

DOI: 10.5846/stxb201801180133

江波, 王晓媛, 杨梦斐, 蔡金洲. 生态系统服务研究在生态红线政策保护成效评估的应用. 生态学报, 2019, 39(9): - .

Jiang B, Wang X Y, Yang M F, Cai J Z. Application of ecosystem services research on a protection effectiveness evaluation of the ecological redline policy. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(9): - .

生态系统服务研究在生态红线政策保护成效评估的应用

江 波, 王晓媛*, 杨梦斐, 蔡金洲

长江水资源保护科学研究所, 武汉 430051

摘要:生态保护红线政策是中国推进生态保护与建设的宏观政策,其保护成效评估是国内外关注的重大科学问题。在分析国内外生态系统服务研究进展及中国生态保护红线内涵、划定进程及管控要求的基础上,结合生态红线政策与生态系统服务研究的关联及生态系统服务研究在红线政策保护成效评估应用中面临的挑战,提出了红线政策实施效果评估的技术框架和基本思路。开展生态红线政策保护成效评估,能从科学上明确生态红线政策实施对多尺度利益相关者成本、效益的影响,为生态红线政策的综合研究提供框架和科学方法;从政策设计上,为生态红线布局进一步优化提供依据;从制度建设上,提出符合生态红线政策实施的制度框架,推动生态保护红线制度建设由理论走向实践。

关键词:生态系统服务;生态保护红线;保护成效;权衡

Application of ecosystem services research on a protection effectiveness evaluation of the ecological redline policy

JIANG Bo, WANG Xiaoyuan*, YANG Mengfei, CAI Jinzhou

Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, China

Abstract: The ecological redline policy (ERP) is a key macro-level policy to manage different land-use functions in accordance with development and environmental limits. The effectiveness of the ERP is a central scientific question for both domestic and international concerns on sustainable development. In this study, we first analyzed the domestic and international progress of ecosystem services research and the connotation, demarcation process, and management requirements of China's ecological protection redline. We then proposed the technical framework and the basic ideas for an effectiveness evaluation of the ERP based on the analysis of the connection between the ERP and ecosystem services research and the challenges of the application of ecosystem services for the effectiveness evaluation of the ERP. We proposed to conduct a comprehensive policy analysis using field surveys and monitoring, remote sensing monitoring, questionnaires, and scenario simulations to evaluate the effectiveness of the ERP with the aims of 1) scientifically clarifying the impact of the ERP on the multi-scale stakeholders' costs and benefits to assess the protection efficiency of the ERP and to provide a framework and scientific method for the comprehensive study of the ERP; 2) simulating ecosystem services outcomes under alternative scenarios and provide the scientific basis for further optimization of the redline layout from a policy design standpoint; and 3) propose an institutional framework that complies with the implementation of the ERP from the point of institutional construction, to move institutional reforms from theory to practice.

基金项目:国家重点研发计划课题(2017YFC0505302);水利部预算项目(H017002)

收稿日期:2018-01-18; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunnywxy@163.com

Key Words: ecosystem services; ecological protection redline; protection effectiveness; trade-offs

生态系统服务评估及其政策应用是生态学领域研究的前沿和热点课题^[1-2],因其关联生态系统和人类福祉的整合思维而受到广泛关注。许多国家认识到生态系统服务评估及其政策应用是应对可持续发展挑战的一种重要途径^[2],并把生态系统服务作为生态系统管理研究中与政策相关的首要问题。联合国先后启动了千年生态系统评估、生物多样性和生态系统服务的政府间科学—政策平台等重大研究计划^[1],墨西哥、英国、中国先后分别开展了全国生态系统服务评估^[1,3],2012年美国正式将生态系统服务纳入国家新森林规划条例中^[4],越南、巴西、哥斯达黎加、哥伦比亚和秘鲁等国在不同尺度开展了生态系统服务付费计划^[3,5]。各国对生态系统服务评估和监测制度化的需求不断增加^[1-2,5-6],极大地推动了全球生态系统服务评估和保护研究^[1]。

自改革开放以来(20世纪70年代),中国已成为世界第二大经济体^[1]。由于工业化和城镇化快速发展,中国生态环境问题日益严峻^[1,7],对人类健康、社会稳定和经济发展造成了严重威胁^[8]。对政府部门而言,管理决策和政策设计面临的重大挑战是在减轻贫困和发展经济的同时,又能保障生态系统服务供给能力^[3]。为保障生态安全,促进经济社会可持续发展,党中央和国务院提出划定生态保护红线的重要任务^[9]。在生态文明等顶层设计的背景下,生态红线的划定与实施逐渐被提升为国家战略^[10]。2017年2月7日,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》,使我国生态保护红线划定有了明确的“时间表”^[10]。

生态保护红线是对生态功能重要区、敏感区、脆弱区实施严格保护的一项制度,其生态系统服务的供给者是保障区域生态功能实施严格保护的生态系统,生态系统服务受益者是从生态系统服务获取效益的不同尺度的居民。对于生态补偿而言,生态系统服务的供给者是指为保障生态系统可持续供给生态系统服务而放弃发展机会的居民。针对生态系统服务多尺度利益相关者开展定量评估,并将评估成果应用于管理决策和政策制定是实现国土空间进一步优化的重大科学手段^[1]。中国在经济社会持续快速发展的同时,积极推进生态保护与建设。由于现阶段科学信息与政策机制无法完全满足管理决策者和政策制定者对信息的需求^[11-12],生态红线划定及实践(制度化)面临着数据匮乏和执行匮乏等多方面挑战^[2],生态保护成效是国内外关注的核心问题,也是当前国际生态学领域研究的前沿课题。结合生态系统服务研究进展及中国生态保护红线政策实施进程,开展生态保护成效评估,具有以下几个方面的重要意义:(1)从科学上,明确生态红线政策实施对多尺度利益相关者成本、效益的影响,为生态红线政策的综合研究提供框架和科学方法;(2)从政策设计上,为生态红线布局进一步优化提供依据;(3)从制度建设上,针对生态红线政策划定和实施中面临的科学挑战,提出符合生态红线政策效果的评估框架,优化生态系统服务评估方法,推动生态保护红线制度建设由理论走向实践。

1 生态系统服务研究的几个重要进展

生态系统服务评估是生态系统管理决策和政策设计的重要组成部分^[13]。近年来,国内外学者在生态系统服务内涵、权衡与协同关系、综合制图、评估模型、生态生产函数构建等方向的研究不断深入,为管理决策及政策设计提供了重要的理论基础。

1.1 区分生态系统中间服务和最终服务

随着生态系统服务研究的不断深入,生态系统中间服务和最终服务的概念受到广泛关注^[13-18]。其概念区分从理论上避免了生态系统服务价值重复计算,为生态系统服务权衡关系和生态系统服务供需耦合机制研究提供了重要的理论支撑。

1.2 生态系统服务权衡关系

生态系统服务之间存在权衡和协同关系^[19-23]。Zheng等^[22]以水资源保护与农业发展矛盾突出的北京密

云水库流域为对象,定量研究了不同土地利用情景下多种生态系统服务之间的相互作用关系,阐明了供给服务和调节服务的权衡关系。Nelson 等^[23]以美国俄勒冈州威拉米特河流域为例,模拟了不同土地利用情景对生物多样性保护与生态系统服务权衡关系的影响,阐明了产品生产服务与生态系统服务和生物多样性之间的权衡关系。

1.3 生态系统服务综合制图

生态系统服务综合制图是生态系统服务评估结果纳入到管理决策和政策制定的新模式,受到国内外学者的高度关注^[1,22-26]。目前,生态系统服务综合制图研究主要集中在生态系统服务供给分布格局综合制图研究^[26]及生态系统服务供需匹配综合制图研究^[1,27-29]。

1.4 生态系统服务评估模型

随着生态系统服务研究不断深入,生态系统服务供给模型、需求模型和价值评估模型的开发和应用均取得了一定进展^[30],其中最常用的是 InVEST 模型^[31]。InVEST 模型能较准确地模拟不同土地利用情景下生态系统服务物质量及其价值量的时空权衡关系,是国内应用最广泛的生态系统服务评估模型,在全国尺度^[1]、流域尺度^[20,22]、区域尺度^[32]和局地尺度^[33]等均得到了较好的利用。

1.5 生态生产函数构建

生态生产函数法是基于过程模型和统计学方法研究生态系统最终服务对生态特征边际响应的重要方法^[2,14-15],能提高效益转化法应用和尺度推绎的合理性,使生态系统服务评估结果的可靠性得到提升,为制定合理的生态补偿标准提供科学数据。然而,由于数据局限性和跨学科挑战,鲜有研究构建生态生产函数^[14,34-35]。比较典型的生态生产函数是 Barbier 等^[36-38]构建的滨海湿地生态特征(生境变化)和最终服务(渔业生产、风暴和波浪防护等)的非线性函数。Ricketts 等^[39]构建了授粉和作物产量的生态生产函数。Cooter 等^[40]构建了生态系统条件和空气质量的生态生产函数。Wong 等^[41]以永定河生态工程为案例,通过整合过程模型和回归模型,创建了水源涵养和局地气候调节的生态生产函数,为生态系统服务优化管理提供了重要科学依据。生态学家创建了很多类似生态生产函数的回归模型来关联生态系统结构、过程与功能,但因为混淆生态系统中间服务和最终服务,大部分回归模型并非生态生产函数^[2]。

2 生态保护红线内涵、划定进程及管控要求

2.1 生态保护红线内涵

生态保护红线是指依法在重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域划定的严格管控边界,是国家和区域生态安全的底线^[42]。生态保护红线是我国环境保护的重要制度创新,是提高生态系统服务的有效手段,对维护国家或区域生态安全及可持续发展具有战略意义^[43-45]。

2.2 生态保护红线划定进程

党中央、国务院高度重视生态环境保护,作出一系列关于生态红线划定和实施的重大决策部署,并将生态保护红线纳入《环境保护法》。2015年,原环境保护部印发《生态保护红线划定技术指南》^[42]。2017年,原环境保护部与国家发展和改革委员会共同印发《生态保护红线划定指南》^[46]。基于长期实践,京津冀、长江经济带 11 省(市)、宁夏等 15 个省(市)生态保护红线划定方案已获国务院批准,其他各省(市、自治区)基本都在开展生态保护红线划定工作,国家层面也在开展生态保护红线划定顶层设计。

2.3 生态保护红线管控要求

根据现阶段国家生态文明建设和生态环境管理的实际需求,生态红线一旦划定,应满足以下管控要求:一是性质不转换。应强化各类生态用地空间用途管制,严禁生态用地转化为非生态用地,从而维持红线区域内主体保护对象的相对稳定。二是功能不降低。生态保护红线的核心目标是有效维持和改善生态功能。应采取封禁等措施,保护生态系统服务的极重要区域,确保其服务持续稳定发挥;对于存在退化的生态敏感区和脆弱区,应实施生态修复,使生态服务不断改善。三是面积不减少。为维持最低限度内一定面积规模的生态保

护红线区域内的基本生态功能,生态保护红线边界应保持相对稳定,面积规模不减少,以有效控制不合理的开发建设活动^[43-44]。

3 生态系统服务研究在生态红线政策保护成效评估的应用

3.1 生态红线政策与生态系统服务研究的关联

生态保护红线政策与生态系统服务研究有 3 个主要关联点。(1)生态保护红线划定与生态系统服务研究的关联。生态保护红线是指具有特殊重要生态功能、必须强制性严格保护的区域。因此,必须开展系统的生态系统服务和生态敏感性评估,并根据生态功能重要性、生态环境敏感性与脆弱性科学划定生态保护红线,落实到国土空间。(2)生态保护红线制度建设与生态系统服务研究的关联。生态保护红线制度建设的一项重要内容是生态补偿制度,而红线区域内生态补偿机制的建立以生态保护红线所在地区和受益地区的空间关联为基础。因此,必须开展系统的生态系统服务评估,按照谁受益、谁补偿原则,推动生态系统服务所在区(供给者)和受益区(受益者)之间建立横向生态补偿制度^[47]。(3)生态保护红线区管控要求与生态系统服务研究的关联。生态红线一旦划定,应满足功能不降低的管控要求。因此,必须开展系统的生态系统服务评估,掌握全国、重点区域、县域生态保护红线区生态系统服务动态变化,评估结果将作为优化生态保护红线布局和实行领导干部生态环境损害责任追究的依据^[47]。

3.2 生态系统服务研究在生态红线政策保护成效评估的应用价值

生态保护红线划定、实施效果和可持续性是国内国外关注的核心问题^[1]。生态系统服务研究是生态系统管理和政策设计的重要方法,是评估生态红线政策保护成效的重要手段。明确生态保护红线划定和配套政策实施后,生态系统服务传递过程中多尺度(局地尺度和区域尺度等)利益相关者的成本、效益及其时间动态变化,是科学评估生态保护红线政策实施效果的关键,也是生态红线政策有效实施和红线布局进一步优化设计的重要手段。

3.3 生态系统服务研究在生态红线政策保护成效评估应用中面临的挑战

近年来,国内学者从构建国家生态安全格局和生态文明制度化建设的需求出发,围绕生态系统服务形成机制、生态系统服务集成评估、生态补偿制度建设等开展了长期研究。但由于现阶段科学信息无法完全支撑科学决策^[11-12],生态系统服务评估成果纳入生态红线政策设计和保护成效评估仍面临多方面挑战:(1)数据匮乏导致生态红线划定存在不科学性。生态红线政策保护成效评估是以划定的生态保护红线为基础,因此生态保护红线划定的科学性和合理性将直接影响生态保护成效评估的结果。生态保护红线的划定应在对区域生态系统功能、生态敏感性等定量评估的基础上进行划定,而且需要考虑利益相关方的意见。但由于数据匮乏,部分省(市、自治区)在生态保护红线划定时,将现有的重要/重点生态功能区、自然保护区、风景名胜区等做一个简单的叠加^[48]。生态保护红线划定的不科学性将对生态红线政策的实施和效果评估造成一定的影响。(2)概念混淆导致生态红线政策保护成效评估指标确定存在困难。生态保护成效评估的一个核心环节就是评估指标的确定,但由于生态系统中间服务和最终服务概念的混淆,评估指标很可能既包括生态系统中间服务,又包括生态系统最终服务,造成生态系统服务重复计算,对成效评估结果的可信度会造成一定影响。(3)政策目标的确定存在不确定性。生态红线政策保护成效评估既包括生态红线政策实施后生态系统服务是否达到相应政策目标,又包括生态红线政策实施对生态系统服务多尺度利益相关者成本、效益的影响。因此,生态系统服务评估必须与生态红线政策目标关联,才能科学合理的评估生态红线政策的实施是否达到相应目标。然而,部分生态系统服务的政策目标并不是以科学数据为支撑,例如 CO₂ 排放目标^[49],给生态红线政策的实施效果评估带来一定的挑战。(4)生态补偿机制与生态红线政策目标脱节。生态补偿机制是确保生态保护红线区获得经济支持的重要手段,同时也是生态系统服务多尺度利益相关者建立成本、效益关联的重要机制。但由于部分省(市、自治区)划定生态保护红线时,未系统开展生态系统服务、生态敏感性和生物多样性评估,难以科学确定生态系统服务供给者和受益者之间的补偿标准,生态补偿机制与生态红线政策目

标脱节。因此,无法全面反映生态红线政策实施过程中生态系统服务供给者和受益者的全部成本和效益,给生态红线政策保护成效评估带来挑战。(5)缺乏具指导性的生态红线政策保护成效评估框架和生态红线政策实施效果评估的具体步骤,生态红线政策实施成效评估和红线布局优化难度大。另外,大多数生态系统服务评估案例并不是以特定的政策目标为背景,缺乏替代情景以优化红线布局。

今后应重点加强以下几个方面的研究:(1)构建标准化的生态系统服务监测指标体系并搜集生态系统服务评估所需的数据,并使用科学的方法来确定生态系统服务的热点区域,提高生态系统服务评估结果的科学性和合理性,为划定生态保护红线提供数据支撑;(2)基于生态系统服务流动机制和受益者需求,确定局地尺度的生态系统最终服务指标,区分生态系统中间服务和最终服务,使国家目标与局地特征相结合,为生态保护红线政策实施效果评估提供基础;(3)开展多尺度的利益相关方成本效益权衡分析,将利益相关方纳入生态保护红线划定和执行过程中,通过利益相关方成本效益权衡关系分析,提升生态补偿机制与生态红线政策目标的关联性,确保生态保护红线落地;(4)构建具有指导性的生态红线政策保护成效评估框架,优化生态红线政策实施效果及替代情景生态系统服务评估方法和评估步骤,为红线布局优化提供依据。

4 生态红线政策实施成效评估技术框架及基本思路

针对生态红线政策与生态系统服务研究的关联及生态系统服务研究在生态红线政策保护成效评估应用面临的挑战,我们构建了生态红线政策实施效果评估的技术框架(图1)。该框架基于划定的生态保护红线区域,结合国家宏观政策目标和地方政策目标,确定生态保护红线区主导生态系统服务,并结合生态系统服务科学和政策实施背景和情景设计,构建生态系统服务多尺度利益相关者成本、效益的关联机制。通过生态系统服务集成评估(指标体系构建、模型验证、情景模拟、问卷调查、生态监测和价值评估),开展生态红线政策保护成效评估,能从科学上明确生态红线政策实施对多尺度利益相关者成本、效益的影响;从政策设计上为生态红线布局方案进一步优化提供依据;从制度建设上,推动生态保护红线制度建设由理论走向实践。

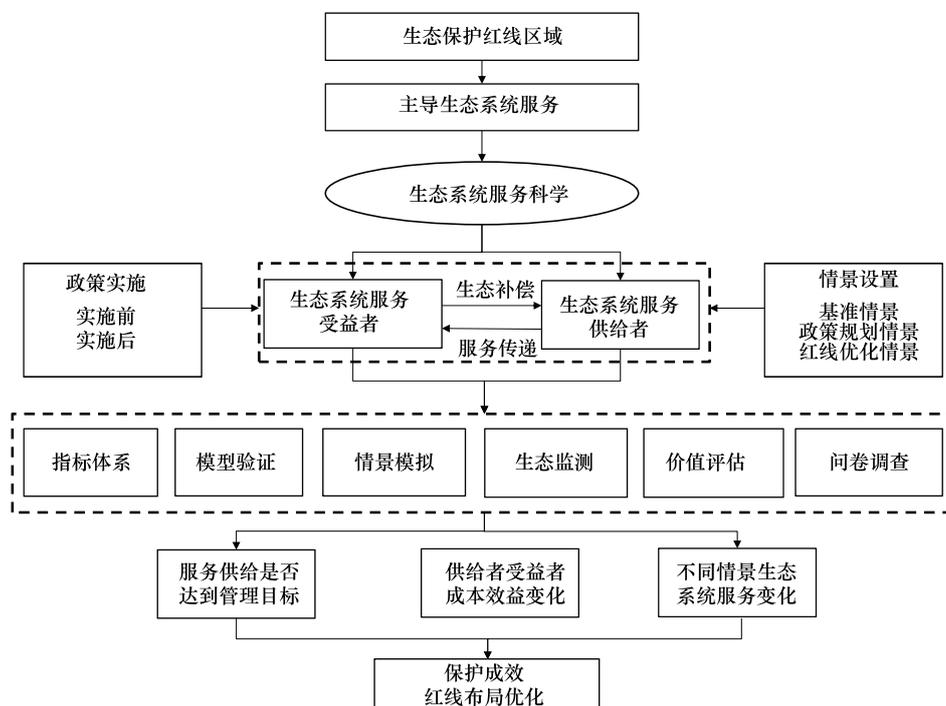


图1 生态红线政策实施效果评估技术框架图

Fig.1 Framework for the effectiveness evaluation of the ecological redline policy (ERP)

生态红线政策实施效果评估的基本思路包括:(1)确定主导生态系统服务及其政策目标。从国家生态文

明顶层设计出发,结合区域生态保护目标、生态系统服务传递机制和生态系统服务受益者需求,确定生态保护红线区主导生态系统服务及其政策目标;(2)分析生态红线政策实施后生态系统服务水平是否达到管理目标。选取生态红线政策实施前后的典型年份,结合野外调查、生态监测、问卷调查和空间模型模拟等技术手段,开展生态系统服务评估,分析生态红线政策实施后生态系统服务是否达到政策目标;(3)分析生态红线政策对生态系统服务供给者和受益者成本、效益的影响。明确生态系统服务供给者和受益者成本、效益的组成部分及关联机制,并选取生态红线政策实施前后的典型年份,明确生态红线政策实施对供给者和受益者成本、效益的影响,从科学上明确生态红线政策实施效果。(4)结合情景模拟,进一步优化生态保护红线布局方案。设置不同的土地利用情景(红线基准情景、城市总体规划情景、红线优化情景),阐明生态系统服务对土地利用变化的响应机制,从政策设计上提出红线区域的优化布局方案。(5)通过开展多尺度的利益相关方成本效益权衡分析,提升生态补偿机制与生态红线政策目标的关联性,从制度建设上,推动生态保护红线制度建设由理论走向实践。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] Wong C P, Jiang B, Kinzig A P, Lee K N, Ouyang Z Y. Linking ecosystem characteristics to final ecosystem services for public policy. *Ecology Letters*, 2015, 18(1): 108-118.
- [3] Guerry A D, Polasky S, Lubchenco J, Chaplin-Kramer R, Daily G C, Griffin R, Ruckelshaus M, Bateman I J, Duraiappah A, Elmqvist T, Feldman M W, Folke C, Hoekstra J, Kareiva P M, Keeler B L, Li S Z, McKenzie E, Ouyang Z Y, Reyers B, Ricketts T H, Rockström J, Tallis H, Vira B. Natural capital and ecosystem services informing decisions: from promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(24): 7348-7355.
- [4] United States Department of Agriculture Forest Service (USDA FS). National forest system land management planning. *Federal Register*, 2012, 77: 21162-21276.
- [5] Waage S, Kester C. *Global Public Sector Trends in Ecosystem Services: 2009-2013*. San Francisco, CA: Business for Social Responsibility, 2014.
- [6] Maes J, Egoh B, Willemsen L, Liqueste C, Vihervaara P, Schägner J P, Grizzetti B, Drakou E G, Notte A L, Zulian G, Bouraoui F, Paracchini M L, Braat L, Bidoglio G. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 2012, 1 (1): 31-39.
- [7] Bai Y, Jiang B, Wang M, Li H, Alatalo J M, Huang S F. New ecological redline policy (ERP) to secure ecosystem services in China. *Land Use Policy*, 2016, 55: 348-351.
- [8] Liu J G, Diamond J. China's environment in a globalizing world. *Nature*, 2005, 435(7046): 1179-1186.
- [9] 高吉喜, 邹长新, 王丽霞. 划定生态保护红线 深化环境影响评价. *环境影响评价*, 2014, (4): 11-14.
- [10] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 中办国办印发《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》. *人民日报*, 2017-02-08(01版).
- [11] Polasky S, Tallis H, Reyers B. Setting the bar: standards for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(24): 7356-7361.
- [12] Ehrlich P R, Kareiva P M, Daily G C. Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization. *Nature*, 2012, 486(7401): 68-73.
- [13] United States Environmental Protection Agency. *National Ecosystem Services Classification System (NESCS): Framework Design and Policy Application*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2015.
- [14] United States Environmental Protection Agency. *Valuing the Protection of Ecological Systems and Services: A Report of the EPA Science Advisory Board (EPA-SAB-09-012)*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2009.
- [15] *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)*. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. London: Earthscan, 2010.
- [16] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 616-626.
- [17] Nahlik A M, Kentula M E, Fennessy M S, Landers D H. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice. *Ecological Economics*, 2012, 77: 27-35.
- [18] Bockstael N E, Freeman A M, Kopp R J, Portney P, Smith V K. On measuring economic values for nature. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34(8): 1384-1389.
- [19] Bennett E M, Peterson G D, Gordon L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 2009, 12(12): 1394-1404.

- [20] Zheng H, Li Y F, Robinson B E, Liu G, Ma D C, Wang F C, Lu F, Ouyang Z Y, Daily G C. Using ecosystem service trade-offs to inform water conservation policies and management practices. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2016, 14(10): 527-532.
- [21] Kremen C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 2005, 8(5): 468-479.
- [22] Zheng H, Robinson B E, Liang Y C, Polasky S, Ma D C, Wang F C, Ruckelshaus M, Ouyang Z Y, Daily G C. Benefits, costs, and livelihood implications of a regional payment for ecosystem service program. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(41): 16681-16686.
- [23] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D R, Chan K M A, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M R. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [24] Cowling R M, Egoh B, Knight A T, O'Farrell P J, Reyers B, Rouget M, Roux D J, Welz A, Wilhelm-Rechman A. An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9483-9488.
- [25] Leslie H M. A roadmap to nature's benefits. *Science*, 2012, 332(6035): 1264-1265.
- [26] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 17-29.
- [27] Schirpke U, Scolozzi R, de Marco C, Tappeiner U. Mapping beneficiaries of ecosystem services flows from Natura 2000 sites. *Ecosystem Services*, 2014, 9: 170-179.
- [28] Nedkov S, Burkhard B. Flood regulating ecosystem services-mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 67-79.
- [29] Stürck J, Poortinga A, Verburg P H. Mapping ecosystem services: the supply and demand of flood regulation services in Europe. *Ecological Indicators*, 2014, 38: 198-211.
- [30] 于丹丹, 吕楠, 傅伯杰. 生物多样性与生态系统服务评估指标与方法. *生态学报*, 2017, 37(2): 349-357.
- [31] Crossman N D, Burkhard B, Nedkov S, Willemen L, Petz K, Palomo I, Drakou E G, Martín-Lopez B, McPhearson T, Boyanova K, Alkemade R, Egoh B, Dunbar M B, Maes J. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 4-14.
- [32] 饶恩明, 肖焱, 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.
- [33] Li C, Zheng H, Li S Z, Chen X S, Li J, Zeng W H, Liang Y C, Polasky S, Feldman M W, Ruckelshaus M, Ouyang Z Y, Daily G C. Impacts of conservation and human development policy across stakeholders and scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(24): 7396-7401.
- [34] Polasky S, Segerson K. Integrating ecology and economics in the study of ecosystem services: some lessons learned. *Annual Review of Resource Economics*, 2009, 1: 409-434.
- [35] National Research Council (NRC). *Valuing Ecosystem Services: Toward Better Environmental Decision-Making*. Washington, DC: National Academies Press, 2005.
- [36] Barbier E B. Valuing ecosystem services as productive inputs. *Economic Policy*, 2007, 22(49): 178-229.
- [37] Barbier E B, Enchelmeyer B S. Valuing the storm surge protection service of US gulf Coast wetlands. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 2014, 3(2): 167-185.
- [38] Barbier E B, Koch E W, Silliman B R, Hacker S D, Wolanski E, Primavera J, Granek E F, Polasky S, Aswani S, Cramer L A, Stoms D M, Kennedy C J, Bael D, Kappel C V, Perillo G M E, Reed D J. Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. *Science*, 2008, 319(5861): 321-323.
- [39] Ricketts T H, Daily G C, Ehrlich P R, Michener C D. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(34): 12579-12582.
- [40] Cooter E J, Rea A, Bruins R, Schwede D, Dennis R. The role of the atmosphere in the provision of ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 2013, 448: 197-208.
- [41] Wong C P, Jiang B, Bohn T J, Lee K N, Lettenmaier D P, Ma D C, Ouyang Z Y. Lake and wetland ecosystem services measuring water storage and local climate regulation. *Water Resources Research*, 2017, 53(4): 3197-3223.
- [42] 中华人民共和国环境保护部. 生态保护红线划定技术指南. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2015.
- [43] 高吉喜, 邹长新, 郑好. 推进生态保护红线落地保障生态文明制度建设. *环境保护*, 2015, 43(11): 26-29.
- [44] 邹长新, 王丽霞, 刘军会. 论生态保护红线的类型划分与管控. *生物多样性*, 2015, 23(6): 716-724.
- [45] 郑华, 欧阳志云. 生态红线的实践与思考. *中国科学院院刊*, 2014, 29(4): 457-461, 448-448.
- [46] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 生态保护红线划定指南. 北京: 环境保护部, 国家发展改革委, 2017.
- [47] Jiang B, Bai Y, Wong C P, Xu X B, Alatalo J M. China's ecological civilization program—Implementing ecological redline policy. *Land Use Policy*, 2019, 81: 111-114.
- [48] 高吉喜. 探索我国生态保护红线划定与监管. *生物多样性*, 2015, 23(6): 705-707.
- [49] Baró F, Haase D, Gómez-Baggethun E, Frantzeskaki N. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators*, 2015, 55: 146-158.