

深圳湾福田保护区红树林生态系统服务功能价值评估

李跃林¹, 宁天竹², 徐华林³, 王俊¹, 杨方方¹, 张倩媚¹, 张佩霞¹, 任海¹

(1. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 518083; 2. 深圳市城市建筑设计院, 广东 深圳 518040;

3. 广东省内伶仃福田红树林自然保护区管理局, 广东 深圳 518040)

摘要: 对深圳湾福田保护区红树林的生态服务功能价值进行了研究, 结果表明: 深圳湾福田保护区现有生态系统服务功能年总价值 4 894.4 万元, 深圳湾红树林湿地生态系统单位面积生态功能价值约 10 74 万元 / hm²a, 其中红树林价值 2 702.4 万元, 河道价值 282 万元, 淤泥滩涂价值 674 万元, 海域价值 1 840 万元, 基建填土区观光旅游价值 260 万元, 林地价值 76 万元。深圳湾福田保护区红树林生态系统服务功能价值中, 生产生态系统产品等 9 个分项的总和为 2 928 万元。对环境氮与磷的去除价值、重金属吸附价值、二氧化碳固定和氧气释放价值等在内的生态系统净化功能价值共占 14.2%。深圳湾的所有红树林类型中, 秋茄+ 桐花树+ 白骨壤生态系统类型单价最大值为 12.3 万 / hm²a。深圳市梧桐山森林生态系统服务功能价值为 1.076 4~ 1.148 4 万元 / hm²a, 显著低于本研究红树林生态系统服务功能价值, 约占单位面积红树林生态系统的生态价值 10%。香港米埔红树林生态系统的生态服务功能价值(13.7 万港元 / hm²a) 高于深圳湾红树林生态系统, 约高出 21%。改造后的深圳湾生态系统服务功能价值预期可达 7 243.48 万元。

关键词: 红树林; 湿地生态系统; 生态系统服务功能; 评估

中图分类号: S728.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2011)02-0041-09

Evaluation of mangrove ecosystem service functions for Futian Mangrove Reserve in Shenzhen Bay, Southern China

LI Yue lin¹, NING Tian zhu², XU Hua lin³, WANG Jun¹, YANG Fang fang¹, ZHANG Qian mei¹,
ZHANG Pei xia¹, REN Hai¹

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Science, Guangzhou 518083, Guangdong, China;

2. Shenzhen Institute of Urban Architectural Design & Research, Shenzhen 518040, Guangdong, China;

3. Shenzhen Futian Mangrove Reserve, Shenzhen 518040, Guangdong, China)

Abstract: The evaluation of mangrove forest ecosystem service functions in the Futian mangrove reserve, Shenzhen Bay was carried out. The results shows that the total value of the existing mangrove forest ecosystem service was 48 944 million Yuan. The value per unit area is about 107 400 Yuan / hm²a; of the total value, mangroves was 27 024 000 Yuan, river's was 2 82 million Yuan, mud beach's was 6 74 million Yuan, estuary's was 18 4 million Yuan, infrastructure and tourism's was 2 6 million Yuan, and forest is worth 760 000 Yuan. According to Costanza's ecosystem services system, the functions of mangrove forest ecosystem service in the Futian Nature Reserve were divided into 9 items whose total value reached 29 28 million Yuan. Purification values including the environmental nitrogen and phosphorus removed, the heavy metal adsorption, the carbon dioxide fixation and oxygen release value of the ecosystem, accounted for 14.2% in total. Among all these types of mangrove forest ecosystem,

收稿日期: 2011-01-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2009CB421101); 科技部支撑计划(2007BAC28B04)

作者简介: 李跃林(1970-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 博士后, 主要从事生态系统生态学研究; E-mail: yuelin@scib.ac.cn

通讯作者: 任海(1970-), 男, 湖北黄石人, 研究员, 博导, 主要从事恢复生态学研究; E-mail: renhai@scib.ac.cn

produced by the maximum value *Kandelia candel*+ *Aegiceras corniculata*+ *Aricennia marina* community was 123 000 Yuan /hm²a. Annual forest ecosystem services value in Wutongshan, Shenzhen ranged between 1 0764~ 1 1484 Yuan /hm², and this accounted for 10% of the result in our study. The mangrove ecosystems ecosystem service value in Mai Po, Hong Kong was 13 7 million Hong Kong yuan /hm²a, which was is higher by about 21% than that of the mangrove ecosystems in Shenzhen Bay. After restoration, the ecosystem service value in Shenzhen Bay is expected to be 72 434 800 Yuan. Shenzhen bay is very important for the coastal city since our results suggests that the orientation of the mangrove wetland ecosystem is to provide essential services as well as and maintain ecological balance and beautifying the coastal environment.

Key words: mangrove; wetland ecosystem; ecosystem services function; evaluation

自 Constanz^[1] (1997) 发表全球生态系统服务功能一文以来,该领域发展迅速,特别是联合国的新千年生态系统评估,极大地促进了各类生态系统服务功能的科学评估工作,建立了多尺度、综合评估的相关体系。红树林湿地生态系统服务功能评价在经历了一个较长时期的科学积累后,在方法和理论上已变得成熟^[2-3]。对红树林湿地生态系统产品的定义和价值的量化已有相关研究^[4],红树林在生产和维持生物多样性方面的功能已被认可^[5];传统基于气体交换的气体调节功能,红树林生态系统也已量化;再是其营养物质积累与循环价值的研究也被量化^[6]。考虑生境的独特性,红树林自然生态系统更体现了其特殊的价值,诸如消浪护岸和抵御风暴,维持土壤功能,减少侵蚀,促淤造陆的生态价值已被考虑为重要的生态系统服务功能^[7]。由于区域水体环境的污染,红树林生态系统净化水体环境功能价值已引起了广泛关注^[8-9]。

深圳湾福田保护区红树林属国家级自然保护区的湿地生态系统,我国城市中心区内唯一的红树林生态湿地。如何精确定性、定量和定位其生态服务功能,强调生态安全下的城市腹地湿地系统的生态系统服务功能如何实现,遵循自然规律下的人为干预工程如何实现生态价值的最大、最优是我国红树林湿地研究中值得重视的问题,本研究运用植被生态群落分类方法实地植被调查和查阅资料获得深圳湾红树林生态系统的有关数据,采用国际上通用的生态服务功能评价方法对深圳湾红树林中白骨壤 *Aricennia marina*、桐花树 *Aegiceras corniculata*、秋茄 *Kandelia candel*、海桑 *Sonneratia caseolaris* 及无瓣海桑 *S. apetal* 等不同群落生态服务

功能进行了评价,以期对湿地生态系统服务功能的持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

福田保护区红树林区域位于深圳湾东北部,东起新洲河口,西至海滨生态公园,南达滩涂外海域和深圳河口,北至广深高速公路,沿海岸线长约9 km,平均宽度约0.7 km,地理坐标位东经113°45′,北纬22°32′,总面积为367.6 hm²。与香港米埔自然保护区一水相隔(最近距离约300 m),与深圳特区城市新中心区相距2.2 km。其中预期评估范围以大沙河为界,大沙河以西区域,现状滩涂已有少量红树林生长,高程已适合红树林种植物,大沙河以东区域,需要运用生态恢复工程进行红树林恢复。

根据保护区资料和实地调查,红树林保护区各种土地类型的面积见表1。在红树林面积中:其中人工林面积为23.9 hm²,天然林面积为56.2 hm²,林分按优势树种分秋茄+桐花树幼苗13.6 hm²,秋茄林5.0 hm²,白骨壤林28.4 hm²,秋茄+桐花树10.7 hm²,秋茄+桐花树+白骨壤林12.1 hm²,海桑+无瓣海桑10.3 hm²。

1.2 生态价值研究方法

根据实验、植被生态群落分类方法实地植被调查和查阅历史资料获得的数据,利用经济学方法将服务功能价值化,对深圳湾红树林湿地生态系统的不同功能价值,采用如下几种方法进行了估算:

(1) 市场价值法 将生态系统作为生产中的一个要素, 根据市场价格确定生态功能价值的方法, 估算湿地物质产出功能价值^[10-11]。

(2) 重置成本法 根据生态功能被破坏以后将其恢复原状所需支出费用来推算该功能价值大小的方法。估算红树林湿地的环境功能价值^[12-13]。

(3) 旅游费用法 根据游客在旅游活动中的花

费, 计算湿地旅游功能价值^[14]。

(4) 专家评估法 即专家调查法, 计算湿地消浪护岸和抵御风暴价值^[7,11]。

(5) 意愿调查法 通过问卷和询问等形式, 了解支付意愿, 从而对非使用价值进行定价计算红树林湿地的存在价值^[15]。

表 1 保护区各种土地类型的面积

Table 1 Areas of different land use in the Futian mangrove natural reserve

种类	红树林	淤泥滩涂	基围鱼塘	河道	海域	基建填土区 观光旅游	林地	合计
面积 / hm ²	80.1	92.59	54.74	14.2	104.12	13.69	8.2	367.64
百分比 / %	21.8	25.2	14.9	3.9	28.3	3.7	2.2	100

2 结果与分析

2.1 深圳湾红树林生态系统服务功能

根据目前国内外认可的生态系统服务功能的分类方法及生态系统服务功能的内容划分^[17-18], 评价结果及分析如下。

2.1.1 生产生态系统产品

深圳湾红树林湿地的物质产出主要包括人工鱼塘、基围虾塘每年的水产品产出 OP_1 , 以及为栖息的鸟类提供食物 OP_2 两部分。总的物质产出价值为二者之和, 即: $OP = OP_1 + OP_2$ 。

根据文献资料及目前市场物价水平^[11], 研究表明深圳湾潜在养殖面积 54.74 hm², 以 400 kg/(hm²a) 计, 产出约 16 748 元/hm², 总产出 OP_1 为 0.92×10^6 元。

福田红树林有鸟类 194 种, 其中卷羽鹈鹕、白肩雕、黑脸琵鹭、黑嘴鸥等 23 种为珍稀濒危物种, 每年有 10 万只以上长途迁徙的候鸟在深圳湾停歇, 是东半球国际候鸟通道上重要的“中转站”、“停歇地”和“加油站”。根据记载和 1994 年的调查资料^[19-20], 福田保护区共有鸟类 18 目 45 科 107 属 189 种。其中: 冬候鸟 88 种, 夏候鸟 11 种, 迁迁徙过路鸟 30 种, 居留鸟 58 种, 迷鸟 2 种。属国家重点保护的有 23 种。据历史资料^[21-22], 在 1994 年的全区鸟类调查的过程中发现如下几种情况: (1) 每年经过深圳湾的候鸟在 10 万只以上; (2) 曾经一次观察就发现福田一侧有针尾鸭 4 100 只, 琶咀鸭

2 000 多只, 红咀鸥 8 000 只以上; (3) 每年在沙咀红树林筑巢繁殖群有鹭类 5 000~ 6 000 只; 在深圳越冬的水鸟有 3 万只以上。

了解不同鸟类每天所需食物量, 根据鸟类在一年之中的数量和停留时间之积, 计算鸟类需要食物的总量^[11]; 根据市场调查得到水禽饲料价格为 2.5 元/kg, 比照米埔湿地计算标准, 那么红树林湿地为鸟类提供食物资源的价值 OP_2 为: 4.14×10^6 元。

深圳湾水产品价值及为栖息的鸟类提供食物的价值之和为: 总计 $0.92 \times 10^6 + 4.14 \times 10^6 = 5.06 \times 10^6$ 元。

根据调查资料, 红树林群落平均净材积生长量约 4.39 m³/hm²a, 以每立方米木材价格 1 000 元计算, 则红树林的每年木材价值为 0.352×10^6 元。

2.1.2 产生和维持生物多样性

红树林海岸沼泽生态系统不仅起第一生产者的作用, 而且具有丰富的物种多样性和多种生态功能。据调查, 深圳福田红树林保护区冬季有鸟类 119 种, 其中冬候鸟 62 种, 留鸟 52 种, 其它鸟类 5 种。

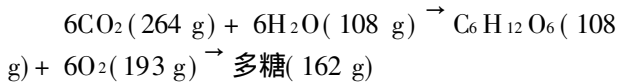
考虑到深圳湾红树林已充分发挥了其公园的游憩功能, 以影子工程法来计算深圳湾红树林动物栖息地的价值, 通常以投资建一所动物园的成本来计算。内伶仃福田红树林自然保护区相当于一个大型动物园, 目前建设一个大型动物园需投资 10 000 万元以上, 根据价值工程的廉价原则^[16], 以 10 000 万元为投资额, 按 5% 的年利率计算, 深圳湾红树林动物栖息地年价值为 $5\% \times 10 000$ 万元 =

500 万元。按相应比例,除海域、河道等之外的湿地价值则为 2.46×10^6 元,再采用 Costanza 等人^[23] 的世界湿地避难所的年产出价值为 304 美元/ hm^2 ,估算红树林年动物栖息地的价值为 89.41 万元。则两项之和计 3.35×10^6 元,即为产生维持和生物多样性主要功能价值。

2.1.3 气体调节功能价值

绿色植物通过光合作用吸收二氧化碳释放氧气,对大气组分起到调节作用。滩涂内丰富的植物群落,能够吸收大量的二氧化碳气体,并放出氧气。

根据光合作用方程式:



由方程式可知,植物生产 162 g 干物质可吸收 264 g CO_2 。国际上为了削减温室气体排放制定了不同的碳税率,目前国际通用的碳税率为瑞典的碳税率 150 美元/t(为便于比先前香港及内地先前对于红树林研究的结果进行对比,我们这时仍采用 1 美元兑人民币 7.83 元标准^[11])。根据我们的调查,深圳湾湿地绿色植物中红树林植物的平均初级生产量 $1100 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$,再根据红树林面积 S_g 得出总的固碳量 C 为 881100 kg,根据光合作用反应方程式深圳湾红树林生态系统总价值: 3.81×10^6 元。

2.1.4 营养物质积累与循环价值

红树植物群落的生产力固定 C ,结合 H 和吸收 N 的能力较强,据文献资料计算表明^[24-25] 深圳湾 50 a 生天然红树林群落 C 、 H 、 N 现存量分别为 14117.7,1446.4 和 158.5 g/m^2 ,群落年净固定 C 798.51 g/m^2 ,结合 H 86.31 g/m^2 和吸收 N 12.33 g/m^2 。其中,用于群落增长而年存留 C 、 H 和 N 分别为 441.22、45.01 和 5.37 g/m^2 ,年经凋落物输出 C 、 H 和分别为 357.29、41.30 和 6.96 g/m^2 ,群落单位面积年存留 C 、 H 、 N 和单位面积年经凋落物输出 C 、 H 、 N 的比值为 1.23:1,1.08:1,1:0.8,从比例看出,群落单位 C 、 H 、 N 元素的年存留量稍高于凋落物量,植物年存留量比凋落物量稍高,意味着植物每年固定的 C ,结合的 H 和吸收的 N 有很大一部分都以凋落物的形式归还到周围的环境中红海榄每年从水体和土壤吸收大量的动物难以利用到的 C 、 H 、 N 素,又将这些元素的大部分归到水体中供动植物再利用。由此看来,深圳湾红海榄植物群落的元素循环能力较强,对红树林生态

系统和整个近海海岸生态系具有非常重要的意义。

营养物质循环和累积的价值的计算使用市场价值法,根据群落的年单位面积 NPK 净持留量和红树林面积的乘积求得。净持留量是由年净吸收养分减去每年凋落物归还土壤的养分获得。红树林生态系统养分持留总量 0.291 $\text{t}/\text{hm}^2\text{a}$,平均化肥价格为 2200 元/ t ^[16],那么深圳湾红树林年总养分积累价值= $80.1 \text{ hm}^2 \times 0.291 \text{ t}/\text{hm}^2\text{a} \times 2200 \text{ 元}/\text{t}$,为 5.13 万元。

2.1.5 消浪护岸和抵御风暴价值

据专家评估法^[26],1 km 红树林分布海岸线每年可提供约 8 万元的台风灾害防护效益。深圳湾的滩涂具有消浪护岸和抵御风暴的功能,对其价值的评估采用专家评估法。根据 Ledoux & Turner (2002)^[27] 研究成果,岸滩的防御风暴潮价值为 9140~30760 美元/ hm^2 ,本研究取其最低值 7.13 万元/ hm^2 (以 100 美元兑 7.8 元计)进行评估,由此估算深圳湾滩涂的该项功能的服务价值为 5.71×10^6 元。

2.1.6 维持土壤功能,减少侵蚀,促淤造陆

深圳湾红树林保护土壤养分价值的计算按它年保护表土(0~30 cm)和林地年积累表土估算均值 1 cm 的 N 、 P 、 K 总量之和乘以化肥替代价格来计算^[28]。据测定红树林土壤表土 N 、 P 、 K 总量为 1.39%,表土密度为 0.77 g/m^3 ,市场化肥复合肥的价格为 2200 元/t。因此,深圳湾红树林土壤养分价值为:58.47 万元。流失土壤林业增益红树林每年保护 31 cm 厚土壤免于冲刷损失的林业增益为:林地面积 \times 折算为 60 cm 土厚的土壤面积比率 \times 单位面积林业年均收益:41.38 万元,上述 2 项之和得保护土壤价值为 99.85 万元。

2.1.7 有害生物的控制

已有研究表明,人类在滨海湿地的频繁活动产生的污染导致了虫害的爆发^[29]。红树林里生活的益虫和益鸟对病虫害防治意义重大。不仅保护了红树林本身,还保护着周边的农田和树林,直接增加了农业和林业产量。据专家估算法^[16],单位面积红树林可减少周边地区农田的病虫害防治费用 10 元/ hm^2 ,此外还有林地病虫害防治价值,占一体化病虫害防治价值的 10%,用替代花费法计算因红树林存在而减免林地病虫害防治的费用,得整个深

圳湾红树林的病虫害防治价值为: $367.64 \text{ hm}^2 \times 10 \text{ 元/hm}^2 + (367.64 \text{ hm}^2 \times 10 \text{ 元/hm}^2 \div 10\%)$, 最后得 4 04 万元。

2.1.8 净化水体环境功能价值

红树林生态系统是一个由红树林—细菌—藻类—浮游动物—鱼虾蟹贝类等生物群落构成的多级净化系统。红树林通过发达的根系网罗碎屑, 加速潮水和陆地径流带来的泥砂和悬浮物的沉积, 从而净化水质。一些红树林的根还有富集重金属和吸收某些放射性物质的作用。实验表明, 木榄、秋茄和桐花树等幼苗的根, 能大量富集 ^{90}Sr , 尤其桐花树幼苗, 所吸收的 ^{90}Sr 有 97.7% 集中在根部, 秋茄幼苗的根也能大量吸收汞^[30]。

根据深圳湾福田保护区 2005 年潮汐资料(表

表 2 深圳福田红树林保护区 2005 年不同月份潮差

Table 2 The monthly tidal range in Futian Mangrove Reserve in 2005

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
低潮	1.07	0.85	0.85	0.96	1.15	0.92	0.91	1.13	0.91	0.97	1.14	0.92	0.98
高潮	2.04	1.90	1.62	1.67	1.65	1.72	1.57	1.77	1.73	2.27	2.45	2.43	1.90

2.1.9 景观美学与精神文化功能

红树林旅游是海岸的生态旅游重要内容之一。深圳湾湿地在自然科学教育和研究中都具有十分重要的作用。按照我国单位面积湿地生态系统的科考价值 382 元/hm^2 ^[31] 和 Costanza 等人^[24] 对全球湿地生态系统科考旅游的功能价值 861 美元/hm^2 的平均值 3897.2 元/hm^2 作为深圳湾滩涂的景观美学与精神文化功能的价值, 据此计算得深圳湾湿地景观美学与精神文化功能价值为 143.03 万元。

2.2 深圳湾红树林生态系统的生态系统服务功能价值

综合以上计算, 可知红树林、淤泥滩涂、基围鱼塘、河道的生态系统功能价值。再对海域、基建填土区观光旅游及林地的价值计算^[13, 23] 综合以上各类型得到年度价值表如表 3, 表 4 则列出各生态系统或不同土地类型的生态服务功能价值。

根据表 3, 按照国内外计算红树林湿地生态系统生态服务功能价值的方法, 通常不将海域计算在内^[11], 于是可得到红树林湿地生态系统(红树林生态系统、淤泥滩涂、基围鱼塘及河道)的生态系统服务功能价值 $10.74 \text{ 万元/hm}^2\text{a}$, 若不包括红树林区域外湿地, 则红树林本身的生态价值约 25 万元/

2)、城市用水的水质、水价、污水净化成本和净化率, 估算湿地对进入其中的海水净化功能价值大小, 涨潮周期为 15 d, 在深圳湿地起到净化作用的主要是红树林及滩涂, 根据平均潮差以及湿地蓄水面积, 得到净化水量 $Q: Q = S \times 0.92 \text{ m} \times 365 / 15 = 17.93 \times 10^6 \text{ m}^3$, S 表示红树林带面积, 若按每方污水处理成本 0.1 元计, 那么湿地对进入其中的海水净化功能价值 PW 为: $PW = Q \times 0.1 \text{ 元/m}^3 = 1.79 \times 10^6 \text{ 元}$ 。

用 Costanza^[11] 的研究成果来计算深圳湾红树林的年净化污染价值, $4.177 \text{ 美元} \times 80.1 \times 8.3 = 2.78 \times 10^6 \text{ 元}$, 为保证计算更有具可靠性, 以上两种方法平均, $2.28 \times 10^6 \text{ 元}$ 即为海水净化功能价值。

hm^2a , 福田红树林保护区红树林生态系统服务功能价值总计约 2 595 万元 (不包括表 4 中海域、基建填土区观光旅游、林地的价值)。

表 3 基于生态系统服务类型的深圳湾红树林年度价值[†]

Table 3 Annual value of different types of ecosystem service of mangrove in Shenzhen Bay

生态系统服务类型	生态系统服务价值 ($\times 10^6 \text{ 元}$)
生产生态系统产品	5.70
产生和维持生物多样性	3.29
气体调节功能价值	3.84
营养物质积累与循环价值	1.25
消浪护岸和抵御风暴价值	6.84
维持土壤功能, 减少侵蚀, 促淤造陆	1.45
有害生物的控制	0.05
净化水体环境功能价值	4.17
景观美学与精神文化功能	3.61
生态服务总价值	29.28

† 列表中价值不包括红树林范围外湿地的价值

2.3 天然林和人工林生态系统服务功能的比较

在福田保护区, 林龄 50~70 a 的天然红树林表现出较人工林具有更大的生态系统服务功能, 人工

林在生物量的积累方面已与天然林接近,对于无瓣海桑来说,更具有比天然林或其它种类更大的生物量积累。通过比较分析,表5列出了天然林和人工林本身的生态服务价值,运用同样的方法,可得到天然林生态服务功能的单价为26.7万元/hm²a,而人工林则为21.3万元/hm²a。天然林较人工林生态价值高出25.2%,若包括周边湿地在内,红树林

天然林生态系统的生态系统服务价值为11.4万元/hm²a,人工林生态系统的生态系统服务价值为9.1万元/hm²a。

为了便于比较各类型红树林生态系统的服务功能价值,我们计算了其单位面积的年度生态价值,见表6。

表4 基于生态系统服务功能的深圳湾红树林年度价值

Table 4 Estimated annual value of ecosystem functions of mangrove forests in Shenzhen Bay × 10⁶ 元

生态系统类型	生产生态系统产品	产生和维持生物多样性	气体调节功能价值	营养物质积累与循环价值	消浪护岸和抵御风暴价值	维持土壤功能,减少侵蚀,促淤造陆	有害生物的控制	净化水体环境功能价值	景观美学与精神文化功能	合计	
红树林 80.1	秋茄+ 桐花树幼苗	0.76	0.22	0.65	0.008	0.97	0.17	0.007	0.39	0.26	3.43
	秋茄林	0.28	0.08	0.24	0.003	0.36	0.06	0.002	0.14	0.09	1.26
	白骨壤林	1.59	0.46	1.35	0.018	2.02	0.35	0.014	0.81	0.44	7.06
	秋茄+ 桐花树	0.60	0.17	0.51	0.007	0.76	0.13	0.005	0.30	0.21	2.69
	秋茄+ 桐花树+ 白骨壤林	0.68	0.19	0.57	0.008	0.86	0.15	0.006	0.34	0.23	3.04
	海桑+ 无瓣海桑	0.58	0.17	0.49	0.006	0.73	0.13	0.005	0.29	0.2	2.60
淤泥滩涂	0.06	1.48	-	0.059	-	-	-	0.13	0.6	2.33	
基围鱼塘	0.92	0.23	-	0.370	0.35	0.32	-	0.40	0.26	2.85	
河道	0.02	0.03	-	0.110	0.15	0.128	-	0.13	0.13	0.69	
海域	0.17	0.25	-	0.633	0.63	-	-	1.23	0.93	2.95	
基建填土区观光旅游		0.01	-	0.02	-	-	-	-	0.26	0.29	
林地的价值	0.010	0.015	0.030	0.009	0.007	0.008	0.006	-	0.001	0.094	
总计	5.68	3.31	3.84	1.25	6.84	1.45	0.05	4.17	3.61	29.28	

表5 天然林和人工林生态系统服务类型红树林年度价值

Table 5 Annual value of natural forest and artificial forest ecosystems × 10⁶ 元

生态系统类型	生产生态系统产品	产生和维持生物多样性	气体调节功能价值	营养物质积累与循环价值	消浪护岸和抵御风暴价值	维持土壤功能,减少侵蚀,促淤造陆	有害生物的控制	净化水体环境功能价值	景观美学与精神文化功能	合计
天然林	3.15	1.01	2.87	0.04	4.20	0.79	0.04	1.79	1.10	14.98
人工林	1.34	0.28	0.94	0.01	1.50	0.20	0.01	0.48	0.33	5.09

表6 红树林生态系统各类型的单位面积年度价值

Table 6 Annual value of different type of mangrove forest ecosystem 万元/hm²a

生态系统类型	秋茄+ 桐花树幼苗	秋茄林	白骨壤林	秋茄+ 桐花树	秋茄+ 桐花树+ 白骨壤林	海桑+ 无瓣海桑
服务功能价值	8.3	9.1	12.1	9.6	12.3	8.1

3 讨论

综上所述,在对深圳湾福田保护区红树林生态系统服务功能价值进行了定性、定量的评估,在定性、定量的基础上,也可以定位其生态服务功能。

红树林生态系统定位就是要充分发挥环境生态效益,维护海湾生态平衡和美化沿海环境。遵循生态系统自然规律,通过人为干预下的生态修复工程,实现生态价值的最大、最优化是最佳的决策。《深圳市城市林业发展“十一五”规划》明确强调生态安

全下的城市腹地湿地系统的生态系统服务功能的重要性,自 2007 年来,启动了深圳市红树林保护区生态修复工程,修复工程将在福田国家级自然保护区实验区和缓冲区内进行,面积约为 120 hm²。按照规划,该工程将包括湿地及红树林恢复工程、水污染控制、水动力控导、河道堤岸生态改造等。以下对从三个方面对生态修复工程展开相关讨论。

3.1 基于福田保护区红树林生态系统对整个深圳湾的评估计算及预期

以上计算仅限于福田红树林保护区范围,参考上述评估结果,考虑 2005 年以来福田红树林湿地面积的增加及整个深圳湾零星分布的红树林湿地面积约为 10 hm²,则深圳湾红树林湿地生态系统的

总价值为 $10 \times 10^7 \text{ 万元} + 2 \text{ 595 万元} = 2 \text{ 702 4 万元}$ 。其它各类型生态价值列表如下(表 7)。

于是可得深圳湾现有生态系统的生态系统服务总价值为 $2 \text{ 702 4} + 2 \text{ 192} = 4 \text{ 894 4 万元}$ 。

按《深圳市城市林业发展“十一五”规划》,通过深圳湾滨海红树林修复总体工程的实施,在目前规划区域范围内,适当增加红树林海岸带面积和科学经营的条件下,暂不考虑红树林的面积增加所带来的规模效应使整体生态价值增加,以表 8 所列拟开展恢复生态工程的面积计算生态服务功能价值,则深圳湾滨海红树林修复工程总体工程红树林生态服务功能价值新增值为 744.28 万元,一期工程预期新增值 286.65 万元(表 9)。

表 7 其它各类型生态年度价值[†]

Table 7 Annual value of other types of ecosystem service × 10⁶ 元

生态系统类型	河道	淤泥滩涂	海域	基建填土区 观光旅游	林地价值	总计
服务功能价值	1.97	4.72	12.9(2.95*)	1.82(0.29*)	0.53(0.094*)	21.92

† * 为管理局保护区所辖面积内价值。

表 8 预期评估面积分布及种植床长度概况

Table 8 Situation of expected valuation area distribution and length of planting bed

	基围面积/ hm ²		基围外红树林面积/ hm ²		种植床(基围 外沿)长度/km	红树林面积 合计/ hm ²
	水域面积	红树林面积	大沙河以西	大沙河以东		
总体工程	24.4	51.4	6.58	11.32	4.60	69.30
一期工程	8.55	17.8	6.58	2.31	1.65	26.69

表 9 深圳湾滨海红树林修复工程总体工程红树林预期生态服务功能价值

Table 9 Expected value of the restoration ecosystem service of mangrove forests in Shenzhen Bay

	基围红树林		合计
	红树林面积	基围外红树林 大沙河以西 大沙河以东	
总体工程	552.04	70.67 121.58	744.28
一期工程	191.17	70.67 24.81	286.65

以现有红树林生态系统的生态恢复,按 15% 的增益效应,完成改造后的现有红树林湿地生态系统服务功能价值为: $2928 \times (1 + 15\%) = 3 \text{ 367. 2 (万元)}$ 。在完成所有宜林区红树林的重建后,河道、淤泥滩涂、海域、基建填土区观光旅游及林地各类价值均可产生正常收益,采用目前国际上通用的标准,结果见表 10。

表 10 红树林生态系统恢复与重建后其它各类型生态年度价值[†]

Table 10 Annual value of the other land types after the restoration and reconstruction of mangrove forest ecosystem × 10⁶ 元

生态系统类型	河道	淤泥滩涂	海域	基建填土区 观光旅游	林地价值	总计
服务功能价值	2.82	6.74	18.4	2.6	0.76	31.32

† 按 Costanza 等标准,淤泥滩涂 4 785 美元/hm²a,河道 8 498 美元/hm²a,海域 4 052 美元/hm²a,林地参考任海等计算方法,按 11 484 元/hm²a 计算。

改造后的深圳湾生态系统服务功能价值为: 7 243.48 万元。基于目前的调查结果,深圳湾已有条件成熟的宜林地约 80 hm²,按深圳市林业规划,在沿海滩涂利用生态恢复技术再种植红树林 125 hm²,以潜在的 205 hm² 林地计算,深圳湾生态系统

服务功能价值为 8 700 9 万元。

3.2 深圳湾红树林生态系统服务功能与香港米埔红树林生态系统服务功能比较

中山大学对香港米埔红树林的研究表明,香港米埔红树林湿地单位面积的生态功能价值为 13 7 万港元/ hm^2a (约合 17 479 55 美元/ hm^2a ,比本研究结果高 21%。深圳湾红树林生态系统单位面积生态功能价值约 10 74 万/ hm^2a ,以人民币兑美元汇率 7.02:1 计,约 15 300 美元/ hm^2a ,这一结果显著高于世界红树林湿地的平均值 9 990 美元/ hm^2a 。在各项价值中,功能性价值所占比例最大,依次为污水净化、大气调节和旅游。因此,注重对红树林湿地保护的同时,要注重湿地生态过程的保护,以实现其生态功能价值。

3.3 深圳湾红树林生态系统服务功能与深圳梧桐山森林生态系统服务功能比较

黄平等的研究结果显示^[32],梧桐山森林生态系统服务功能价值为 1.076 4~1.148 4 万元/ hm^2a ,显著低于深圳红树林生态系统服务功能价值,约为红树林生态系统的生态价值的 10%,可见发展深圳市城市林业生态系统特别是红树林生态系统的服务功能极为重要。

4 结 论

深圳湾现有生态系统总价值 4 894 4 万元,其中红树林是 2 702 4 万元,其它各类生态系统分别是:河道 282 万元;淤泥滩涂 674 万元;海域 1 840 万元;基建填土区观光旅游 260 万元;林地价值 76 万元。在福田红树林保护区的总价值中,生态价值的 9 个分项分别是 568 万元;384 万元;125 万元;684 万元;145 万元;5 万元;417 万元及 3 61 万元(表 5)。对所有红树林类型中,秋茄+桐花树+白骨壤林生态系统类型单价最大为 12.3 万元/ hm^2a 。通过深圳湾滨海红树林修复工程的实施,在目前规划区域的 2.2 km^2 范围内,适当增加红树林海岸带面积和科学经营的条件下,若是将有关生态系统恢复,则潜在可增加至 8 700 9 万元,深圳湾滨海红树林修复工程总体工程红树林生态服务功能价值新增值为 744 28 万元,一期工程预期新增值 286 65 万元,总体实施条件下,生态系统服务功能价值可

达 7 243 48 万元。评估表明,深圳湾红树林生态系统的单位面积生态服务功能较同一区域的香港米埔低 21%,比同一区域的相同气候条件下的梧桐山森林生态系统高出很多,约 65%,对红树林湿地综合其生态功能价值的加权,深圳湾红树林价值 4 894 4 万元,香港米埔约 2 亿元,深圳湾红树林生态总价值约为米埔的 1/4。总之,深圳湾红树林生态系统价值较目前世界上高功能的红树林生态系统来说,仍然有相当大的差距。但同时我们应该注意到,深圳湾红树林生态系统比深圳陆地的森林生态系统生态价值高出很多倍,改造后系统服务功能价值显著增加,深圳湾红树林值得改造。

参考文献:

- [1] Costanza R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed[J]. *Biological Conservation*, 2008, 141(2): 350-352.
- [2] 李文华, 欧阳志云, 赵景柱. 生态系统服务功能研究[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [3] 赵士洞, 张永民. 生态系统评估的概念、内涵及挑战——介绍《生态系统与人类福利: 评估框架》[J]. *地球科学进展*, 2004, 19(4): 42-46.
- [4] 陈尚, 张朝晖, 马艳, 等. 我国海洋生态系统服务功能及其价值评估研究计划[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(11): 1127-1133.
- [5] 张忠华, 胡刚, 梁士楚. 我国红树林的分布现状、保护及生态价值[J]. *生物学通报*, 2006, 41(4): 9-11.
- [6] 曾江宁, 陈全震, 高爱根. 海洋生态系统服务功能与价值评估研究进展[J]. *海洋开发与管理*, 2005, (4): 12-16.
- [7] 伍淑婕. 广西红树林生态系统服务功能分类体系研究[J]. *贺州学院学报*, 2007, 23(2): 122-125.
- [8] 郑文教, 林鹏. 深圳福田白骨壤群落 Cr、Ni、Mn 的累积及分布[J]. *应用生态学报*, 1996, 7(2): 139-144.
- [9] 刘就, 邱凤英. 谈阳江海岸红树林带恢复与保护的重要性[J]. *现代农业科技*, 2009, (13): 228-229.
- [10] Pieter J H van Beukering, Herman S J C, Marco A J. Economic valuation of the Leuser National Park on Sumatra, Indonesia [J]. *Ecological Economics*, 2003, 44(1): 43-62.
- [11] 辛琨, 谭凤仪, 黄玉山, 等. 香港米埔湿地生态功能价值估算[J]. *生态学报*, 2006, 26(6): 2020-2025.
- [12] Xiao H, Ouyang Z, Zhao J, et al. Forest ecosystem services and their ecological valuation: a case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan Island[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 481-484.
- [13] 任海, 黄平, 张倩媚, 等. 广东森林资源及其生态系统

- 服务功能[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [14] Ouyang Z, Zhao T, Zheng H, *et al.* Ecological regulation services of Hainan Island ecosystem and their valuation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1395- 1402.
- [15] Gordon Irene M. The value of nature recourses: Nature function[M]. New York: Spingerverlag, 1992.
- [16] 伍淑婕. 广西红树林生态系统服务功能及其价值评估[D]. 广西师范大学硕士学位论文, 2006.
- [17] 李文华, 赵景柱. 生态学研究回顾与展望[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [18] Moberg F, Folke C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 215- 233.
- [19] 王勇军, 刘治平, 陈相如. 深圳福田红树林冬季鸟类调查[J]. *生态科学*, 1993, 12(2): 77- 84.
- [20] 陈桂珠, 王勇军, 黄乔兰. 深圳福田红树林鸟类自然保护区生物多样性及其保护研究[J]. *生物多样性*, 1997, 5(2): 104- 111.
- [21] 王勇军, 黄乔兰, 陈桂珠. 深圳福田红树林鸟类自然保护区水禽生态环境的建设[J]. *生态科学*, 1995, 14(2): 109- 113.
- [22] 王勇军, 林 鹏, 宋晓军. 深圳湾福田红树林湿地水鸟的周年动态[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1998, 37(1): 122- 130.
- [23] Costanza R, D' Arge R, De Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253- 259.
- [24] 张宏达, 陈桂珠, 刘治平, 等. 深圳福田红树林湿地生态系统研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 1996.
- [25] 林初夏, 储诚兴, 卢文洲, 等. 深圳福田自然保护区红树林土壤的化学特征[J]. *生态科学*, 2004, 23(2): 118- 123.
- [26] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635- 640.
- [27] Ledoux L, Turner R K. Valuing ocean and coastal resources: a review of practical examples and issues for further action [J]. *Ocean and Coastal Management*, 2002, 45(9- 10): 583- 616.
- [28] 韩维栋, 高秀梅, 卢昌义, 等. 中国红树林生态系统生态价值评估[J]. *生态科学*, 2000, 19(1): 40- 46.
- [29] 范航清, 邱广龙. 中国北部湾白骨壤红树林的虫害与研究对策[J]. *广西植物*, 2004, 24(6): 558- 562.
- [30] 陈映霞. 红树林的环境生态效应[J]. *海洋环境科学*, 1995, 14(4): 51- 56.
- [31] 崔保山, 杨志峰. 吉林省典型湿地资源效益评价研究[J]. *资源科学*, 2001, 23(3): 55- 61.
- [32] 黄 平, 侯长谋, 张 弛, 等. 广东省森林生态系统服务功能[J]. *生态科学*, 2002, 21(2): 160- 163.

[本文编校: 吴 彬]