

doi: 10.12029/gc20230526001

宗乐丽, 陈孜, 张明, 陈宗芳, 牛晓楠, 唐志敏, 周墨, 张洁, 王尚晓, 田福金, 张晓东, 黄丁伶. 2024. 长江中下游地区流域生态资产价值评估——以新安江流域为例[J]. 中国地质, 51(4): 1252–1265.

Zong Leli, Chen Zi, Zhang Ming, Chen Zongfang, Niu Xiaonan, Tang Zhimin, Zhou Mo, Zhang Jie, Wang Shangxiao, Tian Fujin, Zhang Xiaodong, Huang Dingling. 2024. Assessment method of watershed ecological asset value in the middle and lower reaches of the Yangtze River: A case study of the Xin'an River Basin[J]. Geology in China, 51(4): 1252–1265(in Chinese with English abstract).

# 长江中下游地区流域生态资产价值评估——以新安江流域为例

宗乐丽<sup>1</sup>, 陈孜<sup>1</sup>, 张明<sup>1</sup>, 陈宗芳<sup>1</sup>, 牛晓楠<sup>1</sup>, 唐志敏<sup>1</sup>, 周墨<sup>1</sup>, 张洁<sup>1</sup>, 王尚晓<sup>1</sup>,  
田福金<sup>1</sup>, 张晓东<sup>1</sup>, 黄丁伶<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016; 2. 中国人民解放军陆军工程大学, 江苏 南京 210007)

**摘要:**【研究目的】生态资产评估有助于理清区域生态资源本底, 为建立健全自然资源监管技术体系, 实施生态补偿政策提供科学依据, 对于推动生态产品价值实现具有重要意义。【研究方法】本文构建了生态资产价值评估的方法指标体系, 通过集成土地利用、遥感影像、气象、地球化学以及社会经济等多源数据, 开展生态资产存量、生态资产质量以及生态资产价值评估, 并结合地理探测器探求生态系统服务价值的空间分异影响因素。【研究结果】2020 年新安江流域生态资产质量等级以良、中为主, 分别占比 80.96%、10.25%; 生态资产存量综合指数为 0.77, 湿地、森林与园地占主要位置; 流域生态系统服务价值为 1334.48 亿元, 森林资源与水资源价值占比最高, 坡度、高程和年降水量为影响生态系统服务价值空间分异的主要驱动因子。【结论】新安江流域生态资产价值较高, 森林与水资源是流域生态系统服务的主要载体, 自然禀赋条件对其生态系统服务价值空间分异的影响程度大于社会经济因素。

**关键词:** 生态资产价值; 生态系统服务价值; 生态资产质量; 地理探测器; 环境地质调查工程; 新安江流域; 长江  
**创新点:** 集成遥感影像、“土地质量”、“国土三调”、社会经济等多源数据与成果构建流域尺度生态资产质量与价值评估体系, 提高评估结果的准确性, 可为自然资源核算体系建设提供方法支撑。

中图分类号: F124.5; X22 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2024)04-1252-14

## Assessment method of watershed ecological asset value in the middle and lower reaches of the Yangtze River: A case study of the Xin'an River Basin

ZONG Leli<sup>1</sup>, CHEN Zi<sup>1</sup>, ZHANG Ming<sup>1</sup>, CHEN Zongfang<sup>1</sup>, NIU Xiaonan<sup>1</sup>, TANG Zhimin<sup>1</sup>,  
ZHOU Mo<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>1</sup>, WANG Shangxiao<sup>1</sup>, TIAN Fujin<sup>1</sup>, ZHANG Xiaodong<sup>1</sup>,  
HUANG Dingling<sup>2</sup>

(1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China; 2. Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, Jiangsu, China)

收稿日期: 2023-05-26; 改回日期: 2023-10-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(42002058、41901310)、中国地质调查项目(DD20211384、DD20230103)联合资助。

作者简介: 宗乐丽, 女, 1996 年生, 硕士, 助理工程师, 主要从事生态遥感研究工作; E-mail: leli\_z@163.com。

通讯作者: 张明, 男, 1980 年生, 博士, 正高级工程师, 从事生态地球化学和自然资源调查监测研究工作; E-mail: zhangshao\_007@163.com。

**Abstract:** This paper is the result of environmental geological survey engineering.

**[Objective]** The objective of this research endeavor is to evaluate the ecological asset value, thereby facilitating an enhanced comprehension of the foundational aspects of regional ecological resources. By furnishing a scientific foundation for the establishment of comprehensive natural resource management systems and the effective implementation of ecological compensation policies, this study assumes a pivotal role in promoting the realization of the value of ecological products. **[Methods]** This study presented a comprehensive approach for assessing the value of ecological assets. The methodology encompasses the integration of diverse data sources such as land use, remote sensing imagery, meteorology, geochemistry, and socio-economic indicators. Through this integrated framework, evaluations were performed to determine the stock, quality, and value of ecological assets. Furthermore, geographical detector tool was employed to investigate the spatially varying factors that influence the values of ecosystem services. **[Results]** The ecological asset quality in the Xin'an River Basin is primarily in the good and moderate levels, accounting for 80.96% and 10.25%, respectively. The comprehensive index of ecological asset stock in the Xin'an River Basin in 2020 is 0.77. Wetland, forest land, and cultivated land occupy prominent positions. The value of ecosystem service is estimated at 133.448 billion yuan, with forests and water resources having the highest proportion. Slope, elevation, and annual precipitation are the main driving factors of spatial differentiation in the value of ecosystem services. **[Conclusions]** Xin'an River Basin has a high ecological asset value. Forests and water resources are the main carriers of ecosystem services in the basin. The impact of natural endowments on the spatial differentiation of ecosystem service values is greater than that of socio-economic factors.

**Key words:** ecological asset value; ecosystem service value; ecological asset quality; geological detector; environmental geological survey engineering; Xin'an River Basin; Yangtze River

**Highlights:** The integration of multi-source data including remote sensing images, land quality, land survey, and socio-economic factors was employed to establish a comprehensive assessment system for the ecological asset quality and value at the watershed scale. This approach aims to enhance the accuracy of the assessment results and provide method for construction of natural resource accounting system.

**About the first author:** ZONG Leli, female, born in 1996, master, assistant engineer, mainly engaged in ecological remote sensing research; E-mail: [leli\\_z@163.com](mailto:leli_z@163.com).

**About the corresponding author:** ZHANG Ming, male, born in 1980, doctor, professor level senior engineer, engaged in geochemical research; E-mail: [zhangshao\\_007@163.com](mailto:zhangshao_007@163.com).

**Fund support:** Supported by the projects of National Natural Science Foundation of China (No.42002058, No.41901310), China Geological Survey (No.DD20230103, No.DD20211384).

## 1 引言

自然资源是人类社会发展的重要基础,是在一定时间条件下,能够产生经济价值且为人类提供福利的自然环境因素的总称。自然资源资产是具有明确的所有权,能够为所有者带来效益的稀缺性的自然资源,包括土地、矿产、化石能源等(邱琼和施涵, 2018; 胡咏君和谷树忠, 2018)。自然资源资产包括生态资产和非生态资产。其中,生态资产是指能够可持续性的提供生态产品与服务的自然资源资产,包括森林、草原、湿地、农田等(张卫民, 2021)。生态资产价值评估是从社会经济的视角估算生态资源的重要性,基于生态资产价值评估,摸清区域生态资源本底,能够为区域生态资产的监管

使用、生态补偿制度建设提供数据支撑,对于自然资源核算体系建设、自然资源综合管理等具有重要意义。自党的十八大以来,中国对于生态文明建设日益重视,生态资产价值评估逐渐成为科学研究和社会关注的热点。

生态资产价值评估是在自然资本核算与生态系统服务功能价值(Ecosystem Service Value, ESV)评估的基础上发展而来(Lai et al., 2018; 侯鹏等, 2020)。目前,国内主流观点认为生态资产包括存量资产及流量资产,其中,存量资产指包括森林、草地、湿地等在内的生态资源,而流量资产是指依托于生态存量为服务人类而产生的生态产品与服务(谢高地, 2017)。受限于数据资料集成获取难度大、概念不明晰等原因,生态资产价值评估尚未形

成统一的标准和方法体系(白杨等, 2017; Costanza et al., 2017)。对于生态资产价值的综合评估, 主要可分为三大类: 一是以生态系统服务评估为核心, 在核算生态系统产出产品与服务等实物量的基础上, 将实物量与市场价值挂钩评估其生态系统服务价值(徐艳玲等, 2022); 二是评估生态资产存量的数量与质量, 并核算研究区生态系统生产总值(GEP)(董天等, 2019); 三是计算自然资源或生态存量的经济价值, 并将其与生态系统服务价值进行加总得到生态资产价值(孙晓和李锋, 2017; 张裕凤和刘小娟, 2021)。在区域应用方面, 当前对于生态资产价值的评估, 主要基于行政区域展开, 如李佳慧等(2022a)构建县域生态资产损益核算框架, 评估了嵊州市生态存量与流量特征; 徐艳玲等(2022)分析了溧阳市生态资产价值综合分区情况; 白杨等(2017)评估了云南省 2010 年生态资产状况及生态系统生产总值。仅有的流域尺度生态资产核算研究, 或采用当量因子法直接评估了黄河流域(孙梦华等, 2021)、漓江流域(何毅等, 2021)、黑河中游流域(马超等, 2021)的生态系统服务价值; 或将生态产品实物量与市场价值相结合, 核算流域 GEP。然而, 流域作为水资源管理和生态保护的基本单位之一, 其生态资产价值的科学评估对于摸清生态资产本底、建立资源有偿使用制度、实现流域可持续发展具有重要意义。现有的研究聚焦于流域资产的流量价值即生态系统服务价值的评估, 而对于流域内生态资产存量的评估关注度不够, 低估了生态资产的价值。本文综合考虑生态资产相关概念与内涵, 构建流域尺度生态资产价值评估体系, 综合评估生态资产数量与质量, 并从生态资产存量价值与服务价值两个方面对生态资产价值进行评估, 以丰富和完善生态资产核算框架。

新安江流域是长江中下游地区的重要生态安全屏障, 承担着水源涵养、生物多样性维护等重要的生态系统服务功能。作为全国首个跨省流域生态补偿机制试点, 新安江流域的生态保护和资源管理一直以来备受关注(田福金等, 2023)。当前, 新安江流域关于生态系统服务及生态资产等方面的研究集中于生态补偿机制测算(杨兰和胡淑恒, 2020; 戴家远等, 2021)、生态系统服务与价值量化及其权衡关系分析(李冬花等, 2021)等方面, 对于生态资产价值的综合评估则鲜有涉及。本文以新安江流域

作为研究区, 通过集成遥感反演与解译数据、实地调查数据等综合评估生态资产数量与质量特征, 核算流域生态资产存量的经济价值与生态系统服务价值, 摸清生态资产现状, 同时对生态系统服务价值空间分异的影响因子进行分析, 以期为新安江流域生态补偿制度建设完善、流域的生态保护和可持续发展提供科学依据。

## 2 研究区域与数据源

### 2.1 研究区概况

新安江流域地跨安徽、浙江两省, 介于 29°10'~30°19' N、117°38'~119°32' E 之间(图 1), 总面积约 11899 km<sup>2</sup>。新安江发源于黄山市休宁县六股尖, 是安徽省内仅次于长江、淮河的第三大水系, 也是浙江省最大的入境河流, 干流长度约 359 km, 其中, 安徽省境内 242.3 km, 大小支流 600 多条。新安江水量充沛且水质良好, 年均注入千岛湖水量占总入湖水量的 60% 以上, 常年稳定保持地表水 II 类标准。流域属亚热带季风气候, 降雨集中在 5—8 月份, 多年平均降雨量为 1670 mm, 多年平均气温 17.3℃(张乃夫等, 2014; 赵星辰等, 2022)。研究区植被覆盖度高, 土地利用类型以林地和水域为主, 是重要的水源涵养地。

### 2.2 数据源

本文所用的数据源包括基础地理信息数据、遥感反演与解译数据、气象数据以及社会经济与统计数据, 各类数据的来源及预处理过程详见表 1。研究将栅格数据进行投影转换, 并利用三次卷积内插法将空间分辨率重采样为 30 m。

## 3 研究方法

生态资产存量是提供生态系统服务的基础, 本文结合新安江流域生态资源禀赋特点, 构建生态资产价值评估指标体系, 从生态资产数量与质量、生态资产存量价值、生态系统服务价值等方面评估并分析新安江流域生态资产价值, 此外, 基于地理探测器对生态系统服务价值空间分异的影响因子进行分析。

### 3.1 生态资产存量评估

#### 3.1.1 生态资产质量评估

以“国土三调”数据为基础, 研究将生态资产分

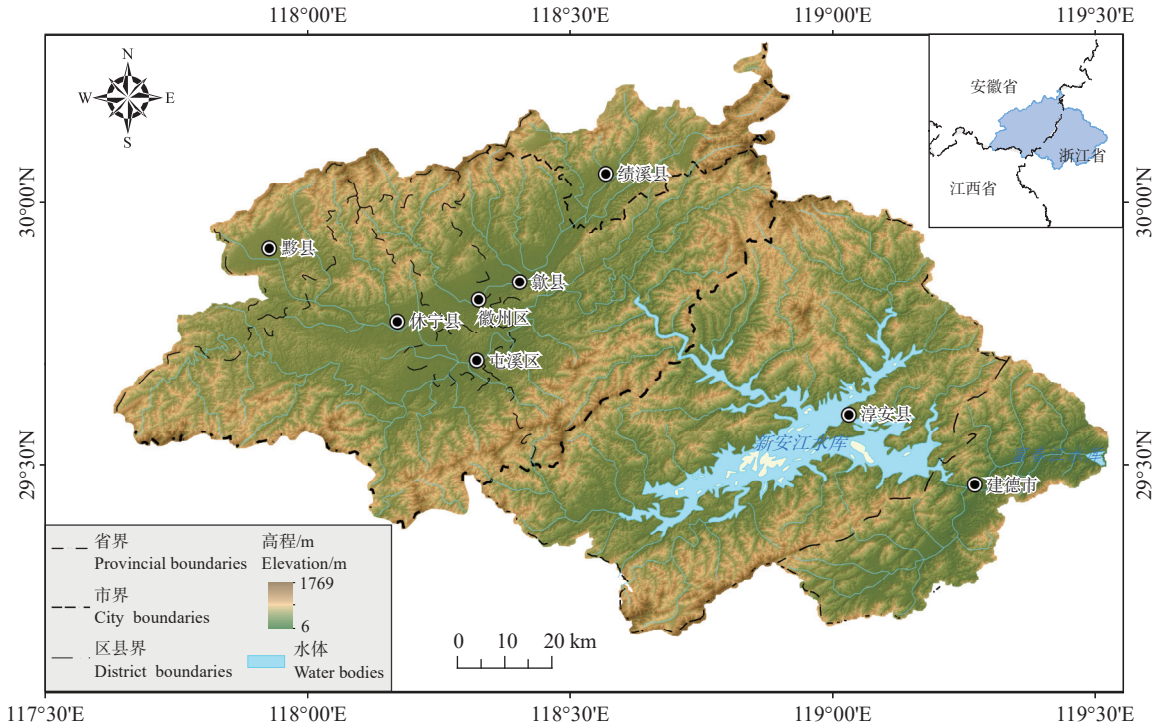


图 1 研究区概况

Fig.1 Overview of the study area

表 1 数据来源与预处理

Table 1 Data sources and preprocessing methods

数据类型		数据来源及预处理
基础地理信息数据	土地利用数据	土地利用数据来源于第三次国土调查数据
	DEM数据	DEM数据来源于地理空间数据云 ( <a href="https://www.gscloud.cn/">https://www.gscloud.cn/</a> ), 空间分辨率为30 m
遥感反演与解译数据	植被净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 数据	来源于MODIS产品数据集中的MOD17A3HGF, 该数据集是一个全球陆地植被净初级生产力 (NPP) 年际变化数据集, 由BIOMEBGC模型在500 m空间分辨率下计算, 利用三次卷积内插法将其重采样为30 m
	年蒸散发数据	2020年蒸散发数据来源于美国地质调查局 (USGS, United States Geological Survey, <a href="http://glovis.usgs.gov/">http://glovis.usgs.gov/</a> ) MODIS产品中的年合成数据MOD13, 该数据是根据BIOMEBGC模型计算得到, 空间分辨率为500 m
	年均NDVI数据	NDVI数据是基于Sentinel-2数据进行提取得到, 为了消除单一数据源对于计算结果的影响, 选取成像时间为2020-1-1到2020-12-31期间云量小于5%的 Sentinel-2影像, 计算得到NDVI, 并取均值
气象数据	降水数据	2020年逐月降水数据来源于时空三极环境大数据平台 ( <a href="http://poles.tpdc.ac.cn/zh-hans/">http://poles.tpdc.ac.cn/zh-hans/</a> ), 该数据集是根据CRU发布的全球0.5°气候数据集以及WorldClim发布的全球高分辨率气候数据集, 通过Delta空间降尺度方案在中国地区降尺度生成的, 空间分辨率约1 km, 并且使用496个独立气象观测点数据进行了验证, 验证结果可信
地球化学数据	土壤元素含量	土壤元素含量数据来源于生态地球化学实地调查, 将该数据按照3倍标准偏差, 剔除异常值后利用克里金插值法进行插值 (唐志敏等, 2023)
社会经济与统计数据	统计数据	统计数据包括粮食总产量、粮食作物播种面积和市场价值数据, 数据来源于《中国统计年鉴》、《安徽省统计年鉴》、《黄山市统计年鉴》、《杭州市统计年鉴》及《宣城市统计年鉴》
	社会经济数据	基准地价数据、水价数据来自于当地政府网站

为森林、园地、草地、湿地(包括河流、湖泊和沼泽)、农田等五大生态系统类型, 并从面积、分布与质量三方面评估新安江流域生态资产存量状况。

本研究分别计算各生态系统资产指数, 以及综合指数。其中, 园地、森林、灌丛生态系统资产质量评价采用相对净初级生产力进行表征, 农田生态资产存

量质量采用土地质量评价指数进行评价,水域采用水质等级进行划分,草地生态资产存量质量采用植被覆盖度来评价(董天等, 2019; Huang et al., 2020; 游旭等, 2020; 李佳慧等, 2022b)。不同生态系统资产质量评价指标及相应的分级标准如表 2 所示。

#### (1) 相对净初级生产力

植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)能够直接反映生态系统的生产力状况,是衡量生态系统质量的重要指标(李传华等, 2021)。参考相关研究(李佳慧等, 2022a),本文构建相对净初级生产力指数,以评估森林与园地生态资产质量。具体计算方法如下所示:

$$NPP_{ij} = \frac{B_{ij}}{MNPP_j} \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $NPP_{ij}$  表示第  $j$  类生态系统  $i$  像元的相对净初级生产力指数;  $B_{ij}$  表示森林或者园地生态资产  $i$  像元的 NPP 值;  $MNPP_j$  表示研究区第  $j$  类生态系统的 NPP 最大值。

#### (2) 土地质量等级划分

土壤养分的丰缺程度对于农田的产出至关重要,研究基于土壤养分的丰缺程度对土地质量进行划分,用以评价农田资产等级。选择 N、P、K 3 个养分元素指标,依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016),按照单元素等级划分标准(表 3)进行等级划分,并在此基础上,进行土壤养分综合等级划分,作为农田生态资产存量质量评价指数。

土壤养分综合评价指数的计算如公式(2)所示。

$$SI = \sum_{i=1}^n k_i S_i \quad (2)$$

式中, SI 为土壤养分综合等级指数,  $S$  值越大,表示养分元素越丰富;  $k_i$  为各元素权重系数, N、P、K 的权重系数分别为 0.4、0.4、0.2;  $S_i$  表示为单元素等级得分,单元素评价结果一级、二级、三级、四级、五级对应的  $S_i$  分别为 5 分、4 分、3 分、2 分、1 分。

#### 3.1.2 生态系统资产指数

通过综合各生态资产存量的面积与质量,研究构建生态系统资产指数,评价区域生态资产综合特征与质量(Huang et al., 2020)。具体计算方法如下所示:

$$AI_i = \frac{S_i}{S} \quad (3)$$

$$EAQI_i = \frac{\sum_j^n (S_{ij} \times w)}{S_i \times n} \quad (4)$$

$$EAI = \sum_{i=1}^m AI_i \times EAQI_i \quad (5)$$

式中, EAI 表示生态系统资产综合指数;  $AI_i$  表示第  $i$  类生态系统面积占比;  $S_i$  为第  $i$  类生态系统资产的面积;  $S$  为整个评估区域的生态资产面积;  $S_{ij}$  为第  $i$  类和第  $j$  级生态系统面积;  $w$  为不同等级生态系统资产的权重因子,按照质量评估结果从优到差

表 2 不同自然资源生态资产质量指标及分级标准

Table 2 Different ecological asset quality indicators and grading criteria

生态系统类型	质量评价指标	质量分级标准				
		优	良	中	低	差
园地	相对净初级生产力	≥80%	60%~80%	40%~60%	20%~40%	≤20%
湿地	水质	I类	II类	III类	IV类	V类
森林	相对净初级生产力	≥80%	60%~80%	40%~60%	20%~40%	≤20%
灌丛	相对净初级生产力	≥80%	60%~80%	40%~60%	20%~40%	≤20%
农田	土地质量等级划分	≥4.5	3.5~4.5	2.5~3.5	1.5~2.5	≤1.5
草地	植被覆盖度	≥80%	60%~80%	40%~60%	20%~40%	≤20%

表 3 土壤养分地球化学等级分级标准

Table 3 Classification criteria of soil nutrient geochemical levels

元素	一级	二级	三级	四级	五级
N	>2000	1500~2000	1000~1500	750~1000	≤750
P	>1000	800~1000	600~800	400~600	≤400
K	>2.5	2.0~2.5	1.5~2.0	1.0~1.5	≤1.0

注: K单位为%, N、P单位为 $10^{-6}$ 。

分别被赋值 5、4、3、2、1;  $n$  表示第  $i$  类生态系统分级数目;  $EAQI_i$  为第  $i$  类生态系统的生态资产指数;  $m$  为生态系统类别数目。

### 3.2 生态系统服务价值评估

当量因子法是评估生态系统服务价值最常用的方法之一(孙张涛等, 2023), 其指标全面, 参数标准统一, 因此研究采用当量因子法估算研究区生态服务价值。一个标准当量相当于 1  $hm^2$  全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值(谢高地等, 2003)。依照新安江流域的实际情况, 结合黄山市与杭州市的粮食作物产量、粮食作物总产值等数据, 计算新安江流域粮食作物的经济价值, 计算公式如下:

$$E_a = \frac{1}{7} \times \frac{T_i}{M_i} \quad (6)$$

$$ESV = \sum (A_i \times VC_i \times S_i \times P_i) \quad (7)$$

式中,  $E_a$  为单位面积耕地提供粮食生产服务的经济价值(元/ $hm^2$ );  $T_i$  为研究区每年的粮食经济产值(元);  $M_i$  为研究区每年粮食种植面积( $hm^2$ );  $ESV$  为研究区自然资源生态系统服务价值总量(元);  $A_i$  为第  $i$  种生态系统类型(土地利用类型)的面积( $hm^2$ );  $VC_i$  为第  $i$  类自然资源单位面积生态系统服务价值(元/ $hm^2$ );  $P_i$  为当量因子修正系数。

以谢高地等(2015)提出的最新全国当量因子表为基础, 结合重分类的“国土三调”数据, 本文构建了适合于新安江流域区域特征的当量因子表(谢高地等, 2015; 刘倩等, 2019), 如表 4 所示。其中, 园

地的当量因子取草地与林地的平均值(薛明皋等, 2018; 刘园和周勇, 2019), 并结合流域植被类型, 对森林的当量因子进行了调整。新安江流域乔木林主要以松树等针叶林为主, 因此乔木林采用针叶林对应的当量因子, 竹林采用阔叶林对应的当量因子, 其他林地采用针阔混交林当量因子系数, 使当量因子系数更符合地域特点。同时, 利用生物量因子调整系数、降水调节因子和土壤保持调节因子对研究区生态系统服务价值当量因子进行本土化修正。

### 3.3 生态系统服务价值空间分异驱动因素探测

地理探测器是一种可用于探测空间分异性及其驱动因素的统计学方法, 相对于传统统计学方法, 可用于定性因子的探测, 同时可探测两因子作用域因变量的交互作用。在地理探测器中, 自变量对因变量空间分异性的解释力可用  $q$  值进行衡量,  $q$  值越大表示自变量对因变量的空间异质性解释力越强(王劲峰和徐成东, 2017)。本文基于地理探测器, 结合自然与社会经济活动因子, 对生态系统服务价值空间分异的影响与驱动因素进行探测分析。

人类活动对于生态系统的干扰能够反映在地表土地覆被类型中, 为了对人类活动对于生态系统服务价值的空间分布影响进行分析, 本文基于土地利用数据, 计算人类活动强度(HAI)指标, 用以量化新安江流域人类活动的强弱程度, HAI 值越大, 表示该区域人类活动强度越大(徐艳玲等, 2022)。该指标的计算是将不同类型用地赋予人类活动参数值, 其中农田为 0.67、森林为 0.13、草地为 0.12、水

表 4 新安江流域生态系统服务价值当量因子表

Table 4 Equivalent factors of ecosystem service value in Xin'an River Basin

生态系统分类		供给服务			调节服务			支持服务			文化服务	
一级分类	二级分类	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观
农田	旱地	0.85	0.4	0.02	0.67	0.36	0.1	0.27	1.03	0.12	0.13	0.06
	水田	1.36	0.09	-2.63	1.11	0.57	0.17	2.72	0.01	0.19	0.21	0.09
园地	园地	0.22	0.49	0.26	1.63	4.83	1.43	3.13	1.98	0.15	1.8	0.79
森林	乔木林	0.22	0.52	0.27	1.7	5.07	1.49	3.34	2.06	0.16	1.88	0.82
	其他林地	0.31	0.71	0.37	2.35	7.03	1.99	3.51	2.86	0.22	2.6	1.14
	竹林	0.29	0.66	0.34	2.17	6.5	1.93	4.47	2.65	0.2	2.41	1.06
灌丛	灌木林	0.19	0.43	0.22	1.41	4.23	1.28	3.35	1.72	0.13	1.57	0.69
草地	其他草地	0.1	0.14	0.08	0.51	1.34	0.44	0.98	0.62	0.05	0.56	0.25
湿地	水域	0.8	0.23	8.29	0.77	2.29	5.55	102.24	0.93	0.07	2.55	1.89
	沼泽湿地	0.22	0.5	2.59	1.9	3.6	3.6	24.23	2.31	0.18	7.87	4.73
建设用地	建设用地	0.01	0.03	0.02	0.11	0.1	0.31	0.21	0.13	0.01	0.12	0.05

体为 0.10、建设用地为 0.96、未利用地为 0.05(陈浮等, 2001; 严恩萍等, 2014), 进而统计 1 km 格网内不同类型用地面积占比, 依据占比对人类活动参数值进行加权求和, 得到栅格尺度的 HAI 值。

基于新安江流域区域特征情况, 本文选择了高程、坡度、年降水量、HAI、GDP 以及人口密度共 6 项自然地理与社会活动指标作为驱动因子自变量, 并基于自然断点法对自变量因子进行离散化(徐艳玲等, 2022)。选择生态系统服务价值、供给服务价值、调节服务价值、支持服务价值以及文化服务价值作为因变量, 将因变量与离散化后的自变量输入地理探测器中进行驱动因子及其交互作用贡献的特征分析, 以探测新安江流域生态系统服务价值空间分异的驱动力。

## 4 结果与讨论

### 4.1 新安江流域生态资产存量

#### 4.1.1 生态资产存量评估

基于生态资产指数, 研究对新安江流域 2020 年生态资产存量进行评估, 评估结果如表 5 所示。总体上, 2020 年新安江流域生态资产综合指数为 0.77。其中, 湿地生态资产指数为 0.80, 森林与园地的生态资产指数为 0.79, 灌丛生态资产指数为 0.78, 农田生态资产指数为 0.61, 草地生态资产指数较低, 为 0.58。由此可见, 湿地、森林与园地在新安江流域生态资产中占据主要地位。

根据质量等级的面积分布来看, 森林、灌丛和园地的质量等级主要集中于良, 面积分别为 7040 km<sup>2</sup>、233.92 km<sup>2</sup> 和 787.44 km<sup>2</sup>, 各自占生态系统总面积的 85.25%、80.77% 和 78.20%。草地的质量等级主要为良和中, 面积分别为 8.30 km<sup>2</sup> 和 8.50 km<sup>2</sup>, 分别占草地总面积的 30.18% 和 30.92%。农田的质量等级主要是中, 面积为 450.94 km<sup>2</sup>, 占农田总面积

的 57.78%。

新安江流域生态资产质量以良、中为主要等级, 分别占比 80.96%、10.25%, 良、中等级生态系统面积之和占比为 91.21%(图 2), 说明新安江流域总体上生态状况良好。从空间分布上来看, 总体上呈现以城镇为中心, 逐渐向四周升高的分布格局, 城镇建设用地周边生态资产质量较差, 流域上游及研究区西南与东北部的丘陵山脉区生态资产质量较优。

#### 4.1.2 生态资产存量价值

##### (1) 土地资源资产价值

园地、林地、耕地与草地资产价值采用黄山市与杭州市农用地使用权基准地价计算(张裕凤和刘小娟, 2021), 新安江流域土地资源生态资产存量价值为 2979.12 亿元, 林地、园地、耕地、草地的价值分别为 2302.36 亿元、250.39 亿元、284.6 亿元、7.92 亿元。

##### (2) 地表水资源资产价值

新安江流域多年平均天然径流量(地表水资源量) 126.7 亿 m<sup>3</sup>, 根据 2020 年黄山市与杭州市水价(李晓晖等, 2022), 计算可得新安江流域地表水资源存量价值为 426.35 亿元。

### 4.2 新安江流域生态系统服务价值

#### 4.2.1 生态系统服务价值特征

2020 年新安江流域生态服务功能价值评价结果见表 6。新安江流域生态系统服务总价值为 1334.48 亿元, 单位面积平均价值为 1112.6 万元/km<sup>2</sup>。分析各单项生态系统服务价值发现, 新安江流域调节服务功能价值最高, 占总价值的比例约为 78.86%, 其次为支持服务功能, 占比为 11.79%, 供给服务功能占比为 6.3% 左右, 文化服务功能最小, 占比为 3%。从各用地类型的生态系统服务价值来看, 森林所提供的生态系统服务价值最高为

表 5 新安江流域 2020 年生态资产存量评估

Table 5 Assessment of ecological asset stock in the Xin'an River Basin in 2020

生态资产	质量等级										存量指数
	优		良		中		低		差		
	存量	比例/%	存量	比例/%	存量	比例/%	存量	比例/%	存量	比例/%	
森林	486.93	5.9	7040	85.25	596.3	7.22	4.5	0.05	130.6	1.58	0.79
灌丛	23.86	8.24	233.92	80.77	23.96	8.27	0.33	0.11	7.52	2.60	0.78
农田	7.18	0.92	180.29	23.10	450.94	57.78	138.95	17.80	3.05	0.39	0.61
草地	1.02	3.70	8.30	30.18	8.50	30.92	5.62	20.44	4.06	14.77	0.58
园地	127.01	12.61	787.44	78.20	57.02	5.66	0.39	0.04	35.12	3.49	0.79
湿地	0.00	0.00	731.78	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80

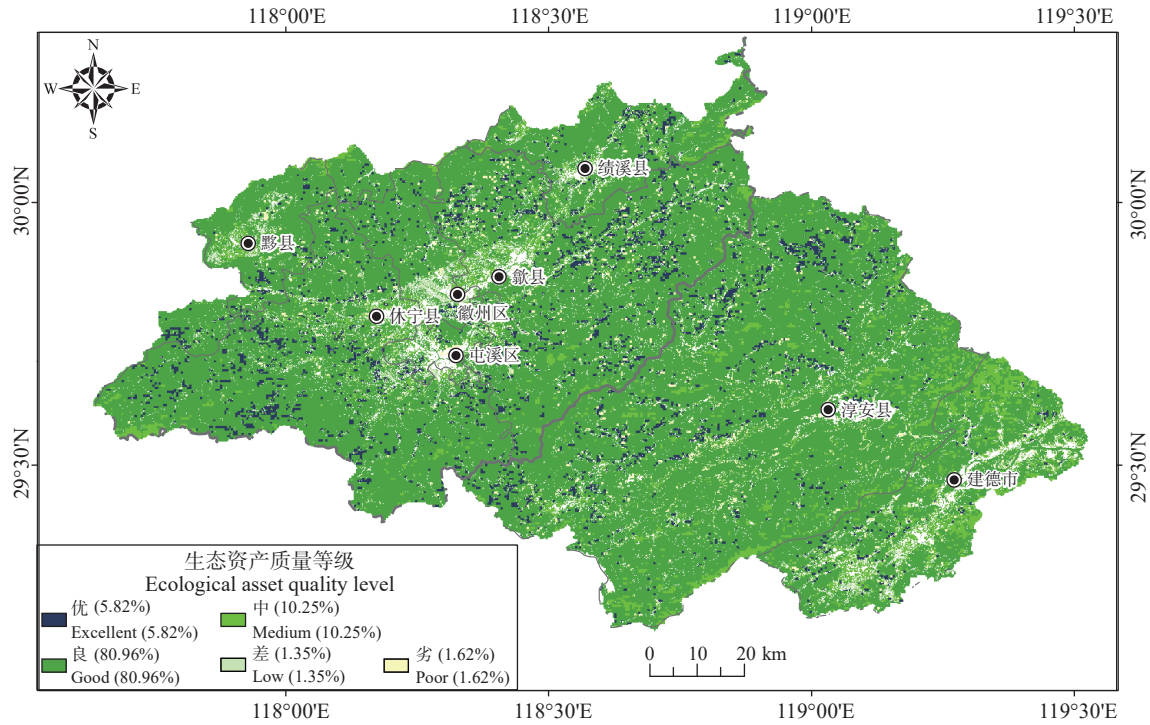


图 2 新安江流域生态资产质量分级分布图  
Fig.2 Spatial distribution of ecological asset quality classes in the Xin'an River Basin

表 6 2020 年新安江流域生态服务功能价值评价结果 (亿元)

Table 6 Evaluation results of ecological service values in the Xin'an River Basin in 2020 (100 million yuan)

服务类型		总值/(所占比例/%)	森林	园地	湿地	灌木林	农田	草地	建设用地
供给服务	食物生产	15.06/1.13	8.49	0.88	2.08	0.21	3.35	0.04	0.00
	原料生产	23.50/1.76	19.94	1.95	0.62	0.46	0.48	0.06	0.00
	水资源供给	45.44/3.41	16.94	1.61	35.18	0.39	8.72	0.06	0.00
调节服务	气体调节	78.33/5.87	65.36	6.42	2.08	1.51	2.71	0.22	0.04
	气候调节	226.97/17.01	195.00	18.36	5.80	4.46	0.80	0.53	0.00
	净化环境	79.29/5.94	56.95	5.61	14.55	1.37	0.42	0.19	0.20
	水文调节	667.71/50.04	198.82	19.46	433.32	5.92	9.39	0.68	0.10
支持服务	土壤保持	63.05/4.72	54.06	5.29	1.71	1.25	0.54	0.18	0.03
	维持养分循环	5.14/0.39	4.19	0.39	0.13	0.10	0.33	0.01	0.00
	生物多样性	89.11/6.68	72.58	7.10	6.96	1.68	0.51	0.24	0.04
文化服务	美学景观	40.88/3.06	31.59	3.09	5.11	0.74	0.23	0.11	0.02
总计		1334.48/100	723.92	70.17	507.54	18.06	10.05	2.31	0.43

723.92 亿元, 占流域总价值的 54.2%, 其次为湿地, 为 507.54 亿元, 占总价值的 38%。

从空间分布上来看, 新安江流域平均单位面积生态系统服务价值呈现出显著的空间差异(图 3)。生态系统服务价值高值区集中分布于研究区东南部的湖泊、河流等水域。低值区主要分布于研究区西北部与西南部的休宁县、歙县、徽州区、建德市等县区周边, 这些地区人类活动强烈, 土地利用类

型以建设用地与农田为主, 故生态系统服务价值较低。

#### 4.2.2 生态系统服务价值空间分异影响因子分析

运用地理探测器中对生态系统服务价值空间分异影响因子进行分析(表 7), 结果发现, 自然环境因子与社会经济因子对生态资产流量价值空间分异的影响具有显著差异。不同因子解释力度从大到小排序为坡度(0.226)、降水(0.183)、高程



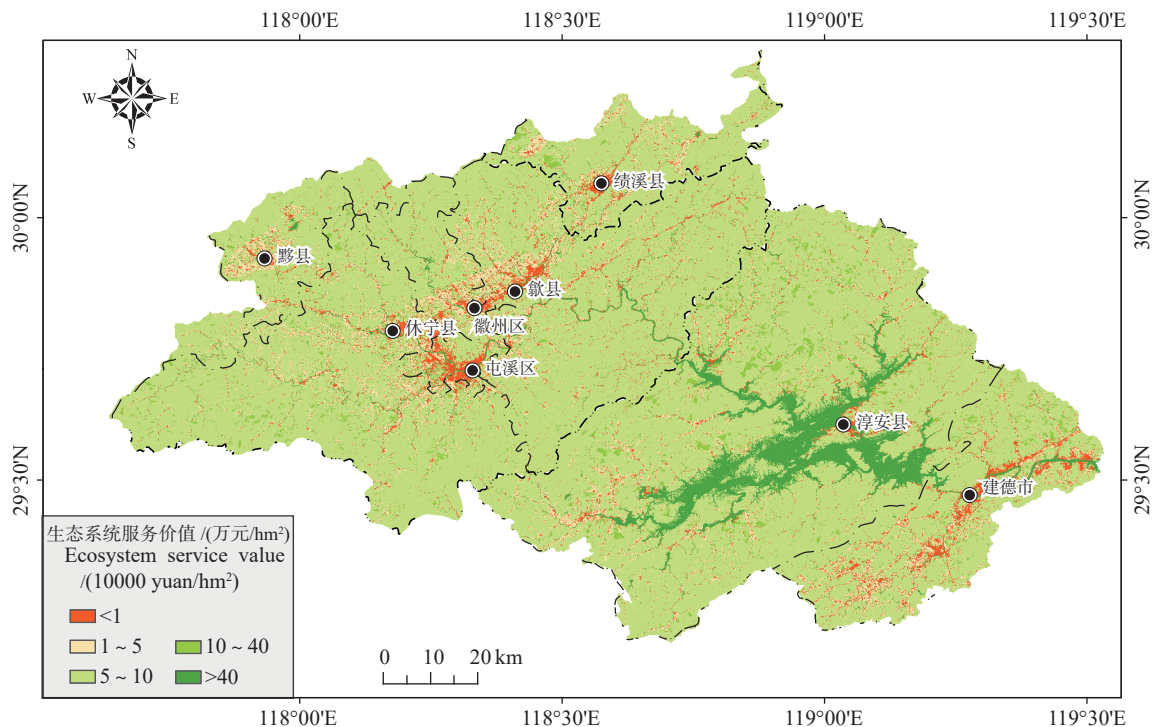


图3 新安江流域生态系统服务价值空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of ecosystem service values in the Xin'an River Basin

(0.153)、人类活动指数(0.039)、人口密度(0.003)、GDP(0.0004)。坡度与降水对生态资产流量价值空间分异的贡献最为显著,其次为高程,而人类活动强度、人口密度对其贡献相对较小。自然地理因素为新安江流域生态资产流量价值空间分异特征主要驱动因素,而社会经济因素影响程度不高。

从不同类型生态系统服务价值空间分异影响因素探测结果(图4)可以看出,不同类型流量价值空间分异特征的主要驱动因素具有较大差异,其中,供给与调节服务主要受降水、高程、坡度等自然资源禀赋条件的影响,支持服务受人类活动、坡度、高程等自然地理要素与人类活动共同作用,文化服务价值的分布受到人类活动影响最大。

从交互探测结果(图5)中可以看出,与单因子对新安江流域生态流量价值空间分异的影响相比,因子交互作用的影响更大,即流域生态系统服务价

值的空间分布状况受到不同因子之间的协同增强影响更为显著。社会经济因子与自然地理要素的外部交互作用明显强于自然地理因子内部及社会经济因子内部的交互作用。具体来看,人类活动强度与坡度、高程以及降水量交互作用的结果的 $q$ 值分别达到了0.689, 0.595、0.375。研究表明新安江流域生态资产流量价值主要受到自然资源禀赋条件影响,然而,在受到人类活动的干扰时,其空间分布则可能会产生较大差异。

### 4.3 讨论

当前的生态资产价值评估体系尚处于探索和完善阶段,缺乏统一和标准的方法体系,且数据基础薄弱,难以集成化利用,导致评估结果存在主观与客观上的差异,限制了生态资产价值的合理性和准确性。本文构建了比较全面的生态资产价值评估体系,集成多源数据,从生态资产存量分布、质

表7 新安江流域生态系统服务价值空间分异驱动因子探测结果

Table 7 Detection results of spatial variation and driving factors of ecosystem service values in the Xin'an River Basin

因子指标	降水	高程	坡度	GDP	人口密度	HAI
$q$ 统计量	0.183	0.153	0.226	0.0004	0.003	0.039
$P$ 值	0.000	0.000	0.000	0.78998	0.000	0.000

注:  $P$ 值表示 $q$ 值所对应的显著性;  $P$ 值<0.05, 说明通过显著性检验。

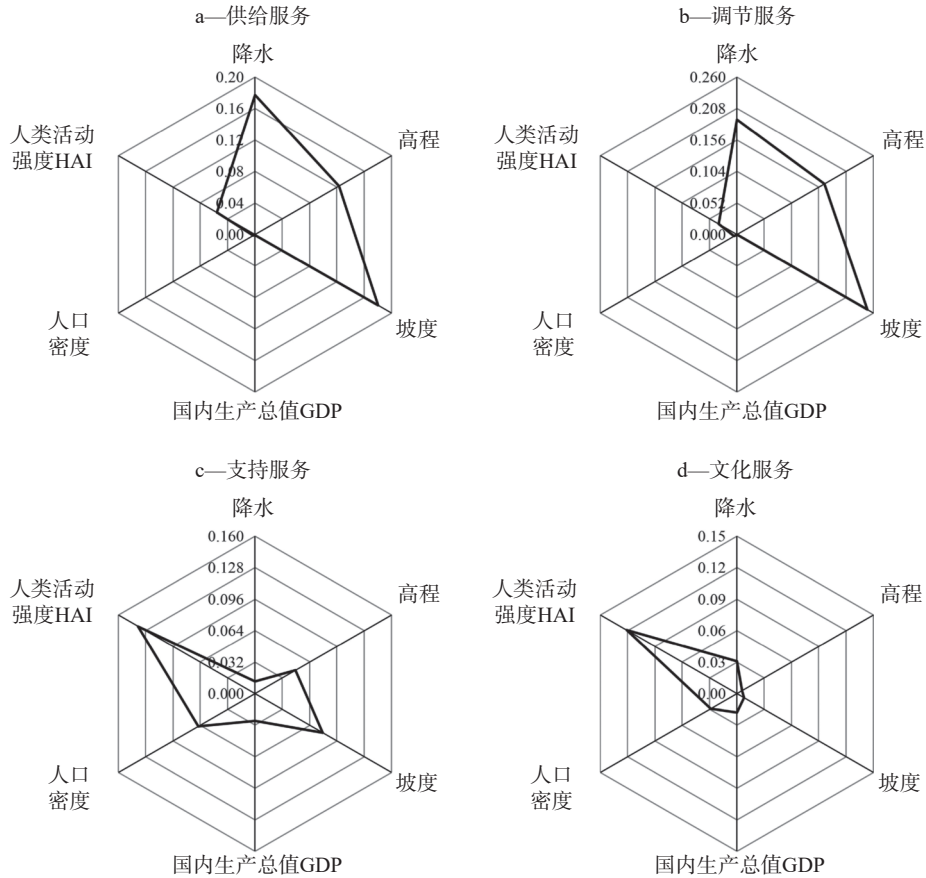


图 4 新安江流域不同类型生态系统服务价值空间分异影响因子探测结果

Fig.4 Detection results of Spatial variation and influencing factors of ecosystem service values in different types in the Xin'an River Basin

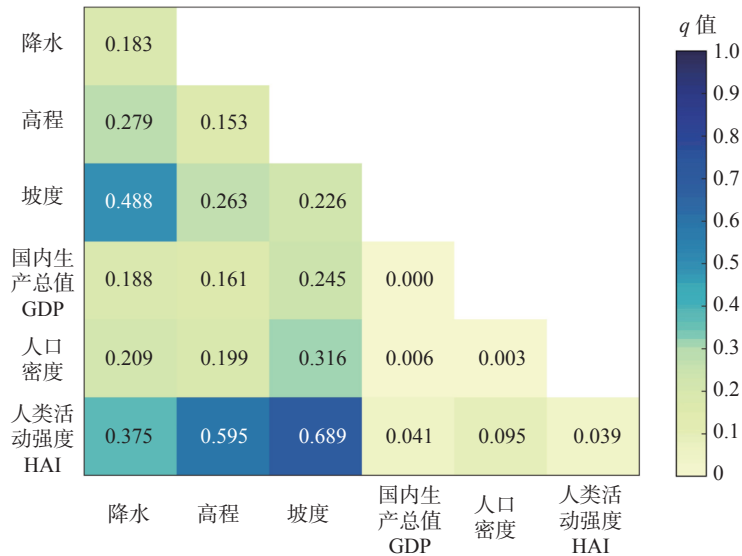


图 5 新安江流域生态系统服务价值空间分异影响因子交互作用热力图

Fig.5 Heatmap of interaction effects of influencing factors on spatial variation of ecosystem service values in the Xin'an River Basin

量、价值等方面进行生态资产价值的评估与分析,同时,运用地理探测器对生态流量价值的空间分异

驱动力进行了探讨。自被确定为生态补偿机制试点以来,新安江水质治理取得了阶段性成效,生态

环境逐步改善(聂伟平和陈东风, 2017), 然而, 为了有效评估和监督政府的生态补偿工作, 生态补偿政策必须与绩效评估相配套。通过对生态资产价值进行评估, 可以展现特定时空区域生态保护的成效。因此, 本研究对于推动流域生态产品实现和生态补偿政策科学合理制定与实施具有重要意义。另外, 集成化利用“土地质量”、“国土三调”等既有成果, 保证了数据的可信度, 提高了评估结果的准确性, 本文构建的生态资产价值评估体系具有可行性与可操作性, 可为其他地区开展生态资产评估工作提供方法和技术参考。

区域生态资产是形成生态效益和生态系统服务的基础, 研究发现, 流域生态资产存量价值占总价值的 70% 左右, 这与孙晓和李峰(2017)的研究相一致, 流域生态系统服务价值较高, 这主要是由于新安江流域水热条件好、植被覆盖度高, 生态资源丰富。此外, 上游地区的生态资产质量等级要高于下游, 这可能是因为生态补偿政策的实施使得上游地区加大了生态保护力度, 这也证明了生态补偿政策对于流域保护和发展的意义。新安江流域生态服务价值空间分异主要由区域自然资源禀赋特征主导, 然而, 人类活动与自然地理条件结合会加速区域环境及生态系统结构与功能的改变, 进而改变生态服务价值。在未来的国土空间规划中, 应科学划定生态保护红线, 尤其要注重林地、水域等高质量生态系统的保护与科学利用, 建立有效的监测和评估体系, 定期评估生态资源现状和生态系统服务价值; 对已实施生态补偿政策的执行情况与效果需进行全面科学系统性分析, 不断深化生态补偿机制内涵和外延; 另外, 深化跨区域协作, 促进经济转型发展, 探索生态产品价值实现路径, 鼓励多元化的经济产业, 实现经济发展与生态保护互促共进。

然而, 本研究仍存在以下不足: 首先, 在评估过程中, 由于部分核算参数无法获得, 只能采用区域平均值进行替代; 其次, 在生态资产存量价值的评估中, 虽然考虑了区域的物价指标情况, 但未结合生态资产质量进行评估; 此外, 对于生态资产流量指标, 本研究直接核算其价值量, 未对其物质量进行评估。在未来的研究中, 需提高资产价值评估准确性, 采用实测数据、细粒度的空间数据, 同时考虑

将生态资产质量与价值进行挂钩, 以推动生态监管绩效考核制度建设。

## 5 结 论

本文以新安江流域为研究对象, 基于遥感影像、气象、地球化学以及社会经济等数据, 对新安江流域生态资产存量特征与生态流量价值进行了评估, 同时, 分析了流域生态资产流量价值空间分异的驱动因子, 得到以下结论:

(1) 2020 年新安江流域生态资产综合指数为 0.77, 湿地、森林与园地占据主要位置; 生态资产质量等级以良、中为主, 良、中等级别的生态系统面积之和占比为 91.21%, 且上游地区的生态资产质量等级高于下游。

(2) 新安江流域生态资产存量价值高于生态系统服务价值, 森林资源与水资源是生态系统服务主要的载体, 流域生态系统服务价值在不同区域之间呈现显著的空间差异, 高值区集中于东南部水域, 低值区主要分布于建成区周边。

(3) 自然禀赋条件对新安江流域生态系统服务价值空间分异的影响程度大于社会经济因素, 坡度、高程和年降水量为主要驱动因子; 分类型来看, 供给与调节服务价值主要受自然资源禀赋条件的影响, 而文化服务价值的分布则主要受人类活动影响。

## References

- Bai Yang, Li Hui, Wang Xiaoyuan, Juha M Alatalo, Jiang Bo, Wang Min, Liu Wenjun. 2017. Evaluating natural resource assets and gross ecosystem products using ecological accounting system: A case study in Yunnan Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 32(7): 1100–1112 (in Chinese with English abstract).
- Chen Fu, Ge Xiaoping, Chen Gang, Peng Buzhou. 2001. Spatial different analysis of landscape change and human impact in urban fringe[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 21(3): 210–216 (in Chinese with English abstract).
- Costanza R, Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, Farber S, Grasso M. 2017. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?[J]. *Ecosystem Services*, 28: 1–16.
- Dai Jiayuan, Hu Shuheng, Zhang Beier, Yang Qing. 2021. Study on ecological compensation standard based on opportunity cost and ecosystem service value accounting: A case study of Xin'an river

- basin[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 60(21): 152–157 (in Chinese with English abstract).
- Dong Tian, Zhang Lu, Xiao Yi, Zheng Hua, Huang Binbin, Ouyang Zhiyun. 2019. Assessment of ecological assets and gross ecosystem product value in Ordos City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 39(9): 3062–3074 (in Chinese with English abstract).
- He Yi, Tang Xiangling, Dai Junfeng. 2021. Land-use structure optimization for the Lijiang River basin ecosystem service value maximization[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 41(13): 5214–5222 (in Chinese with English abstract).
- Hou Peng, Fu Zhuo, Zhu Hanshou, Zhai Jun, Chen Yan, Gao Haifeng, Jin Diandian, Yang Min. 2020. Progress and perspectives of ecosystem assets management[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 40(24): 8851–8860 (in Chinese with English abstract).
- Hu Yongjun, Gu Shuzhong. 2018. Research trends and analysis of natural resource assets[J]. *Resources Science*, 40(6): 1095–1105 (in Chinese with English abstract).
- Huang B B, Li R N, Ding Z W, Patrick O, Kong L Q, Xiao Y, Xu W H, Guo Y N, Yang Y Y, Li R D, Ouyang Z Y, Wang X K. 2020. A new remote-sensing-based indicator for integrating quantity and quality attributes to assess the dynamics of ecosystem assets[J]. *Global Ecology and Conservation*, 22: e00999.
- Lai T Y, Salminen J, Jäppinen J P, Koljonen S, Mononen L, Nieminen E, Vihervaara P, Oinonen S. 2018. Bridging the gap between ecosystem service indicators and ecosystem accounting in Finland[J]. *Ecological Modelling*, 377: 51–65.
- Li Chuanhua, Zhu Tongbin, Zhou Min, Yin Huanhuan, Wang Yutao, Sun Hao, Cao Hongjuan, Han Haiyan. 2021. Temporal and spatial change of net primary productivity of vegetation and its determinants in Hexi Corridor[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 41(5): 1931–1943 (in Chinese with English abstract).
- Li Donghua, Zhang Xiaoyao, Wang Yong, Zhang Xiao, Li Lei, Lu Lin. 2021. Evolution process of ecosystem services and the trade-off synergy in Xin'an River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 41(17): 6981–6993 (in Chinese with English abstract).
- Li Jiahui, Huang Lin, Cao Wei, Wu Dan. 2022a. Accounting of gains and losses of ecological assets in counties of key ecological function regions in Yangtze River Delta[J]. *Journal of Natural Resources*, 37(8): 1946–1960 (in Chinese with English abstract).
- Li Jiahui, Huang Lin, Cao Wei. 2022b. The influencing mechanism of ecological asset gains and losses at the county level in China and its optimization and promotion paths[J]. *Acta Geographica Sinica*, 77(5): 1260–1274 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiaohui, Xiao Jinghao, Wang Jianjun, Wu Jie, Long Nao. 2022. Research on the evaluation and application of natural resources assets for ecological restoration: A case study of Guangzhou City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 37(18): 6216–6228 (in Chinese with English abstract).
- Liu Qian, Li Ge, Zhang Chao, Zhao Li, Zhu Yongming. 2019. Study on dynamic changes in ecosystem service values in Qinglong County based on coefficient correction[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 27(6): 971–980 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yuan, Zhou Yong. 2019. Spatiotemporal dynamics and grey forecast of ecosystem services value in the Yangtze River economic belt[J]. *Ecological Economy*, 35(4): 196–201 (in Chinese with English abstract).
- Ma Chao, Wang Hongwei, Ma Xiaofang, Chenying, Zhouxin. 2021. Evaluation of ecosystem service value in middle reaches of Hei River in Gaotai County, Zhangye City[J]. *Wetland Science*, 19(6): 762–766 (in Chinese with English abstract).
- Nie Weiping, Chen Dongfeng. 2017. The progress and mechanism improvement of the second round eco-compensation implementation in Xinan River Basin[J]. *Environmental Protection*, 45(7): 19–23 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Qiong, Shi Han. 2018. Differentiation of the core concepts of natural resource and ecosystem accounting[J]. *Resources Science*, 40(10): 1901–1914 (in Chinese with English abstract).
- Sun Menghua, Niu Wenhao, Zhang Bangbang, Geng Qingling, Yu Qiang. 2021. Spatial-temporal evolution and responses of ecosystem service value under land use change in the Yellow River Basin: A case study of Shaanxi-Gansu-Ningxia region, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 32(11): 3913–3922 (in Chinese with English abstract).
- Sun Xiao, Li Feng. 2017. Assessment method and application of urban ecological assets: A case study in Zengcheng, Guangzhou City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 37(18): 6216–6228 (in Chinese with English abstract).
- Sun Zhangtao, Yu Zhengwei, Shu Siqi, Xu Chuangsheng, Shu Yang. 2023. Evaluation of ecosystem services of Chinese provincial land and suggestions for ecological geological survey[J]. *Geology in China*, 50(2): 479–494 (in Chinese with English abstract).
- Tang Zhimin, Zhang Xiaodong, Zhang Ming, Zhou Mo, Tian Fujin, Wang Shangxiao, Ma Qingshan, Wang Chong, Zhang Jie, Niu Xiaonan, Zong Leli, Huang Dingling. 2023. Geochemical characteristics of soil elements in Xin'an River Basin: Constraints from rock formation types[J]. *East China Geology*, 44(2): 172–185 (in Chinese with English abstract).
- Tian Fujin, Ma Qingshan, Zhang Ming, Tang Zhimin. 2023. Evaluation of water quality in Xin'anjiang River Basin based on principal component analysis and entropy weight method[J]. *Geology in China*, 50(2): 495–505 (in Chinese with English abstract).

- Wang Jinfeng, Xu Chengdong. 2017. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 72(1): 116–134 (in Chinese with English abstract).
- Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, Zheng Du, Li Shuangcheng. 2003. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 18(2): 189–196 (in Chinese with English abstract).
- Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming, Chen Wenhui, Li Shimei. 2015. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 30(8): 1243–1254 (in Chinese with English abstract).
- Xie Gaodi. 2017. Ecological asset evaluation: Stock, quality and value[J]. *Environmental Protection*, 45(11): 18–22 (in Chinese with English abstract).
- Xu Yanling, Xu Chen, Yang Guishan. 2022. Valuation and ecological zoning of county-level ecological assets in the humid hilly region of southeast China: A case study of Liyang City[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 31(7): 1572–1583 (in Chinese with English abstract).
- Xue Minggao, Xing Lu, Wang Xiaoyan. 2018. Spatial correction and evaluation of ecosystem services in China[J]. *China Land Science*, 32(9): 81–88 (in Chinese with English abstract).
- Yan Enping, Lin Hui, Wang Guangxing, Xia Chaozong. 2014. Analysis of evolution and driving force of ecosystem service values in the Three Gorges Reservoir region during 1990–2011[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 34(20): 5962–5973 (in Chinese with English abstract).
- Yang Lan, Hu Shuheng. 2020. Cross-border ecological compensation standard based on dynamic measurement model: Taking Xin'an River Basin as an example[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 40(17): 5957–5967 (in Chinese with English abstract).
- You Xu, He Dongjin, Xiao Yan, Bo Wenjing, Song Changsu, Ouyang Zhiyun. 2020. Assessment of eco-assets in a county area: A case of Pingbian County[J]. *Acta Geographica Sinica*, 40(15): 5220–5229 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Naifu, Liu Xia, Zhu Jipeng, Zhang Guangcan, Zhang Ronghua, Yang Shaoyang, Wang Jing. 2014. Assessment and spatial heterogeneity of soil erosion sensitivity in the Xin'anjiang river basin, Anhui Province[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 12(6): 8–15 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Weimin. 2021. Study on ecological assets accounting framework of nature reserve in China[J]. *Natural Protected Areas*, 1(2): 22–30 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yufeng, Liu Xiaojuan. 2021. Construction of assets and liabilities accounting system for land resources at county level[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 35(6): 39–43 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xingchen, Xu Hai, Yu Jie, Liu Mingliang, Shan Liang, Cheng Xinliang, Zhu Guangwei, Li Huiyun, Zhu Mengyuan, Kang Lijuan. 2022. Impacts of urban distribution on nutrient concentrations in Xin'an River and Qiandaohu reservoir[J]. *Research of Environmental Sciences*, 35(4): 864–876 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 白杨, 李晖, 王晓媛, Juha M Alatalo, 江波, 王敏, 刘文俊. 2017. 云南省生态资产与生态系统生产总值核算体系研究[J]. *自然资源学报*, 32(7): 1100–1112.
- 陈浮, 葛小平, 陈刚, 彭补拙. 2001. 城市边缘区景观变化与人为影响的空间分异研究[J]. *地理科学*, 21(3): 210–216.
- 戴家远, 胡淑恒, 张贝尔, 杨庆. 2021. 基于机会成本和生态系统服务价值核算的生态补偿标准研究——以新安江流域为例[J]. *湖北农业科学*, 60(21): 152–157.
- 董天, 张路, 肖懿, 郑华, 黄斌斌, 欧阳志云. 2019. 鄂尔多斯市生态资产和生态系统生产总值评估[J]. *生态学报*, 39(9): 3062–3074.
- 何毅, 唐湘玲, 代俊峰. 2021. 漓江流域生态系统服务价值最大化的土地利用结构优化[J]. *生态学报*, 41(13): 5214–5222.
- 侯鹏, 付卓, 祝汉收, 翟俊, 陈妍, 高海峰, 金点点, 杨旻. 2020. 生态资产评估及管理研究进展[J]. *生态学报*, 40(24): 8851–8860.
- 胡咏君, 谷树忠. 2018. 自然资源资产研究态势及其分析[J]. *资源科学*, 40(6): 1095–1105.
- 李传华, 朱同斌, 周敏, 殷欢欢, 王玉涛, 孙皓, 曹红娟, 韩海燕. 2021. 河西走廊植被净初级生产力时空变化及其影响因子研究[J]. *生态学报*, 41(5): 1931–1943.
- 李冬花, 张晓瑶, 王咏, 张潇, 李磊, 陆林. 2021. 新安江流域生态系统服务演化过程及权衡协同关系[J]. *生态学报*, 41(17): 6981–6993.
- 李佳慧, 黄麟, 曹巍, 吴丹. 2022a. 长三角重点生态功能县域生态资产损益核算[J]. *自然资源学报*, 37(8): 1946–1960.
- 李佳慧, 黄麟, 曹巍. 2022b. 中国县域生态资产损益的影响机制及优化提升路径[J]. *地理学报*, 77(5): 1260–1274.
- 李晓晖, 萧敬豪, 王建军, 吴婕, 龙闹. 2022. 面向生态修复的自然资源资产评估与应用研究——以广州市为例[J]. *生态学报*, 37(18): 6216–6228.
- 刘倩, 李葛, 张超, 赵丽, 朱永明. 2019. 基于系数修正的青龙县生态系统服务价值动态变化研究[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 27(6): 971–980.
- 刘园, 周勇. 2019. 长江经济带生态系统服务价值时空变化特征分析及灰色预测[J]. *生态经济*, 35(4): 196–201.
- 马超, 王宏伟, 马晓芳, 陈英, 周鑫. 2021. 张掖市高台县黑河中游流域生态系统服务价值估算[J]. *湿地科学*, 19(6): 762–766.
- 聂伟平, 陈东风. 2017. 新安江流域(第二轮)生态补偿试点进展及机制完善探索[J]. *环境保护*, 45(7): 19–23.

- 邱琼, 施涵. 2018. 关于自然资源与生态系统核算若干概念的讨论[J]. 资源科学, 40(10): 1901-1914.
- 孙梦华, 牛文浩, 张蚌蚌, 耿庆玲, 于强. 2021. 黄河流域土地利用变化下生态系统服务价值时空演变及其响应——以陕甘宁地区为例[J]. 应用生态学报, 32(11): 3913-3922.
- 孙晓, 李锋. 2017. 城市生态资产评估方法与应用——以广州市增城区为例[J]. 生态学报, 37(18): 6216-6228.
- 孙张涛, 余正伟, 舒思齐. 2023. 中国省域生态系统服务价值评价与生态地质调查工作建议[J]. 中国地质, 50(2): 479-494.
- 唐志敏, 张晓东, 张明, 周墨, 田福金, 王尚晓, 马青山, 王冲, 张洁, 牛晓楠, 宗乐丽, 黄丁伶. 2023. 新安江流域土壤元素地球化学特征: 来自岩石建造类型的约束[J]. 华东地质, 44(2): 172-185.
- 田福金, 马青山, 张明, 唐志敏. 2023. 基于主成分分析和熵权法的新安江流域水质评价[J]. 中国地质, 50(2): 495-505.
- 王劲峰, 徐成东. 2017. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 72(1): 116-134.
- 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 2003. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 18(2): 189-196.
- 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 2015. 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, 30(8): 1243-1254.
- 谢高地. 2017. 生态资产评价: 存量、质量与价值[J]. 环境保护, 45(11): 18-22.
- 徐艳玲, 许晨, 杨桂山. 2022. 东南湿润丘陵区县域生态资产评估及分区研究——以溧阳市为例[J]. 长江流域资源与环境, 31(7): 1572-1583.
- 薛明皋, 邢路, 王晓艳. 2018. 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, 32(9): 81-88.
- 严恩萍, 林辉, 王广兴, 夏朝宗. 2014. 1990—2011 年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力[J]. 生态学报, 34(20): 5962-5973.
- 杨兰, 胡淑恒. 2020. 基于动态测算模型的跨界生态补偿标准——以新安江流域为例[J]. 生态学报, 40(17): 5957-5967.
- 游旭, 何东进, 肖焱, 博文静, 宋昌素, 欧阳志云. 2020. 县域生态资产核算研究——以云南省屏边县为例[J]. 生态学报, 40(15): 5220-5229.
- 张乃夫, 刘霞, 朱继鹏, 张光灿, 张荣华, 杨韶洋, 王静. 2014. 安徽新安江流域土壤侵蚀敏感性评价及空间分异特征[J]. 中国水土保持科学, 12(6): 8-15.
- 张卫民. 2021. 中国自然保护区生态资产核算框架研究[J]. 自然保护区, 1(2): 22-30.
- 张裕凤, 刘小娟. 2021. 县域土地资源资产负债核算体系构建——以包头市固阳县为例[J]. 干旱区资源与环境, 35(6): 39-43.
- 赵星辰, 许海, 俞洁, 刘明亮, 单亮, 程新良, 朱广伟, 李慧贇, 朱梦圆, 康丽娟. 2022. 城镇分布对新安江水系及千岛湖营养盐浓度的影响[J]. 环境科学研究, 35(4): 864-876.