



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

生态系统服务供给与需求:基础内涵与实践应用

李征远, 李胜鹏, 曹银贵, 王舒菲, 刘施含, 张振佳

引用本文:

李征远, 李胜鹏, 曹银贵, 王舒菲, 刘施含, 张振佳. 生态系统服务供给与需求:基础内涵与实践应用[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(3): 456–466.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0683>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

生态系统适应性管理:理论内涵与管理应用

冯漪, 曹银贵, 耿冰瑾, 张振佳, 刘施含, 白中科

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 545–557 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0017>

河北北戴河区农田生态系统服务功能价值测算研究

刘小丹, 赵忠宝, 李克国

农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 390–396 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0005>

铁矿生态修复区生态系统服务价值增量评估

叶尔纳尔·胡马尔汗, 马伟波, 徐向华, 迪丽努尔·托列吾别克, 方颖, 李海东

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 594–600 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0197>

京津冀潮白河区域土地利用变化对生态系统服务的影响

耿冰瑾, 曹银贵, 苏锐清, 刘施含, 冯喆

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 583–593 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0595>

低山丘陵区县域生态用地演变及生态服务价值响应

邢晓露, 郭岚, 杨梅焕, 张全文, 王益展

农业资源与环境学报. 2021, 38(5): 900–908 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0575>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李征远, 李胜鹏, 曹银贵, 等. 生态系统服务供给与需求: 基础内涵与实践应用[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(3): 456–466.

LI Z Y, LI S P, CAO Y G, et al. Supply and demand of ecosystem services: Basic connotation and practical application[J]. *Journal of*

Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(3): 456–466.



开放科学 OSID

生态系统服务供给与需求: 基础内涵与实践应用

李征远¹, 李胜鹏¹, 曹银贵^{1,2*}, 王舒菲¹, 刘施含¹, 张振佳¹

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100035)

摘要: 生态系统服务供给与需求研究关系到人类福祉。本文首先通过文献综述法系统总结了国内外生态系统服务供需的研究状况, 梳理出生态系统服务供需的相关概念内涵, 并对实际供给与潜在供给、实际需求与潜在需求的基本内涵和关系进行辨析; 其次总结对比了生态系统服务供需方面的研究方法和国内外实践情况; 最后概述了当前生态系统服务供需研究中存在的不足, 并展望其未来的研究趋势, 以期为生态系统服务供需的研究及应用提供科学参考。

关键词: 生态系统服务; 供给; 需求; 基础内涵; 实践应用

中图分类号: X171.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2022)03-0456-11

doi: 10.13254/j.jare.2021.0683

Supply and demand of ecosystem services: Basic connotation and practical application

LI Zhengyuan¹, LI Shengpeng¹, CAO Yingui^{1,2*}, WANG Shufei¹, LIU Shihan¹, ZHANG Zhenjia¹

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Research on the supply and demand of ecosystem services is related to human well-being. The sustainability of the supply of ecosystem services is also the basis for sustainable social, economic and natural environments. Research on supply and demand can provide theoretical guidance for the rational utilization and allocation of natural resources, which helps to improve the ecological compensation mechanism and coordinate the relationship between various stakeholders. We analyze the degree of correspondence between socio-economic system demand and natural ecosystem supply by analyzing the research results of supply and demand of ecosystem services. It also strengthens our understanding of different factors influencing ecosystem services, which has important reference value for current land spatial planning systems. We systematically summarize the research status of ecosystem services in China and abroad through literature reviews. The literature publication status of supply and demand examines the conceptual connotation of ecosystem service supply and demand, and it distinguishes between the primary connotation and relationship of potential supply, actual supply, potential demand and actual demand. We summarize and compare the research methods related to the supply and demand of ecosystem services, summarizes the practical applications of evaluating the supply and demand of ecosystem services in China and abroad, as well as the problems and limitations in the current research on the supply and demand of ecosystem services. Further, it outlines the scope for future research to provide a reference for the research and application of supply and demand of ecosystem services.

Keywords: ecosystem services; ecosystem service supply; ecosystem service demand; basic connotation; practical application

收稿日期: 2021-10-09 录用日期: 2022-01-28

作者简介: 李征远(1998—), 男, 河南平顶山人, 硕士研究生, 主要研究方向为国土空间生态修复。E-mail: llzzyy7@163.com

*通信作者: 曹银贵 E-mail: caoyingui1982@126.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1810107, 41701607); 中央高校基本科研业务费专项资金(2-9-2018-025, 2-9-2019-307)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(U1810107, 41701607); The Fundamental Research Funds for the Central Universities (2-9-2018-025, 2-9-2019-307)

“生态系统服务”一词在20世纪70年代初被正式提出后,学界尚未对生态系统服务的概念形成统一的定义。DAILY^[1]提出生态系统服务是自然生态系统及其中所生存的物种对人类生活所形成、维持和实现的全部环境条件以及过程。CAIRNS^[2]则在生态系统的特征上对该名词进行定义,认为一切可以帮助提升人类生存质量的生态系统产品或功能均可定义为生态系统服务。COSTANZA等^[3]认为生态系统服务由生态系统的产品以及功能构成,是由自然生态系统的生境、物种、生物学状态、性质、生态过程所产生的物质和维持良好生活环境对人类提供的直接福利,并将其分为物质服务、文化旅游服务和调节服务。之后2001年“千年生态系统评估”(MEA)^[4]对生态系统服务的概念内涵、分类体系、影响机制、评价技术与方法进行了全面总结,并将生态系统服务概括为人类由生态系统中获取到的各类好处。

随着人类社会的快速发展,一系列生态问题逐渐显现,许多生态系统遭受破坏,生态系统给予人类惠益的能力愈发弱化。与此同时,人们对高质量生活的不断追求,使得人类对生态系统服务的需求也逐渐加大,但现有的生态系统服务不能满足人们对高质量生活的需求,这种滞后状态阻滞了人类社会的可持续发展。在此背景下,为实现和维护自然生态系统和人类生产生活需求间的平衡,促进人类社会可持续发展,国内外学者从各个角度分析和探讨了人与生态系统间的联系^[5]。同时人与生态系统间的联系也开始被生态经济学、地理学等学科列为重点研究内容^[6]。随

着各国学者研究的深入以及社会经济的不断发展,研究内容转向生态系统服务与人类更高的生产生活需求间的关系^[7-8]。供给与需求的研究可识别生态系统服务时空差异的特征和变化规律,将生态系统服务与人类福祉紧密联系起来,进而通过制定一系列科学政策来促进区域协调和可持续发展,为生态系统管理、生态规划及合理配置生态资源提供理论依据,同时能够完善生态补偿机制中利益相关者的利益分配并保障人类福祉^[9-11]。鉴于此,在探讨人类生产生活质量与生态系统服务间的关系时,应当对生态系统服务供需进行整体梳理分析。

本文整理了国内外生态系统服务供需研究的阶段性特征、概念内涵、评估方法以及实践应用的相关内容,梳理了已有研究中发现的问题,并对将来生态系统服务供需研究进行展望,以期后续的相关研究积累经验,为生态系统服务调控管理和社会的可持续发展提供科学依据。

1 文献统计分析

1.1 国外文献统计分析

通过Web of Science检索主题为“ecosystem service supply and demand”的文献,对数据库进行搜索,共检索到相关英文文献1 716篇。

对检索的英文文献进行年际变化分析,结果如图1所示。2002—2006年,生态系统服务供需的研究极少;2006年,英国生态学会与政府决策者将生态系统服务研究作为首要的与政策制定相关的生态学问

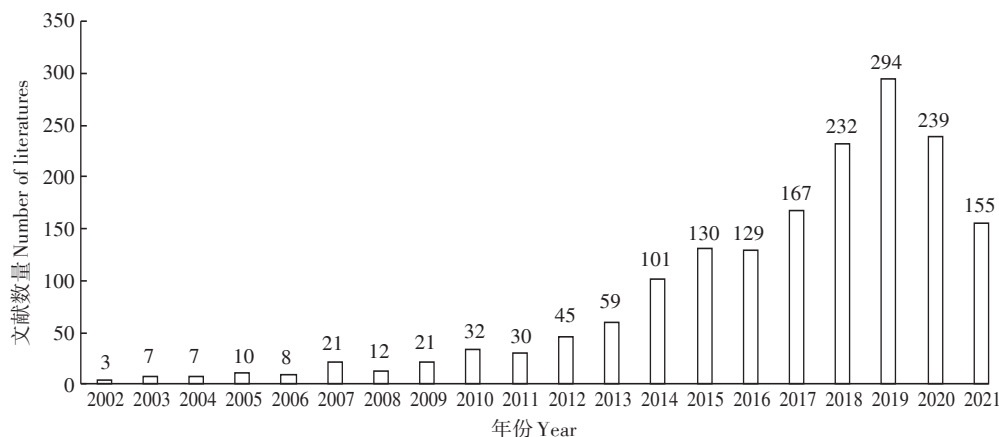


图1 生态系统服务的供给与需求英文文献数量统计

Figure 1 Statistical chart of English literature on supply and demand of ecosystem services

题;其后生态系统服务供需研究开始以服务机制形成与人类福祉耦合关系等为主要方向;2012年生物多样性与生态系统服务政府间科学政策平台(IPBES)建立,生物多样性和生态系统服务经济价值评价计划(TEEB)等国际计划开始实施,2013年美国最终生态系统商品和服务分类系统(FEGS-CS)确立,在此影响下,生态系统服务供需研究迅速增加,发文数量也快速增多,在2014年文献发表数量首次突破100篇。

运用 VOSviewer 软件对检索出的文献进行关键词分析, 圆圈的大小代表关键词出现的频率, 圆圈越大说明关键词出现的频率越高, 反之亦然 (图 2); 圆圈之间的距离反映两者之间联系的紧密程度, 距离越近说明联系越紧密、共现次数越多。从生态系统服务供给和需求的角度来看, 目前的研究大多集中于生态系统服务供需的关系、概念内涵及其在特定区域的动态变化等方面。

1.2 国内文献统计分析

以 CNKI 中国期刊全文数据库为检索平台,对相

关文献进行高级检索,分别以“生态系统服务供给与需求”或“生态系统服务供需”为检索词、关键词、主题词、篇名进行搜索,并对相应的检索结果进行分析。如表1所示,将“生态系统服务供给与需求”作为主题词进行检索时,文献较多。因此,主要对以“生态系统服务供给与需求”作为主题词的检索结果进行分析。结果显示文献的形式多数是学术期刊,占文献总量的62%;其次是硕博学位论文,占文献总量的35%;其余则是会议论文、报纸报道和其他,约占3%。

从检索文献的时间分布情况来看,近20年来学者对生态系统服务供需的研究越来越多,从2002年的1篇增长至2019年的59篇(图3)。2012年,受我国生态文明建设战略决策提出和IPBES建立的影响,我国对生态系统保护的重视程度不断增强,在2012年之后逐渐开展有关生态系统服务供需的研究,文献数量开始增长。2020年4月,自然资源部印发《关于生态产品价值实现典型案例的通知》,指导各地推进生态产品价值实现工作。2021年4月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于建立健全生态产品价值

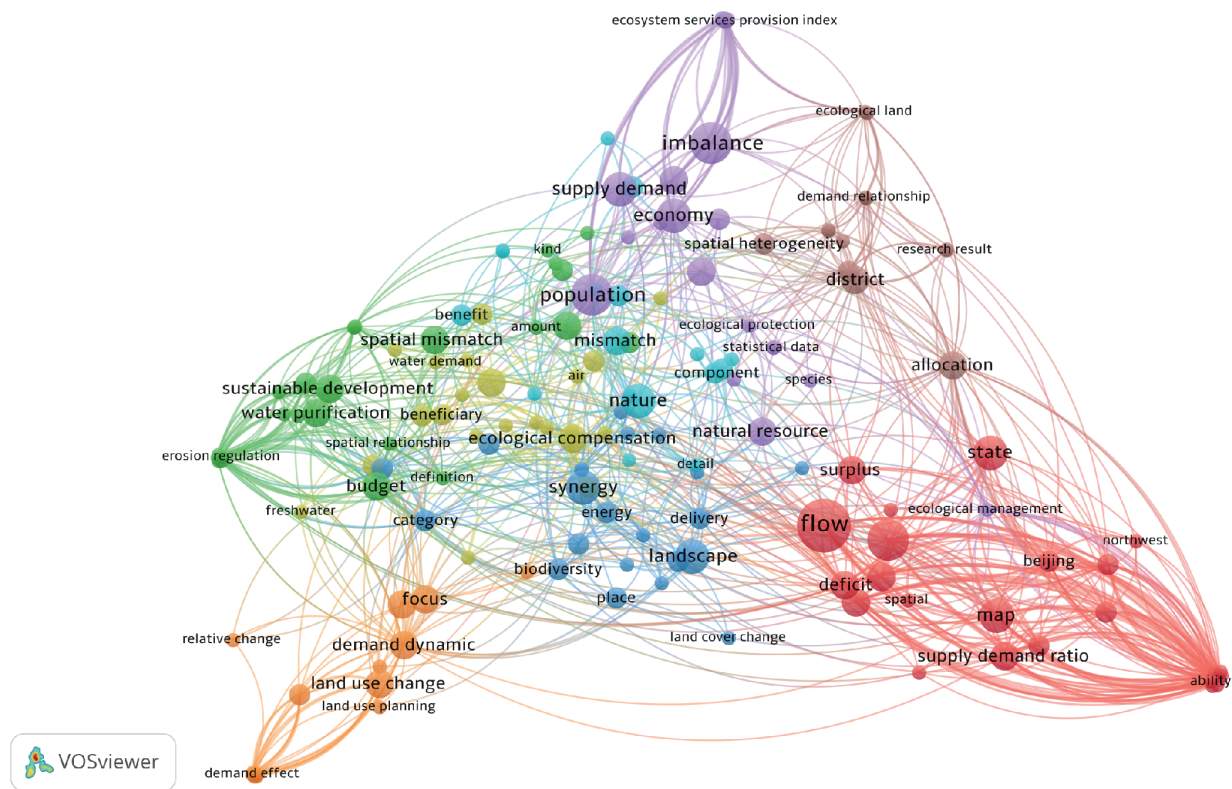


图2 国际生态系统服务供给与需求研究关键词可视图

Figure 2 Keywords visual map of international ecosystem service supply and demand

表 1 不同检索方式下生态系统服务供给与需求相关中文文献数量统计

Table 1 Quantity statistics of Chinese literature related to ecosystem service supply and demand under different retrieval methods

文献类型 Literature type	文献篇数 Literature quantity			文献收录起始年份 Literature collection period(year)
	篇名 Title	关键词 Keyword	主题词 Subject	
全部相关文献	54	19	234	2002—2021
学术期刊论文	43	12	146	2002—2021
硕博学位论文	9	3	81	2003—2021
国内会议论文、报纸报道	1	1	5	2019—2021
其他	1	3	2	2012—2021

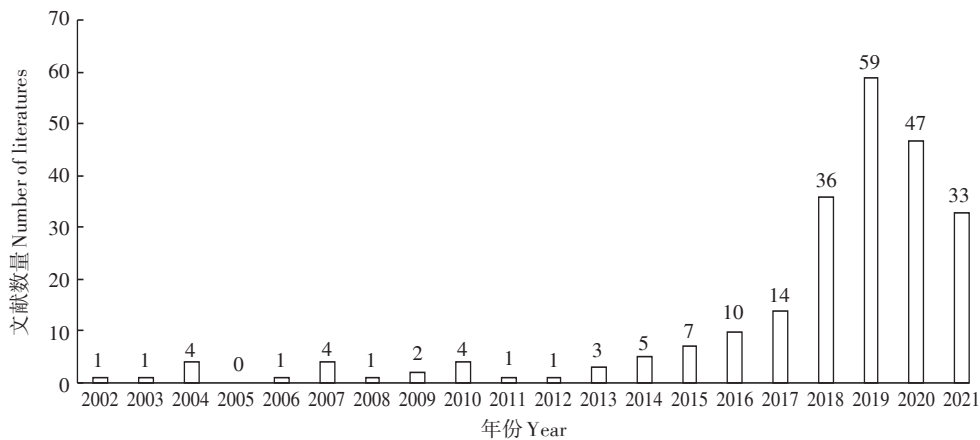


图 3 生态系统服务供给与需求中文文献数量变化

Figure 3 Changes in Chinese literature quantity of ecosystem service supply and demand

实现机制的意见》。2021年10月,联合国首次以“生态文明:共建地球生命共同体”为主题,在中国昆明召开《生物多样性公约》缔约方大会第十五次会议(CBD COP15),旨在倡导推进全球生态文明建设,实现“人与自然和谐共生”的共同愿景。出于对以上相关政策的响应,中国国内学界对于生态系统服务评估与成果应用研究的热情不断高涨。

2 生态系统服务供给与需求的内涵

2.1 生态系统服务供给

“生态系统服务供给”的定义最早由美国昆虫学家 EHRlich 等^[12]在 1980 年提出,此后研究者从不同的学科视角对其进行了越来越多的研究和探讨。BURKHARD 等^[13]将该概念解释为生态系统于一定时间与空间中所给予的自然资源与服务,并指出其具有一定的时效性与可及性。GEIJZENDORFFER 等^[14]和 SCHROTER 等^[15]对该概念有不同的解释,认为其是由潜在供给转移的最终数量,并认为其具备很强的空间依赖性,仅在特定的空间条件下才能提供特定的服务

功能。因此,一般认为生态系统服务的生产者是由个体、种群、群落、生态系统及无机环境组成的空间单元,以上单元给予的产品和服务被定义为生态系统服务供给^[8]。

学界认为生态系统服务供给可以分为潜在供给和实际供给两个层次。在生态过程与功能(如分解者分解、蜜蜂传粉)中,于时空上产生并维持这一过程和功能为第一层次的生态系统服务供给,即潜在供给。然而由于人类对于获取潜在供给的技术、偏好等因素的局限,并不是所有潜在供给均能被人类利用^[16]。如在没有蜜蜂或蝴蝶等授粉类昆虫的地区,授粉服务无法提供有效供给。因此,得出了第二层次的生态系统服务供给——实际供给,其指能够给社会带来实际作用的服务与产品^[15,17]。通常来说,在一定时空中无其他自然系统供给流入的情况下,潜在供给大于实际供给^[8]。

2.2 生态系统服务需求

从经济学角度来说,需求是指消费者于特定时间段以可接受的价格进行消费的总量。消费者的有效需求通常基于其购买欲望与能力^[18]。对于生态系

统服务,其消费者为个体或群体,获取的需求效用是在消费生态系统服务的前提下进行的^[19]。目前,学界对于生态系统服务需求这一概念虽未达成共识,但总体而言可以概括为两个层次:第一个层次是BURKHARD等^[13]从消费方面考虑,提出生态系统服务需求是在一定空间与时间范围内被消费或使用的特定产品与服务,即实际需求;第二个层次是VILLAMAGNA等^[20]和SCHROTER等^[17]从人类偏好方面考虑,认为生态系统服务需求是人类期望从自然系统中获取的服务数量与质量,也就是潜在需求。通常来说,潜在需求不仅包含人类已经消费过的实际需求,还有人类希望在生态系统服务内消费但并没有被满足的需求。

3 生态系统服务供给与需求的评估方法

目前,生态系统服务供给和需求的评估方法主要有生态模型法、价值评估法和公众参与法等,这些模型和方法具有各自的适用范围和优缺点^[8]。如何运用这些模型需要研究者根据研究区的实际情况及需要实现的目标进行选择。结合相关案例,进一步分析常用评估方法的应用情况。

3.1 生态模型法

生态模型法可以很好地揭示生态系统的机理,体现生态系统服务的空间异质性,能够实现生态系统服务评估的动态化、精准化,因而迅速成为研究者的关注对象和评估生态系统服务的主流方法^[21]。生态模型法的应用是通过分析气候、土地利用、植被生长情况等数据,整合环境参数来建立模型,最终对生态系统服务的供需进行评估^[22]。如InVEST模型通过“供给-服务-价值”框架将社会经济系统与生态系统联系起来,进而评估生态系统服务的供给与需求^[23]。其优点是能够融入社会调查数据,使评估结果更加精确,但由于该模型的目标主要在于明确生态系统的各项指标变化情况对生态系统服务的影响,因此主要用来分析生态系统服务供给,在生态系统服务需求方面应用较少。ARIES模型将诸多数学模型整合在一个平台当中来量化生态系统服务,能够明晰社会与生态系统之间的复杂关系^[24]。RUSLE模型通过雨水侵蚀力、土壤可侵蚀因子、地形因子等数据来揭示生态过程机理,但由于该模型采用数据过多,且数据获取较

为困难,因此较少被采用^[25]。

生态模型的适用前提是获取到的数据必须客观稳定,并且不会因为人类的偏好而发生改变。但目前该模型仍集中于对生态系统服务供给进行研究,对于需求方面的研究还有待深入。此外,生态模型的应用需要生物、化学等学科的专业知识^[26],模型构建也较为复杂,对学者的专业能力与经验要求较高,很大程度上限制了该模型的应用。

3.2 价值评估法

学者对价值评估法的分类主要包括两种:易丹等^[8]将其分类为直接市场价值法^[27]、基于单位面积价值当量因子法^[28]、条件价值法^[29];郭朝琼等^[21]将其分类为基于单位面积价值当量因子法和基于单位服务功能价值法^[30]。本文参考易丹等^[8]的分类方法进行对比分析。

直接市场价值法和条件价值法是指通过采取市场价格或反映人类不同偏好的市场价格对区域生态系统服务进行价值化的方法。美国生态经济学家COSTANZA等^[3]最早提出了基于单位面积价值当量因子法,并研究出新数据更正系数表,成功用于揭示全球生态系统服务价值。之后中国学者谢高地等^[30]在COSTANZA的基础上,结合中国实际情况对价值当量因子进行修正,编制了中国单位面积价值当量因子表及其在实际应用当中的修正公式。价值评估法将生态系统服务供给和需求以货币形式进行量化,这一结果可应用于国民经济核算体系中,为国家政策的提出奠定科学基础。但是对于不能直接市场化的服务(如水土保持服务等),该方法受诸多因素限制,不能对其进行直接量化。

基于单位面积价值当量因子法能够用于生态系统服务供给需求评估,较其他方法更为简单,且操作难度低、数据容易获取。但其难以体现区域差异,方法移植性差;当量因子值的设置多以生态系统服务类型为依据,不能有效体现同一生态系统内部细化差异。直接市场价值法可用于供需评估,方法简单,数据更容易获取,评估结果可纳入国民经济核算体系,便于供需预算比较。但直接市场价值法评估生态系统类型有限,无法评估没有市场的生态系统服务^[21]。条件价值法覆盖生态系统服务种类繁多,能够同时对供需进行量化,可以对所有不同类型的生态系统服务

供给与需求进行评估。然而这种方法的应用是在虚拟市场上进行的,导致结果具有较大的不确定性,且受调查方式、范围以及被调查者认识水平、偏好、收入、文化水平等因素制约,很难令人信服。

3.3 公众参与法

公众参与法是基于利益相关者的认知、消费偏好和消费意愿来评估生态系统服务供给与需求^[31]。主要包括专家评估矩阵法、问卷调查法两种。BURKHARD等^[32]根据研究方向和类别的不同以及不同土地覆盖/利用情况与社会经济数据对生态系统服务进行矩阵打分,进而提出了专家评估矩阵的相关要求与方法。问卷调查法常用于生态系统服务需求研究,是指一些学者经过问卷调查,对生态系统中各利益相关者的满意度实施统计分析,以此来对真实获得的生态系统服务和期望获得的生态系统服务的不同进行量化^[33]。该方法适用范围广,对于数据获取困难或者情况繁杂的区域,有较好的应用潜力,与此同时评价还可以让研究者如实地了解到各个利益相关者的期望。

专家评估矩阵法操作简单,可在缺乏数据或生态系统服务评价高度复杂的区域使用,只需要土地覆盖/利用等少量数据,便能同时量化供需,且结果具有统一可比的优点。但该方法难以将国外的研究结果直接本土化应用,易受专家研究水平和研究切入点差异的影响,调查结果的主观性高^[8]。问卷调查法能够真实直观地反映不同利益相关者的需求,但容易受调查者认识和理解偏差的影响,结果较为主观,且需耗费大量人力、物力和财力,不适用于大尺度研究区。由于公众参与法所需数据很容易受调查者的认知、态度等影响而出现误差,因此调查结果有时会出现很大的不确定性以及一定的主观局限性。同时,缺乏生态环境意识的调查者或参与者会对提供生态安全的调节服务类型的需求识别不够充分,从而导致服务需求评估过低^[21]。

4 生态系统服务供给与需求的实践应用

国内外对于生态系统服务的研究从联合国“千年生态系统评估”(MEA)计划之后开始增多^[34],该计划通过对全球的生态系统服务的状态进行量化评估,提出积极规划生态系统服务以满足不断增长的人口需

求。此后,生态系统服务的研究得到广泛关注,并取得了丰富的研究成果,生态系统服务相关研究在当代科学领域已经得到了充分发展^[35-36]。在保护、恢复和持续利用生态系统方面的投资也日益被视为一种“双赢局面”,可以产生巨大的生态、社会和经济效益。调控地表植被类型可以在改变服务类型和景观格局的同时影响服务水平、调整生态系统服务功能特性^[37]。本文从生态系统服务供需的视角,结合国内外的研究状况探讨了生态系统服务供需如何在现实环境管理中进行应用。

4.1 生态系统服务供给与需求价值评估的应用研究

1997年,COSTANZA等^[3]提出采用价值当量法对生态系统提供的服务进行评估,基于生态系统服务的单位面积价值量,核算出某一生态系统服务的价值进而核算出全球生态系统服务的价值量。随后COSTANZA^[38]、FISHER等^[39]、SERNA-CHAVEZ等^[40]根据生态系统服务供需的空间特征对生态系统服务进行分类和评价并构建研究框架。WOLFF等^[41]综述了生态系统服务的需求、生态系统服务需求指标的选择和量化评估的方法,提出统一生态系统服务评估方法和指标选取将是生态系统服务价值评估的难点。谢高地等^[30]通过结合COSTANZA等^[3]的评估方法与中国生态系统的实际情况,建立了符合中国生态系统实际情况的新的生态系统服务评估单价体系,对已知土地利用面积的生态系统服务价值进行估算。傅伯杰等^[6]选择了不同的生态系统类型(森林、湿地、草地和荒漠等),从生态系统、区域和全国三个尺度进行研究,揭示了中国主要陆地生态系统的结构和服务功能相互作用的机理。吴璇等^[42]综合考虑生态系统服务的供给指标与需求指标,对生态系统服务的供给和需求进行量化研究,从而实现对研究区域内生态系统供给和需求服务的量化评估。还有一些学者针对城市森林生态系统或某特定区域的生态系统进行了供需的量化研究^[43-46],明确了区域的生态价值,为区域的生态环境保护和政策制定提供参考。

目前,中国生态系统服务供需价值评估仍处在初步探索阶段,其主要原因是缺乏适用于中国国内研究区的生态系统模型。中国国内采用的多为国外科研机构研发的模型,这些模型一般是根据特定研究区所建立的,如果在其他的研究区应用,则需调整众多参

数,且部分模型的适用性有限,并不能适用于所有的研究方向。因此,中国国内的生态系统服务供需价值评估研究中亟需针对不同的研究区域和不同的生态系统建立新的评估模型,从而实现生态系统服务供需价值评估,提高生态系统供需价值评估结果在国土空间规划中的参考价值。

4.2 生态系统服务供给与需求时空特征的应用研究

生态系统服务能产生于各种各样的时间与空间范围内,存在很强的“时间效应”和“空间效应”^[47]。如果时间与空间上存在差异,那么生态系统服务供需就会存在各种不同的权衡与协同关系^[48-49]及其影响机制^[49-50]、匹配模式^[51-52]。因此,在开展这方面的研究时,应当思考不同时间与空间上的差异性^[20]。

21世纪开始,国外学者的研究集中于对生态系统服务供需的界定^[53-54],在此基础上对供需量化、时空差异性表达等方面进行探讨^[55-57]。而中国国内的相关研究还处于探索阶段,且最初的研究集中于森林资源^[58]。2010年后,生态系统服务供需研究开始从认识阶段转向量化阶段^[59],在研究尺度方面,开展了对省域^[60]、市域^[61]、城市群^[62]等不同时空的探讨;在模型指标的选择方面,各研究也有所不同,主要包含土壤保持、粮食供给等多种方式^[63-65];对于探索方向,开始向格局优化^[66]、权衡协同^[67]、土地整治空间分区^[68-69]、时空分析^[70]等方向发展。

此类实践应用的基本思路可概括为:基于生态系统服务供给和需求的时空差异及其平衡状况,划分不同类型、不同级别的管控区,提出差异化管控策略,以期为区域生态系统管理和国土空间优化提供实践指导。

4.3 生态系统服务流的应用研究

生态系统服务供需有很强的空间性,开展生态系统服务流相关研究可以有效地将生态系统服务供需关联起来。生态系统服务在特定区域内传递的形式与特点是未来研究的重要方向。生态系统服务流应用最多的模型主要有以下两类:一是通过空间分布模型开展生态系统服务供需、量化等问题的研究和制图。例如,BAGSTAD等^[70]基于ARIES模型分析了生态系统服务从供给区至需求区的传递过程,并提出通过“服务路径属性网络”分析这一传递过程;OWUOR等^[71]和VREBOS等^[72]通过利用生态系统服务关系矩阵法进行专家打分,对非洲肯尼亚和乌干达地区进行

了生态系统服务流的量化研究。此方法采取的空间分布式模型可以直接反馈出生态系统服务的途径和方法等性质,厘清生态系统服务的传递过程,是现今探讨和分析该方向的一个主要手段^[22]。二是评估生态系统服务受益者所获得的生态系统服务量,即通过对生态系统服务供需和生态系统服务流的空间分布格局及服务量进行量化和识别,来分析某一特定区域的供需匹配情况。例如,SERNA-CHAVEZ等^[40]通过生态系统服务的供需区域及服务范围来分析供需的空间联系,并引入供需指标来进行生态系统服务流的初步探索;杨丽雯等^[73]运用SPANS模型,分析了旅游服务供需空间平衡状况以及服务流传输路径和流量特征。这种研究方法主要是对空间分布格局进行识别量化,但无法揭示生态系统服务的传递路径与传递过程。

5 结论与展望

5.1 结论

目前,学界对生态系统服务的研究已经初具规模,如生态系统服务之间的相互关系与功能、生态系统服务的量化与差异等,但针对生态系统服务供需的研究仍显不足。本研究的结论如下:

(1)在生态系统服务供需研究方面,生态系统服务供给受制于资源差异和人类决策开发活动的影响,且目前生态系统服务研究多从供给方面进行探讨。生态系统服务需求具有区域差异和需求弹性差异,在不同区域和不同时期,社会所期望的生态系统服务会发生改变,并且系统内外的因素以及调查方法的差异均可能引起生态系统服务需求的差异化,同时由于缺乏统一的评估标准,精确量化生态系统服务的现实需求仍有待进一步探讨。

(2)生态系统服务的维持与人类生存环境间的空间联系仍需深入研究,由供给区流至需求区的实现过程及其因果联系有待进一步探讨。人类社会的剧烈活动,如资源开采、生态修复等会造成生态系统服务供需的时空关联特征及服务流动路径发生变化,需要进一步对这些变化的影响因素及影响机理进行深度剖析。

(3)从利益相关者的角度来分析供需关系及其优化路径,以及将生态系统服务供需的研究成果真正落

实到生态环境管理和决策中还存在较大的研究空间。

5.2 展望

目前,国土空间规划体系改革是生态文明建设的一项关键举措。生态系统服务供需关系到生态与经济系统的稳定与发展,可以为国土空间规划提供理论基础,同时其操作性、政策性等均可可以反馈至各类层次的规划中。对生态与经济系统间供需关系的匹配度进行研究,可以优化国土层面生态系统服务供需的关系,加强自然资源部门对生态系统服务供需的价值认知,从而能够启发决策者认识到生态系统服务的潜力并应用于实践,对国土空间规划体系改革具有重大意义。

本研究从概念内涵、评估方法、实践应用等角度对生态系统服务供需进行阐述,探究其未来的发展方向。然而,生态系统服务供需的研究既涉及诸多生态学方面的专业知识,又包含经济学、社会学等学科的研究内容,本文由于篇幅的限制,并未从经济学、社会学等角度对其展开研究。在未来的研究中,还需融合其他学科的专业知识,进一步拓展和丰富生态系统服务供需的研究范畴。

参考文献:

- [1] DAILY G C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997: 274.
- [2] CAIRNS J. Protecting the delivery of ecosystem services[J]. *Ecosystem Health*, 1997, 3(3): 185-194.
- [3] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Ecological Economics*, 1997, 25(1): 3-15.
- [4] 赵士洞, 张永民, 赖鹏飞, 译. 千年生态系统评估报告集[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007. ZHAO S D, ZHANG Y M, LAI P F, Translate. The millennium ecosystem assessment[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.
- [5] 文一惠, 刘桂环, 田至美. 生态系统服务研究综述[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 64-69. WEN Y H, LIU G H, TIAN Z M. Research review of ecosystem service[J]. *Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)*, 2010, 31(3): 64-69.
- [6] 傅伯杰, 周国逸, 白永飞, 等. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全[J]. 地球科学进展, 2009, 24(6): 571-576. FU B J, ZHOU G Y, BAI Y F, et al. The main terrestrial ecosystem services and ecological security in China[J]. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(6): 571-576.
- [7] 李双成, 王珏, 朱文博, 等. 基于空间与区域视角的生态系统服务地理学框架[J]. 地理学报, 2014, 69(11): 1628-1639. LI S C, WANG J, ZHU W B, et al. Research framework of ecosystem services geography from spatial and regional perspectives[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(11): 1628-1639.
- [8] 易丹, 肖善才, 韩逸, 等. 生态系统服务供给和需求研究评述及框架体系构建[J]. 应用生态学报, 2021, 32(11): 3942-3952. YI D, XIAO S C, HAN Y, et al. Review on supply and demand of ecosystem service and systematic framework construction[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(11): 3942-3952.
- [9] CROSSMAN N D, BURKHARD B, NEDKOV S, et al. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services[J]. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 4-14.
- [10] BENJAMIN B, NEVILLE C, STOYAN N, et al. Mapping and modelling ecosystem services for science, policy and practice[J]. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 1-3.
- [11] ALKEMADE R, BURKHARD B, CROSSMAN N D, et al. Quantifying ecosystem services and indicators for science, policy and practice[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 37(Part A): 161-162.
- [12] EHRLICH P R, MURPHY D D, SINGER M C, et al. Extinction, reduction, stability and increase: The responses of checkerspot butterfly (*Euphydryas*) populations to the California drought[J]. *Oecologia*, 1980, 46(1): 101-105.
- [13] BURKHARD B, KROLL F, NEDKOV S, et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 17-29.
- [14] GEIJZENDORFFER I R, MARTÍN-LÓPEZ B, ROCHE P K. Improving the identification of mismatches in ecosystem services assessments[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 52: 320-331.
- [15] SCHROTER M, REMME R P, HEIN L. How and where to map supply and demand of ecosystem services for policy-relevant outcomes? [J]. *Ecological Indicators*, 2012, 23: 220-221.
- [16] BALVANERA P, PFISTERER A, BUCHMANN N, et al. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services[J]. *Ecology Letters*, 2010, 9(10): 1146-1156.
- [17] SCHROTER M, DAVID N B, ROY P R, et al. Accounting for capacity and flow of ecosystem services: A conceptual model and a case study for Telemark, Norway[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 539-551.
- [18] 严岩, 朱捷缘, 吴钢, 等. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2489-2496. YAN Y, ZHU J Y, WU G, et al. Review and prospective applications of demand, supply, and consumption of ecosystem services[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(8): 2489-2496.
- [19] 马琳, 刘浩, 彭建, 等. 生态系统服务供给和需求研究进展[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1277-1289. MA L, LIU H, PENG J, et al. A review of ecosystem services supply and demand[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(7): 1277-1289.
- [20] VILLAMAGNA A M, ANGERMEIER P L, BENNETT E M. Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing

- ecosystem service provision and delivery[J]. *Ecological Complexity*, 2013, 15: 114–121.
- [21] 郭朝琼, 徐昔保, 舒强. 生态系统服务供需评估方法研究进展[J]. 生态学杂志, 2020, 39(6): 2086–2096. GUO Z Q, XU X B, SHU Q. A review on the assessment methods of supply and demand of ecosystem services [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(6): 2086–2096.
- [22] 肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 等. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(10): 3096–3102. XIAO Y, XIE G D, LU C X, et al. Involvement of ecosystem service flows in human wellbeing based on the relationship between supply and demand [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(10): 3096–3102.
- [23] BAI Y, WONG C P, JIANG B, et al. Developing China's ecological redline policy using ecosystem services assessments for land use planning[J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 3034.
- [24] MARTÍNEZ-LÓPEZ J, BAGSTAD K J, BALBI S, et al. Towards globally customizable ecosystem service models[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 650: 2325–2336.
- [25] WEI H, FAN W, WANG X, et al. Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 25: 15–27.
- [26] 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. ZHAO W W, LIU Y, FENG Q, et al. Ecosystem services for coupled human and environment systems[J]. *Progress in Geography*, 2018, 37(1): 139–151.
- [27] SCHRÖTER M, REMME R P, SUMARGA E, et al. Lessons learned for spatial modelling of ecosystem services in support of ecosystem accounting[J]. *Ecosystem Services*, 2015, 13: 64–69.
- [28] GROOT R, ALKEMA R, BRAAT L, et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making[J]. *Ecological Complexity*, 2010, 7(3): 260–272.
- [29] TOMAS C, KATRINA B, SARAH C, et al. Money, use and experience: Identifying the mechanisms through which ecosystem services contribute to wellbeing in coastal Kenya and Mozambique[J]. *Ecosystem Services*, 2019, 38: 100957.
- [30] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015(8): 1243–1254. XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015(8): 1243–1254.
- [31] GARCÍA-NIETO A P, GARCÍA-LLORENTE M, INIESTA-ARANDIA I, et al. Mapping forest ecosystem services: From providing units to beneficiaries[J]. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 126–138.
- [32] BURKHARD B, KROLL F, MÜLLER F, et al. Landscapes' capacities to provide ecosystem services: A concept for land-cover based assessments[J]. *Landscape Online*, 2009, 15(1): 1–12.
- [33] HANNA D, ROUX D J, CURRIE B, et al. Identifying pathways to reduce discrepancies between desired and provided ecosystem services [J]. *Ecosystem Services*, 2020, 43: 101119.
- [34] DARREL J, WENDY A, JOSHUA P. Linking ecological footprints with ecosystem valuation in the provisioning of urban freshwater[J]. *Ecological Economics*, 2006, 59(1): 38–47.
- [35] LI S, WANG J, ZHU W, et al. Research framework of ecosystem services geography from spatial and regional perspectives[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(11): 1628–1639.
- [36] FISHER B, TURNER R K. Ecosystem services: Classification for valuation[J]. *Biological Conservation*, 2008, 141(5): 1167–1169.
- [37] 余辉. 日本琵琶湖流域生态系统的修复与重建[J]. 环境科学研究, 2016, 29(1): 36–43. YU H. Ecosystem restoration and regeneration of Lake Biwa basin, Japan[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29(1): 36–43.
- [38] COSTANZA R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed[J]. *Biological Conservation*, 2008, 141: 350–352.
- [39] FISHER B, TURNER R K, MORLING P. Defining and classifying ecosystem services for decision making[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643–653.
- [40] SERNA-CHAVEZ H M, SCHULP C, BODEGOM P V, et al. A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 39(4): 24–33.
- [41] WOLFF S, SCHULP C, VERBURG P H. Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 55: 159–171.
- [42] 吴璇, 王文美, 李洪远, 等. 生态系统服务功能供需研究与应用[J]. 生态经济(学术版), 2013(2): 390–393, 397. WU X, WANG W M, LI H Y, et al. Analysis on supply and demand of ecosystem services based on the “Functional Equivalent” relative evaluation model[J]. *Ecological Economy*, 2013(2): 390–393, 397.
- [43] 王鹏, 王剑, 何桂梅. 我国城市森林的生态系统服务探析[J]. 中国城市林业, 2019, 17(1): 71–75. WANG P, WANG J, HE G M. Urban forest ecosystem services in China: Connotation, problems and countermeasures[J]. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2019, 17(1): 71–75.
- [44] 王雪超, 位贺杰, 鲁纳川, 等. 生态系统服务供给、消耗的平衡与盈余——以密云县为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(3): 366–371. WANG X C, WEI H J, LU N C, et al. Balance between ecosystem services supply, consumption and surplus: The case of Miyun County, Beijing[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition)*, 2017, 53(3): 366–371.
- [45] 石忆邵, 史东辉. 洞庭湖生态经济区生态服务供需平衡研究[J]. 地理研究, 2018, 37(9): 1714–1723. SHI Y S, SHI D H. Study on the balance of ecological service supply and demand in Dongting Lake ecological economic zone[J]. *Geographical Research*, 2018, 37(9): 1714–1723.

- [46] 刘宇, 赵亮. 基于过程-效应-功能-服务级联机制的森林减沙服务传输研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(4): 147-156. LIU Y, ZHAO L. Assessing soil loss control and sediment reduction services of forest following process-effect-function-service cascade framework[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(4): 147-156.
- [47] 姚岚, 丁庆龙, 俞振宁, 等. 生态保护红线研究评述及框架体系构建[J]. 中国土地科学, 2019, 33(7): 11-18. YAO L, DING Q L, YU Z N, et al. Review on the research of ecological red-line and systematic framework construction[J]. *China Land Science*, 2019, 33(7): 11-18.
- [48] SHEN J, LI S, LIANG Z, et al. Exploring the heterogeneity and nonlinearity of trade-offs and synergies among ecosystem services bundles in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *Ecosystem Services*, 2020, 43: 101103.
- [49] SHEN J, LI S, LIU L, et al. Uncovering the relationships between ecosystem services and social-ecological drivers at different spatial scales in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 290: 125193.
- [50] WANG H, LIU L, YIN L, et al. Exploring the complex relationships and drivers of ecosystem services across different geomorphological types in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China (2000-2018)[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 121(1): 107116.
- [51] COSTANZA R, DE GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [52] WOLFF S, SCHULP C, KASTNER T, et al. Quantifying spatial variation in ecosystem services demand: A global mapping approach[J]. *Ecological Economics*, 2017, 136: 14-29.
- [53] TURNER R K, PAAVOLA J, COOPER P, et al. Valuing nature: Lessons learned and future research directions[J]. *Ecological Economics*, 2002, 46(3): 493-510.
- [54] TROY A, WILSON M A. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer[J]. *Ecological Economics*, 2007, 60(2): 435-449.
- [55] SCHULP C, LAUTENBACH S, VERBURG P H. Quantifying and mapping ecosystem services: Demand and supply of pollination in the European Union[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 131-141.
- [56] SAUTER I, FELIX K, BOLLIGER J, et al. Changes in demand and supply of ecosystem services under scenarios of future land use in Vorarlberg, Austria[J]. *Journal of Mountain Science*, 2019, 16(12): 2793-2809.
- [57] LORILLA R S, KALORIRON S, POIRAZIDIS K, et al. Identifying spatial mismatches between the supply and demand of ecosystem services to achieve a sustainable management regime in the Ionian Islands (Western Greece)[J]. *Land Use Policy*, 2019, 88: 104171.
- [58] 戴广翠. 森林环境服务业发展的理论与实践研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009. DAI G C. Theory and practice for forest environmental service[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.
- [59] 王文美, 吴璇, 李洪远. 滨海新区生态系统服务功能供需量化研究[J]. 生态科学, 2013, 32(3): 379-385. WANG W M, WU X, LI H Y. Quantitative research on the supply and demand of ecosystem service function of Tianjin Binhai new area[J]. *Ecological Science*, 2013, 32(3): 379-385.
- [60] 杨冕, 张艺千, 王春晓. 湖北省关键生态系统服务供需状况的时空变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2080-2091. YANG M, ZHANG Y Q, WANG C X. Spatial-temporal variations in the supply-demand balance of key ecosystem services in Hubei Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(9): 2080-2091.
- [61] 吴晓, 周忠学. 城市绿色基础设施生态系统服务供给与需求的空间关系——以西安市为例[J]. 生态学报, 2019, 39(24): 9211-9221. WU X, ZHOU Z X. Spatial relationship between supply and demand of ecosystem services through urban green infrastructure: Case of Xi'an City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(24): 9211-9221.
- [62] 翟天林, 王静, 金志丰, 等. 长江经济带生态系统服务供需格局变化与关联性分析[J]. 生态学报, 2018, 39(15): 5414-5424. ZHAI T L, WANG J, JIN Z F, et al. Change and correlation analysis of the supply-demand pattern of ecosystem services in the Yangtze River economic belt[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(15): 5414-5424.
- [63] 孟士婷, 黄庆旭, 何春阳, 等. 区域碳固持服务供需关系动态分析——以北京为例[J]. 自然资源学报, 2018, 33(7): 1191-1203. MENG S T, HUANG Q X, HE C Y, et al. Mapping the changes in supply and demand of carbon sequestration service: A case study in Beijing[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(7): 1191-1203.
- [64] 陈骏宇, 王慧敏, 刘钢, 等. “水-能-粮”视角下杭嘉湖区域生态系统服务供需测度及政策研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 542-553. CHEN J Y, WANG H M, LIU G, et al. Evaluation of ecosystem services and its adaptive policies in the Hangjiahu region under Water-Energy-Food nexus[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(3): 542-553.
- [65] 陈丽莎, 熊康宁, 陈起伟, 等. 喀斯特生态环境治理下土壤保持功能对石漠化的响应机制[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(2): 499-510. CHEN L S, XIONG K N, CHEN Q W, et al. Response mechanism of soil conservation function to rocky desertification under eco-environmental harness of Karst areas[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(2): 499-510.
- [66] 王云才, 申佳可, 彭震伟, 等. 适应城市增长的绿色基础设施生态系统服务优化[J]. 中国园林, 2018, 34(1): 45-49. WANG Y C, SHEN J K, PENG Z W, et al. The optimization of green infrastructure ecosystem services adapted to urban growth[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2018, 34(1): 45-49.
- [67] 刘立程, 刘春芳, 王川, 等. 黄土丘陵区生态系统服务供需匹配研究——以兰州市为例[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 1921-1937. LIU

- L C, LIU C F, WANG C, et al. Supply and demand matching of ecosystem services in loess hilly region: A case study of Lanzhou[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(9):1921-1937.
- [68] 王萌辉, 白中科, 董潇楠. 基于生态系统服务供需的陕西省土地整治空间分区[J]. 中国土地科学, 2018, 32(11):73-80. WANG M H, BAI Z K, DONG X N. Land consolidation zoning in Shanxi Province based on the supply and demand of ecosystem services[J]. *China Land Science*, 2018, 32(11):73-80.
- [69] 颜文涛, 黄欣, 邹锦. 融合生态系统服务的城乡土地利用规划: 概念框架与实施途径[J]. 风景园林, 2017(1):45-51. YAN W T, HUANG X, ZOU J. Ecosystem services integrated urban and rural land use planning: Conceptual framework and practical approach[J]. *Landscape Architecture*, 2017(1):45-51.
- [70] 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.
- [71] OWUOR M A, ICELY J, NEWTON A, et al. Mapping of ecosystem services flow in Mida Creek, Kenya[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 140:11-21.
- [72] VREBOS D, STAES J, VANDENBROUCKE T, et al. Mapping ecosystem service flows with land cover scoring maps for data-scarce regions[J]. *Ecosystem Services*, 2015, 13:28-40.
- [73] 杨丽雯, 王勇智, 高月. 洪洞大槐树寻根祭祖园生态服务流模拟[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2019, 42(2):473-481. YANG L W, WANG Y Z, GAO Y. Simulation of ecosystem service flow in Dahuaishu ancestor memorial garden, Hongtong, Shanxi[J]. *Journal of Shanxi University(Natural Science Edition)*, 2019, 42(2):473-481.