DOI: 10.5846/stxb201805231130
李婧贤,王钧.粤港澳大湾区生态系统服务识别、分类与制图研究.生态学报,2019,39(17): - .
Li J X, Wang J.Identification, Classification, and Mapping of Coastal Ecosystem Services of the Guangdong, Hong Kong, and Macao Great Bay Area.Acta Ecologica Sinica,2019,39(17): - .

# 粤港澳大湾区生态系统服务识别、分类与制图研究

李婧贤,王　钧*
北京大学深圳研究生院,城市人居环境科学与技术重点实验室,北京大学(深圳)未来城市实验室,城市规划与设计学院, 深圳　518055

**摘要**:海岸带生态系统服务识别、分类与制图是合理利用海岸带自然资源,协调海岸带开发与保护矛盾的重要基础。现有生态系统服务分类方法在海岸带应用存在一定的局限性。本文在前人研究的基础上,以我国城市化和工业化水平较高的粤港澳大湾区为研究区,对该区域海岸带生态系统服务进行识别、分类,并在此基础上使用地图大数据与遥感解译的土地利用数据对海岸带生态系统服务进行了制图。本文共识别出 35 种海岸带生态系统服务,并对其中的 31 种服务进行制图。结果表明,本研究建立的这套方法能较为系统地展示粤港澳大湾区生态系统服务的类型及空间分布特征。具体而言,该区域供给服务和文化服务在城市中心区较为集中,而调节服务多分布于城市周边。对识别的生态系统服务进行综合叠加分析,可将研究区分为文化服务主体区、供给服务主体区、调节服务主体区。本文建立的海岸带生态系统服务识别、分类体系和制图方法可操作性强,能为我国海岸带生态系统的保育、修复和重建提供科学基础。

**关键词**:海岸带生态系统服务;识别;分类;制图

# Identification, Classification, and Mapping of Coastal Ecosystem Services of the Guangdong, Hong Kong, and Macao Great Bay Area

LI Jingxian, WANG Jun*
*Peking University Shenzhen Graduate School, Key Laboratory for Human and Environmental Science and Technology, Peking University (Shenzhen) Future City Lab, School of Urban Planning and Design, Shenzhen, 518055, China*

**Abstract**: The coastal zones of eastern China have been experiencing rapid industrialization and urbanization over the past decades. In these coastal zones, population and economic activities as well as demand for resources have increased significantly over the years. Identification, classification, and mapping of coastal ecosystem services provide the basis for reasonable use of coastal natural resources, solving the conflicts between coastal development and conservation. However, the existing classification systems of ecosystems services reported in literature are not suitable for application in coastal areas. Based on previous research, we developed a general framework for identifying and classifying coastal ecosystem services in the highly urbanized and industrialized Guangdong, Hong Kong, and Macao Great Bay Area. The framework is divided into four levels based on whether the ecosystem services are provided by biota or not, with the first level including provisioning services, regulating services, and cultural services. The ecosystems of this area are divided into coastal water, transitional water, terrestrial ecosystems, and freshwater, which are defined in the framework. Big data derived from maps and land use data derived from remotely sensed images served as the basis for mapping the identified ecosystem services in the framework. In this study, we identified 35 coastal ecosystem services and mapped 31 of them based on data availability. The results showed that the methodology built in this study can systematically identify the characteristics and spatial

**基金项目**:国家科技计划项目(2017YFC0505801);北京大学(深圳)未来城市实验室铁汉科研开放课题基金(201702);深圳市生态观测研究站项目(SZCG2018161641)
**收稿日期**:2018-05-23;　　**网络出版日期**:2019-00-00
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wangjun@ pkusz.edu.cn

distributions of ecosystem services in the Guangdong, Hong Kong, and Macao Great Bay Area. In particular, provisioning services and cultural services are concentrated in the central urban areas of the study region, while regulating services are aggregated in the urban outskirts. According to the overlay analysis of all mapped ecosystem service types, we assigned the study area into three main functional zones for providing ecosystem services: (i) cultural service zone that distributes in the central urban area, and cultural entertainment service is the main service type in this zone; (ii) provisioning service zone that distributes in the outskirts of the cultural service zone and provides food and materials for human beings; (iii) regulating service zone that distributes in the border of the study area and mainly regulates the urban environment. In conclusion, the methodology for identifying, classifying, and mapping coastal ecosystem services built in this study is practical, and can provide scientific reference for coastal ecosystem conservation, restoration, and reconstruction in China.

**Key Words**: coastal ecosystem services; identification; classification; mapping

海岸带位于海陆交错区,是由人类、生物、自然环境组成的复合生态系统[1-3]。由于经济发展和人类活动的干扰,沿海地区大多面临着栖息地退化、环境污染和生态功能丧失的风险[4-7]。自上世纪90年代以来,各国开始将生态系统纳入沿海地区的管理中[8-10],其核心概念是生态系统服务,即人类从生态系统中直接或间接获取的惠益[11]。在沿海城市区,生态系统提供食物与木材供给、干扰调节和文化娱乐等多种服务,对不同生态系统服务类型进行识别,并建立一个全面合理的分类体系,有助于理解社会经济活动与生态系统间复杂的相互作用并将其应用于实际[12]。千年生态系统评估将生态系统服务划分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务四种类型,是目前引用最广的分类方法[4]。但由于该分类体系缺乏层次结构,并不适用于具体的生态系统服务研究[13];de Groot 等人将生态系统服务分为调节、提供栖息地、生产和信息传递等类型[11],其强调服务间的逻辑关系但很难应用于实际;还有一些针对沿海地区的生态系统服务分类方法[8,14],其中源于欧洲生态系统服务研究的 CICES(Common International Classification of Ecosystem Services)分类框架对各类生态系统服务进行明确区分,在欧洲各国尤其是沿海地区应用广泛[15]。

在合理分类的基础上对生态系统服务进行制图,有助于将生态系统服务与人类活动相联系[16]。目前,生态系统服务制图研究多以遥感数据、土地利用数据为基础,从生态系统服务提供、需求及权衡协同情景分析等三个方面进行制图[17]。其中,对生态系统服务提供制图的研究数量最多,如对生态系统服务冷、热点区的制图[18-19],或在区域尺度上对生态系统服务类型及价值的时空变化进行制图[20-24]。生态系统服务需求多结合人口、基础设施分布等社会经济数据与遥感图像进行制图[25-27]。权衡协同情景分析是新兴的生态系统服务制图研究热点,其主要研究不同生态系统服务间的关系及空间分布特征[28-29],如对区域内生态系统服务簇的划分与制图[30-31]。与陆地生态系统相比,沿海地区的环境条件更复杂,数据获取也更加困难。现有研究多针对有限的几种生态系统服务进行价值估算和制图[20-24],严重低估了沿海地区生态系统服务的实际价值。因此,如何有效而全面地识别沿海城市区生态系统服务类型及分布特征,对海岸带的生态规划、修复及生态系统功能提升有重要意义。

在前人研究基础上[4,15,32-33],本文考虑沿海城市区生态系统组分复杂、人类活动强烈的特点,以粤港大湾区为研究区,进行了生态系统服务识别、分类与制图方法研究,旨在缓解生态系统服务供给与人类需求之间与日俱增的矛盾,为我国沿海地区生态系统的保育、修复和重建提供科学依据。

## 1 研究区数据与方法

### 1.1 研究区概况

粤港澳大湾区位于广东省中南部[34],范围为 21°17′36″—23°55′54″N,111°59′42″—115°25′18″E。为保证研究范围内生态系统的连续性,研究区包括 11 个城市以及向海 4km 内的浅海水域(图 1),城市为广州、深圳、珠海、佛山、惠州(惠城区、惠阳区、惠东县、博罗县)、东莞、江门、肇庆(端州区、鼎湖区、高要市、四惠市)和香

港、澳门 2 个特别行政区[35-36]。研究区属南亚热带季风气候,降水丰沛,雨热同季,有利于动植物生长,生物、海洋、环境资源丰富,具有极其重要的生态价值和经济价值[37-38]。

自上世纪 80 年代吴家玮首次提出“香港湾区”的概念到 2017 年“粤港澳大湾区”上升为国家战略,该区域经历了快速的工业化和城市化过程[21],为了缓解社会经济发展与土地资源不足间的矛盾,湾区内进行了大规模填海造陆。由于粤港澳大湾区三地政治、经济、文化存在较大差异,区域间发展不平衡[36],外围产业发展相对落后,城市化仍在推进。长期以来,城市开发活动多集中在近岸地区,自然生态系统遭受了不同程度的退化,大量耕地、滨海湿地转为建设用地,区域生态平衡遭到破坏,生态系统服务种类减少,威胁到区域生态安全和社会经济发展。在高复杂性、异质性和碎片化的沿海城市区,如何保证生态系统服务的可持续提供是亟待解决的问题[15]。

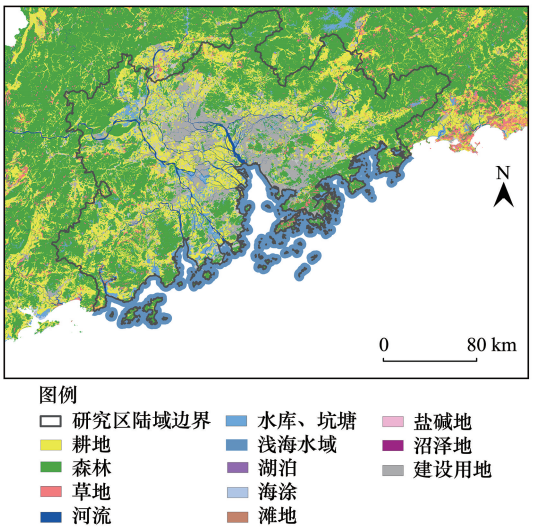


图 1　粤港澳大湾区边界及土地利用现状图

Fig. 1　Boundary and land-use map of the Guangdong, Hong Kong and Macao Great Bay Area

## 1.2　粤港澳大湾区生态系统服务识别、分类与制图方法

### 1.2.1　粤港澳大湾区生态系统服务识别与分类

在建立分类体系前,需要对生态系统服务有充分的理解,保证分类体系中不包括生态系统功能或过程。水、大气等非生物组分作为生态系统的重要组成部分,提供部分与人类直接相关的服务类型(水供给、水质调节、大气调节等),故将其纳入本文建立的分类体系中。根据粤港澳大湾区的空间特征,将区域内的生态系统分为四类,从近海到内陆依次为浅海水域(CW, coastal water)、过渡水域(TW, transitional water)、陆地生态系统(TE, terrestrial ecosystems)和淡水域(FW, freshwater),如图 2 所示。在分类体系中确定四种生态系统提供的服务类型。

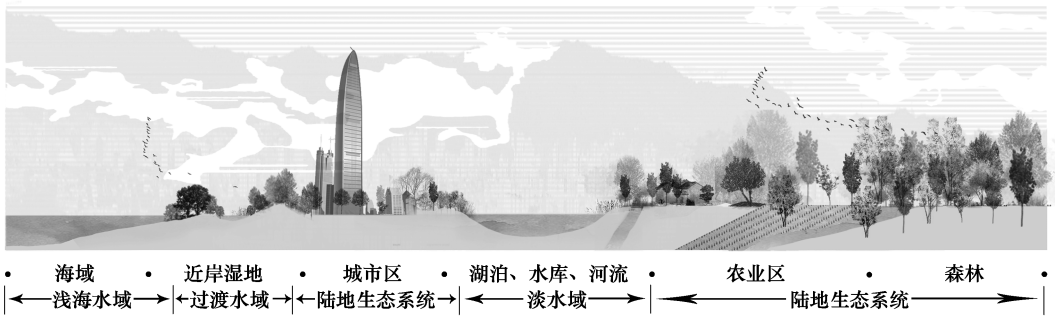


图 2　粤港澳大湾区海岸带生态系统类型剖面图

Fig.2　Profile map of the coastal ecosystem types of the Guangdong, Hong Kong and Macao Great Bay Area

本文以生态系统中生物产出和非生物产出为分类基础,建立四级分类体系,最高层包括供给服务、调节服务、文化服务三个大类,由于支持服务只是被人类间接使用,并不包含在分类体系内。从Ⅰ—Ⅳ的四个层次,各个层次的分类越来越详细、具体,可以按照实际情况对生态系统服务类型进行增加或删减以应用于不同地区(如表 1 所示)。

表 1 中共识别出 35 种生态系统服务,与内陆生态系统相比,在滨海城市区,浅海水域和过渡水域也提供

大量生态系统服务。由表 1 可得生态系统服务的提供以生物或生物过程为主,非生物部分提供的生态系统服务以水域为主,主要包括地表水提供的饮用水、能量、交通运输等供给服务和水域提供的调节服务。

**表 1 粤港澳大湾区生态系统服务类型识别与分类**

**Table 1 Identification and Classification of ecosystem services provided by Guangdong, Hong Kong and Macao Great Bay Area**

| Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | CW | TW | FW | TE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 供给服务(生物) | 食物、原材料、能量供给 | 陆生植物类产品供给 | 粮食供给 | | | | √ |
| | | | 农业休闲(火龙果采摘等) | | | | √ |
| | | | 木材供给 | | | | √ |
| | | | 野生陆生植物产品供给(野生菌类等) | | | | √ |
| | | 陆地动物类产品供给 | 养殖动物类食物供给(鸡鸭等) | | | | √ |
| | | | 野生陆地动物产品供给 | | | | √ |
| | | 水产品供给 | 养殖水生植物类食物供给(海带等) | √ | √ | √ | |
| | | | 养殖水生植物类原材料供给(藻类等) | √ | √ | √ | |
| | | | 养殖水生动物类食物供给(虾蟹等) | √ | √ | √ | |
| | | | 养殖水生动物类原材料供给(珍珠等) | √ | √ | √ | |
| | | | 野生水生动植物供给(近海捕捞等) | √ | | √ | |
| | 基因保存 | 植物、菌类基因保存 | 种群维持、新品种繁殖 | √ | √ | √ | √ |
| | | 动物基因保存 | 种群维持、新品种繁殖 | √ | √ | √ | √ |
| 供给服务(非生物) | 地表水供给 | 饮用水、原材料或能量供给 | 地表饮用水供给 | | | √ | |
| | | | 水力发电 | | | √ | |
| | | 其他 | 航运 | | √ | √ | |
| 调节服务(生物) | 干扰调节 | 废物、有毒物质的生物降解 | 生物修复 | √ | √ | √ | √ |
| | | | 过滤/隔离/储存/积累作用 | √ | √ | | |
| | | 生物干扰调节 | 防止病虫害 | | | | √ |
| | | 人类干扰调节 | 异味消除/噪声衰减/视觉欣赏 | | | | √ |
| | 自然环境调节 | 质量流调节、自然灾害预防 | 保持水土 | | √ | | √ |
| | | | 防风固沙、侵蚀防护 | √ | √ | √ | √ |
| | | | 水循环和水流调节 | | √ | | √ |
| | | 栖息地保护和生物 | 授粉 | √ | √ | | √ |
| | | 多样性保护 | 种子传播 | | | | √ |
| | | | 栖息地保护 | √ | √ | | √ |
| | | 土壤质量改善 | 风化作用改善土质 | | | √ | √ |
| | | | 有机物分解、沉积物保持 | √ | √ | | √ |
| | | 大气调节 | 大气化学组分调节 | | | √ | √ |
| | | | 温度和湿度调节 | √ | √ | √ | √ |
| 调节服务(非生物) | 干扰调节 | 废物、有毒物质的非生物降解和其他干扰调节 | 大气、水域的净化作用 | √ | √ | √ | |
| 文化服务(非生物) | 消遣与生态旅游 | 休闲娱乐 | 美学欣赏 | √ | √ | √ | √ |
| | | | 健身、游乐 | √ | √ | √ | √ |
| 文化服务(生物) | | 游憩娱乐 | 文化娱乐 | √ | √ | √ | √ |
| | | | 自然娱乐 | √ | √ | √ | √ |

CW: coastal water,浅海水域;TW:transitional water,过渡水域;TE, terrestrial ecosystems,陆地生态系统;FW:freshwater,淡水域

### 1.2.2 粤港澳大湾区生态系统服务制图方法

生态系统各个组分间的关系十分复杂,需确保生态系统服务来源的准确性与普适性,以保证制图精确。其中,供给服务的来源最容易确定,争议较少,耕地、林场、水源地水库都常用于表示供给服务。文化服务的研究集中于消遣和生态旅游,其来源的选择以人类偏好为主导,如社区公园和动物园主要提供文化娱乐服务,而帆船、游船则提供健身、游乐的服务。调节服务的来源较难确定,通常一种调节服务有多个来源,如所有的自

然生态系统均可提供生态修复的服务。因此,本文将草地、森林、自然水域统称为自然生境,作为表 2 中某些调节服务的来源。

表 2 中共确定了 31 种生态系统服务的来源,使用的数据主要包括土地利用数据,点数据及相关统计数据。通过解译 2017 年 Landsat 8 30m 分辨率遥感影像获得土地利用数据,用地类型包括耕地、森林、草地、河流、湖泊等 12 种;使用 Geo Sharp1.0 中高德地图 POI 采集工具以市为单位获取表 2 中点数据的经纬度信息。POI 数据为相应用地类型的细化,如林场与森林,采摘园与耕地,水产养殖场、垂钓场与水域等。基于表 1 中的分类体系及表 2 中获取的数据对供给服务、文化服务和调节服务分别进行制图,并对其中的点数据进行核密度分析,得出相应生态系统服务的空间分布规律。通过综合叠加分析本文制图的 31 种生态系统服务,对研究区内的生态系统服务功能区识别进行识别,将在空间上有显著聚集特征的服务类型划分到同一个区域内。

**表 2　粤港澳大湾区生态系统服务来源**

**Table 2　Sources of ecosystem services of the Guangdong, Hong Kong and Macao Great Bay Area**

| Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | 服务来源 |
|---|---|---|---|---|
| 1.供给服务(生物) | 1.食物、原材料、能量供给 | 1.陆生植物类产品供给 | 1.粮食供给 | 耕地 |
| | | | 2.农业休闲(火龙果采摘等) | 采摘园 |
| | | | 3.木材供给 | 林场 |
| | | 2.陆地动物类产品供给 | 4.养殖动物类食物供给(鸡鸭等) | 牲畜、家禽养殖场 |
| | | 3.水产品供给 | 5.养殖水生植物类食物供给(海带等) | 水产养殖场 |
| | | | 6.养殖水生植物类原材料供给(藻类等) | 水产养殖场 |
| | | | 7.养殖水生动物类食物供给(虾蟹等) | 水产养殖场 |
| | | | 8.养殖水生动物类原材料供给(珍珠等) | 水产养殖场 |
| | 2.基因保存 | 4.植物、菌类基因保存 | 9.种群维持、新品种繁殖 | 自然生境 |
| | | 5.动物基因保存 | 10.种群维持、新品种繁殖 | 自然生境 |
| 2.供给服务(非生物) | 3.地表水供给 | 6.饮用水、原材料或能量供给 | 11.地表饮用水供给 | 水源地水库 |
| | | | 12.水力发电 | 水电站 |
| | | 7.其他 | 13.航运 | 航运码头 |
| 3.调节服务(生物) | 4.干扰调节 | 8.废物、有毒物质的生物降解 | 14.生物修复 | 自然生境 |
| | | | 15.过滤/隔离/储存/积累作用 | 森林、自然水域 |
| | | 9.生物干扰调节 | 16.防止病虫害 | 森林、草地 |
| | 5.自然环境调节 | 10.质量流调节、自然灾害预防 | 17.保持水土 | 森林、草地 |
| | | | 18.防风固沙、侵蚀防护 | 森林、草地 |
| | | | 19.水循环和水流调节 | 森林、自然水域 |
| | | 11.栖息地保护和生物多样性保护 | 20.授粉 | 森林 |
| | | | 21.种子传播 | 森林 |
| | | | 22.栖息地保护 | 自然生境 |
| | | 12.土壤质量改善 | 23.风化作用改善土质 | 森林、自然水域 |
| | | | 24.有机物分解、沉积物保持 | 自然生境 |
| | | 13.大气调节 | 25.大气化学组分调节 | 森林、水域 |
| | | | 26.温度和湿度调节 | 森林、水域 |
| 4.调节服务 (非生物) | 6.干扰调节 | 14.废物、有毒物质的非生物降解和其他干扰调节 | 27.大气、水域的净化作用 | 水域 |
| 5.文化服务 (非生物) | 7.消遣与生态旅游 | 15.休闲娱乐 | 28.美学欣赏 | 观景台 |
| | | | 29.健身、游乐 | 游船、帆船 |
| 6.文化服务 (生物) | | 16.游憩娱乐 | 30.文化娱乐 | 社区公园、动物园 |
| | | | 31.自然娱乐 | 森林公园、自然保护区 |

## 2 结果与分析

基于可获取的数据确定了表 2 中第Ⅳ级生态系统服务的来源,其具有空间属性,因此可以被制图。将代表不同服务的 POI 数据与 OpenStreetMap 参考数据进行对比,点位正确率在 80%以上,因此制图结果能较好地反映粤港澳大湾区生态系统服务的空间分布特征。

### 2.1 粤港澳大湾区生态系统服务的空间分布特征

#### 2.1.1 供给服务

供给服务主要包括原材料、食物、遗传物质和水的供给。供给服务的分布与相应用地类型有关,但并不是所有该类型土地均提供此服务,因此耕地提供粮食和森林、水域提供遗传物质的服务来源为相应用地类型,其他供给服务的来源为相应点数据,粤港澳大湾区供给服务的空间分布如图 3 所示。在研究区内,动植物以提供农业休闲、食物和木材供给为主;水的供给服务多由内陆水域提供,水源地水库在各个城市周边均有分布,提供城市居民的生活用水;航运码头多分布于湾区附近,如深圳的福田、蛇口,珠海的香洲区,它们作为航运枢纽在连通内陆与港澳地区的交通中起重要作用。通过图 3 可知,粮食、养殖动物、水产品供给等服务集中分布于人口密度较高的中心建设区附近(深圳、东莞、广州、佛山、珠海),尤其以珠江口东岸为主,能够快速、便捷地为城市居民提供生活必需的食品和原材料。考虑到经济林的生长条件和采伐条件,不宜分布于人口密集的城市区,故多位于江门、佛山、肇庆等城市周边的森林。

#### 2.1.2 文化服务

表 2 中文化服务的来源均为点数据。社区公园、动物园、观景台和帆船、游船等大多利用城市区内小型的绿地、水域、部分近海区域等为城市居民提供较为便捷的文化休闲服务。在研究区内,森林公园和自然保护区自然观赏价值和生物多样性较高,自然娱乐、生态旅游等为次要服务,因此多分散在城市建设区外围的森林、水域,远离人口密集区以便更好地实施保护;文化娱乐、休闲娱乐集中在中心地带的建设用地附近,以方便城市居民为主(如图 4 所示);此外,海岛及近海地区也提供大量的文化服务,由图 4-a,4-c 可知,自西向东沿海岸线均有休闲娱乐和文化娱乐点分布,在珠海、深圳和香港最为集中,表明研究区内的海岸线有较高的文化服务价值。

#### 2.1.3 调节服务

结合表 2 可知调节服务的来源以自然生境为主,即森林、草地及自然水域,不同用地类型提供的调节服务也有差异。由图 5 可知研究区内自然生境分布在中心城市区及耕地的外围,对自然环境、人类活动干扰起着重要的调节作用,如对温度、湿度、空气组分的调节,以保证城市建设区内的大气、水环境良好,提高城市宜居性。

红树林是热带、亚热带海岸带地区特有的生态系统类型,在防浪护岸、降解污染物、调节气候、维持海岸生物多样性等方面起着重要作用。在粤港澳大湾区岸线也生长有大量红树林,由图 5 可知,研究区内沿海岸线自西向东共分布有红树林公园、红树林保护区共 7 个,位于深圳福田区的红树林保护区、红树林鸟类保护区均为国家级,表明红树林发挥着重要的调节作用。

### 2.2 粤港澳大湾区生态系统服务功能区识别

通过综合叠加分析本文制图的 31 种生态系统服务,得出不同类型服务的空间聚集特征,进而识别出主要的生态系统服务功能区,即将研究区划分为文化服务主体区、供给服务主体区及调节服务主体区。文化服务主体区包括中山、佛山、广州、东莞、深圳的大部分地区和澳门、珠海、江门、香港的部分地区,是粤港澳大湾区建设用地比重最大,人口最密集,经济最发达的区域,是以文化娱乐为主的文化服务的集中分布区;供给服务主体区分布于文化服务主体区外围,各个城市均有分布,主要包括耕地、采摘园、养殖场及内陆水域,是研究区内最重要的农业及渔业生产区,为城市居民提供大量的食物、原材料和水供给服务;调节服务主体区位于研究区的最外围,用地类型以森林为主,是重要的生态公益林、水源涵养林分布区,在低海拔区域分布有经济林、商

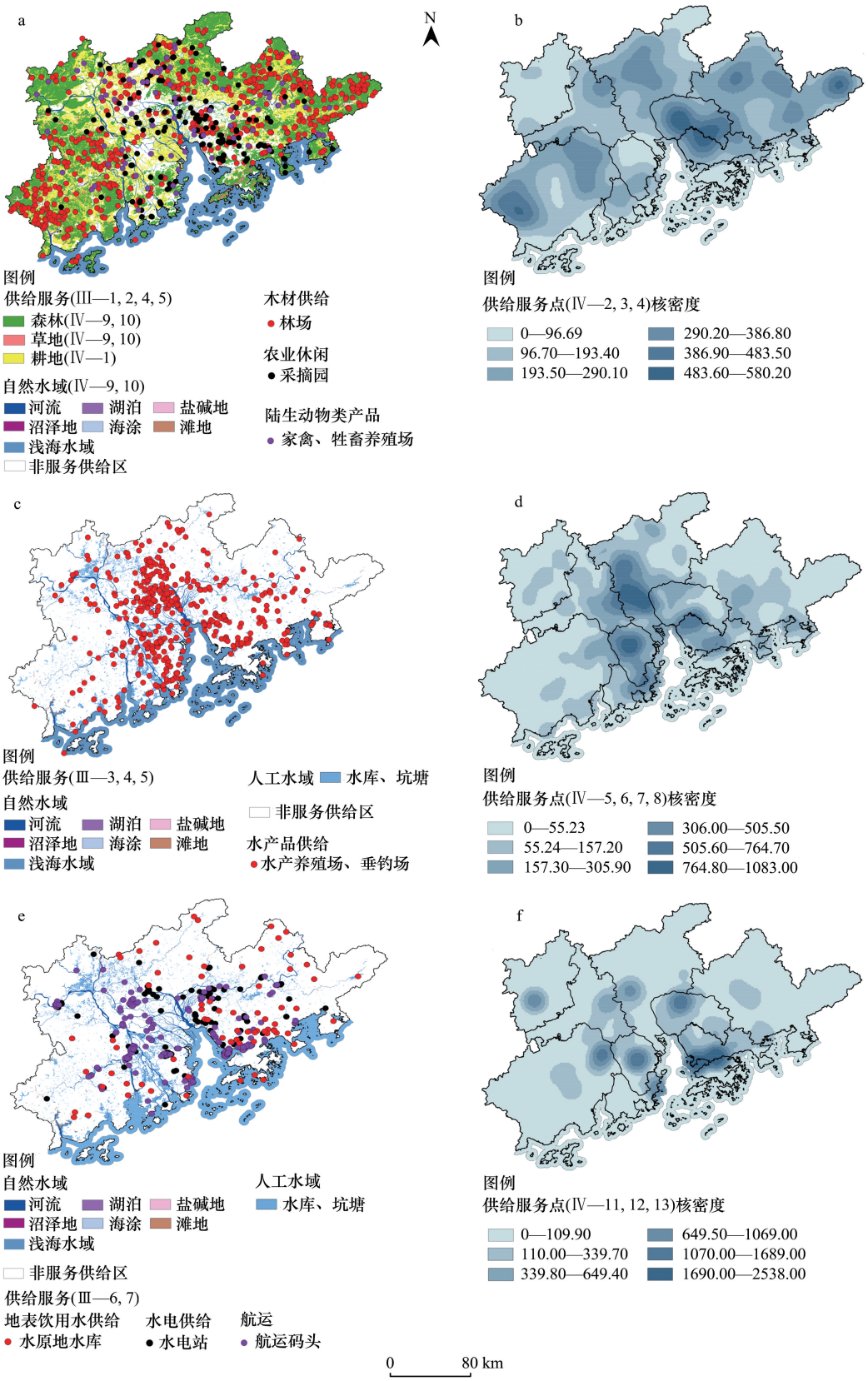


**图 3　粤港澳大湾区生态系统供给服务分布及其核密度图**

**Fig.3　Spatial distributions of provision services and their kernel density maps in the Guangdong, Hong Kong and Macao Great Bay Area**

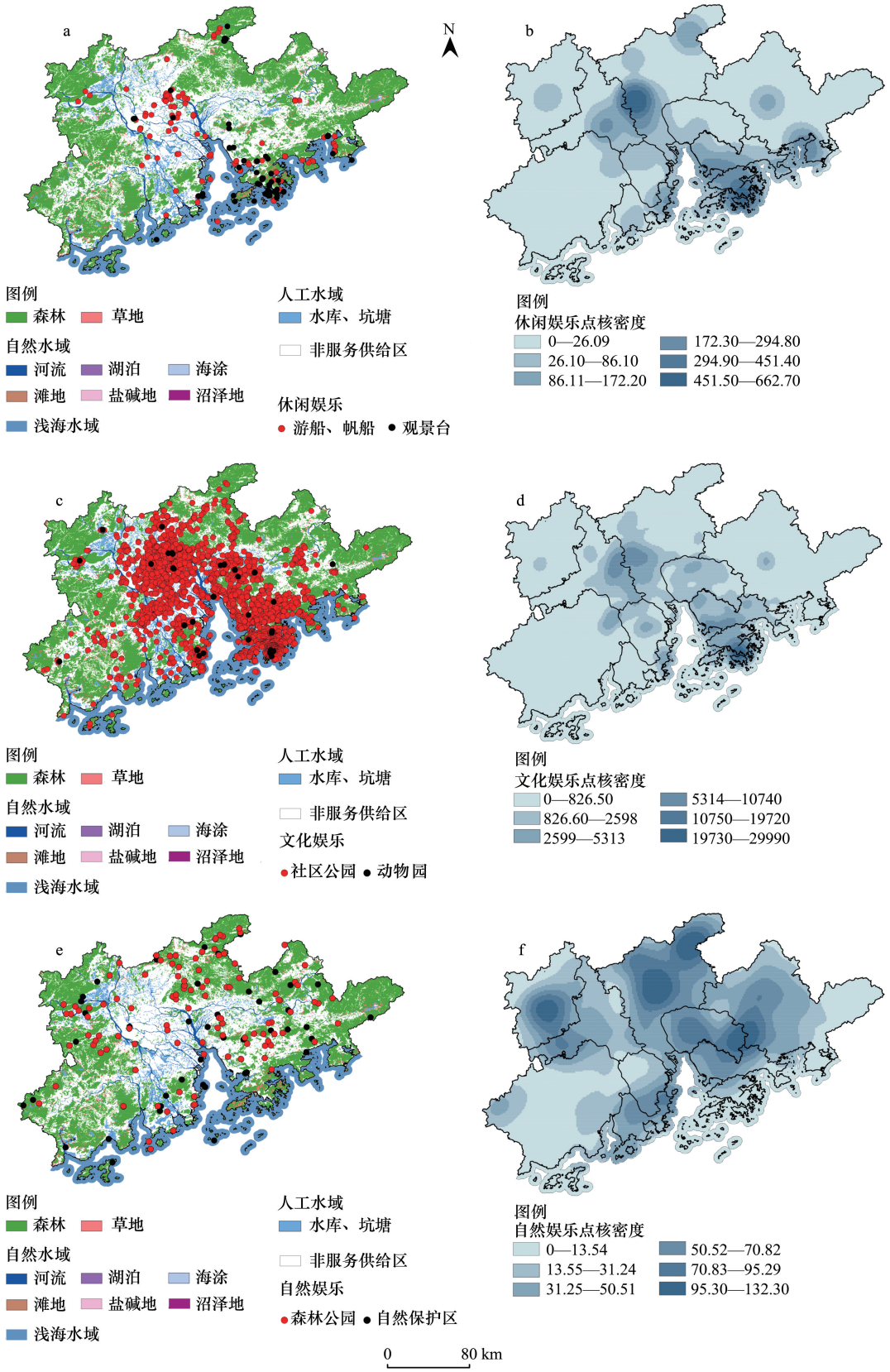


**图 4 粤港澳大湾区生态系统文化服务分布及其核密度图**

**Fig.4 Spatial distributions of cultural services and their kernel density maps in the Guangdong, Hong Kong and Macao Great Bay Area**

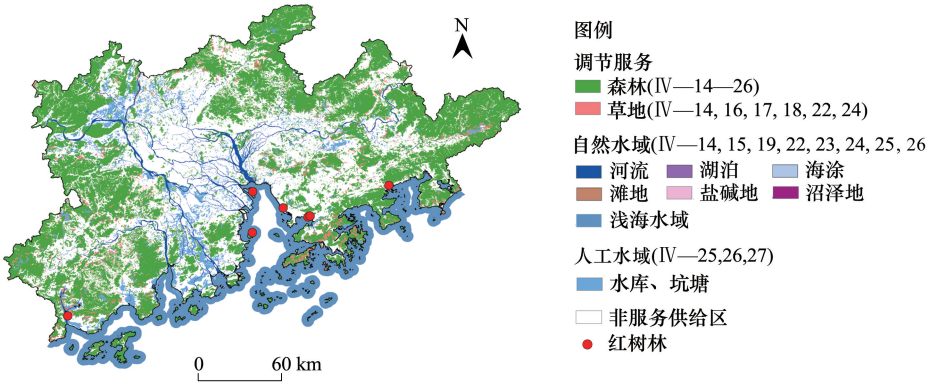


**图 5　粤港澳大湾区调节服务及红树林分布图**

**Fig.5　Spatial distributions of regulation services and mangrove forests in the Guangdong, Hong Kong and Macao Great Bay Area**

品林,提供部分供给服务,如基因保存和木材供给等,但主要以调节服务(大气、水质调节等)为主。调节服务主体区还包括大部分浅海水域,其在调节近岸环境、降解污染物等方面发挥着重要作用。

## 3　结论与讨论

本文结合粤港澳大湾区自然、社会、经济状况,在区域尺度上建立了适合该地区的生态系统服务分类体系。使用 POI 数据与土地利用数据进行制图,较为清晰地展示了不同生态系统服务的空间分布特征,即文化娱乐、供给等与人类生活密切相关的服务分布于建设用地及周边;而调节服务、自然娱乐多分布于城市区的外围,以调节自然环境和人类活动干扰,改善城市居民生活环境。因此,根据生态系统服务空间聚集特征,本文将整个研究区分文化服务主体区、供给服务主体区及调节服务主体区。

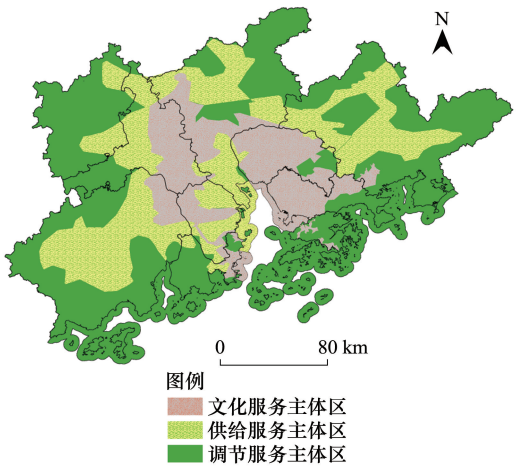


**图 6　粤港澳大湾区生态系统服务功能区识别**

**Fig.6　Identification of main ecosystem services functional zones of Guangdong, Hong Kong and Macao Great Bay Area**

由于数据限制,本研究也存在一些局限性。本文建立的分类体系基于一个假设,即选定的服务来源提供的服务数量及质量是相同的,而实际状况是,某种特定生境可能会具有相对较高或较低的生态系统服务价值,如不同的森林公园、不同位置的水域等提供服务的种类和数量是存在差异的。因此本文仅利用该体系对研究区内的生态系统服务分布做定性分析,即空间位置表示某种服务的存在而没有考虑提供服务的相对大小。本文只考虑了与生态系统或生物量、生物过程相关的生态系统服务,而不包括其他可再生的非生物部分。如在研究区内,非生物产出只包含了与淡水域相关的地表水供给,而没有考虑矿产资源供给等。

数据收集的质量和准确性是生态系统服务分类和制图的关键。海岸带地区社会、自然条件复杂,数据来源多样,数据获取难度较大,一些无法获取数据的服务未包含在制图结果内,如野生动植物的产出,近海区的捕捞业等。由于缺乏不同生物种群(微生物、菌类、植物、动物)的详细空间信息,只能用生境分布表示生物过程提供的调节服务。实际上调节服务是生境和生物种群共同提供的(如过渡水域和红树林的过滤/隔离/储存/积累作用)。

采用 30m 分辨率土地利用分类图,将草地、森林、自然水域划分为自然生境,但并非所有上述用地类型均为自然生境,由于数据精度限制,无法剔除分类中的少部分非生境部分,城市区内较小面积的绿地(如景观植

物、行道树等)和水域等提供的调节服务也未包含在内。此外,由于数据来源不同,数据源在时间和空间上不匹配。在时间上,所有空间点的信息不是实时更新,因此可能存在部分点的缺失或冗余,如本文使用的遥感数据是 2017 年,而自然保护区名录仅更新至 2012 年;在空间上,数据位置信息经过加密,即使投影至同一坐标系,与实际位置也存在微小偏差。

综合而言,本文建立的分类体系和制图方法操作性强,研究者可以根据具体情况采用分类体系的不同层级,或增加、删减不同类型的生态系统服务以应用于其他海岸带地区,能够为我国沿海地区的治理、规划及生态保护提供一种新的研究思路。

**参考文献(References):**


[1] Barbier E B, Hacker S D, Kennedy C, Koch E W, Stier A C, Silliman B R. The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological Monographs, 2011, 81(2): 169-193.

[2] White C, Halpern B S, Kappel C V. Ecosystem service tradeoff analysis reveals the value of marine spatial planning for multiple ocean uses. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(12): 4696-4701.

[3] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Washington: Island Press, 2003: 1-10.

[4] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington: Island Press, 2005: 2-6.

[5] Halpern B S, Walbridge S, Selkoe K A, Kappel C V, Micheli F, D'Agrosa C, Bruno J F, Casey K S, Ebert C, Fox H E, Fujita R, Heinemann D, Lenihan H S, Madin E M, Perry M T, Selig E R, Spalding M, Steneck R, Watson R. A global map of human impact on marine ecosystems. Science, 2008, 319(5865): 948-952.

[6] Malone T C, Knap A H. Integrated coastal zone monitoring in support of ecosystem-based management of marine ecosystem services//Islam N, Jorgensen S E, eds. Environmental Management of Marine Ecosystems. Boca Raton: CRC Press, 2018.

[7] Worm B, Lenihan H S. Threats to marine ecosystems: overfishing and habitat degradation//Bertness M D, Bruno J F, Silliman B R, Stachowicz J J, eds. Marine Community Ecology and Conservation. Sunderland: Sinauer Associates Inc, 2014: 449-476.

[8] Atkins J P, Burdon D, Elliott M, Gregory A J. Management of the marine environment: integrating ecosystem services and societal benefits with the DPSIR framework in a systems approach. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(2): 215-226.

[9] Arkema K K, Verutes G M, Wood S A, Clarke-Samuels C, Rosado S, Canto M, Rosenthal A, Ruckelshaus M, Guannel G, Toft J, Faries J, Silver J M, Griffin R, Guerry A D. Embedding ecosystem services in coastal planning leads to better outcomes for people and nature. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112(24): 7390-7395.

[10] Hori M, Hamaoka H, Hirota M, Lagarde F, Vaz S, Hamaguchi M, Hori J, Makino M. Application of the coastal ecosystem complex concept toward integrated management for sustainable coastal fisheries under oligotrophication. Fisheries Science, 2018, 84(2): 283-292.

[11] De Groot R S, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity, 2010, 7(3): 260-272.

[12] Lubchenco J, Sutley N. Proposed U.S. policy for ocean, coast, and Great Lakes stewardship. Science, 2010, 328(5985): 1485-1486.

[13] Wallace K J. Classification of ecosystem services: problems and solutions. Biological Conservation, 2007, 139(3/4): 235-246.

[14] Böhnke-Henrichs A, Baulcomb C, Koss R, Hussain S S, De Groot R S. Typology and indicators of ecosystem services for marine spatial planning and management. Journal of Environmental Management, 2013, 130: 135-145.

[15] Sousa L P, Sousa A I, Alves F L, Lillebø A I. Ecosystem services provided by a complex coastal region: challenges of classification and mapping. Scientific Reports, 2016, 6: 22782.

[16] Rova S, Pastres R, Zucchetta M, Pranovi F. Ecosystem services' mapping in data-poor coastal areas: Which are the monitoring priorities? Ocean & Coastal Management, 2018, 153: 168-175.

[17] 张立伟, 傅伯杰. 生态系统服务制图研究进展. 生态学报, 2014, 34(2): 316-325.

[18] Qiu J X, Turner M G. Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(29): 12149-12154.

[19] Lin S W, Wu R D, Yang F L, Wang J J, Wu W. Spatial trade-offs and synergies among ecosystem services within a global biodiversity hotspot. Ecological Indicators, 2018, 84: 371-381.

[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] 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.

[22] 喻露露, 张晓祥, 李杨帆, 赵杏杏, 马生全, Cao H H, 曹均阔. 海口市海岸带生态系统服务及其时空变异. 生态学报, 2016, 36(8):

2431-2441.

[23] 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. 生态学报, 2014, 34(12): 3311-3319.

[24] 程敏, 张丽云, 崔丽娟, 欧阳志云. 滨海湿地生态系统服务及其价值评估研究进展. 生态学报, 2016, 36(23): 7509-7518.

[25] Kroll F, Müller F, Haase D, Fohrer N. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. Land Use Policy, 2012, 29(3): 521-535.

[26] Ayanu Y Z, Conrad C, Nauss T, Wegmann M, Koellner T. Quantifying and mapping ecosystem services supplies and demands: a review of remote sensing applications. Environmental Science & Technology, 2012, 46(16): 8529-8541.

[27] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. Ecological Indicators, 2012, 21: 17-29.

[28] Vallet A, Locatelli B, Levrel H, Wunder S, Seppelt R, Scholes R J, Oszwald J. Relationships between ecosystem services: Comparing methods for assessing tradeoffs and synergies. Ecological Economics, 2018, 150: 96-106.

[29] Torralba M, Fagerholm N, Hartel T, Moreno G, Plieninger T. A social-ecological analysis of ecosystem services supply and trade-offs in European wood-pastures. Science Advances, 2018, 4(5): eaar2176.

[30] 吴健生, 钟晓红, 彭建, 秦维. 基于生态系统服务簇的小尺度区域生态用地功能分类——以重庆两江新区为例. 生态学报, 2015, 35(11): 3808-3816.

[31] Saidi N, Spray C. Ecosystem services bundles: challenges and opportunities for implementation and further research. Environmental Research Letters, 2018, 13(11): 113001.

[32] Fisher B, Turner R K. Ecosystem services: classification for valuation. Biological Conservation, 2008, 141(5): 1167-1169.

[33] Haines-Young R, Potschin M, Kienast F. Indicators of ecosystem service potential at European scales: mapping marginal changes and trade-offs. Ecological Indicators, 2012, 21: 39-53.

[34] 胡志仁, 龚建周, 李天翔, 孙家仁. 珠江三角洲城市群生态安全评价及态势分析. 生态环境学报, 2018, 27(2): 304-312.

[35] 李君洁. 珠江三角洲土地利用变化及其对生态系统服务功能的影响研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2009.

[36] 朱孟珏, 傅晓婷. 粤港澳大湾区土地利用效率的时空特征及其影响机制. 热带地理, 2017, 37(6): 814-823.

[37] 牟雪洁, 赵昕奕. 珠三角地区地表温度与土地利用类型关系. 地理研究, 2012, 31(9): 1589-1597.

[38] 韩秋萍, 张修玉, 许振成, 郑翔, 谈可可, 邹洁. 珠三角生态屏障区森林生态系统服务功能价值核算——以韶关市为例. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(5): 430-434.