

王小莉,高振斌,苏婧,等.区域生态系统服务价值评估方法比较与案例分析[J].环境工程技术学报,2018,8(2):212-220.

WANG X L, GAO Z B, SU J, et al. Assessment methods of regional ecosystem service value and a case study of Dongjiang River basin[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2018, 8(2): 212-220.

区域生态系统服务价值评估方法比较与案例分析

王小莉¹,高振斌²,苏婧^{3*},陈志凡^{1*},郑明霞³,孙源媛³,纪丹凤³

1. 河南大学资源与环境研究所,河南 开封 475004

2. 华南理工大学环境与能源学院,广东 广州 510006

3. 中国环境科学研究院,环境保护部地下水污染模拟与控制重点实验室,北京 100012

摘要 探索区域生态系统服务价值是协调区域经济发展、促进生态建设的重要路径。目前对区域生态系统服务价值评估研究还没有形成统一的价值核算方法,评估结果也存在较大差异。对生态系统服务价值评估方法进行系统整理,对替代市场技术、模拟市场技术以及当量因子法等目前较为常用的评估方法进行了总结。同时,从评估对象、评估范围和评估过程的角度对3类技术方法的优点与缺点进行对比分析,得出当量因子法在评估区域生态系统服务价值上具有方法简单、评估全面,且能充分考虑评估区域生态系统特点和地区特性的优势。将该法应用于东江流域生态系统服务价值评估,结果表明:东江流域生态系统服务总价值为1 976.63亿元;其中,森林、水域、湿地、农田、草地、未利用地、建设用地的生态服务价值分别为1 536.74亿、156.42亿、145.81亿、75.74亿、42.41亿、22.89万和0元。

关键词 生态系统服务价值;替代市场技术;模拟市场技术;当量因子法;东江流域

中图分类号:X171 文章编号:1674-991X(2018)02-0212-09 doi:10.3969/j.issn.1674-991X.2018.02.029

Assessment methods of regional ecosystem service value and a case study of Dongjiang River basin

WANG Xiaoli¹, GAO Zhenbin², SU Jing³, CHEN Zhifan¹, ZHENG Mingxia³, SUN Yuanyuan³, JI Danfeng³

1. Institute of Natural Resources and Environment, Henan University, Kaifeng 475004, China

2. College of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China

3. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract To explore the value of regional ecosystem services is an important way to coordinate regional economic development and ecological construction. However, there is no accredited regional ecosystem service value assessment system, and there exist large differences in evaluation results. The common assessment methods of ecosystem services valuation systematically, such as alternative market technology, simulated market technology and equivalent factor method were summarized. Then their advantages and disadvantages were compared from three aspects of evaluation object, scope and process. It is concluded that the equivalent factor method is better suited for assessment of regional ecosystem service value because of its simplicity, comprehensiveness and taking full account of the regional and ecosystem characteristics. Finally, the method was applied to evaluate the ecosystem services value of the Dongjiang River basin. The results show that the total value of the ecosystem services in the Dongjiang River basin is 197.663 billion yuan. Among them, the ecosystem service value of forest, water, wetlands, farmland, grassland, unused land and construction land was 153.674 billion yuan, 15.642 billion yuan, 14.581

收稿日期:2017-07-24

作者简介:王小莉(1990—),女,硕士,主要从事生态系统服务价值评估与生态补偿研究,1490327633@qq.com

* 责任作者:苏婧(1981—),女,副研究员,博士,主要从事环境管理研究,sujing169@163.com

陈志凡(1979—),女,副教授,博士,主要从事环境系统中重金属污染评价与修复研究,chenzhf0604@163.com

billion yuan, 7.574 billion yuan, 4.241 billion yuan, 228.9 thousand yuan and 0 yuan, respectively.

Key words ecosystem service value; alternative market technology; simulation market technology; equivalent factor method; Dongjiang River basin

生态系统服务(ecosystem services)是指生态系统与生态过程所形成的,维持人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1]。近年来,由于过度开发利用自然资源,导致水土流失、土地荒漠化、森林草地锐减、生物多样性减少等一系列生态环境问题的出现。2005年联合国发布的《千年生态系统评估报告》指出,全球自然资源提供的2/3以上的各类服务呈下降趋势,且这种趋势可能在未来50年内仍不能有效扭转^[2]。同时,由于长期以来生态系统提供的服务没有完全进入市场,使人们在经济决策过程中忽略了生态系统服务的价值,导致自然资源的过度消耗和生态系统的破坏。在此背景下,采用经济学手段来干预人类对自然生态系统的开发和利用显得尤为重要。生态系统服务价值评估就是从自然生态的角度出发,运用一定的生态学和经济学研究方法,对自然资源或生态系统的服务功能进行价值量化,对有效保护现有自然生态系统、改善生态环境现状具有重大意义,已成为当前生态学、资源与环境经济学等领域研究的热点和难点问题。

近30年来,国内外基于各种时空尺度的生态系统服务价值评估工作在相关理论、方法和应用上取得了前所未有的进展。目前,生态系统服务价值评估方法有多种,对不同的评估对象和评估目标往往需要选取不同的方法,评估结果很大程度上依赖于选择的方法;另外,由于生态系统本身结构和功能的复杂性,给生态系统服务的定量描述带来困难。因此,笔者探讨了更为合理地评估区域生态系统服务价值的方法,并将该法应用于东江流域的生态系统服务价值评估。

1 生态系统服务价值评估方法

生态系统服务价值评估一般根据研究对象的特征,在供给、支持、调节、文化四大功能类别下进行价值评估,不同的功能采用的评估技术或方法不同,得到的评估结果有所差异^[3-5],以下主要介绍替代市场技术、模拟市场技术和当量因子法3类生态系统服务价值评估技术方法。

1.1 替代市场技术

替代市场技术是以“影子价格”和消费者剩余来表达生态系统服务的经济价值,评估方法主要有市场价值法、旅行费用法、机会成本法、影子工程法和享乐价格法等。

市场价值法是以市场价格对生态系统中具有实际市场的产品和服务进行直接评估。该法主要用于评估直接使用价值。曾祥云等^[6]在评估海南东寨港红树林湿地生态系统物质产品服务时,木材的价值就等于红树林年材积平均净生长量与价格和面积的乘积;许研等^[7-8]运用市场价值法分别估算了太湖湿地生态系统的物质生产功能和基洛贝诺谷洪水平原拉姆萨尔遗址的直接经济价值。

旅行费用法、机会成本法、影子工程法和享乐价格法等方法用于评估生态系统中没有直接市场交易和市场价格的产品或服务,通过估算其替代品的价值间接估算该种生态系统服务价值。旅行费用法^[9-10]是利用游憩的费用求出“游憩商品”的消费者剩余作为自然景观的价值。Zhang等^[11]采用旅行费用法估算了澳大利亚金沙滩休闲娱乐价值;靳乐山等^[12-13]也采用该法分别对北京圆明园公园环境服务使用价值和张家界森林公园文化功能价值进行了评估。机会成本法是在无市场价格的情况下,用所牺牲的替代用途的收入来估算。Raneses等^[14]研究了将传统农牧用地转化为种植燃料作物用地的机会成本;蔡邦成等^[15]测算了南水北调东线水源地保护一期生态建设工程工业用地和农业用地转换为生态用地的机会成本。影子工程法用与假设的实际效果相近的工程价值替代生态服务价值来估算。森林涵养水源的功能很难直接进行量化,但可以寻找一个影子工程,如修建贮存与森林涵养水源量同样水量的水库,则修建水库的费用就可以替代森林涵养水源的价值。王景升等^[16]估算了西藏森林涵养水源的生态价值;Ninan等^[17]估算了印度某保护区森林生态系统水源涵养功能。享乐价格法依赖于相关商品或服务所拥有的属性^[9],其经济价值源于服务的市场价格^[10]。该法主要用于评估房产的价格,以周边环境对房屋价值的贡献估算周边环境的价

值^[18]。Sander 等^[19]运用享乐价格法评估了美国某地区房屋销售价格受土地覆盖类型影响;夏宾等^[20]以北京城区 15 个公园周边的居民区房屋价格数据为依据,折算出 2009 年北京城区公园绿地促进土地增值 55.02 亿元。

1.2 模拟市场技术

模拟市场技术(又称假设市场技术)通过人为的构造假想市场来衡量没有市场交易和实际市场价格的生态系统产品和服务,其评估方法只有 1 种,即条件价值评估法(contingent valuation method, CVM)。CVM 来源于“陈述偏好”技术^[21],是基于一个假设的市场,人们被要求通过调查问卷或访谈以支付意愿(WTP)和净支付意愿(NWTP)来表达其对某种环境物品或服务的需求功能^[9]。刘治国等^[22]采用 CVM 研究了陕北地区居民对当地生态环境存在价值的支付意愿。CVM 可用于评估环境物品的使用价值和非使用价值,并被认为是可用于环境物品和服务的非使用价值评估的唯一方法^[23-25]。采用 CVM 可以得到诸如水质和空气质量改善、自然区域和野生动植物保护、健康风险减少、生态系统服务恢复等所产生的经济价值^[26]。

Loomis 等^[27]研究了关于恢复流域生态系统的总经济价值评估;James 等^[28]研究了下游居民对提高巴西 Amazonas Manaus 河流域生态服务功能的生态建设进行补偿的支付意愿;Grazhdani^[29]评估了阿尔巴尼亚跨界布纳河地区修复受损河流生态系统服务功能的经济价值。

1.3 当量因子法

Costanzo 等^[30]综合了不同区域内的研究,通过统计归纳总结主要生态过程功能与生态系统效益的价值对全球生态系统服务价值进行了分类与全面评估,得到全球生态系统服务价值表。但在该项研究中某些数据存在较大偏差,如对耕地的估计过低,对湿地又偏高等。针对这些不足及我国的实际情况,同时参考其可靠的部分成果,谢高地等^[5,31]通过对我国约 700 名生态学专业人员进行问卷调查,提出了新的计算生态系统服务价值的方法——当量因子法。之后又对生态系统服务价值当量因子表进行修订和补充,得出了中国生态系统单位面积生态服务价值当量(表 1)^[32]。

表 1 中国生态系统单位面积生态服务价值当量(2015 年)^[32]
Table 1 Equivalent value of ecosystem services per unit area in China(2015)

生态服务分类		农田		森林				草地			荒漠		水域		
一级	二级	旱地	水田	针叶	针阔混交	阔叶	灌木	草原	灌木丛	草甸	湿地	荒漠	裸地	水系	冰川积雪
供给服务	食物生产	0.85	1.36	0.22	0.31	0.29	0.19	0.10	0.38	0.22	0.51	0.01	0.00	0.8	0.00
	原料生产	0.40	0.09	0.52	0.71	0.66	0.43	0.14	0.56	0.33	0.50	0.03	0.00	0.23	0.00
	水资源供给	0.02	-2.63	0.27	0.37	0.34	0.22	0.08	0.31	0.18	2.59	0.02	0.00	8.29	2.16
调节服务	气体调节	0.67	1.11	1.70	2.35	2.17	1.41	0.51	1.97	1.14	1.90	0.11	0.02	0.77	0.18
	气候调节	0.36	0.57	5.07	7.03	6.50	4.23	1.34	5.21	3.02	3.60	0.10	0.00	2.29	0.54
	净化环境	0.10	0.17	1.49	1.99	1.93	1.28	0.44	1.72	1.00	3.60	0.31	0.10	5.55	0.16
	水文调节	0.27	2.72	3.34	3.51	4.74	3.35	0.98	3.82	2.21	24.23	0.21	0.03	102.24	7.13
支持服务	土壤保持	1.03	0.01	2.06	2.86	2.65	1.72	0.62	2.40	1.39	2.31	0.13	0.02	0.93	0.00
	维持养分循环	0.12	0.19	0.16	0.22	0.20	0.13	0.05	0.18	0.11	0.18	0.01	0.00	0.07	0.00
	生物多样性	0.13	0.21	1.88	2.60	2.41	1.57	0.56	2.18	1.27	7.87	0.12	0.02	2.55	0.01
文化服务	美学景观	0.06	0.09	0.82	1.14	1.06	0.69	0.25	0.96	0.56	4.73	0.05	0.01	1.89	0.09
合计		4.01	3.89	17.53	23.09	22.95	15.22	5.07	19.69	11.43	52.02	1.10	0.20	125.61	10.27

生态系统生态服务价值当量因子是指生态系统产生生态服务的相对贡献大小的潜在能力。谢高地等^[31]将 1 个标准单位生态系统生态服务价值当量

因子定义为 1 hm² 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值,以此当量为参照对其他生态系统服务进行权重赋值,可以确定其他生态系统服务

的当量因子。经过综合比较分析,确定1个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年全国平均粮食单产市场价值的1/7,计算公式如下:

$$Ea = \frac{1}{7} \sum_{k=1}^n \frac{m_k p_k q_k}{M} \quad (1)$$

式中: Ea 为1个生态服务价值当量因子的经济价值,元/hm²; k 为作物种类; m_k 为 k 种作物面积,hm²; p_k 为 k 种作物全国平均价格,元/t; q_k 为 k 种作物单产,t/hm²; M 为 n 种作物总面积,hm²;1/7是指在没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值实现由单位面积农田提供的食物生产服务经济价值的1/7。

基于生态服务价值当量因子基准单价,可将当量因子表转化为生态系统服务价值基准单价表,结合各生态系统的总面积求出区域生态系统服务总价值,计算公式如下:

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_j (e_{ij} \times Ea) \quad (2)$$

式中: V 为区域生态系统服务总价值,元; i 为生态系统服务功能类型; j 为生态系统类型; e_{ij} 为第 j 种生态系统的第 i 种生态系统服务功能相对于农田生态系统提供生态服务单价的当量因子; $e_{ij} \times Ea$ 为第 j 种生态系统第 i 种生态系统服务功能的单价,元/hm²; A_j 为第 j 种生态系统面积,hm²。

当量因子法在区分不同生态系统的不同生态服务基础上,设定单位生态系统是提供生态服务产品的标准功能单元,然后结合生态系统的分布面积进行评估,尽管相对简单,但易于广泛应用。特别适用于区域和全球尺度生态系统服务价值评估^[33-34],以及研究生态系统服务价值时空变化特征。

2 生态系统服务价值评估方法比较

生态系统服务价值评估很少采用某种单独的方法,而是整合多种方法对其进行评估^[35]。由于选择的方法不同,评估过程和结果往往具有一定的差异。

2.1 评估对象的差异

生态系统服务价值的3种评估技术在评估对象上各有特点,替代市场技术可用于评估生态系统服务的使用价值尤其是间接使用价值,如市场价值法可以计算生态产品直接使用价值,旅行费用法、享乐价格法等可以评估生态系统服务的间接使用价值;

模拟市场技术可以评估生态系统服务的使用价值和非使用价值,尤其是在非使用价值和娱乐价值方面具有突出优势;而当量因子法则涵盖生态系统的直接使用价值和间接使用价值,还可以用于评估生态系统的单项服务功能。

2.2 评估范围的差异

在生态服务价值的时空尺度评估方面,由于替代市场技术需要大范围公众调查,一般用于评估大尺度区域生态系统服务价值;模拟市场技术多用于评估小尺度区域生态系统或单个生态系统的生态服务价值;当量因子法则适用于各种尺度的生态系统服务价值评估,如全球、国家尺度以及行政区域层面的省(市)、区(县)甚至单个生态系统服务价值的评估,另外,还可用于揭示生态系统服务价值的时空变化特征、支持生态补偿相关研究。

在应用时,替代市场技术评估比较客观,但需要收集大量的资料数据,耗费大量的人力物力,计算过程复杂且存在重复问题,不能真实反映区域生态系统服务的实际价值;模拟市场技术能评估各种生态系统服务的经济价值,但是在问卷设计和调查上受众多主观因素影响,往往存在一定的局限性,如调查问卷提供的信息以及问题提出的顺序都会影响评估结果;当量因子法在实际应用中可借助GIS获得较精确的土地利用数据及其年度变化趋势,数据需求少、计算模型简单易操作、评估全面、方法统一、结果便于比较,可以作为生态系统服务价值评估的快速核算工具,由于该方法具有普遍适应性,又可以根据不同区域特征进行当量调整,具有一定的科学性和有效性,但当量因子法计算结果的精度较低,且依赖于外界数据的收集与获得。主要的生态系统服务价值评估方法比较见表2。

生态系统服务价值评估技术各有优缺点。替代市场技术评估客观,可信度较高,但需要大量的前期工作。模拟市场技术应用较为广泛,但是受众多主观因素影响,其可信度较低。当量因子法简单明了,评估较为全面但计算结果精确度较低。总的来看,当量因子法优于其他2种方法。所以,在不需精确计算价值需求时,为了获得某一地区的生态系统服务价值,当量因子法是个不错的选择,估算的价值也会对该区域起到警示作用。

表 2 生态系统服务价值评估方法比较

Table 2 Comparison on assessment methods of ecosystem service value

评估方法	优点	缺点	
市场价值法	比较客观,简单合理,可信度较高,应用广泛	由于生态系统服务功能种类繁多,往往很难定量,实际评估时仍有许多困难	
旅行费用法	可以核算生态系统游憩的使用价值,可以评估无市场价格的生态环境	费用统计不够全面合理;受社会因素影响,不能真实反映游憩地的实际游憩价值;只适用于游客较多的地区	
替代市场技术	机会成本法	比较客观全面地体现了资源系统的生态价值,可信度较高	资源必须具有稀缺性;涉及的条件比较多,不易操作
	影子工程法	可以将难以直接估算的生态价值用替代工程表示出来	替代工程非唯一性,替代工程时间、空间性差异较大
	享乐价格法	通过侧面的比较分析可以求出生态环境的价值,数据易获得	主观性较强,受其他因素的影响较大
模拟市场技术	条件价值法	能评估各生态系统服务的经济价值,尤其是非使用价值占较大比例的独特景观和文物古迹价值的评估	需要大样本的数据调查,费时费力;在问卷设计和调查技术上要求较高,容易出现系统性偏误
当量因子法	方法简单,易操作,数据需求少;有利于不同生态系统服务功能之间的比较和历年生态系统价值动态变化	精确度较低;获取数据受限;在区域应用时,需要对当量因子进行修正	

3 东江流域生态系统服务价值评估

东江流域是珠江三大水系之一,位于珠江三角洲东北端,坐标为 113°52'E ~ 115°52'E, 22°38'N ~ 25°14'N。东江发源于江西省赣州市寻乌县桎髻钵山,南流入广东省境内,至龙川合河坝汇安远水(又名定南水)后称东江。流域总面积为 35 340 km²,干流全长 562 km;东江多年平均地表径流总量为 297 亿 m³;流域内降水较丰富,多年平均降水量为 1 500 ~ 2 400 mm。2015 年东江流域土地利用类型主要有耕地、林地、灌木林地、草地、水域、湿地、建设用地和未利用地等。其中森林(林地和灌木林)面积为 22 716.89 km²,占土地利用总面积的 66.96%;森林主要类型包括常绿阔叶林、常绿针叶林、针阔混交林、常绿阔叶灌木林等,分别占总面积的 51.60%、38.10%、8.62%、1.68%。流域内生物丰富多样,森林覆盖率高,具有强大的涵养水源、保持水土的生态功能。然而,目前对东江流域的生态服务价值的研究仅限于源区^[36-37]或单个生态系统^[38-39]的价值评估,评估方法也只是传统的替代市场技术^[40]。基于生态系统服务价值评估方法的分析比较,笔者采用当量因子法估算了东江流域 2015 年生态系统服务总价值。

3.1 当量因子与基准单价的修正

以中国生态系统单位面积生态服务价值当量(表 1)为基础,在土地利用类型与生态系统类型及

价值当量的对应上,林地当量值依据东江流域各类树种所占比例确定,即当量值为阔叶、针叶、针阔混交三者 in 流域森林中的比例分别与表 1 三者当量值相乘再相加;草地取草原、灌木丛、草甸三者的平均值;未利用地对应荒漠;建设用地生态系统服务价值取 0^[30];其他土地利用类型一一对应表 1。搜集研究区主要粮食作物单产、面积、全国平均价格等相关数据,计算出 2015 年东江流域 1 个生态系统服务价值当量因子的经济价值为 2 396.05 元/hm²。同时参考谢高地等^[41]对我国生态系统服务价值进行的区域修正结果(广东省修正系数为 1.40),将表 1 数据修正到东江流域生态系统单位面积生态服务价值当量表中。由于东江流域在广东省境内占地面积高达 90%,因此本文只考虑广东省的修正系数。最后得到东江流域生态系统单位面积生态服务价值(表 3)。

3.2 结果与讨论

基于表 3,结合东江流域各土地利用面积得到的东江流域生态系统生态服务总价值(表 4)。从表 4 可以看出,东江流域生态系统服务总价值为 1 976.63 亿元。从不同生态系统类型来看,森林的生态服务价值最为显著,为 1 556.26 亿元,占总价值的 78.73%;其次为水域、湿地、农田、草地等;未利用地、建设用地几乎对东江流域生态服务价值无贡献。从不同生态服务类型来看,一级服务中调节服务价值最为显著,为 1 362.26 亿元,占总价值的 68.92%;其次为支持服务、供给服务、文化服务。二

表 3 东江流域生态系统单位面积生态服务价值
Table 3 Ecosystem service value per unit area in Dongjiang River basin 元/hm²

生态服务类型		农田		森林		草地	水域 水系	湿地	建设 用地	未利 用地
一级	二级	水田	旱地	林地	灌木					
供给服务	食物生产	4 562.08	2 851.30	872.77	637.35	782.71	2 683.57	1 710.78	0.00	15.18
	原料生产	301.90	1 341.79	2 012.28	1 442.42	1 151.70	771.53	1 677.23	0.00	45.54
	水资源供给	-8 822.25	67.09	1 040.57	737.98	637.35	27 808.54	8 688.07	0.00	30.36
调节服务	气体调节	3 723.46	2 247.49	6 608.27	4 729.80	4 047.72	2 582.94	6 373.49	0.00	197.32
	气候调节	1 912.05	1 207.61	19 763.37	14 189.40	10 700.75	7 681.73	12 076.08	0.00	151.79
	净化环境	570.26	335.45	5 820.36	4 293.72	3 533.37	18 617.29	12 076.08	0.00	622.32
	水文调节	9 124.15	905.71	13 488.12	11 237.47	7 838.27	342 960.75	81 278.75	0.00	364.29
支持服务	土壤保持	33.54	3 455.10	8 046.67	5 769.68	4 931.07	3 119.65	7 748.82	0.00	227.68
	维持养分循环	637.35	402.54	614.28	436.08	380.17	234.81	603.80	0.00	15.18
	生物多样性	704.44	436.08	7 326.02	5 266.51	4 483.80	8 553.89	26 399.66	0.00	212.50
文化服务	美学景观	301.90	201.27	3 212.40	2 314.58	1 979.14	6 339.94	15 866.63	0.00	91.07
单位面积生态服务价值		13 048.88	13 451.41	68 805.12	51 054.99	40 466.06	421 354.66	174 499.40	0.00	1 973.22

级服务中,水文调节、气候调节价值较为显著,分别为 547.44 亿元和 480.78 亿元;其次为土壤保持、生

物多样性、气体调节、净化环境、美学景观、原料生产、食物生产、维持养分循环、水资源供给。

表 4 2015 年东江流域生态系统生态服务价值
Table 4 Ecosystem service value in Dongjiang River basin in 2015 亿元

生态服务类型		农田		森林		草地	水域 水系	湿地	建设 用地	未利 用地	生态服 务价值
一级	二级	水田	旱地	林地	灌木						
供给服务	食物生产	18.44	4.87	19.49	0.24	0.83	1.00	1.43	0.00	0.000 018	46.30
	原料生产	1.22	2.29	44.94	0.55	1.21	0.29	1.40	0.00	0.000 053	51.90
	水资源供给	-35.67	0.11	23.24	0.28	0.67	10.32	7.26	0.00	0.000 035	6.21
调节服务	气体调节	15.05	3.84	147.59	1.81	4.24	0.96	5.33	0.00	0.000 229	178.82
	气候调节	7.73	2.06	441.41	5.43	11.21	2.85	10.09	0.00	0.000 176	480.78
	净化环境	2.31	0.57	130.00	1.64	3.70	6.91	10.09	0.00	0.000 722	155.22
	水文调节	36.89	1.55	301.25	4.30	8.21	127.32	67.92	0.00	0.000 423	547.44
支持服务	土壤保持	0.14	5.90	179.72	2.21	5.17	1.16	6.47	0.00	0.000 264	200.77
	维持养分循环	2.58	0.69	13.72	0.17	0.40	0.09	0.50	0.00	0.000 018	18.15
	生物多样性	2.85	0.74	163.62	2.01	4.70	3.18	22.06	0.00	0.000 247	199.16
文化服务	美学景观	1.22	0.34	71.76	0.88	2.07	2.35	13.26	0.00	0.000 106	91.88
生态服务价值		52.76	22.96	1 536.74	19.52	42.41	156.43	145.81	0.00	0.002 291	1 976.63

本研究结果突出了东江流域森林生态服务功能的重要性,这是因为森林在东江流域所占面积高达 70%,其强大的水文调节、气候调节等功能使森林调节服务功能在生态系统服务类型中极其显著(调节服务价值所占比例高达 68.92%),这一研究结果与段锦等(76.92%)^[40]及谢高地等(71.31%)^[42]的相似。然而 2015 年东江流域森林及其调节服务价值

所占比例分别为 78.73% 和 68.92%,均低于段锦等^[40]2009 年的研究结果(84.66% 和 76.92%),这是因为东江流域森林面积在过去的几年内减少了近 15%(2009 年森林面积为 26 928 km²)^[43],流域经济经历高速发展,林木加工业、城镇、农村生产生活长期消耗大量森林资源,以及大规模山地开发等,致使东江流域森林资源破坏严重^[44],进而导致森林及

其生态服务功能低下。虽然采取了“十年绿化广东”行动以及一系列造林措施,但森林结构简单,针叶林比例较高,森林水源涵养功能低下^[45]。

本研究的水域生态服务价值所占比例(7.91%)高于段锦等(7.14%)^[40]、崔树彬等(5.63%)^[46]的研究结果。东江是东深供水工程的主要水源,也是珠江三角洲城市群的主要饮用水源,再加上《广东省实行最严格水资源管理制度考核暂行办法》等相关政策的实施^[47],因此笔者相应地调高了水域的价值权重,另外还相应调低了农田的价值权重,调高了草地的价值权重。因为,农田虽然提供较大的直接经济价值,但其消耗大量水资源,不利于保持土壤和维持生物多样性,因其功能有限提供较少的美学景观价值,这也符合目前东江流域退耕还林的生态建设项目。

整体来说,东江流域生态系统服务价值呈减少趋势,原因可能是近年来人类高强度的生产和生活活动,使生态系统破坏程度加剧。

4 结论

(1)在评估区域生态系统服务价值时,当量因子法具有相对简单但全面的评估体系,且充分考虑当地生态系统的特征、所提供的服务功能、所处区域的特点,能充分发挥生态系统的特点和地区的特性。东江流域跨越江西、广东两省,面积较大,区域内部生态系统服务功能和生态环境问题较为复杂,基础数据较难获得。因此,采用当量因子法计算东江流域生态系统服务价值具有一定的优越性。

(2)采用当量因子法计算东江流域生态系统服务总价值为1 976.63亿元。从生态系统类型来看,生态价值为森林>水域>农田>草地>未利用地>建设用地。其中森林贡献了东江流域生态服务价值的78.73%,可见森林在东江流域生态系统中的地位极其重要。从生态服务类型来看,生态价值为水文调节>气候调节>土壤保持>生物多样性>气体调节>净化环境>美学景观>原料生产>食物生产>维持养分循环>水资源供给。其中,调节服务中的水文调节、气候调节、气体调节和净化环境价值占总价值的68.92%,表明东江流域生态系统具有巨大的间接使用价值,而且比直接使用价值更显著,其对社会的贡献是难以精确估算的。

参考文献

[1] DAILY G C. Nature's service; societal dependence on natural

ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.

[2] Millennium ecosystem assessment: biodiversity synthesis report [R]. Washington DC: World Resources Institute, 2005.

[3] 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.

OUYANG Z Y, WANG R S, ZHAO J Z. Ecosystem services and their economic valuation[J]. Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 635-640.

[4] Guidelines for the preparations of country studies on costs, benefits and unmet needs of biological diversity conservation within the framework of the planned convention on biological diversity [M]. Niobe: United National Environmental Program, 1991.

[5] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.

XIE G D, ZHEN L, LU C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Nature Resources, 2008, 23(5): 911-919.

[6] 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[J]. 生态经济, 2013(12): 27-33.

ZENG X Y, LI F. Ecological functions assessment of mangrove wetland in terms of greenhouse gas emissions: taking mangrove wetland in Dongzhai Port of Hainan for instance[J]. Ecological Economy, 2013(12): 27-33.

[7] 许妍,高俊峰,黄佳聪. 太湖湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 646-652.

XU Y, GAO J F, HUANG J C. Ecosystem service valuation of Taihu wetland[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(6): 646-652.

[8] BAKENGESA S, MUNISHI P, GAGA N, et al. Estimating direct use value of kilombero ramsar site based on market price method[J]. Tanzania Journal of Forestry and Nature Conservation, 2012, 81(2): 133-146.

[9] GARROD G, WILLIS K G. Economic valuation of the environment [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd, 1999.

[10] SINDEN J A. A review of environmental valuation in Australia [J]. Review of Marketing and Agricultural Economics, 1994, 62(3): 337-368.

[11] ZHANG F, WANG X H, PAULO A L D, et al. The recreational value of gold coast beaches, Australia: an application of the travel cost method[J]. Ecosystem Services, 2015, 11(4): 106-114.

[12] 靳乐山. 用旅行费用法评价圆明园的环境服务价值[J]. 环境保护, 1999(4): 31-33.

JIN L S. The value of environment services of Yuanmingyuan Ruins Park: a case study on the travel cost method [J]. Environmental Protection, 1999(4): 31-33.

[13] 秦彦,沈守云,吴福明. 森林生态系统文化功能价值计算方法与应用:以张家界森林公园为例[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(4): 26-30.

QIN Y, SHEN S Y, WU F M. Methods and application of forest

- ecosystem service cultural valuation: taking the forest park of Zhangjiajie as example[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2010, 30(4): 26-30.
- [14] RANESES A, HANSON K, SHAPOURI H. Economic impacts from shifting cropland use from food to fuel[J]. *Biomass and Bioenergy*, 1998, 15(6): 417-422.
- [15] 蔡邦成, 陆根法, 宋莉娟, 等. 生态建设补偿的定量标准: 以南水北调东线水源地保护区一期生态建设工程为例[J]. *生态学报*, 2008, 28(5): 2413-2416.
- CAI B C, LU G F, SONG L J, et al. The ecological compensation standardization for ecological restoration: a case study of ecological restoration in the water resource protection zone for Eastern South-to-North Water Transfer Project[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2413-2416.
- [16] 王景升, 李文华, 任青山, 等. 西藏森林生态系统服务价值[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 831-841.
- WANG J S, LI W H, REN Q S, et al. The value of Tibet's forest ecosystem services[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 831-841.
- [17] NINAN K N, AADREAS K. Valuing forest ecosystem services and disservices: case study of a protected area in India[J]. *Ecosystem Services*, 2016, 20: 1-14.
- [18] KING D A, SINDEN J A. Influence of soil conservation on farm land values[J]. *Land Economics*, 1988, 64(3): 242-255.
- [19] SANDER H A, HAIGHT R G. Estimating the economic value of cultural ecosystem services in an urbanizing area using hedonic pricing[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 113: 194-205.
- [20] 夏宾, 张彪, 谢高地, 等. 北京建城区公园绿地的房产增值效应评估[J]. *资源科学*, 2012, 34(7): 1347-1353.
- XIA B, ZHANG B, XIE G D, et al. The value-added effect of park green space on residential property in Beijing[J]. *Resources Science*, 2012, 34(7): 1347-1353.
- [21] CIRACY-WANTRUP S V. Capital returns from soil conservation practices[J]. *Journal of Farm Economics*, 1947, 29(4): 1188-1190.
- [22] 刘治国, 李国平. 陕北地区非再生能源资源开发的环境破坏损失价值评估[J]. *统计研究*, 2006, 23(3): 61-66.
- [23] BATEMAN I J, WILLIS K G. Valuing environmental preferences: theory and practice of the contingent valuation method in the US, EU, and developing countries[M]. New York: Oxford University Press, 1999.
- [24] ADJAYE J A. Environmental economics for non-economists[M]. Singapore: World Scientific Publishing, 2000.
- [25] XU Z M, ZHAUG Z Q, CHANG G D, et al. Measuring the total value of restoring Ejina Banner's ecosystem services[J]. *Acta Geographical Sinica*, 2002, 57(1): 107-116.
- [26] 张志强, 徐中民, 程国栋. 条件价值评估法的发展与应用[J]. *地球科学进展*, 2003, 18(3): 454-463.
- ZHANG Z Q, XU Z M, CHENG G D. The updated development and application of contingent valuation method(CVM)[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(3): 454-463.
- [27] LOOMIS J B, KENT P, STRANGE L, et al. Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey[J]. *Ecological Economics*, 2000, 33(1): 103-117.
- [28] JAMES F C, JAMES R K, ALEXANDRE R. Willingness to pay for improved water services in Manaus, Amazonas, Brazil[J]. *Ecological Economics*, 2006, 58(2): 365-372.
- [29] GRAZHDANI D S. Applying contingent valuation survey to assess the economic value of restoring ecosystem services of impaired rivers: a case study in transboundary Buna River Region, Albania[J]. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2013, 2(10): 5115-5123.
- [30] COSTANZO R, ARGE R, de GROOT R S, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [31] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资源的价值评估[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- XIE G D, LU C X, LENG Y F, et al. Ecological assets evaluation of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189-196.
- [32] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [33] COSTANZA R, GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26(1): 152-158.
- [34] WANG W J, GUO H C, CHUAI X W, et al. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution[J]. *Environmental Science & Policy*, 2014, 44: 62-72.
- [35] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(12): 3360-3367.
- HUANG C H, YANG J, ZHANG W J. Development of ecosystem services evaluation models: research progress[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(12): 3360-3367.
- [36] 刘青, 胡振鹏. 东江源区生态系统服务功能经济价值研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2007, 16(4): 532-536.
- LIU Q, HU Z P. Study of ecosystem services and their economic values on the riverhead area of East River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(4): 532-536.
- [37] 史晓燕, 胡小华, 邹新, 等. 基于生态服务价值的东江源区生态补偿标准研究[J]. *水利经济*, 2011, 29(3): 46-48.
- SHI X Y, HU X H, ZOU X, et al. Ecological compensation standards for Dongjiang River source based on value of ecosystem services[J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2011, 29(3): 46-48.
- [38] 林家淮, 欧书丹, 刘良源. 东江源区森林涵养水源、固碳制氧价值估算[J]. *江西科学*, 2009(2): 247-250.
- LIN J H, OU S D, LIU L Y. Ecological value assessment of

- forestry resource at headwaters of Dongjiang River [J]. *Jiangxi Science*, 2009(2):247-250.
- [39] 刘名燕, 李丽娟, 刘良源. 东江源区森林净化环境价值核算 [J]. *现代园艺*, 2011(10):57-59.
- [40] 段锦, 康慕谊, 江源. 东江流域生态系统服务价值变化研究 [J]. *自然资源学报*, 2012, 27(1):90-103.
DUAN J, KANG M Y, JIANG Y. Dynamic valuation on ecosystem services of Dongjiang River basin [J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(1):90-103.
- [41] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3):10-13.
XIE G D, XIAO Y, ZHEN L, et al. Study on ecosystem services value of food production in China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3):10-13.
- [42] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值 [J]. *资源科学*, 2015, 37(9):1740-1746.
XIE G D, ZHANG C X, ZHANG C S, et al. The value of ecosystem services in China [J]. *Resources Science*, 2015, 37(9):1740-1746.
- [43] 任斐鹏, 江源, 熊兴, 等. 东江流域近 20 年土地利用变化的时空差异特征分析 [J]. *资源科学*, 2011, 33(1):143-152.
REN F P, JIANG Y, XIONG X, et al. Characteristics of the spatial-temporal differences of land use changes in the Dongjiang River basin from 1990 to 2009 [J]. *Resources Science*, 2011, 33(1):143-152.
- [44] 孔凡斌. 江河源头水源涵养生态功能区生态补偿机制研究: 以江西东江源区为例 [J]. *经济地理*, 2010, 30(2):299-305.
KONG F B. Eco-compensation mechanism for ecological function conservation zones in the headwaters: a case study of Dongjiang Riverhead region in Jiangxi Province [J]. *Economic Geography*, 2010, 30(2):299-305.
- [45] 张宏锋, 袁素芬. 东江流域森林水源涵养功能空间格局评价 [J]. *生态学报*, 2016, 36(24):8120-8127.
ZHANG H F, YUAN S F. Evaluation of the spatial patterns of the water retention function of the forest ecosystem in the Dongjiang River watershed [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(24):8120-8127.
- [46] 崔树彬, 李杰, 严黎. 珠江水系东江流域上下游生态补偿机制 [J]. *水资源保护*, 2015, 31(6):27-31.
CUI S B, LI J, YAN L. Upstream and downstream ecological compensation mechanism in Dongjiang River basin in Pearl River water system [J]. *Water Resources Protection*, 2015, 31(6):27-31.
- [47] 林凌, 巨栋, 刘世庆. 上下游水资源管理与水权探索: 东江流域广东河源考察 [J]. *开放导报*, 2016(1):49-54.
LIN L, JU D, LIU S Q. Case study on water resources management of Dong River in Heyuan, Guangdong [J]. *China Opening Journal*, 2016(1):49-54. □