

城市生态系统服务功能价值评估初探 ——以深圳市为例¹⁾

彭建^{2),3)} 王仰麟^{2),3)} 陈燕飞^{2),3)} 李卫锋^{2),3)} 蒋依依^{2),3)}

(²⁾ 北京大学环境学院,北京,100871;³⁾ 北京大学深圳研究生院数字城市
与城市景观研究中心,深圳,518057)

摘 要 综述国内外生态系统服务功能价值评估相关研究进展,以深圳市为例,运用生态经济学原理与方法,阐释了生态系统调节气候、固碳释氧、保持土壤、涵养水源、净化环境和减弱噪声等生态服务功能,对其经济价值进行评估。结果表明,深圳市生态系统服务功能具有巨大的生态经济效益,2000 年总价值为 1 265.29 亿元,与深圳市当年国内生产总值 1 665.24 亿元相当。同时,城市生态系统各生态服务功能的重要性,由大到小依次为固碳释氧功能、调节气候功能、涵养水源功能、保持土壤功能、净化空气功能与减弱噪声功能。而减弱噪声与净化空气是深圳市下一阶段景观管理与生态建设中需要重点保障的生态系统服务功能。

关键词 生态服务功能;经济价值评估;深圳市

中图分类号 X 171

0 引 言

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成、维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1],它不仅为人类提供食品、医药及其他生产生活原料,还创造与维持了地球生命支持系统,形成人类生存所必需的环境条件,是人类生存与现代文明的基础。一般认为,生态系统服务功能主要包括生活与生产物质的提供、生命支持系统的维持,以及精神生活的享受等 3 大类型,本文主要对城市生态系统的第 2 类功能,即生态系统生态服务功能进行评估。

深圳市自成立特区以来,凭借其优越的区位条件,在经济建设方面取得了辉煌的成就。但随着城市扩张,大面积生态用地被用于城市建设,原有生态过程随着土地利用类型的改变而消失,城市生态系统的结构和功能均发生了较大变化。因此,本文将结合深圳市的自然地理和社会经济条件,运用生态经济学原理与方法,在阐释生态系统的调节气候、固碳释氧、保持土壤、涵养水源、净化环境和减弱噪声等生态功能的基础上,定量评价深圳市 2000 年城市生态系统服务功能的经济价值,以期能为深圳市的生态可持续发展提供决策支持。

1) 国家自然科学基金资助项目(40071041;40471002)

收稿日期:2004-04-13;修回日期:2004-06-09

1 生态系统服务功能研究进展

自1974年Holdren和Ehrlich^[2]提出生态系统服务功能的概念以来,生态系统服务功能已发展成为生态学、生态经济学研究的一个重要分支。1977年Westman^[3]提出了“nature's services”这一概念及其价值评估问题,但因缺乏相应的价值评估理论与方法,进展缓慢。1979年,Cook提出自然资源价值的概念,随后又有人提出生态价值、生物多样性价值等自然与经济相结合的概念。1981年,Ehrlich^[4]在研究生态系统对土壤肥力与基因库维持的作用以及生物多样性的丧失对生态系统的影响时,首次使用“生态系统服务”一词,并很快为其他生态学家所引用。1992年,Gordon Irene^[5]在*Nature Function*一书中第一次系统论述了不同生态系统对人类生产生活带来的影响。1997年Daily^[6]主编的*Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem*的出版及Costanza等人^[7]的“The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital”在*Nature*上的发表,标志着生态系统服务的价值评估研究成为生态学和生态经济学研究的热点和前沿。

*Ecological Economics*杂志则分别在1998年(第25卷第1期)、1999年(第29卷第2期)以论坛或专题形式出版了有关生态系统服务功能及其价值评估研究的专刊,包括对生态系统服务概念的分析^[8],及其价值评估的理论探讨^[9-13];研究生态区域与生态足迹分析的结合以反映人类对生态系统的依赖^[14];生态旅游对生态系统服务的影响研究^[15];以及对珊瑚礁^[16]、红树林^[17]、农业^[18]与城市^[19]生态系统,以及鱼类种群^[20]等服务功能价值的分析与评估。目前,生态系统服务经济价值的定量评估,已成为当前生态学与资源经济学、环境经济学和生态经济学研究的交叉前沿领域。

20世纪90年代末,国外有关生态系统服务的概念及其价值理论、评估方法等开始引入国内。国内学者着重分析、探讨生态系统服务功能的相关概念,及其价值评估的理论与方法,并针对不同区域、不同生态系统类型的生态系统服务功能的价值评估进行个案研究:

(1) 生态系统服务功能的理论分析。包括生态系统服务的功能内涵与价值分类^[21,22]、生态系统服务与生态质量、生态安全、可持续发展的相关研究^[23-25]、人为与自然干扰对生态系统服务功能的影响^[26-28],以及生态系统服务功能的恢复、保护与持续利用等^[25];

(2) 生态系统服务功能价值评估方法的比较。包括对条件价值法、费用支出法与市场价值的比较^[21],生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较^[29],条件价值评估各种方法的应用比较^[30],以及对农田^[31]、森林^[32]生态系统服务功能价值估算方法的探讨等。

(3) 不同类型区域生态系统服务功能的价值评估。包括对农牧交错带^[33]、海岸带^[34]与黄土高原^[35]等自然地理区域,黑河^[4]与莽措湖^[36]等流域,以及全球13个国家^[37]、中国^[1,38]、吉林省^[39]与伊金霍洛旗^[40]等行政区域的生态系统服务功能价值及其变化的评估,大多依据Costanza等人测定的单位面积土地利用类型的生态系统服务功能价值为依据,以全球平均水平评估区域实际,缺乏对当地不同类型生态系统服务功能的价值测算等基础性研究。

(4) 不同生态系统类型服务功能的价值评估,森林、湖泊湿地与草地生态系统是研究的重点。包括对北京^[41]、长白山^[42]等地森林生态系统服务功能的价值评估;对淡水^[43]、海洋^[44]生态系统服务功能构成及其评价指标体系的探讨,对全国地表水生态系统服务功能价值的实证评估^[45],以及对湖北保安湖^[46]、盘锦地区湿地^[47]、长江口湿地^[48]、江苏互花米草海滩^[49]等湖泊

湿地生态系统服务功能价值的分析、评估;对中国自然草地^[50]与青藏高原高寒草地^[51]生态系统服务功能价值的评估。

(5) 城市生态系统服务功能及其价值评估。对城市生态系统服务价值进行评估,有助于建立区域环境—经济综合核算体系,为区域可持续发展决策提供定量依据,近年来逐步引起了国内学者的关注,如宗跃光等研究了城市生态系统服务功能的价值结构,并对宁夏灵武市作了个案分析^[52,53];夏丽华等则对经济发达地区城市生态服务功能研究的意义、内容和方法做了理论探讨^[54]。因此,国内对于生态系统服务功能的评价大多限于自然生态系统,对城市生态系统服务功能的价值评估尚不多见,缺乏对不同类型城市地域生态系统服务功能的实证研究。本文对深圳市生态系统服务功能价值评估的研究,将极大地丰富我国城市生态系统服务的研究个案,具有重要的理论与现实意义。

2 城市生态系统服务功能价值评价方法

2.1 方法原理

生态系统生态服务功能的测算受多因素影响,有多种测算模型,目前的工作大多是估算区域平均的生态系统服务价值。Costanza 等提供了一种可供借鉴的方法,其技术路线为:首先,根据一定的标准,如人类对土地的开发利用方式或生态系统的自然状况,将研究区域内的生态系统进行分类;其次,根据不同的测算方法,计算各种类型生态系统服务的单位面积资本;最后,计算总资本,汇总得到总资本结构表^[7]。因此,区域生态系统服务的总价值为:

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

式中, R 为区域生态系统服务总价值, V_{ij} 代表第 i 类生态系统第 j 项生态系统服务功能的单位价值, A_i 代表第 i 种类型的生态系统的面积。

2.2 生态服务价值估算

城市生态系统服务价值的估算一般包括对调节气候、固碳释氧、保持土壤、涵养水源、净化环境与减弱噪声等生态服务功能的价值评估:

(1) 调节气候功能。深圳市地处南亚热带,城市植被的微气候效应极为显著。城市林地、在夏季的降温作用可直接减少城市空调的使用,故而这项功能可用替代成本法即减少空调的耗电费用来衡量。

(2) 固碳释氧功能。由于目前尚缺乏公认的评估生态系统固定 CO_2 经济价值的方法,参考前人工作经验,比较运用造林成本法及碳税法 2 种方法,评估深圳市生态系统固定 CO_2 的间接经济价值;而生态系统释放氧气的价值用释放的氧气量与氧气价格的乘积衡量。

(3) 保持土壤功能。首先采用无植被覆盖的土壤侵蚀量和森林、草地的实际侵蚀量之差来估算森林、草地每年减少的土壤侵蚀量;然后再评价森林、草地在减轻表土损失、肥力损失和泥沙淤积灾害 3 方面的价值。

(4) 涵养水源功能。根据水量平衡评估林地、水域涵养水量。涵养水源价值为年涵养水量乘以水价,水价可用影子工程价格替代。

(5) 净化环境功能。采用替代成本法,用其他治理环境污染措施的成本代替生态系统净

化环境功能的价值。

(6) 减弱噪声功能。目前对森林生态系统降低噪声价值的估算多以造林成本的15%计。

3 深圳市生态系统服务功能价值评估

为测算深圳市地域生态系统服务功能价值,依据深圳市2000年土地利用变更调查资料,并结合当年的TM影像,将深圳市自然生态系统分为林地、园地、耕地、草地、沼泽/湿地、红树林、水域等7类。具体计算上,根据园地和耕地所发挥生态服务功能的实际效果,将其面积折算为有效林地面积,折算系数分别为0.6、0.2。因此,深圳市2000年的生态系统结构为:有效林地总面积82 289 hm²(其中,林地64 478 hm²、园地27 561 hm²、耕地6 372 hm²)、草地65.71 hm²、沼泽/湿地3 222 hm²、红树林304.4 hm²、水域219.63 hm²。

3.1 调节气候的价值

城市植被的小气候效应极为显著,尤以炎热的热带、亚热带地区更为显著,其改善小气候效应最明显的是表现在降温和增湿两方面。综合国内外研究情况,绿化能使局地气温降低3~5℃,最大可降低12℃,增加相对湿度3%~12%,最大可增加33%^[55]。

一株大树蒸发一昼夜的调温效果等于1 046 kJ,相当于10台空调机工作20 h,以室内空调机耗电0.86度/台,电费按0.40元/度计,则为0.344元/(h·台)。以林地树木100株/hm²,每年按60 d使用空调器计,则深圳市生态系统调节气候功能的经济价值为:

$$82\,289\text{ hm}^2 \times 100\text{ (株/hm}^2\text{)} \times 10\text{ 台/株} \times 20\text{ h/d} \times 60\text{ d/a} \times 0.344\text{ 元/(h}\cdot\text{台)} = 339.69\text{ 亿元/a。}$$

3.2 固碳释氧的价值

城市是人口和工业集中的地方,O₂的吸收量和CO₂的排放量都很大。一方面人的呼吸、排泄物的氧化、能源的燃烧、微生物的繁衍等消耗大量氧气;另一方面,城市工业燃烧煤、石油和天然气又放出大量的CO₂。城市生态系统通过光合作用和呼吸作用与大气交换CO₂和O₂,从而对维持大气中CO₂和O₂的动态平衡起着不可替代的作用。如果以成人每天需消耗0.75 kg O₂,排出0.9 kg CO₂计,对于1个城市居民来说,平均10 m²的森林或50 m²以上的草坪,就能得到足够的O₂供应,并清除呼出的CO₂。

(1) CO₂的固定及其价值。

每公顷阔叶林每天吸收1 000 kg CO₂,深圳市林地每年吸收CO₂2 353.48万t。每公顷草地每小时能吸收0.015 kg CO₂,深圳市草地每年吸收0.86万t。根据表1的数据,采用福建九龙江秋茄林(20年生)、海南岛东塞港海莲林(55年生)和广西英罗港红海榄林(70年生)吸收CO₂的平均值3 039.4 g/(m²·a),深圳市红树林每年吸收O₂0.93万t。

按造林成本法计算,深圳市生态系统每年固定CO₂的总经济价值为78.41亿元,用碳税法评估则为360.63亿元。用这2种方法的平均值219.52亿元来表示深圳市生态系统固定CO₂的价值。

(2) O₂的释放及其价值。

每公顷阔叶林每天释放750 kg O₂,深圳市林地每年释放O₂1 765.09万t。每公顷草地每天释放0.01 kg O₂,深圳市草地每年释放O₂0.58万t。用同样的方法估计红树林释放O₂的能力

为 $2\,198.5\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,得深圳市红树林每年释放 $\text{O}_2\ 0.67\times 10^4\text{ t}$ 。

表 1 部分地区红树林固碳释氧的功能^[56]

Table 1 The function of fixing carbon and releasing oxygen of mangrove in some areas^[56]

红树林群落类型	吸收量/ $(\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$	释放量/ $(\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$
福建九龙江秋茄林(20年生)	3 131.2	2 277.2
海南岛东寨港海莲林(55年生)	3 935.5	2 826.2
广西英罗港红海榄林(70年生)	2 051.5	1 492.1
美国佛罗里达 Fanka hancheel 湾红树林	6 424.2	4 672.0
佛罗里达 Fahka 联邦河低滩红树林	10 037.6	7 300.1
佛罗里达 Fahka 联邦河高滩红树林	8 833.0	6 464.0
佛罗里达 Rockery 沼泽红树林	3 747.3	2 725.3
马来西亚马丹红树林	3 336.7	2 426.7

以 O_2 的价格 3 000 元/t 计算,则深圳市生态系统每年释放 O_2 的经济价值为 676.19 亿元。

因此,深圳市生态系统服务固氮释氧功能的总经济价值为 895.71 亿元。

3.3 保持土壤的价值

自然生态系统保护土壤主要通过减少表土损失量,保护土壤肥力,减轻泥沙淤积灾害,减少风沙灾害等 4 个相互联系的生态过程来实现其经济价值。

(1) 森林与草地每年减少土壤侵蚀的总量。

① 潜在土壤侵蚀量。潜在土壤侵蚀量是指无任何植被覆盖的情况下,土壤的最大侵蚀量。不同类型土壤下的有林地和无林地的土壤侵蚀量大不相同,应对不同土壤类型进行系统的侵蚀量对比研究,以估算潜在的土壤侵蚀量。这里参考欧阳志云等的测算标准^[1],无林地的土壤中等程度的侵蚀深度为 15~35 mm/a,侵蚀模数为 150~350 $\text{m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,分别以侵蚀模数的低限 192 $\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,高限 447.7 $\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 和平均值 319.8 $\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 来估计(表 2)。

表 2 深圳森林草地每年潜在土壤侵蚀量

Table 2 The potential soil corroding amount of forests and meadows in Shenzhen per year

侵蚀模数 $/(\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$	森 林		草 地		总潜在土壤 侵蚀量/ 10^7 t
	面积/ hm^2	潜在侵蚀量/ 10^7 t	面积/ hm^2	潜在侵蚀量/ 10^4 t	
192	82 289	1.58	65.71	1.26	1.58
447.7		3.68		2.94	3.69
319.8		2.63		2.10	2.63

② 森林、草地覆盖区年土壤侵蚀量。不同植被下的土壤侵蚀量不同,以林地、草地平均侵蚀模数分别为 0.5 $\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 、0.63 $\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 计^[1],估算出深圳市森林、草地年均土壤侵蚀量分别为 41 144.5 t 与 41.41 t,合计 41 185.91 t。

③ 森林、草地每年减少的土壤侵蚀量。根据上面所估算的森林、草地区潜在土壤侵蚀量和实际土壤侵蚀量的对比,可得到每年深圳森林、草地最低减少土壤损失 1.58 $\times 10^7\text{ t}$,最高减少 3.69 $\times 10^7\text{ t}$,平均减少 2.63 $\times 10^7\text{ t}$ 。

(2) 森林、草地减少的土壤侵蚀的损失估计。

土壤侵蚀的后果主要包括可耕地面积的减少、土壤肥力(营养物质)的损失、泥沙对江河湖泊的淤积等方面。林地、草地通过保持土壤减少了土壤侵蚀的损失。

① 森林、草地每年减少土地损失面积及其间接价值。根据土壤侵蚀量和土壤耕作层的平均厚度来推算土地面积减少量。以我国耕作土壤的平均厚度 0.5 m 作为森林、草地的土层厚度^[1],若以深圳森林、草地每年的土壤保持量的平均值 2.63×10^7 t,土壤密度 1.3 g/cm^3 计算,则每年可能保持土壤面积 $4.05 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。

采用土地的机会成本来估计森林、草地减少的经济价值。1985—1990 年,林业、牧业生产的平均收益分别为 $263.58 \text{ 元}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 与 $245.50 \text{ 元}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,对林地、草地采用各自生产的机会成本,估算森林、草地每年减少的土地废弃面积的经济价值为 1.07×10^5 元。

② 减少土壤肥力损失的间接价值。土壤侵蚀带走了大量的土壤营养物质,主要是土壤有机质、氮、磷和钾。不同土壤中的有机质、全氮、全磷和全钾含量大不相同。根据主要森林土壤和草地土壤的有机质和全氮、全磷和全钾等含量的平均值和每年森林、草地分别减少的土壤侵蚀量,对森林、草地每年最少减少的有机质损失量以及氮、磷、钾等元素的损失量进行估算,以我国化肥平均价格 2 549 元/t,可以估计出每年生态系统因减少的土壤氮磷钾而减少损失的经济价值。但由于缺少深圳市土壤营养物质含量的数据,这里把深圳市生态系统减少的土壤流失量与全国的土壤流失量比较,粗略估计深圳市生态系统减少土壤肥力损失的间接价值为 8.39 亿元。

③ 减少泥沙淤积的经济价值。我国主要流域的泥沙运动规律,一般土壤侵蚀流失的泥沙有 24% 淤积于水库、江河、湖泊,这部分泥沙直接造成了水库、江河、湖泊蓄水量的下降,在一定程度上增加了干旱、洪涝灾害发生的机会,另有 33% 滞留,37% 入海^[57]。本文仅考虑淤积于水库、江河湖泊的 24%,即每年减少 379.2 万 t 泥沙淤积的经济价值。

土壤侵蚀流失的泥沙淤积于水库、江河、湖泊,减少了地表有效水的蓄积,因此可根据蓄水成本计算损失的价值。深圳每年森林草地减少的泥沙,相当于 $3.65 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的库容。据有关研究,我国 1 m^3 库容的水库工程费用为 0.67 元。因此,我国森林、草地每年减少的泥沙淤积的经济价值为 2.45×10^6 元。综合以上分析,深圳以草地、森林为主的陆地生态系统每年保持土壤的总经济价值为 8.42 亿元。

3.4 涵养水源的价值

植被具有大量的活地被物和积累大量的枯枝落叶而形成的腐殖质层,能保持和涵养大量的水分,并能提高水分渗入土壤层的速度;同时植被对垂直降水起着重新分配作用,从而改变降水的分布、流量和流速,并使降水不能产生大量的地面径流。有植被覆盖的土地入渗快、入渗时间长,所以入渗量比裸地多,产流量比裸地小。有植被的土地比裸地接纳的雨水多,土壤贮水量自然也多。

1988—1991 年全国水库建设投资测算的每建设 1 m^3 库容需投入成本费为 0.67 元。深圳市多年平均降水量为 1 933.3 mm,深圳市林地面积 $82\,289 \text{ hm}^2$ 、水域面积 219.63 hm^2 ,则可得到深圳市林地、水域全年涵养水源功能价值:

$$(82\,289 \text{ hm}^2 + 219.63 \text{ hm}^2) \times 1\,933.3 \text{ mm/a} \times 0.67 \text{ 元}/\text{m}^3 = 10.69 \text{ 亿元/a.}$$

3.5 净化环境的价值

绿色植物净化大气的作用主要有 2 个方面,一是吸收 CO_2 ,放出 O_2 等,维持大气环境化学组成的平衡;二是在植物抗性范围内能通过吸收而减少空气中硫化物、氮化物、卤素等有害物质的含量。

(1) 吸收 SO_2 的价值。

阔叶林对 SO_2 的吸收能力为 $88.65 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 针叶林平均吸收能力值为 $215.60 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 平均每公顷可脱硫 152.05 kg 。按林地面积为 $82\,289 \text{ hm}^2$ 计算, 其吸收 SO_2 量为 $1.25 \times 10^4 \text{ t}$ 。以 SO_2 治理代价每吨 $3\,000$ 元计, 如果没有林地对 SO_2 的吸收作用, 消除这些 SO_2 的费用为 0.375 亿元。

(2) 吸收 NO_x 的价值。

目前汽车尾气脱氮治理的代价是每吨 1.6 万元。一公顷林地一年可以吸收氮氧化物 380 kg , 深圳现有林地吸收氮氧化物的功能价值为:

$$82\,289 \text{ hm}^2 \times 0.38 \text{ t}/(\text{a} \cdot \text{hm}^2) \times 1.6 \text{ 万元}/\text{t} = 5.00 \text{ 亿元}/\text{a}。$$

(3) 滞留过滤降尘和飘尘的价值。

粉尘是大气污染的重要指标之一, 植物特别是树木对烟灰、粉尘有明显的阻挡、过滤和吸附作用。森林对有害烟尘和粉尘具有很大的阻挡作用。研究认为, 每公顷树木年阻尘量为云杉 32 t , 松树 34.4 t , 水青冈 68 t 。榆树、重阳木、刺槐、臭椿、悬铃木、女贞、泡桐等都是比较好的防尘树种。

针叶林的滞尘能力为 $33.2 \text{ t}/\text{hm}^2$, 阔叶林的滞尘能力为 $10.11 \text{ t}/\text{hm}^2$, 平均值为 $21.65 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。因此, 深圳林地滞尘量为 $1.78 \times 10^6 \text{ t}$, 以削减粉尘成本为 $170 \text{ 元}/\text{t}$ 计, 潜在经济价值达 3.03 亿元。

因此, 深圳市生态系统服务净化环境的总经济价值为:

$$0.375 + 5.00 + 3.03 = 8.41 (\text{亿元})。$$

3.6 减弱噪声的价值

树木、草坪有很大的隔声和吸声作用, 公园绿地能将噪声发源地间隔开来。研究证明, 一般城市绿化实体的声衰减效果具有一定的共性: 郁闭度 $0.6 \sim 0.7$, 高 $9 \sim 10 \text{ m}$, 宽 30 m 的林带可减少噪声 7 dB ; 高大稠密的宽林带可降低噪音 $5 \sim 8 \text{ dB}$, 甚至 10 dB ; 乔木、灌木、草地相结合的绿地, 平均可以降低噪音 5 dB , 高者可降低 $8 \sim 12 \text{ dB}$; 密植的灌木和乔木, 可以降低噪声响度的 $1/3$ 。目前对森林生态系统降低噪声价值的估算方法是以造林成本的 15% 计, 以平均造林成本 $240.03 \text{ 元}/\text{m}^3$, 成熟林单位面积蓄积量 $80 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 计, 则深圳市生态系统服务降低噪声的价值为:

$$240.03 \text{ 元}/\text{m}^3 \times 15\% \times 80 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \times 82\,289 \text{ hm}^2 = 2.37 \text{ 亿元}。$$

3.7 生态系统生态服务功能总价值

本研究结合深圳市的自然地理和社会经济条件, 运用生态经济学方法, 初步计算了深圳市生态系统部分生态服务功能的经济价值(表 3)。结果表明, 深圳市生态系统服务功能总的经济价值为 $1\,265.29 \text{ 亿元}/\text{a}$, 与 2000 年深圳市国内生产总值 $1\,665.24 \text{ 亿元}$ (当年价) 大致相当, 从这一不完全的估计中可以发现, 深圳市生态系统的生态服务功能具有巨大的生态经济效益。

表 3 深圳市生态系统生态服务功能总价值

Table 3 The total value of ecological services by ecosystem in Shenzhen

功能类型	调节气候	固碳释氧	保持土壤	涵养水源	净化空气	减弱噪声	总计
价值/亿元	339.69	895.71	8.42	10.69	8.41	2.37	1 265.29

同时,在深圳市 2000 年生态系统服务功能总价值构成中,调节气候功能的经济价值为 339.69 亿元/a,固定 CO_2 的经济价值为 219.52 亿元/a,释放 O_2 的经济价值为 676.19 亿元/a,保持土壤的经济价值为 1.07×10^5 元/a,涵养水源的经济价值为 10.69 亿元/a,净化空气的经济价值为 8.41 亿元/a,减弱噪声的经济价值为 2.37 亿元/a。尽管上述价值估算的均为该项生态服务功能的最低价值,与其绝对价值之间存在一定差异,但这些价值之间的数值关系,仍能反映各项生态服务功能之间经济价值与重要程度的基本差异。

具体就深圳市而言,以生态系统服务各项功能的经济价值大小为依据,可以得出结论,其城市生态系统各生态服务功能的重要性,由大到小依次为,固碳释氧功能、调节气候功能、涵养水源功能、保持土壤功能、净化空气功能与减弱噪声功能。因此,在城市生态规划、生态建设与生态管理中,应该明晰这些功能之间的价值差异,在不能同时保障所有生态服务功能的发挥时,如无其他特殊要求,应尽可能先实现重要性程度高的生态服务功能。

对生态系统服务功能价值构成的进一步分析表明,深圳市生态系统服务功能中,固碳释氧与调节气候功能的经济价值所占比例非常高,达到 97.64%,而涵养水源、保持土壤、净化空气与减弱噪声功能的经济价值总和,才仅占到 2.36%。众所周知,在区域—城市一体化的综合生态规划中,城市地域的固碳释氧与调节气候功能,在地域空间上具有可转移性,主要由城市周边的自然—近自然景观提供;而涵养水源、保持土壤、净化空气与减弱噪声等生态服务功能,具有不可转移性,是城市地域必须依靠自身解决的生态任务。因此,深圳市自然生态系统在涵养水源、保持土壤、净化空气与减弱噪声等方面的生态服务功能价值过低,尽管这与本次价值估算反映的仅是其最低价值有一定关系,但也表明深圳市的自然生态系统在上述方面提供的生态服务功能还有待进一步加强,尤其是随着城市机动车辆的不断增加,交通噪声与空气污染逐步成为制约城市生态环境持续发展的核心问题之一,在城市生态系统管理中,应着重强调自然生态系统减弱噪声与净化空气功能的发挥与完善。

4 结论与讨论

本研究将自然生态系统服务功能的评价方法应用于城市生态系统服务功能的价值评估,对于城市生态可持续发展具有重要意义。评估结果表明,深圳市生态系统服务功能总的经济价值为 1 265.29 亿元/a,与 2000 年深圳市国内生产总值 1 665.24 亿元(当年价)大致相当,表明深圳市生态系统的生态服务功能具有巨大的生态经济效益。同时,各生态服务功能的重要性,由大到小依次为,固碳释氧功能、调节气候功能、涵养水源功能、保持土壤功能、净化空气功能与减弱噪声功能;而减弱噪声与净化空气是深圳市下一阶段景观管理与生态建设中需要重点保障的生态系统服务功能。

本次城市生态系统服务功能的价值测算,反映的仅是自然资本的最低价值,是一种初步的科学估算,对各类生态系统服务功能的研究尚待完善,部分生态系统(如耕地、园地等)的生态服务功能尚不能进行定量描述。而各类生态系统之间还存在复杂的生态过程关系,对各类生态系统单独计算是不全面的。同时,对一种生态系统内部作均一化处理,用单位面积的生态系统服务价值乘以面积的算法,忽略了生态系统内部的空间异质性。生态系统服务空间异质性研究的深化,需要确定不同尺度(全球、国家、区域)各种生物群落的分类及各种生态系统服务的分类,将误差控制在合理水平。每一类型生态系统的每一类生态服务功能的价值,在转换成

区域时或外推至大尺度时不能简单的加总,必须在上层生态分区的指导下,以不同参数的模型计算区域生态系统服务总价值^[58]。

此外,目前生态系统服务价值评估中存在一个误区,即对具体的生态系统或服务类型予以充分估价,而对生态系统服务本身的整体价值认识不清或重视不够^[23]。依据传统的系统学理论,生态系统的“整体大于部分之和”。各类生态系统服务功能的简单加和不能代表生态系统服务的总体价值,如何认定生态系统服务的整体价值成为正确估价的重要前提。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 Holder J, Ehrlich P R. Human Population and Global Environment. American Scientist, 1974, 62: 282-297
- 3 Westman W E. How Much Are Nature's Services Worth? Science, 1977, 197: 960-964
- 4 张志强,徐中民,王建,等.黑河流域生态系统服务的价值.冰川冻土,2001,4(23):360—366
- 5 Gordon Irene M. Nature function. New York: Springer-Verlag, 1992
- 6 Daily G C. Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997
- 7 Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature, 1997, 387: 253-260
- 8 Norberg J. Linking Nature's Services to Ecosystems: Some General Ecological Concepts. Ecological Economics, 1999, 29(2): 183-202
- 9 Ayres R U. The Price-Value Paradox. Ecological Economics, 1998, 25(1): 17-19
- 10 Serafy S. Pricing the Invaluable: The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. Ecological Economics, 1998, 25(1): 25-27
- 11 Opschoor J B. The Value of Ecosystem Services: Whose Values? Ecological Economics, 1998, 25(1): 41-43
- 12 Pimentel D. Economic Benefits of Natural Biota. Ecological Economics, 1998, 25(1): 45-47
- 13 Templet P H. The Neglected Benefits of Protecting Ecological Services: A Commentary Provided to the Ecological Economics Forum. Ecological Economics, 1998, 25(1): 53-55
- 14 Borgstrom Hansson C, Wackernagel M. Rediscovering Place and Accounting Space: How to Re-Embed the Human Economy. Ecological Economics, 1999, 29(2): 203-213
- 15 Gossling S. Ecotourism: A Means to Safeguard Biodiversity and Ecosystem Functions? Ecological Economics, 1999, 29(2): 303-320
- 16 Moberg F, Folke C. Ecological Goods and Services of Coral Reef Ecosystems. Ecological Economics, 1999, 29(2): 215-233
- 17 Ronnback P. The Ecological Basis for Economic Value of Seafood Production Supported by Mangrove Ecosystems. Ecological Economics, 1999, 29(2): 235-252
- 18 Bjorklund J, Limburg K E, Rydberg T. Impact of Production Intensity on the Ability of the Agricultural Landscape to Generate Ecosystem Services: An Example from Sweden. Ecological Economics, 1999, 29(2): 269-291
- 19 Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem Services in Urban Areas. Ecological Economics, 1999, 29(2): 293-301
- 20 Holmlund C M, Hammer M. Ecosystem Services Generated by Fish Populations. Ecological Economics, 1999, 29(2): 253-268
- 21 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.应用生态学报,1999,10(5):635—640

- 22 孙刚,盛连喜,冯江.生态系统服务的功能分类与价值分类.环境科学动态,2000(1):19—22
- 23 欧阳志云,王如松.生态系统服务功能、生态价值与可持续发展.世界科技研究与发展,2000,22(5):45—50
- 24 周亚萍,安树青.生态质量与生态系统服务功能.生态科学,2001,20(1,2):85—90
- 25 郭中伟,甘雅玲.关于生态系统服务功能的几个科学问题.生物多样性,2003,11(1):63—69
- 26 刘苏,王祥荣.生态入侵及其对植被生态系统服务功能的影响研究.复旦学报(自然科学版),2002,41(4):459—465
- 27 郑华,欧阳志云,赵同谦,等.人类活动对生态系统服务功能的影响.自然资源学报,2003,18(1):118—126
- 28 鲁春霞,谢高地,成升魁,等.水利工程对河流生态系统服务功能的影响评价方法初探.应用生态学报,2003,14(5):803—807
- 29 赵景柱,肖寒,吴刚.生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析.应用生态学报,2000,11(2):290—292
- 30 张志强,徐中民,程国栋,等.黑河流域张掖地区生态系统服务恢复的条件价值评估.生态学报,2002,22(6):885—893
- 31 赵荣钦,黄爱民,秦明周,等.农田生态系统服务功能及其评价方法研究.农业系统科学与综合研究,2003,19(4):267—270
- 32 姜海燕,王秋兵.森林生态系统服务功能价值估算的研究内容及方法.辽宁林业科技,2003(5):27—30
- 33 高清竹,何立环,黄晓霞,等.海河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化.自然资源学报,2002,17(6):706—712
- 34 杨清伟,蓝崇钰,辛琨.广东—海南海岸带生态系统服务价值评估.海洋环境科学,2003,22(4):25—29
- 35 高旺盛,董孝斌.黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价——以安塞县为例.自然资源学报,2003,18(2):182—188
- 36 肖玉,谢高地,安凯.莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究.应用生态学报,2003,14(5):676—680
- 37 赵景柱,徐亚骏,肖寒,等.基于可持续发展综合国立的生态系统服务评价研究——13个国家生态系统服务价值的测算.系统工程理论与实践,2003(1):121—127
- 38 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值.科学通报,2000,45(1):17—22
- 39 王宗明,张柏,张树清.吉林省生态系统服务价值变化研究.自然资源学报,2004,19(1):55—61
- 40 白晓飞,陈焕伟.不同土地利用结构生态系统服务功能价值的变化研究——以内蒙古自治区伊金霍洛旗为例.中国生态农业学报,2004,12(1):180—182
- 41 余新晓,秦永胜,陈丽华,等.北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究.生态学报,2002,22(5):783—786
- 42 吴钢,肖寒,赵景柱,等.长白山森林生态系统服务功能.中国科学(C辑),2001,31(5):471—480
- 43 蔡庆华,唐涛,邓红兵.淡水生态系统服务及其评价指标体系的探讨.应用生态学报,2003,14(1):135—138
- 44 徐丛春,韩增林.海洋生态系统服务价值的估算框架构筑.生态经济,2003(10):199—202
- 45 赵同谦,欧阳志云,王效科,等.中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价.自然资源学报,2003,18(4):443—452
- 46 潘文斌,唐涛,邓红兵,等.湖泊生态系统服务功能评估初探——以湖北保安湖为例.应用生态学报,2002,13(10):1315—1318
- 47 辛琨,肖笃宁.盘锦地区湿地生态系统服务功能价值估算.生态学报,2002,22(8):1345—1349

- 48 吴玲玲,陆健健,童春富,等.长江口湿地生态系统服务功能价值的评估.长江流域资源与环境,2003,12(5):411—416
- 49 李加林,张忍顺.互花米草海滩生态系统服务功能及其生态经济价值的评估——以江苏为例.海洋科学,2003,27(10):68—72
- 50 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值.自然资源学报,2001,16(1):47—53
- 51 谢高地,鲁春霞,肖玉,等.青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估.山地学报,2003,21(1):50—55
- 52 宗跃光,陈红春,郭瑞华,等.地域生态系统服务功能的价值结构分析——以宁夏灵武市为例.地理研究,2000,2(19):148—154
- 53 宗跃光,徐宏彦,汤艳冰,等.城市生态系统服务功能的价值结构分析.城市环境与城市生态,1999,4(12):19—22
- 54 夏丽华,宋梦.经济发达地区城市生态服务功能的研究.广州大学学报(自然科学版),2002,1(3):71—74
- 55 杨士弘等.城市生态环境学.北京:科学出版社,2003
- 56 陈映霞.红树林的环境生态效应.海洋环境科学,1995,14(4):51—56
- 57 中国水利部.中国水利年鉴 1992.北京:中国水利出版社,1992
- 58 李双成,郑度,杨勤业.环境与生态系统资本价值评估的若干问题.环境科学,2001,22(6):103—107

Economic Value of Urban Ecosystem Services: A Case Study in Shenzhen

PENG Jian^{1),2)} WANG Yanglin^{1),2)} CHEN Yanfei^{1),2)} LI Weifeng^{1),2)} JIANG Yiyi^{1),2)}

(¹⁾ College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing, 100871; ²⁾ Center for Digital City and Urban Landscape, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen, 518057)

Abstract Based on research progress on economic value of ecosystem services, taking Shenzhen for instance, the authors analyze the functions of ecosystem services such as conditioning climate, fixing carbon and releasing oxygen, preserving soil, keeping waterhead, purifying environment, and restraining noises. Economic values of all the six kinds of ecological service functions are calculated. The results show that ecosystems in Shenzhen provide enormous ecological economic benefits with the total value of RMB 126 292 000 000, which corresponds with the RMB 166 524 000 000 of GDP of Shenzhen in 2000. Meanwhile, the importance of different ecosystem services in urban areas is different. The function of fixing carbon and releasing oxygen is the most important, the function of conditioning climate is the second, and the functions of keeping waterhead, preserving soil, purifying environment, and restraining noises are the last important. As for the case study in Shenzhen, the functions of purifying environment and restraining noises are in great need of protection in urban landscape management and ecological construction.

Key words ecosystem services; evaluation of economic value; Shenzhen