

基于能值分析的流域生态系统服务功能价值评估 ——以东江流域为例

杨婷, 张代青, 沈春颖, 马森, 宋玲, 李想

(昆明理工大学电力工程学院, 云南昆明 650500)

摘要:已有的流域生态系统研究大多应用直接市场法、替代市场法和模拟市场法等方法,从经济学角度以货币价值量估算其服务价值。由于能量最终来源于太阳能,其结构形成、特征功能、生态效应和服务价值等均受制于生态系统对太阳能的吸收,现有方法并不能实现各物质间太阳能的相互转化,也不能进行不同类别服务功能的相互比较,采用能值分析方法能更客观、合理、准确地评价流域生态系统的服务价值。从分析流域生态系统的能量来源、物质循环、结构形成、生态效应、服务功能和消费者干预等综合特征出发,分为淡水供给、物质生产、生态调节、生态支持和文化娱乐共5个一级类型和15个二级类型,应用能值分析技术构建流域生态系统服务功能的价值评价体系及计算模型,并以东江流域为案例,客观定量评价其服务价值。结果表明,东江流域生态系统服务功能的能值货币中,淡水供给为 243.72×10^8 元/a,物质生产为 42.99×10^8 元/a,生态调节为 315.25×10^8 元/a,生态支持为 247.35×10^8 元/a,文化娱乐为 4.46×10^8 元/a,总能值价值为 853.77×10^8 元/a。各类服务功能的能值货币大小排序为:生态调节>生态支持>淡水供给>物质生产>文化娱乐,生态服务功能主要表现为生态调节、生态支持和淡水供给,此3项服务功能价值占总价值的94.44%。研究结果可为促进流域生态系统健康发展提供技术支持。

关键词:能值理论;流域生态系统;服务功能;东江流域

中图分类号:Q178.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2023)01-0009-07

流域生态系统是陆生和水生生态系统的综合体,也是一个集社会、经济和自然子系统为一体的复合生态系统,具有明确的自然地理边界,但与外界又有物质、能量和信息交换(周浩等,2017;敦越等,2019)。流域生态系统可为相关区域居民提供多种生态物质产品和服务功能;其中,陆生生态系统在固碳释氧、土壤保持和物质生产等方面服务价值显著,水生生态系统在淡水供给、水力发电、调蓄洪水和航运等方面发挥积极效用。由于人类依傍流域而居,不合理的生产和生活活动(如过量掠夺流域自然资源、城市化进程加快、危险外来物种入侵等),使得流域生态系统服务功能发生改变、服务价值出现降低,影响流域生态系统健康和社会经济可持续发展。因此,开展流域生态系统服务功能价值评价研究,合理评估生态服务功能效用,科学把握生态系统整体健

康状况,对维持流域生态系统健康、合理开发和高效利用河流水资源具有指导意义和实际价值。

目前,流域生态系统服务功能价值评估主要采用经济学方法进行间接估算,常用方法以市场价值法(汪金福等,2019)、替代成本法(樊旭等,2015)、影子工程法(段锦等,2012)和机会成本法(贾军梅等,2015)等为主。这些方法的评价结果因直观易于接受而倍受青睐,但存在评价标准片面化、缺乏综合性,难以客观反映系统中自然资源的生态价值等问题。一种能将生态和经济系统统一起来进行定量分析的“能值理论分析法”应运而生,在一定程度上弥补了现有评估方法的不足。该方法是由美国生态系统学家Odum(1996)创立并发展起来的,以获得自然经济价值为基础,将生态系统内不同种类、无法比较的各类能量统一转换成太阳能值(Solar emergy),是一种由传统能量分析转变为新兴生态经济系统的定量研究方法。作为新兴的评价理论和方法,能值分析致力于统一的度量标准,实现了生态系统内各种自然资源的综合全面分析,弥补了能量分析存在的缺陷,成为联通生态系统与经济系统的桥梁。实际应用中在确定能值转换率的基础上各参数间的关系为(蓝盛芳和钦佩,2001):太阳能值=能值转换率×能量或物质的量。

收稿日期: 2021-06-26 修回日期: 2022-03-02

基金项目: 国家自然科学基金(51469009); 云南省教育厅科学研究基金(2020J0056)。

作者简介: 杨婷, 1991年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为水资源系统规划与管理。E-mail: 861987114@qq.com

通信作者: 张代青, 1974年生, 男, 博士, 讲师, 主要从事水资源系统规划与管理研究。E-mail: dqzhang10@126.com

该方法经过多年的研究已相对成熟,并在多学科得到广泛应用,但在流域生态系统服务功能价值评估方面应用甚少。因此,本文试图以流域生态系统为研究尺度,选取东江流域为研究案例,根据能量系统图及生态系统基本结构等构建流域生态系统服务功能分类体系。鉴于流域是一种复合生态系统,具有复杂性、生态特征影响范围较大等特点,故将流域自然生态系统与经济系统紧密结合形成一个整体,采用能值分析理论综合分析和量化评价东江流域生态系统服务功能价值,旨在为流域生态系统服务功能价值评估尝试新途径,为促进流域生态系统健康发展提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 流域概况

东江为珠江流域三大水系之一,位于珠江三角洲的东北端(113°52'~115°52'E,22°38'~25°14'N),地势东北高、西南低,发源于江西省寻乌县桫髻钵,流入广东省境内经龙川、东源、源城、紫金、惠阳、惠城、博罗至东莞市,最后注入狮子洋,经虎门出海。干流全长 562 km,流域面积 35 340 km²,其中广东省境内 23 540 km²,江西省境内 3 500 km²;属亚热带季风湿润气候区,多年平均气温为 20~22℃,年均降雨量为 1 500~2 400 mm,年均蒸发量在 1 000~1 400 mm。年内降水分布不均,呈西南多、东北少的递减趋势,每年 4~9 月降水量占年总量的 85%,流域多年平均径流量达 29.6×10⁸ m³,流域经济发达、人口稠密,已建成有新丰江、枫树坝和白盆珠三大水库。

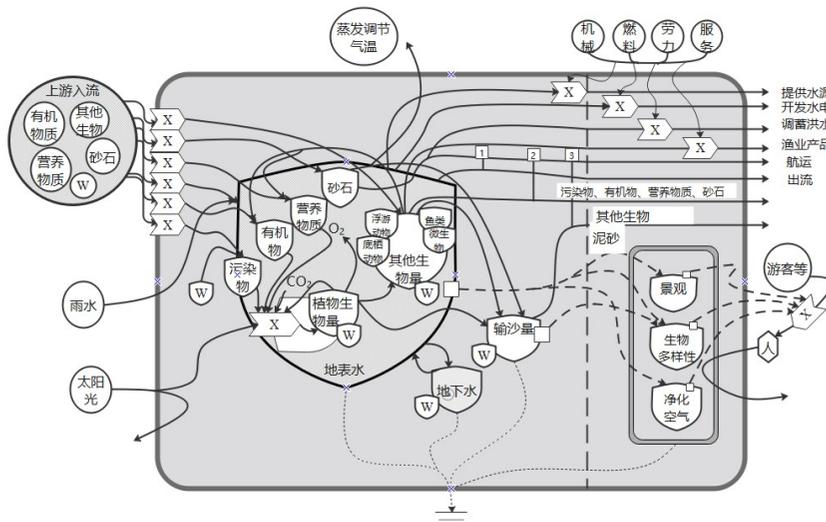
1.2 数据来源

本文以东江流域 2015 年的数据为基准进行评估,各核算方法中的原始数据、相关系数主要来源于《广东省统计年鉴》和《广东省水资源公报》;各评价指标的能值转换率来自蓝盛芳等(2002)以及李丽锋等(2013)的研究成果。全文均用人民币(¥)元作为能值货币单位,1 美元兑换 6.37 元人民币,能值货币转换率统一用广东省能值货币比率 0.74×10¹² sej/元(隋春花等,2016)。

1.3 服务功能分类体系

流域作为一种复合生态系统,具有独特的自然地理条件和生态特征,可为人类生存和发展提供必需的基本要素(资源、物资、产品、科技等),具有维持生态环境动态平衡的作用,提供了重要的生态系统服务功能(刘林等,2020)。流域生态系统结构、功能的复杂性导致计算各类服务功能价值时存在一定差异,系统内物质的生产和再生产均伴随能量流动与转化,并与外界进行能量、物质和信息交换,因此流域生态系统服务功能不仅为人类生产生活供给大量水资源及各类生态产品,具有调节气候、净化水质、改善流域生态环境的作用,同时为人类休闲娱乐和文化科研提供场所。

流域生态系统的复合型导致其能量系统的复杂性(图 1)。结合流域生态系统结构特征、自然属性及消费者干预等作用,可确立流域生态系统服务功能二级分类体系(一级分类为淡水供给、物质生产、生态支持、生态调节和休闲娱乐 5 个大类,二级分类为 15 个小类)。如此确立的生态系统分类体系能够直观反映各服务功能的直接贡献价值,对研究流域生态系统健康维护具有重要意义。



X 表示不同物质和能量间的相互作用, W 表示污染物

图 1 流域生态系统能量系统

X means the interaction between different substances and energies, W means pollutants

Fig.1 Watershed ecosystem emery system

1.4 流域生态系统服务评价程序

能值分析法定量评价程序如下:

(1)在收集流域生态系统环境和社会经济等方面相关资料及数据的基础上,根据能量系统符号语言绘制能量系统图。

(2)根据能量系统图确定流域生态系统服务功能分类体系,基于可获得的基础数据建立流域生态系统服务功能评价指标体系,然后对所研究流域生态系统进行定量分析评价。

(3)绘制能值分析表,计算系统的主要能量或物质的量及各组分能值,编制能值分析评价表,评价各功能在系统中的作用和贡献。

(4)系统发展评价和策略分析。结合能值分析表中各指标体系的能值总量和货币价值占比对系统结构变化做出评价;通过对一类服务功能价值比较分析,对系统变化趋势做出适当的判断,为生态系统良性循环提出具体策略。

1.5 服务功能能值评价模型

1.5.1 淡水供给功能 该功能由社会经济供水(包括城乡生活和工农业生产供水)、水力发电供水和内陆航运供水共3项功能组成,能值评价模型(邹丽梅和孙谦,2016)如下:

$$\begin{cases} E_{SE} = \sum_i^n W_i \times \rho \times G \times T_{SEi} \\ E_{HP} = Q_{HP} \times T_{HP} \\ E_{SH} = D \times M_g \times P_g \times R_t \end{cases} \quad (1)$$

式中: E_{SE} 为社会经济供水能值(sej), W_i 为第*i*类功能供水量(m^3), n 为社会经济供水种类, ρ 为淡水密度(kg/m^3), G 为淡水吉布斯自由能(J/g), T_{SEi} 为第*i*类供水功能能值转换率(sej/g); E_{HP} 为水力发电供水能值(sej), Q_{HP} 为实际提供的发电量(J), T_{HP} 为水电能值转换率(sej/J); E_{SH} 为内陆航运供水能值(sej), D 为水体提供的航运里程(km), M_g 为航运过程中年货运周转量(t/km 或人/km), P_g 为货运价格; R_t 为研究区能值货币比(sej/元)。

1.5.2 物质生产功能 由渔业水产品生产和其他产品生产2项功能组成,其能值评价模型(Zuo et al, 2004)如下:

$$\begin{cases} E_{AF} = 4186\mu \times K \times Q \times T_{AF} \\ E_{OP} = \sum_i^n Q_i \times T_i \end{cases} \quad (2)$$

式中: E_{AF} 为渔业水产品生产能值(sej), μ 为动物标准热值(J), K 为干重比例系数, Q 为水产品总产

量(g), T_{AF} 为水产品能值转换率(sej/g), E_{OP} 为其他产品能值(sej), n 为其他产品种类总数, Q_i 为第*i*类产品的总产量(g), T_i 为第*i*类产品对应的能值转换率(sej/g)。

1.5.3 生态调节功能 由调蓄洪水、空气净化(包括河流内植物的固碳释氧、吸收污染物 SO_2 和滞尘能力的能值)、水质净化和输沙造路共4项功能组成,其能值评价模型(孟范平和李睿倩,2011)如下:

$$\begin{cases} E_{RS} = V_{RS} \times T_{RS} \\ E_{AP} = E_{CO_2} + E_{O_2} + E_{SO_2} \\ E_{FT} = Q_{TS} \times T_{TS} + Q_{CL} \times T_{CL} \\ E_{QP} = A_k \sum_k^m (W_k \times T_k) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} E_{CO_2} = A_c \times P_c \times T_c \times NPP/0.614 \\ E_{SO_2} = C_s \times T_s + K_z \times T_z \\ E_{O_2} = A_c \times P_o \times T_o \times NPP \times 32/(0.614 \times 44) \end{cases} \quad (4)$$

式中: E_{RS} 为调蓄洪水能值(sej), V_{RS} 为水库调蓄库容(m^3), T_{RS} 为水体能值转换率(sej/ m^3); E_{AP} 为空气净化能值(sej), E_{CO_2} 为固碳能值(sej), E_{O_2} 为释氧能值(sej), E_{SO_2} 为吸收二氧化硫能值(sej); E_{FT} 为输沙造路能值(sej), Q_{TS} 为多年平均输沙量(t), T_{TS} 为砂石能值转换率(sej/g); Q_{CL} 为泥沙淤积量(t), T_{CL} 为土壤能值转换率(sej/g); E_{QP} 为水质净化能值(sej), A_k 为流域面积(m^2), m 为污染物种类总数, W_k 为第*k*种污染物的年吸收量(g/a), T_k 为第*k*中污染物的能值转换率(sej/g); A_c 为植物生长面积(m^2), P_c 为二氧化碳的价格(元/g), T_c 为 CO_2 能值转换率(sej/g), NPP 为植物净初级生产力(g/m^2), 0.614 为 CO_2 变为初级生产力的转换系数; P_o 为氧气价格(元/g), T_o 为 O_2 能值转换率(sej/g), 32 为 O_2 分子量, 44 为 CO_2 分子量; C_s 为年吸收 SO_2 的总量(g), T_s 为 SO_2 能值转换率(sej/g), K_z 为年滞尘总量(g), T_z 为滞尘能值转换率(sej/g)。

1.5.4 生态支持功能 该功能由贮存水资源、吸收与循环营养物质、土壤保持功能价值和维持生物多样性共4项功能组成,其能值评价模型(孙洁斐,2008;梁丽丽等,2009)如下:

$$\begin{cases} E_{SW} = A \times \rho \times j(R_o - R_g) \\ E_{NC} = \sum_i^n (M_{NC} \times P_{NC} \times T_{NCi}) \\ E_{SO} = (D \times S/5.1\% - D \times S) \times C_r \times T_{SO} \\ E_{MB} = N_{MB} \times T_{MB} \times I \end{cases} \quad (5)$$

式中: E_{SW} 为贮存水资源能值(sej), A 为流域面积(m^2),

ρ 为水的密度(kg/m^3), j 为雨水吉布斯自由能, R_0 为年平均降雨量(mm), R_g 为年平均蒸发量(mm), T_{SW} 为水体能值转换率(sej/m^3), E_{NC} 为吸收与营养物质循环能值(sej), n 为营养物质种类总数, M_{NC} 为植物的年均净生物量(g), P_{NC} 为植物吸收的营养元素(N、P、K)含量(%), $T_{\text{NC}i}$ 为第 i 类元素能值转换率(sej/g), E_{SO} 为土壤保持功能能值(sej), D 为现实土壤侵蚀模数, S 为流域内植被面积(m^2), C_y 为土壤中 N、P、K 的平均含量(g), T_{SO} 为固土能值转换率(sej/g), E_{MB} 为维持生物多样性能值(sej), N_{MB} 为物种种类数目(种), T_{MB} 为生物物种能值转换率($\text{sej}/\text{种}$), I 为物种活动面积占全球总面积比例。

1.5.5 文化娱乐功能 该功能由文化科研和休闲娱乐 2 项功能组成, 其能值评价模型(Qin et al, 2000;

Meillaud et al, 2004) 如下:

$$\begin{cases} E_{\text{CR}} = P_{\text{CR}} \times T_{\text{CR}} \\ E_{\text{TC}} = R \times G_{\text{TC}} \times F_{\text{TC}} \times 12.3\% \end{cases} \quad (6)$$

式中: E_{CR} 为文化科研能值(sej), P_{CR} 为平均每年发表学术论文数(页), T_{CR} 为论文能值转换率($\text{sej}/\text{页}$), E_{TC} 为休闲娱乐能值(sej), R 为当地能值货币比($\text{sej}/\text{元}$), G_{TC} 为年均旅游总数(人), F_{TC} 为景区门票费($\text{元}/\text{人}$), 12.3% 为水生态系统在旅游总收入中的作用比例。

2 结果与分析

2.1 功能项目能值

根据已知数据及生态系统服务功能评价模型得出东江流域生态系统服务功能价值见表 1。

表 1 东江流域生态系统服务功能价值能值分析

Tab.1 Emergy analysis of the ecosystem service value in the Dongjiang River basin

功能项目	评价指标	二级指标	原始数据	能值转换率	太阳能值/ $10^{20} \text{sej} \cdot \text{a}^{-1}$	能值货币/ $10^8 \text{元} \cdot \text{a}^{-1}$	占比/%
淡水供给	水资源供给		$5.27 \times 10^9 \text{m}^3$	$4.94 \times 10^6 \text{sej}/\text{J}$	128.60	173.90	20.37
	水力发电		$5.47 \times 10^{15} \text{J}$	$1.59 \times 10^5 \text{sej}/\text{J}$	8.70	11.78	1.38
	内陆航运		$7.03 \times 10^7 \text{t}$	$4.71 \times 10^{12} \text{sej}/\text{J}$	42.90	58.03	6.79
	小计				180.20	243.72	28.54
物质生产	渔业水产品		$4.19 \times 10^{11} \text{g}$	$2.00 \times 10^6 \text{sej}/\text{g}$	28.12	38.03	4.45
	其他水产品		$6.40 \times 10^{10} \text{g}$	$1.71 \times 10^6 \text{sej}/\text{g}$	3.66	4.97	0.58
	小计				31.78	42.99	5.03
生态调节	调蓄洪水		$2.04 \times 10^{16} \text{m}^3$	$1.54 \times 10^4 \text{sej}/\text{J}$	3.15	4.27	0.51
	空气净化	固定 CO_2	$1.89 \times 10^{14} \text{g}$	$3.78 \times 10^7 \text{sej}/\text{g}$	71.44	96.57	11.31
		释放 O_2	$1.39 \times 10^{14} \text{g}$	$5.11 \times 10^7 \text{sej}/\text{g}$	71.03	96.05	11.25
		吸收 SO_2	$2.10 \times 10^{11} \text{g}$	$6.66 \times 10^7 \text{sej}/\text{g}$	0.14	0.19	0.02
	水质净化	滞尘能力	$4.14 \times 10^{13} \text{g}$	$1.50 \times 10^8 \text{sej}/\text{g}$	62.10	83.96	9.83
		氨氮消减量	$5.52 \times 10^{10} \text{g}$	$2.80 \times 10^9 \text{sej}/\text{g}$	1.54	2.10	0.25
	输沙造陆		$5.79 \times 10^{16} \text{m}^3$	$4.10 \times 10^4 \text{sej}/\text{g}$	23.74	32.10	3.76
小计				233.14	315.25	36.93	
生态支持	贮存水资源		$2.47 \times 10^{10} \text{m}^3$	$4.00 \times 10^4 \text{sej}/\text{J}$	48.90	66.12	7.74
	土壤保持		$9.15 \times 10^{16} \text{J}$	$7.40 \times 10^4 \text{sej}/\text{J}$	67.71	91.54	10.72
	吸收与营养循环	N	$7.32 \times 10^{10} \text{g}$	$4.62 \times 10^9 \text{sej}/\text{g}$	3.38	4.59	0.54
		P	$4.22 \times 10^9 \text{g}$	$6.88 \times 10^9 \text{sej}/\text{g}$	0.29	0.38	0.05
		K	$5.40 \times 10^{10} \text{g}$	$2.96 \times 10^9 \text{sej}/\text{g}$	1.59	2.17	0.25
	维持生物多样性		209 种	$2.92 \times 10^{19} \text{sej}/\text{种}$	61.03	82.56	9.67
	小计				182.90	247.35	28.97
文化娱乐	文化科研		140 页	$33.90 \times 10^{16} \text{sej}/\text{页}$	0.48	0.64	0.07
	休闲娱乐		$37.96 \times 10^7 \text{sej}/\text{元}$	$0.74 \times 10^{12} \text{sej}/\text{元}$	2.81	3.82	0.45
	小计				3.29	4.46	0.52
合计				631.31	853.77	100	

注: 能值转换率($\text{sej}/\text{种}$) = 平均每个物种太阳能值($12.6 \times 10^{24} \text{sej}/\text{种}$) \times 研究区面积/全球面积(赵晟等, 2007)。

Note: Emergy conversion rate ($\text{sej}/\text{species}$) = average solar energy value per species ($12.6 \times 10^{24} \text{sej}/\text{species}$) \times research area/global area (Zhao et al, 2007).

2.2 服务功能年能值比较

由表1可见,东江流域生态服务功能总能值为 631.31×10^{20} sej/a,能值货币为 853.77×10^8 元。其中,淡水供给功能总能值为 180.20×10^{20} sej/a,能值货币为 243.72×10^8 元/a;物质生产功能总能值为 31.78×10^{20} sej/a,能值货币为 42.99×10^8 元/a;生态调节功能总能值为 233.14×10^{20} sej/a,能值货币为 315.25×10^8 元/a;生态支持功能总能值为 182.90×10^{20} sej/a,能值货币为 247.35×10^8 元/a;文化娱乐功能总能值为 3.29×10^{20} sej/a,能值货币为 4.56×10^8 元/a。5项服务功能年能值大小排序依次为:生态调节功能>生态支持功能>淡水供给功能>物质生产功能>文化娱乐功能;同时,生态调节、生态支持和淡水供给三大服务功能占比为94.44%,文化娱乐和物质生产两项服务功能占比为5.55%;另外,在二级服务功能中,空气净化和水资源供给能值占总太阳能值比重最大,分别是20.37%和11.31%,能值较小的为水力发电、营养与吸收循环、水质净化、休闲娱乐、调蓄洪水、其他产品和文化科研,7项评价指标能值价值占比不足5%,其中文化科研价值仅占0.07%。

评价结果表明,东江流域各类生态系统服务功能对维持河流生态系统本身健康和社会经济发展的贡献率差异较大。其中,生态调节功能和生态支持功能贡献价值最大,表明河流生态系统对调蓄洪水、空气净化、水质净化、输沙造陆、贮存水资源、土壤保持、吸收与营养循环、生物多样性等维持河流生态系统健康方面起到至关重要的作用;淡水供给功能贡献价值次之,但又几乎与生态支持功能持平,河流生态系统还是相关区域城乡生活、工业、农业和生态等用水的主要来源地,对保障区域社会经济发展的作用不可忽视;物质生产和文化娱乐功能贡献价值较小,占比不足6%,表明东江流域生态系统在水产品和文化娱乐方面的功能有待加强,为了充分利用河流水资源的能值、增加水产品产量及价值、提高文化科研及休闲娱乐价值,可通过扩大渔业及其他水产品的养殖规模、发展当地旅游事业以增加文化科研站点、开发旅游景点等方式实现。这些结论对维持河流生态系统健康、合理开发和高效利用河流水资源能值具有技术支持和数据支撑。

2.3 方法和结果可靠性检验与比较

为了检验本文研究方法的可行性和研究结果的可靠性,与高振斌等(2018)的研究结果进行了比较(表2),可见本文得出的各项服务价值及总服务价值要大得多,这是由于两种研究方法中各项服务功

能的内涵及类型划分不统一所致;其研究结果中未将气体调节、维持生物多样性等服务功能列入最终的价值补偿,也会直接影响最终服务价值结果;本文研究结果与其研究结果在各项服务价值的占比方面具有较高的一致性,这表明本文提出的各项服务功能的价值能值计算方法是可行的,计算结果是可靠的,可供其他流域生态系统服务功能的能值计算方面借鉴使用。

表2 东江流域生态系统服务功能价值比较

Tab.2 Comparison of the ecosystem service values in the Dongjiang River basin

功能项目	高振斌等(2018)		本研究	
	服务价值/ 10^8 元	占比/%	服务价值/ 10^8 元	占比/%
淡水供给	66.78	36.78	243.71	28.54
物质生产	2.69	1.48	42.99	5.03
生态调节	100.72	55.47	315.25	36.93
生态支持	5.27	2.90	247.35	28.97
文化娱乐	6.10	3.36	4.46	0.52

3 讨论

以往生态系统服务功能的能值评价研究,大多集中在森林(陈花丹等,2014)、湿地(司红君和张平究,2014)、湖泊(杨军和杨德伟,2010)及其相关自然保护区,而有关流域的研究相对较少(苏文明和徐水太,2008),因而忽略了其生态调节、生态支持和淡水供给等主要功能能值;同时,河流水体的调蓄洪水、空气净化、水质净化及内陆航运、物质生产、输沙造陆、水力发电等服务功能也相当重要,对维持河流生态系统健康和社会经济发展都是不可或缺的。因此,本研究又对流域生态系统服务功能进行二级分类,以全面展示河流水体各项服务功能的能值,并完善了河流生态系统服务功能的类型划分体系。与以往的类似研究相比,该评价体系能够准确计算出生态系统的各项服务价值,且不同类别的价值之间能够进行相互比较。

在生态系统服务功能价值评估研究中,大多采用能量分析评价法(刘红彩等,2020),该方法仅限于同种类别能量间的比较研究,由于同一流域(区域)不同种类服务功能的价值变化存在较大差异,可能会使研究区的总服务价值计算结果出现较大偏差。本研究选用能值分析理论方法评价河流生态系统服务功能,弥补了能量分析法存在的缺陷,能客观、准确反映研究区不同类别生态系统之间服务价值的差异,可为流域生态系统服务价值评估提供新思路。

能值分析理论方法虽逐渐成熟,也在多个领域被广泛应用(巴青翁姆和方江平,2013),但由于研究领域的不同,在能值计算过程中,一个重要的参数能值转换率的确定通常是用经验数值来代替,可能会导致计算结果存在一定的误差;另外,本研究仅计算了区域水域部分的生态和经济效益,对于其他区域(农田、建设用地等),由于相关数据的缺乏,暂时不能计算其效益。后续研究中应注重能值转换率的准确选取,研究范围能够拓展到其他区域。

综上,东江流域生态系统服务功能总太阳能值为 631.31×10^{20} sej/a,能值货币约为 853.77×10^8 元/a,可见东江流域生态系统服务价值是相当巨大的;其中,生态调节、生态支持和淡水供给功能年能值占比大于90%,表明东江流域生态系统在维持流域自身生态健康和保障社会经济发展方面的作用至关重要。

参考文献

巴青翁姆,方江平,2013. 我国生态系统能值研究综述[J]. 西藏科技, (11):71-73.

陈花丹,何东进,游巍斌,等,2014. 基于能值分析的天宝岩国家级自然保护区森林生态系统服务功能评价[J]. 西南林业大学学报, 34(4):75-81.

段锦,康慕谊,江源,2012. 东江流域生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报, 27(1):90-103.

敦越,杨春明,袁旭,等,2019. 流域生态系统服务研究进展[J]. 生态经济, 35(7):179-183.

樊旭,孟灵芳,刘翠,等,2015. 高邮湖生态服务功能价值评估[J]. 水利经济, 33(1):14-17,73-74.

高振斌,王小莉,苏婧,等,2018. 基于生态系统服务价值评估的东江流域生态补偿研究[J]. 生态与农村环境学报, 34(6):563-570.

贾军梅,罗维,杜婷婷,等,2015. 近十年太湖生态系统服务功能价值变化评估[J]. 生态学报, 35(7):2255-2264.

蓝盛芳,软佩,2001. 生态系统的能值分析[J]. 应用生态学报, 12(1):129-131.

蓝盛芳,软佩,陆宏芳,2002. 生态系统的能值分析[M]. 北京:化学工业出版社.

李丽锋,惠淑荣,宋红丽,等,2013. 盘锦双台河口湿地生态系统服务功能能值价值评价[J]. 中国环境科学, 33(8):1454-1458.

梁丽丽,陈红跃,黄丽铭,等,2009. 东江水源涵养林土壤养分变化分析[J]. 华南农业大学学报, 30(1):113-115.

刘红彩,王纳,冯水园,等,2020. 陕西省生态系统服务价值评估

[J]. 陕西林业科技, 48(6):40-46.

刘林,雷冬梅,张渊,等,2020. 基于生态系统服务功能的流域生态用地分类体系构建[J]. 安徽农学通报, 26(22):114-116,178.

孟范平,李睿倩,2011. 基于能值分析的滨海湿地生态系统服务价值量化研究进展[J]. 长江流域资源与环境, 20(S1):74-80.

司红君,张平究,包先明,等,2014. 巢湖湿地生态系统能值分析[J]. 湿地科学与管理, 10(4):51-56.

苏文明,徐水太,2008. 能值理论与分析方法的研究应用综述[J]. 生态经济(学术版), (2):31-34,39.

隋春花,陆宏芳,郑凤英,2006. 基于能值分析的广东省生态经济系统综合研究[J]. 应用生态学报, 17(11):2147-2152.

孙洁斐,2008. 基于能值分析的武夷山自然保护区生态系统服务功能价值评估[D]. 福州:福建农林大学.

汪金福,戴志健,王怀清,等,2019. 鄱阳湖流域生态系统服务价值评估[J]. 气象与减灾研究, 42(1):59-63.

王玲慧,张代青,李凯娟,2015. 河流生态系统服务价值评价综述[J]. 中国人口·资源与环境, 25(S1):10-14.

杨军,杨德伟,2010. 基于能值分析的东平湖生态经济系统评价[J]. 人民黄河, 32(9):50-51,53.

张代青,沈春颖,于国荣,等,2020. 基于河道流量生态服务效应的水库生态价值优化调度[J]. 武汉大学学报(工学版), 53(2):101-109,116.

赵晟,洪华生,张珞平,等,2007. 中国红树林生态系统服务的能值价值[J]. 资源科学, 29(1):147-154.

周浩,于晓英,李晶,2017. 流域生态系统研究进展[J]. 现代农业科技, (2):164,171.

邹丽梅,孙谦,2016. 基于能值分析的大通湖湿地生态服务功能评价[J]. 福建林业科技, 43(4):104-110.

Meillaud F, Gay J B, Brown M T, 2004. Evaluation of a building using the emergy method[J]. Solar Energy, 79(2):204-212.

Oudm H T, 1996. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making[M]. New York:John Wiley & Sons:20-50.

Qin P, Wong Y S, Tam N F Y, 2000. Emery evaluation of Mai Po mangrove marshes[J]. Ecological Engineering, 16(2):271-280.

Zuo P, Wan S W, Qin P, et al, 2004. A comparison of the sustainability of original and constructed wetlands in Yancheng Biosphere Reserve, China: implications from emery evaluation[J]. Environmental Science & Policy, 7(4):329-343.

(责任编辑 万月华)

Valuation of River Basin Ecosystem Services Based on Emergy Analysis : A Case Study of Dongjiang River Basin

YANG Ting, ZHANG Dai-qing, SHEN Chun-ying, MA Sen, SONG Ling, LI Xiang

(Kunming University of Science and Technology, Faculty of Electric Power Engineering,
Kunming 650500, P.R. China)

Abstract: The evaluation of watershed ecosystem services has significant meaning for the maintenance of watershed ecosystem health, reasonable exploration, and efficient usage of water resources. Previous research shows that the value of watershed ecosystem services was most often estimated using methods such as the direct market method, alternative market method, and simulated market method from an economic perspective and in terms of monetary value. Since the energy of the watershed ecosystem ultimately comes from solar energy, its structure formation, characteristic functions, ecological effects, and service value are all subject to absorption of solar energy by the ecosystem. The existing methods cannot achieve the mutual conversion of solar energy between various substances or the mutual comparison of different types of service functions. The use of emergy analysis to evaluate the service value of a river basin ecosystem is more objective, rational and accurate. In this study, the Dongjiang River system was selected for study and we comprehensively analyzed and quantitatively evaluated the value of services provided by the Dongjiang River ecosystem using a constructed value evaluation system and calculation model based on emergy analysis. The aim was to develop an improved method for evaluating ecosystem services and provide techniques for improving ecosystem health. Dongjiang River is one of the three river systems in the Zhujiang River basin, with a stem length of 562 km. The study was based on the data for the Dongjiang River basin in 2015. Construction of the evaluation system was based on a comprehensive analysis of energy sources, material circulation, structure formation, ecological effects, service functions and consumer interventions of the Dongjiang watershed. The evaluation system consisted of 15 indices from 5 groups, including freshwater supply, material production, ecological regulation, ecological support and cultural resources. Results show that the annual values of freshwater, materials, ecological regulation, ecological support, recreation emergy currency were, respectively, 243.72×10^8 yuan/a, 42.99×10^8 yuan/a, 315.25×10^8 yuan/a, 247.35×10^8 yuan/a, 4.46×10^8 yuan/a. The total emergy currency was 853.77×10^8 yuan/a. The order of the emergy value for different services were ecological regulation function > ecological support function > freshwater supply function > material production function > recreation function. The ecological service functions of Dongjiang River basin were primarily ecological regulation, ecological support and freshwater supply, accounting for 94.44% of the total value.

Key words: emergy method; watershed ecosystem; service function; Dongjiang River