

生态系统服务评估在政策中的应用研究进展

李若男^{1,2}, 刘睿^{1,2}

(1. 中国科学院生态环境研究中心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: 生态系统服务科学评估是生态保护政策制定的基础, 但其在政策制定过程中的作用范围及应用效果仍处于探索阶段。文章在系统梳理生态系统服务分类及常用生态系统服务供能量及价值量评估方法基础上, 从生态保护政策目标制定、区域划定及受益者识别等方面分析了生态系统服务能够提供的作用; 结合我国生态安全及生态文明制度需求, 从国家尺度到局地尺度上, 利用典型应用案例探讨了生态系统服务在生态保护政策中的应用效果; 并进一步提出未来生态系统服务评估在生态保护政策应用中的切入点, 即规范评估方法, 建立生态系统过程-服务-居民福祉关联, 注重基于生态系统服务评估的政策创新。以期为生态系统保护、生态文明制度建设提供支持。

关键词: 生态系统服务; 生态系统服务评估; 生态保护政策; 政策设计

中图分类号: X171

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021050057

Research progress on the application of ecosystem service assessment in policy

LI Ruonan^{1,2}, LIU Rui^{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: Scientific assessment of ecosystem services is the basis of ecological protection policy making, but the influence range and application effect in policy making are still in the exploratory stage. Based on the classification of ecosystem services and the commonly used assessment methods of the function and value provided by ecosystem services, this paper analyzed the objective setting, regional demarcation and beneficiary identification of ecosystem services in the development of ecological protection policy. Based on the requirements of ecological security and ecological civilization system in China, the application effects of ecosystem services in ecological protection policies were discussed by using typical application cases from national to local scales. Furthermore, the entry points of future ecosystem service assessment in the application of ecological protection policy were proposed, namely, standardizing the assessment methods, establishing the relationship between ecosystem process-services-residents' well-being, and focusing on policy innovation based on ecosystem service assessment. It is expected to provide support for ecosystem protection and ecological civilization system construction.

Keywords: ecosystem services; ecosystem services assessment; ecological protection policy; policy design

CLC number: X171

生态系统服务作为一项科学研究可追溯到 20 世纪 60 年代中期^[1-2], United Nations University 在 20 世纪 70 年代发表的《人类对全球环境的影响报告》中引述了生态系统服务, 并同时描述了生态系统给人类带来的服务内容。生态系统服务是支撑经济社会发展和人类生存条件的要素。近年来, 随着人们生态环境保护意识的增强, 生态系统服务

评估已成为研究热点。生态系统服务评估的最终目标是服务于生态保护与修复决策, 科学的评估方法是制定政策的基础。随着生态文明制度的不断完善, 生态系统服务评估在生态保护政策的作用方式、应用现状以及后续发展方向仍需深入梳理及探讨。

文章在系统总结生态系统服务物质质量及价值

收稿日期: 2021-05-25 录用日期: 2022-03-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0506902)

作者简介: 李若男(1982—), 女, 博士研究生、副研究员。研究方向: 生态系统服务评估。E-mail: rnli@rcees.ac.cn

引用格式: 李若男, 刘睿. 生态系统服务评估在政策中的应用研究进展[J]. 环境保护科学, 2023, 49(x): 1-12.

量评估方法的基础上,明确了生态保护政策目标、区域和受益者对生态系统服务科学的需求,列举了目前生态系统服务评估在保护政策制定中典型应用案例,并提出了未来生态系统服务在政策中应用的关键方向。

1 生态系统服务评估

生态系统服务是指人类从自然生态系统中获得的惠益^[3-5],并已经成为全球环境政策中的主导概念。目前,普遍认可的生态系统服务概念包括以下几类: DAILY^[6]认为生态系统服务是生态系统与生态过程所形成的,用于维持人类生存的自然环境条件及其效用其含义包括生态系统服务对人类生存的支持、发挥服务的主体为自然生态系统、自然生态系统通过形成和过程发挥服务。COSTANZA et al^[7]认为生态系统服务是生态系统提供的产品和服务统称。傅伯杰等^[8]认为生态系统服务取决于一定时间和空间上的生态系统结构和生态过程,是在此过程中所生产的物质及其所维持的良好生活

环境对人类的服务性能。

1.1 生态系统服务分类体系

依据 DAILY^[5]提出的划分方法,生态系统服务分为生态系统产品(Ecosystem goods)以及生命支持功能(Life-support functions),其中产品功能包括食物、饲料、木材、薪柴、天然纤维、医药和工业原料;生命支持功能包括空气和水净化、水旱灾减缓、废弃物降解、土壤及肥力形成和恢复、作物和自然植被传粉、病虫害控制、种子传播和营养物迁移、生物多样性维持、太阳紫外线辐射防护、局部气候调节、减缓极端温度、风力和海浪、文化多样性维持、提供美学和知识等人类精神源泉; COSTANZA et al^[6]将生态系统服务定义为气体调节、气候调节和干扰调节等 17 种类型;目前,国际广泛使用的生态系统服务功能分类系统由 MA^[7]工作组提出,该分类将生态系统服务归纳为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务 4 大类,并以此为基础建立生态系统与人类社会之间的物质联系,见图 1。

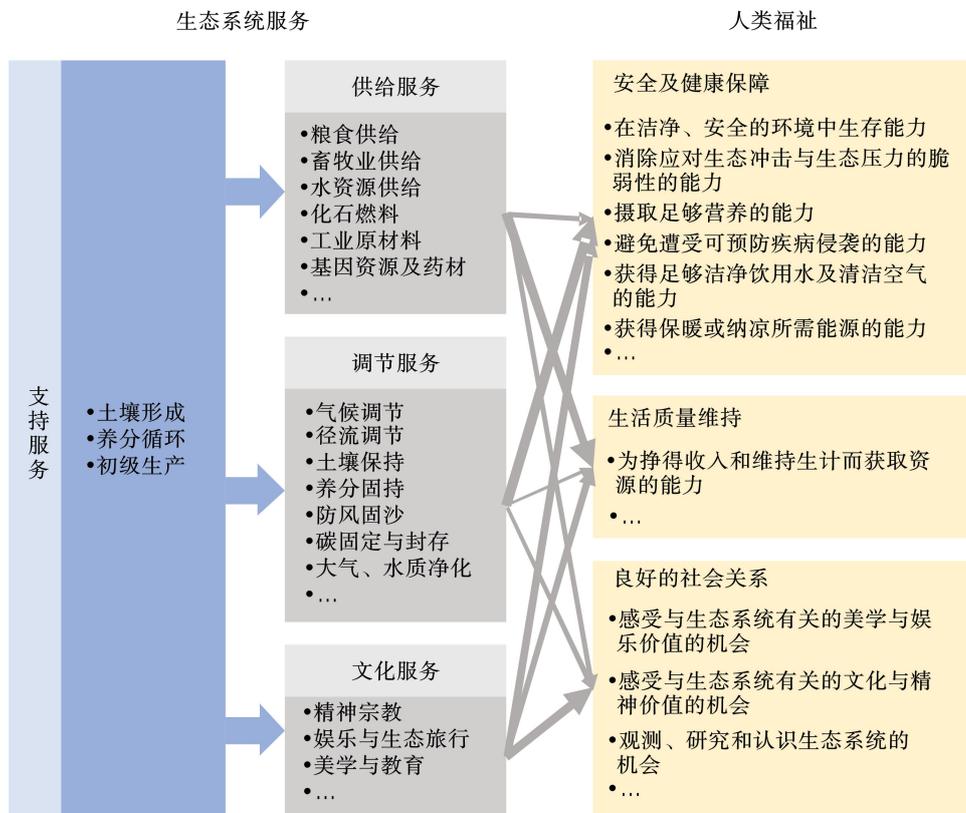


图 1 生态系统服务分类及其与人类福祉间的关系 (根据文献 [7] 改编)

Fig. 1 Classification of ecosystem services and the relationship to human well-being (adapted from MA^[7])

1.2 生态系统服务评估内容

基于分类体系,生态系统服务评估内容也主要

分为 4 个组成部分:(1)支持服务是其他生态系统服务的基础,为各种动、植物及微生物提供栖息地

并维持生物多样性。支持服务的评估内容主要包括形成土壤、养分循环、初级生产力以及为生物提供栖息地等方面；(2)供给服务是人类从生态系统中获取的物质产品，直接用于维持生计，也可用于交易。供给服务的评估内容包括食物供给(粮食、畜牧业、海水及淡水渔业等)、原材料供给(生物燃料、动植物纤维、毛皮及木材等)、淡水供给和医药资源供给等方面；(3)调节服务通常是无形的，但对于区域生态保护至关重要，一旦遭到破坏将带来巨大且难以弥补的损失。调节服务的评估内容主要包括调节气候及空气质量、碳固定与封存、减缓极端灾害事件、水质净化及径流调节、防止土壤侵蚀并保持养分、昆虫授粉和生物防治等；(4)文化服务是人类从生态系统中获得的非物质利益，属于精神体验，经常与供给及调节服务相伴出现。文化服务评估内容主要包括基于自然休闲机会带来的休闲娱乐与身心健康、旅游、基于生态系统的文化艺术欣赏等方面，见图 1。

1.3 生态系统服务评估方法

1.3.1 物质量评估方法 物质量是从生态系统服务能够产生的实物量角度进行定量评估。评估需

要依据区域地理特征、生态系统的结构和功能特征，从生态系统过程机制出发，选取适宜参数和评估方法量化服务的物质量^[9]。物质量评估能够客观地反映生态系统结构和功能的变化，进而体现生态系统的健康状况。物质量评估可用与对比不同生态系统间同种服务的能力，或相同生态系统能够提供的不同服务的能力。

物质量评估是以生态系统过程变化及功能机制研究为理论基础的，生态系统功能机制研究程度决定了生态系统服务物质量评价的可行性以及结果的准确性。物质量评价采用的手段和方法主要包括野外原位监测、遥感技术 (Remote sensing, RS) 和地理信息系统 (Geography information systems, GIS)、调查分析及模型模拟等。其中，原位监测和模型模拟是主要的参数获取手段及评估方法，RS 和调查统计是主要的数据来源，GIS 则是主要的评估平台。生态系统服务物质量评估的准确性是价值量评估的基础，并且，不同时空尺度间技术参数的转换及评估方法的选择仍有待明晰。因此，为获取准确的参数，物质量评估通常需要耗费大量的人财物。

表 1 主要生态系统服务物质量评估方法

Table 1 Quality assessment methods of major ecosystem services

功能类别	核算项目	功能指标	评估方法
产品提供	农业产品	农业产品产量	统计分析 ^[10-13]
	林业产品	林业产品产量	
	畜牧业产品	畜牧业产品产量	
	渔业产品	渔业产品产量	
	水资源	用水量	
调节功能	生态能源	生态能源总量	水量平衡法 ^[14-17]
	水源涵养	水源涵养量	
	土壤保持	土壤保持量	修正通用土壤流失方程 (RUSLE) ^[18-20]
	防风固沙	固沙量	修正风力侵蚀模型 (REWQ) ^[17-23]
	洪水调蓄	湖泊：可调蓄水量	构建模型法 ^[24-27]
		水库：防洪库容	
		沼泽：滞水量	
	空气净化	净化二氧化硫量	植物净化模型 ^[28-31]
		净化氮氧化物量	
		净化工业粉尘量	
水质净化	净化COD量	水质净化模型 ^[31-34]	
	净化氨氮量		
固碳释氧	固定二氧化碳量	质量平衡法 ^[35-39]	
	氧气释放量		
气候调节	植被蒸腾消耗能量	蒸散模型 ^[40-43]	
	水面蒸发消耗能量		
文化功能	自然景观	自然景观名录/游客人数	调查统计 ^[44-46]

1.3.2 价值量评估方法 价值评估是基于基础数据、生态学原理、经济学和社会学方法,从货币价值的角度来对生态系统服务进行定量评估^[47]。生态系统服务价值有多种分类方法,但无论何种分类,均可归纳为使用价值和非使用价值。目前,TIETENBERG 和 LEWIS^[48]的分类使用较为广泛,该方法将生态系统服务价值划分为使用价值包括直接使用价值和间接使用价值,非使用价值包括遗产价值、存在价值。选择价值(潜在使用价值)既可以是使用价值也可以是非使用价值。

部分生态系统服务可以通过市场来进行交易,

对于这类生态系统服务可以根据市场价格来计算其价值。大多数生态系统服务无法上市交易,因此不能直观地获取服务价格,对于此类生态系统服务,则需要采用替代或假定价格进行量化。根据国际上通用的评价生态价值的方法,依据生态系统与自然资本的市场发育程度,目前国内外学者们采用较多的分类是将生态系统价值评估方法分为 3 类:直接市场法、替代市场法和模拟市场法^[49-51],见表 2。根据不同价值评估方法的特点,列举常用的生态系统服务与价值评估方法,见表 3。

表 2 主要生态系统服务价值评估方法特征

Table 2 Characteristics of value assessment methods of major ecosystem services

类型	具体方法	方法特点
直接市场法	市场价值法	适用于有实际市场价格的生态系统服务的价值评估
	费用支出法	以人们对某种生态系统服务的支出费用表示其经济价值
替代市场法	机会成本法	以保护某种生态系统服务的最大机会成本(放弃的替代用途的最大收益)估算该种生态系统服务的价值
	影子工程法	以人工建造一个替代生态工程的投资费用来估算某项生态系统服务的经济价值
	替代成本法	通过找到替代品的花费而代替某些生态服务的经济价值
	恢复和防护费用法	为防止环境质量下降、生态服务减少,以恢复或保护生态系统不被破坏所需要的费用。常以假设被破坏后的损失和恢复成原样的费用来估计原生态服务的最低经济价值
	人力资本法	通过市场价格和工资多少来确定人类对社会的潜在贡献,并以此来估算环境变化对人体健康影响的损失
	享乐价值法	人们购买的商品中包含了某种生态环境价值属性,通过人们为此支付的价格来推断其价值,主要应用于房地产领域
	生态价值法	将S生长曲线与社会发展水平以及人们生活水平相结合,根据人们对某种生态功能的实际社会支付来估算生态服务价值
模拟市场法	旅行费用法	用于评价生态系统的游憩休闲价值,以人们的旅行费用作为替代物来衡量旅游景点和其他娱乐物品的价值
	条件价值法	用于评价所属权不明确、没有市场的公共服务或物品,以此反映人们的态度、观念和偏好,是人的主观意识对客观事物的认识,也是对未来行为的预测。以直接调查得到的消费者支付意愿来进行价值计量

表 3 主要生态系统服务价值量核算方法

Table 3 Value assessment methods of major ecosystem services

功能类别	核算项目	价值量指标	价值量核算方法
产品提供	农业产品	农业产品产值	市场价值法(采用产品实际市场价格作为服务的价值) ^[52-53]
	林业产品	林业产品产值	
	畜牧业产品	畜牧业产品产值	
	渔业产品	渔业产品产值	
	水资源	用水产值	
	生态能源	生态能源产值	

续表 3

功能类别	核算项目	价值量指标	价值量核算方法
调节功能	水源涵养	蓄水保水价值	影子工程法(依据一定原则确定的,能够反映投入物和产出物真实经济价值、反映市场供求状况、反映资源稀缺程度、使资源得到合理配置的价格水库建设成本) ^[54-55]
		减少泥沙淤积价值	替代成本法(通过评估替代服务的工程价值来评价,例如:清淤成本、环境工程降解成本) ^[56]
	水土保持	减少面源污染量(氮)	
		减少面源污染量(磷)	
	防风固沙	减少土地沙化价值	恢复成本法(利用恢复功能所支出的费用金额来直接估算服务的价值,例如:治沙工程成本) ^[57-58]
	洪水调蓄	调蓄洪水价值	影子工程法(假设采用某项实际效果相近的工程,以该工程建造成本替代该项服务,例如:水库建设成本) ^[59]
	空气净化	净化二氧化硫价值	替代成本法(治理大气污染的成本、治理水污染的成本、植树造林的成本、工业制氧成本和空调/加湿器降温增湿成本) ^[59-61]
		净化氮氧化物价值	
		净化工业粉尘治理价值	
	水质净化	净化总氮价值	
净化总磷价值			
净化COD价值			
固碳释氧	固碳价值	释氧价值	
	释氧价值		
气候调节	植被蒸腾降温增湿价值	水面蒸发降温增湿价值	
	水面蒸发降温增湿价值		
文化功能	自然景观	景观游憩价值	旅行费用法(利用旅行费用来估算环境质量发生变化后给旅游场所带来效益上的变化,从而估算出环境质量变化造成的经济损失或收益) ^[62-64]

2 生态保护政策设计对生态系统服务科学的需求

2.1 识别政策保护的目标

随着社会经济的发展,生态系统和自然资源经历着持续利用、退化和破坏的过程。为减少人类活动对生态系统带来的危害,生态系统服务理论逐渐成为生态保护政策的核心^[65]。生态系统服务的大小能够用于度量生态系统的健康状况,其评估结果能够让决策者准确识别生态问题,从而确定生态保护政策的目标。由于生态系统服务内涵十分广泛,使基于生态系统服务识别生态问题并确定保护目标并不局限于自然或半自然生态系统,还包含城市等人工生态系统^[66-68]。吕偲等^[69]以不同生态系统服务为保护目标对我国保护地进行了分类,见表 4。

其保护对象即可确定为该生态系统服务赖以形成的生物多样性基础,并依据生态系统服务明确对应的保护功能。在此基础上,提出了我国新的保护地分类体系以及国家公园战略的定位。陈利顶等^[70]在构建城市生态安全格局框架中提出,在以城市健康和可持续发展为目标的区域尺度格局构建时,需要重点从生态系统服务权衡区域之间供需平衡方面入手。FU et al^[71]从生态系统服务角度出发,对联合国 2030 年可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs)进行了分类,并识别了各指标之间的相互作用关系,作为决策者全面落实整套可持续发展目标的基础。

2.2 确定政策保护的区域

生态系统结构及气候条件的空间异质性使得生态系统服务出现了空间异质性,在准确量化生态

系统服务的基础上,其空间异质性可用来反映生态系统功能的强弱,从而识别出需要进行保护和修复的区域。需要保护的区域应具有特殊或重要的生态功能,且必须严格保护,通常用于确定保护区域的生态系统服务包括水源涵养、生物多样性、水土

保持和防风固沙等。从目前的研究手段来看,生态系统服务制图是对生态系统服务综合特征可视化、定量化、定位化的有效方法,并在确定生态保护区和辅助生态保护政策的决策过程中有重要作用^[72-75]。

表 4 不同目标保护地的保护对象 [69]

Table 4 Protected objectives of different conservation areas

目标	保护对象
综合服务保护	产生具有突出价值的支持、文化和调节等服务的生物多样性及可能附有的文化遗产,以高物种多样性、完整原真的生态系统、优美景观或悠久人文历史等为特征
支持服务保护	产生突出支持服务的生物多样性,具有维持与指示生态系统健康的物种及其栖息地或生态系统,以珍稀、濒危和特有的物种或代表生态系统为特征
文化服务保护	产生突出文化服务的生物多样性及可能附有的文化遗产,具有美学、精神、科学和教育等价值的生物、地质、自然文化等景观与遗迹,以优美、奇特的自然景观或可能附有的悠久人文历史为特征
调节服务保护	产生突出调节服务的生物多样性,具有高联通性、高动态的重要生态过程或生态系统,包括水系、森林等,以强大的物质循环或物理屏障为特征
供给服务保护	其他服务价值不突出,但具有高价值自然资源的生物多样性,具有集中分布、可持续利用的丰富生物资源或可再生非生物资源,以数量或生物量丰富的物种或水资源等为特征

2.3 明确政策保护的受益者

生态系统服务的受益者是指从生态系统服务和产品中受益的群体或个人^[76],基于生态系统服务对受益者(区)进行识别主要是借助生态系统服务流实现^[77]。对生态系统服务流的理解和认识有助于现有资源合理与精准的利用,更有利于管理者的决策与权衡,所以,越来越多的生态学家热衷于探

讨生态系统服务向受益人流动的过程与机理^[78-80]。

目前,对生态系统服务流的概念及量化方法仍在持续探讨,且生态系统服务流的路径识别(供给-受益)已成为研究的热点。对于基于生态系统服务流的受益者识别方法、应用的服务类型以及对应的优缺点,见表 5。

表 5 生态系统服务流量化方法^[81]

Table 5 Quantification of ecosystem service flows

生态系统服务流定量方法	服务类型	优点与不足
“矩阵”法	产品提供、调节服务、文化服务	优点:具有灵活性,实现从简单到复杂过程;集成专家打分、统计、访问,测量数据或高端模型结果等各种数据不足:评分系统基于专家意见,具有不确定性;只有土地覆盖一个生态系统指标,过于单一
ARIES模型法	产品提供、水源涵养、固碳、文化服务、洪水调蓄	优点:可用于对数据或模型的可用性有限的地区,对于高质量的数据和敏感性更高的模型可以校准使用;适用于较大的尺度上不足:数据限制,复杂的人地关系增加了动态建模的难度;无法确定服务流过程中的源、汇和使用者谁对生态系统决策者提供信息最多
空间效益流指标法	产品提供、气候调节、授粉	优点:扩大了空间服务流的研究;确定受益区依赖于空间流量的区域比例,是评估生态系统服务流重要性的第一个近似值不足:不能将单个服务流路径制图;框架缺少时间尺度的描述
模糊数学和专家知识建模法	水源涵养	优点:考虑了由多种生态系统产生的多种服务流的空间模型;确定为受益地区提供服务的优先保护和恢复的重点领域不足:由于所需数据少不能够得出保护和恢复后的经济结果;无法研究不同土地利用和提供经济主体的生态系统服务之间的经济权衡
生态系统级联框架法	土壤保持、生境质量、水质净化、固碳、文化服务	优点:从“服务”到“受益”的引入社会过程;强调生态系统服务和利益相关者之间的关系,探索不同情景下自上而下政策的制定不足:不能明确表明生态系统服务流和利益相关者互动的权力关系

3 生态系统服务评估与科学决策应用

3.1 全国重要生态功能区确定

基于全国主要生态系统服务空间化结果,生态环境部和中国科学院于 2008 年发布了《全国生态功能区划》。2015 年,又以全国生态环境十年变化(2000—2010 年)调查与评估为基础,对《全国生态功能区划》进行了修编^[82]。在修编版中,依据生态系统服务重要性,从全国生态功能区划中选出 62 个对保障国家生态安全具有重要意义的重要生态功能区,作为保障生态系统服务功能供给的重要区域。重要生态功能区包括水源涵养区、生物多样性保护区、土壤保持区、防风固沙区和洪水调蓄区等 5 类区域,见表 6。重要生态功能区总面积为 $474 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占全国国土面积的 49%,提供了全国约 78% 的固碳服务,75% 的土壤保持服务,61% 的防风固沙服务,61% 的水源涵养服务和 68% 的生物多样性保护服务。这些区域的生态系统是重要的湿地、森林、草地和物种栖息地。

表 6 重要生态功能区分类

Table 6 Classification of important ecological functional areas

重要生态功能区类型	数量/个	面积 (10^4 km^2)
水源涵养区	20	203.6
生物多样性保护区	24	174.3
土壤保持区	5	39.3
防风固沙区	7	53.1
洪水调蓄区	6	3.8

在全国重要生态功能区确定的基础上,各级政府可利用重要生态功能区确定优先保护区域,以保护关键的生态系统服务免受城镇化、工业化和农业发展的影响^[83]。例如,国务院据此制定了全国主体功能区划-国家区域发展战略,以保障中国构建高效、协调、可持续的国土空间开发格局。在全国主体功能区划中,重要生态功能区属于限制开发区,把增强生态产品生产能力作为首要任务,以保障生态系统服务功能的可持续供给不受经济社会发展影响。

3.2 生态保护红线制度

生态保护红线是指在生态空间范围内具有特殊重要生态功能、必须强制性严格保护的区域,是保障和维护国家生态安全的底线和生命线^[84-85]。

生态红线的划定是将生态系统服务与生态环境敏感性相结合,通常包括具有重要水源涵养、生物多样性维护、水土保持、防风固沙和海岸生态稳定等服务的生态功能重要区域,以及水土流失、土地沙化、石漠化和盐渍化等生态环境敏感脆弱区域。生态环境部和国家发展改革委员会于 2017 年发布了《生态保护红线划定指南》,指南中规范了生态保护红线划定的技术流程,明确了生态系统服务的评估方法及参数^[86],见图 2。

生态保护红线制度作为生态环境管理的重要手段,已在各级政府均开展了大量研究和实践;同时针对各区域生态红线划分与管理、生态红线实践与思考、基于生态红线的生态安全格局构建与优化、生态红线区生态用地转变前后生态效益等开展了一系列研究^[87-89]。预计 2020 年底,完成全国生态保护红线划定,勘界定标,基本建立生态保护红线制度,使得国土生态空间得到优化和有效保护,生态功能保持稳定,国家生态安全格局更加完善。到 2030 年,随着生态保护红线布局进一步优化,全国生态功能将显著提升,国家生态安全得到全面保障。

3.3 生态补偿政策

从现有研究成果看,我国大多数的重要生态功能区位于偏远山区。受制于区位条件,当地社会经济发展和人类生活十分依赖自然资源,居民生计水平较低。为提升人居福祉,各级政府已实施森林生态效益补偿、重点生态功能区生态转移支付、湿地生态补偿、草原生态补偿和区域间的跨流域生态补偿等一系列生态补偿措施,在促进生态保护的同时提升居民生计水平。

以重点生态功能区的生态补偿政策为例:为确保充分发挥该区域水源涵养、水土保持、防风固沙和生物多样性维护等功能,自 2008 年起,中央财政设立国家重点生态功能区转移支付,补助总额为 60 亿元,转移支付以县为单位,共涉及 230 个县。涉及的县数量和总的补偿金额逐年增加,截至 2017 年,补偿总额增长 10 倍,达到 627 亿元,受益县的数量达到 700 个^[90]。生态转移支付资金由中央进行分配,地方政府可以利用该资金促进区域社会经济可持续发展(如:补偿社区的工业生产和社会经济可持续发展损失;支持国家自然保护区和国家公园的规划;支持生态恢复项目;为招聘保护重点生态

功能区的护林员和工资发放提供资金;制定控制和减少污染的相关措施),以及提高当地民生的基本公共服务(如:为学龄儿童提供公共教育和改善医疗服务等)^[91]。地方政府生态补偿资金的财政责任绩效由中央政府定期监督考核,评价内容包括生态系统服务、水质、基本公共服务和扶贫减贫方面的效果,并根据考评结果对转移支付资金实施相应的

激励约束措施。对于生态环境因非不可抗拒因素而持续恶化的地区,需将应享受转移支付资金的20%暂缓下达,待生态环境状况改善后继续执行转移支付对于连续3年生态环境恶化的县区,第4年度将不再享受该项转移支付,需待各项生态环境指标恢复到2009年前水平,方可重新纳入转移支付范围。

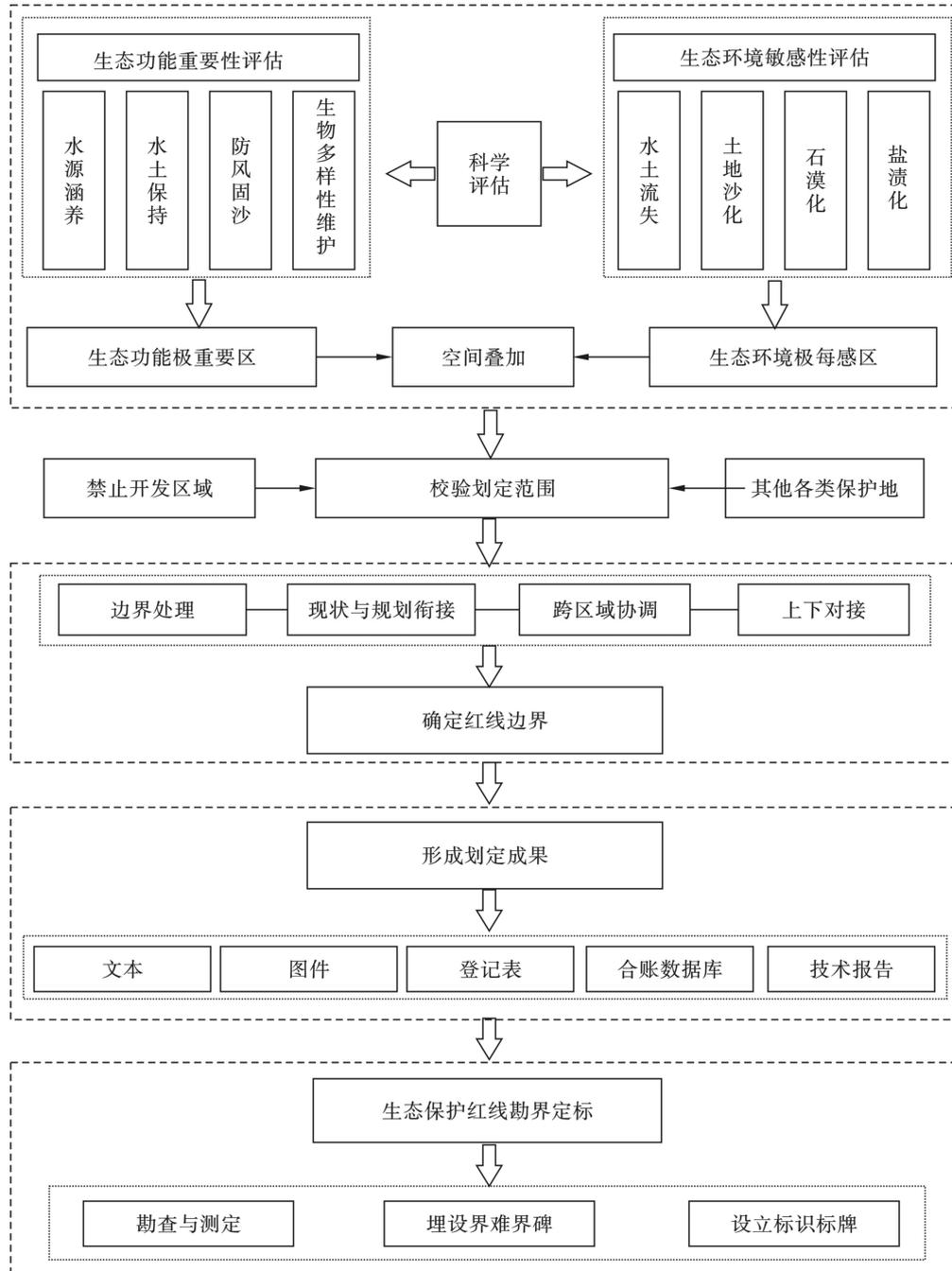


图 2 生态保护红线划定技术流程 [86]

Fig. 2 Technical process of ecological protection red line demarcation

3.4 生态产品价值实现机制

生态产品的概念随着政府对生态保护参与、管

理及宣传力度的增加已逐渐被纳入基本公共物品范畴,并被居民熟知^[92]。生态产品价值实现机制是

践行“绿水青山就是金山银山”理念的核心途径。生态产品价值核算基于生态系统生产总值(Gross Ecosystem Product, GEP)理论,综合运用政府、市场等手段调节生态产品供给中利益相关者环境利益及其经济利益分配关系的制度安排。以流域为例,生态产品价值实现的基本逻辑是:只有在下游产品使用者为上游产品提供者提供的实际补偿高于任何可能的土地利用类型中获得的额外收益,且小于原有土地利用价值,才会实现生态产品价值^[92]。

2019年,浙江省丽水市成为首个生态产品价值实现机制试点城市。丽水市制定了我国首个山区城市 GEP 核算技术办法,并据此开展了各级行政单元的 GEP 核算。建立了由政府购买生态产品,将 GEP 收益权作为贷款还款来源,贷款用途为支持生态保护和生态开发的“生态贷”模式。截至2020年末,丽水市“生态贷”余额 187.47 亿元。此外,丽水市还建立了“生态信用”与“信贷”的联动机制,制定并印发了《丽水市生态信用行为正负面清单(试行)》等各级生态信用管理制度^[93],为生态产品价值实现提供了有效的保障。2021年4月,我国印发了《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》^[94],表明了国家主导推动经济社会发展全面绿色转型的决心。“意见”将基于生态系统服务的 GEP 核算体系、生态产品价值实现制度框架以及生态保护补偿和生态环境损害赔偿政策制度的建立和完善作为主要目标,围绕生态产品的监测、评价、经营、保护补偿及实现机制进行了完整阐述,着力构建绿水青山转化为金山银山的政策制度体系,推动形成具有中国特色的生态文明建设新模式。

4 研究展望

4.1 统一生态系统服务评估方法

生态系统服务评估方法是其后续应用及制定相关政策的基础。目前,不同的研究者针对不同的研究问题提出了不同的生态系统服务分类体系、指标和方法,导致生态系统服务评估的结果往往难以在区域之间进行对比。我国已在国家、区域、局地等各种尺度进行了大量生态系统服务评估研究^[17],但由于统计服务项目和评估方法各异,评估结果的对比难以反映出时空差异,无法准确识别导致生态系统服务时空异质性的主要因素,影响保护政策的制定和修复的效果。因此,如何建立一套完善的、

不同尺度下统一的生态系统服务分类体系、评估指标和方法对于制定可持续的政策应用意义重大。

4.2 建立生态系统结构过程-服务-居民福祉关联关系

生态系统的结构和过程决定形成的生态系统服务,生态系统服务的产生影响人类福祉,为了提高居民福祉所做出的相关政策又会影响生态系统。厘清生态系统结构过程-功能-服务-居民福祉级联关系及其形成机制,才能进行有效应用^[95]。生态系统的复杂性和多样性是厘清生态系统服务形成机制的重要原因之一。近年来,我国学者已经认识到生态系统服务级联关系对于了解生态系统服务级联关系的重要性,并提出了人地耦合下的生态系统服务级联框架。但是对于生态系统的功能如何转换成生态系统服务,如何识别决定性的生态系统结构和过程及其形成机制仍然研究不够深入^[96-97]。因此,在未来我们需要建立“生态系统结构过程-功能-服务-人类福祉”的理论范式,加强生态系统结构和过程监测,深入全面监测服务产生到利用的全过程,并在此过程中形成统一的生态系统监测方法、指标体系和评估方法与模型。

4.3 基于生态系统服务评估下政策创新

生态系统服务评估、核算的最终目标是指导政策的制定及实际应用。一方面,生态系统服务的评估的科学性和准确性能够为政策的制定提供有效指导;另一方面,政策制度的创新也能为生态系统服务及其相关学科的发展提供更广阔的研究及实践平台。目前,我国关于生态系统服务相关的法规制度尚未全面建立,为保障生态文明建设的持续健康发展,必须加快政策的制定并加大创新力度^[98-100]。在后续政策创新进程中,应以生态系统服务为核心,兼顾资源节约,从自然资源、环保制度、生态制度和国土规划制度等方面开展政策与机制的创新。

参考文献

- [1] KING R T. Wildlife and man[J]. New York Conservationist, 1966, 20(6): 8-11.
- [2] EHRLICH P, EHRLICH A. Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species[M]. Random House, 1981. New York
- [3] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
- [4] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J].

- 自然资源学报, 2001, 16(1): 47 – 53.
- [5] MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-Being [M]. Washington DC: Island Press, 2005.
- [6] DAILY G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [7] COSTANZA R, DARGE R C, De GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253 – 260.
- [8] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法 [J]. *生态学报*, 2001, 21(11): 1885 – 1892.
- [9] 欧阳志云, 徐卫华, 肖焱, 等. 中国生态系统格局、质量、服务与演变 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [10] XIE G D, XIAO Y, ZHEN L, et al. Study on ecosystem services value of food production in China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3): 10 – 13.
- [11] 宋焱. 我国粮食主产区粮食生产与生态环境的协调性研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- [12] 孙倩莹, 高艳妮, 杨春艳, 等. 辽河保护区水资源供给服务及价值评估 [J]. *环境工程技术学报*, 2020, 10(4): 531 – 538.
- [13] OUYANG Z, ZHAO T, WANG X, et al. Ecosystem services analyses and valuation of China terrestrial surface water system [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2091 – 2099.
- [14] YANG Y, ZHENG H, KONG L, et al. Mapping ecosystem services bundles to detect high-and low-value ecosystem services areas for land use management [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 225: 11 – 17.
- [15] 沈钰仟, 肖焱, 欧阳志云, 等. 基于生态系统质量的水源涵养服务评估——以西南五省为例 [J]. *山地学报*, 2020, 38(6): 816 – 828.
- [16] 龚诗涵, 肖洋, 郑华, 等. 中国生态系统水源涵养空间特征及其影响因素 [J]. *生态学报*, 2017, 37(7): 2455 – 2462.
- [17] OUYANG Z, ZHENG H, XIAO Y, et al. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital [J]. *Science*, 2016, 352(6292): 1455 – 1459.
- [18] SHI Z, CAI C, DING S, et al. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: A case study in the Three Gorge Area of China [J]. *Catena*, 2004, 55(1): 33 – 48.
- [19] RENARD K G, FOSTER G R, WEESIES G A, et al. RUSLE: Revised universal soil loss equation [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1991, 46(1): 30 – 33.
- [20] 常虹, 翟琇, 石磊, 等. 基于土地利用的内蒙古牧区生态系统服务时空变化 (2000-2015) [J]. *草地学报*, 2021, 29(3): 583 – 592.
- [21] LI R, ZHENG H, O'CONNOR P, et al. Time and space catch up with restoration programs that ignore ecosystem service trade-offs [J]. *Science Advances*, 2021, 7(14): eabf8650.
- [22] JIANG C, WANG F, ZHANG H, et al. Quantifying changes in multiple ecosystem services during 2000 –2012 on the Loess Plateau, China, as a result of climate variability and ecological restoration [J]. *Ecological Engineering*, 2016, 97: 258 – 271.
- [23] 朱趁趁, 龚吉蕊, 杨波, 等. 内蒙古荒漠草原防风固沙服务变化及其驱动力 [J]. *生态学报*, 2021(11): 1 – 12卷.
- [24] GUO Z, XIAO X, LI D. An assessment of ecosystem services: Water flow regulation and hydroelectric power production [J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(3): 925 – 936.
- [25] EGOH B, REYERS B, ROUGET M, et al. Mapping ecosystem services for planning and management [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 127(1-2): 135 – 140.
- [26] 吴燕锋, 章光新. 流域湿地水文调蓄功能研究综述 [J]. *水科学进展*, 2021, 32(3): 458 – 469.
- [27] 饶恩明, 肖焱, 欧阳志云. 中国湖库洪水调蓄功能评价 [J]. *自然资源学报*, 2014, 29(8): 1356 – 1365.
- [28] BARO F, CHAPARRO L, GOMEZ-BAGGETHUR E, et al. Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona, Spain [J]. *Ambio*, 2014, 43(4): 466 – 479.
- [29] XIAO H, OUYANG Z, ZHAO J, et al. Forest ecosystem services and their ecological valuation—a case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan Island [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 481 – 484.
- [30] 王天琦, 丁玉, 宿乃辉, 等. 帽儿山林场生态系统空气净化功能价值的核算研究 [J]. *科技经济导刊*, 2021, 29(12): 114 – 115.
- [31] 游旭, 何东进, 肖焱, 等. 县域生态保护成效评估方法——以峨山县为例 [J]. *生态学报*, 2019, 39(9): 3051 – 3061.
- [32] MAES J, EGOH B, WILLEMEN L, et al. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union [J]. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 31 – 39.
- [33] SAAD R, KOELLNER T, MARGNI M. Land use impacts on freshwater regulation, erosion regulation, and water purification: A spatial approach for a global scale level [J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2013, 18(6): 1253 – 1264.
- [34] 王飞, 陶宇, 欧维新. 景观格局变化的水质净化服务响应关系研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2021, 36(1): 17 – 28.
- [35] FENG X, FU B, LU N, et al. How ecological restoration alters ecosystem services: An analysis of carbon sequestration in China's Loess Plateau [J]. *Scientific Reports*, 2013, 3(1): 1 – 5.
- [36] LU F, HU H, SUN W, et al. Effects of national ecological restoration projects on carbon sequestration in China from 2001 to 2010 [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(16): 4039 – 4044.
- [37] 张敏, 王明伟, 刘欣宇, 等. 太行山丘陵区不同林龄核桃树固碳释氧量及冠下土壤碳储量 [J]. *江苏农业学报*, 2021, 37(1): 93 – 98.
- [38] 温宥越, 孙强, 燕玉超, 等. 粤港澳大湾区陆地生态系统演变对固碳释氧服务的影响 [J]. *生态学报*, 2020, 40(23): 8482 – 8493.
- [39] 王晓荣, 胡兴宜, 唐万鹏, 等. 不同林分密度杨树人工林的固碳释氧和积累营养物质研究 [J]. *湖北林业科技*, 2020, 49(3): 1 – 4.
- [40] SUN Z, WEI B, SU W, et al. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China [J].

- Mathematical and Computer Modelling*, 2011, 54(3-4): 1086 – 1092.
- [41] LARONDELLE N, HAASE D. Urban ecosystem services assessment along a rural–urban gradient: A cross-analysis of European cities[J]. *Ecological Indicators*, 2013, 29: 179 – 190.
- [42] 杨一鹏, 曹广真, 侯鹏, 等. 城市湿地气候调节功能遥感监测评估[J]. *地理研究*, 2013, 32(1): 73 – 80.
- [43] 张涛. 基于 3S 技术的青海湖流域气候调节功能评估[D]. 西宁: 青海师范大学, 2015.
- [44] DANIEL T C, MUHAR A, ARNBERGER A, et al. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109(23): 8812 – 8819.
- [45] PLIENINGER T, DIJKS S, OTEROS-ROZAS E, et al. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level[J]. *Land Use Policy*, 2013, 33: 118 – 129.
- [46] 杨丽雯, 王大勇, 李双成. 生态系统文化服务供需关系量化方法研究: 以平陆大天鹅景区为例[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2021, 57(4): 691 – 698.
- [47] 李丽, 王心源, 骆磊, 等. 生态系统服务价值评估方法综述[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(4): 1233 – 1245.
- [48] TIETENBERG T, LEWIS L. *Environmental and Natural Resource Economics*[M]. Routledge, 2018. London
- [49] 赵金龙, 王泮鑫, 韩海荣, 等. 森林生态系统服务功能价值评估研究进展与趋势[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(8): 2229 – 2237.
- [50] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 480 – 491.
- [51] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法[J]. *生态学报*, 2001, 21(11): 1885 – 1892.
- [52] KRIEGER D J. *Economic Value of Forest Ecosystem Services: A Review*[M]. Washington DC: The Wilderness Society, 2001.
- [53] 邓楚雄, 朱大美, 李忠武, 等. 湘中丘陵区农业生态系统服务价值与城镇化水平弹性关系研究[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2021, 29(8): 1453 – 1466.
- [54] YANG W, CHANG J, XU B, et al. Ecosystem service value assessment for constructed wetlands: A case study in Hangzhou, China[J]. *Ecological Economics*, 2008, 68(1-2): 116 – 125.
- [55] 宋慈. 基于“两山”理论的水源涵养价值动态优化研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [56] HANSEN L R, HELLERSTEIN D. The value of the reservoir services gained with soil conservation[J]. *Land Economics*, 2007, 83(3): 285 – 301.
- [57] 宁虎森, 罗青红, 吉小敏, 等. 新疆梭梭林生态系统服务价值评估[J]. *生态科学*, 2017, 36(3): 74 – 81.
- [58] CHEN H. The ecosystem service value of maintaining and expanding terrestrial protected areas in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 781: 146768.
- [59] 崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究[J]. *生态学杂志*, 2004(4): 47 – 51.
- [60] 杨文杰, 赵越, 赵康平, 等. 流域水生态系统服务价值评估研究——以黄山市新安江为例[J]. *中国环境管理*, 2018, 10(4): 100 – 106.
- [61] GREN M, CARLSSON M. Economic value of carbon sequestration in forests under multiple sources of uncertainty[J]. *Journal of Forest Economics*, 2013, 19(2): 174 – 189.
- [62] ALBERINI A, LONGO A. Combining the travel cost and contingent behavior methods to value cultural heritage sites: Evidence from Armenia[J]. *Journal of Cultural Economics*, 2006, 30(4): 287 – 304.
- [63] 周金莺, 童依霜, 丁倩, 等. 基于旅行费用法的衢州市柯城区“一村万树”工程生态旅游服务价值评估[J]. *生态学报*, 2021, 41(16): 6440 – 6450.
- [64] SINCLAIR M, MAYER M, WOLTERING M, et al. Valuing nature-based recreation using a crowdsourced travel cost method: A comparison to onsite survey data and value transfer[J]. *Ecosystem Services*, 2020, 45: 101165.
- [65] 王婧, 欧小杨, 吴佳霖, 等. 近 20 年国外系统保护规划研究进展及启示[J]. *风景园林*, 2019, 26(8): 65 – 70.
- [66] 欧阳晓, 贺清云, 朱翔. 多情景下模拟城市群土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以长株潭城市群为例[J]. *经济地理*, 2020, 40(1): 93 – 102.
- [67] GÓMEZ-BAGGETHUN E, GREN Å, BARTON D N, et al. Urban Ecosystem Services[M]//Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities. Springer, Dordrecht, 2013: 175 – 251.
- [68] ANDERSSON E, BARTHEL S, BORGSTRÖM S, et al. Reconnecting cities to the biosphere: Stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services[J]. *Ambio*, 2014, 43(4): 445 – 453.
- [69] 吕彪, 曾晴, 雷光春. 基于生态系统服务的保护地分类体系构建[J]. *中国园林*, 2017, 33(8): 19 – 23.
- [70] 陈利顶, 景永才, 孙然好. 城市生态安全格局构建: 目标、原则和基本框架[J]. *生态学报*, 2018, 38(12): 4101 – 4108.
- [71] FU B, WANG S, ZHANG J, et al. Unravelling the complexity in achieving the 17 sustainable-development goals[J]. *National Science Review*, 2019, 6(3): 386 – 388.
- [72] NAIDOO R, BALMFORD A, COSTANZA R, et al. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(28): 9495 – 9500.
- [73] PARACCHINI M L, ZULIAN G, KOPPEROINEN L, et al. Mapping cultural ecosystem services: A framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 45: 371 – 385.
- [74] 张立伟, 傅伯杰. 生态系统服务制图研究进展[J]. *生态学报*, 2014, 34(2): 316 – 325.
- [75] 董敏. 汾河上游流域生态系统服务时空变化及影响因素研究[D]. 太原: 山西大学, 2020.
- [76] FELIPELUCIA M R, MARTINLOPEZ B, LAVOREL S, et al. Ecosystem services flows: Why stakeholders’ power relationships matter[J]. *PLOS ONE*, 2015, 10(7): e0132232.
- [77] FISHER B, TURNER R K, MORLING P, et al. Defining and

- classifying ecosystem services for decision making[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643 – 653.
- [78] BAGSTAD K J, JOHNSON G W, VOIGT B, et al. Spatial dynamics of ecosystem service flows: A comprehensive approach to quantifying actual services[J]. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 117 – 125.
- [79] SYRBE R, WALZ U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 80 – 88.
- [80] SERNACHAVEZ H M, SCHULP C J, VAN BODEGOM P M, et al. A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 39: 24 – 33.
- [81] 冯晓珂, 黄斌斌, 李若男, 等. 生态系统服务流特征及量化方法研究进展[J]. *环境保护科学*, 2019, 45(6): 29 – 38.
- [82] 环境保护部, 中国科学院. 全国生态功能区划 (修编版)[EB]. 2015
- [83] JOHNSON C N, BALMFORD A, BROOK B W, et al. Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene[J]. *Science*, 2017, 356(6335): 270 – 275.
- [84] XU X, TAN Y, YANG G, et al. China's ambitious ecological red lines[J]. *Land Use Policy*, 2018, 79: 447 – 451.
- [85] 郑华, 欧阳志云. 生态红线的实践与思考[J]. *中国科学院院刊*, 2014, 29(4): 457 – 461+448.
- [86] 环境保护部, 国家发展和改革委员会. 生态保护红线划定指南[EB]. 2017
- [87] XU X, YANG G, TAN Y. Identifying ecological red lines in China's Yangtze River Economic Belt: A regional approach[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 96: 635 – 646.
- [88] 黄伟, 曾江宁, 陈全震, 等. 海洋生态红线区划——以海南省为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(1): 268 – 276.
- [89] 李永格, 李宗省, 冯起, 等. 基于生态红线划定的祁连山生态保护性开发研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(7): 2343 – 2352.
- [90] 财政部. 中央对地方重点生态功能区转移支付办法[EB]. 2017
- [91] 刘桂环, 文一惠, 谢婧, 等. 国家重点生态功能区转移支付政策演进及完善建议[J]. *环境保护*, 2020, 48(17): 9 – 14.
- [92] 丘水林, 靳乐山. 生态产品价值实现: 理论基础、基本逻辑与主要模式[J]. *农业经济*, 2021(4): 106 – 108.
- [93] 殷斯霞, 李新宇, 王哲中. 金融服务生态产品价值实现的实践与思考——基于丽水市生态产品价值实现机制试点[J]. *浙江金融*, 2021(4): 27 – 32.
- [94] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于建立健全生态产品价值实现机制的意见[EB]. 2021
- [95] 赵文武, 刘月, 冯强, 等. 人地系统耦合框架下的生态系统服务[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 139 – 151.
- [96] LV Y, FU B, FENG X, et al. A policy-driven large scale ecological restoration: Quantifying ecosystem services changes in the Loess Plateau of China[J]. *Plos One*, 2012, 7(2): e31782.
- [97] 李双成. 生态系统服务地理学[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [98] 黎祖交. 关于建立生态产品价值实现机制的几点思考[J]. *绿色中国*, 2021(5): 68 – 75.
- [99] 黄茂兴, 叶琪. 生态文明制度创新与美丽中国的福建实践[J]. *福建师范大学学报 (哲学社会科学版)*, 2020, 3: 23 – 30+168-169.
- [100] 刘长松. 我国生态文明建设的现状问题与提升路径[J]. *发展研究*, 2017, 7: 28 – 32.