

两种生态系统服务价值评估方法的比较研究

——以环杭州湾地区为例

李鲁冰, 林文鹏, 任晨阳, 徐 丹

(上海师范大学 环境与地理科学学院, 上海 200234)

摘 要:生态系统服务价值可以用来衡量生态环境的状况,但目前尚未形成统一的价值核算方法,该研究旨在比较评估方法及计算结果的差异。当量因子评估法和功能价值评估法被用于计算环杭州湾区域 2000—2015 年的生态系统服务价值,并对其结果进行了比较分析。结果表明:当量因子评估法的结果显示生态系统服务价值在 2000 年、2015 年分别为 779.58 亿元和 736.63 亿元,功能价值评估法的结果是 781.86 亿元与 810.37 亿元。两种方法的结果较为接近,但呈现上升、下降两种相反的变化趋势。针对这一差异比较两种生态系统服务价值计算方法,认为功能价值评估法针对较小空间尺度的评价更为细致,能充分评估生态城市建设用地的产出,展现出的生态系统服务价值在功能结构、空间分布上更均衡,因而更适用以环杭州湾地区为例的城市化度较高的区域。

关键词:生态系统服务价值;植被净初级生产力;当量因子评估法;功能价值评估法;环杭州湾区域

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)03-0228-07

Comparative Study on Two Assessment Methods of Ecosystem Service Value

—A Case Study of Hangzhou Bay Area

LI Lubing, LIN Wenpeng, REN Chenyang, XU Dan

(School of Environment and Geography Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: Ecosystem service value can be used to measure the status of ecological environment, however there is no unified accounting method, and the calculation results are quite different. This paper aims to compare the differences between evaluation methods and calculation results. Therefore, the equivalent factor assessment method and the functional value assessment method were simultaneously used to calculate the ecosystem service value of the Hangzhou Bay area from 2000 to 2015, and the results were compared and analyzed. The results of equivalent factor evaluation method showed that the ecosystem service value was 77.958 billion yuan and 73.663 billion yuan in 2000 and 2015, respectively, and the results of functional value evaluation method were 78.186 billion yuan and 81.037 billion yuan, respectively. The results show that the outcomes of the two methods are relatively close, but present two opposite trends: rising and falling. In view of this difference, we compare the two calculation methods of ecosystem service value, and learn that the functional value evaluation method is more detailed for the evaluation of smaller spatial scale, which can fully evaluate the output of construction land in eco-cities with ecosystem service value being more balanced in the functional structure and spatial distribution, therefore, it is more suitable for the areas with higher urbanization degree, such as the Hangzhou Bay area.

Keywords: ecosystem service value; net primary productivity; equivalent factor evaluation method; functional value evaluation method; Hangzhou Bay Area

党的十九大报告明确提出中国既要创造更多的物质财富和精神财富以满足人民日益增长的美好生

活需要,也要提供更多优质生态产品以满足人民日益增长的优美生态环境需要^[1]。随着生态文明建设成

收稿日期:2020-03-18

修回日期:2020-05-14

资助项目:国家自然科学基金项目“城市植物滞尘效应高光谱遥感探测方法与模型研究”(41571047)

第一作者:李鲁冰(1996—),女,山东济宁人,硕士研究生,研究方向为城市生态与环境遥感。E-mail:llb0217@163.com

通信作者:林文鹏(1973—),男,福建漳浦人,博士,教授,博士生导师,主要从事城市生态与环境遥感方向研究。E-mail:linwenpeng@163.com

为时代强音,牺牲环境为代价的发展已遭到摒弃。中国创新绿色发展理论与实践^[2],诸如珠海^[3]、苏州^[4]、舟山等^[5]城市实现了经济增长、社会进步与生态建设的协调发展。

生态建设的代表性指标之一是生态系统服务(Ecosystem Service Value,简称:ESV)^[6-8],被灵活运用在环境经济分析^[9]、生态风险判定^[10]、人类福祉研究^[11]、生态空间区划^[12]、土地管理决策等^[13]领域。核算生态系统服务价值最常用的方法为当量因子评估法和功能价值评估法。前者由美国学者 Costanza 等在《Nature》发布的成果^[14]得到推广,他提出的生态系统服务价值当量经过修之后可以应用到不同空间尺度的研究中^[15-18]。后者则是对生态系统服务的功能逐项估价。赵同谦等^[19]运用该方法对中国森林生态系统服务价值进行核算为 1.41×10^4 亿元,徐冉等^[20]对长江三角洲海岸带生态系统服务估价 1 493.04 亿元,宁潇等^[21]对杭州湾国家湿地公园的湿地生态系统服务价值评估为 4.20×10^6 元。但针对同一地区,两种方法的评估结果可能差别较大,如,薛明皋^[22]和何浩^[23]分别利用当量因子评估法和功能价值评估法对 2000 年中国生态系统服务价值进行核算,结果相差近 20 亿元。周小平等^[24]曾利用两种计算方法对四川金堂县的生态效益进行评估、对比并得到了科学的结果,除此之外,两种方法的比较研究案例较少。

探索适合区域生态系统服务价值评估方法不仅是准确评价区域生态效益的前提,更是协调区域经济发展、促进生态建设的重要路径。本文将当量因子评估法与功能价值评估法应用在长江三角洲(简称:长三角)南部的环杭州湾地区,以期在比较两种方法的同时为环杭州湾区域城市发展和生态环境保护提供参考。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

研究区的四至范围是 $29^{\circ}39'10''$ — $31^{\circ}15'10''$ N, $120^{\circ}52'45''$ — $122^{\circ}54'45''$ E,包含浙江省、上海市沿海市辖区或县级行政区域 18 个。研究对象为滨海-城市生态系统,地处中国海岸线中点,北岸为侵蚀性海岸,南岸为淤涨型海岸,拥有丰富的海岸带资源。该区域是典型的自然-人工复合生态系统,依托优越的地理位置与自然条件,沿岸城市在 2000—2015 年发展迅速,区域生产总值从 2 451.00 亿元增长到 37 473.50 亿元,常住人口的城市化率从 24.74% 增长为 44.31%。评估该地生态系统服务价值可以直观辨识出经济发展、城市化进程中生态环境状况的损益。

1.2 数据来源

土地利用数据通过解译研究时段(2000 年、2005 年、2010 年、2015 年)四期 Landsat TM/OLI 影像(<http://www.gscloud.cn>)获得,空间分辨率为 30 m,运用了 ENVI 软件中最大似然法分类模块配合目视判读加以实现;NDVI 数据源为 MOD13Q1(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>),原始分辨率为 250 m,利用 MODIS Reprojection Tool 软件对研究时段的数据产品进行了镶嵌、投影转换、裁剪、重采样等步骤的批量处理,得到研究区 NDVI 数据集;2000 年、2005 年、2010 年、2015 年气温、降水数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn>),土壤数据下载自中国土壤数据库(<http://vdb3.soil.csdb.cn>),使用 ArcGIS 10.3 中的克里金插值将站点数据转化为了覆盖研究区的面数据;上述年份的地形数据为中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/Default.aspx>)发布的 DEM 数据,栅格单元大小为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$;社会经济数据来自各级人民政府颁布的统计年鉴以及国民经济和社会发

2 研究方法

本文分别采用当量因子评估法与功能价值评估法对研究区的生态系统服务价值进行核算,植被净初级生产力(NPP)发挥了重要作用,技术路线图见图 1。

对生态系统服务(Ecosystem Service,ES)进行分类是价值评估的前提和关键点^[25]。在当量因子评估法的应用中,谢高地^[26]采用的分类方法在我国普及程度最高,他认为生态系统的功能分类首先为供给、支持、调节和文化四大类,进而被细分为 11 种明确的生态系统服务功能。受限于数据可得性,本研究依赖的遥感技术仅能对其中部分功能进行价值评估,但两种方法的比较不受影响。因此调整、选取以下 6 种生态系统服务功能进行探究,指标明细见表 1。

2.1 植被净初级生产力(NPP)测算

NPP 将作为基础数据参与生态系统服务价值的核算,本文采用 CASA 模型^[27]进行估算,公式如下:

$$\text{NPP}(x,t) = \text{APAR}(x,t) \times \epsilon(x,t) \quad (1)$$

式中: $\text{NPP}(x,t)$ 是像元 x 在 t 月产生的植被净初级生产力($\text{MJ} \cdot \text{month}$); $\text{APAR}(x,t)$ 表示像元 x 在 t 月吸收的光合有效辐射($\text{g C}/\text{m}^2 \cdot \text{month}$),见公式 2; ϵ 表示像元 x 在 t 月的实际光能利用率($\text{MJ}/\text{g C} \cdot \text{month}$)。

$$\text{ARPR}(x,t) = \text{SOL}(x,t) \times \text{FPAR}(x,t) \times 0.5$$

(2)

式中: $\text{APAR}(x,t)$ 表示像元 x 在 t 月吸收的光合有

效辐射($\text{g C}/\text{m}^2 \cdot \text{month}$); $\text{SOL}(x,t)$ 表示像元 x 在 t 月的太阳总辐射量($\text{g C}/\text{m}^2 \cdot \text{month}$); $\text{FPAR}(x,t)$ 为植被层对入射光合有效辐射的吸收比例,0.5 为植被的太阳辐射利用率。

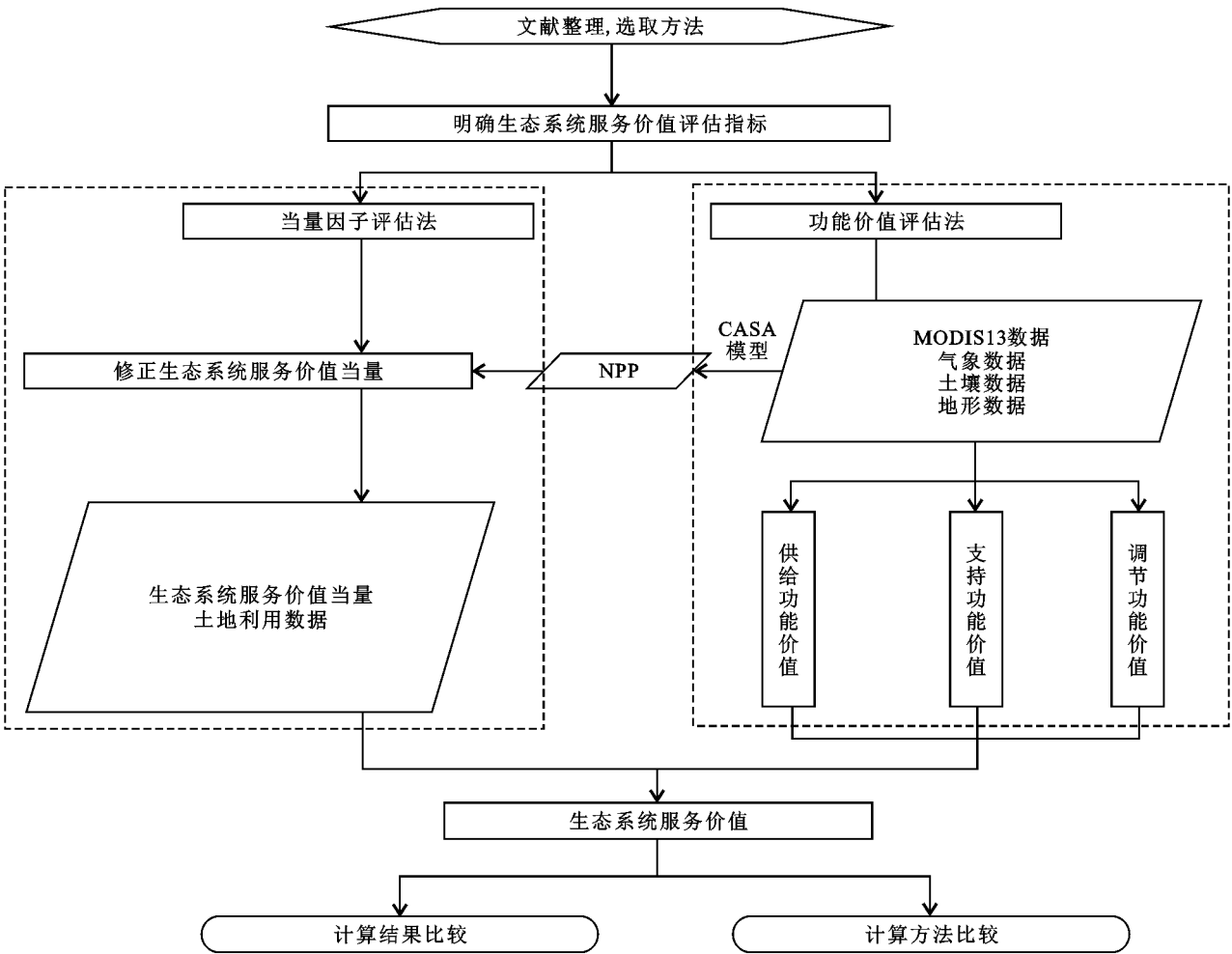


图 1 技术流程

表 1 杭州湾生态系统服务分类体系

ES 类别	ES 功能	含义	基础数据
供给	有机物生产	植被净初级生产力	NPP; 标煤市场价格
	气候调节	固定 CO ₂	NPP; 碳税
调节	气体调节	释放 O ₂	NPP; 工业制氧成本
	涵养水源	蓄水层对水源的调节	降雨量、蒸散量、水库建造成本
支持	土壤保持	防止地表土壤流失	土地覆被类型、DEM、土壤侵蚀类型等
	养分循环	营养元素 N、P、K 的循环	NPP; 营养物质分配率、化肥价格

2.2 当量因子评估法

依照中华人民共和国国家标准《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)与环杭州湾区域遥感影像特征将生态系统划分为城建、耕地、林地、草地、水体和裸地 7 个种类,选取研究区与全国的 NPP 比值为修正参数对中国陆地生态系统服务价值当量进行修正,依次计算出各类生态系统的各生态服务功能的价值并做加和。计算公式如下:

$$\lambda_y = \text{NPP}_{y,\text{local}} / \text{NPP}_{2010,\text{national}}$$
 (3)

式中: λ_y 表示 y 年的生态系统服务价值当量修正系数; $\text{NPP}_{y,\text{local}}$ ($\text{gC} \cdot \text{m}^2$)表示第 y 年研究区当地的植

被净初级生产力; $\text{NPP}_{y,\text{national}}$ ($\text{gC} \cdot \text{m}^2$)表示 2010 年中国陆地生态系统的植被净初级生产力^[28]。

生态系统服务价值的计算方法如下:

$$\text{ESV}_a = \sum S_{y,i} \times \lambda_y \times f_{i,j}$$
 (4)

式中: ESV_a 表示采用当量修正法计算得到的生态系统服务价值(元); $S_{y,i}$ 代表 y 年第 i 类生态系统的土地面积(km^2); λ_y 表示 y 年的生态系统服务价值当量修正系数; $f_{i,j}$ 表示第 i 类生态系统第 j 项服务功能的价值当量,取值参考中国学者谢高地提出的 2010 年中国陆地生态系统服务价值当量体系^[26]。

2.3 功能价值评估法

本研究中功能价值评估法的计算公式如下:

$$ESV_b = \sum_{f=1}^6 V_{y,f}$$

(5)

表 2 功能价值评估详表

生态系统服务功能	评估方法	价值计算公式	注释
有机物生产	采用能量代替法,将绿色植被通过光合作用产生的有机质转化为标准煤来衡量其市场价值。	$V_1 = \sum NPP(x) \times a \times P_{sc}$	V_1 是该项功能的价值(元); $NPP(x)$ 为像元 x 每年生产的有机物质(g); a 为有机质与标准煤之间的转换系数,取值 1.474; P_{sc} 是标准煤的价格,取值 1 000(元/t)
气候调节	温室气体 CO_2 产生全球变暖效应。根据成本替代法将排放 CO_2 所需缴纳的环境税等同于此项服务功能的价值。	$V_2 = 1.62 \times NPP \times V_{CO_2}$	V_2 是该项功能的价值(元);生产 1 单位有机物消耗 1.62 单位的 CO_2 ; NPP 为植被净初级生产力(g); V_{CO_2} 为依据瑞典碳税率所换算出的 CO_2 单位质量价格, 33.6×10^4 (元/g)
气体调节	运用影子工程法,用等量工业制氧产生的费用作为此项服务功能的价值。	$V_3 = 1.2 \times NPP \times V_{O_2}$	V_3 是该项功能的价值(元);根据光合作用与呼吸作用的化学反应方程式可知,每生产 1 单位干物质,释放 1.2 单位的 O_2 ; V_{O_2} 为工业制氧单位价格,取值 8×10^4 (元/g)
涵养水源	采用成本替代法以建造水库的花费来衡量此项服务功能的价值。	$V_4 = \sum V(x) \times P_w$	V_4 是该项功能的价值(元); $V(x)$ 为像元 x 每年单位面积的涵养水量(m^3); P_w 为建成单位库容的成本花费,取值 6.9(元/ m^3)
土壤保持	基于通用土壤流失方程(RUSLE)模型求算土壤保持量,按照 1 000 元/t 的市场价值作为此项功能的服务价值。	$V_5 = R \times K \times LS \times (1 - C \times P) \times 1000$	V_5 是该项功能的价值(元); R 为降雨侵蚀力因子, ($MJ \cdot mm/hm^2 \cdot h \cdot a$); K 为土壤可蚀性因子, ($t \cdot h/MJ \cdot mm/hm^2 \cdot h \cdot a$); LS 为地形因子; C 为植被覆盖与作物管理因子; P 为水土保持措施因子,均为无量纲。 $R \times K \times LS$ 代表了潜在土壤侵蚀量, $R \times K \times LS \times C \times P$ 表示实际土壤侵蚀量,二者作差可衡量水土保持量
养分循环	参照市场价值法把养分元素折合为化学肥料的市场价格视作此项服务功能的价值。	$V_6 = \sum NPP(x) \times R_{i1} \times R_{i2} \times P_i$	V_6 是该项功能的价值(元); $NPP(x)$ 为像元 x 每年生产的有机物质(g C); i 代表 N、P、K 元素; R_{i1} 为生态系统中 i 元素含量(%); R_{i2} 是 i 元素折算成化肥的比例(%); P_i 表示 i 肥的平均价格(元/t)

注:参见许旭等^[29]、郭璞璞等^[25]的研究思路与成果。

3 结果与分析

3.1 基于当量因子评估法的生态系统服务价值核算

土地利用数据是当量因子评估法所需的基础数

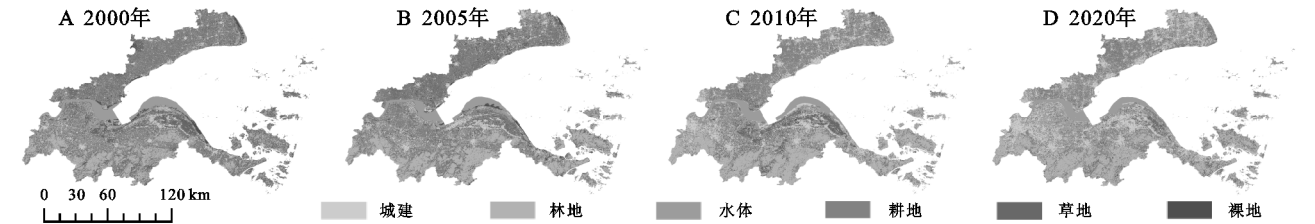


图 2 杭州湾土地利用分类

此外,针对研究区的实际情况所得的修正系数将提升中国陆地生态系统服务价值当量体系的区域适用性。经计算 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年环杭州湾地区的修正系数分别为 0.95,1.06,1.04,1.08,进而得到研究区生态系统服务价值的计算结果见表 3。

2000—2015 年期间,环杭州湾地区的生态系统服务价值先增后减。ESV 由 2000 年 779.58 亿元增加 98.75 亿元并在 2005 年达到峰值,6 项生态系统服务功能的价值均有升高,因涵养水源功能的价值增长

式中:ESV_b表示采用功能价值评估法计算得到的生态系统服务价值(元);V_{y,f}表示 y 年第 f 种生态系统服务功能的价值(元),本文共选取了 6 项功能进行价值评估(表 2)。

据。环杭州湾地区的土地利用在研究期发生了较大改变,城建用地面积不断增大,从 2000 年的 2 002.32 km²增长到 2015 年的 4 299.91 km²,增长率达 53.43%,其空间分布格局见图 2。

高达 85.80 亿元关注到水体在此项功能上的价值当量非常突出。此年间水体面积增幅较大(63.10 km²),带来了 85.85 亿元的 ESV 增加值,可见水体面积变化在 ESV 变化因素中占主导地位。随后的 10 a 时间里不断减少、2005—2010 年、2010—2015 年的减少率分别为 9.76%和 7.07%。相比 2005 年、2015 年研究区范围内有 319.28 km² 水体被其他地类替代,造成了 114.52 亿元的 ESV 损失,在 ESV 总减少量中占比 80.82%。此外,建设用地扩张了 1 635.57

km², 亿元, 侵占其他土地折损的 ESV 为 73.78 亿元。由于各项功能在各类型土地生态系统上的价值当量悬殊较大, 该方法受土地利用变化的密切影响, 地类的面积变化几乎可以控制总体结果的变化趋势。

表 3 2000—2015 年研究区生态系统服务价值

年份	亿元						合计
	有机物 生产	气候 调节	气体 调节	涵养 水源	土壤 保持	养分 循环	
2000	32.48	85.86	37.33	580.41	39.17	4.33	779.58
2005	37.52	88.33	40.38	666.21	41.05	4.86	878.34
2010	33.58	84.20	37.36	594.47	38.62	4.41	792.65
2015	32.98	77.67	35.65	549.85	36.18	4.30	736.63

3.2 基于功能价值评估法的生态系统服务价值核算

通过遥感技术获取基础数据, 利用能量代替法、影子工程法、成本替代法、市场价值法对各项生态系统服务功能的价值依次计算, 所得环杭州湾地区在 2000—2015 年期间的生态系统服务价值见表 4。

表 4 2000—2015 年研究区生态系统服务功能及价值

年份	亿元						合计
	有机物 生产	气候 调节	气体 调节	涵养 水源	土壤 保持	养分 循环	
2000	112.09	91.37	80.61	203.39	278.38	16.02	781.86
2005	124.75	101.83	89.83	232.59	244.25	17.83	811.08
2010	122.13	99.66	87.90	214.22	283.04	17.45	824.40
2015	113.36	92.40	81.49	213.54	293.39	16.19	810.37

环杭州湾地区在 2000—2015 年这一城市快速发展时期的生态系统服务价值整体呈小幅度上升趋势, 由 781.86 亿元增长到 810.37 亿元, 增长了 3.65 个百分点。期间, 2010 年的生态系统服务价值最高, 为 824.40 亿元。各项生态系统服务功能的价值从高到低依次为: 土壤保持、涵养水源、有机物生产、气候调节、气体调节和养分循环。其中, 土壤保持功能发挥了最大的价值量, 平均占 ESV 总量的 34.06%, 其次是涵养水源功能的服务价值占比 26.77%。有机物生产、气候调节、气体调节三项功能的服务价值占比均在 10%~15%, 养分循环功能的价值量的占比最小, 仅为 2% 左右。结合土地利用数据对各地类的 ESV 进行核算, 基于服务功能 ESV 的评估结果依然呈现出了均匀的占比和变化。

3.3 两种方法应用于环杭州湾地区的比较分析

当量因子评估法与功能价值评估法所得生态系统服务价值较为接近(图 3), 2000—2015 年的平均值分别为 796.80 亿元、806.93 亿元。但从较长的时间序列来看, 两种方法的评估结果呈现出相反的变化趋势。当量因子评估法判定环杭州湾的生态系统服务

价值在研究期内以 1.39% 的平均降低率下降, 相比研究基期, 2015 年的生态系统服务价值下降了 5.51 个百分点, 高达 42.95 亿元。功能价值评估法的结果显示该地区生态系统服务价值以 1.26% 的平均增长率上升, 研究末期的价值量得到了小幅度增高。

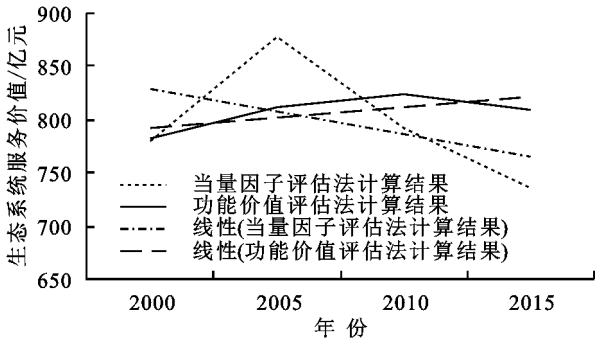


图 3 2000—2015 年环杭州湾地区生态系统服务价值

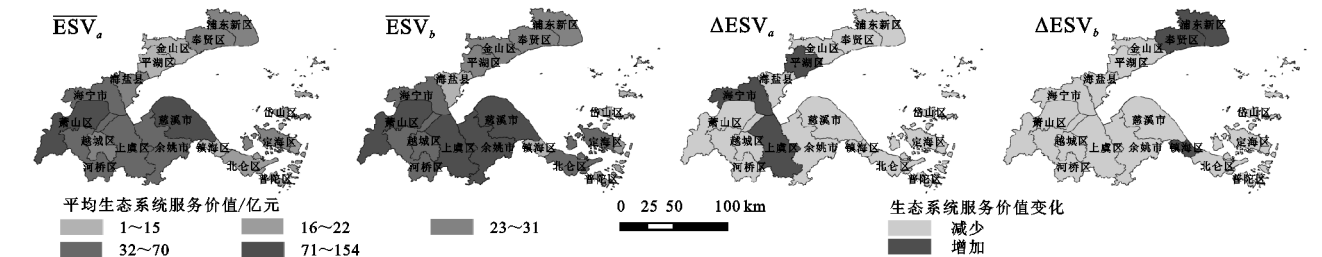
研究期内, 环杭州湾区域的建设用地面积增长了 1.15 倍, 土地城市化率从 15.03% 增长到 32.28%。在城市快速发展的阶段, 功能价值评估法的结果显示生态效益保值, 但当量因子评估法不能识别出这一细微的变化。该方法自上而下地开展评估, 首先对国家尺度的价值当量体系进行修正而后运用于地区, 即使研究范围较小也无法绕开宏观层面的估价。虽然通过修正参数可以完成空间尺度间的转换, 但我国幅员辽阔, 地域差异显著, 以整体推测局部造成的偏差较大。

宏观尺度的研究表明建设用地不能发挥生态系统服务功能, 即生态系统价值为 0^[30-31]。然而, 通过功能价值评估法对区域影像以像元为单位进行评估而后归纳、核算得到环杭州湾地区建设用地在 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年的生态系统服务价值分别为: 54.82 亿元, 74.26 亿元, 101.83 亿元, 108.50 亿元。该区域建设用地创造了可观的生态系统服务价值, 在总价值量中的占比约为 12.29%。受限于普适的生态系统服务价值当量体系, 当量修正法对建设用地的生态系统服务价值评估始终有所缺失, 进一步说明参数修正不能保证价值参数完全适用于研究区域。而功能价值评估法能够直接运用于各级空间尺度, 对研究区十分具有针对性, 计算结果更加细致。在对生态系统服务价值量评估结果的精确程度不求过高的前提下, 两种方法可以互相代替。通过比较环杭州湾区域 18 个行政区划单位的生态系统服务价值, 两种方法的评估显示出许多共性。研究期内慈溪市、上虞区、萧山区和余姚市排名靠前, 嵊泗县、镇海区处于末位。针对县、区范围, 功能价值评估法所得的生态系统服务价值普遍略高于当量因子评估法, 但是萧山区、慈溪市、海宁市、柯桥区和岱山县相反。这些区域的水体面积占比

较大,使用当量因子评估法具有明显优势,因为生态系统服务价值当量以水体最为突出,高出其他地类2~3个数量级。该方法对水体面积变化反映灵敏,尤其适用于湿地、湖泊等自然生态系统。但环杭州湾地区经济、文化、创新活跃,受人工干扰较大,当量因子评估法对城市生态系统的服务价值评估不够充分,基于单项服务的评估结果明显更为均衡。

虽然两种方法的结果在数值上较为接近,但是在变化趋势方面出现了明显差异。当量因子评估法对环杭州湾大多数地区的评价显示生态系统服务价值下降,仅有上虞区和平湖市、海宁市升高。其中上虞区增幅较大为23.66亿元,水域面积增加带来的生态系统服务价值为25.94亿元,用以抵消地类面积变化而造成的生态系统服务价值损耗2.28亿元。平湖

市、海宁市的生态系统服务价值增幅较小,分别为3.64,1.53亿元。功能价值评估法的评估结果显示为15个区域的生态系统服务价值升高,仅浦东新区(原南汇)、奉贤区和镇海区分别降低了6.18,3.42,2.16亿元。该方法不受土地利用数据限制,但也可以按照地类对计算结果进行分析统计,发现18的区、县的建设用地生态系统服务价值均有所提升,说明环杭州湾地区做到了城市发展与环境保护的兼顾。《浙江省环杭州湾地区城市群空间发展战略规划》设想在环杭州湾地区打破行政区划界线,实现“抱团式”发展,在共建共享中对接上海,联手应对土地、环境和生态等多方面的压力^[32]。如功能价值评估法的结果所示,环杭州湾区域的生态系统服务价值整体呈现上升趋势,体现出该地区在生态文明建设中的积极成效(图4)。



注:ESVa,ESVb的生态系统服务价值分别表示当量因子评估法和功能价值评估法的计算结果。

图4 2000—2015年环杭州湾生态系统服务价值空间分布与变化

4 讨论与结论

4.1 讨论

两种方法应用在环杭州湾地区显示出了生态系统服务价值在2000—2015年变化趋势的不同。在使用当量因子评估法计算生态系统服务价值时,国内外研究普遍默认建设用地无法提供生态系统服务。城市生态系统的扩张时,水域、林地、草地等被替代为价值当量为0的建设用地,对生态系统服务价值造成损失。因此该方法对于环杭州湾地区这样城市化进程较快的区域不利,特别是对杭州、宁波等生态经济发达的城市。功能价值评估法的计算结果显示环杭州湾地区的生态系统服务价值上升,其中由建设用地产出的价值从2000年的54.82亿元增到2015年的108.50亿元。如果去除掉这部分价值量,两种方法的计算结果在变化趋势上接近。充分说明当量因子评估法相比于功能价值评估法而言缺失了对城市生态系统的评估,后者更适用于城市化度较高的区域。当量因子评估法适用于受到人工干扰较小的自然生态系统。

本文研究区总面积为13 320.06 km²,使用基于遥感技术的功能价值评估法得到了细致、精确的结果。但该

方法不适用于宏观尺度的评测。因为测算步骤繁多,所需数据量极大,将给研究带来难度。此外,遥感技术对文化服务功能的反映十分迟钝,导致这方面服务功能的价值难以衡量出来。两种方法存在各自的局限性,将二者结合应用不失为好的解决方案,但目前此类研究十分少见,在后续的研究中笔者将进行尝试。

本文尚有不足之处:(1)本文研究区范围较小,在利用当量因子评估法时需要在全国尺度的当量因子进行修正,基于生态本底选取NPP为修正系数。实则修正方法并不只此一种。为确保计算结果的可靠性,本文采用两种生态系统服务价值计算方法分别计算以达到相互验证的目的。(2)在运用功能价值评估法时,本文利用遥感技术仅对有机物生产、气候调节、气体调节、涵养水源、土壤保持、养分循环六项服务功能进行了价值核算。但生态系统的服务功能不止于此。受限于遥感技术难以对生态系统的文化功能进行评估,导致这一部分的缺失,因此计算结果较实际值偏小。在今后的研究工作中,作者及团队将致力于攻克目前存在的问题,更加完善地还原生态系统服务价值的货币价值用以印证“绿水青山就是金山银山”的科学论断。

4.2 结论

(1) 功能价值评估法得到的生态系统服务价值的结构更加均匀。各项服务功能按照价值百分比从高到底排列为:土壤保持(34.05%)、涵养水源(26.76%)、有机物生产(14.63%)、气候调节(11.94%)、气体调节(10.53%)、养分循环(2.09%)。而当量因子评估法的结果显示,仅涵养水源功能的占比就高达75%,可归因于水体的生态系统服务价值当量过高。认为针对环杭州湾地区,功能价值评估法的结果更均衡合理。

(2) 当量因子评估法与功能价值评估法得出的生态系统服务价值总量相近,但存在变化趋势上的差异。通过对环杭州湾地区进行长时间序列的评估,当量系数评估法结果显示该地区生态系统在研究期内整体呈现减小趋势,意味着生态服务的供应能力降低,一定程度上反映出生态状况下降。功能价值评估法的计算结果显示环杭州湾区域的生态系统服务价值整体呈现增高趋势,说明该地区发展过程中在一定程度上实现了对生态环境的保护。

(3) 当量因子评估法对土地利用数据的依赖性较大,建设用地扩张阻碍生态用地发挥生态系统服务价值。实则建设用地所代表的城市生态系统也能发挥生态服务功能。特别是当下城市追求绿色发展、生态发展,当量因子评估法无法检测出城市生态系统的细微化。就城市化水平较高的区域而言,功能价值评估法的结果准确。

参考文献:

- [1] 邓永芳,刘国和.新时代中国特色社会主义生态文明建设的理论体系:关于十九大报告生态文明建设的十个理论层面[J].南京林业大学学报:人文社会科学版,2019,19(6):1-10.
- [2] 胡鞍钢.中国:创新绿色发展[M].北京:中国人民大学出版社,2012.
- [3] Shi X, Lingyue L, Zhixin Q. Toward a sustainable urban expansion: A case study of Zhuhai, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019,230:276-285.
- [4] Yong W, Qian D, Dafang Z. An eco-city evaluation method based on spatial analysis technology: A case study of Jiangsu Province, China[J]. Ecological Indicators, 2015,58:37-46.
- [5] Wenpeng L, Jiawei C, Di X, et al. Wetland landscape pattern changes over a period of rapid development (1985—2015) in the ZhouShan Islands of Zhejiang province, China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2018,213:148-159.
- [6] Wang X, Dong X, Liu H, et al. Linking land use change, ecosystem services and human well-being: A

- case study of the Manas River Basin of Xinjiang, China[J]. Ecosystem Services, 2017,27:113-123.
- [7] Lu X, Yingming Z, Junpeng W. Spatial spillover effects of urbanization on ecosystem services value in Chinese cities[J]. Ecological Indicators, 2021,121:doi. org/10, 1016/j. ecolind.2020.107028.
- [8] Constanza R. Valuing natural capital and ecosystem services toward the goals of efficiency, fairness, and sustainability[J]. Ecosystem Services, 2020, 43: doi. org/10, 1016/j. ecoser. 2020.101096.
- [9] 朱玉鑫,姚顺波.基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展研究:以陕西省为例[J].生态学报,2021,41(9):331-342.
- [10] 曹祺文,张曦文,马洪坤,等.景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架:ESRISK[J].地理学报,2018,73(5):843-855.
- [11] Zheneng H, Xin Y, Junjie Y, et al. Linking landscape pattern, ecosystem service value, and human well-being in Xishuangbanna, southwest China: Insights from a coupling coordination model[J]. Global Ecology and Conservation, 2021, 27: doi. org/10, 1016/j. gecco. 2021. e01583.
- [12] 金贵,邓祥征,张倩,等.武汉城市圈国土空间综合功能分区[J].地理研究,2017,36(3):541-552.
- [13] Uta S, Simon T, Erich T. Spatio-temporal changes in ecosystem service values: Effects of land-use changes from past to future(1860—2100)[J]. Journal of Environmental Management, 2020,272:doi. org/10,1016/j. jenvman.2020.111068.
- [14] Constanza R, Darge R, De Groot R. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(6630):253-260.
- [15] Srikanta S, Sandeep B, Shahid R. Estimating global ecosystem service values and its response to land surface dynamics during 1995—2015[J]. Journal of Environmental Management, 2018,223:115-131.
- [16] 刘慧明,高吉喜,刘晓.国家重点生态功能区2010—2015年生态系统服务价值变化评估[J].生态学报,2020,40(6):1865-1876.
- [17] 谢高地,鲁春霞,冷允法.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [18] Rui Xiao, Meng Lin, Xufeng Fei. Exploring the interactive coercing relationship between urbanization and ecosystem service value in the Shanghai-Hangzhou Bay Metropolitan Region[J]. Journal of Cleaner Production, 2020,253:doi. org/10,1016/j. jclepro.2019.119803.

(下转第243页)

- 26(6):219-225.
- [19] 范丽娟,田广星.1995—2015年上海市土地利用及其景观格局变化[J].水土保持通报,2018,38(1):287-292.
- [20] 刘纪远,邓祥征. LUCC 时空过程研究的方法进展[J]. 科学通报,2009,54(21):3251-3258.
- [21] 龙辉,廖和平,张茜茜,等.基于 GIS 的土地利用/覆被与景观格局变化研究:以重庆市两江新区为例[J].西南大学学报:自然科学版,2019,41(6):90-98.
- [22] 廖慧,舒章康,金君良,等.1980—2015 年黄河流域土地利用变化特征与驱动力[J].南水北调与水利科技:中英文,2021,19(1):129-139.
- [23] 赵方圆,杨宇翔,张华堂,等.土地利用及景观格局动态变化分析:以甘肃省党河流域为例[J].水土保持研究,2021,28(3):235-241.
- [24] 陈希,王克林,祁向坤,等.湘江流域景观格局变化及生态服务价值响应[J].经济地理,2016,36(5):175-181.
- [25] 李硕,沈占锋,柯映明,等.1974—2019 年大清河流域土地利用景观时空变化[J].水土保持研究,2021,28(1):195-203,210.
- [26] 刘晓君,李占斌,李鹏,等.基于土地利用/覆被变化的流域景观格局与水沙响应关系研究[J].生态学报,2016,36(18):5691-5700.
- [27] 马小雪,卞子浩,李娜,等.秦淮河流域 1980—2010 年土地利用变化及驱动机制[J].水土保持通报,2015,35(6):272-276.
- [28] 张荣鹏.徐州市土地利用变化及驱动力分析:基于主成分分析法[J].农村经济与科技,2020,31(4):6-8.
- [29] 王广博,徐翠兰,黄蕊,等.江苏沿海地区围垦动态与土地利用变化驱动力研究[J].河海大学学报:自然科学版,2020,48(2):163-170.
- [30] 张浚茂,臧传富.东南诸河流域 1990—2015 年土地利用时空变化特征及驱动机制[J].生态学报,2019,39(24):9339-9350.
- [31] 冉凤维,罗志军,章磊.2000—2015 年南昌市土地利用变化及驱动力分析[J].江西农业大学学报,2017,39(4):834-842.
- [32] 王玲,米文宝,王鑫,等.限制开发生态区土地利用变化驱动力分析:以宁夏西吉县为例[J].干旱区资源与环境,2019,33(1):51-57.
- [33] 朱丽辉,徐瑶,杜忠.2000—2015 年四川省南充市土地利用/覆被变化及其驱动因素[J].水土保持通报,2019,39(5):257-261,347.
- [34] 臧玉珠,刘彦随,杨园园.山区县域土地利用格局变化及其地形梯度效应:以井冈山市为例[J].自然资源学报,2019,34(7):1391-1404.
- [35] 叶晶萍,刘士余,盛菲,等.寻乌水流域景观格局演变及其生态环境效应研究[J].生态学报,2020,40(14):4737-4748.

~~~~~

(上接第 234 页)

- [19] 赵同谦,欧阳志云,郑华.中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J].自然资源学报,2004,19(4):480-491.
- [20] 徐冉,过仲阳,叶属峰.基于遥感技术的长江三角洲海岸带生态系统服务价值评估[J].长江流域资源与环境,2011,20(S1):87-93.
- [21] 宁潇,邵学新,胡咪咪.杭州湾国家湿地公园湿地生态系统服务价值评估[J].湿地科学,2016,14(5):677-686.
- [22] 薛明皋,邢路,王晓艳.中国土地生态系统服务当量因子空间修正及价值评估[J].中国土地科学,2018,32(9):81-88.
- [23] 何浩,潘耀忠,朱文泉.中国陆地生态系统服务价值测量[J].应用生态学报,2005,16(6):1122-1127.
- [24] 周小平,冯宇晴,罗维.两种生态系统服务价值评估方法比较研究:以四川省金堂县三星镇土地整治工程为例[J].生态学报,2020,40(5):1799-1809.
- [25] 郭璞璞.基于遥感的环杭州湾地区生态系统服务价值评价[D].上海:上海师范大学,2016.
- [26] 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.
- [27] 朱文泉,潘耀忠,张锦水.中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J].植物生态学报,2007,31(3):413-424.
- [28] 仲晓春,陈雯,刘涛.2001—2010 年中国植被 NPP 的时空变化及其与气候的关系[J].中国农业资源与区划,2016,37(9):16-22.
- [29] 许旭,郜昂,朱萍萍,等.基于多源遥感数据的生态系统服务价值评估:以河北省为例[J].国土资源遥感,2013,25(4):180-186.
- [30] Constanza R, De Groot, R, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global Environmental Change, 2014,26:152-158.
- [31] 浙江在线.解读环杭州湾地区城市群空间发展战略规划[EB/OL]. [https://zjnews.zjol.com.cn/05\\_zjnews/system/2003/12/11/002199161.shtml](https://zjnews.zjol.com.cn/05_zjnews/system/2003/12/11/002199161.shtml). 2003. 12. 11/2021.12.03.
- [32] 薛明皋,邢路,王晓艳.中国土地生态系统服务当量因子空间修正及价值评估[J].中国土地科学,2018,32(9):81-88.