

# 珠三角生态系统服务功能价值评估

## (1) 研究背景

生态系统服务由生态系统和生态过程形成并维持,为人类生存和发展提供必需品以及人们生活质量等间接性服务。它建立在生态系统功能基础之上,是人类能够从中获益的生态系统功能。生态系统服务价值是生态系统为人类提供产品和服务的经济效益。城市生态环境作为城市活动的载体,为城市的生存和发展提供了必要的空间、资源、信息、能量等物质和服务需求,也就是生态系统所提供的生态服务功能。可见,生态系统服务功能是为人类生产生活提供所需产品以及服务,是人类得以生存的重要保障。而对生态系统服务进行分析与评估,不仅有助于更全面地认识城市环境的自然属性,也有助于城市发展规划的部署。2017 年 10 月,习近平总书记在十九大报告的讲话中,全面阐述了“加快生态文明体制改革与大力推进绿色发展、建设美丽新中国的战略部署”,为中国在未来推进生态文明建设、促进绿色发展指明了道路。因此做好珠三角地区生态系统服务价值的研究不仅对支撑粤港澳大湾区建设、打造世界级城市群具有重要意义,而且为中国生态文明建设提供良好示范。

1997 年, Costanza 等认为生态系统服务是指人类从生态系统中获得的惠益,并将生态系统提供的产品和服务统称为生态系统服务,且划分了气体调节、气候调节、扰动调节、水调节、水供给、控制侵蚀和保持沉积物、土壤形成、养分循环、废物处理、传粉、生物控制、避难所、食物生产、原材料、基因资源、休闲、文化等 17 个服务类型<sup>[1]</sup>。2005 年联合国发布了千年生态系统评估 (Millennium Ecosystem Assessment, MA) 报告,该报告延用了 Costanza 等对生态系统服务的定义,并在此基础上对服务类型做了调整和补充,将生态系统服务框架划分为供给、调节、支持、文化服务四类<sup>[2]</sup>。

2012 年 Muller 等提出采用 DPSIR 模型将人类经济社会活动纳入生态系统服务评估体系,并强调不同服务类别之间的相互作用<sup>[3]</sup>。在国际上关于生态系统服务的相关理论引领下,20 世纪末和 21 世纪初期,国内学者开始对生态系统服务价值进行研究。2004 年欧阳志云参考 MA 的分类框架体系将生态系统服务价值的直接价值视为提供产品价值,将间接价值分为调节服务价值、支持服务价值和

文化服务价值<sup>[4]</sup>。2008 年谢高地等基于 Costanza 等提出的生态系统服务类型和 MA 提出的分类体系，根据中国公众的理解程度将生态服务分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务四大类<sup>[5]</sup>。

本研究结合 Costanza 和谢高地等对生态系统服务的划分，根据珠三角城市群实际现状，将生态系统服务分为供给、调节、支持和文化服务四个大类。为进一步分析各大类生态系统服务对珠三角城市群的影响，将生态系统服务细化为食物生产、原料生产、水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持、维持养分循环、生物多样性、美学景观 11 类，并构建了珠三角地区生态系统服务指标体系。

表 1 生态系统服务功能的分类

一级分类	二级分类	生态服务含义
供给服务	食物生产	将太阳能转化为能食用的植物和动物产品
	原料生产	将太阳能转化为生物能，给人类作建筑物或其他用途
调节服务	水资源供给	供给淡水
	气体调节	生态系统维持大气化学组分平衡
	气候调节	对区域气候的调节作用，如增加降水、降低气温
	净化环境	吸收 SO <sub>2</sub> 、吸收氟化物、吸收氮氧化物气、净化水质
	水文调节	生态系统的淡水过滤、持留和储存功能
支持服务	土壤保持	有机质积累及植被根物质和生物在土壤保持中的作用
	维持养分循环	养分元素在土壤植物（作物）-草食动物（初级消费者）-肉食动物（次级消费者）之间的往复传输的过程
	生物多样性	野生动植物基因来源和进化、野生植物和动物栖息地
文化服务	美学景观	具有（潜在）娱乐用途、文化和艺术价值的景观

## （2）计算方法

本研究采用当量因子法评估珠三角地区生态系统服务价值。当量因子法是在 Costanza 生态价值评估体系的基础上，由我国学者谢高地提出。该方法将生态系统服务功能进行了不同种类的区分划定，并基于可量化的标准构建不同类型生态系统各种服务功能的价值当量，然后结合生态系统的分布面积进行评估。此方法适用于已知土地利用面积的生态系统服务价值估算，能在较短时间内获得较为可靠的结果，实现了对珠三角地区生态服务功能价值的综合评估。

谢高地等人的生态服务价值当量系数是基于国家尺度的陆地生态服务价值当量，针对不同地区气候环境以及降雨水平的不同，生态环境也有较大差异，导

致当量因子系数略有差别。本研究基于谢高地提出的修正方法，以珠三角地区单位面积农田产量与全国单位面积农田产量为依据，对表 2 价值当量表进行修正，从而得出珠三角地区生态服务价值当量表。因此，以珠三角地区生态服务价值当量因子表为基础，构建了该地区生态系统服务价值评估模型。

表 2 全国单位面积生态系统服务价值基础当量因子表

生态系统分类		供给服务				调节服务				支持服务		文化服务	
一级分类	二级分类	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观	
农田	旱地	0.85	0.4	0.02	0.67	0.36	0.1	0.27	1.03	0.12	0.13	0.06	
	水田	1.36	0.09	-	1.11	0.57	0.17	2.72	0.01	0.19	0.21	0.09	
森林				2.63									
	针叶	0.22	0.52	0.27	1.7	5.07	1.49	3.34	2.06	0.16	1.88	0.82	
	针阔混交	0.31	0.71	0.37	2.35	7.03	1.99	3.51	2.86	0.22	2.6	1.14	
	阔叶	0.29	0.66	0.34	2.17	6.5	1.93	4.74	2.65	0.2	2.41	1.06	
草地	灌木	0.19	0.43	0.22	1.41	4.23	1.28	3.35	1.72	0.13	1.57	0.69	
	草原	0.1	0.14	0.08	0.51	1.34	0.44	0.98	0.62	0.05	0.56	0.25	
	灌草丛	0.38	0.56	0.31	1.97	5.21	1.72	3.82	2.4	0.18	2.18	0.96	
	草甸	0.22	0.33	0.18	1.14	3.02	1	2.21	1.39	0.11	1.27	0.56	
湿地	湿地	0.51	0.5	2.59	1.9	3.6	3.6	24.23	2.31	0.18	7.87	4.73	
荒漠	荒漠	0.01	0.03	0.02	0.11	0.1	0.31	0.21	0.13	0.01	0.12	0.05	
	裸地	0	0	0	0.02	0	0.01	0.03	0.02	0	0.02	0.01	
水域	水系	0.8	0.23	8.29	0.77	2.29	5.55	102.24	0.93	0.07	2.55	1.89	
	冰川积雪	0	0	2.16	0.18	0.54	0.16	7.13	0	0	0.01	0.09	

$$\delta = \frac{Q_w}{Q_R}$$

$$E_i = \delta * E_{0i}$$

$\delta$ 为生态服务当量的修正系数； $Q_w$ 为珠三角地区平均粮食产量； $Q_R$ 为全国平均粮食产量。 $E_i$ 为修正后的当量系数； $E_{0i}$ 为全国服务价值当量系数。由上述公式可以得出珠三角地区生态服务价值当量因子。

$$E_a = \frac{1}{7} * \frac{G}{S}$$

$E_a$ 为单位面积农田生态系统所能提供的粮食生产服务的经济价值； $G$ 为粮食作物产值； $S$ 为粮食作物播种面积；依据谢高地的研究可知 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年平均粮食单产市场价值的 1/7。

$$V_{ij} = E_a * a_{ij}$$

$$ESV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_i V_{ij}$$

$V_{ij}$  为单位面积土地利用类型  $i$  所能提供的生态服务  $j$  的生态系统服务价值； $a_{ij}$  为生态系统服务当量因子。 $A_i$  是土地利用类型  $i$  的面积， $ESV$  为总生态系统服务价值。上述公式可得每种土地所提供的单位面积生态服务价值，结合各种土地类型面积可以计算出区域内总生态服务价值。

本研究评估了 1980-2020 年珠三角地区生态系统服务价值。利用 ArcGIS 软件将土壤质地、类型等土壤属性与土壤数据进行字段连接后得到研究区土壤数据。该数据包括珠三角地区 9 个市以及 47 个周边区县。珠三角地区历年农作物种植面积和农作物价格来源于《中国统计年鉴》和《广东省统计年鉴》。

### (3) 结果分析

#### (a) 生态空间构成分析

如图 1 所示，随着经济发展和城市化水平的提升，珠三角地区城镇用地等建设用地逐年增加，且主要分布在珠三角中部地区。另外，森林生态系统主要分布在珠三角西北、西南和东北地区。随着城镇化水平的加快，一些水田、旱地、河渠、湖泊、水库池塘等土地类型也逐渐被城镇用地和农村居民用地等土地类型所取代。如图 2 所示，珠三角地区各种土地类型变化较为显著。农田由 1980 年 16145  $\text{km}^2$  下降到 2020 年 12233  $\text{km}^2$ ，建设用地由 1980 年 2838  $\text{km}^2$  上升到 2020 年 7859  $\text{km}^2$ 。其中，2000-2005 年农田用地下降了 1344  $\text{km}^2$ ，建设用地上升了 1911  $\text{km}^2$ 。水域由 1980 年 3166  $\text{km}^2$  上升到 2020 年 3489  $\text{km}^2$ 。草地由 1980 年 1239  $\text{km}^2$  下降到 2020 年 1073  $\text{km}^2$ 。另外，森林生态系统为珠三角地区占地面积最大的生态系统。2020 年，珠三角地区森林生态系统为 29073  $\text{km}^2$ ，约为珠三角总面积的 54%，为生态系统服务功能的提升打下良好基础。

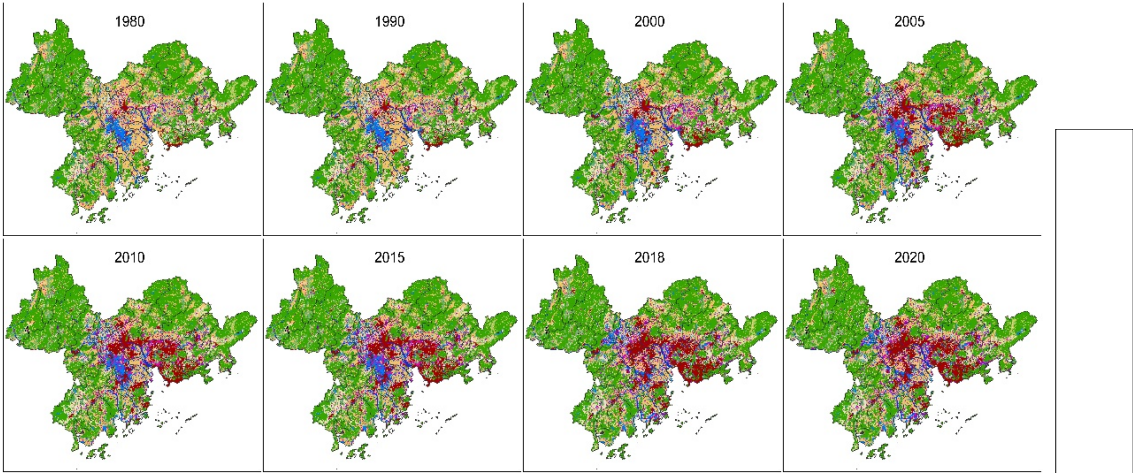


图 1 1980-2020 年珠三角地区土地类型分布

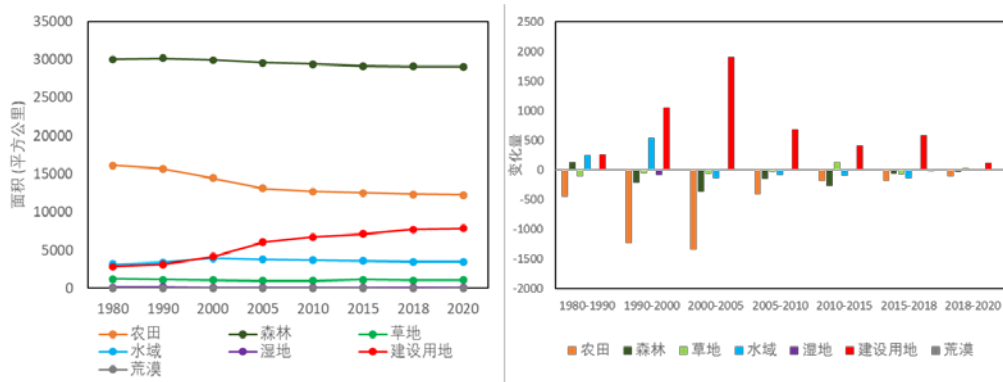


图 2 珠三角地区土地利用类型动态变化

各类生态系统用地在珠三角 9 市中的变化有所不同（如图 3 所示）。其中，广州、深圳、珠海、佛山、东莞、中山的各种生态系统用地变化较为显著。江门、肇庆、惠州的生态系统用地变化相对平缓。广州森林生态系统用地占据主导地位，2020 年森林生态系统用地为 2985 km<sup>2</sup>，约占广州市总面积的 40%；与 1980 年相比，2020 年广州市农田用地减少了 801 km<sup>2</sup>，建筑用地增加了 921 km<sup>2</sup>。深圳的建筑用地增加较快，2020 年达 866 km<sup>2</sup>；森林和农田生态系统用地分别减少了 255 km<sup>2</sup> 和 340 km<sup>2</sup>。珠海各类生态系统用地波动较大，近四十年间，农田生态系统用地减少了 224 km<sup>2</sup>；建设用地和水域占地分别增加了 222 和 98 km<sup>2</sup>。佛山农田用地呈现先减少后增大的趋势，水域占地呈现先增加后减少的趋势，2020 年分别为 1219、523 km<sup>2</sup>；与 1980 年相比，建设用地 2020 年增加至 1230 km<sup>2</sup>。2020 年，江门、肇庆、惠州的森林生态系统用地分别为 4648、11093、7124 km<sup>2</sup>；农田用地分别为 2710、2270、2608 km<sup>2</sup>。相较于 1980 年，东莞建设用地 2020 年增加至 1236 km<sup>2</sup>；森林和农田用地分别减少为 566、283 km<sup>2</sup>。中山农田用地下降了 311 km<sup>2</sup>；建设用地增加了 385 km<sup>2</sup>。9 个市中，2020 年森林、草地生态系统用地最多的为肇庆；水域、湿地生态系统用地最多的为江门；农田用地最多的为惠州；建设用地最多的为广州。

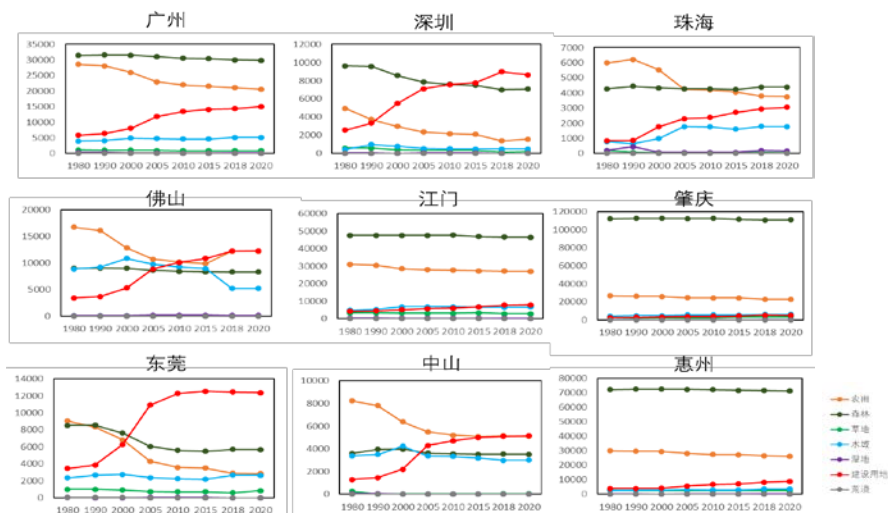


图3 珠三角9市土地利用动态变化

### (b) 生态系统服务价值

根据珠三角地区粮食作物种植面积和经济效益,可计算出单位面积生态服务价值当量因子的经济价值。如图4所示,历年单位生态服务价值当量因子的价值量逐年升高。1980年珠三角地区单位生态服务价值当量因子价值量为52.59 yuan/hm<sup>2</sup>,2020年达2956.7 yuan/hm<sup>2</sup>。随着粮食作物种植面积和产量的增多,单位亩产所带来的经济价值也不断增加,导致单位生态服务价值当量因子的价值量也随之提高。因此,根据谢高地等提供的当量因子表,结合当量因子价值量,可以计算出历年珠三角地区单位面积各种土地利用类型所能提供的生态系统服务价值(如表3所示)。

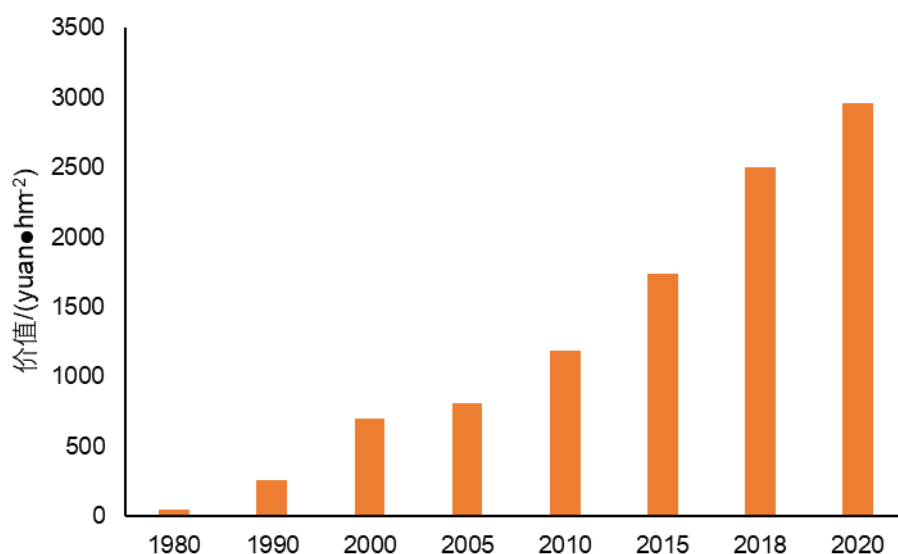


图4 历年单位生态服务价值当量因子的价值量



表 3 单位面积土地利用类型所提供的生态服务价值量（以 2020 年为例）

生态系统分类		供给服务			调节服务				支持服务			文化服务	
一级分类	二级分类	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观	
农田	旱地	2513	1183	59	1981	1064	296	798	3045	355	384	177	
	水田	4021	266	-7776	3282	1685	503	8042	30	562	621	266	
森林	针叶	650	1537	798	5026	14990	4405	9875	6091	473	5559	2424	
	针阔混交	917	2099	1094	6948	20786	5884	10378	8456	650	7687	3371	
草地	阔叶	857	1951	1005	6416	19219	5706	14015	7835	591	7126	3134	
	灌木	562	1271	650	4169	12507	3785	9905	5086	384	4642	2040	
	草原	296	414	237	1508	3962	1301	2898	1833	148	1656	739	
	灌草丛	1124	1656	917	5825	15404	5086	11295	7096	532	6446	2838	
	草甸	650	976	532	3371	8929	2957	6534	4110	325	3755	1656	
湿地	湿地	1508	1478	7658	5618	10644	10644	71641	6830	532	23269	13985	
荒漠	荒漠	30	89	59	325	296	917	621	384	30	355	148	
	裸地	0	0	0	59	0	30	89	59	0	59	30	
水域	水系	2365	680	24511	2277	6771	16410	302293	2750	207	7540	5588	
	冰川积雪	0	0	6386	532	1597	473	21081	0	0	30	266	

结合历年单位面积的生态服务价值和各种土地利用类型的占地面积,可以计算出珠三角地区各类生态系统服务价值。如图 5 所示,珠三角 9 市的生态系统服务价值逐年提升。其中,肇庆的生态系统服务价值一直位于珠三角 9 市之首,由 1980 年 15.7 亿元增长到 2020 年 942.2 亿元。2020 年,惠州和江门生态系统服务价值分别为 610.9 和 576.5 亿元。这三个市 2020 年的生态系统服务价值占珠三角地区总价值的 65.75%。结合三个市土地利用类型可知,森林、农田生态系统土地类型随时间的变化波动相对平稳,有助于发挥气候调节、气体调节、原料生产等服务优势,为生态系统服务价值的增加提供了有利条件。深圳、珠海的生态系统服务价值相对较小,因为森林、水域等生态系统占地较小,建设用地占比较大,未能提供充足的生态服务功能。另外,如图 5 所示,珠三角地区的各项生态服务价值也在逐年提高,总生态系统服务价值由 1980 年 57.8 亿元增长到 2020 年 3239 亿元。其中,2020 年调节服务为 2451 亿元,占总生态系统服务价值的 75.68%。支持服务、供给服务和文化服务价值量分别为 491、187、109 亿元。如图 6 所示,2020 年珠三角地区生态系统服务价值分布主要集中在调节服务,其中水文调节和气候调节占比较大,价值量分别为 1445 和 570 亿元。各类生态系统的吸收净化和调蓄水量等生态服务作用都促进了生态系统服务价值的提升。另外,土壤保持和生物多样性是支持服务中较为重要的组成部分,2020 年二者的服务价值分

别为 238 和 230 亿元。

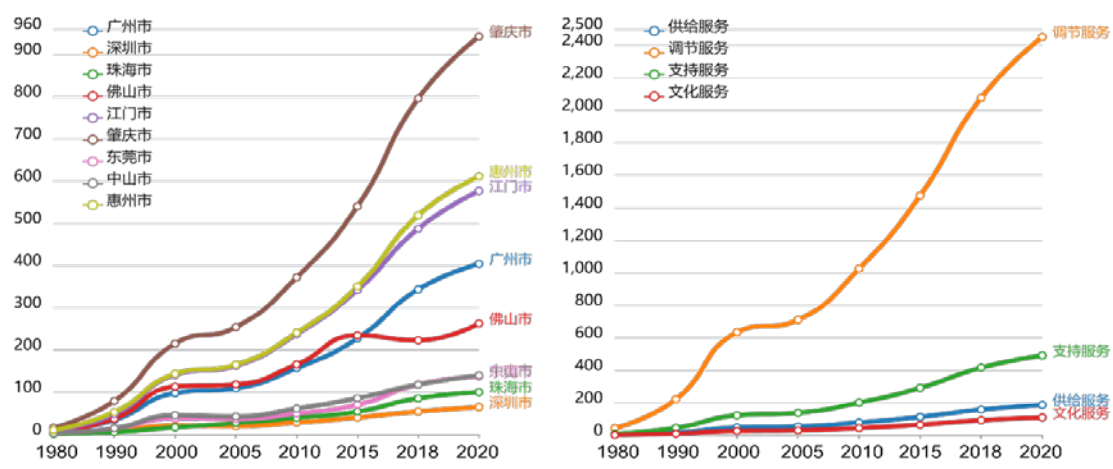


图 5 珠三角地区生态系统服务价值动态变化

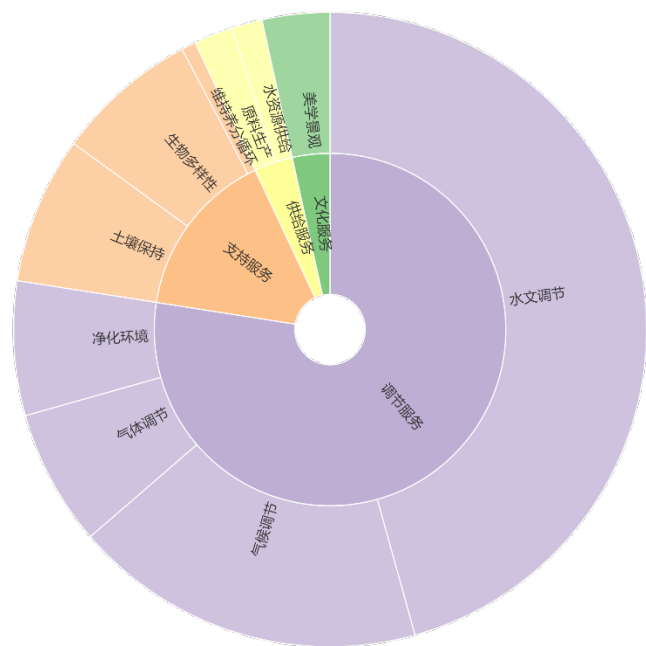


图 6 2020 年生态系统服务价值分布特征

如图 7 所示，森林和水域生态系统创造了巨大的生态系统服务价值。森林生态系统在气候调节、气体调节、生物多样性等方面都创造了巨大的经济价值。水域生态系统在水文调节和水资源供给方面也具有较大的促进作用。1980 年，森林、水域生态系统的服务价值分别为 32.9、20.7 亿元；2020 年两者生态服务价值分别为 1785.7、1275.3 亿元。另外，农田生态系统的服务价值也在逐年提升，



2020 年达到 141.6 亿元。

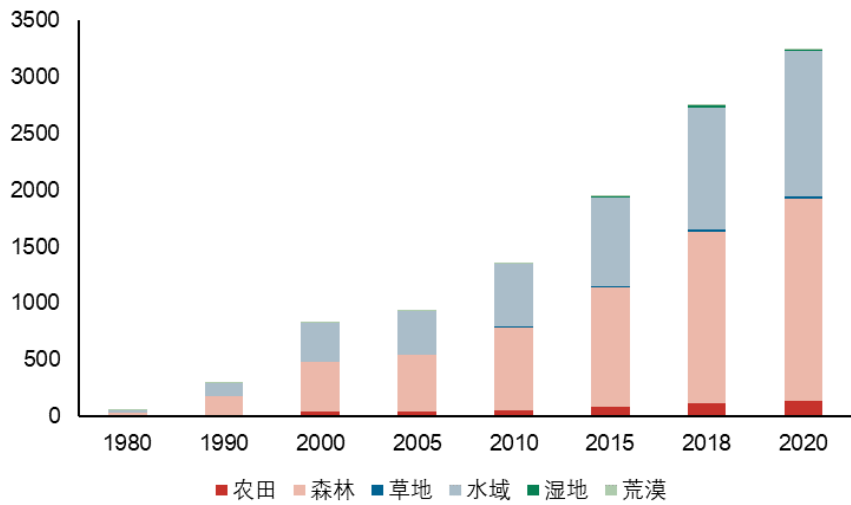


图 7 各类土地类型价值量动态变化

#### （4）结论

本研究以珠三角地区为研究区域，基于区域实际情况和主要生态问题，在构建生态系统评价体系的基础上，结合自然资源数据、土地利用数据及相关评价成果，综合识别研究区各生态系统空间范围。然后依据生态空间识别结果，对其生态服务价值进行估算，探究珠三角地区生态空间分异规律和生态服务价值动态变化。

研究发现，各类生态系统用地是生态系统发挥其服务功能的基础，生态系统用地的变化会直接影响生态系统服务价值的实现。如森林生态系统在气候调节，气体净化等多重作用，生态系统用地的增大会加大其在该服务作用的发挥。研究期间，珠三角地区各类生态系统用地变化显著，其中建设用地的逐年增加在一定程度上影响了各类生态系统服务价值的提高。但是，随着人们对生态系统服务价值意识的提升，森林、水域、草地、农田等生态系统得到了很好的保护。同时，得益于科技发展和技术进步，珠三角地区各类生态产品生产也逐年增加。这有利于助长珠三角地区的生态系统服务价值，对全国其他地区生态系统研究有重要意义。

## 参考文献

- [1] ROBERT C, RALPH D, RUDOLF D G, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature: International weekly journal of science, 1997,387(6630).
- [2] Ecosystems AND HUMAN WELL-BEING[J].
- [3] FELIX M, BENJAMIN B. The indicator side of ecosystem services[J]. Ecosystem Services, 2012,1(1).
- [4] 欧阳志云赵同谦王效科苗鸿. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报, 2004(10): 2091-2099.
- [5] 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(05): 911-919.