

# 2000—2020 年中国“两山”价值测算与动态分析<sup>\*</sup>

刘耕源<sup>1,2)†</sup> 杨青<sup>3)</sup> 黄潇霄<sup>1)</sup> 刘畅<sup>1)</sup> 陈钰<sup>1)</sup> 张雯<sup>3)</sup>

(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,100875,北京; (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,100875,北京; (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,510006,广东广州)

**摘要** 对“两山”的系统核算是促进我国“绿水青山”保值增值及山水林田湖草一体化保护的重要前提与基础。生态产品,尤其是调节服务类产品,是度量人从生态系统中获得惠益的关键落脚点,却仍然面临着难以“算账”的基础性难题。基于此,本研究提出了生态元理论体系与核算方法,完成了2000—2020年全国31个省、自治区、直辖市和342个地级级以上城市的生态元评估、排序及变化分析。评估结果准确量化了我国生态系统服务中调节服务类产品的变化态势,从侧面反映了生态文明建设在近年取得的成绩。结果表明:1)2020年全国调节服务为46.70万亿生态元,20年间生态系统服务呈现平缓上升的趋势,总体增长20%,生态环境有所改善;2)31个省区市的调节服务均呈现增长趋势,增幅最大的省份集中在北部和西南地区;3)342个地级市中90%(310/342)的调节服务有所增长,生态系统服务较高的地级市主要分布于西部和内蒙古地区;4)将“两山”拆解为调节服务的“金山”和供给服务的“银山”,有助于精细分析各省份金山银山构成情况,为后续的生态产品价值实现提供潜力依据。

**关键词** 生态产品;生态核算体系;能值分析;生态元;两山

**中图分类号** TL812+.2

**DOI:** 10.12202/j.0476-0301.2021257

## 0 引言

“两山”理论是习近平生态文明思想的重要内容,是贯彻新发展理念、实现经济发展和生态环境保护协同共生的新路径<sup>[1-3]</sup>。生态产品价值实现已经由地方试点、流域区域探索进入,上升为国家层面的重要任务,对于提升经济发展水平和生态资产,实现人民群众物质生活水平和生态产品的双富裕具有重要意义<sup>[4]</sup>。但是,在当前生态文明建设过程中,仍然面临着生态产品价值难以“算账”的基础性难题,导致生态环境政绩考核、生态产品价值实现等缺乏科学依据。生态保护仍是政府提供的公共产品,或是一些社会组织 and 个人的公益慈善行为,因为缺少核算方法,绿色发展还不能成为企业和个人日常的经济行为<sup>[5]</sup>。将“两山”理论落到实处,必须要过生态系统服务价值可度量、可核算这一关。

早期对“两山”的理解更偏重于调节服务,强调对生态环境的非消耗性产品的利用与保护。2010年12月,国务院印发的《全国主体功能区规划》中,首次从国家顶层设计层面提出生态产品权威概念并对生态产品进行定义界定。后期逐步增加了已通过市场

交易定价的生态产品,如农产品、林产品等,强调对生态流量产品的挖掘。随后,又有更多研究探索休闲、美学等生态产品的机会成本,挖掘生态环境非货币化价值的显性化。这使得生态产品的类别完整,并体现出不同类型生态产品价值实现机制的差异性。2021年4月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》,要求各地区各部门因地制宜、分类施策,积极稳妥推进生态产品价值实现工作。自然资源部分类型选取了3批《生态产品价值实现典型案例》;生态环境部也分5批共命名了362个国家生态文明建设示范区和136个“绿水青山就是金山银山”实践创新基地<sup>[4]</sup>。

“两山”一词代表“绿水青山”和“金山银山”,用词简单,却包含多重复杂性。例如:生态系统类型复杂,囊括了山水林田湖草,以及一些区域特有的冰、沙、海等;生态产品定价机制复杂,囊括了热力学<sup>[6-8]</sup>、经济学<sup>[9-10]</sup>、景感学<sup>[11-13]</sup>等多种机制;生态产品受益尺度复杂,调节局地温湿度、净化空气等调节服务多受益在本地尺度(本地公共利益),供给服务等由于供应链的延伸作用受益于更大的区域尺度(私有利益),

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(52070021),环境模拟与污染控制国家重点联合实验室专项经费资助项目(21K01ESPWCW)

<sup>†</sup> 通信作者:刘耕源(1983—),男,博士,教授。研究方向:城市代谢与生态管理。E-mail: liugengyuan@bnu.edu.cn

收稿日期:2021-05-07

固碳释氧的作用是调节全球气候,同样,生物多样性维持虽然是本地保护但受益群体为全人类,因此其受益尺度是全球尺度(人类共同利益)。这些复杂性为生态系统服务核算和生态产品价值实现带来难度。另外,一些生态产品在产生和利用过程中大量混合了人工投入,人工投入是已经市场定价并且已经(或大部分)支付过了的,譬如购买的农药、化肥,使用的电力、燃料,以及人类提供的劳力与服务等,这部分已成为农产品价格中的固定比例。在生态系统和生物多样性经济学(TEEB)最新报告中,强调了对人类投入的剥离<sup>[14]</sup>。如 2021 年在 TEEB 网站发布的贵州省“自然资本核算与生态系统服务价值评估”试点项目最终报告中,在核算贵州省供给服务中指出农作物收获是生产资本(机械)、人力资本(劳动力)和生态资本(耕地)共同作用的结果,因此它产生的市场价值反映了这 3 种资本的贡献。由于直接用市场价值核算会高估生态系统服务价值,因此在核算时应扣除生产资本和人力资本,使得生态系统供给服务价值核算更加科学<sup>[14]</sup>。

各研究团队在生态系统服务核算领域做了不懈努力和系统理解,以满足日益增长的生态系统服务价值和收支情况测算需求,为生态产品定价、价值实现、生态补偿、转移支付等提供依据。现有比较成熟的生态系统服务价值核算方法主要有 3 大类:功能价格法、当量因子法和生态元法(基于能值方法)。

1) 功能价格法自下而上,是基于生态系统服务实物量的多少和实物量的单位价格进行价值核算,此法源于 Costanza 等在《Nature》发表的文章<sup>[9]</sup>。联合国规划署、统计署分别开展和制定的《千年生态系统评估》(MA)<sup>[15]</sup>、《生态系统和生物多样性经济学》(TEEB)、《环境经济核算-试验生态账户》(SEEA-EEA)等国际经典核算框架,都是基于这种核算思路展开。我国生态环境部环境规划院、国家林草局等单位发布的《森林生态系统服务功能评估规范》(2008、2016、2020),以及发改委主推的生态系统服务核算规范等研究,也基于此核算思路开展。这种方法主要从产品供给、调节服务和文化服务 3 个方面进行生态系统服务价值核算。功能价格法以生态经济学和环境经济学为理论基础,核算对象是特定区域生态系统为人类生存与福祉提供的产品与服务的经济价值。一般以年为核算周期,也是一种“净流量”价值。该方法因地制宜、针对性强,具有根据具体区域某时间点的生态特征,逐一归纳生态系统服务功能,并根据当年的服务功能单价逐项估算价值<sup>[16]</sup>。

2) 当量因子法自上而下,是一种简化版生态系统

服务核算方法。谢高地等借鉴 Costanza 等<sup>[9]</sup>的研究,对我国 700 多位生态学背景的专业人员进行多次问卷调查,发表了“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”<sup>[17]</sup>。这种方法在区分全国不同类型生态系统服务功能的基础上,基于可量化的标准构建了不同类型生态系统各种服务功能的价值当量,再结合生态系统面积进行评估。当量因子法本质是一种基于专家背景知识的生态系统服务价值化方法,并在样点、区域和全国尺度生态系统服务功能价值评估中得到广泛应用,方法较为直观易用,数据需求少,特别适用于区域和全球尺度生态系统服务价值的评估<sup>[16]</sup>。

3) 生态元法(基于能值法)。能值(emergy)是产品或服务形成过程中直接或间接投入的一种能量(available energy)总量<sup>[6]</sup>。生态元方法选择太阳能值作为核算量纲,将生态元作为核算基本单位,核算未受人类活动影响的初始状态下生态系统服务对应的生态元;然后分别考虑环境污染和生态环境治理对生态系统服务价值的影响,对生态元进行减值和增值调整;最后运用市场交易方式对核算的生态元进行货币化定价。该方法可对生态资产及服务(尤其是“货币化”失灵的调节服务)进行基于能量成本的统一核算,后期再与货币相链接。它的基本逻辑是自然生态系统最重要的驱动来源是(等效)太阳能,并且生态系统服务的产生必须遵守热力学第一定律。也就是说,进入所有经济和生态过程的能量输入必须等于这些过程的能量输出。而使用这种方法计算出的能量学价值可作为稳定的标的物,不受人类偏好和市场偶然性的影响,为客观地评价生态产品及其对人类经济系统的贡献提供了一种崭新思路。

综上,各种方法均有一定优势,并存在一定的局限性,这也使得当前研究的理论方法滞后于实践管理需求。若要实现“两山”核算与生态产品价值实现,需要克服以下几方面的问题:1)怎样解决复杂性的问题;2)哪种方法学可使得多种生态系统类型、不同定价机制的产品、不同受益群体的服务可计算、可加和、可比较、可分类实现;3)“两山”转化中定价逻辑是什么?基于此,本研究拟基于全新提出的生态元作为统一量化单位,核算我国 2000—2020 年多种生态系统的调节服务类产品变化情况,为摸清我国“绿水青山”家底提供数据基础,为“绿水青山”转化成“金山银山”提供科学思路和路径参考。

## 1 “两山”核算难点与方法选择

1.1 “两山”核算难点分析 《千年生态系统评估报告》将生态系统服务分为 4 大类:供给服务、调节服

务、支持服务和文化服务。由图 1 可知,其中供给服务主要指提供粮食、纤维、燃料等人类所需资源的服务,这些生态产品已经通过市场机制完成了价值实现,已存在农产品、木材等的市场价格。文化服务主要涉及提供精神、娱乐休闲和文化收益等方面的服务,这些服务已部分通过市场机制完成了价值实现,如景区的旅游收入等。支持服务主要包括在营养循环、水循环等方面维持生态功能的服务,多为一种全球尺度的服务,为避免重复计算,区域尺度的生态系统服务核算通常未计算此服务。调节服务主要是由

生态系统过程的调控功能获得的惠益,如气候调节、土壤侵蚀调节、水文调节、空气净化、水质净化等。而该调节功能在 de Groot 等<sup>[18]</sup>的分类中是生态系统服务的第一大类功能(其余 3 项为生境功能、生产功能和信息功能)。但相比 de Groot 等偏向生态中心主义角度的分类体系,MA 的分类更偏向从人类中心主义出发,注重经济效益的实现。对于生态产品价值实现而言,通过核算和进一步的货币化便于纳入生态责任考量和经济转化,供给服务等多在市场机制中完成定价,本研究主要聚焦核算调节服务。

生态系统服务

	供给服务		文化服务		调节服务
	从生态系统获得的产品:		从生态系统获得的非物质惠益:		由生态系统过程的调控功能获得的惠益:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 粮食</li> <li>● 淡水</li> <li>● 薪柴</li> <li>● 纤维</li> <li>● 生物化学物质</li> <li>● 遗传资源</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 消遣与生态旅游</li> <li>● 精神与宗教</li> <li>● 美学</li> <li>● 激励</li> <li>● 教育</li> <li>● 文化遗产</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 气候调节</li> <li>● 土壤调节</li> <li>● 气温调节</li> <li>● 空气净化</li> <li>● 水质净化</li> </ul>
投入端	自然贡献	人工投入	自然贡献	人工投入	自然贡献
形成产品	农、林、牧、渔产品		休闲、旅游、教育等		调节服务类生态产品
定价机制	已通过市场机制(如产品成本等)完成定价		部分通过对旅游产品价格认识与市场需求定价		需通过市场经济中的价格机制、供求机制和竞争机制发现
理论基础	经济学		景感学、经济学等		热力学
统一量纲	¥/\$		¥/\$/打分		sej/生态元

图 1 生态系统服务的机制分析

调节服务型的产品大多为无形的、且难以商品化的。该类产品具有明确的生态属性或功能,可考虑代际利益;具有一定的经济属性(如对损害的减少)并能产生附加价值;且能人为开发利用。但由于其无形无法达成实体占有,目前无法依据实体使用价值的取得来确定定价。但从考量这类生态产品的生态属性而言,热力学第二定律很重要,即所有生态和经济过程的耗散性意味着能量和物质(热力学)价值的下降,因此,在生态产品定价中必须考虑这一点。能值(emergy)是产品或劳务形成过程中直接或间接投入应用的一种有效能(exergy)总量<sup>[6]</sup>,单位为太阳能焦耳(sej)。Odum<sup>[6]</sup>所绘制的能流图表明了能量流和伴随的货币逆流解析所有经济活动,并得出了一系列产品的“能值转换率”,以能值的形式衡量了经济系统中各种产品的热力学价值。Liu 等<sup>[9]</sup>计算了全球 1000 余种产品和 213 个国家近 15 年的能值核算数据,发现生物圈层级系统具有高度的自组织性并成幂律分布(幂律

指数为-1.054)。从该幂律分布也发现,生物圈的基本驱动力(太阳能、潮汐能和地热能)之和的对数值约为 24。而当能量总量的对数趋于 0 时,转化率也趋于最大值 24。这 2 个边界可能代表生物圈中可实现的能量转化潜力。能值分析不仅是环境核算的重要方法,它对物质流动和能量传递的细致剖析,也使其成为系统分析和评价的重要工具。它允许量化支持每个流量或存储的环境工作量,从禀赋价值视角(贡献者视角, donor side)来评估每个资源,而不仅仅基于人类偏好和市场偶然性,其方法学的不确定性与准确性也得到了充分的探讨<sup>[20-21]</sup>。该方法易于统一核算与建立有形和无形生态产品的物理流量账户,剥离人类劳动和非人类劳动成果,并可后续链接市场价值形成生态产品功能营收账户(如环境税收账户和生态收支账户等)。能值分析方法相较于传统经济学方法更加适用于核算来自生态系统的无形生态产品,并确定可能的交易和金融属性。

**1.2 生态元分析方法框架** 基于能值分析方法的生态元法链接了生态学、能量学和经济学, 基于该方法的早期论述<sup>[22]</sup>, 并以此提出生态元分析方法框架:

1) 生态元法聚焦于目前缺乏有效核算的调节服务类生态产品的价值. 其中, 深层生态学倡导的原则强调生态系统无形价值转化<sup>[23]</sup>, 对无形价值的商品观念的重视和转变, 代表了“两山”转化的核心基础.

2) 选择太阳能值作为核算的统一量纲. 生态系统调节服务价值的不同存在形式, 彼此之间不可通约, 也无法直接进行加总. 找到内在统一的量纲或尺度是价值核算的关键所在. 本研究选择太阳能值作为核算的统一量纲, 打通了不同生态服务功能之间不可加和的传统障碍, 也避免了直接量化为货币价值后难以进一步向市场价值和交易价值转化的困境. 该方法定义 1 生态元=10<sup>10</sup> 太阳能焦耳, 将生态元作为生态产品的基本统计单位, 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, 推进生态系统服务市场化.

3) 建立基于生态元的生态系统服务核算框架. 首先, 核算生态系统未受污染或人类活动影响情形下, 不同形式生态系统服务价值所对应的生态元, 并根据加和原则进行加总核算. 其中, 生态系统类型可包括林地(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(见表 1). 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、调节局地温湿度等<sup>[8, 24-26]</sup>. 其次, 考虑环境污染和其他因素破坏等对生态系统服务价值的负面影响<sup>[27]</sup>, 或考虑生态环境治理政策对生态系统服务价值的正面影响, 对生态元进行减值或增值调整. 通过上述步骤, 核算得出特定区域以生态元表示的生态系统服务价值.

表 1 本研究纳入核算的生态系统类型及其服务

生态系统服务分类	林地		草地			水域			
	有林地	灌木	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	河流	湖泊	水库坑塘	沼泽地
固碳释氧	√	√	√	√	√	√	√	√	√
构建土壤	√	√	√	√	√				
补给地下水	√	√	√	√	√	√	√	√	√
净化空气	√	√	√	√	√				
净化水质						√	√	√	√
减少水土流失	√	√	√	√	√				
调节局地温湿度	√	√	√	√	√	√	√	√	√

注: “√”表示上方的生态系统具有左边相应的生态系统服务, 空格表示无此项服务.

4) 通过市场价格形成方式形成真实货币价格. 核算得出生态系统服务对应的生态元后, 需要进一步确定上述生态元等于多少现实经济世界中的货币, 或者说, 一个生态元等于多少人民币. 本研究认为应遵循市场经济中价格形成的基本原理, 通过真实的市场交易方式, 而不是专家计算定价的方式, 形成生态系统服务价值的真实货币价格. 具体可探索借助已通过市场化形成的房价体系、特定区域生态环境基金(浙江省杭州市余杭区青山村建立水基金促进市场化多元化生态保护补偿案例)<sup>[28]</sup>、上市交易(德国生态账户及生态积分案例)<sup>[28]</sup>、环境财产的自由交易与私有化<sup>[29]</sup>等方式.

**1.3 数据来源** 本研究计算生态元使用的数据主要包括 2 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 2000—2020 年全国分辨率为 100 m×100 m (2000、2005、2010、2015 年)、30 m×30 m (2020 年) 的遥感数据. 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)、归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)等, 数据来源详见表 2. 由于数据可得性, 本研究的省份不包括港澳台地区, 仅包括中国大陆 31 个省区市. 由于逐年遥感数据解译会存在一些偏差, 本研究在《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》<sup>[22]</sup>的基础上, 对 2000—2015 年的数据进一步检查、校准与修正, 并将全国生态元的计算更新至 2020 年.

表 2 本研究数据来源

数据类型	分辨率	来源
太阳辐射	省级	<a href="https://wenku.baidu.com/view/4479d2c381eb6294dd88d0d233d4b14e85243e2a.html">https://wenku.baidu.com/view/4479d2c381eb6294dd88d0d233d4b14e85243e2a.html</a>
降水量	省级	中国2001—2020年各省份统计年鉴, <a href="https://sslvpn.bnu.edu.cn/kns55/Navil/, DanaInfo=tongji.cnki.net+navidefault.aspx">https://sslvpn.bnu.edu.cn/kns55/Navil/, DanaInfo=tongji.cnki.net+navidefault.aspx</a>
DEM	250 m	<a href="http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=123">http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=123</a>
NPP	1 000 m	<a href="https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3v055/">https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3v055/</a>
蒸散发量	1 000 m	<a href="https://cgiarcsi.community/data/global-high-resolution-soil-water-balance/#disclaimers">https://cgiarcsi.community/data/global-high-resolution-soil-water-balance/#disclaimers</a>
NDVI	1 000 m	<a href="http://www.resdc.cn/">http://www.resdc.cn/</a> <sup>[30]</sup>

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, 因而假定一个省份中所有生态系统的太阳辐射和降水量相同。

## 2 结果与分析

### 2.1 2000—2020 年我国生态元变化特征与中国生态元地图

由图 2 可知, 2000—2020 年中国生态元总值从 2000 年的 55.90 万亿生态元增长到 2020 年的 66.99 万亿生态元, 上升了 19.82%。相对于 2000—

2020 年我国 GDP 变化情况(图 2), 生态元总值增速较为平缓, 体现出我国生态环境逐年平稳改善的状况。这与近年来我国践行“绿水青山就是金山银山”的发展理念及生态文明建设的实际成效相一致。由图 2 还可知, GDP 与生态元总值共同上升, 但 GDP 增速明显快于生态元总值。

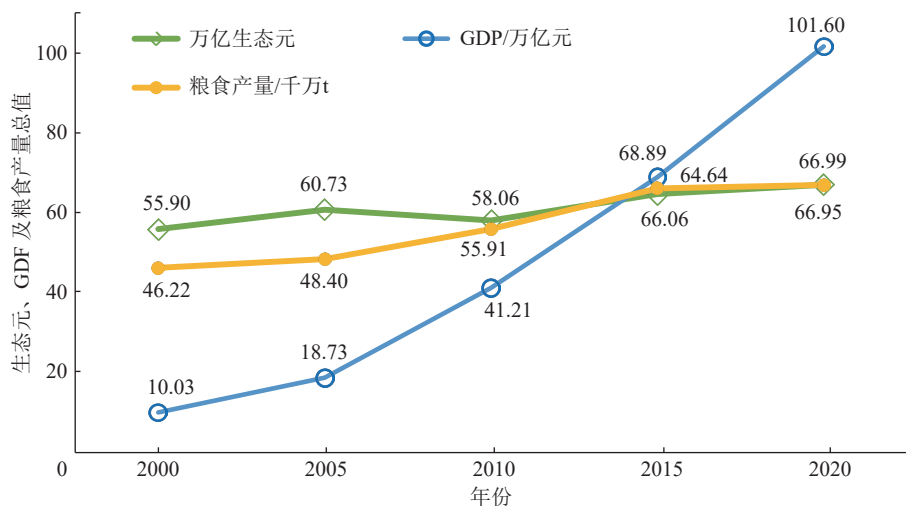


图 2 2000—2020 年我国生态元、GDP 与粮食产量变化趋势

基于生态元的计算结果, 本文以生态系统面积生态元为单位绘制 2020 年中国生态元地图(图 3)。由图 3 可知, 全国范围内的生态系统面积生态元集中于 0.35~31.35 生态元·m<sup>-2</sup> 之间, 生态系统面积生态元高值区集中在南方丘陵区、东北的大小兴安岭及长白山、西南的横断山脉等; 低值区主要集中在中国西部, 如青藏高原、新疆等。就各生态系统类型而言, 9 类生态系统中生态系统面积生态元最高的为有林地生态系统, 31 个省份中有 28 个省区市(上海、宁夏除外)有林地面积生态元大于其余生态系统, 为 24.58~31.35 生态元·m<sup>-2</sup>, 宁夏、上海分别为 17.23、14.83 生态元·m<sup>-2</sup>。其中海南有林地生态系统面积生态元最高, 为 31.35 生态元·m<sup>-2</sup>, 青海紧随其后, 为 30.75 生态元·m<sup>-2</sup>。其后面积生态元较高的为灌木及湖泊生态系统。北京市灌木生态系统面积生态元最

高, 为 24.53 生态元·m<sup>-2</sup>, 其次为福建、海南、青海等, 分别为 24.34、24.19 和 23.96 生态元·m<sup>-2</sup>。新疆、青海的湖泊生态系统面积生态元最大, 分别为 23.94 和 23.86 生态元·m<sup>-2</sup>。湿地生态系统面积生态元整体较林地和草地生态系统小, 面积生态元低于 5 生态元·m<sup>-2</sup> 的生态系统除 4 个省份的草地(青海和新疆的低草、宁夏的中草和西藏的各类草地)外, 其余都为湿地生态系统。其低值区主要集中在上海、重庆、河南、河北及东三省。如上海湖泊生态系统面积生态元最小, 为 0.35 生态元·m<sup>-2</sup>, 其次为重庆市沼泽(0.79)、上海市河流(1.12)、河南(1.55)、河北(1.65)及辽宁(1.74)的沼泽地。

### 2.2 2000—2020 年中国各省区市生态元变化特征

#### 2.2.1 各省区市生态元总值变化特征

2000—2020 年, 我国 31 个省区市生态元核算结果详见表 3 左侧。

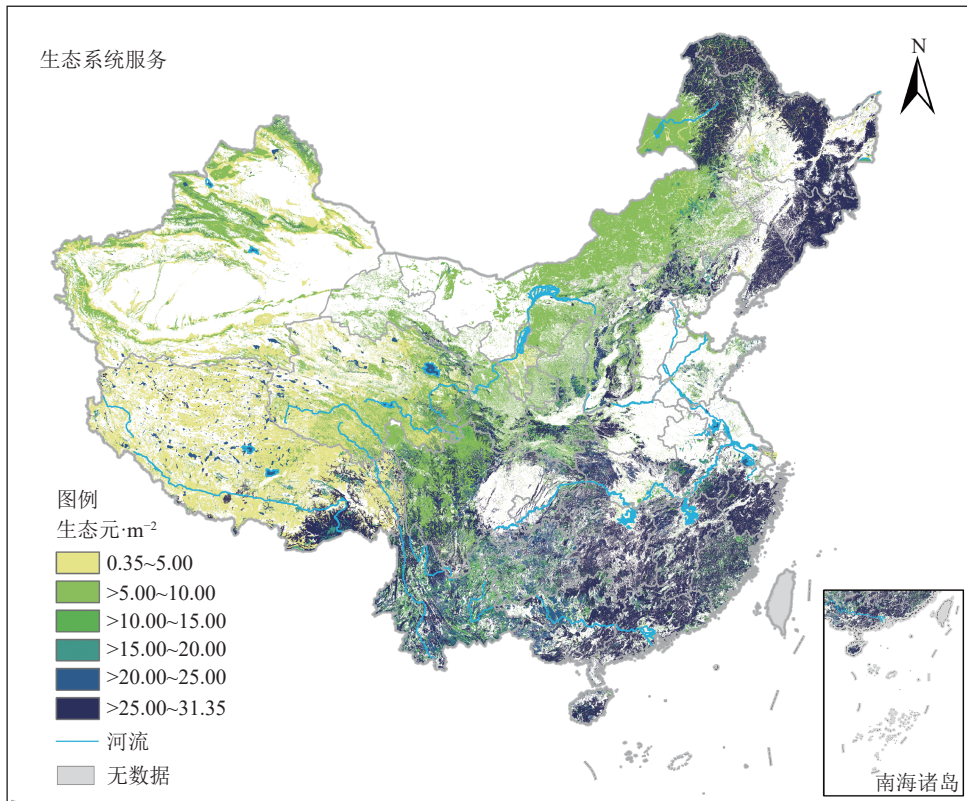


图 3 2020 年中国生态系统面积生态元

由表 3 可知,生态元高值区主要集中在西部和西南地区,其中 2020 年内蒙古、西藏、黑龙江、云南和四川生态元总值排名前五,分别为 70.42、56.91、55.57、52.99 和 49.22 千亿生态元。生态元低值区主要集中在直辖市或面积较小的省/自治区,如 2020 年上海的生态元总值排名倒数第一,仅为 0.14 千亿生态元,天津、宁夏、北京分布排名倒数第二、三和四,其生态元分别为 0.34、1.44 和 1.91 千亿生态元。

就增长率而言,近 20 年,除云南有小幅(-0.90%)下降外,其余省区市生态元都呈现增长趋势。增幅最大的为上海市,增长了 116.61%,其次为宁夏,增长了 95.13%。由表 3 可知,2015—2020 年生态元增长率变动与 20 年间的变动特征存在差异,通过 5 年间的变动情况可以更好地评估近年的生态治理成效,81%(25/31)的省份表现出生态元增长的趋势。

以宁夏为例,导致宁夏生态元价值提高主要有 2 个原因:1)2000—2020 年宁夏部分生态系统面积的增加,如有林地、灌木林、高覆盖度草地、湖泊、水库坑塘和沼泽生态系统面积分别增加了 13%、9%、24%、9%、101% 和 140%;2)尽管中、低覆盖度草地及河流生态系统面积在 2000—2020 年有所下降,但其面积生态系统服务呈增加趋势,如中、低覆盖度草地生态元中占比最大的为固持土壤,其增加的原因为 2000—2020 年宁夏降水的增加(45%),进而由于植被

的覆盖生态系统可固持更多土壤、减少更多水土流失。

就 2000—2020 年生态元价值排名位次而言:16%(5/31)的省份排名上升,其中位次上升最大的为西藏,上升了 3 个位次,其次为重庆,上升了 2 个位次;23%(7/31)的省份排名下降,其中位次下降最多的为云南,从第 2 位下降至第 4 位,下降 2 个位次;61%的省份(19/31)的排名保持不变。

**2.2.2 各省区市面积生态元变动特征** 考虑到不同省级单位因国土面积差异等因素,本文进一步对面积的价值进行核算。2000—2020 年,我国 31 个省区市面积生态元核算结果详见表 3 右侧。

由表 3 可知,面积生态元高值区集中在南方省区市,其中 2020 年浙江、福建和广东的面积生态元排名前三,分别为 16.26、15.43 和 15.05 生态元· $m^2$ 。面积生态元低值区主要集中于华北和西北地区,如 2020 年山东的面积生态元仅为 1.84 生态元· $m^2$ ,这也与山东省生态系统面积占全省总面积比例较小有关(仅为 16.78%)。

就 2000—2020 年面积生态元排名位次而言,35%(11/31)的省区市排名上升,其中位次上升最大的为江西和吉林,都上升了 3 个位次。41%(13/31)的省份排名下降,其中位次下降最多的为海南、云南、安徽和山东,都下降了 3 个位次。23%的省份(7/31)的排名变化较小或保持不变。

表3 中国部分省份生态元及其变化

省份	生态元总值及其变化							面积生态元及其变化						
	生态元总值/千亿生态元					2020 排名	2000—2020 排序变动	变化率/%		面积生态元/(生态元·m <sup>2</sup> )		2020 排名	2000—2020 排序变化	
	2000	2005	2010	2015	2020			2000—2020	2015—2020	2000	2020			
内蒙古	55.09	65.18	61.27	66.27	70.42	1	—	27.83	6.26	4.66	5.95	20	—	
西藏	38.46	42.22	39.89	43.70	56.91	2	+3	47.99	30.23	3.13	4.63	22	+2	
黑龙江	48.75	57.23	55.55	55.01	55.57	3	—	14.01	1.03	10.31	11.75	11	-1	
云南	53.47	55.41	55.48	60.36	52.99	4	-2	-0.90	-12.21	13.57	13.45	7	-3	
四川	40.37	43.98	43.76	48.27	49.22	5	-1	21.91	1.96	8.31	10.13	14	-1	
广西	31.93	30.30	31.17	34.84	33.74	6	—	5.69	-3.16	13.44	14.20	5	+1	
新疆	27.85	31.83	34.85	30.51	32.55	7	—	16.86	6.68	1.68	1.96	30	-1	
青海	25.16	30.19	28.26	28.50	31.4	8	—	24.81	10.15	3.48	4.35	23	-1	
广东	24.25	24.02	23.02	25.67	27.05	9	—	11.57	5.36	13.49	15.05	3	+2	
湖南	23.98	23.86	3.84	26.13	26.92	10	—	12.25	3.01	11.32	12.71	9	-1	
吉林	18.37	21.07	21.27	23.48	24.04	11	+1	30.88	2.38	9.80	12.83	8	+3	
江西	21.06	21.64	21.62	23.84	23.90	12	-1	13.47	0.25	12.62	14.32	4	+3	
贵州	18.31	18.63	18.54	21.81	21.11	13	—	15.27	-3.21	10.40	11.98	10	-1	
福建	17.86	17.46	17.03	18.43	19.14	14	—	7.18	3.82	14.40	15.43	2	—	
湖北	15.31	16.20	16.04	17.47	17.92	15	+1	16.99	2.57	8.24	9.64	15	-1	
浙江	15.41	15.53	15.61	16.62	17.15	16	-1	11.29	3.19	14.61	16.26	1	—	
陕西	11.96	13.03	13.28	15.00	15.86	17	—	32.57	5.70	5.82	7.71	18	+1	
甘肃	11.61	13.07	12.99	14.51	15.82	18	—	36.19	8.98	2.73	3.71	25	—	
辽宁	10.49	12.31	12.46	15.24	15.17	19	—	44.60	-0.44	7.06	10.21	13	+2	
山西	9.23	10.32	10.61	12.71	13.49	20	—	46.15	6.06	5.89	8.61	17	—	
河北	8.62	10.34	10.26	10.81	11.16	21	+1	29.51	3.22	4.56	5.91	21	—	
安徽	8.92	9.33	9.27	9.93	9.99	22	-1	11.95	0.61	6.37	7.13	19	-3	
重庆	4.80	5.66	5.45	6.62	7.44	23	+2	55.21	12.35	5.82	9.03	16	+2	
河南	5.42	6.20	6.55	7.32	6.31	24	-1	16.31	-13.80	3.25	3.78	24	-1	
海南	4.81	4.26	4.39	4.94	4.89	25	-1	1.69	-1.01	13.59	13.82	6	-3	
山东	2.76	2.97	2.87	2.71	2.90	26	—	4.93	7.07	1.75	1.84	31	-3	
江苏	2.36	2.43	2.39	2.43	2.60	27	—	10.05	6.87	2.20	2.43	27	-1	
北京	1.38	1.52	1.57	1.83	1.91	28	—	38.91	4.53	8.39	11.65	12	—	
宁夏	0.74	0.79	1.05	1.07	1.44	29	—	95.13	33.97	1.11	2.17	28	+2	
天津	0.25	0.26	0.25	0.27	0.34	30	—	36.34	25.52	2.09	2.85	26	+1	
上海	0.06	0.06	0.06	0.07	0.14	31	—	116.61	96.15	1.00	2.16	29	+2	

注：“+”表示上升；“-”表示下降；“—”表示无变动。

**2.3 2000—2020年中国342个地级市生态元变动特征** 由于数据可得性,本研究选取中国342个地级市为研究对象,核算其2000—2020年的生态元,以中国31个省会城市为例,具体变化特征见表4。

由表4可知,2020年重庆市、哈尔滨市、杭州市、昆明市和南宁市生态元排名为31个省会城市的前五,分别为7468.01亿、6331.53亿、3141.30亿、

2548.05亿和2471.64亿生态元;华北、华东平原的地级市普遍为生态元的低值区,省会城市中2020年生态元最小的为合肥,为98.50亿生态元,上海、郑州排名倒数第二、第三,分别为136.77和154.37亿生态元。

31个省会城市中有35%(11/31)的城市生态元排名下降,其中:下降最多的为成都市,从第9位下降到第14位,共下降5位;其次为沈阳市,下降了4个位

表 4 2000—2020 年省会城市生态元及其排名变化

亿生态元

省会城市	2000	2005	2010	2015	2020	2020排名	2000—2020排名变化
重庆	4795.28	5649.25	5451.68	6624.34	7468.01	1	-1
哈尔滨	5259.68	6223.32	6029.67	6300.05	6331.53	2	+1
杭州	2823.40	2867.29	2883.06	3064.59	3141.30	3	—
昆明	2610.02	2718.25	2724.59	2930.21	2548.05	4	—
南宁	2262.90	2115.00	2182.27	2441.26	2471.64	5	—
北京	1376.41	1515.59	1565.99	1829.19	1912.01	6	-1
福州	1687.41	1667.70	1638.18	1788.52	1854.70	7	+1
长沙	1313.23	1314.99	1408.19	1425.25	1473.03	8	—
拉萨	874.95	948.01	898.69	1168.61	1240.38	9	-1
贵阳	902.07	923.34	924.56	1087.66	998.34	10	+1
呼和浩特	733.48	886.83	832.89	864.02	878.96	11	-1
西安	714.80	761.18	772.72	866.57	867.54	12	-1
广州	751.64	731.76	705.87	786.28	824.34	13	+2
成都	369.12	402.47	398.62	438.06	641.66	14	-5
兰州	377.80	436.89	452.62	496.90	639.48	15	-3
石家庄	448.05	525.11	518.12	567.20	577.47	16	+2
西宁	434.85	531.64	475.66	484.93	563.55	17	+2
太原	405.89	447.79	459.56	538.58	562.32	18	+2
乌鲁木齐	403.72	458.01	488.38	441.20	530.47	19	+2
长春	226.65	257.90	263.53	367.43	382.48	20	-2
南昌	357.76	390.53	336.91	380.97	353.76	21	+1
天津	249.96	259.21	254.43	257.40	340.79	22	+1
沈阳	170.68	194.14	194.92	280.49	274.04	23	-4
南京	212.72	223.31	218.05	228.85	257.95	24	—
武汉	218.98	224.61	219.69	226.02	241.71	25	+2
银川	108.52	117.91	148.54	152.98	214.61	26	-3
济南	203.34	216.75	210.88	211.19	205.06	27	+2
海口	195.47	170.97	177.21	192.42	182.41	28	+2
郑州	151.22	168.51	176.36	152.09	154.37	29	+1
上海	63.14	60.31	59.03	77.67	136.77	30	-1
合肥	87.92	90.35	89.72	94.62	98.50	31	+1

注：“+”表示上升；“-”表示下降；“—”表示无变动。重庆、北京、天津、上海为直辖市。

次，有 48%(15/31)的省会城市生态元排名上升，上升位次较为平稳，为 1~2 个位次，如广州、石家庄、西宁等，有 16%(5/31)的省会城市生态元排名保持不变，为杭州、昆明、南宁、长沙和南京。

图 4 描绘了 2000—2020 年全国地级市生态元变动情况，由图 4 可知，近 20 年，生态系统服务价值在全国 90%(310/342)的地级市有所增长，可明显看出，处于华东地区、华北地区和西南地区的地级市增长幅度较大，其中，20 个城市的生态元增长超过 1 倍，10%(34/342)的地级市生态元表现为下降，其零星分

布在华北、西北和西南等地区。

### 3 讨论

上述的生态元计算聚焦于调节服务类产品，但是能值分析方法可以链接自然和社会经济系统，统一核算供给服务等其他生态产品。如果把调节服务命名为“金山”(调节服务通常占比较大)，那么已经价值实现的供给服务可以命名为“银山”，可基于粮食产量的实物量数据乘以其能值转化率算出“银山”值，具体计算方法为

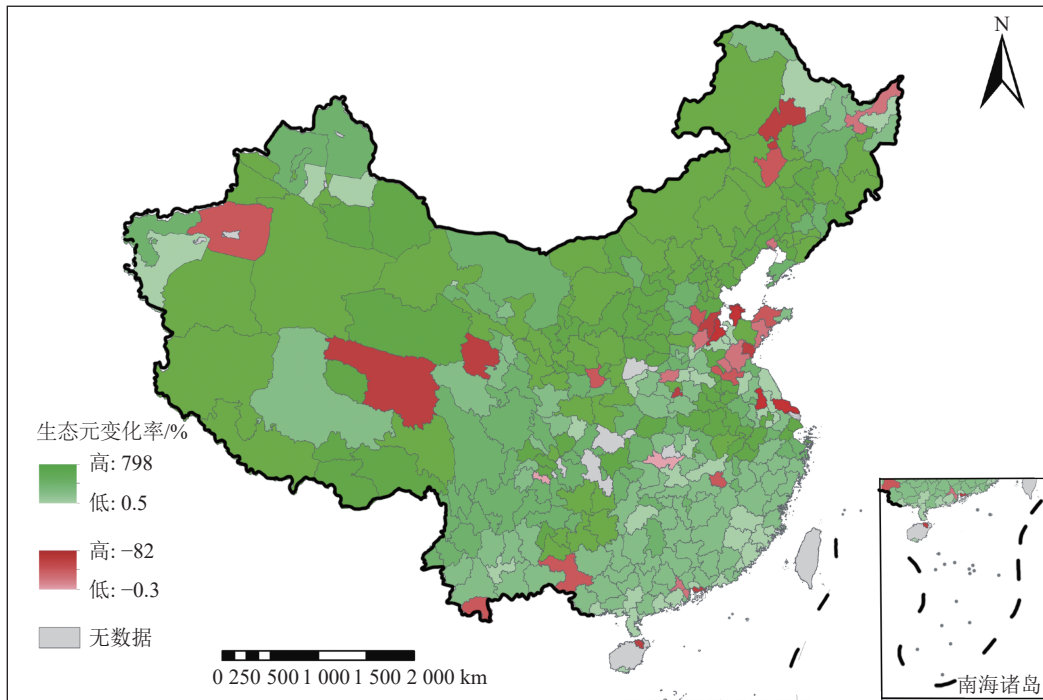


图4 2000—2020年中国地级市生态元变动情况

$$E_{mc} = \sum_{i=1}^4 (P_i \cdot 10^6 \cdot E_{UVi} \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-10}), \quad (1)$$

式中： $E_{mc}$ 为粮食作物产量对应的生态元（生态元 $\cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ ）； $P_i$ 表示第*i*种粮食作物的面积产量（ $t \cdot hm^{-2} \cdot 网格^{-1}$ ）； $10^6$ 为t转化为g的转化系数； $E_{UVi}$ 表示第*i*种粮食作物的能值转化率（ $sej \cdot g^{-1}$ ）； $10^{-4}$ 为 $hm^2$ 转化为 $m^2$ 的转化系数； $10^{-10}$ 为太阳能值转化为生态元的转化系数。由于数据可得性，纳入本研究的粮食作物包括水稻、小麦、玉米和大豆。本研究计算“银山”使用的数据包括中国主要粮食面积产量（ $t \cdot hm^{-2} \cdot 网格^{-1}$ ，1网格=0.5°×0.5°，数据来源于文献[31]）；粮食作物能值转化率（ $sej \cdot g^{-1}$ ）等数据来源于文献[32]。农产品中自然贡献比例非常低，为1.4%~2.9%，大部分的贡献来自人工投入，而且这部分已经在农业生产过程中支付过费用<sup>[33]</sup>。根据TEEB的要求<sup>[14]</sup>，需在核算时扣除生产资本和人力资本。因此，需要将农产品计算的总能值结果乘以2.15%的均值，以剥离人工投入。

由于“金山”的生态系统服务和“银山”的粮食产量均可用太阳能统一度量（即本研究中的生态元单位：生态元 $\cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ ），因此可在ArcGIS中采用栅格计算器将“金山银山”2个图层相加，实现“两山”统一核算。但须说明，本研究中的“银山”部分不是所有的供给服务类产品，仅包含4种主要粮食产品。

从表5可以看出：内蒙古既是金山的高产区、又是银山的高产区，“两山”总值12.35万亿生态元，处

于全国第一；云南、四川、黑龙江、西藏、吉林等地的“两山”总值均较高，但仍能看出金山银山的占比是有显著差别的，黑龙江、西藏等地以金山产出为主，金山/银山比分别为284.57和6.15，反映出大量的自然禀赋和调节服务转化潜力；内蒙古、云南、四川等“两山”高值区域的金山/银山比均为1.00~2.00，反映出已有较好的市场化转化；吉林的金山/银山比为0.77，表明吉林较多地开发了供给服务，相比金山已有更显著比例的市场化转化。该指标有助于精细分析省区市金山银山构成情况，为后续的价值实现提供潜力依据。

## 4 结论

本研究提出了生态元理论体系与核算方法，完成了2000—2020年全国31个省区市和342个地级以上城市（不含港、澳、台、三沙市及数据缺失地区）的生态元评估、排序及变化分析。评估结果准确量化了我国生态系统服务中调节服务类产品的变化态势，侧面反映了生态文明建设在近年取得的成绩。本研究的核算实际是提供了无形生态产品的统一标的物的值，也为下一步应用内在价值去衡量市场机制下的价格提供了基础，也提高了调节类生态产品市场机制被接受的概率和形成合同关系的概率。当然，下一步生态元的定价的形成还需完成生态环境的权利主体和产权划定，以及相关的市场化模型的使用。但是生态元提供了一种链接生态产品与市场的核算单位，并且随

表 5 2020 年中国“金山银山”生态元

万亿生态元

地区	金山	银山(不完全核算)					两山总值	金山/银山比	
		水稻	小麦	玉米	大豆	总值(未剥离人工投入)			总值(剥离人工投入)
内蒙古	7.04	20.56	54.77	40.00	133.81	247.01	5.31	12.35	1.33
云南	5.30	25.14	1.30	31.01	92.77	151.35	3.25	8.55	1.63
吉林	2.40	20.97	17.71	26.24	79.06	144.35	3.10	5.50	0.77
四川	4.92	20.25	2.61	25.91	84.21	132.98	2.86	7.78	1.72
广西	3.37	18.52	0	23.53	72.62	114.67	2.47	5.84	1.37
河南	0.63	12.33	16.55	16.85	52.42	98.15	2.11	2.74	0.30
湖南	2.69	16.64	2.36	3.25	71.61	93.86	2.02	4.71	1.33
安徽	1.00	12.17	17.10	15.00	47.36	91.63	1.97	2.97	0.51
河北	1.12	11.48	8.96	16.91	51.53	88.88	1.91	3.03	0.59
江西	2.39	12.30	3.30	1.82	53.90	71.31	1.53	3.92	1.56
山西	1.35	3.69	6.36	13.15	39.50	62.70	1.35	2.70	1.00
辽宁	1.52	8.76	8.08	10.93	32.87	60.64	1.30	2.82	1.17
福建	1.91	9.07	0	0	40.65	49.72	1.07	2.98	1.79
黑龙江	5.56	5.25	6.84	6.96	22.99	42.04	0.90	6.46	6.15
湖北	1.79	12.10	14.26	3.82	12.53	42.71	0.92	2.71	1.95
江苏	0.26	4.90	6.13	5.41	17.64	34.09	0.73	0.99	0.35
广东	2.71	5.46	0	0.90	22.95	29.31	0.63	3.34	4.30
陕西	1.59	16.39	5.15	1.67	5.40	28.92	0.62	2.21	2.56
重庆	0.74	4.68	1.85	3.92	12.51	22.97	0.49	1.23	1.50
新疆	3.25	14.69	2.47	0	0	17.16	0.37	3.62	8.81
浙江	1.72	3.11	0.78	0	12.78	16.67	0.36	2.08	4.80
贵州	2.11	2.52	0	2.62	8.25	13.39	0.29	2.40	7.33
北京	0.19	1.35	0.46	1.72	5.15	8.68	0.19	0.38	1.02
西藏	5.69	0.12	0	0	0.81	0.93	0.02	5.71	284.57
甘肃	1.58	0.70	1.69	0	0.13	2.52	0.05	1.63	29.16
山东	0.29	0.40	0.48	0.62	1.95	3.46	0.07	0.36	3.90
青海	3.14	0	0.07	0	0	0.07	0	3.14	2086.38
宁夏	0.14	0.72	1.32	0.08	0	2.12	0.05	0.19	3.07
海南	0.49	0.71	0	0	0	0.71	0.02	0.51	32.10
天津	0.03	0.09	0.06	0.12	0.38	0.64	0.01	0.04	2.18
上海	0.01	0	0	0	0	0	0	0.01	-

着能量传递过程可确定受益主体,为后续探索构建生态产品价格体系、新型公益性生态产品交易体系提供基础。此外,通过核算特定区域生态元总量增长和结构变动情况,可帮助各级政府科学制定绿色发展规划,准确评估生态文明建设现状,有效识别生态文明建设的薄弱领域和存在的问题,合理确定绿色发展的目标体系、重点任务和战略举措等。

**数据共享** 本文在期刊网站上提供 2000—2020 年全国 31 个省、直辖市、自治区生态元总值

和 2000—2020 年全国 342 个地级以上城市生态元总值数据链接: <http://www.bnujournal.com/cn/article/doi/10.12202/j.0476-0301.2021257>。

## 5 参考文献

- [1] 陈梅,纪荣婷,刘溪,等。“两山”基地生态系统生产总值核算与“两山”转化分析:以浙江省宁海县为例[J].生态学报,2021,41(14):5899
- [2] 秦昌波,苏洁琼,王倩,等。“绿水青山就是金山银山”理论实践政策机制研究[J].环境科学研究,2018,31(6):985

- [3] 郑博福, 朱锦奇. “两山”理论在江西的转化通道与生态产品价值实现途径研究[J]. 老区建设, 2020(20): 3
- [4] 刘旭. 探索生态产品价值实现路径 促进生态资源资产协同发展[EB/OL]. 2021[2022-01-01]. [http://www.qstheory.cn/zoology/2021-12/24/c\\_1128195591.htm](http://www.qstheory.cn/zoology/2021-12/24/c_1128195591.htm)
- [5] 刘世锦. 绿色发展和经济增长并不矛盾[EB/OL]. 2020[2021-05-01]. <http://www.gmpsp.org.cn/portal/article/index/id/17699/cid/26.html>
- [6] ODUM H T. Environmental accounting: emergy and environmental decision making [M]. [S. l.]: John Wiley & Sons Inc, 1996
- [7] BROWN M T, BARDI E. A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios #3: Emergy of Ecosystems [M]. Center for Environmental Policy: University of Florida, Gainesville, 2001
- [8] YANG Q, LIU G Y, CASAZZA M, et al. Development of a new framework for non-monetary accounting on ecosystem services valuation[J]. Ecosystem Services, 2018, 34: 37
- [9] COSTANZA R, D'ARGE R, de GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253
- [10] COSTANZA R, de GROOT R, BRAAT L, et al. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?[J] Ecosystem Services, 2017, 28: 1-16
- [11] ZHAO J Z, LIU X, DONG R C, et al. Landsenses ecology and ecological planning toward sustainable development[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2016, 23(4): 293
- [12] 崔宁, 于恩逸, 吴迪, 等. 景感营造在自然保护区生态系统服务提升中的应用研究[J]. 生态学报, 2020, 40(22): 8053
- [13] 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
- [14] NBS China. Ecosystem Accounts for China. Results of the NCAVES Project[EB/OL]. 2021[2022-01-01]. [https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/documents/China\\_Inception\\_Mission/ncaves\\_-\\_china\\_-\\_country\\_report\\_-\\_final\\_web\\_ready.pdf](https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/documents/China_Inception_Mission/ncaves_-_china_-_country_report_-_final_web_ready.pdf)
- [15] Millennium Ecosystem Assessment (MA). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis [EB/OL]. 2005[2021-05-01]. [http://www.royalsocietyqld.org/wp-content/uploads/2017/11/MEA\\_Summary\\_Extract.pdf](http://www.royalsocietyqld.org/wp-content/uploads/2017/11/MEA_Summary_Extract.pdf)
- [16] 中国自然资源经济研究院. 国内外生态价值核算研究报告[M]. 北京: 中国自然资源经济研究院, 2021
- [17] 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
- [18] de GROOT R S, WILSON M A, BOUMANS R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological Economics, 2002, 41(3): 393
- [19] LIU G Y, YANG Z F, GIANNETTI B F, et al. Emergy constrains to increasing complexity in the biosphere[J]. The Innovation, 2021, 2(4): 100169
- [20] LI L J, LU H F, CAMPBELL D E, et al. Methods for estimating the uncertainty in emergy table-form models[J]. Ecological Modelling, 2011, 222(15): 2615
- [21] HUDSON A, TILLEY D R. Assessment of uncertainty in emergy evaluations using Monte Carlo simulations[J]. Ecological Modelling, 2014, 271: 52
- [22] 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[EB/OL]. 2019[2021-05-01]. [http://m.ce.cn/bwzg/202012/11/t20201211\\_36104336.shtml](http://m.ce.cn/bwzg/202012/11/t20201211_36104336.shtml)
- [23] NAESS A, INQUIRY P. The deep ecological movement[J]. Philosophical Inquiry, 1986, 8(1): 10
- [24] YANG Q, LIU G Y, CASAZZA M, et al. Emergy-based accounting method for aquatic ecosystem services valuation: a case of China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 230: 55
- [25] YANG Q, LIU G Y, GIANNETTI B F, et al. Emergy-based ecosystem services valuation and classification management applied to China's grasslands[J]. Ecosystem Services, 2020, 42: 101073
- [26] LIU C, LIU G Y, YANG Q, et al. Emergy-based evaluation of world coastal ecosystem services[J]. Water Research, 2021, 204: 117656
- [27] FENG Y S, LIU G Y, ZHANG L X, et al. Review on pollution damage costs accounting[J]. Science of the Total Environment, 2021, 783: 147074
- [28] 自然资源部办公厅. 自然资源部办公厅关于印发《生态产品价值实现典型案例》(第三批)的通知[EB/OL]. 2021[2022-01-01]. [http://gi.mnr.gov.cn/202112/t20211222\\_2715397.html](http://gi.mnr.gov.cn/202112/t20211222_2715397.html)
- [29] ANDERSON T, LEAL D R. Free market environmentalism [M]. New York: Palgrave Macmillan, 2001
- [30] XU X, LIU J, ZHANG S, et al. Remote Sensing Monitoring Data Set for Land Use and Cover in China [EB/OL]. 2018[2021-05-01]. <http://www.resdc.cn/>
- [31] IIZUMI T, SAKAI T. The global dataset of historical yields for major crops 1981-2016[J]. Scientific Data, 2020, 7: 97
- [32] LIU Z X, WANG Y Y, GENG Y, et al. Toward sustainable crop production in China: an emergy-based evaluation[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 206: 11
- [33] 刘耕源, 何萍, 王永阳. 农业生态产品及其价值实现路径[J]. 应用生态学报, 2021, 32(2): 737

## Value accounting and dynamic analysis of the “Two Mountains” strategy 2000-2020

LIU Gengyuan<sup>1,2)</sup> YANG Qing<sup>3)</sup> HUANG Xiaoxiao<sup>1)</sup> LIU Chang<sup>1)</sup>  
CHEN Yu<sup>1)</sup> ZHANG Wen<sup>3)</sup>

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

**Abstract** Systematic accounting of the “Blue Waters, Green Mountains” National Strategy is an important prerequisite and a foundation for ecological value accounting and integrated protection of ecosystems of Chinese mountains, rivers, forests, croplands, lakes and grasslands. Eco-products, especially of the regulation services type, are key to measure human benefits from ecosystems, but are difficult to account and compute. Therefore in this work “eco-coin” theory and accounting was proposed, to complete, eco-coin assessment, ranking and dynamic analysis in 31 provinces (municipalities/autonomous regions) and 342 prefecture level cities in China from 2000 to 2020. Evaluations accurately quantified dynamic trend in regulation services in China, and reflected achievements in ecological civilization construction in recent years. The national regulation services were estimated to be worth 46.70 trillion eco-coins in 2020, regulation services showed a gentle upward trend in the 20 year period, with an overall increase of 20%, ecological environment had improved. Regulation services showed an increasing trend in all 31 provinces. Provinces with the largest increase were concentrated in the north and southwest. Regulation services in 90% (310/342) of the 342 prefecture-level cities had increased. Prefecture-level cities with higher ecosystem services mainly distributed in the western regions and Inner Mongolia. Dividing the “Two Mountains” policy into “Gold Mountain” for regulation services and “Silver Mountain” for supplying services will help to analyze the “Two Mountains” policy in detail and provide a solid base for subsequent value realization.

**Keywords** eco-products; ecological accounting framework; energy analysis; eco-coin; Two Mountains

【责任编辑: 武 佳】