

# 基于生态系统服务的适应性社会 - 生态系统管理评估

梁友嘉<sup>1\*</sup>, 刘丽珺<sup>2</sup>

<sup>1</sup>武汉理工大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉

<sup>2</sup>长江大学资源与环境学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年7月25日; 录用日期: 2022年8月25日; 发布日期: 2022年9月1日

## 摘要

生态系统服务评估是社会 - 生态系统管理的重要基础, 但制定生态系统服务管理策略时存在复杂性和方法挑战。以甘肃省庆阳市为例, 本文利用生态系统服务动态评估框架和社会调查方法开发了一个可用的适应性社会 - 生态系统管理矩阵。发现: 1) 矩阵集成了利益相关者对生态系统服务的多元认识; 2) 适应性矩阵具有动态更新功能, 会减少生态系统服务动态评估的不确定性; 3) 庆阳市应以提升文化服务和加强水土资源调节为优先调控方向, 推进文旅产业和生态修复系列工程措施的深入实施。本研究有助于促进当地多种生态系统服务供需关系平衡和社会 - 生态系统的可持续发展。

## 关键词

生态系统服务, 社会 - 生态系统, 评估框架, 适应性管理, 矩阵

# Assessment on Adaptive Social-Ecological System Management Based on Ecosystem Services

Youjia Liang<sup>1\*</sup>, Lijun Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan Hubei

Received: Jul. 25<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 25<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 1<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

Ecosystem services assessment can be regarded as an important fundament for social-ecological

\*通讯作者。

system management. However, there are complexities and methodological challenges in developing specific management strategies for ecosystem services. An adaptive social-ecological system management matrix was developed based on the geo-environmental characteristics of Qingyang city, Gansu province, using a dynamic assessment framework of ecosystem services and social survey methods. The main conclusions are as follows: 1) the matrix integrates the stakeholders' diverse understanding of ecosystem services; 2) the adaptive matrix showed the capability for dynamically updating information on ecosystem services, which will reduce the uncertainty of the ecosystem services assessment; 3) it is recommended that the local government of Qingyang city should give priority to improving cultural services and regulating services of water-soil resources, and promoting the in-depth implementation of a series of engineering measures for the cultural tourism industry and ecological restoration. The research will be helpful for promoting the balance between supply and demand relationship in local ecosystem services, as well as the regional sustainability of social-ecological system.

## Keywords

Ecosystem Service, Social-Ecological System, Assessment Framework, Adaptive Management, Matrix

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

生态系统服务(Ecosystem Services, ESs)是社会 - 生态系统(Social-Ecological System, SES)管理的核心议题[1], 能有效揭示生态服务功能与人类福祉的可持续性供需模式[2]。但不同社会群体对生态系统提供的产品与服务存在偏好差异[3], 且特定生态系统服务的供需关系与权衡过程具有时空异质性[4], 传统 ESs 科学评估正面临与社会 - 生态知识集成的方法挑战。例如, 在景观优化管理中, ESs 供应最大化的决策目标能促进生态系统功能恢复[5] [6] [7], 但如何实现决策目标的管理功能设置仍不清楚, ESs 评估方法的可操作性和规范性也有待加强。

适应性社会 - 生态系统管理具有明晰的目标设定、解释和动态更新机制, 在 ESs 评估中有实践优势[8]。例如, 增加对服务供需过程的认识[9]、优化社会 - 生态知识与需求应用的连接关系[10]、提高居民对不同生态系统服务偏好的动态认识[11]。适应性社会 - 生态系统管理方法是降低传统 ESs 评估复杂性和不确定性的重要技术[12], 会为土地利用决策和社会 - 生态系统协同治理提供可用的工具与潜在实施途径。以甘肃省庆阳市为例, 利用 ESs 评估框架、社会调查发展一种可识别多种管理目标的适应性社会 - 生态评估矩阵, 基于该矩阵分析对 ESs 评估的潜在影响与优化途径, 为认识和调控当地关键生态系统服务提供决策与方法参考。

## 2. 研究区概况

庆阳市地处黄土高原核心区, 总面积为 27,119 km<sup>2</sup> (图 1)。该区属于典型大陆性季风气候, 天然植被面积较少, 多分布在东部林区、土石山丘区和高地草原区。2020 年全市总人口约为 265 万人。经济上以石油、煤炭和天然气的开发加工为主导产业, 近年来第三产业、传统农业转型和大数据产业发展迅速。受人类活动干扰与气候变化影响, 当地存在人均水土资源匮乏、人口超载和过度开垦、撂荒、植被破坏等生态环境问题[13], 景观格局与生态系统服务变化复杂。以生态系统服务评估为导向, 开展适应性社会 - 生态系统管理研究, 能提升当地的社会 - 生态管理策略与增加区域生态系统服务提供。

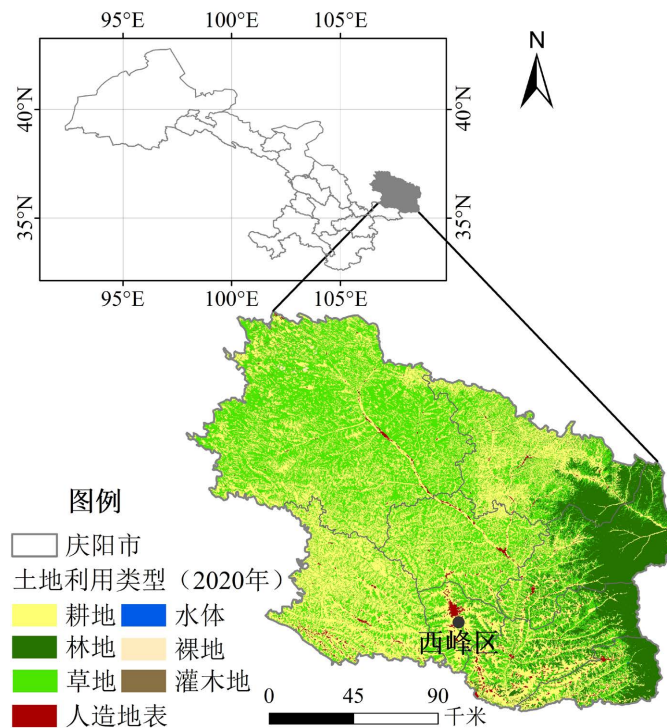


Figure 1. Map of the study area  
图 1. 研究区示意图

### 3. 适应性社会 - 生态系统管理矩阵

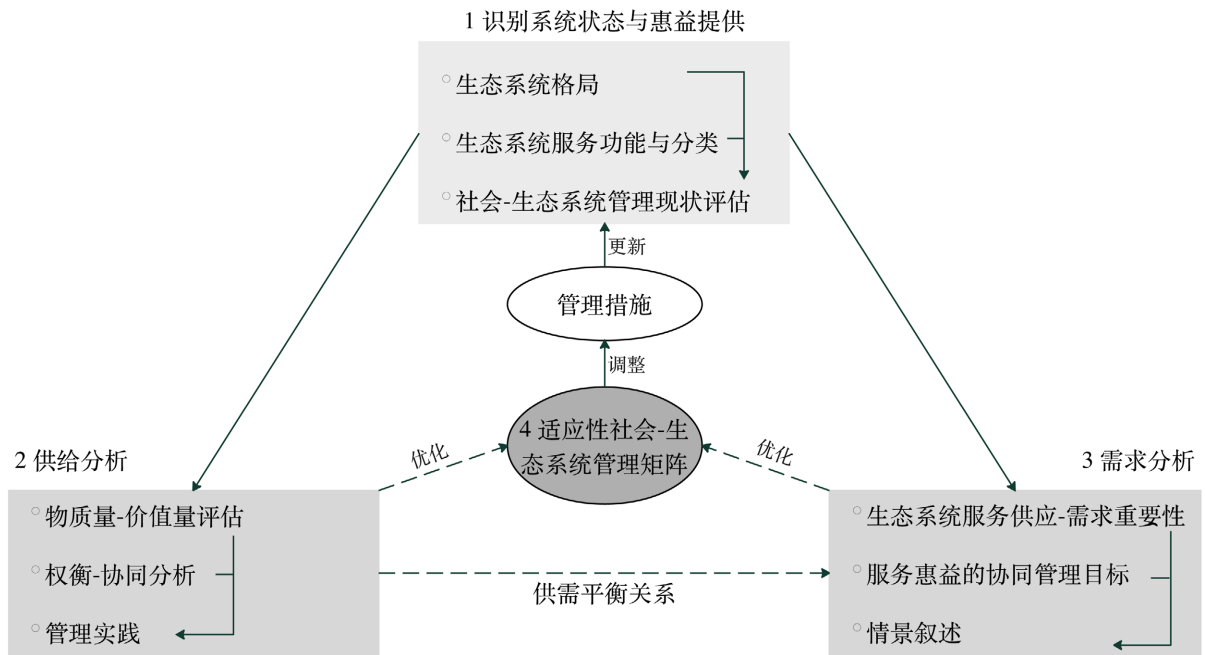
以景观格局过程、生态系统服务供需关系、社会 - 生态系统调控的连接关系为主要目标, 通过与 ESs 动态评估流程结合构建适应性社会 - 生态系统管理矩阵。

一是识别生态系统服务惠益, 获取不同景观的生态系统服务类型与管理现状。在现有生态系统服务核算技术指南[14]基础上选取指标, 以反映服务指标的显著性、可信性和合理性[15]。还增加了栖息地功能指标, 用于反映子午岭等自然保护区非经济价值功能。提出适用于 17 个 ESs 类型的指标, 指标选择依据是能反映服务的分布格局、空间流动和决策功能。

二是分析生态系统服务供给。收集典型的社会 - 生态管理措施, 调查不同措施对应的 ESs 权衡 - 协同变化关系, 并利用当地的专家知识校正已有认识。

三是分析生态系统服务需求。首先评价 ESs 重要性: 调查受访者对当前服务变化的认识分数(5 损失、4 下降、3 良好、2 需改进、1 需显著改进); 加权平均后根据各类平均分数聚类分组, 再调查受访者认为的组内各类相对重要性(最佳、中等和最差); 统计第  $i$  类  $ES_i$  被记为最佳/最差的总次数  $\Sigma A_i/\Sigma B_i$ 、总出现次数  $T_i$ , 计算标准化最佳 - 最差分数  $S_i = (A_i - B_i)/T_i$ , 值越大表明  $ES_i$  需求越重要。然后根据  $S_i$  确定权衡管理优先顺序, 并对供给矩阵验证与进行适应性调整。通过情景叙述方法收集受访者期望得到的 ESs 调控措施。调查地点选取镇原县和西峰区, 30 份预调查后各做 100 份有效问卷, 以反映黄土丘壑区和塬区不同地理环境特征; 2021 年 5 月上旬分两个阶段完成, 受访人群包括居民、学者和管理者, 不同生态系统服务调查采用随机组合排序。

最后得到适应性社会 - 生态系统管理矩阵(图 2)。根据需求偏好对初始供给矩阵中的 ESs 重新排序, 以反映利益相关者视角下管理实践与特定服务关系。尽管一些决策支持工具也能表征利益相关者的生态管理目标和措施[16] [17], 但此类评估未集成适应性目标与 ESs 供需关系。



**Figure 2.** Framework for dynamic assessment of ecosystem services with adaptive social-ecological system management matrix

**图 2.** 基于适应性社会 - 生态系统管理矩阵的生态系统服务动态评估框架

## 4. 结果

### 4.1. 生态系统服务需求评价

预调查显示 33.3%受访者对现有 ESs 指标认识不足, 其中不理解栖息地服务和调节服务概念的比例分别达 83.3%和 73.3%。通过图片和概念解释确保受访者理解后完成问卷。根据第 1 阶段的调查统计和计算平均分数(表 1), 将 17 个服务以 0.2 为间隔, 将[1.8~2.8]等分成 5 组, 其中[2.2~2.4]有 6 种, [2.0~2.2]有 2 种, 其他 3 个区间各有 3 种服务; 多数受访者认为相比现状而言应该改进各种服务, “需改进”类型提及次数最高, 涵盖 11 种服务, 其次是“良好”和“显著改进”, 分别涉及 3 种和 1 种服务, 其他服务提及次数不高。

**Table 1.** Assessment indicators of ecosystem services

**表 1.** 生态系统服务评估指标

服务 Service	类型 Class	指标 Indicator	特定类型的服务变化次数 Frequency of specific changes in ESs					分数 Score
			损失 Lost	下降 Decrease	良好 Good	改进 Increase	显著改进 Significant increase	
供给服务 Provisioning	农林牧渔产品	产品产量/产值	3	1	46	110	40	2.08
	生态能源产品	能源总量/产值	3	2	96	102	17	2.67
	装饰观赏产品	装饰观赏品总量/产值	4	3	54	69	30	1.81

Continued

调节服务 Regulating	水源涵养	水源涵养量/价值	5	17	66	94	18	2.48
	土壤保持	土壤保持量/减少泥沙淤积和面源污染价值	4	3	65	23	105	1.89
	防风固沙	固沙量/植被恢复成本	3	3	77	98	19	2.37
	洪水调蓄	洪水调蓄量/调蓄成本	2	1	127	57	13	2.61
	空气净化	空气污染净化量/价值	3	1	75	96	26	2.29
	水质净化	水体污染物的净化量/净化价值	2	2	36	111	49	1.98
	固碳服务	固碳量/碳交易价值	7	3	57	129	4	2.40
	氧气提供	氧气提供量/提供价值	2	1	62	118	17	2.27
	气候调节	蒸散发耗能量/调节湿度的价值	2	1	77	93	26	2.30
	物种保育	物种数量与保护区面积/保育价值	3	1	44	113	40	2.07
文化服务 Cultural	休闲旅游	游客数/游憩康养价值	3	4	82	94	17	2.41
	景观价值	受益土地与房产面积/升值价值	5	7	130	50	8	2.76
栖息地功能	栖息地质量	生境质量	2	2	85	92	18	2.39
Habitat	基因库保护	物种丰富度	4	2	96	85	14	2.48

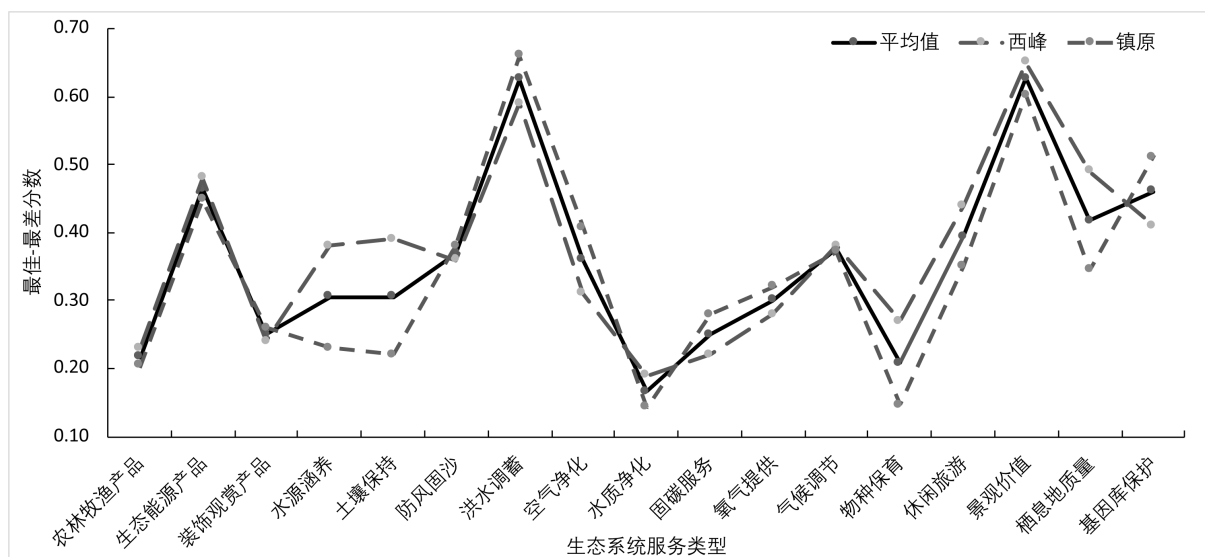


Figure 3. The relative importance of ecosystem services demand

图 3. 生态系统服务需求相对重要性排序

在上述 5 个区间分组基础上完成第 2 阶段调查, 并计算最佳 - 最差分数(图 3)。发现丘壑区受访者与塬区受访者对服务优先级认识总体无明显差异, 但个别类型存在差异。如, 西峰区的水源涵养与土壤保持分数显著高于镇原县, 表明塬面土壤侵蚀胁迫严重亟需改善。平均优先级最高的服务类型为洪水调蓄

(0.63)、景观价值(0.63)、生态能源产品(0.46), 分别反映出区域水资源短缺与生态脆弱、红色旅游与周先祖文化遗迹开发、石油煤炭天然气产品供给等需求特征; 优先级的平均值变化表明调节和供应服务总体高于文化和栖息地服务。

#### 4.2. 适应性社会生态系统管理矩阵

通过情景叙述调查汇总了研究区不同服务的调控管理措施, 按选择比例最高原则, 从当地 23 种具体措施中选出 15 种影响 ESs 变化的主要措施(图 4)。受访者在理解相关措施后对生态系统服务权衡关系的提及次数增加了 12%, 尤其对文化服务、栖息地质量和其他服务指标的关系认识显著提高, “不理解”的比例分别下降了 5%和 20%; 但受访者未给出气候调节和氧气提供服务对应的管理措施, 表明气候变化的外部性特点是决策调控的难点。

服务优先级与类型		管理措施	景观价值	洪水调蓄	生态能源产品	基因库保护	栖息地质量	休闲旅游	气候调节	防风固沙	空气净化	水源涵养	土壤保持	氧气提供	装饰观赏产品	固碳服务	农林牧渔产品	物种保育	水质净化	
1	景观价值	文史遗迹保护																		
2	洪水调蓄	小流域综合治理	↗																	
3	生态能源产品	资源能源开发	→	→																
4	基因库保护	多样性保护	↗	↗	↘															
5	栖息地质量	保护区建设管理	↗	↗	↘	↗														
6	休闲旅游	旅游区与基础设施建设	↗	↗	↘	↗	↗													
7	气候调节	无	↗	↗	↘	↗	↗	↗												
8	防风固沙	退耕还林政策	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗											
9	空气净化	环境保护政策	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗										
10	水源涵养	水资源管理	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗									
11	土壤保持	坡沟地治理	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗								
12	氧气提供	无	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗							
13	装饰观赏产品	农俗手工品开发	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗						
14	固碳服务	生态系统修复	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗					
15	农林牧渔产品	自然资源管理	↗	↗	↘	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗				
16	物种保育	耕地保护与种子库建设	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗			
17	水质净化	水体综合治理政策	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↘

Figure 4. Adaptive social-ecological system management matrix

图 4. 适应性社会生态系统管理矩阵

适应性社会 - 生态系统管理矩阵(图 4)综合了生态系统服务供给、需求和管理调控措施的全面影响, 能有效识别出适用于当地生态系统服务的权衡(↘)、协同(↗)和非关联性(→)特征。从 136 种变化关系的类型看: 非关联性(69) > 协同(55) > 权衡(12), 文化服务总体为协同, 调节服务的权衡较多; 供给服务表现为高的非关联性, 可能是当地小麦主体种植结构很难体现与其他服务类型的关联性。从服务优先级看, 景观价值具有最高优先级(1), 这与当地大力发展红色旅游(如南梁革命纪念馆、红军长征三岔纪念馆等)、丝路驿站和石窟保护(如北石窟驿风景区、北石窟寺)、天然湫池(如太阳池风景区)推广等政策密切相关, 体现了当地推进产业转型和满足群众福祉的社会 - 生态需求。同时, 物种保育(16)和水质净化(17)等服务优先级低, 需要关注矿产能源利用过程对传统农业和地下水资源的潜在胁迫风险。

## 5. 讨论与结论

适应性社会生态系统管理矩阵综合了社会 - 生态知识和利益相关者的多元认识, 其优势有: 在 ESs 供需基础上给出了社会生态管理策略框架; ESs 优先级信息能用来提高生态脆弱区的潜在管理效益, 通过快速识别和监测重点服务变化实现资源投入优化; 能针对具体服务关系的主导调控措施开展差异化的权衡缓解与消除; 避免了复杂的计量经济学分析, 两阶段社会调查结果具有较好的准确性、可操作性和普适性。从动态迭代角度看, 矩阵能用于当地 ESs 动态评估与管理, 有助于更新利益相关者的动态认识, 适合在类似区域快速推广; 管理者可以根据应用结果调整管理实践以适应复杂社会 - 生态系统变化。

在实际应用时应注意: 矩阵难以全面反映社会 - 生态系统的动态复杂性和多尺度决策过程, 应与其他社会生态系统知识集成使用; 要加强信息收集的完备性, 清晰界定数据的可用性和偏好的管理类型, 确保 ESs 动态评估中持续更新信息以减少管理决策的不确定性; 发现丘壑区和塬区地理环境差异未对矩阵产生显著影响, 但本调查未包括庆阳市其他 6 县, 如环县地处沟壑区向毛乌素沙地的过渡地带, 后续研究应重视此类生态环境特殊的样本调查结果, 全面检验样本量大小对矩阵的影响; 未区分管理者与居民的认知差异, 但居民群体在第 2 阶段调查中的专业认识显著提高, 部分弥补了结果的不确定性。

本文利用生态系统服务动态评估框架和社会调查开发了适应性社会生态系统管理矩阵, 方法体系相对简单、适应性和实用性特点较强, 为“增协同 - 减权衡”的 ESs 管理目标实施提供潜在的方法技术支持, 以后应进一步考虑不同生态系统服务级别与福祉的定量关系。庆阳市应当以文旅产业和生态修复系列工程为抓手, 系统提升文化服务和水土资源类调节服务, 相关措施有助于促进其他服务供需关系平衡和当地社会 - 生态系统的可持续发展。

## 基金项目

湖北省自然科学基金面上项目(2021CFB295)与黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室开放基金(A314021402-202110)。

## 参考文献

- [1] Defries, R. and Nagendra, H. (2017) Ecosystem Management as a Wicked Problem. *Science*, **356**, 265-270. <https://doi.org/10.1126/science.aal1950>
- [2] Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S. and Grasso, M. (2017) Twenty Years of Ecosystem Services: How Far Have We Come and How Far Do We Still Need to Go? *Ecosystem Service*, **28**, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- [3] Uehara, T., Tsuge, T. and Onuma, A. (2019) Applying Three Distinct Metrics to Measure People's Perceptions of Resilience. *Ecology and Society*, **24**, 22. <https://doi.org/10.5751/ES-10903-240222>
- [4] Ellis, E.C., Pascual, U. and Mertz, O. (2019) Ecosystem Services and Nature's Contribution to People: Negotiating Diverse Values and Trade-Offs in Land Systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **38**, 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.001>
- [5] Tyner, E.H. and Boyer, T.A. (2020) Applying Best-Worst Scaling to Rank Ecosystem and Economic Benefits of Restoration and Conservation in the Great Lakes. *Journal of Environment Management*, **255**, Article ID: 109888. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109888>
- [6] 杨武, 陶俊杰, 陆巧玲. 基于生态系统服务视角的人类福祉评估技术方法体系[J]. 生态学报, 2021, 41(2): 730-736.
- [7] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 341-348.
- [8] 刘世荣, 代力民, 温远光, 王晖. 面向生态系统服务的森林生态系统经营: 现状、挑战与展望[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 1-9.
- [9] Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M.A., et al. (2018) Assessing Nature's Contributions to People. *Science*, **359**, 270-272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>

- [10] Blythe, J., Armitage, D., Alonso, G., Campbell, D., Carolina, A., Dias, E., Epstein, G., *et al.* (2019) Frontiers in Coastal Well-Being and Ecosystem Services Research: A Systematic Review. *Ocean and Coastal Management*, **185**, Article ID: 105028. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105028>
- [11] 梁友嘉, 刘丽珺. 生态系统服务与景观格局集成研究综述[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7159-7167.
- [12] Potschin-Young, M., Haines-Young, R., Gorg, C., Heink, U., Jax, K. and Schleyer, C. (2018) Understanding the Role of Conceptual Frameworks: Reading the Ecosystem Service Cascade. *Ecosystem Service*, **29**, 428-440. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.015>
- [13] Liu, L., Liang, Y. and Hashimoto, S. (2020) Integrated Assessment of Land-Use/Coverage Changes and Their Impacts on Ecosystem Services in Gansu Province, Northwest China: Implications for Sustainable Development Goals. *Sustainability Science*, **15**, 297-314. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00758-w>
- [14] 欧阳志云, 王金南, 肖焱, 於方, 郑华, 马国霞, 宋昌素, 周夏飞, 等. 陆地生态系统生产总值(GEP)核算技术指南[S]. 北京: 生态环境部环境规划院, 中国科学院生态环境研究中心, 2021.
- [15] 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[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3207-3217.
- [16] Martin, D.M., Mazzotta, M. and Bousquin, J. (2018) Combining Ecosystem Services Assessment with Structured Decision Making to Support Ecological Restoration Planning. *Environmental Management*, **62**, 608-618. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1038-1>
- [17] 韩宝龙, 欧阳志云. 城市生态智慧管理系统的生态系统服务评估功能与应用[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 8697-8708.