



# 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>

### 生态系统服务权衡与协同研究:发展历程与研究特征

冯漪, 曹银贵, 李胜鹏, 王舒菲, 刘施含, 白中科

#### 引用本文:

冯漪, 曹银贵, 李胜鹏, 等. 生态系统服务权衡与协同研究:发展历程与研究特征[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 11–25.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0640>

### 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>

#### 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>

#### 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>

#### 滨海湿地互花米草入侵的生态水文学机制研究进展

栾兆擎, 闫丹丹, 薛媛媛, 史丹, 徐丹丹, 刘彬, 王立波, 安玉亭

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 469–476 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0124>

#### 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>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

冯漪, 曹银贵, 李胜鹏, 等. 生态系统服务权衡与协同研究: 发展历程与研究特征[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 11-25.  
FENG Y, CAO Y G, LI S P, et al. Trade-offs and synergies of ecosystem services: Development history and research characteristics[J].  
*Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(1): 11-25.



开放科学 OSID

# 生态系统服务权衡与协同研究: 发展历程与研究特征

冯漪<sup>1</sup>, 曹银贵<sup>1,2\*</sup>, 李胜鹏<sup>1</sup>, 王舒菲<sup>1</sup>, 刘施含<sup>1</sup>, 白中科<sup>1,2</sup>

(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:** 生态系统服务与人类福祉密切相关, 生态系统服务之间的权衡协同关系是当前的研究重点, 分析其概念内涵与研究特征, 能够更好地认识区域生态系统服务之间的关系, 从而面向各方需求实现总体效益最大化, 为区域发展提供决策依据。本文采用文献分析法和比较分析法统计了国内外 1996—2020 年生态系统服务权衡与协同研究的文献数量特征, 梳理了国内外自发展起始至当前不同时段的研究主题, 归纳了生态系统服务权衡与协同的概念内涵和研究特征, 指出了目前研究存在的不足以及未来的研究方向。研究表明: 国内外文献数量均处于持续增长的趋势, 并且国外增长速度高于国内; 生态系统服务权衡与协同具有很强的时空尺度依赖性, 时空尺度的差异共同驱动权衡协同关系的动态变化, 但是目前该领域相关研究仍有很大的探索空间, 未来需加强时空变化的框架模型、定量分析、驱动机制、内在机理、阈值效应、供给与需求等方面的研究, 从而更好地认识生态系统服务权衡与协同的时空变化机理, 实现区域生态环境与社会经济发展的双赢。

**关键词:** 生态系统服务; 权衡; 协同; 时空变化; 尺度效应

中图分类号: X171.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2022)01-0011-15 doi: 10.13254/j.jare.2021.0640

## Trade-offs and synergies of ecosystem services: Development history and research characteristics

FENG Yi<sup>1</sup>, CAO Yingui<sup>1,2\*</sup>, LI Shengpeng<sup>1</sup>, WANG Shufei<sup>1</sup>, LIU Shihan<sup>1</sup>, BAI Zhongke<sup>1,2</sup>

(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:** Ecosystem services are closely related to human well-being, and the study of the trade-offs and synergies between ecosystem services is currently a pressing research topic. By analyzing its conceptual connotation and research characteristics, we can better understand the relationship between the regional ecosystem services, adapt to the need of the parties to maximize the overall benefits, and provide a basis for decision-making for regional development. This study focused on the literature quantitative characteristics of domestic and foreign research on ecosystem services trade-offs and synergies from 1996 to 2020 by literature analysis and comparative analysis. Domestic and foreign research themes from different periods, from the beginning of development to the present, were analyzed. The conceptual connotation and research characteristics of the trade-offs and synergies of ecosystem services were summarized. Finally, shortcomings existing in current research and future research directions were identified. The specific conclusions are as follows: the number of domestic and foreign studies is increasing, with the foreign growth rate faster than domestic; Ecosystem service trade-offs and synergies are strongly dependent on time and space scales, the difference of spatio-temporal scale jointly drives the dynamic change of the relationship between trade-offs and synergies, but there is still a lot of research space in this field. In the future, it is necessary to strengthen the research on the framework model, quantitative analysis, driving mechanism, internal mechanism, threshold effect, supply and demand of temporal and spatial changes to better understand the mechanism of temporal and spatial changes in ecosystem service trade-offs and synergies, and achieve a mutually beneficial situation for regional ecological environment and socioeconomic development.

**Keywords:** ecosystem services; trade-offs; synergies; spatio-temporal change; scale effect

收稿日期: 2021-09-21 录用日期: 2021-12-17

作者简介: 冯漪(2000—), 女, 河南驻马店人, 硕士研究生, 研究方向为国土空间生态修复。E-mail: fy20000618@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(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)

生态系统服务是指生态系统所形成的用于维持人类赖以生存和发展的自然环境条件与效用<sup>[1]</sup>,是人类直接或间接从生态系统中得到的各种惠益<sup>[2]</sup>。联合国千年生态系统评估(Millennium ecosystem assessment, MA)提出生态系统服务包括供给、调节、支持、文化服务,但自然条件和人类需求使得生态系统服务之间形成了此消彼长的权衡关系或相互增益的协同关系。由于经济的快速发展和城镇化、工业化的持续推进,区域发展与生态环境之间产生了一定的矛盾,《千年生态系统评估报告》指出,全球人口的快速增长和经济的快速发展已导致世界60%的生态系统服务退化<sup>[3]</sup>。生态系统服务单一化会导致各项服务能力持续减弱,并且各类服务之间的权衡关系也会在很大程度上影响人类福祉<sup>[4]</sup>,再加上人类对生态系统服务之间的关系认知有限,不利于最大限度地发挥生态系统服务功能,从而对生态环境造成负面影响,导致资源浪费。

无论是个人生存还是社会发展都遵循“马斯洛需求理论”,这使得人们在选择生态系统服务时倾向于能带来直接经济价值的供给服务,忽视了其他能为社会发展带来长期效益的调节、支持等服务,激化了社会经济发展与生态环境保护之间的矛盾<sup>[5]</sup>。在世界人口经济快速增长和资源日益紧缺的背景下,生态系统服务权衡与协同研究不仅对应对全球气候变化和遏制区域生态环境恶化有重要意义,而且能够为合理开发利用自然资源提供理论依据,从而实现生态保护与社会发展的双赢<sup>[6]</sup>。近年来生态系统服务权衡与协同已经成为生态学、地理学、管理学、经济学等学科的热点研究领域<sup>[7]</sup>,国内外大量学者围绕生态系统服务关系及其时空演变开展了多项研究。通过长时间序列的权衡协同关系变化分析,可以解析生态系统服务关系的演变规律,从而对未来生态系统服务关系的变化趋势进行预判,并且有利于认识当地政策及区域自然因素对各服务关系的影响。在空间格局上对生态系统服务权衡与协同关系进行分析,能够探索区域空间一致性与局部差异性,进行合理的功能分区,优化空间布局。目前亟需对相关研究成果进行系统梳理和总结,因此,本文综述了生态系统服务权衡与协同的概念类型、理论基础、国内外研究历程及研究特征,指出了当前研究存在的不足与未来的发展方向,以期推动生态系统服务权衡与协同领域的理论发展并为理论成果的转化提供依据。

## 1 生态系统服务权衡与协同的概念

20世纪70年代初,生态系统服务的概念被正式

提出,在HOLDREN等<sup>[8]</sup>和EHRlich等<sup>[9]</sup>的研究与推动下,逐渐被人们熟知并应用<sup>[10]</sup>。它作为连接自然环境与人类社会的桥梁,生态系统服务已经成为地理学、生态学等相关学科的话题。国内外学者在20世纪90年代掀起了量化评估生态系统服务价值的热潮,之后随着研究的深入,逐渐转向生态系统服务对人类福祉的影响,因而探寻生态系统各项服务背后复杂的相互作用关系成为当前研究的重要领域。生态系统服务间存在复杂的非线性关系,包括权衡、协同和兼容关系(无相互关系)等。权衡是经济学中的一个基本概念,在经济学背景下,权衡通常表示为机会成本,即进行经济决策时的首要选择,由于资源的稀缺性,当获取某种更多的稀缺资源时意味着个体或集体需放弃一定数量的另一种稀缺商品。在生态系统服务方面,权衡的定义来自于千年生态系统评估,它将权衡定义为有意改变生态系统提供的服务的管理选择<sup>[11]</sup>。之后,不同的学者对生态系统服务权衡的概念进行了阐述(表1),其中RODRÍGUEZ等<sup>[12]</sup>2006年提出的“当一种生态系统服务的提供由于另一种生态系统服务的使用增加而减少时,或者当某一利益相关者以其他利益相关者的损失为代价获得更多特定的生态系统服务时,就会发生权衡”,以及BENNETT等<sup>[14]</sup>2009年提出的“权衡是以失去一种生态系统服务换取另一种服务”的概念被广为引用。生态系统服务权衡概念主要有“一对一”“一对多”“多对多”等类型,即生态系统服务间的关系具有非线性特征,通常是多种生态系统服务间相互影响。生态系统服务权衡来源于人类的管理选择,并且在权衡关系的研究中以一种服务与其他服务的关系研究居多,因此笔者认为生态系统服务权衡是指某种类型生态系统服务的供给增加造成其他类型生态系统服务减少的情形,即此消彼长的关系。

协同作为权衡的对立面,概念较为统一。BENNETT等<sup>[14]</sup>将协同定义为两种服务要么同时增加要么同时减少的情况。RAUDSEPP-HEARNE等<sup>[21]</sup>和QIN等<sup>[16]</sup>认为当多种服务同时增强时,就会产生生态系统服务的协同效应。李双成等<sup>[22]</sup>认为协同是指两种或多种生态系统服务同时增强的情形。张健<sup>[23]</sup>将生态系统服务协同分为两类:一类是两种生态系统服务共同提高,实现双赢;另一类是两种生态系统服务均减损,出现双输的局面。曹祺文等<sup>[24]</sup>认为生态系统服务协同是指两种或多种生态系统服务同时增强或同时减少的情形。综上所述,协同是指两种或者多

表1 生态系统服务权衡与协同概念对比

Table 1 Comparison of concepts of trade-offs and synergies among ecosystem service

学者 Scholar	概念 Concept	对应类型 Corresponding type	权衡主体 Subject of trade-offs	年份 Year
RODRÍGUEZ 等 <sup>[12]</sup>	当一种生态系统服务的提供由于另一种生态系统服务的使用增加而减少时,或者当某一利益相关者以其他利益相关者的损失为代价获得更多特定的生态系统服务时,就会发生权衡	一对一	生态系统服务/ 利益相关者	2006
SWALLOW 等 <sup>[13]</sup>	一种生态系统服务的提供因另一种生态系统服务的使用增加而减少时,就会出现权衡	一对一	生态系统服务	2009
BENNETT等 <sup>[14]</sup>	失去一种生态系统服务换取另一种生态系统服务	一对一	生态系统服务	2009
HAASE等 <sup>[15]</sup>	在同一地点增加一种生态系统服务,同时减少另一种生态系统服务	一对一	生态系统服务	2012
QIN等 <sup>[16]</sup>	当一种生态系统服务的提供以减少另一种服务的提供为代价时,就会产生生态系统服务的权衡	一对一	生态系统服务	2015
李鹏等 <sup>[17]</sup>	一定时空尺度内,一种生态系统服务供给水平的提升是以自身生态系统的恢复力与其他生态系统服务供给能力的降低为代价	一对多	生态系统服务	2012
LESTER等 <sup>[18]</sup>	提供一项生态系统服务与提供其他服务时产生权衡	一对多	生态系统服务	2013
CHEUNG等 <sup>[19]</sup>	为了获得更多的生态系统服务而放弃某些生态系统服务	多对多	生态系统服务	2007
彭建等 <sup>[20]</sup>	某些类型生态系统服务的供给受到其他类型生态系统服务消费增加而减少的情况	多对多	生态系统服务	2017

种生态系统服务同时增加或者减少的情况<sup>[17]</sup>,即彼此趋势相同<sup>[25]</sup>。

生态系统服务权衡产生于人们对于生态系统服务的需求偏好<sup>[20]</sup>,在选择某一种或者某几种生态系统服务的同时,有意无意地削减了其他类型生态系统服务的供给,从而产生了生态系统服务的权衡与协同问题。从生态系统服务相互作用的关系来看,某些情况下生态系统服务间的影响是单向性的,有时又是双向性的,即彼此间相互影响。积极的单向影响形成服务间的协同作用,消极的单向影响产生服务间的权衡作用<sup>[14]</sup>。当生态系统服务间出现权衡,即此消彼长的情况时,需要对生态系统服务间的关系进行分析,达到减少冲突增加协同的目的,协同是实现生态系统服务利益最大化的内在途径,也是人类社会发展的最终目标<sup>[17]</sup>。

## 2 生态系统服务权衡与协同的研究历程

国内外文献数量分别以CNKI和Web of Science核心数据库为研究载体,中文以“生态系统服务权衡协同”或“生态系统服务权衡”或“生态系统服务协同”为主题词检索时文献数量最多,因此以主题词的方式进行高级检索,时间跨度为研究起始年份至2020年,即2010—2020年;英文以“Ecosystem service trade-offs synergies”或者“Ecosystem service trade-offs”或者“Ecosystem service synergies”为主题词进行检索,时间跨度为1996—2020年,通过以上方式检索到国内文献760篇、国外文献2459篇。根据检索结果分析国内外1996—2020年文献数量的变化过程(图1)。

从变化趋势上看,国内外文献数量都呈不断增长的趋势,2010—2020年国外增长速度大于国内;文献数量方面,国外文献数量始终高于国内,2010—2017年,国内与国外发文量的差距逐渐增大,但由于国内近几年相关研究的快速发展,在2018年出现了转折,国内与国外的发文量差距呈现减少的趋势。

为了进一步分析国内外不同阶段生态系统服务权衡与协同的研究主题变化,运用CiteSpace软件对检索出的文献进行关键词共现分析,得到国内外生态系统服务权衡与协同关键词时序图谱(图2、图3),并在此基础上对国内外生态系统服务权衡与协同的发展阶段进行对比(图4)。时序图谱可以反映出不同时期某研究领域的新兴主题,每个节点所处的位置代表关键词首次出现的年份,如果以后该关键词继续出现,出现频次都会累积到首次出现的年份上,使该关键词的节点变大,但不会出现新的节点,连线及粗细代表该关键词在后续年份出现的频次及其与其他关键词的共现关系<sup>[26]</sup>。如图2所示,国际生态系统服务权衡与协同的发展可以划分为四个阶段:第一阶段(1996—1999)为研究起步期,这一阶段主要关键词为Biodiversity、Conservation等,主要涉及生物多样性保护,说明国际上对生态系统服务权衡与协同的研究最早在1996年以关注生物多样性开始。第二阶段(1999—2014)为快速发展期,以2000年为时间节点,出现了众多高频共现关键词,如Ecosystem service、Benefit、Management、Climate change、Trade-off、Agriculture、Resilience、Sustainability、Framework、Payment等,20世纪90年代末DAILY<sup>[11]</sup>和COSTANZA



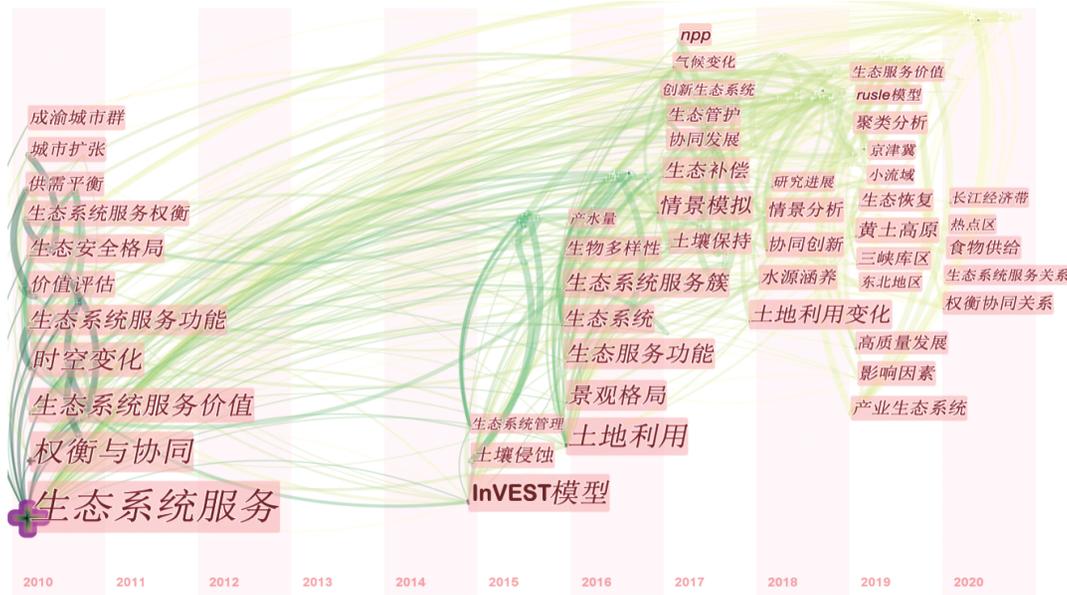


图3 国内生态系统服务权衡与协同关键词时序图谱

Figure 3 The keyword timing map of trade-offs and synergies of domestic ecosystem service

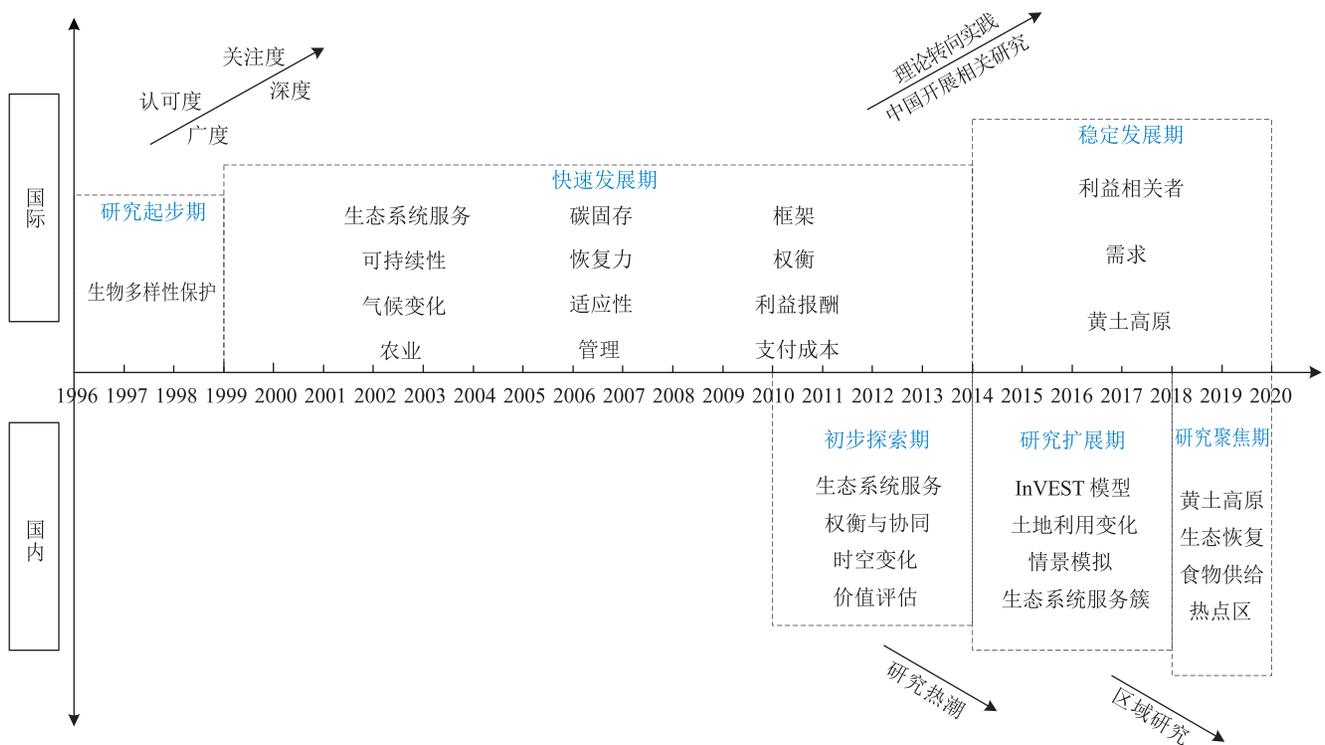


图4 国内外生态系统服务权衡与协同发展阶段对比

Figure 4 Comparison of development stages of trade-offs and synergies of domestic and foreign ecosystem service

如图3所示,国内生态系统服务权衡与协同的发展大概分为三个阶段:第一阶段(2010—2014)是初步探索期<sup>[28]</sup>,主要关键词有“生态系统服务”“权衡与协同”“时空变化”“价值评估”等,说明国内研究最早侧重于生态系统服务价值评估、权衡与协同关系分析及

其时空动态变化研究,图3中2011—2014年没有出现任何关键词,是由于没有新的研究主题出现,并不是研究的空白期。第二阶段(2014—2018)是研究扩展期,此时出现了许多新的相关热点话题,如土地利用变化、情景模拟、生态系统服务簇等,说明在此阶段开

始关注土地利用变化下权衡协同关系的转变,以及采用情景模拟的方式预测未来权衡协同关系的变化趋势,为生态系统管理提供基础决策。生态系统服务簇是指在特定区域时间或空间上反复共同出现的生态系统服务组合<sup>[4]</sup>,通过识别生态系统服务簇,帮助区域进行功能分区,以区域特点为基础实现可持续发展。第三阶段(2018—2020)为研究聚焦期,研究主题主要包括生态恢复、高质量发展等,主要研究地区包括黄土高原、三峡库区、东北地区、京津冀、长江经济带,说明国内近两年注重经济发展和生态建设对生态系统服务关系的影响,通过权衡协同关系的分析,致力于实现生态与经济的协调发展,并且随着社会经济的快速发展,该研究热点可能会受到持续关注<sup>[27]</sup>。综上所述,我国虽发展起步较晚,但是自2010年以来,生态系统服务权衡与协同一直受到广泛关注,众多学者开展了不同区域的生态系统服务关系研究,使得该研究主题在国内的发文量快速增加,这也说明国内对区域可持续发展的重视以及生态与经济双赢目标的追求。

### 3 生态系统服务权衡与协同的特征研究

#### 3.1 生态系统服务权衡与协同类型的划分

国内外学者广泛地探讨了权衡与协同的理论基础,从单一的马斯洛需求层次理论<sup>[31]</sup>、生产要素投入与产量关系的生产理论逐步发展到地理学<sup>[50]</sup>、生态学视角的理论体系<sup>[51-52]</sup>,最终必然是一项多学科理论参与的综合性研究<sup>[24]</sup>。众多学者都认为生态系统服务之间的关系会发生转变。一般而言,权衡与协同是生态系统服务关系的普遍形式<sup>[15]</sup>。不同的研究者从不同的角度对生态系统服务权衡类型进行了划分(表2),依据不同分析尺度与是否可逆,MA将生态系统服务权衡分为3种类型:空间上的权衡、时间上的权衡以及可逆性权衡<sup>[53]</sup>。空间上的权衡是区域间生态

系统服务的相互影响,例如本地选择某种有利服务对周边或者其他地区产生不利影响;时间上的权衡是指生态系统服务当前产生的收益与未来收益的权衡,这是由于不同的生态系统服务产生的周期不同;可逆性权衡是指当干扰停止时生态系统服务恢复到原始状态的可能性<sup>[54]</sup>。之后,生态系统服务与生物多样性经济学(The economics of ecosystems and biodiversity, TEEB)和 MOUCHET 等<sup>[55]</sup>又分别从权衡内容与供给需求角度进行了深入划分。张碧天等<sup>[56]</sup>结合以上代表性分类进行了归纳总结,提出生态系统服务权衡与协同分为两类,一类是客观权衡规律,一类是管理权衡决策。客观权衡规律即为供给-需求角度的类型划分,而管理权衡决策则针对生态系统服务类型、服务空间尺度大小、服务时间尺度长短、需求得到满足的受益者类型。除此以外,根据两两生态系统服务相互作用的曲线特征,可将权衡关系可归纳为6种:即无相互作用的服务、直接权衡、凸权衡、凹权衡、非单调凹权衡、倒S型权衡<sup>[58]</sup>。基于以上权衡曲线模型,可以从经济学角度估算两种生态系统服务的总体效益和价值变化,但是在现实中往往是多种生态系统服务间的相互作用,因此该权衡模型仍具有一定的局限性<sup>[57]</sup>。

目前在生态系统服务权衡的研究中,最常见的有时空尺度权衡、供给需求权衡以及利益主体权衡。严格来说,生态系统服务时空权衡贯穿整个生态系统服务权衡的各个方面,因为生态系统服务本身具有时空效应,通过进行时间、空间上的权衡分析,可以确定不同时间段、不同空间尺度可持续发展的平衡点。供给需求权衡是从主体角度出发进行生态系统服务需求评价,将生态系统服务需求与供给情况相匹配,识别需要保护的生态系统服务类型及区域,确定重点保护规划区域。利益主体权衡需首先明确受益主体(社会群体或生物群落)并考虑各个利益相关方的需求,通过考

表2 生态系统服务权衡类型划分

Table 2 Classification of types of trade-offs between ecosystem service

类型 Type	供给与需求 Supply and demand	权衡内容 Content of trade-offs	相互作用曲线特征 Interaction curve characteristics
时间权衡	供给-供给类(供给之间权衡)	成本与收益空间分离权衡	无相互作用
空间权衡	供给-需求类(供给需求时空不匹配)	成本与收益时间滞后权衡	直接权衡
可逆性权衡	需求-需求类(利益相关方需求差异)	成本与收益在利益相关者之间分配的权衡 考虑目标生态系统服务选择的权衡	凸权衡 凹权衡 非单调凹权衡 倒S型权衡

考虑利益相关方的意见实现公众参与,在博弈权衡中选择最优方案<sup>[58]</sup>。根据不同研究目标可以选取不同的权衡划分方案,为区域发展规划及管理决策提供建议。

### 3.2 生态系统服务权衡与协同的研究方法对比

国内外学者对生态系统服务权衡与协同关系的转换特征开展了大量的研究,并且采用了空间自相关和主成分分析法<sup>[59]</sup>、多情景模拟法<sup>[60]</sup>、逐像元偏相关分析的时空统计法<sup>[61]</sup>等多种方法进行了权衡协同关系的分析。目前已经开发了较多有助于识别生态系统服务间关系的模型,如InVEST、ARIES、ESValue、EcoAIM、EcoMetrix、NAIS、SolVES等模型<sup>[62-65]</sup>。戴尔阜等<sup>[7]</sup>系统梳理与总结了模型的主要类型、适用的空间尺度、结果形式、适用地区和功能。在进行时空转换的研究中,通常先采用InVEST模型、RUSLE模型、SWAT模型和CASA模型<sup>[66]</sup>等进行特定生态系统服务的测算,利用统计分析法(相关性分析、回归分析、均方根误差分析等)、空间分析方法、情景模拟方法(表3)等分析权衡与协同关系,通过GIS制图进行时空对比。生态系统服务制图通过GIS平台的空间叠加、地图代数等方法对生态系统服务类型进行空间制图和空间重合度比较,可以更有效地展示生态系统服务权衡与协同的空间分异特征,并且通常会进一步结合空间自相关、冷热点分析、玫瑰图等来刻画特定时空尺度上生态系统服务的空间格局及权衡与协同关系<sup>[24]</sup>。

### 3.3 生态系统服务权衡与协同的时空研究特征

#### 3.3.1 空间尺度

生态系统服务权衡与协同具有时空尺度依赖性,全域尺度下生态系统服务权衡协同关系不能代表更加微观尺度上的生态系统服务关系<sup>[67]</sup>。在不同的空间尺度下,生态系统服务权衡与协同关系可能发生变化。目前空间尺度上生态系统服务关系的研究主要针对多尺度对比研究、单一尺度研究以及原始状态区与人为干预区的对比研究。

在多尺度研究方面,张静静等<sup>[68]</sup>对伏牛山地区森林生态系统服务权衡协同效应进行了分析,发现伏牛

山地区南北坡尺度上以及垂直带尺度上生态系统服务间的关系均存在差异:南北坡尺度上,南坡服务之间的协同关系优于北坡;垂直带尺度上,南坡中山落叶阔叶林带服务之间协同关系最好,北坡低山落叶阔叶林带协同关系最差。高艳丽等<sup>[69]</sup>发现整个汉江流域的权衡与协同关系与市域范围内不同。杨洁等<sup>[70]</sup>将黄河流域及其8个子流域的生态系统服务权衡与协同关系进行对比,发现生态系统服务整体表现出明显的二级流域差异和地域规律性,这可能是区域自然资源禀赋与人类活动干扰程度的差异造成的,同时也说明生态系统服务的权衡与协同关系存在尺度依赖性。因此,在不同尺度生态系统服务关系存在差异的情况下,需要因地制宜地采取科学管理措施,尽可能地降低权衡、增加协同,当在空间尺度上发生冲突时,管理者需根据服务需求进行选择,实现生态系统服务效益的最大化。

在单尺度研究方面,不同学者在区域、流域、国家、全球等尺度上开展了众多研究。在区域尺度上,XIE等<sup>[71]</sup>、聂名萱等<sup>[72]</sup>、胡其玉等<sup>[73]</sup>、于媛等<sup>[74]</sup>分别分析了京津冀地区、苏锡常地区、厦漳泉地区、哈长城市群生态系统服务关系的空间格局,揭示了快速人口增长和经济发展背景下生态系统服务关系的空间异质性,为制定区域土地利用管理政策及生态保护措施等提供了理论基础。在流域尺度上,VALLET等<sup>[75]</sup>采用多种方法对哥斯达黎加Reventazón流域生态系统服务关系进行了时空分析,认为生态系统服务关系的性质和强度取决于所使用的分析方法。钱彩云等<sup>[76]</sup>和李冬花等<sup>[77]</sup>采用双变量空间自相关分析分别展示了白龙江流域、新安江流域生态系统服务权衡与协同关系的空间集聚特征。张世栋等<sup>[78]</sup>和NIU等<sup>[79]</sup>分别探究了辽河流域、松花江流域生态系统服务间的权衡与协同关系的空间格局,并且进一步分析了生态系统服务相关关系的空间动态变化。以流域为生态系统服务管理单元,不仅能够降低生态调节措施风险,而且可以为流域生态补偿、生态文明建设、区域生态安全

表3 生态系统服务权衡与协同分析方法及优缺点

Table 3 Analysis methods and their advantages and disadvantages of trade-offs and synergies among ecosystem services

分析方法 Analytical method	优点 Advantage	缺点 Disadvantage
统计分析法	简单便捷,对数据要求不高	没有考虑空间异质性
空间分析法	单变量空间自相关 双变量空间自相关	从空间角度出发,利于服务关系背后的机理分析 在传统空间自相关的基础上,实现多个变量间空间相关性的分析与表达
情景模拟法	多种情景模拟分析,进行动态的时空预测	情景设定的合理性和科学性起决定作用

格局构建及绿色高质量发展提供决策参考<sup>[77]</sup>。在国家尺度上,JIANG等<sup>[80]</sup>绘制了英国乡村70年来生态系统服务和生物多样性变化图,2000年的地图显示了碳储量、供给服务和生物多样性热点的空间分离,表明与20世纪30年代相比,现代密集的土地利用在提供多种服务和生物多样性方面产生了权衡。在全球尺度上,LARSEN等<sup>[81]</sup>对全球3500个区域的受威胁物种、碳储存和淡水供应的空间数据进行了权衡分析,认为有望实现生物多样性保护优先与碳储存和淡水供应相协调,即有可能增加生态系统服务的提供,同时仍然保持较高的生物多样性保护目标。在进行单一尺度的研究时,可以根据研究目的进行研究尺度的选择,因为不同尺度涉及的主要生态系统服务不同。例如粮食生产及供应主要服务于区域尺度,而生物多样性与温室气体排放问题则涉及到全球尺度,因而在研究过程中需考虑研究区生态系统服务关系的空间异质性,在此基础上根据权衡协同关系进行分区域、分类型管理,以明确不同区域的主导功能,有效配置环境资源。

在人为干预对比方面,众多学者分析了土地利用/覆盖变化、生态恢复措施<sup>[82]</sup>、矿区开采沉陷<sup>[83]</sup>、退耕还林<sup>[84]</sup>、生态补偿<sup>[85]</sup>(图5)等引起的生态系统服务权衡与协同关系的空间变化。研究表明,生态恢复措施、退耕还林政策以及生态补偿制度等生态举措都能够为实现区域的生态系统服务协同提供帮助。因此,采取积极的人为干预措施,在保证社会经济可持续发展的同时,可以有效地提升人类福祉。

### 3.3.2 时间尺度

生态系统服务之间的关系随着时间变化表现出一定的演变规律,呈现出一定的阶段性与差异性、明显的滞后性及阈值效应<sup>[86-88]</sup>。当外界的扰动强度超过生态系统的阈值时,生态系统服务会发生剧烈变化,导致生态系统服务相互关系发生转变。目前针对生态系统服务权衡与协同时间尺度的研究(表4)多选择有一定时间间隔的年份,对于连续时间序列的研究比较少<sup>[96]</sup>,而王鹏涛等<sup>[61]</sup>认为开展连续时间序列研究能够提高结果的可信度。张一达等<sup>[97]</sup>在以权衡与协同分析为基础的耕地利用转型研究中发现,耕地多功能在2005—2016年连续12年间经历了权衡协同关系持平到以权衡关系为主导再到权衡协同关系持平的过程,转型期复杂的权衡关系及三阶段主导功能的变化证明耕地功能层面实现了转型。刘海等<sup>[98]</sup>以5年为时间间隔分析了丹江口水源区1990—2015年不

同时期的生态系统服务权衡协同关系及变化原因,结果表明协同关系主要存在于调节服务、支持服务与其他类型生态系统服务的关系之中,权衡关系主要与供给服务有关。这与众多学者的研究结果一致<sup>[69,89,91,99-100]</sup>,即生态系统服务权衡通常发生在供给服务与其他服务中,而调节服务、文化服务、支持服务之间的协同作用较为常见,其主要原因是不同土地利用类型提供的主要生态系统服务类型不同,在耕地中食物供给服务能力较强,而对生态系统的调节能力较低;而林草地对增加碳储存、调节气候方面有积极作用,并且能够降低土壤侵蚀,起到水土保持的作用<sup>[91]</sup>。

时间尺度效应要求在注重当前发展的同时,还应当关注对后代发展的影响。SCHRODER等<sup>[100]</sup>发现美国国家森林火险管理(伐木)与猫头鹰栖息地保护、水质调节服务存在短期权衡、长期协同的关系。通过时间尺度分析,注重短期效益与长期效益、当前效益与未来效益的结合,在获取当前尽可能多的生态系统服务时,不以损失未来大部分生态系统服务为代价,降低代际差异,实现持续发展。同时也应注意生态系统服务权衡与协同关系对决策的反馈机制,通过反馈作用明晰政策带来的正负面影响,为决策优化提供保障。

生态系统功能源于景观格局与生态过程间的相互作用及作用的尺度约束,即生态系统服务功能具有空间异质性与尺度效应,这就决定了生态系统服务功

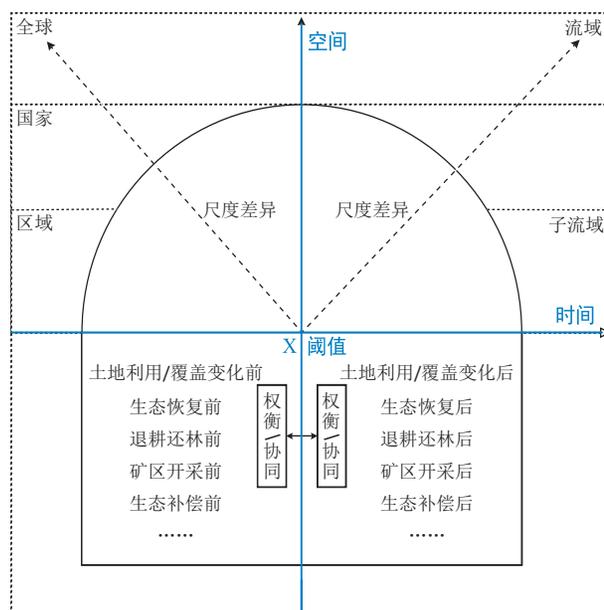


图5 生态系统服务权衡与协同时空研究特征

Figure 5 Spatio-temporal research characteristics of trade-offs and synergies of ecosystem service

表4 国内外部分地区生态系统服务权衡与协同关系时空演变研究

Table 4 Research on the spatio-temporal evolution of trade-offs and synergies among ecosystem service in some regions at home and abroad

区域 Area	研究区 Study area	生态系统服务 Ecosystem service	生态系统服务测算 Measurement of ecosystem service	权衡与协同关系分析 Trade-offs and synergy analysis	时间演变 Temporal variation	空间演变 Spatial variation	影响因素 Influencing factor					
国内	粤港澳大湾区	产水、固碳、土壤保持、食物供给 <sup>[89]</sup>	CASA、InVEST	相关性分析	三种不同情景(历史趋势情景、规划情景、生态保护情景)中,生态保护情景下各项生态系统服务之间的协同程度较高、综合效益达到最佳		土地利用变化					
							生态系统供给服务与水源涵养、土壤保持调节服务 <sup>[90]</sup>	降水贮存量法、RUSLE	逐像元空间相关分析	植被净初级生产力(NPP)、水源涵养(供给与调节)不同程度协同,某个时间段权衡,整体呈现缓慢增长的趋势	生态系统供给与水源涵养、土壤保持服务均以协同关系为主,而在大湾区东北部、南部权衡关系明显	城镇化
	黄土高原	食物供给、土壤保持、水源涵养、NPP <sup>[91]</sup>	综合蓄水能力法、RUSLE、CASA	基于R语言的相关分析函数	食物供给与土壤保持、水源涵养以及NPP之间均为权衡关系;NPP与土壤保持、水源涵养之间为协同关系;土壤保持与水源涵养呈现协同关系		退耕还林区多为协同作用,非退耕还林区多为权衡作用	退耕还林、坡度				
								NPP、土壤保持、水源涵养 <sup>[92]</sup>	RUSLE、CASA、InVEST	相关性分析	在4个气候区(干旱气候区、在半干旱气候区、高原气候区、半湿润气候区),NPP与土壤保持之间的权衡/协同关系与黄土高原地区一致,但土壤保持和水源涵养在半干旱气候区和半湿润气候区呈权衡关系,NPP与水源涵养在高原气候区和半湿润气候区为协同关系	退耕还林、坡度 在4个气候区(干旱气候区、在半干旱气候区、高原气候区、半湿润气候区),NPP与土壤保持之间的权衡/协同关系与黄土高原地区一致,但土壤保持和水源涵养在半干旱气候区和半湿润气候区呈权衡关系,NPP与水源涵养在高原气候区和半湿润气候区为协同关系
国外	埃塞俄比亚西南部Yayo咖啡林	总固碳量、产水量、作物产量、生境质量、沉积物保留和养分保留 <sup>[94]</sup>	InVEST	相关性分析	1990—2015年,皇甫川流域各项生态系统服务之间的相关关系减弱;大理河流域各项生态系统服务之间的相关关系增强;延河流域各项生态系统服务之间的相关关系增强	对比三个流域可以看出,研究区碳储存、土壤保持与水源涵养三项功能两两之间的权衡关系表现为延河流域<大理河流域<皇甫川流域	植被、降水					
							碳储存、土壤保持、水源涵养 <sup>[93]</sup>	InVEST	相关性分析、均方根偏差	1990—2015年,皇甫川流域各项生态系统服务之间的相关关系减弱;大理河流域各项生态系统服务之间的相关关系增强;延河流域各项生态系统服务之间的相关关系增强	对比三个流域可以看出,研究区碳储存、土壤保持与水源涵养三项功能两两之间的权衡关系表现为延河流域<大理河流域<皇甫川流域	植被、降水
							埃塞俄比亚西南部Yayo咖啡林	InVEST	相关性分析	总碳与生境质量的正相关性最高,作物产量与沉积物保留、作物产量与养分保留、作物产量与生境质量以及作物产量与碳总量之间存在权衡关系	高调节服务地区,即生境质量高、碳总量高、沉积物保留量高、养分保留量高,但作物产量和产水量较低,该聚类从1986年的39个减少到2017年的36个。高供给服务地区,即作物产量和产水量高,生境质量、碳总量和沉积物保留量较低,该聚类从1986年的56个增加到2017年的59个	土地利用变化
美国佛罗里达州	碳储量、木材量、产水量 <sup>[95]</sup>	InVEST	相关性分析	2060年城市化情景下,碳储量与木材量的相互作用低于2003年;然而,2060年碳储量与产水量的权衡关系更高。总体而言,碳储量与木材量的相互作用呈正相关,而与产水量的相互作用呈负相关			城市化					

能间的相互作用关系也具有尺度效应<sup>[102]</sup>。生态系统服务权衡与协同时间、空间尺度的差异不是割裂开的,两者共同驱动权衡协同关系的动态变化,将两方面结合起来研究时空差异,能更为全面地了解生态系统服务权衡与协同的尺度效应。

### 3.4 生态系统服务权衡与协同变化的驱动因素

生态系统服务权衡与协同变化的驱动因素包括人为因素和自然因素,这两者往往是密不可分的,这是由于人类利用和管理自然资本最直接有效的方式是改变土地利用与覆被方式,但不同区域自然因素和人为因素有强弱和先后之分<sup>[54]</sup>。生态系统服务关系的转换一般受到气候、植被类型、地形、地貌特征、土地利用方式及管理措施、城市化、生态工程等多方面影响(图6)。一般来说,在大中尺度上,气候、植被类型、地形、地貌特征、城市化及生态工程是生态系统服务间关系变化的主要驱动因素,在小尺度上主要驱动因素为土地利用方式及管理措施的差异。目前生态系统服务关系变化的关键驱动因素包括气候变化、生态工程、城市化<sup>[6]</sup>。全球气候变暖对59%的生态系统

服务有负面影响,是造成生态系统服务关系变化的重要驱动因素之一,气候变化增加了极端天气灾害的风险,并且在一定程度上降低生态系统供给、调节、支持服务,加剧生态系统服务间的权衡。随着人口经济的迅速增长、城市化进程不断加速,城镇、建设用地扩张占用大量农田、森林、湿地等,造成土地利用格局的剧烈改变以及城市生态环境的恶化,虽然有研究表明城市化会对文化生态系统服务做出积极贡献<sup>[103]</sup>,但是城市化过程中土地利用类型的改变以及不合理的人类活动会降低部分生态系统服务,并且可能会造成生态系统供给与支持、调节服务间的权衡。在气候变暖、城市化过程加速的背景下,生态恢复措施为缓解权衡、增加协同提供了有效手段,生态工程的开展能够改善区域生态环境,提升生态系统服务,因此生态保护修复是实现生态系统服务协同的有效路径之一。

驱动因素的分析方法主要有对应分析法、多重对应分析法、回归分析法、机器学习法等。其中最常用的方法是回归分析法<sup>[56]</sup>。国内外学者从不同的学科角度出发,对生态系统服务权衡/协同的驱动机制进

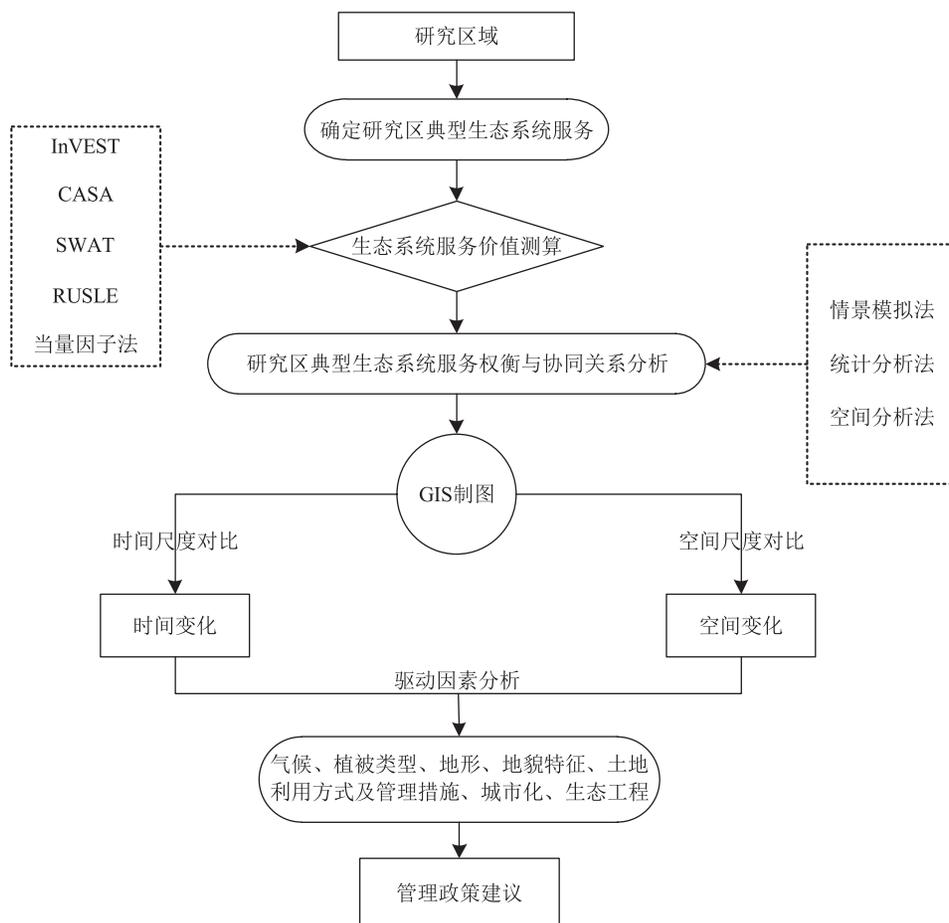


图6 生态系统服务权衡与协同时空变化研究过程

Figure 6 Research process of spatio-temporal changes of trade-offs and synergies among ecosystem service

行了探讨。从经济学角度看,生态系统服务权衡/协同追求生态系统服务经济价值最大,人类社会对生态系统服务价值的认知水平和不同类型生态系统服务参与市场机制的程度成为生态系统服务权衡的重要驱动因素<sup>[51]</sup>。在土地利用管理层面,多数研究探讨人工造林、保护现有林地或实施某土地规划政策措施等人为因素影响下生态系统服务权衡与协同的变化情况<sup>[57]</sup>。国外对生态系统服务权衡与协同驱动因素的研究朝着综合化管理土地利用的方向发展<sup>[104-105]</sup>。国内的研究多针对生态恢复这一驱动因素下生态服务间关系的变化情况,并以此作为评价生态工程的整体性效益<sup>[106-107]</sup>。

## 4 存在不足及研究展望

### 4.1 不足

针对生态系统服务权衡与协同,国内外从基础理论、时空特征、驱动机制、对策措施方面开展了大量的研究工作。从目前的研究成果来看,主要存在以下几方面不足:

(1)生态系统服务权衡与协同关系转换的时空特征的定量分析及形成机理的研究还有待加强。目前针对权衡与协同关系转变的时空变化已有部分定量研究,但是还未形成成熟的研究体系,国内对于生态系统服务权衡与协同研究框架的构建以及权衡协同关系研究方法、模型的创新还需进一步提升。因此国内框架构建和模型探索需要加强创新性,构建完善的时空转变机制研究体系,探索时空转变的内在机理,为区域发展提供理论基础。

(2)长时间连续序列的时空关系特征的揭示、整体尺度和分区尺度的空间特征对比、关系转换的过程效应、时空转换的驱动体系构建、驱动响应的敏感性及其阈值还需进一步研究。在权衡协同关系时空转变的过程中,除了存在权衡协同关系减弱或增强以外,还会有从协同转向权衡或者从权衡转向协同的情况,但是目前对于两者之间转变的阈值还无法确定,不利于生态系统管理政策的制定,因此针对生态系统服务之间关系的阈值效应还需进一步探索。

### 4.2 展望

未来生态系统服务权衡与协同还有很大的发展空间,针对以上存在的不足,对生态系统服务权衡与协同的发展方向提出以下建议:

(1)加强供需角度研究,注重服务空间流动。针对生态系统服务供给与需求的生态系统服务间权衡

关系已经受到了学者们的广泛关注,但是目前在生态系统服务权衡与协同时空变化的研究中主要针对生态系统服务供给进行核算与制图,对于需求侧的生态系统服务制图研究还需进一步深入。在空间上识别出供给单元、需求单元及空间流动的路径速率方向等,在时间上关注不同利益相关者的利益需求变化及生态系统服务供给能力变化的动态特征。

(2)探索变化内在机理,准确识别驱动因子。进一步揭示生态系统服务关系变化的驱动因素及形成机理,准确识别生态系统服务变化的驱动因素并量化其影响程度,从而更深入地认识生态系统服务权衡协同的时空分异特征。重点关注退耕还林、城市化扩张、农业生产等人为干扰对生态系统服务关系的影响,为生态系统服务权衡管理提供决策基础。

(3)延续单一地类研究,推进复杂地类组合分析。研究表明同一区域不同土地利用类型以及不同地类之间组合效应对生态系统服务关系有不同的影响。不同地类组合下生态系统服务关系的差异性是下一步研究的重要内容。目前研究多关注土地利用类型转变对生态系统服务关系的影响,对于不同地类组合的影响研究较少。未来可以多关注不同土地利用类型组合对生态系统服务权衡与协同关系的影响,并且可以与单一地类进行对比,为国土空间规划以及当地政策制定提供依据。

### 参考文献:

- [1] DAILY G C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [2] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] LI B Y, CHEN N C, WANG Y C, et al. Spatio-temporal quantification of the trade-offs and synergies among ecosystem services based on grid-cells: A case study of Guanzhong basin, NW China[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 94(Part 1): 246-253.
- [4] 宋家鹏, 陈松林. 基于生态系统服务簇的福州市生态系统服务格局[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(3): 1045-1053. SONG J P, CHEN S L. Ecosystem service pattern of Fuzhou City based on ecosystem service bundles[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(3): 1045-1053.
- [5] 田榆寒. 耕地生态系统服务协同与权衡关系及管理策略[D]. 杭州: 浙江大学, 2018. TIAN Y H. Study on the synergies and tradeoffs among cultivated land ecosystem services and its management strategies[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [6] 邓楚雄, 朱大美, 聂小东, 等. 生态系统服务权衡最新研究进展[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(10): 1509-1522. DENG C X, ZHU D M, NIE X D, et al. Progress of research regarding the trade-

- offs of ecosystem services[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(10):1509-1522.
- [7] 戴尔阜, 王晓莉, 朱建佳, 等. 生态系统服务权衡: 方法、模型与研究框架[J]. 地理研究, 2016, 35(6):1005-1016. DAI E F, WANG X L, ZHU J J, et al. Methods, tools and research framework of ecosystem service trade-offs[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(6):1005-1016.
- [8] HOLDREN J P, EHRLICH P R. Human population and the global environment[J]. *American Scientist*, 1974, 62(3):282-297.
- [9] EHRLICH P R, EHRLICH A H. The value of biodiversity[J]. *Ambio*, 1992, 21(3):219-226.
- [10] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1):1-10. LI W H, ZHANG B, XIE G D. Research on ecosystem services in China: Progress and perspectives [J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1):1-10.
- [11] DENG X Z, LI Z H, GIBSON J. A review on trade-off analysis of ecosystem services for sustainable land-use management[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(7):953-968.
- [12] RODRÍGUEZ J P, BEARD T D, BENNETT J R E M, et al. Trade-offs across space, time, and ecosystem services[J]. *Ecology and Society*, 2006, 11(1):28.
- [13] SWALLOW B M, SANG J K, NYABENGE M, et al. Tradeoffs, synergies and traps among ecosystem services in the Lake Victoria Basin of East Africa[J]. *Environmental Science & Policy*, 2009, 12(4):504-519.
- [14] BENNETT E M, PETERSON G D, GORDON L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services[J]. *Ecology Letters*, 2009, 12(12):1394-1404.
- [15] HAASE D, SCHWARZ N, STROHBACH M, et al. Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: An integrated multiscale framework applied to the Leipzig-Halle region, Germany [J]. *Ecology and Society*, 2012, 17(3):22.
- [16] QIN K Y, LI J, YANG X N. Trade-off and synergy among ecosystem services in the Guanzhong-Tianshui economic region of China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2015, 12(11):14094-14113.
- [17] 李鹏, 姜鲁光, 封志明, 等. 生态系统服务竞争与协同研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(16):5219-5229. LI P, JIANG L G, FENG Z M, et al. Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services: An overview[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16):5219-5229.
- [18] LESTER S E, COSTELLO C, HALPERN B S, et al. Evaluating tradeoffs among ecosystem services to inform marine spatial planning[J]. *Marine Policy*, 2013, 38:80-89.
- [19] CHEUNG W W L, SUMAILA U R. Trade-offs between conservation and socio-economic objectives in managing a tropical marine ecosystem[J]. *Ecological Economics*, 2007, 66(1):193-210.
- [20] 彭建, 胡晓旭, 赵明月, 等. 生态系统服务权衡研究进展: 从认知到决策[J]. 地理学报, 2017, 72(6):960-973. PENG J, HU X X, ZHAO M Y, et al. Research progress on ecosystem service trade-offs: From cognition to decision-making[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6):960-973.
- [21] RAUDSEPP-HEARNE C, PETERSON G D, BENNETT E M, et al. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(11):5242-5247.
- [22] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 等. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题[J]. 地理研究, 2013, 32(8):1379-1390. LI S C, ZHANG C Y, LIU J L, et al. The tradeoffs and synergies of ecosystem services: Research progress, development trend, and themes of geography[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(8):1379-1390.
- [23] 张健. 图们江流域农田生态系统服务研究[D]. 延边: 延边大学, 2016. ZHANG J. Study on ecosystem service of farmland in Lumen River basin[D]. Yanbian: Yanbian University, 2016.
- [24] 曹祺文, 卫晓梅, 吴健生. 生态系统服务权衡与协同研究进展[J]. 生态学杂志, 2016, 35(11):3102-3111. CAO Q W, WEI X M, WU J S. A review on the tradeoffs and synergies among ecosystem services[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(11):3102-3111.
- [25] DE GROOT R, BRANDER L, VAN DER PLOEG S, et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units [J]. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1):50-61.
- [26] 张蒙蒙, 刘天平, 杨建辉. 精准扶贫研究的现状、热点与趋势——基于 CNKI 和 CiteSpace 可视化视角[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(8):11-19. ZHANG M M, LIU T P, YANG J H. Research on status, focus and development trend of precision poverty alleviation: Visualization perspective based on CNKI and CiteSpace[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(8):11-19.
- [27] 邓楚雄, 刘俊宇, 李忠武, 等. 近20年国内外生态系统服务研究回顾与解析[J]. 生态环境学报, 2019, 28(10):2119-2128. DENG C X, LIU J Y, LI Z W, et al. Review and analysis of ecosystem services research between domestic and foreign in recent 20 years[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2019, 28(10):2119-2128.
- [28] 林泉, 吴秀芹. 生态系统服务冲突及权衡的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(6):100-105. LIN Q, WU X Q. Progress on trade-offs in ecosystem services[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 35(6):100-105.
- [29] POWER A G. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 365(1554):2959-2971.
- [30] QIU J X, TURNER M G. Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(29):12149-12154.
- [31] WEST P C, GIBBS H K, MONFREDA C, et al. Trading carbon for food: Global comparison of carbon stocks vs. crop yields on agricultural land[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(46):19645-19648.
- [32] NOTTER B, HURNI H, WIESMANN U, et al. Evaluating watershed service availability under future management and climate change scenarios in the Pangani Basin[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2013, 61/62:1-11.
- [33] SHOYAMA K, MANAGI S, YAMAGATA Y. Public preferences for biodiversity conservation and climate-change mitigation: A choice experiment using ecosystem services indicators[J]. *Land Use Policy*, 2013, 34:282-293.
- [34] GRÊT-REGAMEY A, BRUNNER S H, ALTWEGG J, et al. Integrating expert knowledge into mapping ecosystem services trade-offs for sus-

- tainable forest management[J]. *Ecology and Society*, 2013, 18(3):34.
- [35] WIENS J A. Is landscape sustainability a useful concept in a changing world?[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(6):1047-1052.
- [36] TURNER II B L. Vulnerability and resilience: Coalescing or parallelizing approaches for sustainability science?[J]. *Global Environmental Change*, 2010, 20(4):570-576.
- [37] NAIDOO R, RICKETTS T H. Mapping the economic costs and benefits of conservation[J]. *PLoS Biology*, 2006, 4(11):2153-2164.
- [38] EGOH B N, REYERS B, CARWARDINE J, et al. Safeguarding biodiversity and ecosystem services in the Little Karoo, South Africa[J]. *Conservation Biology*, 2010, 24(4):1021-1030.
- [39] TURNER W R, BRANDON K, BROOKS T M, et al. Global biodiversity conservation and the alleviation of poverty[J]. *Bioscience*, 2012, 62(1):85-92.
- [40] MAES J, PARACCHINI M L, ZULIAN G, et al. Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe[J]. *Biological Conservation*, 2012, 155:1-12.
- [41] GROSS-CAMP N D, MARTIN A, MCGUIRE S, et al. Payments for ecosystem services in an African protected area: Exploring issues of legitimacy, fairness, equity and effectiveness[J]. *Oryx*, 2012, 46(1):24-33.
- [42] JINDAL R, KERR J M, FERRARO P J, et al. Social dimensions of procurement auctions for environmental service contracts: Evaluating tradeoffs between cost-effectiveness and participation by the poor in rural Tanzania[J]. *Land Use Policy*, 2013, 31:71-80.
- [43] GASPARATOS A, STROMBERG P, TAKEUCHI K. Biofuels, ecosystem services and human wellbeing: Putting biofuels in the ecosystem services narrative[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2011, 142(3/4):111-128.
- [44] RASHLEIGH B, LAGUTOV V, SALATHE T. Ecosystem services of rivers: The Don River (Russian Federation) and the Roanoke River (USA)[M]//LAGUTOV V. Environmental security in watersheds: The sea of Azov. Dordrecht: Springer, 2011:63-77.
- [45] WILLEMEN L, VELDKAMP A, VERBURG P H, et al. A multi-scale modelling approach for analysing landscape service dynamics[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 100:86-95.
- [46] TURKELBOOM F, LEONE M, JACOBS S, et al. When we cannot have it all: Ecosystem services trade-offs in the context of spatial planning[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 29:566-578.
- [47] RAU A L, BURKHARDT V, DORNINGER C, et al. Temporal patterns in ecosystem services research: A review and three recommendations[J]. *Ambio*, 2020, 49(8):1377-1393.
- [48] WASHBOURNE C L, GODDARD M A, LE PROVOST G, et al. Trade-offs and synergies in the ecosystem service demand of urban brownfield stakeholders[J]. *Ecosystem Services*, 2020, 42:101074.
- [49] ADEYEMI O, CHIRWA P W, BABALOLA F D, et al. Detecting trade-offs, synergies and bundles among ecosystem services demand using sociodemographic data in Omo Biosphere Reserve, Nigeria[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2020, 23(5):7310-7325.
- [50] WERF E V D, PETERSON S. Modeling linkages between climate policy and land use: An overview[J]. *Agricultural Economics*, 2009, 40(5):507-517.
- [51] 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 Y, 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.
- [52] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(11):6183-6188. OUYANG Z Y, ZHENG H. Ecological mechanisms of ecosystem services[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11):6183-6188.
- [53] MA (Millennium ecosystem assessment). Ecosystems and human wellbeing: Synthesis[R]. Washington DC: World Resources Institute, 2005.
- [54] 柳冬青. 流域生态系统服务时空权衡与协同关系研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019. LIU D Q. Spatiotemporal tradeoff and synergy of watershed ecosystem services[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.
- [55] MOUCHET M A, LAMARQUE P, MARTÍN-LÓPEZ B, et al. An interdisciplinary methodological guide for quantifying associations between ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 28:298-308.
- [56] 张碧天, 闵庆文, 焦雯珺, 等. 生态系统服务权衡研究进展[J]. 生态学报, 2021, 41(14):5517-5532. ZHANG B T, MIN Q W, JIAO W J, et al. Research progress and perspective on ecosystem services trade-offs[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(14):5517-5532.
- [57] 戴尔阜, 王晓莉, 朱建佳, 等. 生态系统服务权衡/协同研究进展与趋势展望[J]. 地球科学进展, 2015, 30(11):1250-1259. DAI E F, WANG X L, ZHU J J, et al. Progress and perspective on ecosystem services trade-offs[J]. *Advances in Earth Science*, 2015, 30(11):1250-1259.
- [58] 王志芳, 彭瑶瑶, 徐传语. 生态系统服务权衡研究的实践应用进展及趋势[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019, 55(4):773-781. WANG Z F, PENG Y Y, XU C Y. Current applications and future potentials of ecosystem service tradeoff research[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2019, 55(4):773-781.
- [59] TURNER K G, ODGAARD M V, BOCHER P K, et al. Bundling ecosystem services in Denmark: Trade-offs and synergies in a cultural landscape[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125(10):89-104.
- [60] 杨晓楠, 李晶, 秦克玉, 等. 关中-天水经济区生态系统服务的权衡关系[J]. 地理学报, 2015, 70(11):1762-1773. YANG X N, LI J, QIN K Y, et al. Trade-offs between ecosystem services in Guanzhong-Tianshui economic region[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(11):1762-1773.
- [61] 王鹏涛, 张立伟, 李英杰, 等. 汉江上游生态系统服务权衡与协同关系时空特征[J]. 地理学报, 2017, 72(11):2064-2078. WANG P T, ZHANG L W, LI Y J, et al. Spatio-temporal characteristics of the trade-off and synergy relationships among multiple ecosystem services in the upper reaches of Hanjiang River basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(11):2064-2078.
- [62] 傅伯杰, 于丹丹. 生态系统服务权衡与集成方法[J]. 资源科学, 2016, 38(1):1-9. FU B J, YU D D. Trade-off analyses and synthetic integrated method of multiple ecosystem services[J]. *Resources Science*, 2016, 38(1):1-9.

- [63] NELSON E, SANDER H, HAWTHORNE P, et al. Projecting global land-use change and its effect on ecosystem service provision and biodiversity with simple models[J]. *PLoS ONE*, 2010, 5(12): 14327.
- [64] NELSON E, POLASKY S, LEWIS D J, et al. Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(28): 9471-9476.
- [65] 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.
- [66] TIAN Y C, WANG S J, BAI X Y, et al. Trade-offs among ecosystem services in a typical karst watershed, SW China[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 566/567: 1297-1308.
- [67] 孟浩斌, 周启刚, 李明慧, 等. 三峡库区生态系统服务时空变化及权衡与协同关系研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2021, 37(5): 566-575. MENG H B, ZHOU Q G, LI M H, et al. Study of the spatio-temporal changes in ecosystem services and trade-offs/synergies relationship in the Three Gorges Reservoir area[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, 37(5): 566-575.
- [68] 张静静, 朱文博, 朱连奇, 等. 伏牛山地区森林生态系统服务权衡/协同效应多尺度分析[J]. *地理学报*, 2020, 75(5): 975-988. ZHANG J J, ZHU W B, ZHU L Q, et al. Multi-scale analysis of trade-off/synergy effects of forest ecosystem services in the Funiu Mountain region[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(5): 975-988.
- [69] 高艳丽, 李红波, 侯蕊. 汉江流域生态系统服务权衡与协同关系演变[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(7): 1619-1630. GAO Y L, LI H B, HOU R. Evolution analysis on trade-offs and synergies of ecosystem services in Hanjiang River basin[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(7): 1619-1630.
- [70] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 黄河流域生态系统服务权衡协同关系时空异质性[J]. *中国沙漠*, 2021(6): 1-10. YANG J, XIE B P, ZHANG D G. Spatial-temporal heterogeneity of ecosystem services trade-off synergy in the Yellow River basin[J]. *Journal of Desert Research*, 2021(6): 1-10.
- [71] XIE Z, GAO Y, LI C, et al. Spatial heterogeneity of typical ecosystem services and their relationships in different ecological-functional zones in Beijing-Tianjin-Hebei region, China[J]. *Sustainability*, 2017, 10(1): 6.
- [72] 聂名萱, 黄思华, 濮励杰, 等. 快速城镇化地区生态系统服务的时空动态及权衡与协同分析——以苏锡常地区为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(5): 1088-1099. NIE M X, HUANG S H, PU L J, et al. Spatial and temporal dynamics and trade-offs and synergies analysis of ecosystem services in rapidly urbanizing areas: A case study of the Su-Xi-Chang region[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(5): 1088-1099.
- [73] 胡其玉, 陈松林. 厦漳泉地区生态系统服务权衡与协同关系分析[J]. *地域研究与开发*, 2021, 40(2): 145-150. HU Q Y, CHEN S L. Tradeoffs-synergies analysis among ecosystem services in Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou region[J]. *Areal Research and Development*, 2021, 40(2): 145-150.
- [74] 于媛, 韩玲, 李明玉, 等. 哈长城市群生态系统服务时空特征及其权衡/协同关系研究[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(2): 293-300. YU Y, HAN L, LI M Y, et al. Study on the spatial-temporal characteristics of ecosystem services and tradeoffs/synergies in Ha-Chang urban agglomeration[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(2): 293-300.
- [75] VALLET A, LOCATELLI B, LEVREL H, et al. Relationships between ecosystem services: Comparing methods for assessing tradeoffs and synergies[J]. *Ecological Economics*, 2018, 150: 96-106.
- [76] 钱彩云, 巩杰, 张金茜, 等. 甘肃白龙江流域生态系统服务变化及权衡与协同关系[J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 868-879. QIAN C Y, GONG J, ZHANG J Q, et al. Change and tradeoffs-synergies analysis on watershed ecosystem services: A case study of Bailongjiang watershed, Gansu[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 868-879.
- [77] 李冬花, 张晓瑶, 王咏, 等. 新安江流域生态系统服务演化过程及权衡协同关系[J]. *生态学报*, 2021, 41(17): 6981-6993. LI D H, ZHANG X Y, WANG Y, et al. Evolution process of ecosystem services and the trade-off synergy in Xin'an River basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(17): 6981-6993.
- [78] 张世栋, 李明玉, 相恒星, 等. 辽河流域生态系统服务权衡与协同研究[J]. *延边大学农学学报*, 2021, 43(1): 73-83. ZHANG S D, LI M Y, XIANG H X, et al. Trade-offs and synergies of ecosystem services in the Liaohe River basin[J]. *Agricultural Science Journal of Yanbian University*, 2021, 43(1): 73-83.
- [79] NIU T, YU J X, YUE D P, et al. The temporal and spatial evolution of ecosystem service synergy/trade-offs based on ecological units[J]. *Forests*, 2021, 12(8): 992.
- [80] JIANG M K, BULLOCK J M, HOOFTMAN D A P. Mapping ecosystem service and biodiversity changes over 70 years in a rural English county[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2013, 50(4): 841-850.
- [81] LARSEN F W, LONDOÑO-MURCIA M C, TURNER W R. Global priorities for conservation of threatened species, carbon storage, and freshwater services: Scope for synergy?[J]. *Conservation Letters*, 2011, 4(5): 355-363.
- [82] 张琨, 吕一河, 傅伯杰. 生态恢复中生态系统服务的演变: 趋势、过程与评估[J]. *生态学报*, 2016, 36(20): 6337-6344. ZHANG K, LÜ Y H, FU B J. Ecosystem service evolution in ecological restoration: Trend, process, and evaluation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(20): 6337-6344.
- [83] 龙精华. 鹤岗矿区生态系统服务评估与权衡研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2017. LONG J H. Evaluation and tradeoff of ecosystem services in Hegang mining area[D]. Beijing: China University of Mining & Technology (Beijing), 2017.
- [84] 黄麟, 祝萍, 曹巍. 中国退耕还林还草对生态系统服务权衡与协同的影响[J]. *生态学报*, 2021, 41(3): 1178-1188. HUANG L, ZHU P, CAO W. The impacts of the Grain for Green Project on the trade-off and synergy relationships among multiple ecosystem services in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(3): 1178-1188.
- [85] FARGIONE J, HILL J, TILMAN D, et al. Land clearing and the biofuel carbon debt[J]. *Science*, 2008, 319(5867): 1235-1238.
- [86] RENARD D, RHEMTULLA J M, BENNETT E M. Historical dynamics in ecosystem service bundles[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112(43): 13411-13416.
- [87] WU J X, ZHAO Y, YU C Q, et al. Land management influences trade-offs and the total supply of ecosystem services in alpine grassland in Tibet, China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 193:

- 70-78.
- [88] HAO R F, YU D Y, WU J G. Relationship between paired ecosystem services in the grassland and agro-pastoral transitional zone of China using the constraint line method[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, 240:171-181.
- [89] 林媚珍, 刘汉仪, 周汝波, 等. 多情景模拟下粤港澳大湾区生态系统服务评估与权衡研究[J]. *地理研究*, 2021, 40(9):2657-2669. LIN M Z, LIU H Y, ZHOU R B, et al. Evaluation and trade-offs of ecosystem services in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay area under multi-scenario simulation[J]. *Geographical Research*, 2021, 40(9):2657-2669.
- [90] 王世豪, 黄麟, 徐新良, 等. 粤港澳大湾区生态系统服务时空演化及其权衡与协同特征[J]. *生态学报*, 2020, 40(23):8403-8416. WANG S H, HUANG L, XU X L, et al. Spatial and temporal evolution of ecosystem services and its trade-offs and synergies in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(23):8403-8416.
- [91] 孙艺杰, 任志远, 郝梦雅, 等. 黄土高原生态系统服务权衡与协同时空变化及影响因素——以延安市为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(10):3443-3454. SUN Y J, REN Z Y, HAO M Y, et al. Spatial and temporal changes in the synergy and trade-off between ecosystem services, and its influencing factors in Yan'an, Loess Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(10):3443-3454.
- [92] 汪晓珍, 吴建召, 吴普侠, 等. 2000—2015年黄土高原生态系统水源涵养、土壤保持和NPP服务的时空分布与权衡/协同关系[J]. *水土保持学报*, 2021, 35(4):114-121, 128. WANG X Z, WU J Z, WU P X, et al. Spatial and temporal distribution and trade-off of water conservation, soil conservation and NPP services in the ecosystems of the Loess Plateau from 2000 to 2015[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(4):114-121, 128.
- [93] 杨殊桐. 黄土高原典型流域植被恢复对生态系统服务功能权衡协同关系的影响[D]. 西安:西安理工大学, 2020. YANG S T. The effect of vegetation restoration on ecosystem services trade-off and synergy in the typical watershed of the Loess Plateau of China[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.
- [94] ABERA W, TAMENE L, KASSAWMAR T, et al. Impacts of land use and land cover dynamics on ecosystem services in the Yayo coffee forest biosphere reserve, southwestern Ethiopia[J]. *Ecosystem Services*, 2021, 50:101338.
- [95] DELPHIN S, ESCOBEDO F J, ABD-ELRAHMAN A, et al. Urbanization as a land use change driver of forest ecosystem services[J]. *Land Use Policy*, 2016, 54:188-199.
- [96] 孙艺杰, 任志远, 赵胜男. 关中盆地生态服务权衡与协同时空差异[J]. *资源科学*, 2016, 38(11):2127-2136. SUN Y J, REN Z Y, ZHAO S N. Spatial-temporal difference analysis of ecosystem service trade-off and synergy in the Guanzhong basin of China[J]. *Resources Science*, 2016, 38(11):2127-2136.
- [97] 张一达, 刘学录, 任君, 等. 基于耕地多功能权衡与协同分析的耕地利用转型研究——以北京市为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(6):25-33. ZHANG Y D, LIU X L, REN J, et al. Study on cultivated land use transformation based on multifunctional trade-offs and collaborative analysis of arable land: Taking Beijing as an example[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(6):25-33.
- [98] 刘海, 武靖, 陈晓玲. 丹江口水源区生态系统服务时空变化及权衡协同关系[J]. *生态学报*, 2018, 38(13):4609-4624. LIU H, WU J, CHEN X L. Study on spatial-temporal change and trade-off/synergy relationships of ecosystem services in the Danjiangkou water source area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(13):4609-4624.
- [99] 孙艺杰, 任志远, 赵胜男, 等. 陕西河谷盆地生态系统服务协同与权衡时空差异分析[J]. *地理学报*, 2017, 72(3):521-532. SUN Y J, REN Z Y, ZHAO S N, et al. Spatial and temporal changing analysis of synergy and trade-off between ecosystem services in valley basins of Shaanxi Province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(3):521-532.
- [100] 方露露, 许德华, 王伦澈, 等. 长江、黄河流域生态系统服务变化及权衡协同关系研究[J]. *地理研究*, 2021, 40(3):821-838. FANG L L, XU D H, WANG L C, et al. The study of ecosystem services and the comparison of trade-off and synergy in Yangtze River basin and Yellow River basin[J]. *Geographical Research*, 2021, 40(3):821-838.
- [101] SCHRODER S A, TÓTH S F, DEAL R L, et al. Multi-objective optimization to evaluate tradeoffs among forest ecosystem services following fire hazard reduction in the Deschutes national forest, USA[J]. *Ecosystem Services*, 2016, 22(Part B):328-347.
- [102] 巩杰, 柳冬青, 高秉丽, 等. 西部山区流域生态系统服务权衡与协同关系——以甘肃白龙江流域为例[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(4):1278-1288. GONG J, LIU D Q, GAO B L, et al. Tradeoffs and synergies of ecosystem services in western mountainous China: A case study of the Bailongjiang watershed in Gansu, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(4):1278-1288.
- [103] WANG Z F, XU M, LIN H W, et al. Understanding the dynamics and factors affecting cultural ecosystem services during urbanization through spatial pattern analysis and a mixed-methods approach[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 279:123422.
- [104] MANALLY C G, UCHIDA E, GOLD A J. The effect of a protected area on the tradeoffs between short-run and long-run benefit from mangrove ecosystems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(34):13945-13950.
- [105] PALACIOS-AGUNDEZ I, ONAINDIA M, BARRAQUETA P, et al. Provisioning ecosystem services supply and demand: The role of landscape management to reinforce supply and promote synergies with other ecosystem services[J]. *Land Use Policy*, 2015, 47:145-155.
- [106] ZHENG Z M, FU B J, HU H T, et al. A method to identify the variable ecosystem services relationship across time: A case study on Yanhe basin, China[J]. *Landscape Ecology*, 2014, 29(10):1689-1696.
- [107] 郝梦雅, 任志远, 孙艺杰, 等. 关中盆地生态系统服务的权衡与协同关系动态分析[J]. *地理研究*, 2017, 36(3):592-602. HAO M Y, REN Z Y, SUN Y J, et al. The dynamic analysis of trade-off and synergy of ecosystem services in the Guanzhong basin[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(3):592-602.