市生态资产评估方法与应用——以广州市增城区为例.生态学报,2017,37(18):6216-6228.

Sun X, Li F. Assessment method and application of urban ecological assets: a case study in Zengcheng, Guangzhou City. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37 (18): 6216-6228.

## 城市生态资产评估方法与应用 ——以广州市增城区为例

孙 晓,李 锋\*

中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085

**摘要:**生态资产评估有助于人们以货币度量的方式衡量生态资源的价值,同时也为绿色 GDP 核算以及生态补偿机制提供科学依据。基于生态资产内涵,构建了包含自然资源价值和生态服务价值在内的生态资产价值评估指标体系,通过获取生态参数,对各项生态资产指标进行全面核算和时空动态分析,最后针对区域经济社会发展和生态资产状况提出了相应的生态资产管理对策与建议。研究表明,2003、2008 和 2013 年增城区的生态资产价值分别为 286.4、287.9 和 330.6 亿元,其中,自然资源价值占总价值平均比例为 62%,生态服务价值占总价值平均比例为 38%。10 年间,增城区各类自然资源价值均增加,尤其是农用地和草地资源价值增加幅度最大;各项生态服务价值均减小,其中土壤保育价值减小最为明显。基于核算结果,为增城区提出了包含自然资源管理、生态服务监管、生态资产保育和实施生态补偿 4 个方面的具体生态资产管理对策。

**关键词:**土地利用;生态资产价值;指标体系;管理

## Assessment method and application of urban ecological assets: a case study in Zengcheng, Guangzhou City

SUN Xiao, LI Feng\*

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** Ecological asset values are useful in assessing ecological resources in monetary units, and can provide a scientific basis for green GDP accounting and ecological compensation applications. In this paper, we presented an indicator system for measuring ecological asset values, including natural resource values and ecological service values. Based on these measurement indicators, we comprehensively calculated the values of ecological asset indicators and analyzed their spatio-temporal dynamics by using the Zengcheng District of Guangzhou as a case study. Furthermore, we presented relevant countermeasures and suggestions for more sustainable ecological asset management through integrative analysis of social-economic development and ecological asset dynamics. The results showed that the total ecological asset values of Zengcheng in 2003, 2008, and 2013 were 28.64, 28.79, and 33.06 billion yuan, respectively. The natural resource value and ecosystem service value on average accounted for 62% and 38%, respectively, of the total ecological asset value. The values of all types of natural resources increased during the past 10-year period, and the values for agricultural land and grassland resources increased the most. However, the values for ecosystem services have been consistently decreasing, among which the soil conservation value decreased the most. According to these findings in Zengcheng, we presented relevant ecological asset management recommendations from the perspectives of natural resource management, ecological service supervision,

**基金项目:**国家自然科学基金重点项目(71533004);国家自然科学基金面上项目(71273254);中国科学院科技服务网络计划项目(KFJ-EW-ST5-002-7)

收稿日期:2016-06-22; 网络出版日期:2017-04-25

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lifeng@rcees.ac.cn

ecological asset conservation, and ecological compensation applications. Overall, the indicator measurement system and evaluation method for comprehensive urban ecological asset assessment and management presented in this study not only guides the development of natural balance sheets and ecological asset management of Zengcheng, but also provides a good reference for the establishment of technical specifications for regional ecological asset assessments.

**Key Words:** land use; ecological assets value; indicator system; management

生态系统不仅为人类提供了生活和生产所必需的原材料,它提供的产品和服务也是人类生存和发展所依赖的重要资产<sup>[1]</sup>,生态资产的概念在此基础上应运而生。目前,国内外主要从价值体现形式和实体形式两个侧重点出发对生态资产进行定义<sup>[2]</sup>,本研究主要基于价值体现形式,认为生态资产是能为人类提供服务和福利的自然资源和生态环境之和,包括有形的、实物形态的自然资源供给和无形的、非实物形态的生态系统服务价值<sup>[3]</sup>。随着城市化的快速发展,生态系统遭到破坏,其生态资产价值随之减少,给社会和经济的可持续发展带来了严重威胁<sup>[4]</sup>。因此,世界各国逐渐开始对生态资产价值进行核算评估<sup>[5]</sup>,其不仅有助于人们以货币度量的方式认识生态资源的重要性,也有助于人们客观全面地评价经济社会发展状况及未来的发展潜力。另外,评估也为资源有偿使用制度的确立提供帮助,为开展生态效益评估、绿色 GDP 核算和生态补偿机制提供科学依据<sup>[6]</sup>。鉴于此,国内在中共十八大会议上明确提出了要把生态效益纳入经济社会发展评价体系;十八届三中全会中也提出了“探索编制自然资源资产负债表,对领导干部实行自然资源离任审计,建立生态环境损害责任终身追究制”的要求。

生态资产评估的概念是依托于生态系统服务而产生的,20 世纪 70 年代 Holdem<sup>[7]</sup>、Westman<sup>[8]</sup> 等学者开始对全球生态系统服务进行研究,生态资产价值评估的概念也随之产生。近年来,国内外开始从不同区域尺度<sup>[9-10]</sup>和不同生态系统类型角度<sup>[11-12]</sup>对生态资产价值进行核算。研究内容上,国外多数是针对其中几项生态系统服务进行系统、深入的估算<sup>[13-15]</sup>;而国内主要侧重于探讨生态资产概念、构建生态资产指标体系以及对生态资产价值进行核算<sup>[16-17]</sup>。研究方法上,国外的估算方法主要包括 InVEST 模型<sup>[18]</sup>、ESR 模型、ARIES 模型、SoLVES 模型<sup>[19]</sup>等,这些模型多数仅核算单一的或某几项的生态服务价值,部分模型目前仅适用于极少数地区的价值评估;国内研究的评估方法主要包括两类,一类是利用单位面积价值法进行生态资产估算,例如谢高地<sup>[20]</sup>等基于 Costanza<sup>[21]</sup>的价值体系优化建立了适用于国内生态资产评估的价值标准体系,并且之后涌现了很多相关的研究案例<sup>[4,22]</sup>,这种方法的缺点是无法体现不同生态系统和区域的时空差异性。另一类是通过建立测量模型,获得不同的生态参数,对生态资产价值进行遥感估算,例如朱文泉<sup>[23]</sup>等利用遥感技术,通过建立生态资产计算模型,对中国陆地生态资产进行了动态评估,但这种方法的准确性严重依赖于所建立的测量模型和获取的生态参数。总的来说,目前的多数研究低估了生态资产总价值,仅核算了生态系统服务价值<sup>[24-25]</sup>,极少研究中虽然包含了自然资源本身价值,但却仅以生物量折算为有机物价值来代替其资源价值<sup>[5]</sup>,其结果不能完全反映自然资源本身价值,且与生态系统服务价值核算有部分信息重叠;另外,目前多数研究仅针对生态资产总量进行静态或动态估算,研究范围局限于指标体系、核算方法等层面,缺乏对区域生态资产的时空动态分析以及基于区域经济社会发展和生态资产状况的管理对策与建议。

21 世纪以来,中国的城市化快速发展,尤其是特大型城市更为剧烈<sup>[26]</sup>。与其他区域相比,这些城市的生态资产受城市化的影响更为明显。因此,本文以广州市增城区为例,旨在通过评估 2003—2013 年城市化过程中各项生态资产的时空动态变化,探索相应的生态资产管理对策,从而促进城市的全面可持续发展,同时也为其他城市化区域的生态资产评估流程及管理提供借鉴。

## 1 研究区域概况

增城区位于广州市东部(图 1),是广州通往东莞、深圳、香港和粤东各地的交通咽喉,总面积 1616 km<sup>2</sup>。

该区属亚热带海洋性季风气候,多年平均降雨量 2004.6 mm 左右,自然条件优越、生态资源丰富,是广州市的天然生态屏障。北部地区以山林地为主,重点发展都市农业和生态旅游;中部地区为丘陵地貌,主要是生活区;南部地区与广州市中心相邻,以发展工业为主。目前,增城区已成为广州市同时具备生态条件和产业辐射能力的重要区域。由于快速城市化的影响,增城区中南部地区用地布局变得过于密集,人口密度急剧增加,生态服务受到严重威胁。尤其是北部地区旅游产业快速发展,河流水质不断下降,其他衍生环境问题,例如能耗增加、垃圾污染严重等也逐渐凸显。

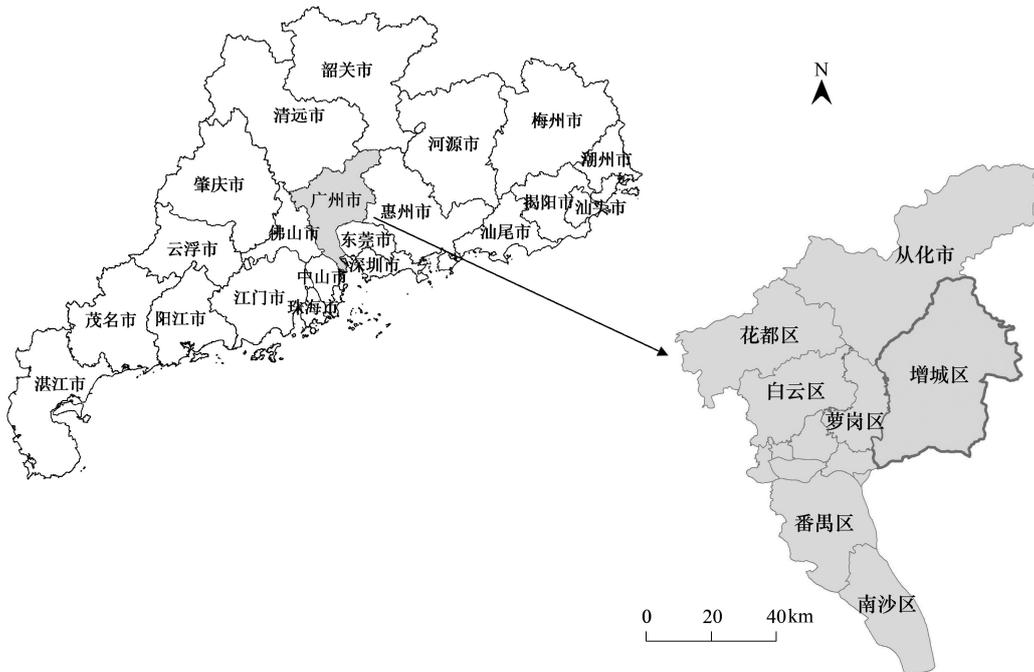


图1 研究区示意图

Fig.1 Sketch map of study area

## 2 研究方法

### 2.1 构建生态资产评估指标体系

本研究参考目前已有的生态资产价值评估指标体系<sup>[5,27]</sup>和 Constanza 提出的生态系统服务分类体系<sup>[21]</sup>,结合生态资产价值内涵,构建了通用的生态资产价值评估指标体系,其中自然资源是载体,而生态服务则是依托于自然资源载体为人类提供的福利(表1)。

### 2.2 数据来源与处理

#### 2.2.1 土地利用类型图

为合理估算增城区生态资产价值,本研究采用了 2012 年开始实施的《城市用地分类与规划建设用地标准》对实地调查绘制的矢量图进行重新分类汇总,将 28 个小类重新归纳到 6 个大类(表 2),分类后的土地利用类型包括林地、水体、农用地、草地、裸地、建设用地和交通过地。

#### 2.2.2 植被覆盖指数(NDVI)数据

以云量小于 5% 为原则,从美国地质调查局网站(<http://www.usgs.gov/>)下载获得研究区 2003 年、2008 年和 2013 年各个月份空间分辨率为 30 m 的 Landsat TM 影像。通过去云、辐射校正及大气校正等处理,利用近红外区与红光区的波段值计算得到各年份的 NDVI 平均值<sup>[28]</sup>。

#### 2.2.3 其他专题数据的获取

其他专题数据主要包括数字高程模型(DEM)数据、气象数据、土壤数据、林地和水体、农田等自然资源数

据。其中,DEM 数据来源于地理空间数据云网(<http://www.gscloud.cn/csearch.jsp>),空间分辨率为 30 m;气象数据来源于增城区气象站实地监测数据以及中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.nmic.cn/home.do>),主要包括月太阳总辐射、月太阳净辐射数据、月气温、月实际蒸散量、月平均水汽压、平均风速、相对湿度数据;土壤数据来源于增城区农业局的调查数据,主要包括土壤类型和土壤的理化性质;林地的优势树种、小班面积、空间位置、树龄、胸径以及蓄积量等数据来源于增城林业局提供的森林资源数据库;水库和河流的库容、面积、水资源量等数据来源于增城区水利局提供的 2003、2008、2013 年水资源公报数据;经济林产品、农作物和水产品的产量、价格等数据来源于实地调研以及增城区林业局、农业局提供。

表 1 增城区生态资产评估指标体系

Table 1 Indicator system for ecological asset evaluation in Zengcheng

一级指标 1 <sup>st</sup> level indicator	二级指标 2 <sup>nd</sup> level indicator	功能及价值 Functions and value
生态资产价值 Ecological assets value	自然资源价值 Natural resource values	林木、林地和经济林产品的价值 水产品、水资源的价值 农作物产品、秸秆资源价值 草地资源本身的价值
	生态系统服务价值 Ecological service values	吸纳 CO <sub>2</sub> 、释放 O <sub>2</sub> 能量与养分的吸收、积累 营养物质循环与贮存 调节水量、净化水质 固定土壤、保持肥力 物种多样性 对各类废气、固废的处理 提供休闲旅游、文化教育机会

为了便于比较分析,本文中所有年份的价值均折算成 2013 年的可比价

表 2 增城区土地利用再分类

Table 2 Reclassification of land use in Zengcheng

实地调查的土地利用类型 Land use types based on investigation	土地利用类型再分类 Land use types reclassification
有林地、灌木林地、其他林地	林地
河流、滩涂、坑塘、水库、沟渠	水体
旱地、果园、田坎、茶园、水浇地、水田、设施农用地、其他园地	农用地
草地	草地
裸地	裸地
城市建设用地、镇建设用地、村建设用地、特殊用地、采矿用地	建设用地
公路用地、乡道、铁路用地、机场用地、港口码头用地、	交用地

## 2.3 生态资产价值核算方法

### 2.3.1 自然资源价值核算

#### (1) 林地资源价值

林地的自然资源价值包括林木、林木用地和经济林产品的价值。其中,林木价值通过收益方式的估价方法,立木价值法(立木蓄积量和立木价格的乘积)进行计算<sup>[29]</sup>;林木用地价值和经济林产品价值采用市场价值法进行计算<sup>[30]</sup>,其中增城区的林木用地类型包括有林地(用材林、防护林、特用林、经济林)、疏林地、灌木林地、未成林地和苗圃地五大类。

#### (2) 水体资源价值

水体的自然资源价值水资源本身的价值和水产品的价值。水资源本身的价值主要采用能值分析法进行

计算<sup>[31]</sup>,能值货币比采用广州地区 2013 年的值  $2.89 \times 10^{12} \text{J/美元}$ <sup>[32]</sup>;人民币汇率取 2013 年平均汇率 6.19 元/美元,水产品的价值则通过市场价值法进行计算。

### (3) 农用地资源价值

农用地自然资源主要包括农作物产品和秸秆两部分。其中,农作物产品的价值采用市场价值法来计算;而增城区秸秆价值主要包括秸秆肥料化和秸秆饲料化这两种价值,其中秸秆肥料化比例占 70%,其利用率为 90%,秸秆肥料化的价值包括节约的化肥购置费用和还田带来的作物增产收益;剩余 30%秸秆用于饲料化,秸秆饲料化的价值主要包括节约的饲料资源和带来的牲畜增产,其中秸秆转化为牲畜肉重的效率为 7%。本研究中各类作物的秸秆系数主要参考相近地区以及全国的平均数据<sup>[33-34]</sup>(表 3)。

表 3 增城区各类农作物秸秆系数  
Table 3 The straw coefficient of crops in Zengcheng

作物种类 Crop types	稻谷 Rice	小麦 Wheat	玉米 Corn	其他谷类 Other grains	豆类 Beans	薯类 Tubers	棉花 Cotton	甘蔗 Sugarcane
秸秆系数 Straw coefficients	1.00	1.17	1.04	1.60	1.60	0.57	3.00	0.43
作物种类 Crop types	花生 Peanut	油菜籽 Rapeseed	芝麻 Sesame	其他油 科作物 Other oilseed crops	黄麻 Jute	其他麻类 Other hemp crops	烟叶 Tobacco	甜菜 Beet
秸秆系数 Straw coefficients	1.14	2.87	2.01	2.00	1.90	1.70	0.71	0.43

### (4) 草地资源价值

草地自然资源价值主要是以 NDVI 指数为基础数据,通过遥感预测模型估算出生物量,从而获得其价值<sup>[35]</sup>。

## 2.3.2 生态服务价值核算

### (1) 气体调节价值

基于改进的光能利用率 CASA 模型<sup>[36-37]</sup>,计算各类生态系统的净初级生产力(NPP)。然后根据光合作用和呼吸作用的反应方程式,以 NPP 为基础计算气体调节价值。其中,植被的最大光能利用率参考朱文泉<sup>[38]</sup>提出的参数;碳税率价格,采用瑞典碳税率 1200 元/t;工业制氧价格取 1000 元/t。

### (2) 生产有机物质价值

NPP 表示植物在某一时间段所生产的有机物质总量,其价值即为生产有机物的价值。本研究根据实际调研,有机质价格为 600 元/t。

### (3) 积累营养物质价值

以 NPP 为基础,根据各生态系统中 N、P、K 的质量分配率来计算积累营养物质价值<sup>[5]</sup>。其中,不同生态系统中 i 元素在有机质中的分配率取值参考《中国生物多样性国情研究报告》<sup>[39]</sup>;根据实际调研,N、P、K 化肥的价格分别为 800、700、700 元/t,纯 N、P、K 元素在化肥中的含量分别取值为 79/14、506/62 和 174/78。

### (4) 涵养水源价值

涵养水源价值包括调节水量和净化水质两部分,依据水库工程的蓄水成本来计算每年的调节水量价值。净化水质的价值则依据自来水净化原来,参考居民用水价格来进行计算<sup>[3]</sup>。根据实地调研,增城区单位库容投资为 6.11 元/m<sup>3</sup>;水的净化费用取值为 1.98 元/t;

### (5) 保育土壤价值

主要包括固定土壤和保持肥力两个方面,固定土壤价值通过土壤保持量作为实物量进行核算,保持肥力则包含 N、P、K 肥的保持。计算过程中,增城区挖取和运输单位体积土方所需费用为 12.6 元/m<sup>3</sup>;土壤中 N、

P、K 元素的含量分别为 1.19,55.83 mg/kg 和 82.36 mg/kg;土壤有机质含量取值为 23.69 g/kg;潜在土壤侵蚀量和现实土壤侵蚀采用通用土壤流失方程来进行计算<sup>[40]</sup>。

(6)其他生态服务类型价值

通过不同土地利用类型单位面积的价值量,乘以相应的土地利用类型面积,计算得到生态服务类型的价值。参考全国<sup>[20,41]</sup>和增城临近地区的已有研究<sup>[42]</sup>,并结合实际调研,最终确定单位面积价值(表 4)。

表 4 不同土地利用类型单位面积生态系统服务价值/(元 hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)

Table 4 The values of unit area ecological service for different land use types

生态系统服务 Ecosystem services	林地 Forest	水体 Water bodies	农用地 Farmland	草地 Grassland	裸地 Bare areas	建设用地 Buildings	交通用地 Traffic land
生物多样性保护 Biodiversity protection	4182.7	2872.3	1256.4	1398.5	300.8	0	0
废弃物处理 Waste treatment	1680.8	20971.1	2902.9	1511.2	8.8	0	0
休闲娱乐及文化价值 Recreation and culture value	25258.1	85639.9	196.2	789.5	107.8	5400.5	0

3 研究结果与分析

3.1 增城区土地利用变化

从空间分布来看(图 2),2003—2013 年增城区北部均以林地和农用地为主,中东部为增城中心城区的建设用地,中部其他区域以农用地为主。西南部与广州市中心城区临近,城市化水平较高,土地利用类型以建设用地和交通用地为主。

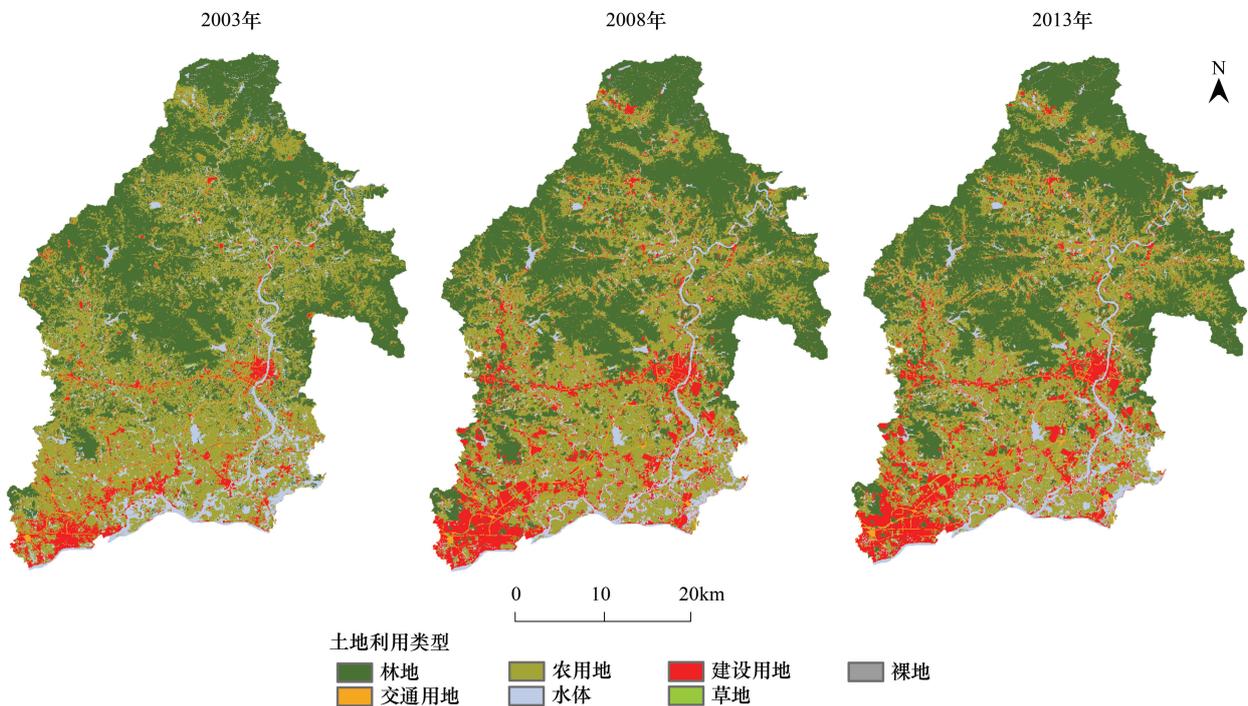


图 2 增城区 2003—2013 年土地利用图

Fig.2 Land use map in Zengcheng from 2003 to 2013

表 5 为增城区 2003—2013 年各类土地利用的面积及所占比例情况,10 年间建设用地和交通用地面积增加幅度最大,但截止到 2013 年,林地和农用地仍是最主要的用地类型,其占总面积的比例分别为 40.7%和 35.3%。其次为建设用地、水体和交通用地,分别为 11.8%,8.7%和 3.2%;所占面积比例最小的土地利用类型

是草地和裸地,分别为 0.4%和 0.02%。10 年间,增城区林地面积增加幅度很小,仅为 0.9%;且由于城市化的迅速扩张,建设用地和交通用地增加幅度较大,分别为 99.7%和 123.7%;而水体、农用地和裸地 3 种土地利用类型的面积均减小,尤其是农用地减小最多,降低了 17.7%,主要是由于城市化过程中大量农田被不断占用。

表 5 2003—2013 年增城区各个土地利用类型面积

Table 5 The area of each land use type in Zengcheng from 2003 to 2013

土地利用类型 Land use types	2003 年/km <sup>2</sup> Area in 2003	占整个区域 的比例/% Percentage accounted for entire area	2008 年/km <sup>2</sup> Area in 2008	占整个区域 的比例/% Percentage accounted for entire area	2013 年/km <sup>2</sup> Area in 2013	占整个区域 的比例/% Percentage accounted for entire area	2003—2013 年变化	
							总面积/km <sup>2</sup> Total area	比例/% Percentage
林地 Forest	651.1	40.3	654.1	40.5	657.3	40.7	6.1	0.9
水体 Water bodies	147.4	9.1	127.7	7.9	140.3	8.7	-7.1	-4.9
农用地 Farmland	692.5	42.9	601.9	37.3	570.2	35.3	-122.3	-17.7
草地 Grassland	4.1	0.3	2.2	0.1	6.3	0.4	2.2	54.3
裸地 Bare areas	2.6	0.2	1.8	0.1	0.2	0.02	-2.3	-90.7
建设用地 Buildings	95.4	5.9	189.0	11.8	190.5	11.8	95.1	99.7
交通用地 Traffic land	21.7	1.4	38.3	2.4	51.2	3.2	28.3	123.7

### 3.2 增城区生态资产价值动态评估

经测算,增城区 10 年间生态资产总值呈上升趋势,各类自然资源价值均增加,但各项生态服务价值却均为下降趋势。2003、2008 和 2013 年的生态资产总值分别为 286.4、287.9 亿元和 330.6 亿元。就各单项生态资产价值而言,10 年间林地资源价值在生态资产中所占的平均比例最大,为 34%;其次为农用地资源价值和土壤保育价值,平均分别约占 13%和 12%;积累营养物质价值平均所占比例最小,约为 1%。就 10 年间各项生态资产动态变化而言,农用地和草地资源价值增加幅度最大,超过 50%;气体调节、有机物质生产、土壤保育和废弃物处理价值这几项生态服务价值减少幅度较大,超过 5%。因此,增城区在今后的发展中应特别注重气体调节、有机物质生产、土壤保育和废弃物处理这 4 类生态资产的保护和提升(图 3)。

#### 3.2.1 增城区自然资源价值动态评估

2003—2013 年,各项自然资源价值均增加,尤其是农用地资源价值增加幅度最大。其中,林地资源价值的增加主要主要归因于林木价值的增加;水体资源价值中,虽然水产品价值提升,但水资源本身价值却减小;农用地资源价值的增加则主要归因于农作物产品价值的增加。

##### (1) 林地资源价值

增城区 2003、2008 和 2013 年林地资源价值分别为 101.93、104.68、104.32 亿元,增加了 2.3%。其中,林木价值从 3.72 亿元增加到 6.01 亿元,增加了 61.6%,主要是由林木种类的改变引起的;林木用地方面,虽然 10

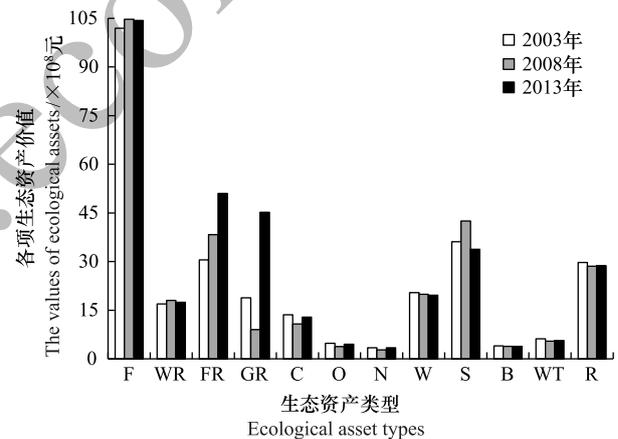


图 3 2003—2013 年增城区各项生态资产价值

Fig. 3 The values of ecological assets in Zengcheng from 2003 to 2013

F: 林地资源 Forest resource; WR: 水体资源 Water Resource; FR: 农用地资源价值 Farmland Resource; GR: 草地资源价值 Grassland Resource; C: 气体调节 Climate regulation; O: 有机物质生产 Organic matter production; N: 积累营养物质 Nutrition matter accumulation; W: 涵养水源 Water conservation; S: 土壤保育 Soil formation and protection; B: 生物多样性保护 Biodiversity protection; WT: 废弃物处理 Waste Treatment; R: 娱乐及文化价值 Recreation and culture value

年间各类林地所占比例有所变化,但其林木用地总价值几乎不变;经济林产品价值 10 年间变化幅度较小,增加了 1.5%。

### (2) 水体资源价值

增城区 2003、2008 和 2013 年水体资源价值分别为 16.98、18.06、17.48 亿元,增加了 2.9%。其中,水产品的价值从 3.12 亿元增加到 6.01 亿元,但由于地表水量和地下水量的减少,水资源本身价值减少了 17.2% (表 6)。

表 6 增城区水资源量及其价值分析

Table 6 Analysis on water resource and its value in Zengcheng

年份 Year	地表水量/万 m <sup>3</sup> The amount of surface water	地表水价值/亿元 The value of surface water	地下水量/万 m <sup>3</sup> The amount of groundwater	地下水价值/亿元 The value of groundwater	水资源价值/亿元 The value of water resources
2003	214988	6.23	53747	7.63	13.86
2008	228595	6.63	41147	5.84	12.47
2013	205600	5.96	38800	5.51	11.47

### (3) 农用地资源价值

增城区 2003、2008 和 2013 年农用地资源价值分别为 30.52、38.31 和 51.05 亿元,增加了 67.3%。其中,农作物产品的价值从 29.22 亿元增加到 49.95 亿元,增加了 70.9%,主要是由于技术水平的提升,单位面积的农产品产量增加;农作物秸秆价值则增加了 15.4% (表 7)。

表 7 增城区农作物秸秆价值分析

Table 7 Analysis on crop straw resource value in Zengcheng

年份 Year	秸秆肥料化价值/亿元 The value of straw fertilizer	秸秆饲料化价值/亿元 The value of straw feed	秸秆总价值/亿元 The total value of straw
2003	0.44	0.86	1.30
2008	0.34	0.66	1.01
2013	3.71	7.31	1.10

### (4) 草地资源价值

增城区 2003、2008 和 2013 年草地资源价值分别为 18.82、9.06、45.22 亿元,增加了 140.3%。主要是由于城市化过程中,居住小区及公园等公共场所数量增加,相应的草地面积也随着增加。

## 3.2.2 增城区生态服务价值动态评估

2003—2013 年,增城区的各项生态服务价值均减小,气体调节、有机物质生产、土壤保育和废弃物处理这 4 项服务价值下降幅度相对较大。空间分布上,气体调节、生产有机物质和积累营养物质这三项生态服务均在北部和东西部地区单位面积价值较高;涵养水源和保育土壤这两项生态服务则在北部地区单位面积价值较高。

### (1) 气体调节价值

增城区 2003、2008 和 2013 年气体调节价值分别为 13.64、10.78、12.91 亿元,10 年间减小了 5.4%,单位面积最高价值则分别为 21453、19808、19862 元/hm<sup>2</sup>。由图 4 可以看出,北部和东西部地区单位面积气体调节价值较高,主要是由于这些区域的土地覆被类型多为森林、草地和农田,其净初级生产力高于其他几种生态系统类型。中东部和南部地区单位气体调节价值偏低,其主要土地利用类型为水体、交通用地和建设用地,净初级生产力较低。

### (2) 生产有机物质价值

增城区 2003、2008 和 2013 年生产有机物质价值分别为 4.75、3.75、4.49 亿元,10 年间减小了 5.5%,单位面

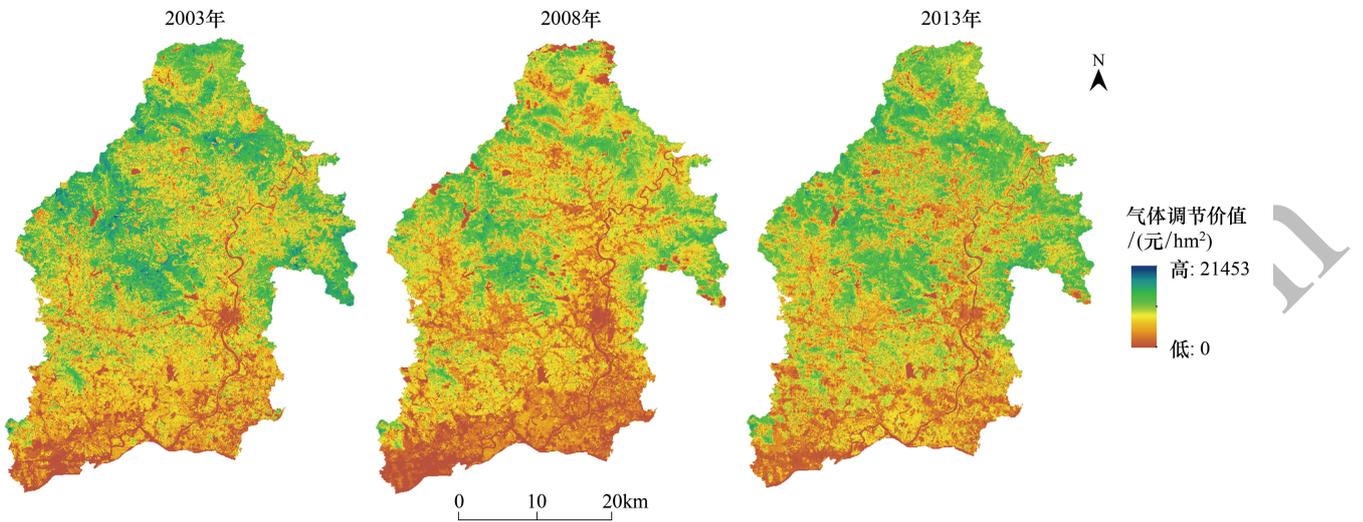


图 4 增城区气体调节价值空间分布图

Fig.4 The spatial distribution of the values for climate regulation in Zengcheng

积最高价值分别为 7469、6896 元/hm<sup>2</sup> 和 6763 元/hm<sup>2</sup>。由图 5 可以看出,空间上的分布规律与气体调节类似,北部和东西部地区由于林地、草地和农田分布较广,单位面积生产有机物质价值较高。中东部和南部地区多为水体、交通用地和建设用地,单位面积生产有机物质价值偏低。

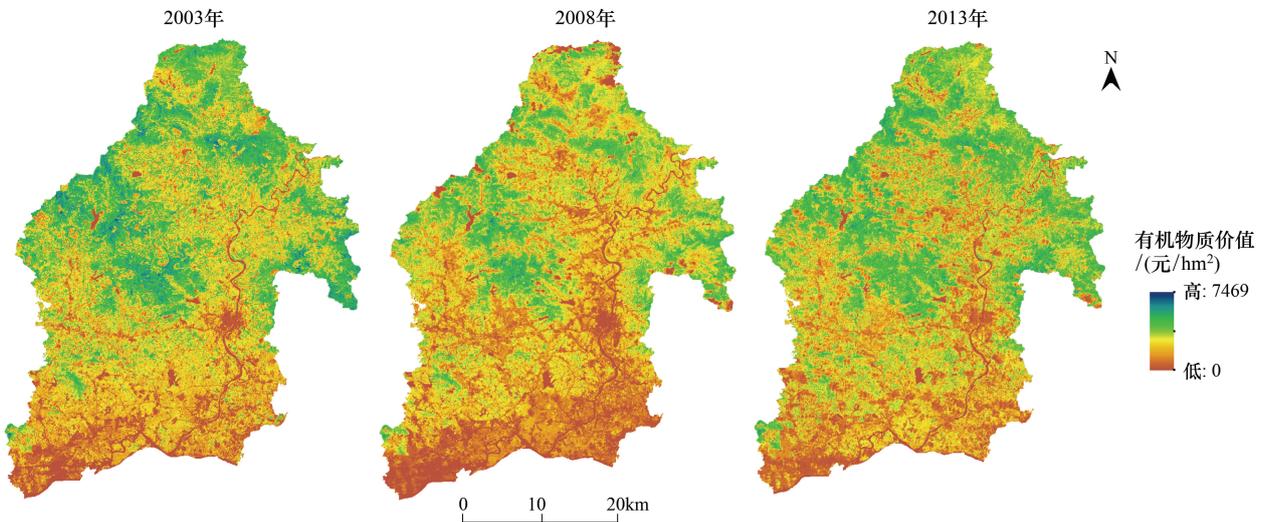


图 5 增城区生产有机质价值空间分布图

Fig.5 The spatial distribution of the values for organic matter production in Zengcheng

(3) 积累营养物质价值

增城区 2003、2008 和 2013 年积累营养物质价值分别为 3.44、2.77、3.39 亿元,10 年间减小了 1.5%,单位面积最高价值逐渐减小,分别为 7277、6640 元/hm<sup>2</sup> 和 6534 元/hm<sup>2</sup>。由图 6 可以看出,北部和中部地区由于农用地分布广泛,单位面积积累的氮、磷等营养物质价值最高。西南部、中东部和北部地区的交通用地、水体和裸地,单位面积积累营养物质价值偏低。

(4) 涵养水源价值

图 7 显示了增城区 2003、2008 和 2013 年涵养水源价值空间分布,其总价值分别为 20.36、19.90、19.61 亿元,10 年间减小了 3.7%。林地由于土壤孔隙率和土壤深度值较高,单位面积降水贮水量较高,因此单位面积

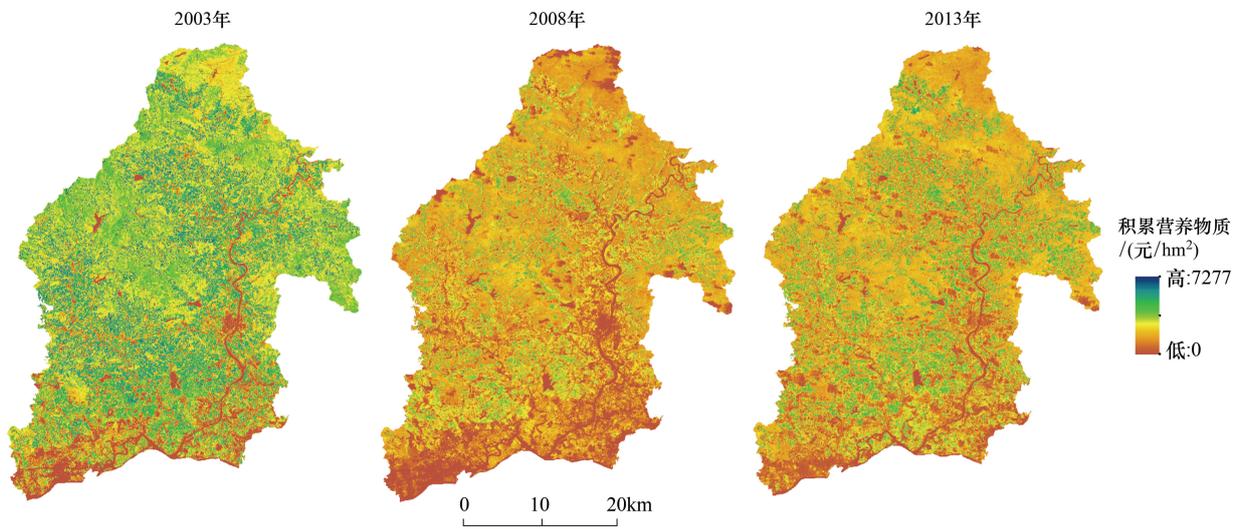


图 6 增城区积累营养物质价值空间分布图

Fig.6 The spatial distribution of the values for nutrition matter accumulation in Zengcheng

涵养水源价值最高,为 17474 元/hm<sup>2</sup>。之后依次为水体、草地和农田,其单位面积涵养水源价值分别为 15149、13005 元/hm<sup>2</sup> 和 9324 元/hm<sup>2</sup>。裸地、建设用地和交通用地的单位面积涵养水源价值最低。

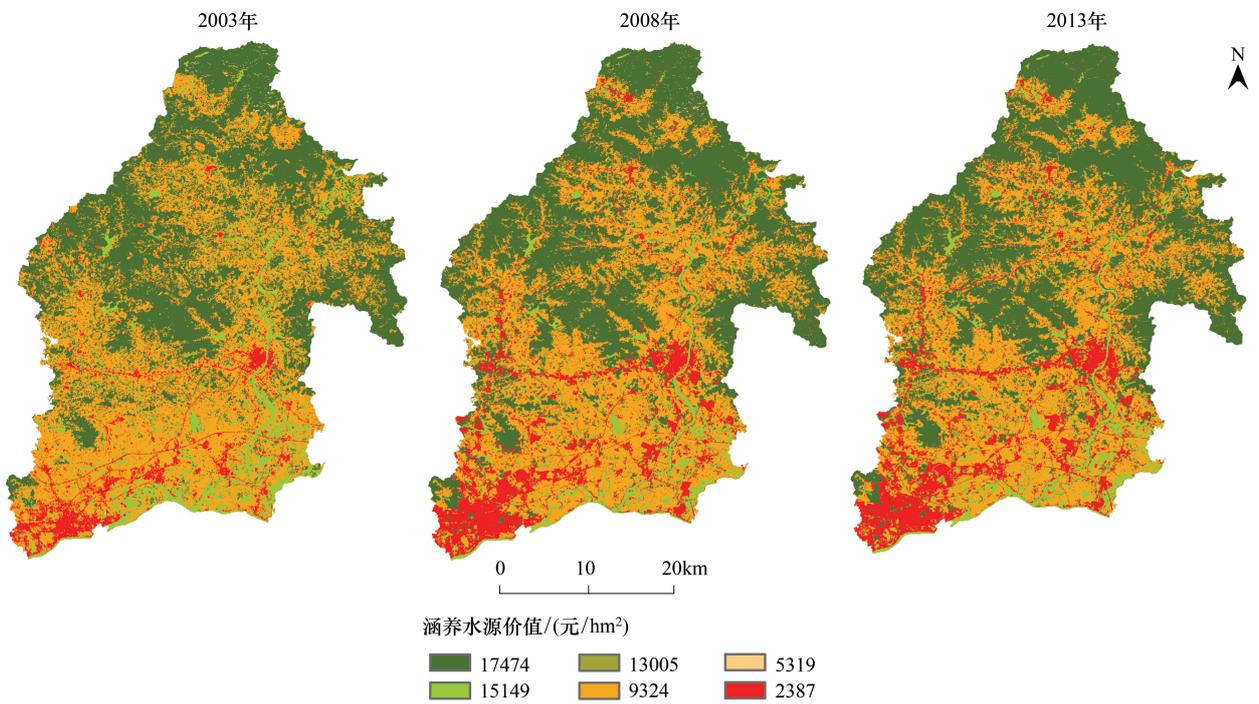


图 7 增城区涵养水源价值空间分布图

Fig.7 The spatial distribution of the values for water conservation in Zengcheng

(5) 保育土壤价值

增城区 2003、2008 和 2013 年保育土壤价值分别为 36.05、42.51、33.79 亿元,10 年间减小了 6.3%,单位面积最高价值则分别为 216970、267777 元/hm<sup>2</sup> 和 213345 元/hm<sup>2</sup>。由图 8 可以看出,北部地区林地的植被覆盖度高,土壤保持量大,单位面积保育土壤价值最高。其次为农用地,单位面积保育土壤价值也相对较高,而中部和南部地区由于建设用地和交通用地所占比例较大,其单位面积保育土壤价值均很低。

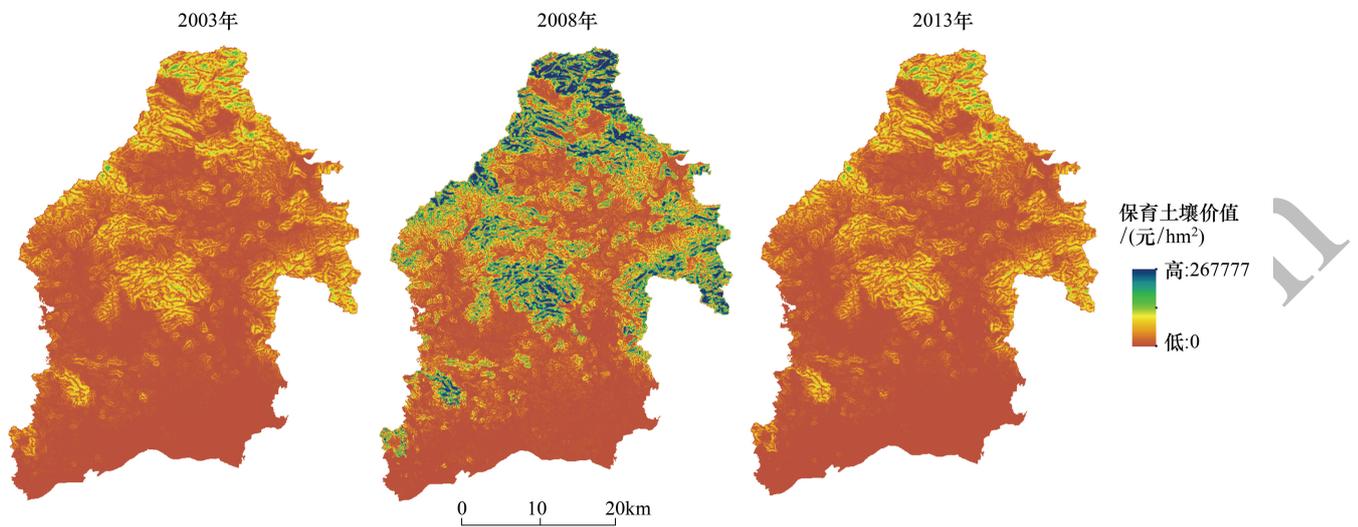


图8 增城区保育土壤价值空间分布图

Fig.8 The spatial distribution of the values for soil formation and protection in Zengcheng

#### (6) 其他生态服务类型价值

10年间,增城区生物多样性保护、废弃物处理和休闲娱乐及文化这3类生态资产价值均呈减小趋势。2003、2008和2013年生物多样性保护价值分别为4.02、3.86、3.88亿元,10年间减小了3.5%。废弃物处理价值分别为6.02、5.53、5.71亿元,减小了5.3%。休闲娱乐及文化价值则分别为29.72、28.61、28.73亿元,减小了3.3%。生物多样性保护价值方面,林地单位面积价值最高;废弃物处理价值和休闲娱乐及文化价值而言,水体的单位面积价值均为最高。对于交通用地,这3种生态资产的单位面积价值在所有土地利用类型中均为最低。

## 4 讨论

### 4.1 管理对策

基于增城区的生态资产动态评估结果,本研究提出了以下的生态资产管理对策:

#### (1) 自然资源管理

10年间,增城区各类自然资源价值均增加,尤其是农用地和水体资源价值增加幅度较大,这主要是由于技术水平的提高,单位面积农产品和水产品的产量明显提升。但是增城区的水资源量,尤其是地下水资源量却明显减少,因此在今后的发展过程中应降低水资源的消耗和浪费,提高水资源利用效率。2003—2013年,增城区自然资源价值占生态资产价值的比例约为62%,自然资源价值的重要地位显而易见,因此在生态资产保育过程中不应忽略自然资源的管理,应对自然资源与生态服务实行同步管理。在增城区具体的自然资源管理过程中,应全面掌握自然资源的基本数据与信息,建立包含多样化、多层次的自然资源所有权体系,并对其进行适应性管理。

#### (2) 生态服务监管

10年间,增城区气体调节、有机物质生产、土壤保育和废弃物处理的价值下降最多,由于林地的这4项生态服务单位面积价值相对于其他用地类型较高,因此应尽量增加林地面积比例,丰富林种类型、调整林地结构,提升单位面积林地生态服务价值,控制建设用地和交通用地的扩张速度。在增城区生态系统服务管理过程中首先需注重多种生态服务的权衡,例如施肥会使有机物质生产、积累营养物质增加,但却会导致水质下降,使水体的生态服务受损;其次应该对增城区进行生态系统服务保护区规划,依据生态功能区的主导功能和保护目标实施相应的保护措施<sup>[43]</sup>。

### (3) 生态资产保育

生态资产是社会经济发展和 GDP 增长的基础,增城区在 10 年间生态资产价值增加了 15%,但其相对于 GDP 所占的比例却由 102% 下降到 33%,因此在发展经济的同时,要注重生态资产的保育。首先,应定期评估生态资产,及时、准确、动态地掌握增城区的生态资产价值,为决策者提供重要参考;另外,应注重生态资产的价值提升,通过转为生态资本来实现其价值。增城区林地资源丰富,可将有经济价值的林种进行深度开发转为生态产品,并通过获得的经济利益带动生态资产的保护,形成良性循环。对于水域的治理可通过间接利用的途径,对生态资产共生功能进行开发,以开发收益反哺生态建设。最后,为了确保增城区生态资产的可持续发展<sup>[44]</sup>,应建立统一的生态资产监管机构,其主要职能是建立增城区生态资产核算账户及数据库,对生态资产的保护利用情况进行全面统计;进行生态资产监管与审计<sup>[45]</sup>,编制生态资产负债表;制定并实施与增城区生态资产相关的规划、政策并进行统筹管理。

### (4) 实施生态补偿

应提高生态补偿的实施效率,切实让民众得到补偿和收益。对于增城区,生态补偿的主要土地利用类型应为林地和水面,补偿客体是北部的自然资源和生态服务供给地区,补偿主体是政府以及南部城市化水平高的资源和服务输入地区。具体的补偿途径可包括政策补偿、资金补偿、技术服务补偿和人才补偿等。其中,资金补偿的标准可依据当地的土地租金<sup>[46]</sup>或者实施生态建设与保护工程措施前后的居民经济收入差异来进行估算。最后,应完善生态补偿组织管理体系,对生态补偿的效果进行定期综合评估<sup>[47]</sup>。

## 4.2 不足与展望

本研究基于生态资产内涵,构建了比较全面的价值评估指标体系,但核算方法仍存在不足之处,部分核算参数由于不可获得,仅采用全国平均值或临近地区的值进行替代,另外部分类型的生态服务价值采用单位面积法进行核算,其最终价值可能无法准确的体现真实的生态资产价值。因此,今后的研究应针对各项生态资产类型构建统一的核算方法体系,以便于结果的加和与比较。目前我国的生态资产评估仍旧缺乏明晰的技术规范,本研究的生态资产指标体系、核算流程与生态资产管理建议不仅对增城区的自然资源资产负债表编制和生态资产管理有重要的指导意义,也为区域生态资产评估技术规范的建立提供了良好的参考案例。

## 5 结论

总的来说,由于城市化的快速发展,2003—2013 年广州市增城区建设用地和交通用地面积大幅增加。截止到 2013 年,增城区生态资产总值为 330.6 亿元,仅相当于当年该区域 GDP 的 33%,其中自然资源价值所占的比例高于生态服务价值。10 年间,生态资产总值呈增加趋势,且各类自然资源价值均增加,尤其是农用地和草地资源价值增加幅度最大;但是各项生态服务价值却均减小,其中土壤保育价值减小最为明显。最后基于评估结果,本研究提出了相应的自然资源管理、生态服务监管、生态资产保育和实施生态补偿 4 个方面的管理政策与建议,从而促进城市的全面可持续发展,同时为其他城市化区域的生态资产评估流程及管理政策提供借鉴案例。

### 参考文献 (References):

- [1] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [2] 史培军, 张淑英, 潘耀忠, 王静爱, 洪世奇, 沈培平, 朱文泉, 叶涛. 生态资产与区域可持续发展. 北京师范大学学报: 社会科学版, 2005, (2): 131-137.
- [3] 胡聃, 张艳萍, 文秋霞, 陈超, 刘天星, 王震, 许开鹏. 北京城市生态系统总体资产动态及其与城市发展关系. 生态学报, 2006, 26(7): 2207-2218.
- [4] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 徐卫华, 郑华, 张琰, 肖焱. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [5] 王红岩, 高志海, 李增元, 王琫瑜, 白黎娜, 王志波, 吴俊君. 县级生态资产价值评估——以河北丰宁县为例. 生态学报, 2012, 32(22): 7156-7168.
- [6] 马立新, 覃雪波, 孙楠, 杨国亭. 大小兴安岭生态资产变化格局. 生态学报, 2013, 33(24): 7838-7845.

- [ 7 ] Holdren J P, Ehrlich P R. Human population and the global environment. *American Scientist*, 1974, 62(3): 282-297.
- [ 8 ] Westman W E. How much are nature's services worth? *Science*, 1977, 197(4307): 960-964.
- [ 9 ] 徐昔保, 陈爽, 杨桂山. 长三角地区 1995-2007 年生态资产时空变化. *生态学报*, 2012, 32(24): 7667-7675.
- [ 10 ] 陈明辉, 陈颖彪, 郭冠华, 艾彬. 快速城市化地区生态资产遥感定量评估——以广东省东莞市为例. *自然资源学报*, 2012, 27(4): 601-613.
- [ 11 ] 韩维栋, 高秀梅, 卢昌义, 林鹏. 中国红树林生态系统生态价值评估. *生态科学*, 2000, 19(1): 40-46.
- [ 12 ] 于遵波. 草地生态系统价值评估及其动态模拟[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [ 13 ] Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. 4th ed. Washington D C: Island Press, 1997.
- [ 14 ] Delphin S, Escobedo F J, Abd-Elrahman A, Cropper W P. Urbanization as a land use change driver of forest ecosystem services. *Land Use Policy*, 2016, 54: 188-199.
- [ 15 ] Gómez-Baggethun E, Barton D N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 2013, 86: 235-245.
- [ 16 ] 高吉喜, 范小杉. 生态资产概念、特点与研究趋向. *环境科学研究*, 2007, 20(5): 137-143.
- [ 17 ] 孙洪泉, 邓磊, 蒋卫国, 易文斌. 长江三角洲地区生态资产评估. *资源科学*, 2008, 30(9): 1367-1373.
- [ 18 ] Polasky S, Nelson E, Pennington D, Johnson K A. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the State of Minnesota. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(2): 219-242.
- [ 19 ] Bagstad K J, Semmens D J, Waage S, Winthrop R. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 2013, 5: 27-39.
- [ 20 ] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- [ 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 ] 刘家福, 孙洪泉, 占文凤. 长江三角洲地区生态资产变化驱动力分析. *水土保持研究*, 2013, 20(1): 182-185, 192-192.
- [ 23 ] 朱文泉, 张锦水, 潘耀忠, 阳小琼, 贾斌. 中国陆地生态系统生态资产测量及其动态变化分析. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 586-594.
- [ 24 ] 侯淑涛, 郑绪玲, 邸延顺, 王语檬, 于晓雷. 哈尔滨市生态资产遥感测量评估. *水土保持研究*, 2015, 22(2): 305-309.
- [ 25 ] 张淑英, 陈云浩, 李晓兵, 潘耀忠, 李京, 史培军. 内蒙古生态资产测量及生态建设研究. *资源科学*, 2004, 26(3): 22-28.
- [ 26 ] Tao Y, Li F, Crittenden J C, Lu Z M, Sun X. Environmental impacts of China's urbanization from 2000 to 2010 and management implications. *Environmental Management*, 2016, 57(2): 498-507.
- [ 27 ] Lin Z, Wu C Z, Hong W. Visualization analysis of ecological assets/values research by knowledge mapping. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(5): 142-154.
- [ 28 ] 郭玉川, 何英, 李霞. 基于 MODIS 的干旱区植被覆盖度反演及植被指数优选. *国土资源遥感*, 2011, (2): 115-118.
- [ 29 ] Eurostat, European Commission. *Valuation of European forests: results of IEEAF test application*. Luxembourg: European Commission, 2000.
- [ 30 ] 孟祥江. 中国森林生态系统价值核算框架体系与标准化研究[D]. 北京: 中国林业科学院, 2011.
- [ 31 ] 陈丹, 陈菁, 罗朝晖. 天然水资源价值评估的能值方法及应用. *水利学报*, 2006, 37(10): 1188-1192.
- [ 32 ] 吴玉琴, 杨春林. 基于能值分析的 2006 年广东省社会代谢研究. *地理科学进展*, 2009, 28(4): 546-552.
- [ 33 ] 陈智远, 石东伟, 王恩学, 张正. 农业废弃物资源化利用技术的应用进展. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(12): 112-116.
- [ 34 ] 韦佳培. 资源性农业废弃物的经济价值分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [ 35 ] 王红岩, 高志海, 王琰瑜, 李世明, 白黎娜. 基于 SPOT5 遥感影像丰宁县植被地上生物量估测研究. *遥感技术与应用*, 2010, 25(5): 639-646.
- [ 36 ] Wang H, Li X B, Long H L, Gai Y Q, Wei D D. Monitoring the effects of land use and cover changes on net primary production: A case study in China's Yongding River basin. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(12): 2654-2665.
- [ 37 ] Liu C Y, Dong X F, Liu Y Y. Changes of NPP and their relationship to climate factors based on the transformation of different scales in Gansu, China. *CATENA*, 2015, 125: 190-199.
- [ 38 ] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 413-424.
- [ 39 ] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组. *中国生物多样性国情研究报告*. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [ 40 ] 张照录. 基于 DEM 通用土壤流失方程地形因子的算法设计与优化. *水土保持研究*, 2007, 14(3): 203-205.
- [ 41 ] Zhang Z M, Gao J F, Gao Y N. The influences of land use changes on the value of ecosystem services in Chaohu Lake Basin, China. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 74(1): 385-395.
- [ 42 ] 叶长盛, 董玉祥. 珠江三角洲土地利用变化对生态系统服务价值的影响. *热带地理*, 2010, 30(6): 603-608, 621-621.
- [ 43 ] 郑华, 李屹峰, 欧阳志云, 罗跃初. 生态系统服务功能管理研究进展. *生态学报*, 2013, 33(3): 702-710.
- [ 44 ] Azqueta D, Sotelsek D. Valuing nature: From environmental impacts to natural capital. *Ecological Economics*, 2007, 63(1): 22-30.
- [ 45 ] 蔡春, 毕铭悦. 关于自然资源资产离任审计的理论思考. *审计研究*, 2014, (5): 3-9.
- [ 46 ] 欧阳志云, 郑华, 岳平. 建立我国生态补偿机制的思路与措施. *生态学报*, 2013, 33(3): 686-692.
- [ 47 ] Scullion J, Thomas C W, Vogt K A, Pérez-Maqueo, O, Logsdon, M G. Evaluating the environmental impact of payments for ecosystem services in Coatepec (Mexico) using remote sensing and on-site interviews. *Environmental Conservation*, 2011, 38(4): 426-434.