

# 珠三角生态系统生产总值核算

## (1) 研究背景

随着社会经济的快速发展及工业化进程的不断加快,人类活动对生态环境造成许多负面影响,生态系统的结构和功能也因此受到严重的破坏,甚至影响到人类的生存。国内生产总值(GDP)是一个国家或地区在一定时期内生产活动的最终成果,是我国国民经济核算的核心指标,也是衡量一个国家或者地区经济状况和发展水平的重要指标。基于此,许多区域在追求经济发展的同时容易忽视生态系统对人类社会的贡献,导致一系列生态环境问题的产生。许多国家都在寻求一种比GDP更全面的核算方式,以体现生态系统对人类福祉的贡献。2012年我国学者欧阳志云提出生态系统生产总值(GEP)的概念,将其定义为生态系统为人类提供的最终产品、服务及其价值的总和<sup>[1]</sup>。GEP的核算是将生态系统为人类所做的贡献以经济的形式纳入社会经济发展评价体系,突出了生态环境对人类社会的重要作用。它是一套与GDP相对应、单独的统计与核算体系<sup>[2]</sup>。因此,GEP可以用来评价与分析生态系统对人类经济社会发展的支撑作用和对人类福祉的贡献。

党的十八大以来,“两山论”得到越来越多的重视,“绿水青山就是金山银山”理念充分肯定了生态系统的价值。一方面,良好的生态环境是人类社会永续发展的根基;另一方面,通过发展特色农业、旅游业,开发特色产品,实施生态补偿等方式,可以将生态优势转变为经济优势<sup>[3]</sup>。因此,开展以生态效益为基础的GEP核算,可以考核政府在生态保护、恢复和管理工作中所取得的成效,明确生态环境效益关键区域。GEP核算也是完善市区县考核机制和离任审计的重要科学依据,为估算生态环境为人类福祉和社会经济发展产生的贡献提供了新的手段,为生态效益纳入社会经济发展评估体系提供了科学方法。

本研究以珠三角城市群为研究对象,核算了2020年珠三角地区生态系统带来的人民福祉和支撑社会经济发展的产品、服务及其经济价值总和。基于规范的指标方法体系,量化和分析了珠三角各地区GEP情况,为珠三角城市群生态保护与建设提供依据,也对全国其他地区“绿水青山”转变为“金山银山”起到了重要的示范引领作用。

## (2) 计算方法

根据珠三角城市群生态系统服务功能以及生态系统生产总值含义，本研究采用不同评价方法核算了多种服务功能创造的生态系统生产总值<sup>[4, 5]</sup>，其核算框架如图1所示。

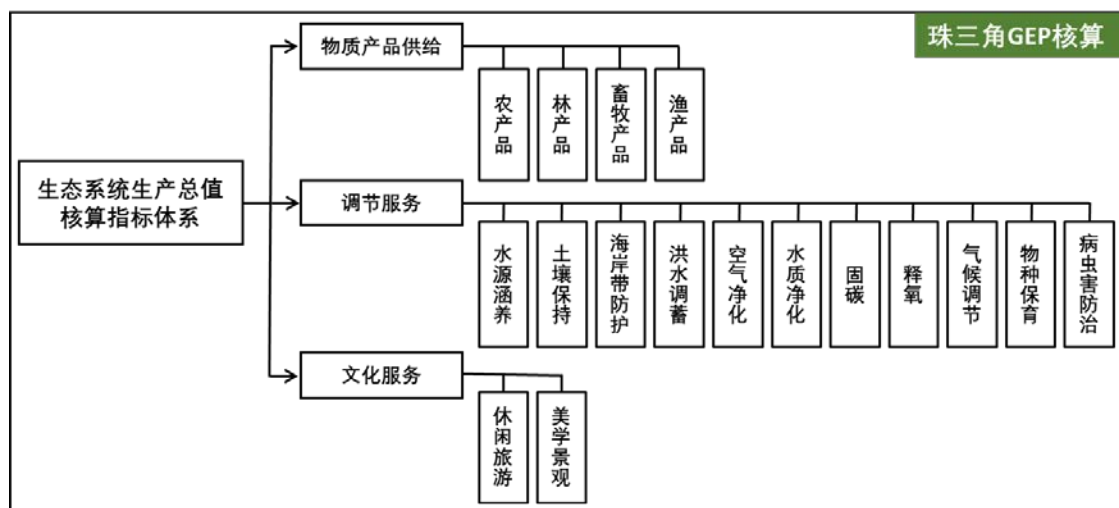


图 1 GEP 核算框架

### (1) 物质产品供给总值

物质产品是指人类从生态系统获取的能够在市场交易的产品，满足人类生产、生活与发展的物质需求。珠三角城市生态系统为人类提供了农产品、林产品、畜牧业产品、水产品等生态产品。因此，采用市场价值法对物质产品供给总值进行评估，公式如下：

$$E_{pro} = \sum_{i=1}^n E_i$$

$$V_{pro} = \sum_{i=1}^n E_i \times p_i$$

式中， $E_{pro}$ 为产品产量（t/a）； $E_i$ 为第*i*种产品的产量（t/a）； $V_{pro}$ 为生态系统物质产品价值（元/a）； $P_i$ 为第*i*类生态系统产品的价格（元/t）；*i*为核算区产品种类， $i = 1, 2, \dots, n$ 。

### (2) 水源涵养功能总值

生态系统通过林冠层、枯落物层和土壤层拦截滞蓄降水，从而有效涵蓄土壤水分和补充地下水。这种涵养水分的行为称为水源涵养功能，其核算方法采用水量平衡法，通过水量平衡方程计算。水量平衡方程是指在一定的时空内，水分在生态系统中保持质量守恒，即生态系统水源涵养量是降水输入与暴雨径流和生态

系统自身水分消耗量的差值。运用影子工程法，即模拟建设蓄水量和生态系统水源涵养量相当的水利设施，以建设该水利设施所需要的成本核算水源涵养值，公式如下：

$$Q_{wr} = \sum_{i=1}^n A_i \times (P_i - R_i - ET_i) \times 10^{-3}$$

$$V_{wr} = Q_{wr} \times p_{wr}$$

式中， $Q_{wr}$  为水源涵养量（ $m^3/a$ ）； $P_i$  为产流降雨量（ $mm/a$ ）； $R_i$  为地表径流量（ $mm/a$ ）； $ET_i$  为蒸散发量（ $mm/a$ ）； $A_i$  为  $i$  类生态系统的面积（ $m^2$ ）； $i$  为生态系统类型； $n$  为生态系统类型总数； $V_{wr}$  为水源涵养价值（元/a）； $p_{wr}$  为水资源交易市场未建立时，以水库建设的工程及维护成本或水资源影子价格（元/ $m^3$ ），水库单位库容的工程造价及维护成本（元/ $m^3$ ）。

### (3) 土壤保持功能总值

土壤保持功能是生态系统通过林冠层、枯落物、根系等各个层次保护土壤、消减降雨侵蚀力，增加土壤抗蚀性，减少土壤流失，保持土壤的功能。选用土壤保持量，即生态系统减少的土壤侵蚀量（用潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量的差值测度）作为生态系统水土保持功能的评价指标。因此，选用修正的通用水土流失方程（RUSLE）计算土壤保持量。生态系统土壤保持价值主要包括减少面源污染和减少泥沙淤积两个方面的价值，因此可运用替代成本法来核算这两方面的价值，公式如下：

$$Q_{sr} = R \times K \times L \times S \times (1 - C \times P)$$

$$V_{sr} = V_{sd} + V_{dpd}$$

$$V_{sd} = \lambda \times (Q_{sr} / \rho) \times c$$

$$V_{dpd} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times C_i \times P_i$$

式中， $Q_{sr}$  为土壤保持量（ $t/a$ ）； $R$  为降雨侵蚀力因子，用多年平均年降雨侵蚀力指数表示； $K$  为土壤可蚀性因子，通常用标准样方上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量来表示； $L$  为坡长因子（无量纲）； $S$  为坡度因子（无量纲）； $C$  为植被覆盖和管理因子（无量纲）； $P$  为水土保持措施因子（无量纲）； $V_{sr}$  为生态系统土壤保持价值（元/a）； $V_{sd}$  为减少泥沙淤积价值（元/a）； $V_{dpd}$  为减少面源污

染价值（元/a）； $c$  为单位水库清淤工程费用（元/m<sup>3</sup>）； $\rho$  为土壤容重（t/m<sup>3</sup>）； $\lambda$  为泥沙淤积系数； $\lambda$  为土壤中氮、磷等营养物质数量， $i=1,2,\dots,n$ ； $C_i$  为土壤中氮、磷等营养物质的纯含量（%）； $P_i$  为处理成本。

#### (4) 海岸带防护功能总值

海岸带防护是指滨海盐沼、红树林、珊瑚礁等生态系统减低海浪，避免或减小海堤或海岸侵蚀的功能。运用替代成本法（即海浪防护工程建设成本）核算滨海盐沼、红树林、珊瑚礁等生态系统防风护堤的价值，公式如下：

$$D_{cl} = \sum_{i=1}^n D_{cli}$$

$$V_{cl} = \sum_{i=1}^n D_{cli} \times C_{cli}$$

式中， $D_{cl}$  为生态系统防风的海岸带总长度（km/a）； $D_{cli}$  为类生态系统防护的海岸带长度（km/a）； $i$  为研究区生态系统类型， $i=1,2,\dots,n$ ，无量纲； $n$  为研究区生态系统类型数量，无量纲； $V_{cl}$  为海岸带防护价值（元/a）； $C_{cli}$  为  $i$  类生态系统海浪防护工程单位长度建设维护成本（元/km）。

#### (5) 洪水调蓄功能总值

洪水调蓄是指湿地生态系统（湖泊、水库、沼泽等）通过吸纳大量的降水和过境水，暂时蓄积洪峰水量，而后缓慢泄出，从而消减并滞后洪峰，以缓解汛期洪峰造成的威胁和损失，是河流生态系统提供的重要调节功能。洪水调蓄能力可通过洪水期滞水量（库塘、湖泊、沼泽）表征，核算公式如下：

$$C_{fm} = C_{rc} + C_{lc} + C_{mc}$$

$$V_{fm} = C_{fm} \times p_{fm}$$

式中， $C_{fm}$  为洪水总调蓄量（m<sup>3</sup>/a）； $C_{rc}$  为库塘洪水调蓄量（m<sup>3</sup>/a）； $C_{lc}$  为湖泊洪水调蓄量（m<sup>3</sup>/a）； $C_{mc}$  为沼泽洪水调蓄量（m<sup>3</sup>/a）； $V_{fm}$  为生态系统洪水调蓄总价值（元/a）； $p_{fm}$  为水库单位库容的工程造价及维护成本（元/m<sup>3</sup>）。

#### (6) 空气净化代谢功能总值

空气净化功能是指生态系统吸收、过滤、阻隔和分解大气污染物（如二氧化碳、氮氧化物、颗粒物等），净化空气污染物，改善大气环境的功能。空气净化功能主要体现在净化污染物和阻滞颗粒物方面。因此生态系统空气净化价值可采

用生态系统自净能力和替代成本法（工业治理大气污染物成本）进行核算，公式如下：

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} A_i$$

$$V_a = \sum_{i=1}^n Q_{api} \times C_i$$

式中， $Q_{ap}$  为生态系统空气净化能力（kg/a）； $Q_{ij}$  为第  $i$  类生态系统第  $j$  种大气污染物的单位面积净化量（kg/km<sup>2</sup>·a）； $i$  为生态系统类型， $i=1,2,\dots,m$ ，无量纲； $j$  为大气污染物类别， $j=1,2,\dots,n$ ，无量纲； $A_i$  第  $i$  类生态系统类型面积（km<sup>2</sup>）； $m$  为生态系统类型的数量，无量纲； $n$  为大气污染物类别的数量，无量纲； $V_a$  为生态系统大气环境净化的价值（元/a）； $Q_{api}$  为第  $i$  种大气污染物的净化量（t/a）； $C_i$  为第  $i$  类大气污染物的治理成本（元/t）。

#### (7) 水质净化功能总值

水质净化功能是指湖泊、河流、沼泽等水域湿地生态系统吸附、降解、转化水体污染物，净化水环境的功能。水质净化功能价值核算主要是利用检测数据，根据水体生态系统中污染物构成和浓度变化，选取适当的指标对其进行定量化核算。常用的指标包括氨氮、COD、总氮、总磷以及部分重金属等。根据我国《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中对水环境质量应控制的项目和限值的规定，采用替代成本法评估水质净化功能和价值，公式如下：

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} \times A_i$$

$$V_w = \sum_{i=1}^n Q_{wpi} \times C_i$$

式中， $Q_{wp}$  为污染物净化总量（kg）； $P_{ij}$  为某种生态系统单位面积污染物净化量（kg/km<sup>2</sup>）； $A_i$  为生态系统面积（km<sup>2</sup>）； $i$  为生态系统类型， $i=1,2,\dots,m$ ，无量纲； $j$  为水体污染物类别， $j=1,2,\dots,n$ ，无量纲； $V_w$  为生态系统水质净化的价值（元/a）； $C_i$  为第  $i$  类水体污染物的治理成本（元/t）。

#### (8) 碳固定功能总值

生态系统固碳功能是指自然生态系统吸收大气中二氧化碳合成有机质，将碳固定在植物或者土壤中的功能。该功能有利于降低大气中二氧化碳浓度，减缓温室效应。生态系统的固碳功能对降低减排压力具有重要意义。因此选用二氧化碳

量作为生态系统固碳功能的评价指标。根据数据可得性选择固碳速率法，公式如下：

$$Q_{cf} = \frac{M_{CO_2}}{M_C} \times (FCS + GSCS + WCS + CSCS)$$

$$V_{cf} = Q_{cf} \times p_c$$

式中， $Q_{cf}$  为生态系统二氧化碳总固定值（tCO<sub>2</sub>/a）； $FCS$  为森林（及灌丛）固碳量（tC/a）； $GSCS$  为草地固碳量（tC/a）； $WCS$  为湿地固碳量（tC/a）； $CSCS$  为农田固碳量（tC/a）； $V_{cf}$  为生态系统固碳总价值（元/a）； $p_c$  碳价格（元/t）； $M_{CO_2} / M_C = 44 / 12$ ，为 C 转化为 CO<sub>2</sub> 的系数。

#### (9) 释氧功能总值

生态系统的释氧功能指植物在光合作用过程中，释放出氧气的功能。这种功能对于维护大气中氧气的稳定，改善人居环境具有重要意义，因此选用释氧量作为生态系统释氧功能的平均指标。根据光合作用化学方程式可知。植物每吸收 1ml 二氧化碳，就会释放 1mol 氧气，因此生态系统释放的氧气的质量可以得：

$$Q_{op} = \frac{M_{O_2}}{M_{CO_2}} \times Q_{cf}$$

$$V_{op} = Q_{op} \times p_o$$

式中， $Q_{op}$  为生态系统释氧量（tO<sub>2</sub>/a）； $Q_{cf}$  为生态系统二氧化碳固定量（tCO<sub>2</sub>/a）； $p_o$  为工业制氧价格（tO<sub>2</sub>/a）； $M_{O_2} / M_{CO_2} = 32 / 44$  为二氧化碳转化为氧气的系数。

#### (10) 气候调节功能总值

生态系统气候调节功能是指生态系统通过植被蒸腾作用、水面蒸发过程吸收太阳能，降低气温、增加空气湿度，改善人居环境舒适程度的生态功能。采用生态系统蒸腾蒸发总消耗的能量作为气候调节的食物量，公式如下：

$$E_{tt} = E_{pt} + E_{we}$$

$$E_{pt} = \frac{\sum_{i=1}^3 EPP_i \times S_i \times D \times 10^6}{3600 \times r}$$

$$E_{we} = \frac{E_w \times q \times 10^3}{3600} + E_w \times y$$

式中， $E_{te}$  为生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量（kwh/a）； $E_{pt}$  为生态系统植被蒸腾消耗的能量（kwh/a）； $E_{we}$  为湿地生态系统蒸发消耗的能量（kwh/a）； $EPP_i$  为类生态系统单位面积蒸腾消耗热量（ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ）； $S_i$  为  $i$  类生态系统面积（ $\text{km}^2$ ）； $D$  为日最高气温大于  $26^\circ\text{C}$  天数（d）； $r$  为空调能效比； $i$  为生态系统类型（森林、灌丛、草地）； $E_w$  为蒸发量（ $\text{m}^3$ ）； $q$  挥发潜热，即蒸发 1 克水所需要的热量（J/g）； $y$  为加湿器将  $1 \text{ m}^3$  水转化为蒸汽的耗电量（kwh），仅计算湿度小于 45% 时的增湿功能。

#### (11) 物种保育功能总值

物种多样性是生物多样性最主要的结构和功能单位，可以为生态系统演替与生物进化提供必须的物种与遗传资源，是人类生存和发展的基础。物种保育服务是指生态系统为珍稀濒危动植物物种提供生存与繁衍的场所，从而对其起到保育作用的作用和价值。物种保育功能价值采用保护区保护法和单位面积保育成本核算其价值量，公式如下：

$$G_{biop} = S$$

$$V_{biop} = G_{biop} \times S_c$$

式中， $G_{biop}$  为物种保育的实物量； $S$  为自然保护区面积； $V_{biop}$  为物种保育价值（元/a）； $S_c$  为自然保护区单位面积保育成本（元/ha·a<sup>-1</sup>）。

#### (12) 病虫害防治功能总值

生态系统的病虫害控制功能是指由于自然植物群落减少的前提下实现病虫害控制的能力。病虫害主要发生在农业和林业，除开人工防治外，发生病虫害的区域主要依靠生态系统的病虫害控制而达到自愈。因此，生态系统病虫害控制功能是可以自愈面积来表征，病虫害的控制价值可以通过发生病虫害的自愈面积及防治成本进行计算，公式如下：

$$Q_f = (\gamma_1 - \gamma_2) \times FS$$

$$V_f = Q_f \times P_f$$

式中,  $Q_f$  为森林病虫害自愈面积 ( $\text{km}^2/\text{a}$ );  $\gamma_1$  为人工林病虫害发生率 (%);  $\gamma_2$  为天然林病虫害发生率 (%);  $FS$  为天然林面积 ( $\text{km}^2$ );  $V_f$  为森林病虫害控制价值 (元/a);  $P_f$  为单位面积森林病虫害防治费用 (元/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ )。

### (13) 休闲旅游功能总值

人类通过精神感受、知识获取、休闲娱乐和美学体验从生态系统中获得的非物质惠意。因此, 采用区域内自然景观的年旅游总人数作为文化服务的实物量评价指标, 运用旅行费用法核算休闲旅游功能价值, 公式如下:

$$N_t = \sum_{i=1}^n N_{ti}$$

$$V_r = \sum_{j=1}^J N_j \times TC_j$$

$$TC_j = T_j \times W_j + C_j$$

$$C_j = C_{tc,j} + C_{lf,j} + C_{ef,j}$$

式中,  $N_t$  为游客总人数;  $N_{ti}$  为第  $i$  个旅游去的人数;  $n$  为旅游区个数,  $i=1,2,\dots,n$ ;  $V_r$  为被核算地点的休闲旅游价值 (元/a);  $N_j$  表示  $j$  地区到核算地区旅游的总人数 (人/a);  $j=1,2,\dots,J$  表示到被和核算地点旅游的游客所在区域 (区域按距离核算地点的距离画同心圆, 如省内、省外等);  $TC_j$  为来自  $j$  地的旅客的平均旅行成本 (元/人);  $T_j$  为来自  $j$  地的旅客用于旅途和核算旅游地点的平均时间 (天/人);  $W_j$  为来自  $j$  地的旅客的当地平均工资 (元/(人·天));  $C_j$  为来自  $j$  地的旅客花费的平均直接旅行费用 (元/人), 其中包括游客从  $j$  地到核算区域的交通费用  $C_{tc,j}$  (元/人)、食宿花费  $C_{lf,j}$  (元/人) 和门票费用  $C_{ef,j}$  (元/人)。

### (14) 美学景观功能总值

生态系统的美学景观价值是指森林、湖泊、河流、海洋等生态系统可以为周边的人群提供美学体验、精神愉悦的功能, 从而提高周边土地、房产价值。因此, 采用能直接从自然生态系统获得景观价值的土地与居住小区房产面积作为景观价值实物量和享乐价值法核算美学景观功能价值, 公式如下:

$$A_t = \sum_{i=1}^n A_{ti}$$



$$V_a = A_a \times P_a$$

式中， $A_i$  为从自然生态系统景观获得升值的土地与居住小区房产总面积 ( $\text{km}^2/\text{a}$ )； $A_{ii}$  为第  $i$  区的房产面积 ( $\text{km}^2$ )， $i=1,2,\dots,n$ ； $V_a$  为景观价值 (元/a)； $A_a$  为受益总面积 ( $\text{km}^2$ )； $P_a$  为由生态系统带来的单位面积溢价 (元/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ )。

### (3) 结果分析

本研究通过对珠三角各种服务功能指标的确定与计算分析，得到了珠三角 GEP 的总体特征和空间分布特征，并针对珠三角生态系统产品供给价值、调节价值与文化价值等进行详细分析，从而为评价珠三角生态资源提供重要数据与支持。

#### (1) 物质产品供给生产总值

通过表 1 可知，2020 年珠三角生态系统产品供给服务的总价值为 2308.82 亿元。为了分析珠三角生态系统产品供给服务的详细情况，本研究从多个角度对其结果进行解析，包括产品类型、空间分布、单位面积产品供给和人均产品供给。

从产品供给类型来看，珠三角农产品供给价值为 1098.35 亿元，占比 47%，位列第一；林产品供给价值为 108.89 亿元，占比 5%；畜牧产品供给价值为 385.41 亿元，占比 17%；渔产品供给价值为 716.17 亿元，占比 31%（见图 2 和表 1）。由此可见，珠三角主要的产品供给价值来自农产品，而林产品供给价值最低。

从空间分布来看，产品供给价值最大的是肇庆市，其次是江门市、广州市和惠州市，而深圳市和东莞市的产品供给价值最低（见表 1 和图 3）。珠三角生态系统产品供给总价值超过 500 亿元的市仅有肇庆市，其产品供给总价值是 570.69 亿元。这是因为肇庆市在拥有较大市域面积的同时，耕地较多，农林牧产业发展条件较好，具有较强的农林牧产品生产和供给能力。产品供给总价值最小的是东莞市，仅为 42.60 亿元。其主要有两方面原因：一方面是东莞市本身市域占地面积较小；另一方面其主体功能定位上基本是商业、高科技产业、服务业、旅游业和工业，占用了一定的农业用地，因此生态系统产品供给能力相对较弱。

从单位面积产品供给价值来看，珠三角单位面积供给价值最高的 3 个市依次分别是佛山市、珠海市和中山市，分别为 767.83、584.14 和 567.46 万元/ $\text{km}^2$ ；单位面积产品供给价值最低的两个市为东莞市和深圳市，分别为 172.70 和 233.98

万元/km<sup>2</sup>。2020 年，珠三角 9 个市单位面积产品供给价值的平均值是 442.36 万元/km<sup>2</sup>，其中未达到产品供给平均值的市占 44.44%，分别为深圳市、肇庆市、东莞市、和惠州市。

从人均产品供给价值来看，珠三角人均产品供给价值最高的 3 个市分别是肇庆市、江门市和惠州市，其价值分别为 13873.28、9274.32 和 5353.03 元/人；而人均产品供给价值最低的两个市为深圳市和东莞市，分别为 263.57 和 406.97 元/人。由此可见，无论从哪个角度出发，深圳市和东莞市的物质产品供给总值、单位面积产品供给价值和人均产品提供价值都比较靠后，表明其产品服务功能与其他市存在很大的差距，进一步说明这两个市的经济发展重心不在第一产业。

通过图 3 可进一步获得珠三角不同区域的产品发展偏向。具体而言，所有市都有相对显著的农产品和渔产品生产和供给，农产品供给价值占了本市的主导地位的市有广州市、肇庆市和惠州市，而渔产品供给价值远大于其他产品价值的市有江门市、珠海市、中山市和佛山市。

表 1 2020 年珠三角不同区域生态系统产品供给价值

名称	市域面积 (km <sup>2</sup> )	常住人口 (万人)	产品供给生 产总值 (亿元)	单位面积供 给总值 (万元/km <sup>2</sup> )	人均产品供 给总值 (元/人)
广州市	7434.40	1867.66	385.86	519.02	2066.02
深圳市	1978.09	1756.01	46.28	233.98	263.57
珠海市	1654.92	243.95	96.67	584.14	3962.70
佛山市	3856.41	949.89	296.11	767.83	3117.27
江门市	9513.22	479.81	444.99	467.76	9274.32
肇庆市	14891.23	411.36	570.69	383.24	13873.28
东莞市	2466.55	1046.66	42.60	172.70	406.97
中山市	1800.14	441.80	102.15	567.46	2312.15
惠州市	11347.00	604.29	323.48	285.08	5353.03
<b>珠三角</b>	<b>54941.96</b>	<b>7801.42</b>	<b>2308.82</b>	<b>420.23</b>	<b>2959.49</b>

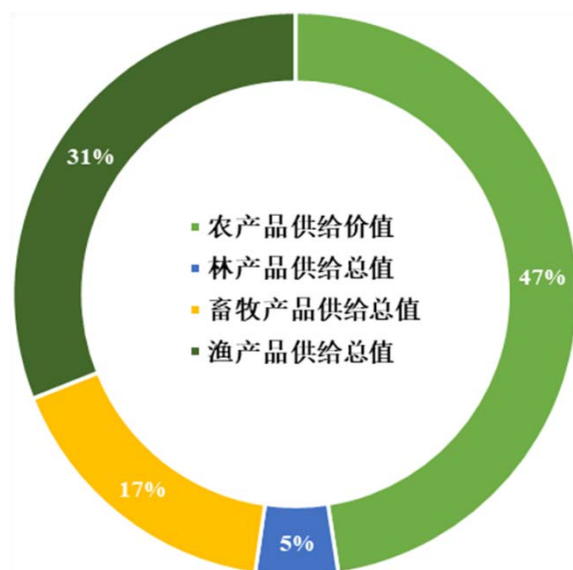


图 2 2020 年珠三角生态产品供给功能价值分别特征

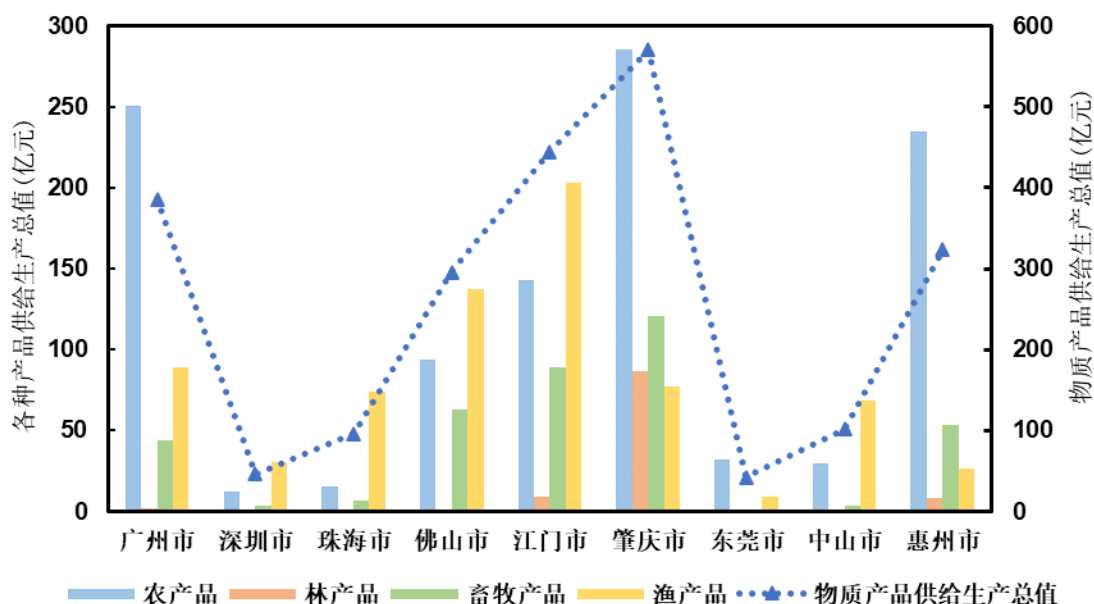


图 3 2020 年珠三角 9 个市不同产品供给生产总值

## （2）生态系统调节服务总值

通过对珠三角生态系统的洪水调蓄、固碳、释氧、气候调节、土壤保持、物种保育、病虫害防治、空气净化、水质净化、水源涵养以及海岸带防护等服务价值进行核算分析，从而得到生态系统调节服务总值的总体分布和空间分布概况。2020 年，珠三角的生态系统调节服务总价值为 6233.77 亿元（见表 2）。为了分析珠三角生态系统调节服务价值的详细情况，本文从多个角度对其结果进行解析，包括多种服务类型、空间分布、单位面积调节服务和人均调节服务。

从调节服务的类型来看，在所有的调节服务中气候调节功能的价值最大，为 4363.74 亿元，占调节服务总值的 70%。其次是洪水调蓄功能，价值为 1160.23 亿元，占调节服务总值的 18.61%（见表 2 和图 4）。这两项指标价值的总和占调节服务总值的 88.61%，是珠三角主要的服务功能类型，为珠三角区域降温保湿和防洪减灾做出了巨大的贡献。此外水源涵养服务功能价值为 549.12 亿元，占调节服务总值的 8.81%；释放氧气功能价值为 79.52 亿元，占比 1.28%。生态系统的其他功能，如固碳、土壤保持、物种保育、病虫害防治、空气净化、水质净化和海岸带防护等，其服务价值占调节服务总值的比例都小于 1%。由此可见，生态系统的气候调节功能是珠三角最主要的生态系统服务功能，为保护珠三角及周边省市生态环境和提高人民生活质量发挥了重要作用。

从空间分布来看，肇庆市的调节服务总值最大，为 2017.88 亿元，其次为惠州市和江门市，分别为 1464.08 亿元和 1035.36 亿元，三个市调节服务总值占整个珠三角调节服务总值的 72.47%（见

表 3）。此外广州市的调节服务价值也较高，为 770.54 亿元。调节服务价值最低的是中山市，其调节服务价值为 132.10 亿元；珠海市、深圳市、东莞市的调节服务价值也较低，均在 300 亿元以下。2020 年，珠三角的调节服务总值的平均值是 629.64 亿元，其中未达到调节服务总值平均值的市占 55.56%，分别为深圳市、珠海市、佛山市、东莞市和中山市。

从单位面积调节服务总值来看，肇庆市的单位面积调节服务总值最大，为 1355.08 万元/km<sup>2</sup>，其次为惠州市、江门市和广州市，其单位面积调节服务总值分别为 1290.28、1088.34 和 1036.46 万元/km<sup>2</sup>（见

表 3）。单位面积调节服务总值最低的是珠海市，该地区单位面积调节服务总值为 665.93 万元/km<sup>2</sup>。2020 年，珠三角 9 个市单位面积调节服务总值的平均值是 965.67 万元/km<sup>2</sup>，其中未达到调节服务总值平均值的市占 55.56%，分别为深圳市、珠海市、佛山市、东莞市和中山市。

从人均调节服务总值来看，珠三角 9 个市人均调节服务价值从大到小排序为肇庆市（49054.06 元/人）>惠州市（24228.37 元/人）>江门市（21578.59 元/人）>珠海市（4517.6 元/人）>广州市（4125.71 元/人）>佛山市（3509.04 元/人）>中山市（2990.05 元/人）>东莞市（2052.10 元/人）>深圳市（885.44 元/人）。2020

年，珠三角人均调节服务总值的平均值是 12548.99 元/人，其中未达到调节服务总值平均值的市占 66.67%，分别为广州市、深圳市、珠海市、佛山市、东莞市和中山市。

表 2 2020 年珠三角 9 个市不同调节服务总值

不同调节服务 总值(亿元)	广州 市	深圳 市	珠海 市	佛山 市	江门 市	肇庆 市	东莞 市	中山 市	惠州 市	珠三角
洪水调蓄	213.4	27.3	25.8	173.9	176.2	216.4	103.7	60.2	163.3	<b>1160.2</b>
固碳	6.0	1.4	0.9	1.8	9.2	21.8	1.2	0.8	14.0	<b>57.2</b>
释氧	8.4	1.9	1.2	2.5	12.8	30.4	1.7	1.1	19.5	<b>79.5</b>
气候调节	460.1	114.4	67.0	127.7	716.3	1600.8	93.7	55.2	1128.6	<b>4363.7</b>
土壤保持	1.6	0.4	0.4	0.8	2.1	3.2	0.5	0.3	2.5	<b>11.7</b>
物种保育	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	<b>0.2</b>
病虫害防治	0.3	0.1	0.0	0.1	0.5	1.2	0.1	0.0	0.8	<b>3.0</b>
空气净化	0.5	0.1	0.1	0.1	0.7	1.7	0.1	0.1	1.1	<b>4.5</b>
水质净化	0.6	0.1	0.2	0.6	0.8	0.7	0.3	0.4	0.4	<b>4.1</b>
水源涵养	79.6	9.7	14.5	25.8	116.7	141.6	13.5	14.0	133.8	<b>549.1</b>
海岸带防护	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	<b>0.4</b>
调节服务总值	770.5	155.5	110.2	333.3	1035.4	2017.9	214.8	132.1	1464.1	<b>6233.8</b>

表 3 2020 年珠三角不同区域不同指标下的生态系统调节服务总值

名称	市域面积 (km <sup>2</sup> )	常住人口 (万人)	调节服务 生产总值 (亿元)	单位面积调 节服务总值 (万元/km <sup>2</sup> )	人均调节 服务总值 (元/人)
广州市	7434.40	1867.66	770.54	1036.46	4125.71
深圳市	1978.09	1756.01	155.48	786.03	885.44
珠海市	1654.92	243.95	110.21	665.93	4517.60
佛山市	3856.41	949.89	333.32	864.32	3509.04
江门市	9513.22	479.81	1035.36	1088.34	21578.59
肇庆市	14891.23	411.36	2017.88	1355.08	49054.06
东莞市	2466.55	1046.66	214.79	870.80	2052.10
中山市	1800.14	441.80	132.10	733.83	2990.05
惠州市	11347.00	604.29	1464.08	1290.28	24228.37
<b>珠三角</b>	<b>54941.96</b>	<b>7801.42</b>	<b>6233.77</b>	<b>1134.61</b>	<b>7990.56</b>

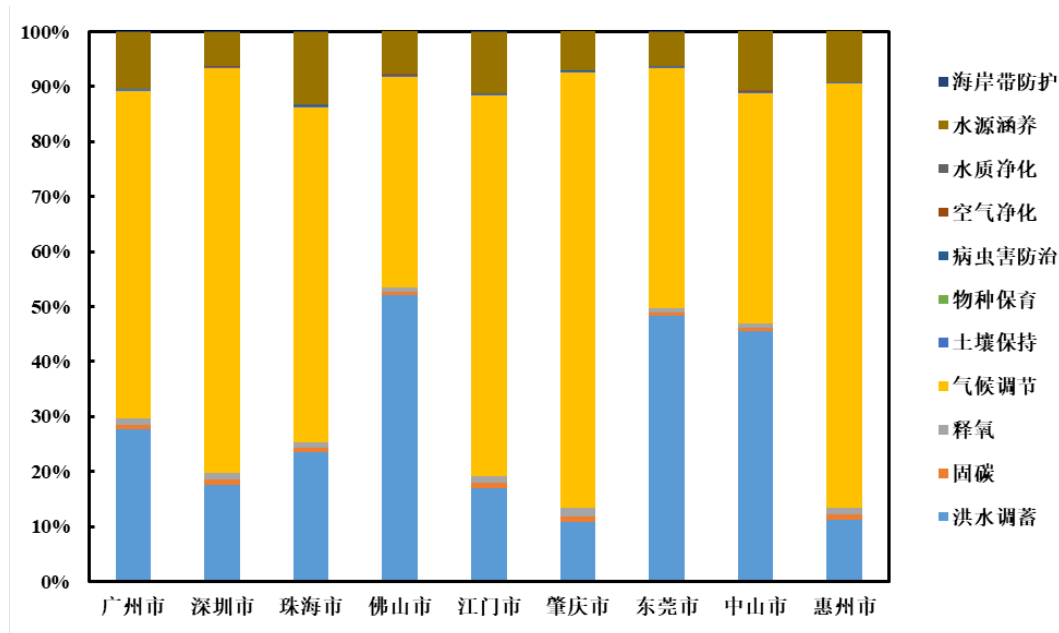


图 4 2020 年珠三角 9 个市不同调节服务总值

### (3) 生态系统文化服务功能总值

通过表 4 可知,2020 年珠三角生态系统文化服务功能总值为 10195.93 亿元。从文化类型来看,旅游收入是珠三角生态系统文化服务功能总值的主要来源,为 10086.68 亿元,占珠三角生态系统文化服务功能总值的 98.93%。从空间分布来看,珠三角生态系统文化服务总值提供最多的是广州市,为 4466.97 亿元,其次为深圳市,为 1717.62 亿元。2020 年,珠三角生态系统文化服务功能总值平均值为 1132.88 亿元,未达平均水平的市占整个珠三角城市群的比例为 77.78%,分别为珠海市、佛山市、江门市、肇庆市、东莞市、中山市和惠州市。从单位面积文化服务总值来看,深圳市的单位面积文化服务总值最大,为 8683.21 万元/km<sup>2</sup>,其次是广州市,为 6008.51 万元/km<sup>2</sup>。2020 年,珠三角生态系统单位面积文化服务功能总值平均值为 2875.44 万元/km<sup>2</sup>,未达平均水平的市占整个珠三角城市群的比例为 66.67%,分别为佛山市、江门市、肇庆市、东莞市、中山市和惠州市。从人均文化服务总值来看,广州市的人均文化服务总值最大,为 23917.41 元/人,珠海市次之,为 22305.44 元/人。2020 年,珠三角生态系统人均文化服务功能总值市平均值为 12419.97 万元/km<sup>2</sup>,未达平均水平的市占整个珠三角城市群的比例为 66.67%,分别为深圳市、佛山市、肇庆市、东莞市、中山市和惠州市。由上述结果可得,珠三角生态系统文化服务功能总值主要贡献来自旅游收入,而文化

服务功能总值的主要贡献区域为广州市和深圳市，这两个市交通、餐饮、住宿等设施较为完善，也是珠三角城市群旅游业最发达的地区。虽然珠海市的文化服务功能总值不高，但是其人均文化服务总值位列第二，单位面积文化服务总值位列第三，这主要是由于珠海市的常住人口和市域面积相对较小。

表 4 2020 年珠三角 9 个市文化服务生产总值

城市	旅游收入 (亿元)	美学景观 (亿元)	文化服务 功能总值 (亿元)	单位面积文 化服务总值 (万元/km <sup>2</sup> )	人均文化服 务总值 (元/人)
广州市	4454.58	12.39	4466.97	6008.51	23917.47
深圳市	1715.17	2.45	1717.62	8683.21	9781.39
珠海市	541.52	2.62	544.14	3288.02	22305.44
佛山市	891.86	5.94	897.80	2328.07	9451.64
江门市	690.52	18.61	709.13	745.42	14779.43
肇庆市	340.82	36.98	377.80	253.71	9184.29
东莞市	574.17	3.30	577.47	2341.19	5517.22
中山市	303.78	2.88	306.66	1703.53	6941.15
惠州市	574.26	24.09	598.35	527.32	9901.73
<b>珠三角</b>	<b>10086.68</b>	<b>109.25</b>	<b>10195.93</b>	<b>1855.76</b>	<b>13069.33</b>

#### (4) GEP总体特征

由表5可知，2020年珠三角城市群生态系统生产总值(GEP)为18738.53亿元，其中生态系统产品供给功能、调节服务功能和文化服务功能的总价值分别为2308.82、6233.77和10195.93亿元，分别占整个珠三角GEP的12、33和55%。由此表明，文化服务功能是珠三角生态系统最主要的服务功能。

从空间分布来看，广州市提供的GEP最大，为5623.38亿元，其文化服务价值为4466.97亿元，占整个珠三角地区GEP的23.84%。GEP最低的是中山市，为540.91亿元，其文化服务价值为306.66亿元，占整个珠三角地区GEP的1.64%。这两个市的GEP差距较大，前者约为后者的10倍。2020年，珠三角GEP市平均值为2082.06亿元，未达平均值的市占比55.56%，包括深圳市、珠海市、佛山市、东莞市和中山市。由此可见，珠三角各市GEP 差距悬殊，大部分的生态资源掌握在少数市中。

为了消除各市面积对GEP的影响，进一步计算了珠三角各市单位面积GEP（见表5）。2020年，珠三角国土面积为54941.96km<sup>2</sup>，单位面积GEP为3410.60万

元/km<sup>2</sup>。单位面积GEP最大的是深圳市（9703.22万元/km<sup>2</sup>），最小的是肇庆市（1992.03万元/km<sup>2</sup>），前者约为后者的5倍。深圳市主要的服务功能为文化服务，占本市GEP的89.49%；而肇庆市主要的服务功能为调节服务，占本市GEP的68.02%。2020年，珠三角未达单位面积GEP均值的市占比55.56%，包括江门市、肇庆市、东莞市、中山市和惠州市。

人均GEP在一定程度上可以反映生态系统的承载情况。具体而言，在城镇化水平较高的地区，人口高度集中导致人均GEP相对较低，对生态系统服务消耗已经达到生态环境的承载上限。2020年，珠三角常住人口为7801.42万人，人均GEP为2.40万元/人。人均GEP最大的是肇庆市（7.21万元/人），最小的是东莞市（0.80万元/人），前者约为后者的9倍。珠三角未达人均GEP均值的市占比44.44%，包括深圳市、佛山市、东莞市和中山市。由此表明，珠三角各市人均GEP差距悬殊。

表 5 2020 年珠三角不同区域生态系统生产总值

城市	产品供给 生产总值 (亿元)	调节服务 生产总值 (亿元)	文化服务 生产总值 (亿元)	GEP (亿元)	单位面积 GEP (万元/km <sup>2</sup> )	人均 GEP (万元/人)
广州市	385.86	770.54	4466.97	5623.38	7563.99	3.01
深圳市	46.28	155.48	1717.62	1919.38	9703.22	1.09
珠海市	96.67	110.21	544.14	751.02	4538.09	3.08
佛山市	296.11	333.32	897.80	1527.22	3960.22	1.61
江门市	444.99	1035.36	709.13	2189.48	2301.51	4.56
肇庆市	570.69	2017.88	377.80	2966.38	1992.03	7.21
东莞市	42.60	214.79	577.47	834.85	3384.68	0.80
中山市	102.15	132.10	306.66	540.91	3004.83	1.22
惠州市	323.48	1464.08	598.35	2385.91	2102.68	3.95
<b>珠三角</b>	<b>2308.82</b>	<b>6233.77</b>	<b>10195.93</b>	<b>18738.53</b>	<b>3410.60</b>	<b>2.40</b>

#### (4) 结论

本研究分别从生态系统产品供给价值、调节价值与文化价值方面对珠三角 9 市进行核算，进而从总体特征、人均 GEP、和单位面积 GEP 等方面进行深入分析，从而为评价珠三角生态资源提供重要数据与支持。通过上述结果分析可得以下结论：（a）农产品和渔产品是珠三角主要的物质产品供给类型；（b）珠三角的林产品供给主要出现在肇庆市、江门市和惠州市，其他市的林产品供给非常有限；（c）珠三角最主要的调节服务类型为气候调节；（d）肇庆市的生态系统调节



服务总值、单位面积调节服务总值和人均调节服务总值都是珠三角中最大的；(e) 珠三角各市的单位面积服务总值相近，比如单位面积调节服务总值最大的为肇庆市（1355.08 万元/km<sup>2</sup>），最小的为珠海市（665.93 万元/km<sup>2</sup>），前者仅为后者的两倍；(f) 珠三角人均调节服务总值在各市中差距悬殊，人均调节服务总值最大的为肇庆市（49054.06 元/人），最小的为深圳市（885.44 元/人），前者约为后者的 55 倍。

结合上述结论可知，珠三角9个市的GEP主要服务功能不尽相同，主要和当地的经济发展重心、基础设施完善程度有关。

## 参考文献

- [1] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 等. 生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究[J]. 生态学报, 2013,33(21): 6747-6761.
- [2] 杨汝兰. 基于生态系统生产总值的云南省县域生态补偿研究[D]. 云南大学, 2019.
- [3] 赵寅成. 安徽省六安市生态系统生产总值核算研究[D]. 合肥工业大学, 2020.
- [4] 王莉雁, 肖焱, 欧阳志云, 等. 国家级重点生态功能区县生态系统生产总值核算研究——以阿尔山市为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2017,27(03): 146-154.
- [5] 陆地生态系统生产总值（ GEP ）核算技术指南[J].