

DOI: 10.5846/stxb202004260999

宋昌素, 欧阳志云. 面向生态效益评估的生态系统生产总值 GEP 核算研究——以青海省为例. 生态学报, 2020, 40(10): 3207-3217.

Song C S, Ouyang Z Y. Gross Ecosystem Product accounting for ecological benefits assessment: A case study of Qinghai Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3207-3217.

面向生态效益评估的生态系统生产总值 GEP 核算研究

——以青海省为例

宋昌素^{1,2}, 欧阳志云^{1,2,*}

1 中国科学院生态环境研究所, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:开展生态效益评估,对于推动生态效益纳入经济社会评价体系、推进生态文明建设具有重要意义。生态效益是指自然界的生态系统对人类的生产和生活条件及环境条件产生的有益影响和有利效果。GEP (Gross Ecosystem Product) 是生态系统生产总值,指一定区域在一定时间内,生态系统为人类提供最终产品与服务的经济价值总和,是一定区域生态系统为人类福祉贡献的总货币价值,可以反映一个地区的生态效益。本研究提出面向生态效益评估的 GEP 核算框架,建立核算指标体系和技术方法,基于遥感数据和统计数据以青海省为例开展面向生态效益评估的 GEP 核算研究,并对相关利益者进行分析。研究结果表明,2015 年青海省生态系统生产总值 GEP 为 464.16 亿元,对生态资产产生的生态效益进行相关利益者分析,80% 以上生态效益的受益者是青海省以外的区域。以可比价计算,自 2000 年以来青海省 GEP 增加 32.6%。根据现有的数据体系和方法核算的 GEP 是有现实意义的,可以作为生态效益评估的指标,可以作为 GDP 的重要补充对政策效益和生态保护成效开展评估,还可以作为市场化、多元化生态补偿机制建立和“绿水青山”向“金山银山”转化的依据和参考,为决策者提供重要的信息。

关键词:生态效益;生态系统服务;生态系统生产总值 GEP;青海省

Gross Ecosystem Product accounting for ecological benefits assessment: A case study of Qinghai Province

SONG Changsu^{1,2}, OUYANG Zhiyun^{1,2,*}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Conducting ecological benefit assessment is of great significance for promoting ecological benefits to be included in economic and social evaluation system and pushing the construction of ecological civilization. Ecological benefits refer to the beneficial effects of natural ecosystems on human production, living conditions and environmental conditions. Gross Ecosystem Product (GEP) is a measure of the aggregate monetary value of ecosystem goods and services in a given region in an accounting period, which can reflect the ecological benefits of specific area. This research proposed the framework of GEP accounting for ecological benefits assessment, established the accounting indicator system and methods. On the basis of remote sensing data and statistical data, this research took Qinghai Province as a case to measure the GEP for ecological benefits assessment, and analyzed the stakeholders. The research results show that the GEP of Qinghai Province in 2015 was

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0503402)

收稿日期:2020-04-26; 修订日期:2020-05-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

46.42 billion Yuan, and increased by 32.6% since 2000. More than 80% of these benefits accrue regionally to other provinces out of Qinghai Province. GEP can provide visibility and give prominence to the values of nature and their contributions to human well-being with available data and methods, as well as contribute to ecological benefits assessment, which can be used as an important supplement of GDP in assessment of policy effects and ecological protection effectiveness, also serve as the reference for the establishment of market-oriented and diversified ecological compensation mechanism and the transformation from “lucid waters and lush mountains” to “golden and silver mountains”, providing important information for decision makers.

Key Words: ecological benefits; ecosystem services; Gross Ecosystem Product (GEP); Qinghai Province

长期以来,人类在经济社会发展中过分追求经济效益和社会效益,造成严重的自然环境污染、生态系统退化和资源过度消耗等问题^[1-3]。早在二十世纪八十年代,就有中国学者在国际上首先提出“人类社会与其赖以发展的生态环境构成经济-社会-自然复合生态系统”^[4]。也是从那时候,生态效益成为科学家和社会关注和重视的问题^[5],对森林生态效益的关注和研究成为重点^[6-7]。后来随着国外生态系统服务功能^[8-9]概念的引入,人们对生态效益的关注有所下降。但是,生态效益仍然是一个在政策制定中较多使用且被社会大众所理解和熟知的概念。自党的十八大以来,国家明确要求将生态效益纳入考核指标体系。党的十八大报告提出:“要把资源消耗、环境损害、生态效益纳入经济社会发展评价体系,建立体现生态文明要求的目标体系、考核办法、奖惩机制”。习近平总书记关于“绿水青山就是金山银山”的科学论断表明以绿水青山为代表的高质量森林、草地、湿地等生态资产,为人们的生活生产提供了必需生态产品与服务,产生巨大的生态效益,生态效益可以转化为经济效益。生态效益成为我国政治生活的高频词汇,引起学者和社会各界的广泛关注。

社会经济效益是指在进行社会活动后,社会经济各项经济指标的综合变化状况,可以根据社会经济系统的产值进行评价和计算。而由于生态效益的复杂性,目前关于生态效益的评价范围、指标、内容和方法尚未形成统一的标准,不同研究对生态效益的关注点差异较大^[10-11],对重要生态工程和大型建设工程生态效益的评价是研究的重点问题之一^[12-14]。人们对生态效益的研究从特定生态系统、特定某几项生态效益的评估逐步发展到多种生态系统和多项生态系统服务尺度,但是这些研究仍然存在的评价指标不统一、方法不一致等问题,使不同研究之间评价结果差异较大,很难进行比较^[15]。2013年中国科学家首次提出生态系统生产总值(Gross Ecosystem Product, GEP)的概念,将其定义为“生态系统为人类福祉和经济社会可持续发展提供的最终产品与服务价值的总和”^[16]。中央和地方各级政府高度重视GEP的核算研究与实践应用,广大中国学者依托各类研究课题在全国^[17]、省域^[18]、市域^[19]、县域^[20]尺度上对森林、草地、湿地等不同生态系统类型开展了大量的GEP试点核算和实践研究,试图为生态保护成效评估、政府绩效考核、生态补偿标准确立提供理论依据^[21]。

作为江河源区,青海省生态资源丰富^[22],产生巨大的生态效益,对维持当地、下游、全国乃至东亚地区的生态安全发挥重要作用,中央政府高度重视青海省的生态文明建设进程,开展一系列生态恢复和保护工程。青海省经济发展以畜牧业和农业为主,经济发展水平落后,属于经济发展的贫困区,又要承担巨大的机会成本保护生态系统,却无法因此获益。开展生态效益评估可以为青海省将生态效益纳入经济社会发展体系提供参考,可以用于评估生态保护政策效益,还可以用于市场化、多元化生态补偿机制的建立和经济效益的转化。本文提出面向生态效益评估的GEP核算框架,建立指标体系和技术方法。以青海省为例,基于该框架、指标和方法,开展GEP核算研究,以期为青海省和其他地区开展生态效益评估提供借鉴。

1 研究区域

青海省位于中国西部,世界屋脊“青藏高原”的东北部,是联结西藏、新疆与内地的纽带,是中国青藏高原上的重要省份之一。青海全省地貌复杂多样,五分之四以上的地区为高原;生态系统格局复杂,以草地生态系

统为主。作为长江、黄河、澜沧江三大河的发源地,青海省生态区位重要,向当地和下游提供了重要的水源涵养、洪水调蓄、土壤保持、防风固沙等生态系统服务,产生巨大的生态效益。

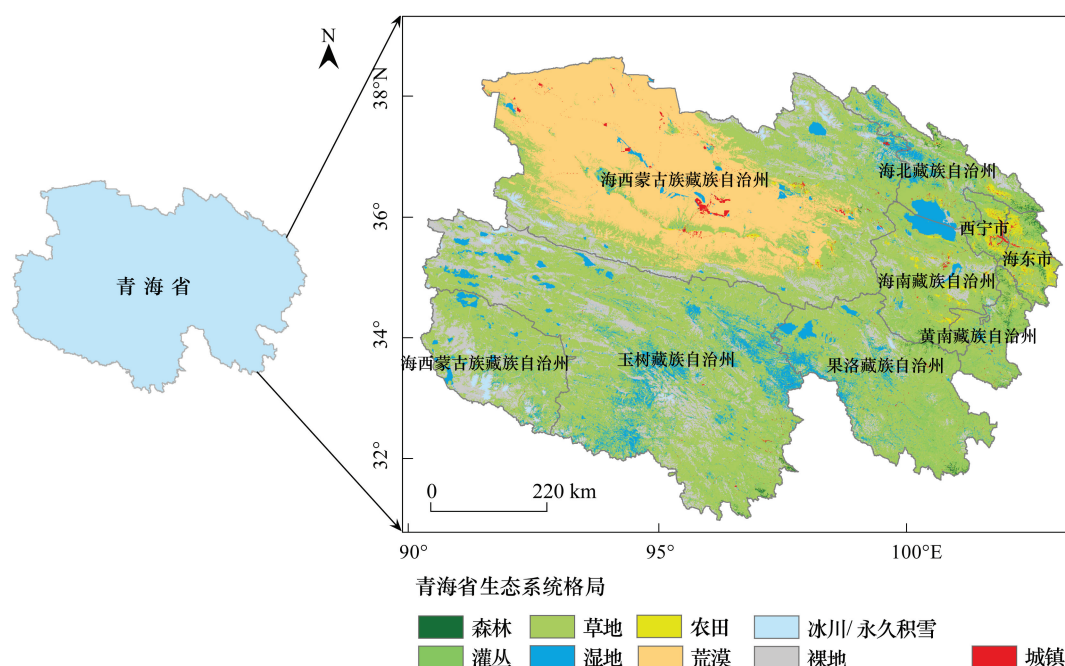


图1 青海省生态系统格局分布

Fig.1 Ecosystem patterns of Qinghai Province

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究采用的生态系统格局数据来源于中国生态系统评估与生态安全数据库^[23];统计数据、监测数据来自青海省统计局^[24-25]、水利厅^[26-27]、生态环境厅^[28-29]和气象局;核算参数参照相关资料、文献^[30-37]。

2.2 研究方法

2.2.1 核算框架

生态资产是指在一定时间、空间范围内和技术经济条件下可以给人们带来效益的生态系统,包括森林、灌丛、草地、湿地、荒漠等自然生态系统,农田、城镇绿地等以自然生态过程为基础的人工生态系统,以及野生动植物资源^[22]。生态资产产生和提供生态系统服务,主要包括物质服务、调节服务、文化服务和支撑服务四大类^[9]。人类从自然生态系统获得的利益是生态系统服务表达和发挥作用,产生生态效益。GEP 是生态系统生产总值,指一定区域在一定时间内,生态系统为人类福祉和经济社会可持续发展提供的最终产品与服务价值的总和,可以反映一个地区的生态效益。因此,开展面向生态效益评估的 GEP 核算研究可以用来评估生态效益,推动生态效益纳入经济社会评价体系,提高决策者对生态保护的重视程度,以便将生态系统对人类福祉的贡献纳入政策制定与实施(图 2)。

2.2.2 核算指标体系

根据国际学术界普遍认可的产品提供、调节服务、文化服务和支撑服务四类分类法^[9]和 IPBES 最新分类法^[38],生态物质产品和文化服务产品的价值已经在市场交易中得到实现,并体现在地区生产总值 GDP 中;根据生态效益内涵^[15]和 GEP 核算思路^[16],因此本文面向生态效益评估的青海省 GEP 核算主要核算青海省的调节服务产品价值。本研究根据青海省生态系统特点和生态区位特征及前人研究^[39],建立了包括水源涵养、

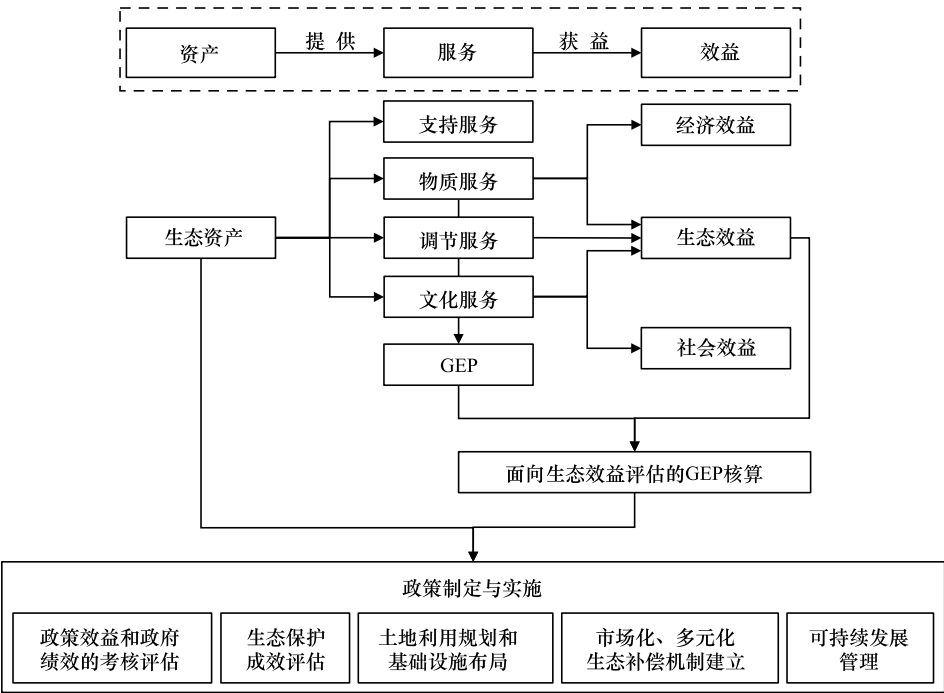


图 2 面向生态效益评估的 GEP 核算框架

Fig.2 Framework of GEP accounting for ecological benefits assessment

洪水调蓄、土壤保持、水体净化、空气净化、防风固沙、碳固定等 7 个指标在内的青海省生态系统生产总值 GEP 核算指标体系(表 1)。

表 1 面向生态效益评估的青海省 GEP 核算指标体系

Table 1 Indicator system of GEP accounting for ecological benefits assessment in Qinghai Province

序号 No.	核算指标 Accounting indicator	指标内涵 Indicator content
1	水源涵养	生态系统通过其结构和过程,改变水流调节水资源的运输和分配,有效涵养土壤水分和补充地下水、调节河川流量
2	洪水调蓄	生态系统通过蓄积洪峰水量,削减洪峰,减轻洪水威胁产生
3	土壤保持	生态系统通过其结构与过程减少雨水的侵蚀能量,减少土壤流失
4	水质净化	生态系统对进入其中的污染物进行吸附、转化以及生物吸收等,使水体得到净化
5	空气净化	生态系统净化、阻滤和分解大气中的污染物,有效净化空气,改善大气环境
6	防风固沙	生态系统通过其结构与过程削弱风的强度和携沙能力,减少土壤流失和风沙危害
7	碳固定	植物通过光合作用将 CO ₂ 转化为碳水化合物,并以有机碳的形式固定在植物体内或土壤中,有效减缓大气中 CO ₂ 浓度升高,减缓温室效应

2.2.3 核算方法

(1) 水源涵养

功能量:水源涵养量为本地用水量 and 净出境水量之和。评估方法如下:

$$Q_{ur} = Q_{li} + Q_{la} + Q_{ld} + Q_{le} + (Q_{lw} - Q_{ew})$$

式中, Q_{ur} 为水源涵养量(m^3/a); Q_{li} 为当地工业用水量(m^3/a); Q_{la} 为当地农业用水量(m^3/a); Q_{ld} 为当地城镇居民生活用水量(m^3/a); Q_{le} 为当地生态环境用水量(m^3/a); Q_{lw} 为出境水量(m^3/a); Q_{ew} 为入境水量(m^3/a)。

价值量:运用市场价值法,以工业、农业和居民生活用水的水价为单价核算水源涵养价值。核算方法

如下:

$$V_{wr} = Q_{li} \times P_{li} + Q_{la} \times P_{la} + Q_{ld} \times P_{ld} + Q_{le} \times P_{le} + \sum_j^3 Q_{ji} \times P_{ji} + Q_{ja} \times P_{ja} + Q_{jd} \times P_{jd}$$

式中, V_{wr} 为水源涵养价值(CNY/a); P_{li} 为当地工业用水水价(CNY/m³); P_{la} 为当地农业用水水价(CNY/m³); P_{ld} 为当地城镇居民生活用水水价(CNY/m³); P_{le} 为当地生态环境用水水价(CNY/m³); Q_{ji} 为 j 流域工业用水量(m³/a); P_{ji} 为 j 流域工业水价(CNY/m³); Q_{ja} 为 j 流域农业用水量(m³/a); P_{ja} 为 j 流域农业水价(CNY/m³); Q_{jd} 为 j 流域居民生活用水量(m³/a); P_{jd} 为 j 流域居民生活用水价格(CNY/m³); j 为流域类型, $j=1, 2, 3$ 。

(2) 洪水调蓄

功能量:本研究建立相关模型,分别评估大暴雨条件下森林、草地等植被和湖泊、水库、沼泽等湿地生态系统蓄积的水流量^[35],为洪水调蓄的功能量。评估方法如下:

$$\begin{aligned} Q_{fm} &= Q_{vfm} + Q_{lfm} + Q_{sfm} + Q_{rfm} \\ Q_{vfm} &= \sum_{i=1}^n (P_h - R_{fi}) \times S_{iv} \times 10^{-3} \\ Q_{lfm} &= P_h \times S_l \\ Q_{sfm} &= P_h \times S_s \\ Q_{rfm} &= P_h \times S_r \end{aligned}$$

式中: Q_{fm} 为洪水调蓄量(m³/a); Q_{vfm} 为植被洪水调蓄量(m³/a); Q_{lfm} 为湖泊洪水调蓄量(m³/a); Q_{sfm} 为沼泽洪水调蓄量(m³/a); Q_{rfm} 为水库洪水调蓄量(m³/a); P_h 为青海省大暴雨产流降雨量(mm); R_{fi} 为第 i 种自然植被生态系统的地表径流量(mm); S_{iv} 为第 i 种自然植被生态系统的面积(km²); i 为自然植被生态系统类型, $i=1, 2, \dots, n$; n 为自然植被生态系统类型数量,无量纲; S_l 为湖泊生态系统的面积(km²); S_s 为沼泽生态系统的面积(km²); S_r 为水库的面积(km²)。

价值量:本研究采用替代成本法,运用汛期单位水量的平均洪涝灾害经济损失作为单价,评估洪水调蓄的价值量。核算方法如下:

$$V_{fm} = Q_{fm} \times C_{fd}$$

式中: V_{fm} 为洪水调蓄价值(CNY/a); C_{fd} 为单位水量的平均洪涝灾害经济损失(CNY/m³)。

(3) 土壤保持

功能量:本研究根据修正后的土壤流失方程(RUSLE)和 InVEST 模型^[36],评估土壤保持量为潜在的土壤侵蚀量与当前生态系统保护下发生的实际土壤侵蚀量的差值,减少泥沙淤积量和减少面源污染的量,为土壤保持量乘以相应的泥沙淤积系数和氮、磷扩散系数。评估方法如下:

$$\begin{aligned} Q_{sr} &= R \times K \times LS \times (1 - C \times P) \\ Q_{sd} &= Q_{sr} \times \lambda \\ Q_{rN} &= Q_{sr} \times \lambda \times c_N \times d_N \\ Q_{rP} &= Q_{sr} \times \lambda \times c_P \times d_P \end{aligned}$$

式中: Q_{sr} 为土壤保持量(t/a); Q_{sd} 为减少泥沙淤积量(t/a); Q_{rN} 为减少氮面源污染量(t/a); Q_{rP} 为减少磷面源污染量(t/a); R 为降雨侵蚀力因子(MJ·mm/hm²·h·a); K 为土壤可蚀性因子(t·h/MJ·mm); LS 为坡长坡度影响的地形因子,无量纲; C 为植被覆盖因子,无量纲; P 为工程控制措施因子,无量纲; λ 为泥沙转移淤积系数(%); c_N 为土壤中氮含量(%); d_N 为土壤中氮向水中扩散的扩散率(%); c_P 为土壤中磷含量(%); d_P 为土壤中磷向水中扩散的扩散率(%)。

价值量:运用替代成本法,根据水库清淤工程的成本得到减少泥沙淤积的价值;运用替代成本法,根据污染物处理成本得到减少面源污染的价值。核算方法如下:

$$V_{sr} = V_{sd} + V_{rN} + V_{rP}$$

$$V_{sd} = Q_{sd}/\rho \times C_{sd}$$

$$V_{rN} = Q_{rN} \times C_{tN}$$

$$V_{rP} = Q_{rP} \times C_{tP}$$

式中: V_{sr} 为土壤保持价值(CNY/a); V_{sd} 为减少泥沙淤积价值(CNY/a); V_{rN} 为减少氮面源污染的价值(CNY/a); V_{rP} 为减少磷面源污染的价值(CNY/a); ρ 为土壤容重(t/m^3); C_{sd} 为清淤工程成本单价(CNY/ m^3); C_{tN} 为氮面源污染治理成本单价(CNY/t); C_{tP} 为磷面源污染治理成本单价(CNY/t)。

(4) 水质净化

功能量: 根据核算区水体质量情况, 如果污染物排放量超过生态系统自净能力造成明显的水体污染, 则以生态系统的自净量作为水体净化服务的功能量; 如果没有明显的水体污染, 则以污染物排放量作为水体净化服务的功能量。评估方法如下:

$$Q_{jwp} = \min[W_j, \sum_{i=1}^I A_i QW_{ij}]$$

式中: Q_{jwp} 为第 j 类水体污染物的水体净化服务功能量(t/a); W_j 为第 j 类水体污染物的排放量(t/a); A_i 为第 i 类生态系统的面积(km^2); QW_{ij} 为单位面积第 i 类生态系统对第 j 类水体污染物的净化量(t/km^2); j 为水体污染物种类, $j = 1, 2, 3$; i 为生态系统类型, $i = 1, 2, \dots, I$; I 为生态系统类型数量, 无量纲。

价值量: 采用替代成本法, 以水体污染物排污费征收价格为单价核算水质净化服务的价值量。核算方法如下:

$$V_{WP} = Q_{COD} \times C_{COD} + Q_{NH-N} \times C_{NH-N} + Q_{TP} \times C_{TP}$$

式中: V_{WP} 为水质净化服务价值(CNY/a); Q_{COD} 为 COD 的净化量(t/a); C_{COD} 为 COD 的排污费征收价格(CNY/t); Q_{NH-N} 为 NH-N 的净化量(t/a); C_{NH-N} 为 NH-N 的排污费征收价格(CNY/t); Q_{TP} 为 TP 的净化量(t/a); C_{TP} 为 TP 的排污费征收价格(CNY/t)。

(5) 空气净化

功能量: 根据核算区空气质量情况, 如果污染物排放量超过生态系统自净能力造成明显的空气污染, 则以生态系统的自净量作为空气净化服务的功能量; 如果没有明显的空气污染, 则以污染物排放量作为空气净化服务的功能量。评估方法如下:

$$Q_{jap} = \min[A_j, \sum_{i=1}^I A_i QA_{ij}]$$

式中: Q_{jap} 为第 j 类空气污染物的空气净化服务功能量(t/a); A_j 为第 j 类空气污染物的排放量(t/a); A_i 为第 i 类生态系统的面积(km^2); QA_{ij} 为单位面积第 i 类生态系统对第 j 类空气污染物的净化量(t/km^2); j 为空气污染物种类, $j = 1, 2, 3$; i 为生态系统类型, $i = 1, 2, \dots, I$; I 为生态系统类型数量, 无量纲。

价值量: 采用替代成本法, 以空气污染物排污费征收价格为单价核算水质净化服务的价值量。核算方法如下:

$$V_{AP} = Q_{SO_2} \times C_{SO_2} + Q_{NO_x} \times C_{NO_x} + Q_{PM} \times C_{PM}$$

式中: V_{AP} 为空气净化服务价值量(CNY/a); Q_{SO_2} 为 SO_2 的净化量(t/a); C_{SO_2} 为 SO_2 的排污费征收价格(CNY/t); Q_{NO_x} 为 NO_x 的净化量(t/a); C_{NO_x} 为 NO_x 的排污费征收价格(CNY/t); Q_{PM} 为粉尘的净化量(t/a); C_{PM} 为粉尘的排污费征收价格(CNY/t)。

(6) 防风固沙

功能量: 本研究据修正后的风力侵蚀模型(RWEQ)^[37], 以当前土地覆盖模式和风蚀控制措施(如草方格)条件下土壤风蚀量与无植被覆盖条件下土壤风蚀量之间的差值评估生态系统的防风固沙量。评估方法如下:

$$Q_{sp} = 0.1699 \times (WF \times EF \times SCF \times K')^{1.3711} \times (1 - C^{1.3711})$$

式中: Q_{sp} 为防风固沙量(t/a); WF 为气候侵蚀因子(kg/m); EF 为土壤侵蚀因子,无量纲; SCF 为土壤结皮因子,无量纲; K' 为地表糙度因子,无量纲; C 为植被覆盖因子,无量纲。

价值量:本研究运用替代成本法,根据单位面积沙化土地治理费用核算生态系统防风固沙功能的价值。核算方法如下:

$$V_{sp} = \frac{Q_{sp}}{\rho \cdot h} \times C_{sp}$$

式中: V_{sp} 为防风固沙价值(CNY/a); ρ 为土壤容重(t/m³); h 为土壤沙化覆沙厚度(m); C_{sp} 为单位治沙工程的成本(CNY/m²)。

(7)碳固定

功能量:本文运用固碳速率法建立相关模型估算陆地生态系统的年平均固碳量作为固碳服务的功能量。评估方法如下:

$$Q_{cs} = Q_{fcs} + Q_{gcs} + Q_{wecs}$$

$$Q_{fcs} = R_{fcs} \times S_f$$

$$Q_{gcs} = R_{gcs} \times S_g$$

$$Q_{wecs} = \sum_{i=1}^n R_{iwcs} \times S_{iw}$$

式中: Q_{cs} 为生态系统固碳功能量(tC/a); Q_{fcs} 为森林生态系统年固碳量(tC/a); Q_{gcs} 为草原生态系统年固碳量(tC/a); Q_{wecs} 为湿地生态系统年固碳量(tC/a); R_{fcs} 为森林生态系统固碳速率(tC/hm²·a); S_f 为森林生态系统面积(hm²); R_{gcs} 为草地生态系统土壤固碳速率(tC/hm²·a); S_g 为草地生态系统面积(hm²); R_{iwcs} 为第 i 种湿地生态系统的固碳速率(tC/hm²·a); S_{iw} 为第 i 种湿地生态系统的面积(hm²); i 为湿地生态系统种类, $i=1, 2, \dots, n$; n 为湿地生态系统种类数量。

价值量:运用替代成本法以造林成本为单价核算固碳服务的价值量。核算方法如下:

$$V_{cs} = Q_{cs} \times C_c$$

式中: V_{cs} 为固碳服务的价值量(CNY/a); C_c 为造林成本价格(CNY/t)。

3 结果与分析

3.1 青海省 GEP 组成与特征

2015 年青海省 GEP 为 464.16 亿元,其中水源涵养价值最大,为 214.28 亿元,占 GEP 总量的 46.2%;其次是防风固沙和土壤保持服务,占比分别为 27.5%和 15%。

本研究对青海省 GEP 的供给进行空间化(图 3)发现,GEP 供给由降水较少、以荒漠生态资产为主的西北地区向降水较多、以森林、灌丛和高质量草原生态资产为主的东南地区递增。

3.2 青海省 GEP 相关利益者分析

作为重要的江河源区,青海省生态资产产生的生态效益不仅为当地的人们提供了惠益,还为省外下游其他省份甚至是其他国家的居民提供了惠益。本研究将空气净化和当地用水的价值划分为当地利益。水源涵养为其他省份带来的惠益以及洪水调蓄、土壤保持和水体净化等服务的惠益利益相关者则是下游长江、黄河和澜沧江流域的相关省份,属于区域尺度;由于风沙输送有一定的距离范围^[40],防风固沙的受益者主要为西藏自治区、甘肃省和四川省三个省份,属于区域尺度。碳固定的惠益则属于全球尺度。

综合来看,如图 3 所示,2015 年青海省 GEP 的 3.19%造福于当地居民;86.79%的 GEP 的受益者是青海省下游各省,属于区域尺度;10.02%的 GEP 供给全球范围内的受益者。

3.3 青海省 GEP 变化

剔除价格因素,自 2000 年以来,以可比价计算,青海省 GEP 增加 114.05 亿元,增幅为 32.58%(表 2)。

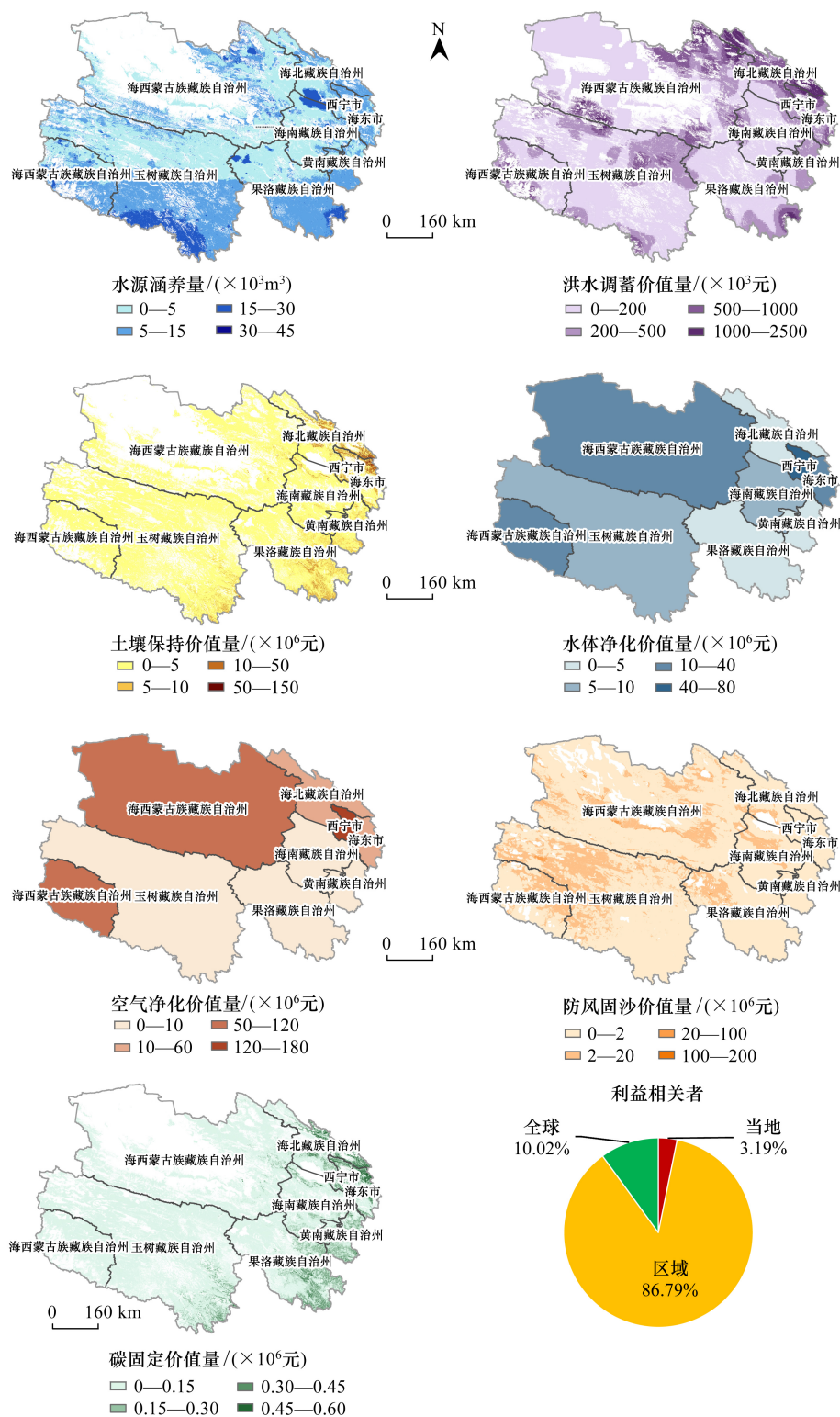


图3 2015年青海省GEP供给和利益相关者空间分布

Fig.3 The distribution of Qinghai GEP and stakeholders in 2015

15年间青海省开展大规模的生态保护和恢复工程使生态资产数量增加、质量提升^[22],提高了生态系统产品和服务的供给,使GEP增加。其中,污染物净化价值的增幅较大,这是因为污染物排放量随着经济发展而增

加,青海省的生态资产在污染物净化中发挥重要作用,产生生态效益。其次,生态资产数量和增加和质量的提升使碳固定价值量增加 67.42%,防风固沙、水源涵养、洪水调蓄和土壤保持价值增幅分别为 35.76%、35.38%、3.33%和 1.94%。

表 2 面向生态效益评估的青海省 GEP 核算
Table 2 GEP accounting for ecological benefits assessment in Qinghai Province

生态系统服务 Ecosystem service	核算科目 Accounting item	2000 年			2015 年			2000—2015 年(可比价)	
		功能量	价值量/ (亿元)	占比/%	功能量	价值量/ (亿元)	占比/%	变化量/ (亿元)	变化 率/%
水源涵养 Water retention	水源涵养/(亿 m ³)	561.90	110.54	40.43	495.27	214.28	46.17	56.00	35.38
洪水调蓄 Flood mitigation	洪水调蓄/(亿 m ³)	0.65	0.22	0.08	0.67	0.31	0.07	0.01	3.33
土壤保持 Soil retention	减少泥沙淤积/(亿 t)	3.82	48.21	17.63	3.90	69.68	15.01	1.32	1.93
	减少氮面源污染/(万 t)	0.98	0.09	0.03	1.00	0.18	0.04	0.01	5.88
	减少磷面源污染/(万 t)	0.07	0.02	0.01	0.07	0.02	0.00	0.00	15.79
水体净化 Water purification	COD 净化量/(万 t)	3.32	0.23	0.08	10.43	1.46	0.31	0.99	210.64
	氨氮净化量/(万 t)	0.35	0.03	0.01	1.00	0.18	0.04	0.12	200.00
	总磷净化量/(万 t)	—	—	—	0.09	0.03	0.01	—	—
空气净化 Air purification	SO ₂ 净化量(万 t)	3.20	0.20	0.07	15.08	1.90	0.41	1.50	375.00
	NO _x 净化量(万 t)	—	—	—	11.79	1.48	0.32	—	—
	粉尘净化量(万 t)	10.55	0.16	0.06	24.60	0.37	0.08	0.21	131.25
防风固沙 Sandstorm prevention	防风固沙(亿 t)	3.30	94.11	34.42	4.48	127.76	27.52	33.65	35.76
碳固定 Carbon sequestration	碳固定(亿 t)	0.13	19.60	7.17	0.22	46.51	10.02	18.73	67.42
GEP		—	273.40	100.00	—	464.16	100.00	114.05	32.58

4 讨论

本研究基于“资产—服务—效益”链条,提出面向生态效益评估的 GEP 核算框架、指标体系和技术方法。以青海省为例,开展面向生态效益评估的 GEP 核算研究,核算青海省森林、灌丛、草地和湿地生态资产产生的生态效益。作为“中华水塔”,青海省的水源涵养功能是价值最大的单项服务;作为我国西北地区的风沙源区,青海省的生态资产在防风固沙方面发挥重要作用。研究核算的青海省 GEP 低于先前对青海生态系统服务价值的评估。造成这种情况的主要原因包括指标体系差异和核算方法的差异。指标体系方面,本研究提出面向生态效益评估的 GEP 核算指标体系没有包括物质产品、文化服务和调节服务的气候调节和氧气生产等指标^[41-43];技术方法方面,与谢高地等^[39]使用的中国化的基于单位面积价值的“当量法”相比,本研究在水源涵养和洪水调蓄价值量核算的单价选择和核算方法方面有所创新。

根据现有的数据体系和方法核算的 GEP 是有科学意义和现实意义的。本研究在 GEP 核算中尽可能使用统计数据和监测数据,尽可能使用与人类福祉相关并且在实际生活中广泛应用的价格参数,尽可能核算生态系统实际提供的生态产品发挥作用的價值,而非生态系统的潜力。结果表明,GEP 可以作为生态效益评估的指标。对青海省 GEP 相关利益者进行分析发现,青海省 GEP 大部分受益者是下游发达地区,但青海却没有从受益者处得到相应量级的付费。与青海相似,我国很多地区拥有丰富的生态资产,但却属于经济发展贫困区,又要承担巨大的机会成本保护生态资产,得到的生态补偿主要来源于政府付费,无法因为保护生态资产而获得相应的利益。同时这些地区正在逐步调整以 GDP 为核心的政府绩效考核模式。以 GEP 作为生态效益的评估指标,不仅可以作为 GDP 的重要补充,对地方政府经济和生态绩效开展综合评估,还可以作为“绿水青山”向“金山银山”转化的依据和参考,为决策者提供重要的信息。

参考文献 (References):

- [1] Chen Y Y, Ebenstein A, Greenstone M, Li H B. Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(32): 12936-12941.
- [2] 欧阳志云. 我国生态系统面临的问题与对策. *中国国情国力*, 2017, (3): 6-10.
- [3] Liu J G, Viña A, Yang W, Li S X, Xu W H, Zheng H. China's environment on a metacoupled planet. *Annual Review of Environment and Resources*, 2018, 43: 1-34.
- [4] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1): 1-9.
- [5] 梁树春. “生态效益”的内涵及其特征. *生态学杂志*, 1989, 8(1): 36-39.
- [6] 赵荣慧, 胡承海, 孔祥君, 郭荫槐. 中国辽西地区油松针阔混交林生态效益的研究. *生态学报*, 1983, 3(4): 341-348.
- [7] 罗晓华, 向成华. 森林生态效益研究现状. *四川林业科技*, 2006, 27(2): 42-46.
- [8] Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington D C: Island Press, 1997.
- [9] Millennium Ecosystem Assessment MEA. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington DC: Island Press, 2005.
- [10] 潘剑彬. 北京奥林匹克森林公园绿地生态效益研究. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [11] 吕永磊. 西藏林芝地区鲁朗森林资源的生态效益分析. *四川林勘设计*, 2013, (2): 34-39.
- [12] Liu J G, Li S X, Ouyang Z Y, Tam C, Chen X D. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9477-9482.
- [13] 国家林业局. 退耕还林工程生态效益监测国家报告. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- [14] 王希义, 彭淑贞, 徐海量, 马婷婷, 岳俊生. 大型输水工程的生态效益与社会经济效益评价——以塔里木河下游为例. *地理科学*, 2020, 40(2): 308-314.
- [15] 王效科, 杨宁, 吴凡, 任玉芬, 王思远, 薄菲民, 蒋高明, 王玉宽, 孙玉军, 张路, 欧阳志云. 生态效益及其特性. *生态学报*, 2019, 39(15): 5433-5441.
- [16] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 徐卫华, 郑华, 张琰, 肖懿. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究. *生态学报*, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [17] 马国霞, 於方, 王金南, 周夏飞, 袁婧, 牟雪洁, 周颖, 杨威杉, 彭菲. 中国 2015 年陆地生态系统生产总值核算研究. *中国环境科学*, 2017, 37(4): 1474-1482.
- [18] 白杨, 李晖, 王晓媛, Alatalo J M, 江波, 王敏, 刘文俊. 云南省生态资产与生态系统生产总值核算体系研究. *自然资源学报*, 2017, 32(7): 1100-1112.
- [19] 董天, 张路, 肖懿, 郑华, 黄斌斌, 欧阳志云. 鄂尔多斯市生态资产和生态系统生产总值评估. *生态学报*, 2019, 39(9): 3062-3074.
- [20] 白玛卓嘎, 肖懿, 欧阳志云, 王莉雁. 基于生态系统生产总值核算的习水县生态保护成效评估. *生态学报*, 2020, 40(2): 499-509.
- [21] 孔德帅. 区域生态补偿机制研究. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [22] 宋昌素, 肖懿, 博文静, 肖洋, 邹梓颖, 欧阳志云. 生态资产评价方法研究——以青海省为例. *生态学报*, 2019, 39(1): 9-23.
- [23] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Lu F, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [24] 青海省统计局, 国家统计局青海调查总队. 青海统计年鉴 2000. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [25] 青海省统计局, 国家统计局青海调查总队. 青海统计年鉴 2015. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [26] 青海省水利厅. 2000 年青海省水资源公报. 西宁: 青海省水利厅, 2001.
- [27] 青海省水利厅. 2015 年青海省水资源公报. 西宁: 青海省水利厅, 2016.
- [28] 青海省环境保护局. 2000 青海省环境状况公报. 西宁: 青海省环境保护局, 2001.
- [29] 青海省环境保护厅. 2015 青海省环境状况公报. 西宁: 青海省环境保护厅, 2016.
- [30] 水利部长江水利委员会. 2000 年长江流域及西南诸河水资源公报. 武汉: 水利部长江水利委员会, 2001.
- [31] 水利部长江水利委员会. 长江流域及西南诸河水资源公报 2015. 武汉: 长江出版社, 2016.
- [32] 水利部黄河水利委员会. 2000 年黄河水资源公报. 郑州: 水利部黄河水利委员会, 2001.
- [33] 水利部黄河水利委员会. 黄河水资源公报 2015. 郑州: 水利部黄河水利委员会, 2016.
- [34] 朱蕾. 松花湖流域水土流失与湖泊富营养化研究. 长春: 吉林大学, 2009.

- [35] 饶恩明, 肖赓, 欧阳志云, 江波, 严登华. 中国湖泊水量调节能力及其动态变化. 生态学报, 2014, 34(21): 6225-6231.
- [36] 饶恩明, 肖赓, 欧阳志云, 郑华. 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素. 生态学报, 2013, 33(3): 746-755.
- [37] 江凌, 肖赓, 饶恩明, 王莉雁, 欧阳志云. 内蒙古土地利用变化对生态系统防风固沙功能的影响. 生态学报, 2016, 36(12): 3734-3747.
- [38] Díaz S, Pascual U, Stenseke M, Martín-López B, Watson R T, Molnár Z, Hill R, Chan K M A, Baste I A, Brauman K A, Polasky S, Church A, Lonsdale M, Larigauderie A, Leadley P W, Van Oudenhoven A P E, Van Der Plaats F, Schröter M, Lavorel S, Aumeeruddy-Thomas Y, Bukvareva E, Davies K, Demissew S, Erpul G, Failler P, Guerra C A, Hewitt C L, Keune H, Lindley S, Shirayama Y. Assessing nature's contributions to people. *Science*, 2018, 359(6373): 270-272.
- [39] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [40] 李璠, 徐维新, 祁栋林, 严应存. 1961—2015 年青海沙尘天气时空变化特征. 干旱区研究, 2018, 35(2): 412-417.
- [41] 曹生奎, 曹广超, 陈克龙, 解家安, 马兰, 张涛. 青海湖湖泊水生态系统服务功能的使用价值评估. 生态经济, 2013, (9): 163-167, 180-180.
- [42] 江波, 张路, 欧阳志云. 青海湖湿地生态系统服务价值评估. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3137-3144.
- [43] 赵苗苗, 赵海凤, 李仁强, 张丽云, 赵峰侠, 刘丽香, 沈瑞昌, 徐明. 青海省 1998—2012 年草地生态系统服务功能价值评估. 自然资源学报, 2017, 32(3): 418-433.