

生态银行运行机制 与本土化改造研究：案例实证

■ 刘耕源^{1,2}/颜宁聿¹/杨青³/赵勇⁴

(1. 北京师范大学环境学院 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875; 2. 北京市流域环境生态修复与综合调控工程技术研究中心, 北京 100875; 3. 广东工业大学环境生态工程研究院 大湾区城市环境安全与绿色发展教育部重点实验室, 广州 510006; 4. 国务院发展研究中心办公厅, 北京 100010)

摘要：美国湿地缓解银行的信用核算方法和标准尚未统一，跨区域交易造成了一定的障碍。文章按照湿地缓解银行的信用核算方法（借贷法）与全新提出的“生态元”方法，对广东省湖泊的生态信用进行核算并对其适用性进行了对比研究。“生态元”是一种基于禀赋价值（能值）的生态核算方法，反映了山水林田湖草各种生态系统的热力学驱动本质，具有本源性、可加和性和代币属性，是生态世界的货币。研究发现：(1) 借贷法是一种基于专家经验进行等级打分的半定量方法，主观性较高，且仅统计生态系统服务中改善水质、水文调节和生境这三种服务；(2) “生态元”方法是定量方法，所涵盖的生态系统服务类型更多，在客观性、准确性、动态监测、可推广方面更具有优势；(3) “生态元”方法的核算成本较低，可提供跨尺度、跨类型的生态系统服务核算；(4) “生态元”作为生态产品交易的代币，与区块链的结合是未来的发展趋势。未来生态银行的建设与发展，可基于“生态元”推进产权制度改革、构建多元可持续的生态治理资金渠道以及提供相关的政策配套保障。

关键词：生态系统服务；生态信用；能值核算；生态元；区块链

中图分类号：F062.2；F062.1；F205 文献标识码：A 文章编号：1672-6995 (2021) 02-0004-10

DOI：10.19676/j.cnki.1672-6995.000550

Research on Eco-bank Operation Mechanism and Local Transformation: A Case Study

LIU Gengyuan^{1,2}, YAN Ningyu¹, YANG Qing³, ZHAO Yong⁴

(1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Engineering Research Center for Watershed Environmental Restoration & Integrated Ecological Regulation, Beijing 100875, China; 3. Key Laboratory of City Cluster Environmental Safety and Green Development of the Ministry of Education, Institute of Environmental & Ecological Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou, 510006, China; 4. General Office of Development Research Center of the State Council, Beijing 100010, China)

Abstract: The credit accounting methods and standards of credit in the U.S. Wetland Mitigation Bank have not yet been unified, and cross-regional transactions have caused certain obstacles. This study uses the credit-debit method (borrowing method) of the Wetland Mitigation Bank and the "eco-coin" method to conduct a comparative study on the value of ecosystem services for the lake ecosystem in Guangdong Province. "Eco-coin" is a method based on emergy analysis (EMA), which reflects the thermodynamic driving nature of various ecosystems of mountains, rivers, forests, fields, lakes and grasses, it has originality, additivity and token attributes, it is the internal unified measurement

收稿日期：2020-09-17；修回日期：2020-11-06

▲ 基金项目：北京市科技计划课题 (Z181100009618030)；国家自然科学基金中-意国际（地区）合作与交流项目 (71861137001)；国家创新群体项目 (51721093)；国家自然科学基金项目 (71673029)；国家自然科学基金项目 (52070021)；北京师范大学博一学科交叉基金项目 (BNUXKJC1922)

▲ 作者简介：刘耕源 (1983—)，男，辽宁省大连市人，北京师范大学教授，理学博士，主要从事城市生态资本核算、系统模拟与生态规划等方面研究。

scale of the value of ecosystem services and the currency of the ecological world. The results show that: (1) the credit-debit method is a semi-quantitative method based on expert experience to grade and score, and it is highly subjective, it only accounts for three types of ecosystem services including the improvement of water quality, hydrological regulation and habitat function; (2) the eco-coin is a quantitative method, which covers more types of ecosystem services, and has advantages in terms of objectivity, accuracy, dynamic monitoring, and replicability; (3) the eco-coin has lower accounting costs and can provide cross-scale and cross-type ecosystems service accounting; (4) as the token of ecological product transactions, the combination of eco-coin and blockchain is a trend in the future. In the future, the construction and development of ecological banks can promote the reform of the property rights system based on the "eco-element", build diversified and sustainable ecological governance funding channels, and provide related policy support.

Key words: ecosystem services; ecological credit; emergy accounting; eco-coin; blockchain

0 引言

目前，湿地缓解银行、“生物多样性银行”等生态银行主要困难是核算其交易信用的多少^[1]。制定明确有效的国家标准，平衡全国的一致性和区域的灵活性，准确地确定湿地信用是保障市场化补偿交易顺利进行的前提^[2]。在以美国湿地缓解银行为代表的生态系统服务交易体系中，所面临的最基础也是最关键的问题是生态系统服务价值的统一核算问题。

生态服务价值的统一核算或者“信用”的交易本质是寻找代币体系。代币在本质上是虚拟商品，是实现将难以定价的外部性的商品（如生态资产与生态服务）与货币链接的基础。生态产品价值实现的核心是寻找提升代币价值的途径。

本研究基于《生态银行运行机制与本土化改造研究：文献综述》一文对生态银行的梳理与分析，提出全新的“生态元”理论，利用湿地缓解银行的借贷法和基于能值分析的“生态元”方法对广东省的22个湖泊进行生态信用的核算，对比分析不同核算方法的优缺点，探讨构建多元可持续的生态治理资金渠道以及提供相关的政策配套保障。

1 基于“生态元”的代币机制与信用核算改进方法

1.1 “生态元”理论与代币机制

基于“生态元”的生态资本服务价值核算体系，选择太阳能值作为核算量纲，将“生态元”作为核算生态系统服务价值的通用单位^[3]。根据生态学理论，太阳能被植物吸收、转化、储藏，并通过食物链将该能量在生态系统中层层传导，期间伴随

着植物性生产和动物性生产。将“太阳能值”作为生态系统服务的统一量纲，打通了不同生态功能之间不可加和的传统障碍，有利于在同一地区不同生态系统服务之间以及不同地区同一生态系统服务之间作对比分析，进而更好地统一度量全国生态系统服务，推进市场化。该方法以各类生态资源提供生态服务所需的太阳能值为纽带，将林地、灌木、高/中/低覆盖度草地、河流、湖泊、水库坑塘和沼泽地等各类生态资源拥有的生态服务分别计算出来，最后统一用“生态元”单位表示。“生态元（Eco-coin）”定义为一定量的太阳能值所包含的生态资本服务价值的效用，每个生态元等于1010太阳能焦耳^[3]。

生态元的计算是基于能值理论，能值理论最早提出于20世纪80年代末，强调应用热力学和一般系统理论在开放系统中应用能量系统语言的重要性^[4]。该方法被视为衡量自然资源对经济活动贡献的环境核算工具^[5]。能值理论在环境核算和计量方面至少有三大优势^[6]。首先，能值理论关注的是贡献者视角，它可以确定来自自然系统的投入资源对经济系统的贡献。其次，该方法能够重新理解自然资产和生态系统服务的产生，能够细致剖析物质流动和能量传递，允许量化每个流量或存量的环境工作量^[7]。这种支持将系统中的不同输入流转换统一衡量单位的方式有助于为决策者，甚至公司和组织决策者确定适当的投资和政策计量。最后，生态系统服务价值不同的存在形式，对应的效用类型不同，彼此之间不可通约，也无法直接进行加和，找到内在统一的量纲或尺度是价值核算的关键所在。太阳能值方法认为，“万物生长靠太阳”，太阳能等基本驱动力是驱动生态系统提供服务价值的最终

来源。太阳光照辐射会通过植物的光合作用等一系列复杂的能值转换环节，提供多种形式的生态系统服务，简单地说，社会经济系统之间使用的货币是人民币或美元等，而生态元是生态资本服务价值的内在统一度量的尺度，是生态世界的货币。其特点在于：①能量是所有生态系统及其产生的不同服务价值的共同来源，具有本源性，可以打通山水林田湖草各种生态系统进行度量；②基于能量学，将生态系统所产生的服务价值之间形成统一量纲，从而具有可加总性；③由于相关因素的正向或负向作用，由效用体现的价值量可以增加或者减少，即体现出增值与减值。

1.2 “生态元”核算方法体系

“生态元”核算框架详见图1。

“生态元”核算方法体系包括生态系统类型、纳入“生态元”核算的生态系统服务类型、“生态元”核算方法和“生态元”加和原则。其中，生态系统类型包括林地（有林地、灌木林）、草地（高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地）、湿地（沼泽地、湖泊、水库/坑塘、河流）生态系统等。纳入“生态元”核算的生态系统服务类型主要包括固碳释氧、构建土壤、补给地下水、净化空气、净化水质、固持土壤、调节局地温湿度、调节气候。某生态系统*i*的以上生态系统服务分别为 Em_{CSi} 、 Em_{SBi} 、 Em_{CRi} 、 Em_{APi} 、 Em_{WPi} 、 Em_{SRi} 、 Em_{MRi} 、 Em_{CRi} 。各项生态系统服务均采用能值核算方法^[8-11]，各项生态系统服务的单位均为sej/yr。核算完各项生态系统服务后，为避免重复计算，某一生态系统类型或某一地区“生态元”总值并非各项生态系统服务直接相加，而是要遵循加和原则。

以湿地生态系统为例，其总生态系统服务（ Em_{wi} ）计算公式为：

$$Em_{wi} = \sum (MAX(Em_{CSwi}, Em_{SBwi}, Em_{GRwi}, Em_{MRwi}), Em_{WPwi}, Em_{APwi}, Em_{CRwi}) \quad (1)$$

式（1）中， Em_{CSwi} 是湿地生态系统*i*固碳释氧所需的能值（sej/yr）； Em_{SBwi} 是湿地生态系统*i*的有机质沉积所需的能值（sej/yr）； Em_{GRwi} 为湿地生态

系统*i*的补给地下水所需的能值（sej/yr）； Em_{MRwi} 是湿地生态系统*i*减少生态系统损失所需的能值（sej/yr）； Em_{WPwi} 是湿地生态系统*i*净化水质服务所需的能值（sej/yr）； Em_{APwi} 是湿地生态系统*i*净化空气服务所需的能值（sej/yr）； Em_{CRwi} 是湿地生态系统*i*调节气候服务。

一个地区总的“生态元”（Eco-Coin）计算公式如下：

$$Eco - Coin = \sum (Em_{fi}, Em_{gi}, \dots, Em_{wi}) / (1E + 10) \quad (2)$$

式（2）中， Em_{fi} 是森林生态系统总生态系统服务； Em_{gi} 是草地生态系统总生态系统服务。

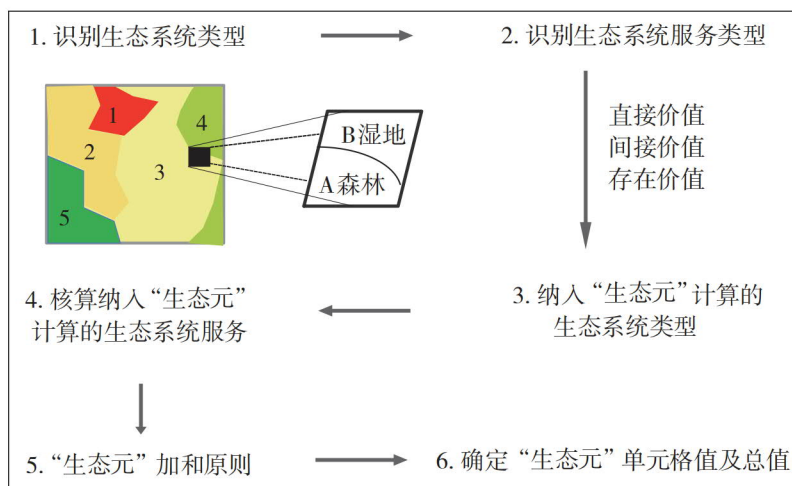


图1 “生态元”核算框架图

1.3 基于“生态元”的生态银行信用运行机制

将“生态元”运用于湿地生态银行中可替代湿地缓解银行的“信用”，湿地信用是进行补偿湿地售卖时使用的统一单位，即湿地补偿银行的信贷内容。湿地缓解银行通过新建、恢复、保育、增强等措施补偿湿地，将量化的湿地价值——湿地信用存储在银行账户中，在湿地管理机构的监管下，与银行客户（开发者）进行湿地信用的交易。“生态元”类似于湿地缓解银行的“信用”，基于“生态元”的缓解银行是一种基于污染者付费原则的准市场化生态补偿制度，它为生态资源的供给方和需求方提供跨区域流动和补偿服务，平台则通过补偿的方式降低人类活动造成的生态系统服务的损失。美国湿地缓解银行，成功运行的重要因素是各利益相关方的共同努力，权责分明。基于“生态元”的缓

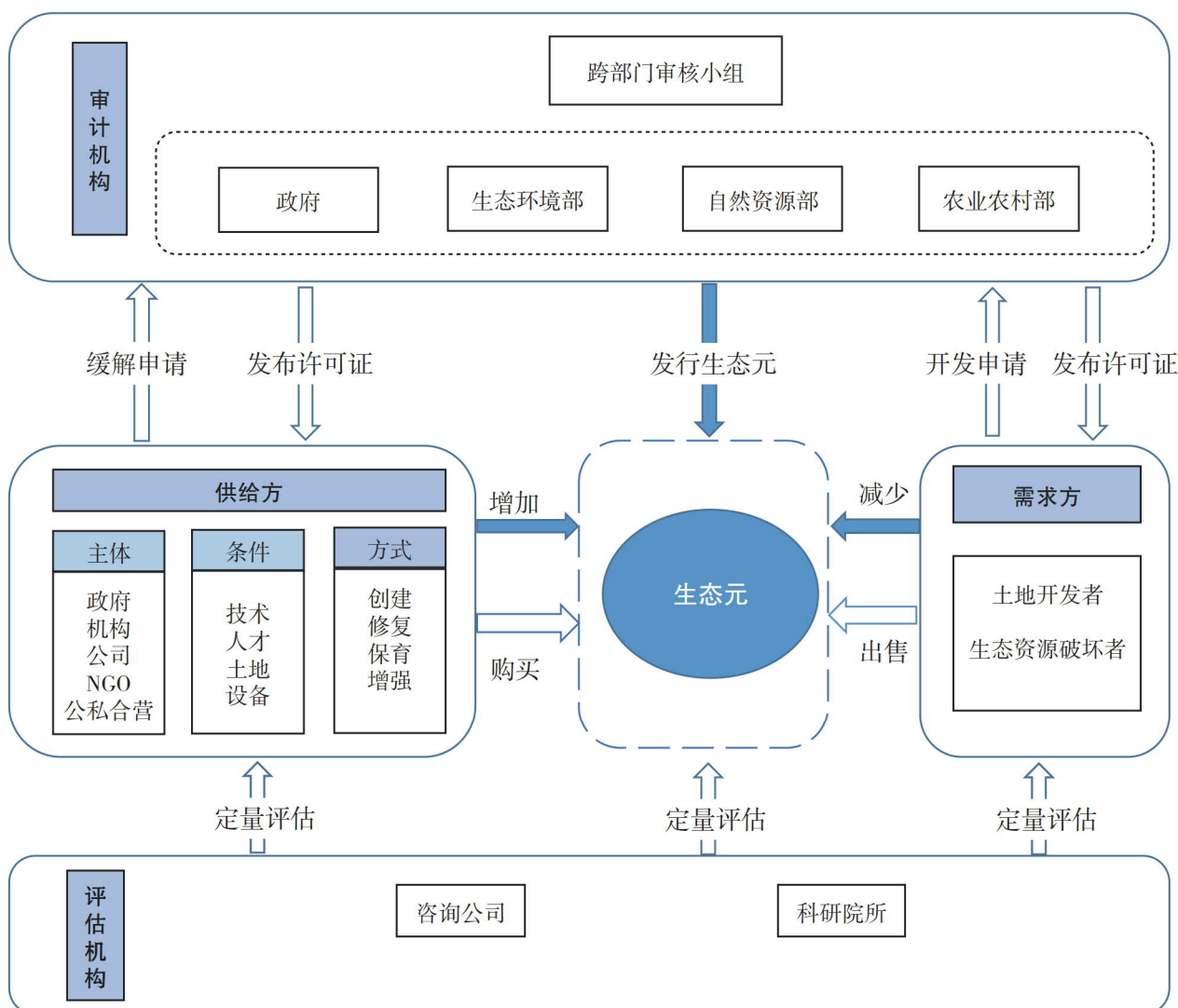


图2 基于“生态元”的缓解银行运作机制示意图

解银行得以成功运用，要求各参与方对其功能和职责进行界定，如图2所示。

由政府相关部门成立跨部门的审核小组，对生态资产进行确权登记，明确生态资产产权和享有的权利义务，对生态元需求方和供给方提交的申请进行审批，发布生态元，同时监管市场，维护交易秩序。成立专门的机构或由第三方组织开展生态服务价值评估，由权威认证机构利用区块链等技术，建立对新建生态系统及其生态服务的认证体系、信用体系、审计核查体系，确保生态资产信息的可靠性和真实性。

生态元供给方（卖方）是指拥有生态资源建设技术、人才和专业设备，能对生态资源进行长期管

护的主体。管护主体通过新建、恢复、保育、增强等方式增加提高生态系统服务。供给方的主体可以是政府、机构、非营利性组织、公司或者公私合营机构。生态元需求方（买方）是指生态元总量约束下和总体增加的目标下，为了发展农业、工业或房地产业进行土地开发，已经或将要产生的林地、草地或者湿地等生态系统服务损失，需要购买生态元对生态系统破坏进行补偿的主体。生态元需求方在土地开发之前，必须就可能造成的生态元损失向生态环境主管部门进行许可申请，并按照要求采取事前补偿或事后补偿。

生态元评估机构是对资源破坏前和增强后的生态元进行评估的第三方主体，其评估内容既包括

生态元需求方进行土地开发时造成生态元损失的数量，也包括生态元供给方采用新建、修复、增强或保育模式生产的生态元增加的数量。此外，评估机构还需要对生态元供给方在生态元生产过程中所投入的成本进行审计。

2 基于“生态元”的生态银行运行案例模拟

2.1 案例区介绍与数据来源

广东省位于北纬 $20^{\circ} 19' \sim 25^{\circ} 31'$ ，东经 $109^{\circ} 45' \sim 117^{\circ} 20'$ ，地处岭南热带、亚热带沿海地区，深受海洋气候影响，降水量充沛，河网密布，水资源丰富。广东是我国湿地资源较为丰富的省份之一。全省湿地总面积达2630万亩，湿地类型包含了近海与海岸湿地、河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地、人工湿地等5大湿地类21个湿地型。近年来，广东省陆续启动粤港澳大湾区水鸟迁徙廊道、珠三角地区生物生态廊道等建设，特别是加强粤港澳大湾区湿地生态的复育和保护，推动环珠江口湿地保护体系建设，全方位提升大湾区湿地的生态服务功能。

本研究以广东省湖泊生态系统为案例，选取遥感卫星可识别的广东省湖泊中面积排名前22的湖泊，分别采用借贷法和“生态元”方法进行生态服务价值核算。本研究用根据面积排序湖泊1、湖泊2、湖泊3等对目标湖泊进行命名。

本研究使用的数据主要包括两类：土地利用和土地覆盖（Land Use and Land Coverage, LULC）遥感数据及生态参数等数据。其中LULC数据为

2018年广东省分辨率 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 的遥感数据^[12]。

“生态元”核算中使用的生态参数主要包括：太阳辐射、降水量、数字高程数据（Digital Elevation Model, DEM）、净初级生产力（NPP）、蒸散发量（Evapotranspiration, ET）和归一化植被（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）等，数据来源详见表1。

生态系统服务的交易，本质上是对生态系统服务增量的交易，因此需要对生态系统服务的现状进行核算。由于广东省的湖泊尚未进行交易，本研究作了两种假设：①未来几年中，广东省的这22个湖泊将有被开发的可能，我们利用借贷法中被开发湿地（影响点）的信用核算，那么，首先计算开发前湖泊的生态系统服务（信用）的多少；②未来几年中，广东省将通过湖泊的恢复、保育、增强等缓解措施提高生态系统服务，进而补偿因开发造成的生态系统服务的损失，那么需要核算引入缓解措施前，生态系统服务的多少。基于这两种假设，本研究利用借贷法核算广东省22个湖泊的生态信用，核算框架如图3所示。考虑到这两种假设前提是尚未引入缓解措施，所以采用的时间滞后因子是借贷法推荐的缓解前的系数^[14]，该系数是1.25。

2.2 现有的湿地缓解银行信用和“生态元”信用结算结果与比较

采用借贷法和“生态元”方法核算的广东省22个湖泊的生态信用结果见图4。两种方法核算的结果总体上趋势一致，但仍存在差异。将两种计算方法的结果进行比较分析，可以看出“生态元”和借

表1 本研究数据来源

数据类型	分辨率	来源
太阳辐射	省级	https://wenku.baidu.com/view/4479d2c381eb6294dd88d0d233d4b14e85243e2a.html
降水量	省级	广东省2019年统计年鉴： https://data.cnki.net/yearbook/Single/N2019110027
DEM	250m	http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=123
NPP	1000m	https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3v055/
ET	1000m	https://cgiarcsi.community/data/global-high-resolution-soil-water-balance/#disclaimers
NDVI	1000m	(Xu, 2018) ^[13]

注：研究中的栅格数据即DEM、NPP、ET和NDVI数据使用ArcGIS软件中的重采样（resample）工具处理，以获得和LULC数据相同的分辨率；对于省级尺度的数据，由于缺少栅格数据，因此假定一个省份中所有生态系统的太阳辐射和降水量相同。

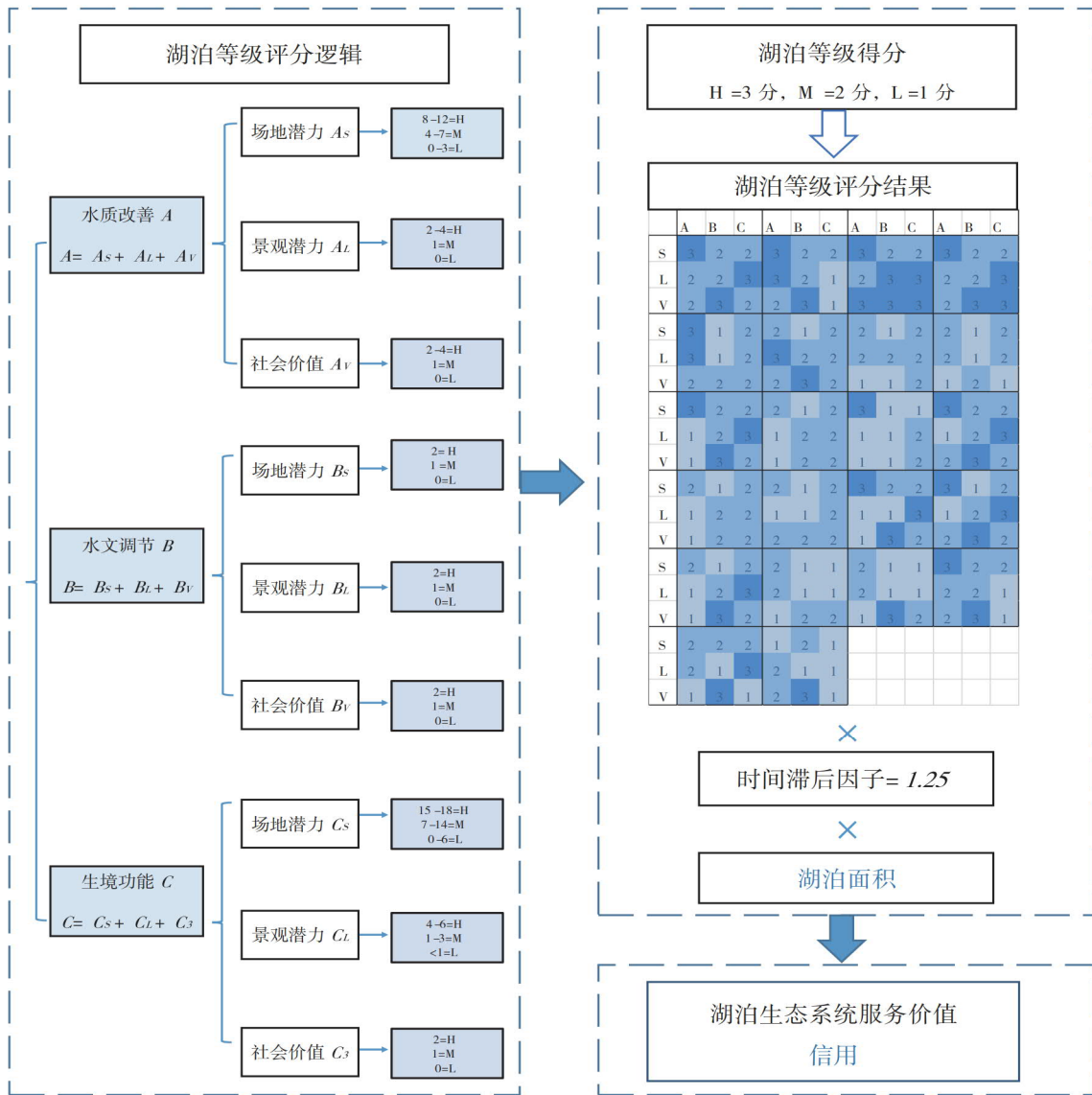
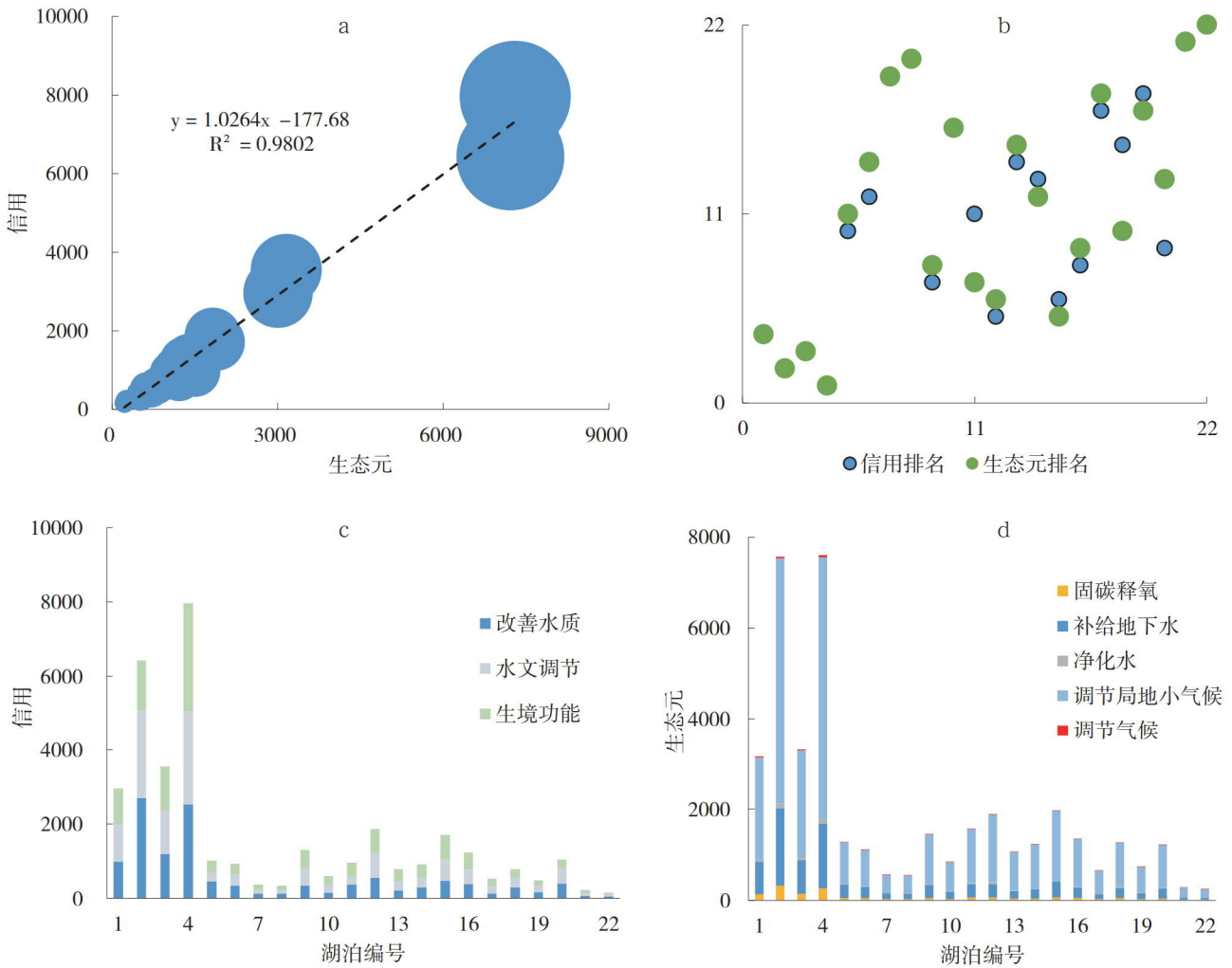


图3 基于借贷法的广东省湖泊生态信用核算框架

贷法计算的信用具有很强的相关性 ($R^2=0.9802$)，如图4 (a) 所示。图4 (a) 中圆圈的大小代表湖泊面积的大小，湖泊面积越大，“生态元”和信用值越大。生态系统的面积是其生态系统服务重要的影响因素。生态元方法和借贷法都是基于生态评估技术的核算方法，归根结底，两种方法都是基于湖泊面积和其他因素通过某种函数计算得到的。在湿地缓解银行的发展过程中，初期普遍做法是仅采用“面积”作为交易依据，后来越来越多地考虑生态系统服务的不同类型，根据实际需要开发了多种核算方法。借贷法已在湿地缓解银行中成功应用，两种方法核算结果的相关性强，说明“生态元”具有

较强的可替代性，验证了其在未来的生态银行中应用的可能性。

因生态元和信用的核算单位不同，将湖泊的两种核算结果进行排名并对比分析，可以看出，少数(9个)湖泊两种方法的计算结果排名一致，多数(13个)湖泊的排名并不一致，如图4 (b) 所示。这说明，尽管生态元和信用具有很强的相关性，但是不同湖泊因其提供的各项服务的大小不同，总体服务结果也有所不同。这与两种方法所核算的服务类型有关，借贷法所涵盖的生态系统服务仅水质改善、水文调节和生境功能三项，而“生态元”方法涵盖的生态系统服务类型更多，包括固碳释氧、补给地下水、净化水质、



注：“生态元”值的单位为千· 10^{10} sej，信用的单位是土地积分；a中圆圈的大小代表湖泊面积的大小。图中的信用不完全等同于湿地缓解银行交易时的信用，目前尚未在中国开展生态系统服务的交易，这里的信用是基于两种假设，既可以是开发项目所在地（买方）的现阶段的生态系统服务价值，也可以是将引入缓解措施的所在地（卖方）在引入缓解措施前的生态系统服务价值。

图4 “生态元”与信用的对比结果

调节局地小气候、调节气候等。

从图4 (c) 和 (d) 中可以看出，同一个湖泊不同生态系统服务类型的信用值相近，甚至有2项或3项服务是相同，如湖泊编号1、2、3、4。而同一湖泊不同生态系统服务类型的“生态元”则差异明显，这与两种方法的核算过程有关。

借贷法是基于等级估分的半量化方法。借贷法首先将湿地进行划分，然后根据湿地的水质改善、水文调节和生境功能进行低、中、高三等级的评级，分别代表1、2、3分，最后根据影响点或缓解点的生态系统服务的大小（评分）乘以面积，从而确定湿

地信用的多少。然而，这种等级评定是基于主观判断的半量化方法，评分人员必须具有识别自然特征、湿地功能指标、植物种类和一些区分景观地貌差异的能力方面的经验和教育。这要求评分人员必须提前接受培训。如果没有接受培训，评分结果平均存在至少1分的偏差。未经训练的评分人员将平均低估或高估15%所需的缓解量，而实际差异可能高达40%^[15]。使用这种方法对生态系统服务进行核算时，需要进行大量的实地考察。因此，这种基于主观判断的等级打分方法，不同阶段的误差叠加，造成的最终结果误差较大。而且，这种方法基于多种条件假设，而这些假设

尚未广泛地实证。

“生态元”方法采用量化手段核算湖泊的每一项生态系统服务，从而避免主观判断的误差。

“生态元”方法核算的每一项服务均是根据土地利用和土地覆盖遥感数据及生态参数等数据进行定量化核算的，因此能将同一生态系统的不同服务类型的差异区分开。这有利于在未来的生态银行交易中，提供更精准的生态系统服务的类型（生态产品的种类），买卖双方根据其供给或需求选择对应的生态产品。另外，“生态元”方法采用的是遥感数据及生态参数（包括太阳辐射、降水量、数字高程数据、净初级生产力、蒸散发量和归一化植被指数），这些数据是客观、多尺度、长周期的，有利于提供生态系统服务的长周期、多尺度核算，有助于推进跨区域生态补偿。此外，针对这些数据的研究方法已相当成熟，数据获取方便，利用遥感技术无需进行大量的实地考察，故无需对核算人员进行培训。因此，“生态元”方法是一种省时省力又经济的方法。“生态元”方法是基于能值分析的方法，将“太阳能值”作为生态系统服务的统一量纲，打通了山水林田湖草沙等多个生态系统服务不可统壹度量的传统障碍，有利于将不同生态系统及其不同类型的服务进行对比分析，进而更好地统壹度量全国生态系统服务，推进生态系统服务市场化。

综上所述，“生态元”方法在核算生态系统服务方面更具有优势：①将抽象的服务具象化，剥离了差异化评估人群感受，核算结果更客观；②核算的生态系统服务类型更多，将不同生态系统服务差异化，准确性更高；③能够提供可监控、可预测、长周期的生态系统服务价值核算结果；④是一种省时省力、低成本的核算方法；⑤可提供跨尺度、跨类型的生态系统服务核算。

本研究认为，借贷法的核算准确性有待提高，而且因为时间和人力成本较高，也很难在更大范围内推广。“生态元”的方法作为一种量化方法，更加客观，更容易推广，它将在一定程度上取代借贷法。同时，两种方法在实际应用中应该相互借鉴，如借贷法中考虑了生态系统服务对社会的影响，还

考虑了时间滞后因子和风险因子，未来“生态元”方法可以将这两者也纳入核算体系中，进一步完善核算方法。

3 基于“生态元”的湿地缓解银行的应用场景

美国湿地缓解银行的借贷法基本思路是：如果一个地区的生态系统服务减少，则通过缓解措施（新建、恢复、保育、强化）增加另一个地区的生态系统服务进行补偿，从而达到“零净损失”。每个生态银行的服务区是指，对不可避免受到影响的生态资源提供适当的、可获得补偿缓解的指定地理区域。服务区边界是通过审核小组与银行发起人之间的谈判并根据银行批准程序确定的。评估机构可以帮助确定相应影响是否在银行的服务范围内，以及该区内的缓解是否满足补偿要求。使用银行补偿外部影响指定的服务区域是根据具体情况确定的，与其他缓解措施相比，是在生态上适当且在环境方面令人满意的备择方案。“生态元”的额度无论区内还是区外的补偿，均根据占用地和新建地的地理位置差异、生态类型差异、重要性稀缺性差异等因素进行调整。因服务范围的不同，在交易时，开发项目所造成的“生态元”的损失量与其购买的“生态元”额度不一定等额。

缓解措施需要经过若干年后才能完全发挥相应的生态功能、提供相应的生态服务，因此在核定所需购买的“生态元”的额度时，需要进一步研究不同缓解措施所对应的时间滞后因子系数。在核定开发项目所造成的“生态元”损失量，除了核定当前状态的“生态元”，也应该核定若干年后该地可能的“生态元”的增量。在购买“生态元”时，可以通过当前和预期的“生态元”进行一定的调整。

“生态元”方法将“太阳能值”作为生态系统服务的统一量纲，使得山水林田湖草沙等生态系统及其不同类型的服务具有可加总性。目前，林地（有林地、灌木林）、草地（高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地）、湿地（沼泽地、湖泊、水库/坑塘、河流）等生态系统的能值分析方法都有了相关研究^[3, 8-11]，而本研究仅以湖泊生态系统

为例，讨论了基于“生态元”的生态银行机制。在土地利用开发的过程中其变化是多样的（比如，林转草，林转田，湖转田等），而不同生态系统的某些功能具有相似性或具有可替代性。未来的生态补偿体系，可以有选择地进行跨生态系统的交易，而不同于某一种生态系统。这将使土地利用开发造成的生态系统破坏，通过多种土地利用类型进行异地补偿。基于生态产品的交易机制——生态银行，已在中国进行了初步探索，这将是未来生态产品价值实现的重要抓手。美国湿地缓解银行的湿地信用交易的本质上是生态产品（生态系统服务）的交易，“生态元”方法是采用基于能值分析的方法核算生态系统服务价值。“信用”和“生态元”都是生态产品交易的代币。

区块链是一种新兴技术，影响并改变个人的生活方式、行业和政府的运营方式^[16]。全球的决策者对区块链技术在生态环境领域应用很感兴趣，已开始探索其解决公共政策问题的潜力，这项探索扩展到了气候变化行动以及电力和碳市场^[17-18]。区块链是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等技术的集成应用，生态产品核算的统一标的物为其提供了代币的基础，二者的集合形成生态资产加密数字货币化的可能性，可以有效解决生态产品市场交易机制中的公开透明和信任等问题^[19]。

“生态元”能根据能量传递链追踪到能量起点，包括具体是哪种生态服务类型和哪种土地利用类型，



这就需要探索建立生态产品的鉴定、评估、确权、上链、监管等机制^[19]。建立生态产品认证体系是指利用生态产品区块链来源可查、去向可追、责任可究的特点，将生态产品标的物打上地理标识和产权标签再进行上链，确保生态产品可防伪溯源，从而完善生态产品供给方与受益方的信任机制^[19]。

4 政策配套机制

4.1 基于“生态元”推进自然资源资产产权制度改革

(1)健全自然资源资产产权体系。推动自然资源资产所有权与使用权分离，结合区块链确权技术加快构建分类科学的自然资源资产产权体系，着力解决权利交叉、缺位等问题。处理好自然资源资产所有权与使用权的关系，创新自然资源资产全民所有权和集体所有权的实现形式。通过赋予一定期限的自然资源资产使用权等产权安排，激励民营资本等社会投资主体从事生态治理。

(2)建立健全自然资源分权经营制度。落实承包土地所有权、承包权、经营权“三权分置”，开展经营权入股、抵押。鼓励政府机构、企业和其他社会主体，通过租赁、置换、赎买等方式扩大国土绿色空间。构建以产业生态化和生态产业化为主体的生态经济体系。

(3)完善自然资源资产产权法律体系。建立健全协商、调解、仲裁、行政裁决、行政复议和诉讼等有机衔接、相互协调、多元化的自然资源资产产权纠纷解决机制。全面落实公益诉讼和生态环境损害赔偿诉讼等法律制度，构建自然资源资产产权民事、行政、刑事案件协同审判机制。

4.2 依托生态银行构建多元可持续的生态治理资金渠道

(1)依托流域/湿地等生态治理工程，拓宽融资渠道。针对关键性湿地、流域生态治理工程的流动资金需求，鼓励由大型商业性银行设立专项流动资金贷款科目，并按照国家有关政策，对此类贷款给予期限和利率上的优惠，或给予贷款贴息扶持政策。充分调动政策性银行和行业基金参与生态保护修复；筹划增设国家级绿色发展银行，

专门从事流域/湿地生态治理的投资和金融通业务，以最大限度地扩大专业金融机构对生态治理的支持。

(2)积极探索资本市场融资渠道。支持湿地、流域沿线地方政府发行专项债券，鼓励大型企业、商业银行、政策性银行以及国际金融机构发行绿色债券。支持符合条件的大型流域/湿地生态治理企业上市融资或再融资，支持与流域/湿地生态治理相关的并购重组，推动流域/湿地生态治理企业做大做强。鼓励社保基金通过购买政府发行的具有长期稳定收益的流域/湿地生态治理专项债券，或购买信用等级评级较高的生态治理企业发行的企业债券，投资流域/湿地生态治理，以进一步拓宽融资渠道。

4.3 加快建立分类型的生态产品价值实现机制

(1)试行分类化的生态产品价值评估核算机制。根据生态产品的不同分类和是否已经市场定价情况，鼓励创新生态产品价值评估核算体系、方法与机制，建立区域实物账户、功能量账户和资产账户，开展实物量统计，探索“生态元”等虚拟货币价值量核算，编制自然资源资产负债表，建立自然资源动态监测制度，及时跟踪掌握各类自然资源变化情况。建立统一权威的自然资源调查监测评价信息发布和共享机制。允许可变现自然资源资产通过抵质押、担保、证券化成为融资工具，形成企业的长效投入与良性回报。

(2)针对已经市场定价的生态产品进一步实现价值的保值增值。聚焦水资源、农业渔业产品、土地和其他已经通过市场交易进行定价的生态产品，深挖消费需求，探索提价增值的途径，形成已经市场定价的生态产品交易机制，完善生态产品市场交易规则，逐步建立起包括自然资源资产投资、自然资源资产消费、自然资源资产评估在内的交易运行制度体系，创新绿色金融产品。

(3)针对尚无市场定价的生态产品创新流域生态银行机制，实现多元化生态补偿。以“谁受益、谁补偿”为原则建立流域/湿地生态银行，包括为整个大流域服务的流域生态银行以及为湿地等小范围区域服务的地区性生态银行。利用“生态元”等虚

拟货币统一核算调节服务等难以用传统方法进行市场定价的生态产品，并作为生态信用，开展事前补偿和事后补偿。事前补偿要求需求方在从事流域开发活动之前先请第三方评估机构对拟开发区域可能破坏的生态资源进行生态元评估，并到生态银行购买相应的生态信用（含加成比例），然后才可以进行开发。对于事后补偿方式，需求方可以先从事土地开发，之后请第三方评估机构对开发过程中破坏的生态资源进行生态元核算，并从生态银行购买生态信用。各省（区、市）的生态元下限确定后，并非所有的区域在其生态元下降至下限以下时都可以通过购买来弥补其缺口。受到国家现有关于土地利用相关制度规制的红线区不能参与生态元的购买。就流域而言，上游、中游和下游地区的地价、工资和技术水平总体来说存在区域分异，这种特征会引导生态元需求方优先购买单位生态元生产成本较低的地区，即地价、工资和技术相对落后地区的生态元。这样，生态银行机制不仅能够利用市场机制保障区域的生态元目标，还能对不同地区的经济差距进行调节，让生态功能区的绿水青山真正转化为金山银山。

(4)针对由于生态建设带动周边的资产升值，创新形成反哺机制。生态建设中污染净化、景观改造、文化提升会进一步形成生态溢价。如通过河道生态补水和地下水源的回补涵养，实现水资源的修复和储备，把当前生态用水转化为未来城市供水水源，既改善了河道生态环境，又储备了战略资源；通过城市河流水质与景观改造，带动周边人群聚集与房价（商铺价值）提升。探索基于生态元等核算方法，通过潜在受益区域匹配和升值拉动效益核算，通过立法，划出一定比例的资金用于生态治理企业生态反哺。

参考文献

- [1] FROGER G, MÉNARD S, MÉRAL P. Towards a comparative and critical analysis of biodiversity banks[J]. *Ecosystem Services*, 2015, 15: 152-161.
- [2] 柳荻, 胡振通, 靳乐山. 美国湿地缓解银行实践与中国启示: 市场创建和市场运行[J]. *中国土地科学*, 2018, 32(1): 65-72.

(下转第48页)

- 地再开发的意见(鲁政办字[2020]32号)[Z]. 济南:山东省人民政府,2020.
- [6] 王磊,王然,姚舜,等. 城镇低效用地再开发政策探析:基于高质量发展要求的思考[J]. 中国国土资源经济,2019,32(11):20-24.
- [7] 林坚,叶子君,杨红. 存量规划时代城镇低效用地再开发的思考[J]. 中国土地科学,2019,33(9):1-8.
- [8] 张勇,郑燕凤,朱伟亚. 低效用地认定及处置政策[J]. 中国土地,2018(6):34-35.
- [9] 何芳,王怡昕,代兵,等. 低效工业用地类型划分与认定标准研究:以上海为例[J]. 中国房地产,2017(21):3-11.
- [10] 自然资源部办公厅. 自然资源部办公厅关于部署开展城市建设用地节约集约利用状况详细评价试点工作的通知(自然资办函[2019]1421号)[Z]. 北京:自然资源部办公厅,2019.
- [11] 张萌,任喜洋. 北京市顺义区腾退空间再利用相关问题研究[J]. 中国国土资源经济,2019,32(6):35-41.
- [12] 瞿忠琼,王晨哲,高路. 基于节地原则的城镇低效工业用地宗地评价:以江苏省泰州市海陵区为例[J]. 中国土地科学,2018,32(11):50-56.
- [13] 毛欣,陈铖. 城镇低效用地的再开发风险及城中村改造:基于义乌市城镇低效用地调查[J]. 城市建设理论研究(电子版),2017(21):81-82.
- [14] 陈浩平. 城镇低效用地再开发工作现状、潜力与对策:以宁波市江东区为例[J]. 浙江国土资源,2016(11):33-36.
- [15] 王智敏. “城中村”改造中的土地困境与制度破解:以广州市为例[J]. 中国国土资源经济,2016,29(3):29-33.
- [16] 上海市人民政府. 上海市人民政府批转市建设管理委等十一部门《关于本市开展“城中村”地块改造的实施意见》的通知(沪府[2014]24号)[Z]. 上海:上海市人民政府,2014.
- [17] 冯小红. 机构改革背景下存量用地开发趋势分析:以深圳市为例[J]. 中国国土资源经济,2019,32(10):46-52.

(上接第13页)

- [3] 刘世锦,刘耕源. 基于“生态元”的全国省市生态资本服务价值核算排序评估报告[R]. 北京:北京腾景大数据应用科技研究院,2019.
- [4] ODUM H T. Environmental accounting, energy and environmental decision making[M]. Wiley New York, 1996.
- [5] BROWN M T, ULI GIATI S. Emergy evaluation of the biosphere and natural capital[J]. *Ambio*, 1999, 28(6): 486-493.
- [6] TIAN X, SARKIS J. Expanding green supply chain performance measurement through emergy accounting and analysis[J]. *International Journal of Production Economics*, 2019(prepublish).
- [7] 刘耕源,杨青. 生态系统服务价值非货币量核算:理论框架与方法学[J]. *中国环境管理*, 2018, 10(4): 10-20.
- [8] YANG Q, LIU G, CASAZZA M, et al. Development of a new framework for non-monetary accounting on ecosystem services valuation[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 34: 37-54.
- [9] YANG Q, LIU G, CASAZZA M, et al. Emergy-based accounting method for aquatic ecosystem services valuation: a case of china[J]. *J Clean Prod*, 2019, 230: 55-68.
- [10] YANG Q, LIU G, GIANNETTI B F, et al. Emergy-based ecosystem services valuation and classification management applied to china's grasslands[J]. *Ecosystem Services*, 2020, 42.
- [11] YANG Q, LIU G, HAO Y, et al. Donor-side evaluation of coastal and marine ecosystem services[J]. *Water Research*, 2019, 166: 115028.
- [12] 徐新良,刘纪远,张树文,等. 中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC)[M]//中国科学院资源环境科学数据中线数据注册与出版系统, 2018. (<http://www.resdc.cn/DOI>). DOI: 10.12078/2018070201.
- [13] XU X. China's annual Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) spatial distribution data set[M]//DATA REGISTRATION AND PUBLISHING SYSTEM OF DATA CENTER OF RESOURCES AND ENVIRONMENTAL SCIENCES C A O S, 2018.
- [14] HRUBY, T. 2012. Calculating Credits and Debits for Compensatory Mitigation in Wetlands of Western Washington, Final Report, March 2012. Washington State Department of Ecology publication #10-06-11. [EB/OL]. [2020-09-17]. www.ecy.wa.gov/biblio/1006011.html.
- [15] HRUBY, T. (2014). Washington State Wetland Rating System for Western Washington: 2014 Update. (Publication #14-06-029). Olympia, WA: Washington Department of Ecology. [EB/OL]. [2020-09-17]. <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/SummaryPages/1406029.html>.
- [16] GREEN J, NEWMAN P. Citizen utilities: the emerging power paradigm[J]. *Energy Policy*, 2017, 105: 283-293.
- [17] United Nations Climate Change (UNCC), UN Supports Blockchain Technology for Climate Action [EB/OL]. (2018-01-22) [2020-09-17]. <https://cop23.unfccc.int/news/un-supports-blockchain-technology-for-climate-action>.
- [18] DIESTELMEIER L. Changing power: shifting the role of electricity consumers with blockchain technology policy implications for eu electricity law[J]. *Energy Policy*, 2019, 128: 189-196.
- [19] 刘耕源,王硕,颜宁聿,等. 生态产品价值实现机制的理论基础:热力学,景感学,经济学与区块链[J]. *中国环境管理*, 2020, 12(5): 28-35.