

DOI: 10.5846/stxb201903070437

杨海乐,危起伟,陈家宽.选择容量价值:一个新的生态系统服务价值指标.生态学报,2020,40(10):3155-3167.

Yang H L, Wei Q W, Chen J K. Ecosystem services optional capacity value: A new indicator for valuation of ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3155-3167.

选择容量价值:一个新的生态系统服务价值指标

杨海乐¹, 危起伟¹, 陈家宽^{2, 3, *}

1 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 武汉 430223

2 复旦大学生物多样性科学研究所, 上海 200438

3 南昌大学生命科学研究院流域生态研究所, 南昌 330031

摘要:对生态系统服务进行价值评估有助于落实生态系统的科学管理和推动生态补偿的科学实施。然而,传统的生态系统服务价值评估方法在管理实践应用中存在明显的局限性。为了规避这些局限性,另辟一条对生态系统服务价值评估的新思路,提出了描述生态系统服务价值的新指标——“选择容量价值”。选择容量价值以两个事实为基本依据:1)如果失去了任何一项生存所必需的生态系统服务(比如氧气、水),那么人类就无法生存,亦即人类经济社会活动所产生的价值是建立在消费该生态系统服务的基础上的;2)如果没有人类活动的存在,那么生态系统就给人类提供不了任何价值,亦即生态系统服务价值的度量是建立在生态系统服务所支持的人类经济社会活动所产生的价值上的。选择容量价值是指,一项人类生存生产所必需的生态系统服务,其总量为消费该生态系统服务的消费活动所提供的选择自由度(即选择容量)与该消费活动所产生的经济社会活动总价值的乘积,用非货币单位来计量。通过一个案例——对珠江流域的水资源供应的选择容量价值的估算,揭示选择容量价值对理解和量化生态系统服务价值的新洞察。结果显示,选择容量价值能够直观而综合地反映生态系统服务总量、生态系统服务消费量、社会经济活动总价值之间的关系,为理解和量化生态系统服务价值提供新视角,也为理解和量化上下游间的生态系统服务输移的价值核算提供新思路。这对当前的生态系统服务价值研究范式具有补充作用。

关键词:生态系统服务价值;选择容量价值;选择自由度;空间辅加;珠江流域

Ecosystem services optional capacity value: A new indicator for valuation of ecosystem services

YANG Haile¹, WEI Qiwei¹, CHEN Jiakuan^{2,3, *}

1 Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture of China, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

2 Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200438, China

3 Center for Watershed Ecology, Institute of Life Science, Nanchang University, Nanchang 330031, China

Abstract: The valuation of ecosystem services (ESs) is helpful for effective ES management and scientific payment for ecosystem services (PES). However, there are many limitations to traditional ES valuation approaches, including the theoretical challenges and the practical difficulties. These limitations cause many difficulties in the practice of ES management and PES. To circumvent these limitations, we proposed a new indicator for the valuation ES, which we termed the ES optional capacity value (OCV). The OCV was based on two axioms: (1) human life would end if we lose any essential ES for human survival (such as oxygen or freshwater); and (2) ecosystems cannot provide any benefits to people without human activities. OCV indicates the optional capacity of supporting the total value produced by a human's economic and social activities (TVPH) provided by the total volume of an ES that was indispensable to human survival. OCV was

收稿日期:2019-03-07; 修订日期:2020-02-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jkchen@fudan.edu.cn

described by the product of TVPH and the selective degree of freedom. The selective degree of freedom was evaluated by the average uncertainty of selecting the ES consumption from the total ES volume. Then, we demonstrated the new insights into OCV to assist in the understanding and quantification of ES, based on a simple case study that valued the OCV of water provision in Zhujiang River Basin (Pearl River Basin), China. The results showed that OCV could directly reflect the relationship among the total volume of an ES, the consumption volume of an ES, and the TVPH. OCV provided a new insight for understanding and measuring the value of ES. In particular, the OCV provided a clear insight into understanding and measuring the value of ES subsidies between regions. It has potential to form a significant framework for valuing ES as a complementary approach to traditional ES valuation.

Key Words: ecosystem services value; optional capacity value; selective degree of freedom; spatial subsidy; Zhujiang River Basin

生态系统为人类提供了一系列服务,这些服务对人类福祉、健康、生计甚至生存都至关重要^[1-2]。为了阐明社会-生态之间的复杂关系,以及理清人类活动如何影响生态系统服务(ecosystem services, ES),人们提出了对生态系统服务进行价值评估,来协助相关公共决策的实施^[3-5]。

生态系统服务的价值评估可以是货币化的(monetary),也可以是非货币化的(non-monetary),还可以是货币-非货币混合量化的。在货币化的生态系统服务价值评估研究中,主要有两个路径^[6]:基于单元价值的路径(unit value based approach)^[1,7-8]和基于原始数据的路径(primary data based approach)^[9-12]。在非货币化的生态系统服务价值评估研究中,有基于如生态足迹、环境影响、生态热力学能值等的单价值评估路径^[13-15],也有如“生物多样性和生态系统服务政府间科学-政策平台(IPBES)”所提出的多元价值评估的路径(pluralistic valuation approach)^[16]。货币-非货币混合量化方式,如 Häyhä 等^[17]的生态系统服务是用生物物理和货币两个量化指标来评估的,货币化评估主要采用了基于单元价值的路径;Kenter 等^[18]则整合了协商货币化估值(deliberative monetary valuation)、叙述性偏好(storytelling)、主观幸福感(subjective well-being)和心理测量(psychometric approaches)等要素和方法,来综合地评估文化生态系统服务(cultural ecosystem services)的价值。生态系统服务价值评估方法的整体类型格局如图 1 所示^[1,12,15-18]。

目前的评价方法在理论上存在两个挑战^[4]:1)我们对生态系统服务认识的不充分,如果我们不承认或者无法确定某一项生态系统服务在我们的生产生活中所为我们提供的福利,那么我们就无法赋予它确切的价值^[19-20],而这个问题非常普遍;2)因为很难精确测量一个系统的功能,所以也很难准确量化一个来自该系统的服务的价值^[21-23]。这两个挑战导致了在对一个区域或在对整个地球的整体生态系统服务价值进行评估时出现了两个主要问题:1)生态系统服务类型的漏算和重算,2)单项生态系统服务价值的低估或高估,并且这两个问题经传统的合计计算过程(aggregating approaches)而使得其所导致的问题的严重性进一步放大。目前的评价方法在实践中也存在两个问题:1)所有对生态系统服务的货币化价值评估大都基于传统的评估方法,比如市场价值法、影子工程法、替代成本法、支付意愿法等,而这些评估方法多样且都有比较大的局限性(表 1)^[24-25];2)对生态系统服务的非货币化价值评估多采用了多因子^[16,26],操作起来难度和代价都比较大。

为了解决传统生态系统服务价值核算方法在原理中存在的问题所带来的误差放大,为了规避传统生态系统服务价值核算方法在实践中存在的局限性,进而为生态系统管理和生态补偿实施提供便利工具,我们需要一个新的生态系统服务价值评估体系。本文另辟生态系统服务价值评估的新思路,提出了一个评估生态系统服务价值的新量化指标“选择容量价值”,并通过案例研究——对珠江流域的水资源供应的选择容量价值进行估算,为理解和量化生态系统服务价值带来新的视角。在案例研究中,为了说明选择容量价值估算对尺度的依赖性,在两个空间尺度(流域尺度和亚流域尺度)上分析了珠江流域水资源供应的选择容量价值;为了说明选择容量价值对生态系统服务空间辅加(ecosystem services spatial subsidies)的价值评估功能,在亚流域尺度上分析了各水文单元之间的过境水输送产生的选择容量价值输移。

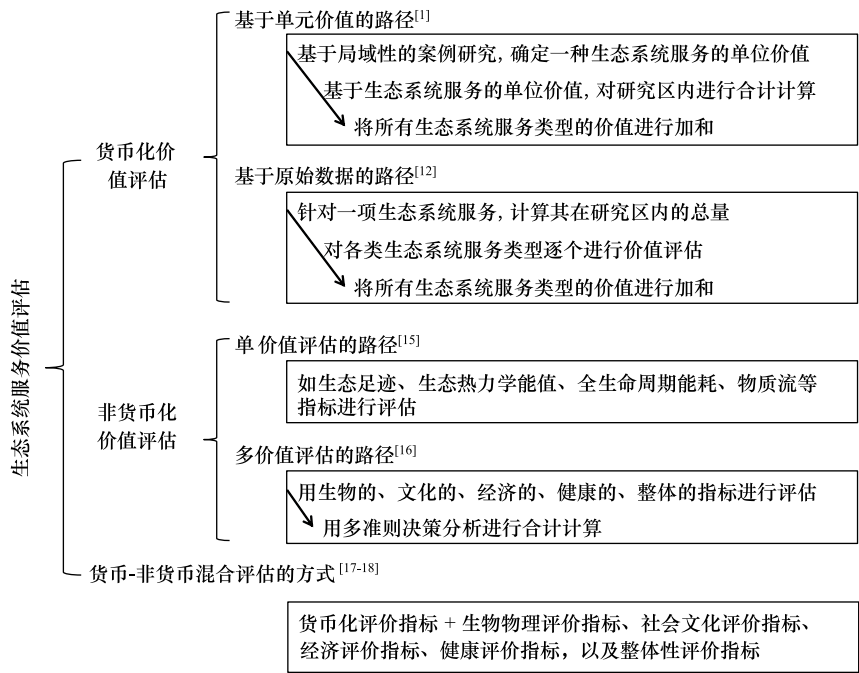


图 1 生态系统服务价值评估的类型

Fig.1 Types of ecosystem services valuations

表 1 传统的生态系统服务价值评估方法^[24-25]

方式 Approaches	方法 Methods	评论 Comments	局限性 Limitations
直接市场评价法 Direct market valuation approach			
基于价格的	市场价格	利用了国内国际市场上对商品和服务贸易的通用定价	市场缺陷和/或政策失败导致的市场价格扭曲
Price-based	影子价格	利用了经过空间分布加权换算的市场价格	非常复杂,且需要大量数据来支撑,决策者也可能不会接受这种人为价格
基于代价的 Cost-based	预防性支出	利用了预防环境利益被破坏或退化的代价	预防性投入的收益可能与本来的利益存在错配
	避免的代价	依赖于破坏所带来的损失就是其价值的假设	数据和资源的有限性可能让这一方法不那么合适
	替代的代价	利用了人工替代品替代环境产品和服务所需付出的代价	很难确定这种替代是否和原来的功能相等效
	搬迁的代价	利用了搬迁一个受威胁社区的代价	搬迁前后,社区所享受到的好处通常都是不一致的
基于产品的 Production-based	恢复的代价	利用了恢复重建生态系统产品和服务所需的代价	很难把生态系统恢复重建到原先那个模样
	产品功能/要素收益	利用了通过模拟非市场要素或生态功能所给经济活动带来的改变	生态-经济之间的多重关系,以及重复计算可能会带来一些问题
显示性偏好法 Revealed preference approach			
	旅行成本法	利用了人们愿意通过游览某一区域的花费来表征人们在某一环境福利上的支出意愿	需要大量的数据;被限制在了消费行为;结果对统计方法和供需关系高度敏感
	特征价格法	利用了特定生态系统功能对其周围真实环境的影响	价格扭曲、收入限制都会影响其有效性,环境状况和数据缺乏

续表

方式 Approaches	方法 Methods	评论 Comments	局限性 Limitations
叙述性偏好法 Stated preference approach			
	模拟市场法	构建了一个实验性的市场,货币真实地进行交易	精细的决策和实施在发展中国家很难推行
	条件价值法	构建了一个假设的市场,来引出调查对象的支付意愿	结果对调查的设计和实施中大量存在的偏好非常敏感
	条件排名法	用定量的术语对生态系统服务根据个人偏好进行排名和打分	没有直接引出人们的支付意愿,无法直接应用在政策制定中
	选择模型法	模拟了一个人在一个给定的背景下进行决策的过程	存在部分与整体的偏差、对目标敏感、被嵌入特定的背景等问题
	协商估值法	结合了叙述性偏好的政治科学中的协商过程	需要各利益相关方给出坦率的信息

1 选择容量价值

1.1 选择容量价值的定义和评估方案

Chaisson^[27]指出如果我们失去了任何一项生存所必需的生态系统服务(比如氧气的供应、水的供应),人类就无法生存,更没有人类活动所产生的价值。Costanza 等^[2]指出如果没有人(人力资本)、社群(社会资本)、建成环境(built environment)(建造资本(built capital))的存在,生态系统就给人类提供不了任何福利和价值。将这两项事实作为公理,可以得出两个推论。

第一个推论是,如果一项生存所必需的生态系统服务是维持人类正常生存生产生活所必需的,那么可以认为人类经济社会活动产生的总价值是建立在消费该生态系统服务的基础上的。第二个推论是,在维持人类正常生存生产生活中,需要消费一定量的生态系统服务,而一个区域的生态系统服务总量给这些消费活动提供了一定的选择自由度。基于这两个推论,本文提出“选择容量价值”这个概念,即被消费的生态系统服务所支撑的经济社会活动的总价值与一个区域的生态系统服务总量给消费该生态系统服务所提供的选择自由度的乘积。

为了能够恰当地评估生态系统服务的选择容量价值,需要先对生态系统服务进行恰当地分类。传统上,生态系统服务的分类主要有两个路径^[28]。第一个路径是现行最为常用的分类,将生态系统服务主要分为四个大类:供给服务、调节服务、支持服务、文化服务(provisioning, regulating, supporting, and cultural services)^[29]。第二个路径主要基于生态系统服务的排他性(excludability)、竞争性(rivalness)和空间特征来为其分类^[30-31]。因为生态系统服务价值是生态系统所提供的并藉由人类生产生活所体现出来的价值,所以为了恰当评估生态系统服务价值,本文对生态系统服务的分类采取以人类活动为参照系的原则,并借鉴第二个路径,以生态系统服务的不可或缺性、空间依赖性和空间流动性为三个维度来对其进行分类(表2、图2)。

表2 基于不可或缺性、空间依赖性和空间流动性的生态系统服务类型划分,修改自 Häyhä 和 Franzese (2014)^[28]

Table 2 Classification of ecosystem services based on indispensability, spatial proximity and spatial flow, modified from Hayha and Franzese

类型 Types	举例 Examples
对人类生存不可或缺 Indispensable to human survival	保障人类生存的基本服务,比如淡水供应、氧气供应
对特定行业不可或缺 Indispensable to a definite industry	保障行业运转的基本服务,比如支撑畜牧业的草场
不知道对什么不可或缺 Indispensable to something unknown	人类尚不能利用的那些服务,比如海底热泉
全球性不依赖于特定空间 Global non-proximal	无需空间上的毗邻,比如二氧化碳固定作用
区域性依赖于特定空间 Local proximal	需要空间上的毗邻,比如抗干扰作用
具有有特定方向的空间流 Directional flow related	从服务产生地输送到特定的服务消费地,比如水资源供应
无空间流 In situ	原位消费,比如土壤形成
具有无特定方向的空间流 Non-directional flow related	从服务产生地输送到邻近的所有地区,比如气候调节作用

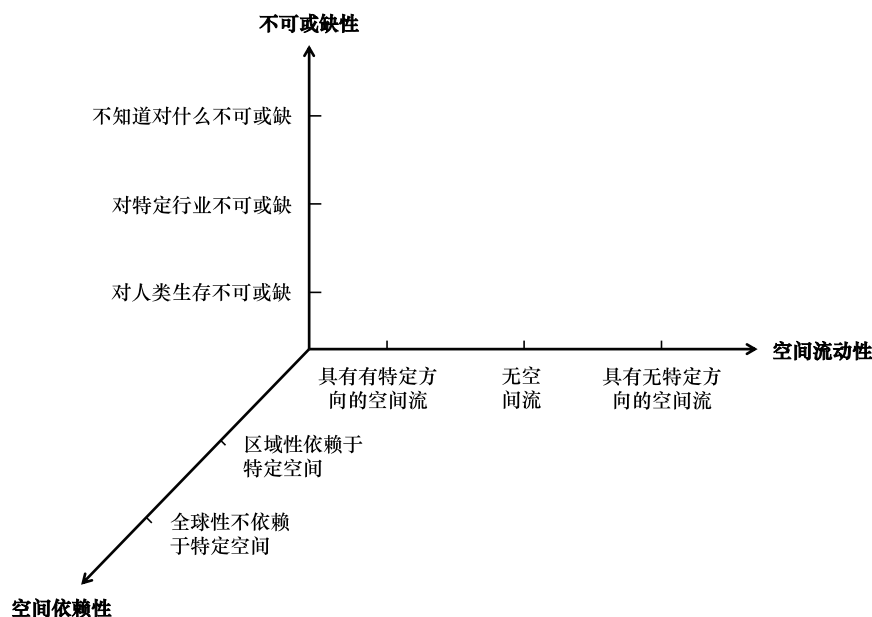


图 2 基于不可或缺性、空间依赖性和空间流动性的生态系统服务分类框架三维示意图

Fig.2 Three-dimensional representation for the classification of ecosystem services based on indispensability, spatial proximity and spatial flow

例如,氧气是一个对人类生存不可或缺的-全球性不依赖于特定空间的-具有无特定方向的空间流的生态系统服务类型;淡水是一个对人类生存不可或缺的-区域性依赖于特定空间的-具有有特定方向的空间流的生态系统服务类型

在这个生态系统服务分类中,“不可或缺性”是指如果失去了生死攸关的(vital)生态系统服务(对人类生存不可或缺,如氧气、淡水),人类就无法生存;或失去了至关重要的(crucial)生态系统服务(对某个/某些产业不可或缺,如酵母菌),所有基于此生态系统服务的产业就会被抹去。对某一时刻的生态系统服务价值评估只基于那一时刻的经济社会发展状况进行,只评估那一时刻已知在用的生态系统服务,对那一时刻未知的生态系统服务及人类尚无能力使用的生态系统服务的价值不做评估。

生态系统服务的空间依赖性可以分为全球性不依赖于特定空间的生态系统服务(比如固碳、产氧),区域性依赖于特定空间的生态系统服务(比如与人口空间分布相关的污染物分解、风暴消减)。生态系统服务的空间流动性可分为具有有特定方向的空间流(比如从上游到下游)的生态系统服务(比如水资源供应、泥沙输移),具有无特定方向的空间流的生态系统服务(比如新鲜空气供应、气候调节),以及无空间流的生态系统服务(比如土壤生成)。

基于对生态系统服务的类型划分,在本文中可以用国内生产总值(GDP)来表征对人类生存不可或缺的生态系统服务所支撑的经济社会活动的总价值,可以用相应产业的总产值来表征对特定产业不可或缺的生态系统服务所支撑的经济社会活动的总价值(表3)。选择自由度用在总量中选出消费量的平均不确定性(average uncertainty)来表示,其中平均不确定性可以用以2为底的对数,即求其在一个简单的二元选择决策中所具有的不确定性,单位为比特(bit)^[32](表3)。当然,在具体研究和应用中,如果有学者认为其他某个经济社会发展统计指标比国内生产总值和产业总产值更能够表征人类经济社会活动的总价值,他可以用相应的那个统计指标来替代国内生产总值和产业总产值,这种替代并不改变选择容量价值评估的方法框架。

考虑生态系统服务的空间依赖性和空间流动性,以区域为核算单元,将生态系统服务的权属归入产生该生态系统服务的区域。因为全球性不依赖于特定空间的生态系统服务为全球的人类活动提供支撑,所以用全球的人类经济社会活动总价值(比如全球国民生产总值(GNP)或相应产业的总产值)来衡量;而区域性依赖于特定空间的生态系统服务只为区域内的人类活动提供支撑,所以用区域的人类经济社会活动总价值(比如

国内生产总值或相应产业的总产值)来衡量。对于需要考虑空间流(无论是有特定方向的还是无特定方向的)的生态系统服务,遵从本地优先原则来计算本地产生生态系统服务的选择容量价值和外源输入(空间辅加)的生态系统服务的选择容量价值(等式 1, 2),其中生态系统服务的外源输入量以可到达量为准来计算;而无空间流的生态系统服务的价值计算则不考虑输移问题。

表 3 一项生态系统服务的选择容量价值(V_o)

Table 3 The optional capacity value (OCV, V_o) of an ecosystem service (ES)

生态系统服务 Ecosystem services (ES)	经济社会活动的总价值 (V_e) Total value produced by human being's economic and social activities (V_e)	选择容量价值 (V_o) Optional capacity value (V_o)
对人类生存不可或缺 Indispensable to human survival	V_e = 国内生产总值 (GDP)	$V_o = V_e \times \log_2 \frac{ES_l}{ES_c}$
对特定行业不可或缺 Indispensable to a definite industry	V_e = 相应行业总产值	$V_o = V_e \times \log_2 \frac{ES_l}{ES_c}$

ES_l , 研究区内的生态系统服务总量; ES_c , 人类经济社会活动所消费的生态系统服务量

$$V_{o,l} = \begin{cases} V_e \times \log_2 \frac{ES_l}{ES_c}, ES_c < ES_l \\ V_e \times \log_2 \frac{(ES_l + ES_s)}{ES_c} \times \frac{ES_l}{ES_c}, ES_c \geq ES_l \end{cases} \quad (1)$$

$$V_{o,s} = V_e \times \log_2 \frac{(ES_l + ES_s)}{ES_c} - V_{o,l} \quad (2)$$

ES_l , 研究区内由本地产生和供应的生态系统服务量; ES_s , 研究区内来自于外源输入的生态系统服务量; ES_c , 研究区内人类经济社会活动所消费的生态系统服务量; $V_{o,l}$, 研究区内由本地生态系统服务所提供的选择容量价值; $V_{o,s}$, 研究区内由外源输入生态系统服务所提供的选择容量价值。

对一个区域(或整个地球)进行整体的生态系统服务选择容量价值评估,可以先对其中所有类型的生态系统服务进行评估,对所有类型的生态系统服务评估可以同时开展。然后,该区域(或整个地球)整体的生态系统服务的选择容量价值,取所有生态系统服务类型中选择容量价值的最高值(图 3)。

1.2 选择容量价值评估与传统生态系统服务价值评估的比较

生态系统服务的价值依赖于经济社会的发展程度^[2]。因此,在基于单元价值的生态系统服务价值评估路径中,用 1997 年的单元价值来评估 2011 年的生态系统服务价值^[2],或者用 2011 年的单元价值来评估 2050 年的生态系统服务价值^[7]都是不合理的。而如果用 2011 年的单元价值来评估 2011 年的生态系统服务价值^[2],或者用 2050 年的单元价值来评估 2050 年的生态系统服务价值^[7],在每次生态系统服务价值评估中所有的单元价值必须进行重新评估,而这种评估成本非常高。另外,由于生态系统服务的非线性^[22-23],以及单元价值的空间异质性^[8,33-34],要藉此路径对生态系统服务价值进行确切的评估,必然非常复杂非常困难。

基于原始数据的路径绕开了重新评估这些具有时空异质性的单元价值所面临的困难,但却又遇到准确估算每项生态系统服务价值所面临的困难^[10,12]。当然,最近几年,出现了一些评估技术的创新,比如 Coscieme 等^[13]证明了可再生能值(renewable emergy)和生态系统服务价值之间具有显著的相关性,因此,就可以沿着基于原始数据的路径,通过计算它的可再生能值进而来估算生态系统服务价值,这看起来可以避开准确估算每项生态系统服务价值所面临的困难。然而,可再生能值和生态系统服务价值之间的这个比值具有时空异质性且数据获取困难^[13],同时因为并非所有生态系统类型都对人类活动产生了同等程度的服务,能值并不线性对应于服务价值,所以从能值向服务价值的转换在内在结构上并不匹配^[15]。因此,基于原始数据的路径还是无法解决准确估算每项生态系统服务价值所面临的困难。

在选择容量价值的评估中,一项生态系统服务的选择容量价值由该生态系统服务的总量、消费量、人类经

济社会活动总价值(比如国内生产总值或者相应产业的总产值)来决定(表3)。因此,生态系统服务的选择容量价值反映了社会经济发展水平。另外,只要确定了生态系统服务的不可或缺性特征,就可以根据生态系统服务总量、消费量和人类经济社会活动总价值计算得出其选择容量价值,避免了对大量单元价值进行重新估算所面临的复杂性,以及准确估算每项生态系统服务价值所面临的误差。虽然选择容量价值评估不能完全排除因为对单项生态系统服务的认知偏差而导致的对其价值评估的高估或低估,但因为每项生态系统服务的选择容量价值的评估是简单透明的(表3),因而对其价值评估的高估或低估是简单可控可追溯易调整的。

在对一个区域(或整个地球)的整体生态系统服务进行价值评估中,生态系统服务类型的漏算或重算是基于单元价值的路径和基于原始数据的路径评估当中共同存在的问题^[11,20,35-36],两个路径的合计过程均基于对所有生态系统服务类型的价值的加总求和^[2,10-11]。虽然 Stoeckl 等^[36]考虑到整个生态系统是复杂系统,包含着非线性、相互依赖的要素,其所产生的服务的价值也

是相互依赖和互相重叠的,但他们给出的解决方案仍无法简便彻底地解决问题,其估算结果也仍有明显的漏洞。选择容量价值估算虽然没有避开因为信息不足而导致的对某项生态系统服务价值评估的遗漏或重算,但因为一个区域(或整个地球)整体的生态系统服务的选择容量价值是取所有生态系统服务类型中价值最高的那个值(图3),所以大大减弱了生态系统服务类型的漏算所导致的问题的严重性(图4)。

传统的对生态系统服务价值的单价值非货币化评估,没有很好地处理生态系统服务与社会经济之间的关系^[15],难以在生态系统管理和生态补偿实施的工作中进行实践应用。传统的对生态系统服务价值的多元价值非货币化评估,因为有定量的也有定性的,再加上不同类型生态系统服务价值的度量单位各不相同,所以对其非货币价值进行合计计算很困难。虽然有学者尝试用多准则决策分析(Multi-Criteria Decision Analysis),将不可比较的数据通过转换进行合计,包括将不同生态系统服务的非货币化价值进行合计,将不同生态系统服务的货币化、非货币化价值进行合计^[37-39]。但要进行数据转换和合计,就需要进行一定的假设,而结果又依赖于这些假设,并且不同的人可能给出不一样的假设,同时合计本身也会比较复杂^[26],造成了传统非货币化和货币-非货币混合量化方式在合计计算上的问题。而本文提出的对各类型生态系统服务的选择容量价值评估都能够很好地反映生态系统服务与社会经济状况,都有统一的度量单位和评估路径,所需要的基础数据简单易获取,因而就避免了各类型生态系统服务价值计算困难的问题和对不同类型生态系统服务价值难以进行合计的问题。

选择容量价值框架规避了传统生态系统服务价值评估中的诸多问题,但也存在其固有的误差来源。在选择容量价值评估中,其误差来源主要有三类:1)生态系统服务总量的核算,2)生态系统服务消费量的核算,3)基于该生态系统服务的人类活动所产生的的价值的核算。生态系统服务总量的核算和传统的生态系统服务总量核算方法一样,所可能产生误差的方式、大小和概率也一样。生态系统服务消费量的核算通常来自于相关部门的统计数据,或者借助于相关部门的统计数据和相关数据进行换算,因而误差可能产生于相关部门的数据统计过程,以及后续的数据换算过程。人类活动所产生的的价值的核算也主要依赖于相关部门的统计数据,这类数据诸如一个国家或地区的国内生产总值(GDP)、全球的国民生产总值(GNP)等,其误差可能产生于相

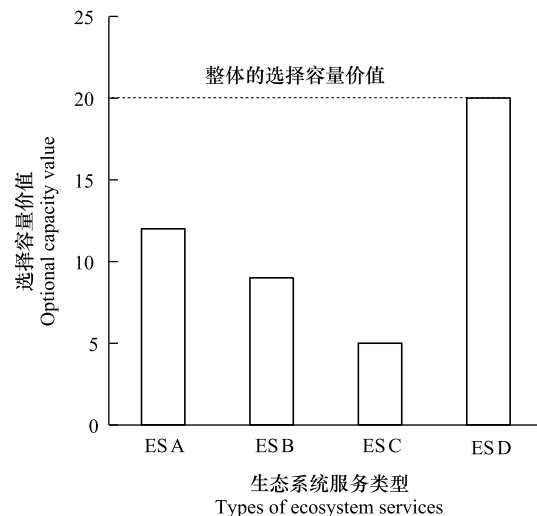


图3 整体的生态系统服务价值评估的示意图

Fig.3 Schematic representation of valuing the overall value of multi-types' ecosystem service (ES)

ES, 表示生态学系统服务(ecosystem service, ES); ES A, ES B, ES C, ES D 表示生态系统服务类型 A, B, C, D, 即不同的生态系统服务类型

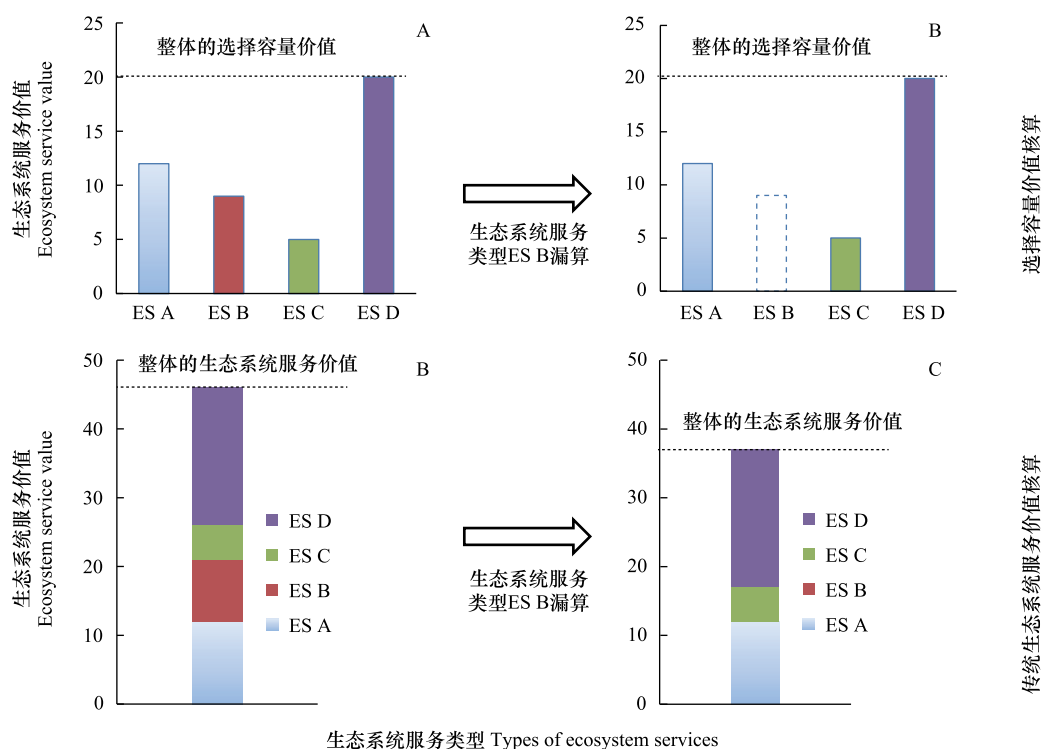


图4 在两类生态系统服务价值评估体系中某项生态系统服务类型(ES 2)的漏算所导致的结果的对比

Fig.4 The overall values of multi-types' ecosystem services (ES) when one ES (ES B) is miss-counting in ES optional capacity value (OCV) valuation approach and in traditional ES valuation approaches

生态系统服务 B (ES B) 的漏算,在选择容量价值系统中并没有对整体生态系统服务价值评估带来特别大误差(A 到 B),而在传统的评估方法中则造成了明显的误差(C 到 D)

关部门的数据统计过程。因为在生态系统服务的价值理解和管理决策过程中,其价值往往以人类活动所创造的总价值为对比参照,所以由人类活动所产生的价值核算的系统误差所导致的生态系统服务选择容量价值核算的系统误差(两者线性相关),并不妨碍对生态系统服务的价值理解和管理决策。当然,核算过程中具有空间异质性的偶然误差是一个比较复杂的问题,在实践研究中需要予以特别考虑。

2 案例研究

为了揭示选择容量价值为理解和量化生态系统服务价值所带来的新视角,基于相关数据的可获得性,本文对珠江流域的水资源供应的选择容量价值进行了估算。作为一个示范性的案例研究,为简洁起见,本文对珠江流域水资源供应的选择容量价值评估只考虑流域内的水资源量,暂不考虑其水环境状况、跨流域水资源输移、虚拟水贸易和水资源年内时间分布等对水资源供应的影响问题。

2.1 研究区域和数据来源

以珠江流域为研究区,以水资源供应为所关注的生态系统服务,水资源是对人类生存不可或缺的,且具有局域限制性,研究中以其水资源总量、水资源用量和国内生产总值来对其水资源供应的选择容量价值进行评估。此外,水资源具有一定流向,所以可以在一个特定尺度上,为水资源供应中的空间辅加(过境水)厘定出供应者和接受者,进而根据过境水的量、接受者的水资源用量和国内生产总值对每一项的空间辅加进行价值评估。《珠江流域水资源公报》提供了流域尺度的水资源总量、用水量、国内生产总值,将珠江流域分为 7 个亚流域尺度的水文单元——南北盘江、红柳江、郁江、西江下游段、北江、东江、珠三角(图 5),并提供了各水文单元的水资源总量、用水量、国内生产总值,以及可供计算各水文单元间过境水的资料。本案例研究中所用的

数据来自于由水利部珠江水利委员会所发布的《珠江流域水资源公报》(<http://www.pearlwater.gov.cn/xxcx/szygg/>)。

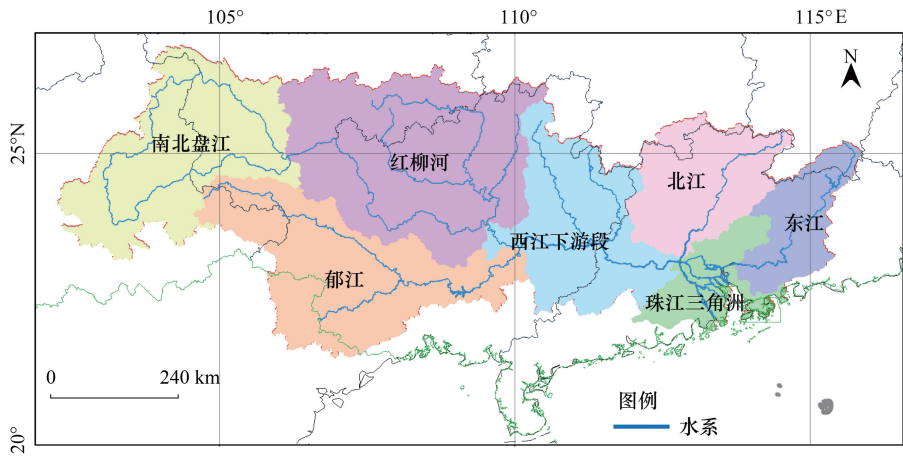


图 5 珠江流域及其 7 个水文单元

Fig.5 The Zhujiang River Basin (Pearl River Basin) and its seven hydrologic units

2.2 结果:珠江流域水资源供应的选择容量价值

将珠江流域作为一个核算单元,对流域尺度的水资源供应的选择容量价值进行评估。在 2015 年,珠江流域水资源总量 4.1004×10^3 亿 m^3 ,用水总量 0.6043×10^3 亿 m^3 ,国内生产总值 8.5105 万亿元 (PRWRC, 2017),即 0.6043×10^3 亿 m^3 的用水量支撑了 8.5105 万亿元的国内生产总值, 4.1004×10^3 亿 m^3 的水资源总量提供了 23.5096 万亿元·比特的选择容量价值(等式 3,表 4)。

$$V_o = V_e \times \log_2 \frac{ES_l}{ES_c} = 8.5105 \times \log_2 \frac{4.1004}{0.6043} = 23.5096 \text{ (万亿元} \cdot \text{比特)}$$

(3)

表 4 在 2015 年,在流域尺度,珠江流域所提供和享受的水资源供应的选择容量价值(V_o)

Table 4 The optional capacity value (OCV, V_o) of water provision provided and experienced by Zhujiang River Basin at river basin scale in 2015

	水资源总量 Total volume/ ($\times 10^3$ 亿 m^3)	水资源用量 Usage/ ($\times 10^3$ 亿 m^3)	国内生产总值 GDP/ (万亿元)	选择容量价值 OCV/ (万亿元·比特)
珠江流域 Zhujiang River Basin	4.1004	0.6043	8.5105	23.5096

将珠江流域的 7 个水文单元作为核算单元,对亚流域尺度的水资源供应的选择容量价值进行评估。对于每个水文单元来讲,过境水和本地产水都对域内人类社会活动提供了服务。根据本地优先原则,过境水的水资源供应价值被赋为总的可用水资源(本地水资源加过境水)的水资源供应价值减去本地水资源的水资源供应价值(等式 4)。在 2015 年,红柳江、西江下游段和珠三角所分别收到的 0.3740 、 3.6020×10^3 亿 m^3 过境水分别提供了 0.1935、1.0332、18.7463 万亿元·比特的选择容量价值(表 5)。总的来算,在亚流域尺度,珠江流域水资源供应的总选择容量价值是 34.2816 万亿元·比特(表 5)。

$$V_{o,s} = V_{o,t} - V_{o,l} = V_e \times \log_2 \frac{(ES_l + ES_s)}{ES_c} - V_e \times \log_2 \frac{ES_l}{ES_c}$$

(4)

$V_{o,t}$, 研究区内所享受到的总体生态系统服务(包括本地服务和外源输入服务)所提供的选择容量价值。

表 5 在 2015 年,在亚流域尺度,珠江流域各水文单元所享受的水资源供应的选择容量价值(V_o)Table 5 The optional capacity values (OCV, V_o) of water provision experienced by each hydrologic unit of Zhujiang River Basin at sub-basin scale in 2015

	水资源总量 Total volume/ ($\times 10^3$ 亿 m^3)	水资源用量 Usage/ ($\times 10^3$ 亿 m^3)	国内生产总值 GDP/ (万亿元)	选择容量价值 OCV / (万亿元·比特)
南北盘江 Nanpan-Beipan River	0.4000	0.0477	0.5817	1.7846
红柳江 Hong-Liu River	1.2637	0.0978	0.5175	1.9103
上游来水 Passing-by water	0.3740			0.1935
郁江 Yujiang River	0.4414	0.0786	0.5240	1.3045
西江段 Xijiang River Lower Reach	0.7992	0.1079	0.5709	1.6492
上游来水 Passing-by water	2.0028			1.0332
北江 Beijiang River	0.6168	0.0526	0.3757	1.3344
东江 Dongjiang River	0.2740	0.0464	0.8436	2.1614
珠江三角洲 Zhujiang Delta	0.3053	0.1733	5.0971	4.1641
上游来水 Passing-by water	3.6020			18.7463
总量 Sum	10.0792	0.6043	8.5105	34.2816

对每个水文单元的水资源供应的选择容量价值进行再分析,将过境水的选择容量价值分配到各个输出过境水的水文单元。各水文单元所提供的水资源供应的选择容量价值,包括本地服务(local service)和输出的服务(output service)(表6)。7个水文单元所享受的水资源供应的选择容量价值,体现了各水文单元享受本地服务和外来服务的选择容量价值的情况(表5);而7个水文单元所提供的水资源供应的选择容量价值,体现了各水文单元给本水文单元和下游各水文单元提供水资源供应的选择容量价值的空间格局(表6)。

表 6 在 2015 年,在亚流域尺度,珠江流域各水文单元所提供的水资源供应(包括本地产水和过境水)选择容量价值(V_o)Table 6 The optional capacity values (OCV, V_o) of water provision provided by each hydrologic unit of Zhujiang River Basin in 2015

	选择容量价值 V_o / (万亿元·比特)				总和 Sum
	本地服务 Local service	输出到红柳江 Output to Hong-Liu River	输出到西江段 Output to Xijiang River Lower Reach	输出到珠三角 Output to Zhujiang Delta	
南北盘江 Nanpan-Beipan River	1.7846	0.1935	0.1929	1.9465	4.1176
红柳江 Hong-Liu River	1.9103		0.6311	6.3671	8.9085
郁江 Yujiang River	1.3045		0.2091	2.1099	3.6235
西江段 Xijiang River Lower Reach	1.6492			3.8976	5.5468
北江 Beijiang River	1.3344			3.0857	4.4201
东江 Dongjiang River	2.1614			1.3396	3.5010
珠江三角洲 Zhujiang Delta	4.1641				4.1641
总量 Sum	14.3085	0.1935	1.0331	18.7464	34.2816

2.3 讨论:选择容量价值所提供的新认知

选择容量价值给理解和评估生态系统服务价值提供了新的视角。2015 年,在珠江流域,以整个流域为核算单元,其水资源供应的选择容量价值为 23.5096 万亿元·比特,这表明珠江流域 4.1004×10^3 亿 m^3 的总水资

源量为珠江流域总价值 8.5105 万亿元的人类经济社会活动提供了 2.7624 比特的水资源供应的选择容量(选择自由度)(表 4)。一项生态系统服务所提供的选择容量价值越大,其为人类经济社会活动所提供的价值越大。选择容量价值一方面受经济社会活动的总价值影响,经济社会越发达支撑它的选择容量价值越大,与 Costanza^[2]的研究结论——生态系统服务价值依赖于经济社会的发展水平——相一致;另一方面受生态系统服务所提供的选择容量影响,如果生态系统服务总量大于人类经济社会活动消费量(即其选择自由度大于 0),其为人类的经济社会活动持续增长提供了一个正向的支撑而呈现为正值,如果生态系统服务总量等于人类活动消费量(即其选择自由度等于 0),其就无法为人类经济社会活动的持续增长提供进一步的支撑而为 0,如果生态系统服务总量小于人类活动消费量(即其选择自由度小于 0),其已成为人类经济社会活动持续增长的限制性因素而呈现为赤字。因而选择容量价值是一个指征生态系统服务所能支撑经济社会发展程度的生态系统服务价值发展性指标。

选择容量价值提供了融合生态系统服务能力和经济社会发展状况的简洁路径。2015 年,在珠江流域,以整个流域为核算单元,有 4.1004×10^3 亿 m^3 水资源总量,其中 0.6043×10^3 亿 m^3 的水资源消费量支撑了总价值 8.5105 万亿元的人类经济社会活动。水资源总量为水资源消费量提供了 2.7624 比特的选择容量(即选择自由度),体现了生态系统服务的能力。人类经济社会活动每创造一万元的价值消费了 71.0064 立方水资源,反映了生产力发展水平。本地区的人类经济社会活动共创造 8.5105 万亿元价值,体现了经济社会发展状况。本地区水资源供应的选择容量价值为 23.5096 万亿元·比特,实现了将生态系统服务总量、生态系统服务消费量和相应经济社会活动所创造的价值合理地融合起来。传统的生态系统服务价值核算方法重点关注于生态系统服务总量,很少关注生态系统服务消费量,在价值赋予和核算过程中(比如通过市场价值法、碳税法、影子工程法、恢复代价法等来进行单元生态系统服务赋值和核算)一定程度上也能反映人类经济社会发展状况^[40]。但传统核算方法中对人类经济社会发展状况的反映往往都是间接反映,并且不同方法所反映的程度还有相当大的差别^[40-41]。而这个现实导致了对利用不同方法估算出的不同类型的生态系统服务的价值进行合计计算时所面临的问题:要么无视其中的巨大差别进行简单合计而造成巨大误差,要么正视其中的巨大差别而无法进行合计计算。与之相比,选择容量价值则提供了一个简洁的路径。

选择容量价值为理解和量化生态系统服务空间辅加的价值提供了新的思路。2015 年,在珠江流域,以流域内水文分区为核算单元,各水文分区的水资源供应的选择容量价值不仅受区内水资源支撑,也受跨区输入的过境水资源的支撑,比如珠江三角洲水文分区的区内水资源供应的选择容量价值为 4.1641 万亿元·比特,上游来水输入的水资源供应的选择容量价值为 18.7463 万亿元·比特,这表明跨区的水资源供应输入对于珠江三角洲具有重要意义和价值(表 5)。生态系统服务在空间上的辅加,1)增加了受体核算单元所享受到的生态系统服务价值,2)增加了供体核算单元所输出的生态系统服务价值,进而使得 3)受体核算单元内的社会经济发展也推动供体核算单元所输出的生态系统服务价值的增长(表 5,表 6)。因而选择容量价值概念和核算路径比传统概念和核算路径^[42]在理解和量化生态系统服务空间辅加的价值上有更为直观、简洁、普遍的物理意义。

生态系统服务的选择容量价值估算有其尺度特异性,而这种特异性反映了研究对象的内部异质性和整体系统性。2015 年,在流域尺度,珠江流域水资源供应的选择容量价值是 23.5096 万亿元·比特,由 4.1004×10^3 亿 m^3 水资源供应所提供(表 4);在亚流域尺度,核算起来,其水资源供应的选择容量价值总量为 34.2816 万亿元·比特,由 10.0792×10^3 亿 m^3 可用水资源所支撑(表 5),这表明选择容量价值的核算具有尺度特异性。这一方面是因为选择容量价值体现的是生态系统服务对经济社会活动的支撑,在亚流域尺度以水文分区为核算单元,比以流域为核算单元的流域尺度在核算过程中多了核算单元之间的生态系统服务空间辅加的部分,因而其可用生态系统服务的总量就多出一部分来,所以选择容量价值的核算在不同尺度上具有内在的不可通约性。另一方面是因为经济社会活动的总价值、生态系统服务总量、生态系统服务用量这三者存在时空分布上的差异性配置,并且生态系统服务的选择容量价值是基于这 3 个指标进行非线性计算所得(表 3),所以它

们的选择容量价值核算(甚至是只考虑本地服务)在不同尺度上具有内在不可通约性。

3 结论

本文提出了一个新的生态系统服务价值评估指标——选择容量价值,它主要反映 1)生态系统服务价值依赖于其所服务的经济社会发展状况和 2)生态系统服务价值体现其对经济社会发展消费生态系统服务所提供的自由度两个核心思想,是一个简单通用的生态系统服务价值评估体系。本文以珠江流域水资源供应的选择容量价值评估为案例,初步探讨了选择容量价值所能给理解和研究生态系统服务价值带来的新视角:1)对生态系统服务总量、消费量、经济社会状况三者间关系的明晰指征,2)对生态系统服务的跨区流动所形成的价值输送的阐释与量化,3)生态系统服务价值核算中尺度特异性的内在机理和现实意义。

生态保护和经济发展是辩证统一的关系,经济发展不能对资源环境竭泽而渔,生态保护也不能不要经济发展而故步自封,要协调经济社会发展与资源环境保护,坚持在发展中保护、在保护中发展,这就需要有一个能够恰当地反映发展与保护关系的生态环境效益和经济社会效益相融合的评价方法。虽然本文提出的选择容量价值概念及其相应核算方案尚不算完善,还没有一个切实有力的案例应用,但我们坚信这个能够协调反映发展效益与保护效益的指标对于服务于生态系统管理和生态补偿实施的生态系统服务价值评估来讲是一个有益的探索,希望对未来的生态系统服务相关研究以及生态系统管理和生态补偿实施等相关实践有所助力。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] Costanza R, De Groot R, Sutton P, Van Der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [3] Farley J, Costanza R. Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecological Economics*, 2010, 69(11): 2060-2068.
- [4] Costanza R, De Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, Farber S, Grasso M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 2017, 28: 1-16.
- [5] 王金南, 马国霞, 於方, 彭菲, 杨威杉, 周夏飞, 周颖, 赵学涛. 2015 年中国经济-生态生产总值核算研究. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(2): 1-7.
- [6] Jiang W. Ecosystem services research in China: a critical review. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 10-16.
- [7] Kubiszewski I, Costanza R, Anderson S, Sutton P. The future value of ecosystem services: Global scenarios and national implications. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 289-301.
- [8] De Groot R, Brander L, Van Der Ploeg S, Costanza R, Bernard F, Braat L, Christie M, Crossman N, Ghermandi A, Hein L, Hussain S, Kumar P, McVittie A, Portela R, Rodriguez L C, Ten Brink P, Van Beukering P. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 50-61.
- [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. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [10] Dai Z Y, Puyang X H, Han L B. Using assessment of net ecosystem services to promote sustainability of golf course in China. *Ecological Indicators*, 2016, 63: 165-171.
- [11] 商慧敏, 郗敏, 李悦, 孔范龙, 王森. 胶州湾滨海湿地生态系统服务价值变化. *生态学报*, 2018, 38(2): 421-431.
- [12] Guo Z W, Xiao X M, Gan Y L, Zheng Y J. Ecosystem functions, services and their values - a case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics*, 2001, 38(1): 141-154.
- [13] Coscieme L, Pulselli F M, Marchettini N, Sutton P C, Anderson S, Sweeney S. Emergy and ecosystem services: a national biogeographical assessment. *Ecosystem Services*, 2014, 7: 152-159.
- [14] Mancini M S, Galli A, Coscieme L, Niccolucci V, Lin D, Pulselli F M, Bastianoni S, Marchettini N. Exploring ecosystem services assessment through Ecological Footprint accounting. *Ecosystem Services*, 2018, 30: 228-235.
- [15] 刘耕源. 生态系统服务功能非货币量核算研究. *生态学报*, 2018, 38(4): 1487-1499.
- [16] Pascual U, Balvanera P, Díaz S, Pataki G R, Roth E, Stenseke M, Watson R T, Başak Dessane E, Islar M, Kelemen E, Maris V, Quaas M, Subramanian S M, Wittmer H, Adlan A, Ahn S, Al-Hafedh Y S, Amankwah E, Asah S T, Berry P, Bilgin A, Breslow S J, Bullock C, Cáceres D, Daly-Hassen H, Figueroa E, Golden C D, Gómez-Baggethun E, González-Jiménez D, Houdet J, Keune H, Kumar R, Ma K P, May P H, Mead A, O'Farrell P, Pandit R, Pengue W, Pichis-Madruga R, Popa F, Preston S, Pacheco-Balanza D, Saarikoski H, Strassburg B B, Van Den Belt M, Verma M, Wickson F, Yagi N. Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2017, 26-27: 7-16.

- [17] Häyhä T, Franzese P P, Paletto A, Fath B D. Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests. *Ecosystem Services*, 2015, 14: 12-23.
- [18] Kenter J O, Jobstovgt N, Watson V, Irvine K N, Christie M, Bryce R. The impact of information, value-deliberation and group-based decision-making on values for ecosystem services: integrating deliberative monetary valuation and storytelling. *Ecosystem Services*, 2016, 21: 270-290.
- [19] Norton B, Costanza R, Bishop R C. The evolution of preferences: why 'sovereign' preferences may not lead to sustainable policies and what to do about it. *Ecological Economics*, 1998, 24(2/3): 193-211.
- [20] Van Ree C C D F, Van Beukering P J H, Boekstijn J. Geosystem services: a hidden link in ecosystem management. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 58-69.
- [21] Boumans R, Costanza R, Farley J, Wilson M A, Portela R, Rotmans J, Villa F, Grasso M. Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 529-560.
- [22] Barbier E B, Koch E W, Silliman B R, Hacker S D, Wolanski E, Primavera J, Granek E F, Polasky S, Aswani S, Cramer L A, Stoms D M, Kennedy C J, Bael D, Kappel C V, Perillo G M E, Reed D J. Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. *Science*, 2008, 319(5861): 321-323.
- [23] Koch E W, Barbier E B, Silliman B R, Reed D J, Perillo G M E, Hacker S D, Granek E F, Primavera J H, Muthiga N, Polasky S, Halpern B S, Kennedy C J, Kappel C V, Wolanski E. Non-linearity in ecosystem services: temporal and spatial variability in coastal protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 29-37.
- [24] Pascual U, Muradian R. The economics of valuing ecosystem services and biodiversity//Kumar P, ed. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. London: Earthscan, 2010.
- [25] Folkersen M V. Ecosystem valuation: changing discourse in a time of climate change. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 1-12.
- [26] Martin D M, Mazzotta M. Non-monetary valuation using Multi-Criteria Decision Analysis: sensitivity of additive aggregation methods to scaling and compensation assumptions. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 13-22.
- [27] Chaisson E J. *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 2002: 274.
- [28] Häyhä T, Franzese P P. Ecosystem services assessment: a review under an ecological-economic and systems perspective. *Ecological Modelling*, 2014, 289: 124-132.
- [29] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005: 137.
- [30] Costanza R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, 2008, 141(2): 350-352.
- [31] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643-653.
- [32] Ulanowicz R E. 增长与发展——生态系统现象学. 黄茄莉, 译. 郑州: 黄河水利出版社, 2010: 147.
- [33] Crossman N D, Burkhard B, Nedkov S, Willemen L, Petz K, Palomo I, Drakou E G, Martín-Lopez B, McPhearson T, Boyanova K, Alkemade R, Egoh B, Dunbar M B, Maes J. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 4-14.
- [34] Drakou E G, Crossman N D, Willemen L, Burkhard B, Palomo I, Maes J, Peedell S. A visualization and data-sharing tool for ecosystem service maps: lessons learnt, challenges and the way forward. *Ecosystem Services*, 2015, 13: 134-140.
- [35] Fu B J, Su C H, Wei Y P, Willett I R, Lü Y H, Liu G H. Double counting in ecosystem services valuation: causes and countermeasures. *Ecological Research*, 2011, 26(1): 1-14.
- [36] Stoeckl N, Farr M, Larson S, Adams V M, Kubiszewski I, Esparon M, Costanza R. A new approach to the problem of overlapping values: a case study in Australia's Great Barrier Reef. *Ecosystem Services*, 2014, 10: 61-78.
- [37] Liu S, Crossman N D, Nolan M, Ghirmay H. Bringing ecosystem services into integrated water resources management. *Journal of Environmental Management*, 2013, 129: 92-102.
- [38] Favretto N, Stringer L C, Dougill A J, Dallimer M, Perkins J S, Reed M S, Athlopheng J R, Mulale K. Multi-Criteria Decision Analysis to identify dryland ecosystem service trade-offs under different rangeland land uses. *Ecosystem Services*, 2016, 17: 142-151.
- [39] Wam H K, Bunnefeld N, Clarke N, Hofstad O. Conflicting interests of ecosystem services: multi-criteria modelling and indirect evaluation of trade-offs between monetary and non-monetary measures. *Ecosystem Services*, 2016, 22: 280-288.
- [40] Lin W P, Xu D, Guo P P, Wang D, Li L B, Gao J. Exploring variations of ecosystem service value in Hangzhou Bay Wetland, Eastern China. *Ecosystem Services*, 2019, 37: 100944.
- [41] Wang M X, Liang L N, Siu W S, Fan D, Sun H R, Zhao H H, Zhou G J, Wu W J. Loss accounting of environmental pollution within Pearl River Delta region, South China. *Environmental Pollution*, 2019, 249: 676-685.
- [42] Kubiszewski I, Costanza R, Dorji L, Thoennes P, Tshering K. An initial estimate of the value of ecosystem services in Bhutan. *Ecosystem Services*, 2013, 3: e11-e21.