

DOI: 10.5846/stxb202008192159

范航清, 张云兰, 邹绿柳, 潘良浩. 中国红树林基准价值及其单株价值分配研究. 生态学报, 2022, 42(4): 1262-1275.

Fan H Q, Zhang Y L, Zou L L, Pan L H. A study on the baseline value of the Chinese mangrove services and allocation of the value to individual tree. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(4): 1262-1275.

中国红树林基准价值及其单株价值分配研究

范航清^{1,*}, 张云兰^{1,3}, 邹绿柳², 潘良浩¹

1 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西科学院广西红树林研究中心, 北海 536000

2 广西林业勘测设计院, 南宁 530011

3 广西大学林学院, 南宁 530004

摘要:合理快速地评估红树林及其生态系统服务价值不仅是立法和管理的迫切需要, 也是一个重要理论问题。迄今, 89.19% 的国内相关文献为个案研究, 缺少国家层面的系统分析。经过文献梳理, 形成了由 24 个指标组成的中国红树林价值评估指标体系。通过贴现折算各指标、定义红树林影响率函数, 评估了中国红树林生态系统基准价值 (BVE) 和红树林基准价值 (BVM)。结果表明, 2019 年 BVE 和 BVM 分别为 98.74 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 和 216.79 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 。在 BVM 中, 红树林自身直接产生的价值占 57.12%, 红树林对林外湿地间接贡献的价值占 42.88%。借助人均 GDP 比率, 推算出中国东南沿海各省 (区) 的 BVE 介于 59.84—149.90 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 之间, BVM 波动于 131.39—329.12 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 之间。2019 年广西红树林单株林木的平均基准价值为 103.78 元/a。在此基础上, 通过树种、高度、自然度及生长地权重修正, 可以计算出红树林任何单株林木的价值。最后, 讨论了理论模型特征、基准价值代表性、不同区域红树林基准价值及管理应用建议问题。

关键词:红树林; 对湿地影响率; 基准价值; 单株价值

A study on the baseline value of the Chinese mangrove services and allocation of the value to individual tree

FAN Hangqing^{1,*}, ZHANG Yunlan^{1,3}, ZOU Lvliu², PAN Lianghao¹

1 The Key Laboratory of Guangxi Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center of Guangxi Academy of Sciences, Beihai 536000, China

2 Guangxi Forestry Inventory & Planning Institute, Nanning 530011, China

3 The Forestry College of Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract: Reasonably and rapidly evaluating the service values of mangroves and their ecosystems is not only urgent for legislation and management but also a significantly theoretical issue. So far, 89.19% of domestic relevant literature focused on case studies and lacked systematic analysis at the national level. Based on literature review, an index system consisting of 24 indicators was formed to assess the Chinese mangrove ecosystems. By discounting each indicator and defining the functions of mangrove influence rates, the baseline values of the Chinese mangrove ecosystems (BVE) and mangroves (BVM) were evaluated for the first time. The results indicated that the values were 98.74 and 216.79 ten thousand Yuan $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ for the BVE and BVM in 2019, respectively. For the BVM, 57.12% of the BVM was directly generated by the mangrove itself, and 42.88% was the value of adjacent wetlands that contributed indirectly by mangrove services. By using ratios of GDP per capita, the baseline values in the southeastern coastal provinces (region) of China were determined to

基金项目:广西创新驱动发展专项资金项目 (桂科 AA17204074-2); 广西林业厅专项 (ZY2019/391); 国家重点研发计划科技基础资源调查专项 (2017FY100704); 广西自然科学基金青年项目 (2018JJB180033)

收稿日期: 2020-08-19; 网络出版日期: 2021-11-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fanhq666@126.com

range from 59.84 to 149.90 ten thousand Yuan $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ for the BVE and BVM from 131.39 to 329.12 ten thousand Yuan $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$. The mean value of every single tree in Guangxi mangroves in 2019 was 103.78 Yuan/a, which was available in calculating any certain tree value through weight data of species, tree height, origin, and growing site. In addition, the paper discussed the scientific features of the theoretical model, the baseline values of mangroves, the mangrove values to different regions, and some suggestions for management applications.

Key Words: mangrove; influence rate on wetland; baseline value; single tree value

红树林是生长在热带亚热带海岸潮间带的木本植物群落,在消浪护岸、优化海岸景观、净化海水、维持近海生物多样性、固碳储碳、科学研究与生态体验等方面有着陆地森林不可取代的作用^[1],具有极高的生态服务价值^[2-3]。我国内地现有真红树植物 27 种,生长在海南、广西、广东、福建和浙江 5 省(区)。2019 年 4 月自然资源部、国家林草局联合组织的红树林资源和适宜恢复地专项调查结果表明,我国现有红树林 28922 hm^2 (统计数据未包括港澳台数据)。20 世纪 80 年代以来,我国的红树林曾经遭受严重的人为破坏^[4],近年来国家高度重视红树林保护与生态修复工作,实施了“蓝色海湾”、“生态海堤”等国家重大生态工程。2020 年 6 月 3 日公布的《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035)》提出“红树林造林和恢复 1.8 万 hm^2 ”。2020 年 6 月 8 日世界海洋日暨全国海洋宣传日的主题是“保护红树林,保护海洋生态”。

生态补偿、生态赔偿是保护和恢复我国红树林的重要管理措施,是红树林保护条规^[5-6]的重要条款,而红树林生态服务价值(本文简称为价值)是其重要依据。1995 年以来,我国对红树林价值进行了许多研究^[7-43],积累了宝贵资料,推动了学科发展。然而,已有研究在以下 4 个方面存在明显不足。

第一、概念模糊。红树林和红树林湿地是 2 个不同的概念(图 1)。“红树林”指红树植物群落及其林下滩涂;“红树林湿地”则包括红树林、潮沟、林外裸滩、部分浅海水域,其本质是红树林湿地生态系统。边界是否清晰是红树林跟红树林湿地(生态系统)之间的一个重大区别,前者明确,后者模糊、可自定义。迄今,国内外的相关报道几乎全部为红树林生态系统价值,而不是红树林价值,因为没有回答:林外湿地(潮沟、林外裸滩、部分浅海水域)价值中究竟有多少价值应归功于红树林这一关键理论问题。第二、缺少提炼。已有报道基本为个案研究,评估结果差异甚大,莫衷一是。由于缺少系统分析,迄今未能从共性中提炼出可表征中国红树林价值的阶段性特征值(基准价值)。第三、应用困难。学术研究强调细化深入,管理工作则要求便捷公允。现有价值评估方法费时耗财、专业性强、主观影响较大,难以业务化开展。此外,已有研究未考虑红树林价值的单株分配问题,其结果无法直接指导执法实践,因为按林木计价迄今依然是我国森林执法的一大基石。第四、结果静态。货币政策和经济社会发展地区差异会对红树林价值的货币计价产生强烈影响。已有研究基本上不考虑这一现实,所得结果在时序和空间上多为孤立的静态值,应用时缺少拓展性。

总之,科学合理、快速简便地评估中国红树林价值不仅仅是依法管理的迫切需要,也是长期以来困惑我国红树林生态学发展的一个重要理论问题。针对以上问题,本文深入挖掘前人研究成果,梳理形成中国红树林价值评估指标体系;提出红树林对林外湿地影响率函数,建立红树林对林外湿地价值贡献量计算模型;评估基于 2019 年的中国红树林和红树林生态系统基准价值;通过人均 GDP 比率,推算我国东南沿海不同地区的红树林基准价值。最后,以广西为例探讨红树林基准价值的单株分配问题,为我国红树林生态补偿、生态赔偿规章的制订提供理论参考。

1 研究方法

1.1 红树林价值评估指标体系构建

统计各文献所采用的评估指标,对含义相近的指标进行合并,形成中国红树林生态服务价值评估指标体系。各指标平均基准价值的和为中国红树林基准价值。

1.2 指标的贴现换算

采用社会贴现率,将文献中涉及的各项指标价值逐一转换为 2019 年的货币计价,其计算式为:

$$P_i = \sum P_i' \times (1 + r)^k$$

P_i' 为 I 指标的文献报道原值, P_i 为 I 指标 2019 年的换算值, k 为研究时间至 2019 年之间的年数, r 为社会贴现率。参考我国社会多年平均无风险收益率, r 取值 4.5%^[44]。

1.3 边界关系与各类基准价值计算公式

根据红树林、林外湿地和红树林生态系统边界的相对关系(图 1),分别计算价值评估指标体系中 n 个评估指标 2019 年的平均基准值,合计得到基准价值。在本文中 $n = 24$ (详见下文)。各类基准价值的计算式如下。

(1) 中国红树林生态系统基准价值 BVE:

$$BVE = \sum_{n=1}^{24} \left\{ \left[\sum P_i \times S_i / (A + W) \right] / F_i \right\}_n$$

(2) 中国红树林自身基准价值 BVI:

$$BVI = \sum_{n=1}^{24} \left(\sum P_i / F_i \right)_n$$

(3) 全归功于红树林的湿地基准价值 WVF:

$$WVF = \sum_{n=1}^{24} \left[\sum (P_i \times W / A) / F_i \right]_n$$

(4) 部分归功于红树林的湿地基准价值 WVP:

$$WVP = \sum_{n=1}^{24} \left\{ \left[\sum P_i \times \ln(1 + W / A) \right] / F_i \right\}_n$$

(5) 中国红树林基准价值 BVM:

$$BVM = BVI + WVF \text{ 或 } BVM = BVI + WVP$$

在上述公式中, P_i 为 I 指标 2019 年的换算值; S_i 为对应 P_i 的实际面积; F_i 为 I 指标的文献报道次数; A 为红树林面积; W 为林外湿地面积, $A + W$ 为红树林生态系统(红树林湿地)面积。对给定文献而言, P_i 、 S_i 、 A 和 W 为已知量; F_i 通过统计给定数量的文献得到。

1.4 部分归功于红树林的湿地基准价值评估方法

红树林除了自身产生价值外,还通过潮汐和食物链的联通为林外湿地提供饵料、养分、鱼卵鱼苗等。红树林一旦消失,林外湿地的生态功能就会下降,但依然会保留相当一部分功能。林子消失前后林外湿地表现出的生态功能差别,就是红树林对林外湿地的生态贡献。因此,红树林基准价值应该由 2 部分组成,第一部分是红树林自身直接产生的价值(BVI),第二部分为红树林对林外湿地间接贡献的价值(WVP)。迄今,在国内外未见定量估算 WVP 的相关报道。为了定量评估 WVP,本文根据由近而远红树林对林外湿地的影响逐步减少的客观事实,假设并自定义“红树林对林外湿地的影响率” IR 为林外湿地面积 W 的函数:

$$IR = f(W), f(W) = A / (A + W), W \geq 0$$

函数的含义是:红树林对林外湿地的影响随林外湿地面积 W 的增大而下降。当 $W = A$ 时, $IR = 0.5$; 当 $W = 19A$ 时 $IR = 0.05$; 当 $W \rightarrow \infty$, $IR = 0$ (图 2)。

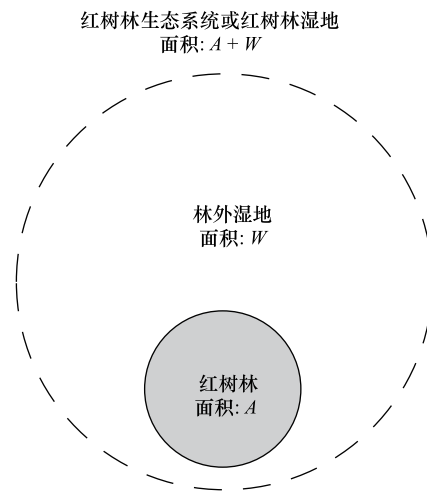


图 1 红树林、林外湿地和红树林生态系统之间的边界关系
Fig.1 The boundary relationships among mangroves, wetland outside mangrove and mangrove ecosystem

借助 IR , 通过积分可以粗略计算出林外湿地在 I 指标上产生的总价值量 (V_w) 中有多少应归功于红树林 (V_i)。 V_i 除以红树林面积 (A), 即为湿地在 I 指标上归功于红树林的基准价值。所有 V_i 除以红树林面积 (A) 的和就是部分归功于红树林的湿地基准价值 (WVP), 它们的计算公式如下:

$$V_w = P_i \times W$$

$$V_i = \int_0^W P_i \times f(W) d_w = \int_0^W P_i \times A/(A + W) d_w = P_i \times A \times \ln(1 + W/A)$$

$$WVP = \sum V_i/A = \sum P_i \times \ln(1 + W/A)$$

设 $P_i = 1$, 当 $W = A$ 时, $V_i = 0.6931A$, 为 A 面积湿地 I 指标总价值量的 69%; 当 $W = 20A$ 时, $V_i = 3.0445A$, 为 $20A$ 面积湿地 I 指标总价值量的 15.22%。

林外湿地 I 指标的价值量 (V_w) 是林外湿地面积的线性函数, 当林外湿地调查面积不断扩大时, V_w 趋于无穷大; 而红树林对林外湿地贡献的价值量 (V_i) 是林外湿地面积乘以影响率函数 (IR) 的积分, 林外湿地面积越大, V_i 增长越缓慢 (图 2)。利用 WVP 模型对文献相关数据进行逐一计算。

1.5 不同地区红树林基准价值的推算

价值是生态服务功能的货币计价, 其数值高低跟经济社会发展水平密切相关。本文的中国红树林基准价值综合了全国各地红树林的研究成果, 因此可以跟 2019 年的全国人均 GDP 对应起来, 从而评估出不同省 (区)、不同市县的的红树林基准价值, 其计算式为:

$$BVM_r = BVM_{2019} \times GDP_r / GDP$$

BVM_r 为 r 地区 (Region) 红树林基准价值, BVM_{2019} 为 2019 年中国红树林基准价值; GDP_r 为 r 地区 2019 年的人均 GDP, GDP 为全国同年的人均 GDP。不同地区红树林生态系统基准价值 (BVE) 的推算同理。相对于 GDP, 人均 GDP 能更好地反映生产效率与发展水平, 其值可从政府统计网站上获取。

1.6 红树林基准价值的单株分配

红树林由众多的林木组成, 红树林基准价值除以群落密度得到单株平均价值。为了反映林木之间的个体差异, 定义红树植物单株价值的计算式为:

$$T = (BVM_r / D) \times AF, AF = (W_1 \times K_1 + W_2 \times K_2 / H + W_3 \times K_3 + W_4 \times K_4)$$

式中, T 为单株价值, AF 为单株多因子修正系数。 BVM_r 、 D 和 H 分别为 r 地区红树林的基准价值、群落平均密度和群落平均高度, W_1 — W_4 分别为物种珍稀度、植株高度、自然度和生境权重的专家赋值, K_1 为 r 地区红树植物物种珍稀度赋值, K_2 植株高度赋值, K_3 植株自然度赋值, K_4 生境赋值。

1.7 广西红树林平均密度与平均高度样方调查

为了验证基准价值单株分配算法的适合性, 2019 年根据已有资料^[45] 在广西沿海设置了 30 条调查断面 (图 3), 每条断面穿越红树林内、中、外滩。每个潮滩设置 3 个 10m×10m 样方, 共计 270 个样方。在样方内开展每木调查, 指标包括树种、树高、株数等, 最后统计得到广西红树林的平均密度和平均树高。

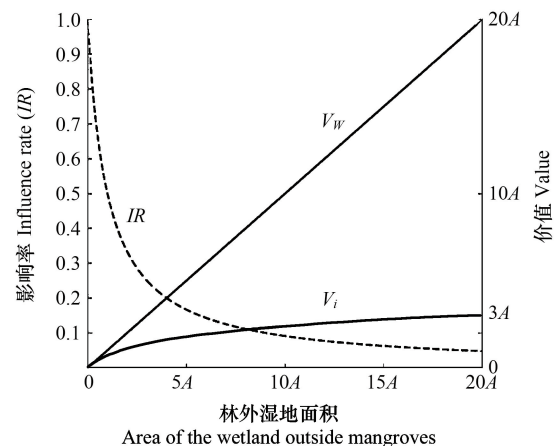


图 2 红树林对林外湿地的影响率 (IR)、林外湿地 I 指标的价值量 (V_w) 及红树林对林外湿地贡献的价值量 (V_i) 之间的关系 (A 为红树林面积, 设 $P_i = 1$)

Fig.2 The relationships of the influence rate of mangroves on the wetlands outside mangroves (IR), the value of wetlands on I indicator (V_w) and its portion contributed by mangroves (V_i) (A is the area of mangroves, and suppose $P_i = 1$)

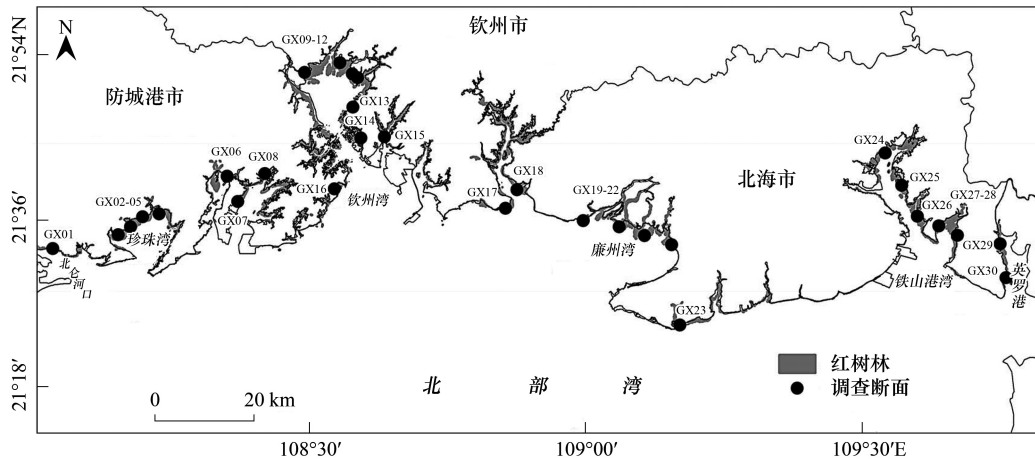


图3 2019年广西红树林调查断面布设图

Fig.3 The locations of transects for mangrove surveys along Guangxi coasts in 2019

2 结果

2.1 中国红树林生态系统价值文献评述

共收集到我国红树林生态系统服务价值方面正式发表论文 37 篇,按实际开展工作的年份列为表 1。从研究区域看,论文数量分别是全国 4 篇、广东 9 篇、海南 8 篇、广西 9 篇、福建 6 篇、浙江 1 篇。除了 4 篇为国家层面外,其余皆为个案研究,个案研究比例高达 89.19%。从研究地点看,绝大部分研究在红树林自然保护区内进行,如海南东寨港、深圳福田、福建漳江口等。从研究边界看,1995—2005 年的 12 篇论文仅有 1 篇涉及林外湿地,其余全部限定于红树林。2006 年以来的 25 篇论文有 19 篇不仅包括红树林,还包括林外湿地,涉及林外湿地面积平均为红树林面积的 12.97 倍,说明越来越多的作者将林外湿地视为红树林生态系统的有机组成部分。

从 2019 年贴现换算数值看,最小值 $0.80 \text{ 万元 hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$,最大值 $184.12 \text{ 万元 hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$,结果相差巨大。造成巨大差异的原因除了研究地点、研究方法有区别外,最突出的原因是各文献所采用的评估指标数不同。统计表明,37 篇文献中出现的评估指标共有 37 个(表 2),而每篇论文平均采用的指标数为 9 个,有 5 篇论文的评估指标数甚至为 1。指标数为 1 的论文均是专论,分别深入探讨了红树林在重金属吸附、海产品、碳储量、生态旅游方面的价值。尽管如此,这些文献为相应指标的平均价值判定提供了宝贵信息。不同研究评估指标数不同是一种普遍现象,国外研究亦存在同样问题(表 3)^[2-3,46-61]。

个案研究不必追求指标的完整性,实际上也难以面面俱到。然而,在考究中国红树林基准价值时,指标的完整性至关重要,否则就会盲人摸象,以偏概全。显然,表 1 均值($35.73 \text{ 万元 hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)既不能代表 2019 年中国红树林生态系统基准价值,也不能代表 2019 年中国红树林基准价值,因为它不具备指标的完整性和统计口径的一致性。为此,必须逐一分析中国红树林各指标的平均基准价值,而后才能得到完整的中国红树林基准价值。

2.2 中国红树林价值评估指标体系

梁士楚等许多专家对红树林价值构成和归类已有系统阐述。本文梳理不同作者在实际工作中所采用的指标,以提高实用意义。37 篇文献中共出现 37 个指标(表 2)。为了充分利用文献信息评估基准价值,本文将 37 个指标归并为四类 24 个指标,形成中国红树林价值评估指标体系(表 2)。深入研究需依托指标的不断细化,宏观决策则需要综合指标,两者之间并不矛盾,为辩证统一关系,是学科发展的必然。

红树林不仅拥有评估体系的所有指标功能,且其中 6 个指标是林外湿地所不具备的,即木材、果实食用、

凋落物、蜂蜜、保护土壤、促淤造陆。文献中的幼苗价值指的都是苗木生产价值。红树林苗圃一般在林外废弃虾塘或滩涂上建设,少数在林内建设。

表 1 中国红树林生态系统价值文献回顾/(万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)

Table 1 Review of the publications in service values of China mangrove ecosystems

序号 Order	文献 Publication	研究时间 Study year	研究地点 Study location	A/ hm^2	W/ hm^2	W/A	指标数 No. of Index	原值 Original value	换算到 2019 Converted to 2019
1	[7]	1995	广西	9600	227	0.02	9	3.32	9.56
2	[8]	1999	全国	13646	0	0	11	17.33	41.80
3	[9]	2000	浙江西门岛	0	0	0	11	8.79	20.29
4	[10]	2001	广东湛江	7306	0	0	11	28.28	62.47
5	[11]	2002	广西	8375	0	0	11	18.68	39.49
6	[12]	2002	全国	22025	0	0	12	18.19	38.45
7	[13]	2003	海南东寨港	2056	0	0	1	2.66	5.37
8	[14]	2004	全国	13646	0	0	6	9.24	17.87
9	[15]	2005	广西北仑河口	1066	0	0	11	6.98	12.93
10	[16]	2005	广西	8375	0	0	3	44.91	83.17
11	[17]	2005	福建泉州湾	400	0	0	11	20.45	37.88
12	[18]	2005	广西	8375	0	0	16	94.62	175.23
13	[19]	2006	福建漳江口	233	100	0.43	1	4.17	7.39
14	[20]	2008	海南东寨港	2056	3	0.001	8	18.20	29.54
15	[21]	2008	广西	9197	0	0	19	71.25	115.62
16	[22]	2009	广东深圳	311	61	0.2	9	118.56	184.12
17	[23]	2009	广西北海	336	36060	107.22	10	8.85	13.74
18	[24]	2009	广西北海	1481	259537	175.28	10	12.58	19.54
19	[25]	2009	广东湛江	7800	12479	1.6	11	13.85	21.51
20	[26]	2010	广东深圳	80	288	3.59	13	6.52	9.69
21	[27]	2010	广东	15026	0	0	9	9.67	14.36
22	[28]	2010	福建漳江口	118	2242	19.02	13	9.10	13.52
23	[29]	2010	广西北海	183	1746	9.54	8	7.05	10.48
24	[30]	2012	福建闽江口	80	3049	38.11	7	1.59	2.16
25	[31]	2012	福建漳江口	783	1577	2.01	11	6.00	8.16
26	[32]	2012	海南	4736	196931	41.58	13	44.49	60.55
27	[33]	2012	全国	22752	0	0	6	20.98	28.54
28	[34]	2012	海南东寨港	1624	1516	0.93	12	22.55	30.69
29	[35]	2012	福建漳江口	200	2160	10.80	10	4.38	5.96
30	[36]	2013	海南东寨港	2065	1273	0.62	16	21.47	27.96
31	[37]	2013	广东深圳	80	0	0	1	0.61	0.80
32	[38]	2013	海南东寨港	1576	0	0	1	17.45	22.72
33	[39]	2013	广东海丰	106	6264	59.18	12	1.69	2.21
34	[40]	2013	广东湛江	1080	3426	3.17	11	4.26	5.55
35	[41]	2014	海南	4075	0	0	10	6.58	8.20
36	[42]	2015	海南	5629	1728	0.31	16	25.50	30.41
37	[43]	2015	广东湛江	51	309	6.1	1	87.22	104.01
平均 Mean				4771	14351	12.97	9.49	22.11	35.73

A 红树林面积 Refers to mangrove area; W 林外湿地面积 Area of the wetland outside mangroves; A + W 红树林生态系统面积 The area of mangrove ecosystem

表 2 中国红树林生态系统价值评估指标体系及其 2019 年基准价值 BVE/(万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)

Table 2 The evaluation index system and the baseline value of mangrove ecosystems of China (BVE) in 2019

文献指标 Indicator in literatures	指标体系 Index system	F_i	BVE	标准差 <i>SD</i>	%
供给服务价值小计 Sum of supply service value		8.49		8.60	
1 幼苗 Seeding	1 幼苗	4	0.57	0.92	0.58
2 木材 Timber	2 木材	29	0.35	0.32	0.35
3 果实食用 Fruit	3 果实食用	3	0.20	0.16	0.20
4 凋落物饵料 Litter bait	4 凋落物	19	0.39	0.65	0.39
5 蜂蜜 Honey	5 蜂蜜	1	0.34	0.00	0.34
6 鸟类食物 Bird food	6 鸟类食物	1	1.67	0.00	1.69
7 渔业 Fishery	7 林区渔业	19	4.97	3.37	5.03
8 天然海产品 Natural seafood					
9 养殖海产品 Farmed seafood					
文化服务价值小计 Sum of culture service value		8.01		8.11	
10 文化科研教育 Cultural & Research & Education	8 文化科研教育	26	1.40	1.37	1.42
11 美学与文化 Aesthetic & Cultural					
12 科研教育 Research & Education					
13 休闲旅游 Leisure Travel	9 休闲旅游	23	6.61	21.01	6.69
调节与支持服务价值小计 Sum of regulation and support service value		46.57		47.17	
14 消浪护岸 Wave revetment	10 消浪护岸	27	4.85	8.60	4.91
15 蓄水调洪 Water storage and flood regulation	11 蓄水调洪	8	3.40	6.13	3.45
16 保护土壤 Soil retention	12 保护土壤	19	7.34	7.33	7.43
17 保持土壤肥力 Soil fertility retention					
18 促淤造陆 Siltation accumulation	13 促淤造陆	4	6.22	1.09	6.30
19 近海渔业支持 Offshore fishery support	14 近海渔业支持	7	5.42	4.48	5.49
20 栖息地 Habitat	15 栖息地	12	7.22	17.27	7.31
21 调节气候 Climate regulation	16 调节气候	2	0.84	0.68	0.85
22 净化环境 Environment depuration	17 净化环境	30	4.95	14.48	5.01
23 净化大气 Atmosphere depuration					
24 降解二氧化硫 SO_2 depuration					
25 净化水体 Water depuration					
26 吸附重金属 Heavy metals absorption					
27 固碳 Carbon sequestration	18 固碳埋碳	29	3.36	6.96	3.40
28 释放氧气 Oxygen release	19 释放氧气	26	0.50	0.54	0.51
29 养分循环 Nutrient cycle	20 养分循环	8	0.64	1.40	0.65
30 生物多样性 Biodiversity	21 生物多样性	18	1.99	1.85	2.02
31 基因资源 Genetic resources					
32 防治病虫害 Pests and diseases prevention	22 防治病虫害	8	0.02	0.01	0.02
33 有害气体排放 Harmful gas emissions	23 有害气体排放	5	-0.18	0.14	-0.18
非使用价值小计 Sum of Non-use value		35.67		36.13	
34 非使用价值 Non-use value	24 非使用价值	8	35.67	14.93	36.12
35 存在价值 Existential value					
36 选择价值 Choice value					
37 遗传价值 Genetic value					
合计 Total			98.74		100.00

F_i 为 I 指标的文献报道次数 F_i frequency of I indicator reported in literatures

表 3 一些国家的红树林生态系统服务价值

Table 3 The service values of mangrove ecosystems in some countries

序号 Order	研究时间 Study time	研究地点 Study site	指标数 No. of index	价值 Value/ (USD hm ⁻² a ⁻¹)	文献 References
1	1992	马来西亚	3	2856	[46]
2	1994	全球	6	9990	[2]
3	1996	泰国	6	586	[47]
4	1998	印度	1	6205	[48]
5	1996	密克罗尼西亚	1	83	[49]
6	2001	泰国	3	31593	[50]
7	2002	印度	1	45	[51]
8	2005	斯里兰卡	5	1088	[52]
9	2007	印度	1	232	[53]
10	2007	泰国	3	47438	[54]
11	2009	肯尼亚	7	2903	[55]
12	2010	越南	4	3316	[56]
13	2011	全球	1	193843	[3]
14	2011	越南	6	11628	[57]
15	2012	东南亚各国	1	4185	[58]
16	2013	马来西亚	1	546	[59]
17	2013	尼日利亚	1	9900	[60]
18	2015	肯尼亚	9	1107	[61]

2.3 中国红树林生态系统基准价值

表 2 显示,2019 年中国红树林生态系统基准价值(BVE)为 98.74 万元 hm⁻² a⁻¹,其中供给服务价值 8.49 万元 hm⁻² a⁻¹、文化服务价值 8.01 万元 hm⁻² a⁻¹、调节与支持服务价值 46.57 万元 hm⁻² a⁻¹、非使用价值 35.67 万元 hm⁻² a⁻¹,占比分别为 8.60%、8.11%、47.17%和 36.12%。结果说明,较直观的供给服务价值和文化服务价值只是红树林生态系统基准价值中的小部分,而看不见摸不着的调节与支持服务价值和非使用价值才是红树林生态系统的最大贡献。

2011 年全球红树林生态系统服务价值^[3]为 193843 美元 hm⁻² a⁻¹,按 1 美元兑 7 元人民币计为 135.69 万元 hm⁻² a⁻¹,本文结果与之相近。跟表 1 均值(35.73 万元 hm⁻² a⁻¹)相比,2019 年中国红树林生态系统基准价值是其 2.76 倍,充分说明评估指标全面与否会极大影响评估结果。在指标体系的 24 个指标中,标准差大于平均值的指标数达到 10 个,占 43.48%,进一步说明在个案研究基础上的综合分析是提炼中国红树林特征值的必要步骤。

2.4 中国红树林基准价值

2019 年中国红树林自身基准价值(BVI)、全归功(WVF)和部分归功(WVP)于红树林的林外湿地基准价值见表 4。结果表明,2019 年中国红树林自身基准价值为 123.82 万元 hm⁻² a⁻¹,全归功于红树林的林外湿地基准价值高达 732.83 万元 hm⁻² a⁻¹,部分归功于红树林的林外湿地基准价值为 92.97 万元 hm⁻² a⁻¹。

WVF 等同于默认红树林一旦消失,林外湿地的所有生态功能就会完全丧失,这既不符合客观现实,也不具备生态学逻辑基础,并导致估值的虚高。WVP 为 WVF 的 12.69%,说明 WVP 模型只将林外湿地总价值的 12.69%归功于红树林。根据 BVM 计算公式,得到 2019 年中国红树林基准价值为 216.79 万元 hm⁻² a⁻¹,其中红树林自身基准价值占 57.12%,红树林对林外湿地贡献的基准价值占 42.88%。

表 2 显示,中国红树林生态系统基准价值(98.74 万元 hm⁻² a⁻¹)不到中国红树林基准价值(216.79 万元 hm⁻² a⁻¹)的一半,并不说明生态系统的总价值量低,因为生态系统的面积大于红树林面积(图 1),其单位面积价值相对较小。

表 4 2019 年中国红树林自身基准价值 (BVI)、全归功 (WVF) 与部分归功 (WVP) 于红树林的林外湿地基准价值/(万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)

Table 4 The baseline value of China mangrove itself (BVI) and the baseline values of wetlands fully (WVF) and partly (WVP) contributed by mangroves in 2019

指标体系 Index system		BVI			WVF			WVP		
序号 Order	指标 Indicator	F_i	P_i 均值 Mean	标准差 SD	F_i	价值 Value	标准差 SD	F_i	价值 Value	标准差 SD
供给服务价值小计 Sum of supply service value			13.88			271.53			17.70	
1	幼苗	1	2.16	0.00	3	0.06	0.04	3	0.06	0.04
2	木材	29	0.85	1.41	0			0		
3	果实食用	3	0.21	0.14	0			0		
4	凋落物	19	0.55	0.75	0			0		
5	蜂蜜	1	0.34	0.00	0			0		
6	鸟类食物	1	1.67	0.00	1	6.01	0	1	2.55	0.00
7	林区渔业	12	8.10	3.37	14	265.46	475.35	14	15.09	9.92
文化服务价值小计 Sum of culture service value			8.08			130.63			24.41	
8	文化科研教育	26	1.41	1.37	13	15.37	32.26	13	1.11	1.03
9	休闲旅游	23	6.67	21.00	10	115.26	192.7	10	23.3	60.24
调节与支持服务价值小计 Sum of regulation and support service value			65.31			325.57			47.96	
10	消浪护岸	27	6.02	8.32	1	2.77	0	1	1.95	0.00
11	蓄水调洪	8	3.97	5.84	4	207.76	341.38	4	20.53	29.83
12	保护土壤	19	9.12	6.97	0			0		
13	促淤造陆	4	7.31	1.20	0			0		
14	近海渔业支持	7	6.07	4.86	1	11.50	0	1	6.87	0.00
15	栖息地	12	8.71	17.17	3	4.64	5.43	3	3.99	5.13
16	调节气候	2	0.84	0.68	2	7.34	2.51	2	1.43	0.75
17	净化环境	30	5.54	14.19	6	23.94	13.47	6	5.29	4.83
18	固碳埋碳	29	4.05	7.59	5	3.83	1.83	5	2.30	1.97
19	释放氧气	26	1.05	1.24	3	2.51	2.32	3	0.6	0.30
20	养分循环	8	11.01	28.75	1	3.81	0	1	0.71	0.00
21	生物多样性保护	18	1.98	1.85	10	58.91	79.23	10	4.82	7.42
22	防治病虫害	8	0.02	0.00	1	0.06	0	1	0.02	0.00
23	有害气体排放	5	-0.38	0.26	4	-1.50	1.94	4	-0.55	0.54
非使用价值小计 Sum of Non-use value			36.55			5.1			2.91	
24	非使用价值	8	36.55	14.93	2	5.1	0	2	2.91	0
合计 Total			123.82			732.83			92.97	

F_i 为 I 指标的文献报道次数 F_i frequency of I indicator reported in literatures

2.5 中国东南沿海各区域的红树林基准价值

根据人均 GDP 比值公式,推算得到中国东南沿海各区域 2019 年红树林和红树林生态系统的基准价值如表 5。表 5 显示,2019 年红树林基准价值和红树林生态系统基准价值最高的是浙江,最低的是广西。理论上,只要有人均 GDP 数据就可以确定任何行政区红树林及其生态系统的基准价值。例如,广东深圳市和广西北海市分别是我国发达地区与欠发达地区的典型代表,2019 年两市的红树林基准价值分别为 619.22 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 和 236.78 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$,这一结果符合现实感受,可解释。比如,发达地区海岸人口密度、资产密度及其价

格都高于欠发达地区,红树林在台风暴潮中的减灾效益显然不可相提并论。

表 5 中国东南沿海各区域 2019 年人均 GDP(万元)、红树林及其生态系统基准价值/(万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)

Table 5 The GDP per capita and the baseline values of mangroves and mangrove ecosystems in 2019 along the southeastern coastal regions of China

层次 Level	区域 Region	人均 GDP GDPper capita	红树林 Mangrove	红树林生态系统 Mangrove ecosystem
省 Provincial	全国	7.0892	216.79	98.74
	海南	5.6507	172.80	78.70
	广西	4.2964	131.39	59.84
	广东	9.4172	287.98	131.16
	福建	10.7139	327.63	149.23
市 Municipal	浙江	10.7624	329.12	149.90
	深圳	20.2489	619.22	282.03
	北海	7.7429	236.78	107.84
来源 Source	—	国家和地方	—	—

2.6 广西红树林基准价值的单株分配

广西现有红树林 9330.34hm^2 , 由 8 科 11 属 12 种真红树植物组成, 这些红树植物分别是: 白骨壤 (*Avicennia marina*)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)、秋茄 (*Kandelia obovata*)、木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*)、红海榄 (*Rhizophora stylosa*)、老鼠簕 (*Acanthus ilicifolius*)、小花老鼠簕 (*Acanthus ebracteatus*)、海漆 (*Excoecaria agallocha*)、卤蕨 (*Acrostichum aureum*)、榄李 (*Lumnitzera racemosa*)、无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*)、拉关木 (*Laguncularia racemosa*)。广西红树林中白骨壤群系的面积占 47.33%, 桐花树群系 34.03%, 木榄群系 8.53%, 红海榄群系 4.10%, 合计 93.99%^[45]。秋茄虽为常见种, 面积中等, 但在广西基本不成建群种。本文调查表明, 榄李和小花老鼠簕目前在广西的种群数量分别为 413 株和 1831 株, 为广西红树植物濒危种。无瓣海桑和拉关木为外来速生树种, 在广西具有一定的入侵性, 尤其是拉关木在沙质海岸已表现出较明显的入侵倾向。鉴于上述事实, 专家们给出的修正因子权重及参数赋值如表 6。

表 6 广西红树植物修正因子及其赋值

Table 6 The adjustment factors and their evaluations for Guangxi mangrove species

修正因子 Factor	含义 Meaning	权重 Weight	赋值 Valuation
K_1	物种珍稀度	0.35	榄李 3、小花老鼠簕 2.8、老鼠簕 2.3、海漆 2.3、卤蕨 2.3、红海榄 2.3; 木榄 2.2; 秋茄 1.4、桐花树 1.2、白骨壤 1.0、无瓣海桑 0.7、拉关木 0.5
K_2	植株高度	0.30	
K_3	自然度	0.20	天然林 Natural = 1, 人工林 Artificial = 0.8
K_4	生长地	0.15	自然保护地核心区 Core zone = 3, 自然保护地限制开发区 Buffer zone = 2, 自然保护地以外 None protection zone = 1

K_1 物种珍稀度修正因子 Factor of species rarity, K_2 植株高度修正因子 Factor of tree height, K_3 自然度修正因子 Factor of origin, K_4 生长地修正因子 Factor of location

样方调查结果表明(图 4), 2019 年广西红树植物群落密度介于 900—61500 株/ hm^2 , 平均密度 12660 株/ hm^2 ; 群落高度变化于 0.85—6.96m 之间, 平均高 2.35m。已知 2019 年广西红树林的基准价值为 131.39 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$, 则平均单株基准价值为 103.78 元/a。根据表 6 赋值, 2019 年广西红树植物单株基准价值计算式简化为:

$$T = 103.78 \times (0.35 \times K_1 + 0.3 \times K_2 / 2.35 + 0.2 \times K_3 + 0.15 \times K_4)$$

假设在自然保护地核心区内有自然生长的高 2.0m 榄李一株、高 4.5m 红海榄一株、高 3.0m 白骨壤一株;

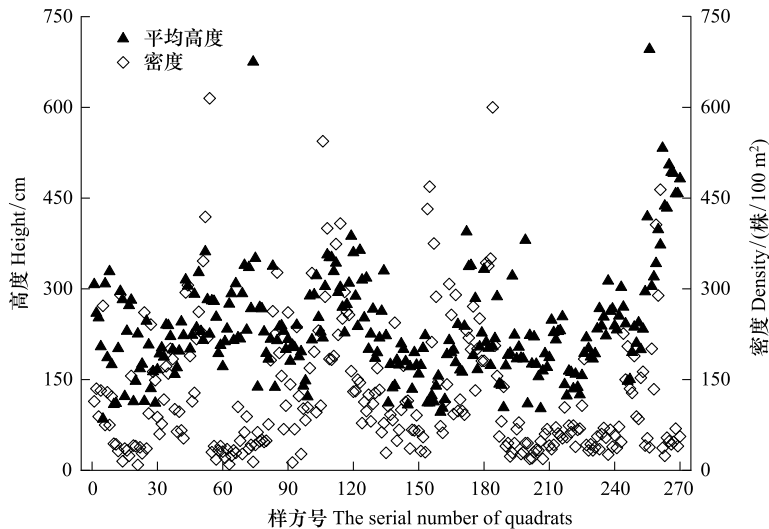


图4 2019年广西270个野外样方中的红树林平均植株密度和平均树高

Fig.4 The mean tree density and height of Guangxi mangroves in 270 quadrats investigated in 2019

在自然保护区外生长有高4.5m的人工引种拉关木一株,则它们的单株价值为:

$$\text{榄李 } T = 103.78 \times (0.35 \times 3 + 0.3 \times 2/2.35 + 0.2 \times 1 + 0.15 \times 3) = 202.92 \text{ 元/a}$$

$$\text{红海榄 } T = 103.78 \times (0.35 \times 2.3 + 0.3 \times 4.5/2.35 + 0.2 \times 1 + 0.15 \times 3) = 210.62 \text{ 元/a}$$

$$\text{白骨壤 } T = 103.78 \times (0.35 \times 1 + 0.3 \times 3/2.35 + 0.2 \times 1 + 0.15 \times 3) = 143.53 \text{ 元/a}$$

$$\text{拉关木 } T = 103.78 \times (0.35 \times 0.5 + 0.3 \times 4.5/2.35 + 0.2 \times 0.8 + 0.15 \times 1) = 109.95 \text{ 元/a}$$

以上结果说明,单株价值计算公式可以有效体现植株在物种、树高、起源和生长地等方面的差别,从而赋予价值评估结果以生物多样性保护内涵,可作为科学管理、合理执法的理论依据。

3 讨论与建议

3.1 WVP 评估模型的科学性

本文自定义的“红树林对林外湿地的影响率”(IR)及WVP评估模型是在理论方法上的一个尝试,它使定量评估红树林对林外湿地的生态贡献成为可能。WVP评估模型通过影响率衰减修正,弱化了林外湿地边界随意性对结果造成的强烈干扰,相对提高了不同研究结果之间的可比性,所得结果符合常理,可应对目前执法管理的迫切需要。然而,模型只是理论假设,是否正确尚待科学验证和修正。尽管湿地边界的确定是一个复杂科学问题^[62],但IR函数提示:当林外湿地面积超过红树林面积的19倍时就不宜再称之为红树林湿地,因为红树林对其影响率已低于5%。

3.2 基准值的代表性

通过对各文献指标的拆分、归类、折算后合计得到的基准价值,弥补了单篇文献指标往往不全的缺陷,较全面反映了我国红树林及其生态系统的价值构成。对相同指标报道值的平均化处理,在很大程度上削弱了极值影响,提高了结果的代表性。因此,本文结果与个案报道之间不存在矛盾,个案突出地域性与特殊性,本文则强调综合性和总体特征性,具有更强的代表性与公允性。基准价值绝非一成不变,它会随着研究案例的增加和认识的深入得到不断修正与完善。譬如,Costanza 1997年报道1994年全球红树林生态系统服务价值为9990美元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ ^[2],后来该年的值被修正为13786美元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ ^[3]。同样是Costanza,2014年报道2011年全球红树林生态系统服务价值为193843美元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ ^[3]。全球红树林生态系统服务价值大幅提高的主要依据源自红树林在抵御风暴潮、控制海岸侵蚀和处理污水方面的新研究结果。

3.3 按人均 GDP 比值推算的合理性

将基准价值与人均 GDP 对应起来,推算不同地区红树林及其生态系统的基准价值是本文的又一个理论尝试。使用价值相同的房子,在一线城市的价格要比三线城市高数倍,这是土地和海域价值分等定级的基本原理。红树林生态服务功能是一种客观存在,其强弱跟经济社会无关,但其货币计价则受经济社会发展水平的强烈影响。理清“服务功能”跟“服务功能的价值”之间的区别对深入研究和执法实践至关重要。

在已知 BVM_{2019} 的基础上,2020 及以后各年的基准价值可以简便推算,推算式为 $BVM_t = BVM_{2019} \times (1+r)^k$ 。如 2020 年 k 取值 1,2021 年 k 取值 2,以此类推。总之,全国基准价值、地区基准价值及年度间基准价值的可推算性,为理论结果的便捷应用奠定了基础。

3.4 基准价值单株分配的意义

由于红树林植株密度变化甚大,现实中基本不按损害红树林的面积计价,而是按破坏的株数计价。然而,不同树种、树高、自然度和生长地,只按损害株数的机械式罚款,其合理性和公平性受到业界和社会的质疑。基准价值的单株分配突出了生态服务价值跟物种多样性及植株特征之间的内在联系,使差别化的生态补偿和生态赔偿成为可能,是应对管理需求的又一个探索。

3.5 模型为什么选用树高而不是树龄的问题

一般而言,树龄越长的红树植物其生态服务功能越强。年轮、基径、胸径、树高都是直接或间接衡量树龄的指标。本文仅采用树高是为了满足实用性与便利性。首先,年轮判读专业性极强、不适合一般执法人员。其次,有的红树植物无法测定基径,如成熟的红海榄植株主茎退化,支柱根发达;秋茄为板状根。最后,我国 70% 的红树林高度不超过 2m^[1],为小灌木,无胸径可言。树高虽然不是量度树龄的最好指标,但它正相关于树龄,适用于一切红树植物,且测量方便。

3.6 管理应用建议

除单价的高低外,生态补偿和生态赔偿的可比性与公平性是社会更加关注的问题。本文为红树林生态补偿和生态赔偿构建了相对公平的价值评估理论框架。在推广应用方面,只要确定海南、广东、福建、浙江及全国红树林的平均密度、平均树高及对应区域的树种珍稀度,就可以建立起相应的快速评估模型,编写计算软件,计算任何一处红树植物林木与林子的价值。为了方便基层执法,也可以将树高按区间分几个等级,再根据物种、自然度和生长地编制“红树林林木价值速查表”,每过若干年对速查表进行修订。参照海域使用论证导则,砍伐红树林但没有改变滩涂自然属性的破坏行为,可考虑按损失红树林价值的 3 倍赔偿;砍伐红树林并永久性改变红树林滩涂自然属性的破坏行为,可考虑按损失红树林价值的 20 倍赔偿。实际上,各地方政府通常会根据发展目标和当地社会承受力制定生态补偿和生态赔偿的系数。例如,《广西壮族自治区红树林资源保护条例》(2018 年 12 月 1 日实施)第三十五条规定,在红树林自然保护区“对红树林树木造成毁坏的,责令补种被毁坏株数二倍以上三倍以下的红树林树木,并处毁坏树木价值三倍以上五倍以下罚款”。

致谢:梁士楚、何斌源、廖宝文、王文卿、李春干、周放、王英辉等同志对研究给予帮助,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] 范航清,王文卿. 中国红树林保育的若干重要问题. 厦门大学学报(自然科学版), 2017, 56(03): 323-330.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 张乔民,杨红强,赵美霞,张恩. 热带生物海岸保护与发展研究. 中国工程科学, 2019, 21(06): 53-58.
- [5] 海南省人民政府. 《海南省红树林保护规定》, 2018.
- [6] 广西壮族自治区人民政府. 《广西壮族自治区红树林资源保护条例》, 2018.
- [7] 范航清. 广西沿海红树林养护海堤的生态模式及其效益评估. 广西科学, 1995(04): 48-53.

- [8] 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.
- [9] 曹明兰, 宋豫秦, 李亚东. 浙南红树林的生态服务价值研究. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(S2): 157-160.
- [10] 邓培雁, 刘威. 湛江红树林湿地价值评估. 生态经济, 2007(6): 126-128, 133.
- [11] Guangxi Mangrove Research Center. Final report of China mangrove valuation. UNEP/GEF/SCS Project Technique Document, 2003.
- [12] 王亚楠, 傅秀梅, 邵长伦, 王长云, 李国强, 刘光兴, 孙世春, 曾晓起, 叶振江, 管华诗. 中国红树林资源状况及其药用研究调查 I. 生态功能与价值. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(04): 699-704.
- [13] 辛琨, 赵广藩, 孙娟, 刘强. 红树林土壤吸附重金属生态功能价值估算——以海南省东寨港红树林为例. 生态学杂志, 2005, 24(2): 206-208.
- [14] 赵晟, 洪华生, 张珞平, 陈伟琪. 中国红树林生态系统服务的能值价值. 资源科学, 2007, 29(1): 147-154.
- [15] 刘镜法, 良思, 梁士楚. 广西北仑河口国家级自然保护区综合价值的研究. 海洋开发与管理, 2006(02): 89-95.
- [16] 伍淑婕, 梁士楚. 广西红树林湿地资源非使用价值评估. 海洋开发与管理, 2008(02): 23-28.
- [17] 许建林. 福建泉州湾红树林生态系统价值评价初探. 农技服务, 2009, 26(9): 103-104, 131.
- [18] 梁士楚, 赵丰丽, 武淑婕等. 2019. 广西红树林资源及其经济价值. 北京: 科学出版社, 2019: 250-271.
- [19] 吴秋城, 方柏州, 林伟山, 黄冠闽, 王瑁. 漳江口红树林国家级自然保护区海产品产量产值研究. 湿地科学与管理, 2012, 8(01): 34-38.
- [20] 辛琨, 黄星, 张淑萍. 海南东寨港红树林湿地生态功能评价. 湿地科学与管理, 2008, 4(4): 28-31.
- [21] 范航清, 黎广钊, 周浩郎等. 广西北部湾典型海洋生态系统——现状与挑战. 北京: 科学出版社, 2015: 215-221.
- [22] 王燕, 王艳, 李韶山, 孙儒泳. 深圳福田红树林鸟类自然保护区生态服务功能价值评估. 华南师范大学学报(自然科学版), 2010(3): 86-91.
- [23] 彭在清, 孟祥江, 吴良忠, 黄勇, 朱小龙. 广西北海市滨海湿地生态系统服务价值评价. 安徽农业科学, 2012, 40(9): 5507-5511.
- [24] 孟祥江, 朱小龙, 彭在清, 黄勇, 吴良忠. 广西滨海湿地生态系统服务价值评价与分析. 福建林学院学报, 2012, 32(02): 156-162.
- [25] 韩维栋, 黄剑坚, 李锡冲. 雷州半岛红树林湿地的生态价值评估. 泉州师范学院学报, 2012, 30(04): 62-66.
- [26] 李跃林, 宁天竹, 徐华林, 王俊, 杨方方, 张倩媚, 张佩霞, 任海. 深圳湾福田保护区红树林生态系统服务功能价值评估. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(02): 41-49.
- [27] 曲林静. 广东省红树林生态系统服务价值评估. 海洋信息, 2012(3): 40-44.
- [28] 陈欢欢, 刘晓东, 林伟山, 孙晓娟, 张阳武. 福建漳江口红树林湿地生态系统服务功能价值评价. 湿地科学与管理, 2013, 9(02): 30-34.
- [29] 王广军, 唐筱洁, 李惠强. 广西北海滨海国家湿地公园生态系统服务功能价值评估. 中国市场, 2014(37): 144-145.
- [30] 傅娇艳. 闽江河口湿地自然保护区生态系统服务价值评价. 湿地科学与管理, 2012, 8(04): 17-19.
- [31] 张和钰, 陈传明, 郑行洋, 张丽琼, 贾高举. 漳江口红树林国家级自然保护区湿地生态系统服务价值评估. 湿地科学, 2013, 11(01): 108-113.
- [32] 丁冬静, 李玫, 廖宝文, 但新球. 海南省滨海自然湿地生态系统服务功能价值评估. 生态环境学报, 2015, 24(09): 1472-1477.
- [33] Zhao S, Wu C. Valuation of mangrove ecosystem services based on energy: a case study in China. International Journal of Environmental Science and Technology, 2015, 12(3): 967-974.
- [34] 丁冬静, 廖宝文, 管伟, 熊燕梅, 李玫, 陈玉军. 东寨港红树林自然保护区滨海湿地生态系统服务价值评估. 生态科学, 2016, 35(06): 182-190.
- [35] 陈虹, 刘金福, 吴彩婷, 郑世群, 徐道炜, 何中声. 漳江口红树林生态服务功能估算. 森林与环境学报, 2016(1): 62-66.
- [36] 曾祥云, 利锋. 考虑温室气体排放的红树林湿地生态价值评估——以海南东寨港红树林湿地为例. 生态经济, 2013(12): 175-177.
- [37] 赵云霞, 李瑞利, 徐华林, 邱国玉. 红树林吸附重金属的生态功能价值估算——以深圳湾福田红树林为例. 2015 年中国环境科学学会年会. 深圳, 2015. 663-669.
- [38] 胡杰龙, 辛琨, 李真, 高春, 颜葵. 海南东寨港红树林保护区碳储量及固碳功能价值评估. 湿地科学, 2015, 13(3): 338-343.
- [39] 高常军, 范秀仪, 易小青, 蔡坚, 魏龙. 广东海丰鸟类省级自然保护区湿地生态系统服务价值评估. 林业与环境科学, 2017, 33(02): 14-20.
- [40] 易小青, 高常军, 魏龙, 蔡坚, 吴琰, 肖石红. 湛江红树林国家级自然保护区湿地生态系统服务价值评估. 生态科学, 2018, 37(2): 61-67.
- [41] 薛杨, 杨众养, 王小燕, 林之盼, 宿少锋, 刘宪钊. 海南省红树林湿地生态系统服务功能价值评估. 亚热带农业研究, 2014, 10(1): 41-47.
- [42] 何海军, 温家声, 张锦炜, 曾祥云, 利锋. 海南红树林湿地生态系统服务价值评估. 生态经济, 2015, 31(04): 145-149.
- [43] 李志勇, 徐红宇. 基于条件价值法的红树林生态旅游资源价值评估——以湛江特呈岛红树林为例. 价值工程, 2016, 35(23): 259-261.
- [44] 汪海洲, 杜思杨, 曾先峰. 基于 SRTP 方法对中国社会折现率的估算. 统计与决策, 2013(21): 18-21.
- [45] 陶艳成, 葛文标, 刘文爱, 潘良浩, 邱广龙, 王欣, 范航清. 基于高分辨率卫星影像的广西红树林面积监测与群落调查. 自然资源学报,

- 2017, 32(09): 1602-1614.
- [46] Bennett E L, Reynolds C J. The value of a mangrove area in Sarawak. *Biodiversity and Conservation*, 1993, 2(4): 359-375.
- [47] Sathirathai S. Economic valuation of mangroves and the roles of local communities in the conservation of natural resources: case study of Surat Thani, South of Thailand. *South Bridge: economy and Environment Program for Southeast Asia*, 1998.
- [48] Kathiresan K, Rajendran N. Fishery resources and economic gain in three mangrove areas on the South-East coast of India. *Fisheries Management and Ecology*, 2002, 9(5): 277-283.
- [49] Naylor R, Drew M. Valuing mangrove resources in Kosrae, Micronesia. *Environment and Development Economics*, 1998, 3(4): 471-490.
- [50] Sathirathai S, Barbier E B. Valuing mangrove conservation in southern Thailand. *Contemporary Economic Policy*, 2001, 19(2): 109-122.
- [51] Hussain S A, Badola R. Valuing mangrove benefits: contribution of mangrove forests to local livelihoods in Bhitarkanika Conservation Area, East Coast of India. *Wetlands Ecology and Management*, 2010, 18(3): 321-331.
- [52] Gunawardena M, Rowan J S. Economic valuation of a mangrove ecosystem threatened by shrimp aquaculture in Sri Lanka. *Environmental Management*, 2005, 36(4): 535-550.
- [53] Hussain S A, Badola R. Valuing mangrove ecosystem services: linking nutrient retention function of mangrove forests to enhanced agroecosystem production. *Wetlands Ecology and Management*, 2008, 16(6): 441-450.
- [54] Barbier E B. Valuing ecosystem services as productive inputs. *Economic Policy*, 2007, 22(49): 178-229.
- [55] Kairo J G, Wanjiru C, Ochiewo J. Net pay: economic analysis of a replanted mangrove plantation in Kenya. *Journal of Sustainable Forestry*, 2009, 28(3/5): 395-414.
- [56] Quoc Vo T, Kuenzer C, Oppelt N. How remote sensing supports mangrove ecosystem service valuation: a case study in Ca Mau province, Vietnam. *Ecosystem Services*, 2015, 14: 67-75.
- [57] Kuenzer C, Tuan V Q. Assessing the ecosystem services value of Can Gio Mangrove Biosphere Reserve: combining earth-observation- and household-survey-based analyses. *Applied Geography*, 2013, 45: 167-184.
- [58] Brander L M, Wagtendonk A J, Hussain S S, McVittie A, Verburg P H, De Groot R S, Van Der Ploeg S. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: a meta-analysis and value transfer application. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 62-69.
- [59] Khuzaimah Z, Ismail M H, Mansor S. Mangrove changes analysis by remote sensing and evaluation of ecosystem service value in Sungai Merbok's mangrove forest reserve, peninsular Malaysia//*Proceedings of the 13th International Conference on Computational Science and Its Applications*. Ho Chi Minh City, Vietnam: Springer, 2013.
- [60] Adegboyega S A, Oloukoi J, Olajuyigbe A E, Ajibade O E. Evaluation of unsustainable land use/land cover change on ecosystem services in coastal area of Lagos state, Nigeria. *Applied Geomatics*, 2019, 11(1): 97-110.
- [61] Karanja J M, Saito O. Cost-benefit analysis of mangrove ecosystems in flood risk reduction: a case study of the Tana Delta, Kenya. *Sustainability Science*, 2018, 13(2): 503-516.
- [62] 殷书柏, 吕宪国. 湿地边界确定研究进展. *地理科学进展*, 2006, 25(4): 41-48.