

生态系统服务权衡研究的实践应用进展及趋势

王志芳[†] 彭瑶瑶 徐传语

北京大学建筑与景观设计学院, 北京 100871; [†]E-mail: zhifangw@pku.edu.cn

摘要 在详述相关研究方向与方法的基础上, 归纳整理生态系统服务在实践中的应用方向与价值。生态系统服务权衡主要包括4类——供给数理权衡、供给需求权衡、利益主体权衡和时间空间权衡, 相关的量化方法涉及客观和主观测度。这4类权衡已应用于目标设定、核心区划定、生态补偿和公众参与等不同的规划管理实践中。本文提出一个生态系统服务权衡研究的规划实践应用框架, 并从数据共享、方法简化、过程交叉、尺度精细以及定量与定性结合等层面展望未来, 以期使生态系统服务权衡研究更加切实地指导实践。

关键词 生态系统服务; 权衡协同; 空间规划; 规划过程

Current Applications and Future Potentials of Ecosystem Service Tradeoff Research

WANG Zhifang[†], PENG Yaoyao, XU Chuanyu

College of Architecture and Landscape Architecture, Beijing 100871; [†]E-mail: zhifangw@pku.edu.cn

Abstract Ecosystem service has become a hotspot of research and application since the concept has been put forward, particularly on the tradeoff research, which provides a scientific process for rational decision-making among multiple stakeholders based upon a thorough understanding of relationships among varied ecosystem services. Focusing on practical applications, this paper attempts to sum up specific application and practical values of ecosystem service tradeoff research based upon a detailed review of different investigation approaches and methods. The tradeoffs among ecosystem services can be summed up in four categories: mathematical supply tradeoffs, supply-demand tradeoffs, stakeholder tradeoffs and time/space tradeoffs. The quantitative method used involves objective and subjective measures. The four tradeoff types have been applied to different processes of planning/management practices, including goal setting, core area delineation, ecological compensation and public participation. On the basis of the review, this paper proposes a framework for planning application of ecosystem service tradeoffs while highlighting those existing limitations and providing recommendations for future work including data sharing, method simplification, process crossing, fine scale and the integration of quantitative and qualitative methods to further facilitate the implementation of ecosystem service tradeoff research in practice.

Key words ecosystem services; tradeoff and synergy; spatial planning; planning process

作为一个复杂的综合体, 生态系统服务的概念自提出以来就备受地理、生态及城乡空间规划领域学者的关注, 已取得长足的进展^[1]。现代科学对于还原主义(reductionism)的强化, 使得复杂系统越来越被拆分开来进行研究, 学科的日益细分使得科研与实践明显错位, 即生态科研具有研究专项问题且目标聚焦的“解构”性, 生态实践则具有以综合解决

场地问题为目标的“整体”性^[2]。例如, 生态系统常被解构为生物多样性、碳汇、水质等专题进行研究, 而生态实践需要统筹这些议题。生态系统服务的框架综合了不同的研究视角, 使得供给、调节、支持乃至社会服务等在一个体系内再次对话, 在一定程度上实现学科细分后的生态系统评价与认知再次整合。从实践角度看, 生态系统服务充分考虑了

国家自然科学基金(41871153)资助

收稿日期: 2018-07-17; 修回日期: 2018-10-15

连接自然系统与人类系统的生态性和社会经济属性,有助于人类福祉的全面提升,是可持续管理决策的前提^[3]。生态系统服务研究在中国尤其实践价值。在过去的40年里,快速城市化进程中以经济发展为导向的密集土地利用方式和人类高度城市化的发展策略^[4]造成生态系统服务的严重退化^[5]。为保证生态系统服务的有效供给,推动人与自然和谐发展的现代化建设新格局,生态文明建设的重要性日益受到重视。

作为一种平衡和抉择,可以将生态系统服务权理解解为对生态系统服务间关系的一种综合把控^[6]。生态系统服务间的关系包括权衡(负相关关系)、协同(正向关系)和兼容(无显著关系)等多种类型^[7]。其中,权衡(tradeoffs)指不同生态系统服务此消彼长的情况,而协同(synergies)是两种或多种生态系统服务同时增强的情形^[8]。生态系统服务之间的权衡是生态系统管理的实质,单独强调某一种服务的增强往往导致其他服务的减弱。对生态系统服务之间进行权衡分析的前提是清楚地了解生态系统不同服务之间的关系^[9]。由于生态系统服务之间的关系具有动态变化性,权衡与协同可能互相转化,二者的研究方法与过程一致,且总是交织在一起。在以往研究中,有的将两者分开,有的统称为权衡。本文将这类研究统称为生态系统服务权衡研究。这类研究考虑了生态系统服务作为连接自然系统与人类系统福祉枢纽的生态性和社会经济性,能够对人类的生态系统服务选择偏好进行分析,权衡和兼顾多种生态系统服务^[10],追求综合效益最大,而不仅仅追求某一种生态系统服务的效益。

城乡规划可以通过对城乡土地利用的控制或调节,改善生态系统的结构、组分和过程,进而影响城乡空间的生态绩效^[11]。近年来,越来越多的学者将生态系统服务纳入城市土地利用规划的分析、模拟与决策中。如Woodruff等^[12]分析和对比美国两个州的综合规划与生态系统服务的结合程度,包括目标制定、事实基础、政策及公众参与等,发现将生态系统服务纳入土地利用规划能够提高相关利益主体对生态保护的重视程度,并将生态系统服务连接到多目标的社区发展规划中。城乡规划与生态系统服务权衡的关系可以概括为两方面:一方面,生态系统服务类型与服务水平的变化,以及人类对生态系统服务需求的变化,将对城市发展与土地利用变迁产生重要的影响;另一方面,土地利用通过影

响生态系统的结构和过程,能够对生态系统服务产生正面或负面的作用。

为进一步推进生态系统服务权衡研究在中国生态文明建设中的应用,提高城乡规划、空间规划和生态管理等相关决策的科学性,本文聚焦生态系统服务权衡的研究方向、研究方法及其在国内外的实践应用,并在此基础上展望未来的趋势。

1 相关研究进展

结合国内外生态系统服务权衡的研究进展^[13],本文重点在实践应用层面进行延展,力求在详细综述相关研究方法的基础上,归纳整理出生态系统服务权衡在各类案例中的应用方向与价值。

生态系统服务权衡的研究主要可以归纳为四大类:供给数理、供需关系、不同主体以及时空动态。具体的研究方法及规划实践详述如下。

1.1 数理关系权衡

有关生态系统服务权衡的大部分研究都关注某种生态系统服务与另外一种或多种生态系统服务之间的数理关系(表1),这种关系多在供给侧,不涉及需求侧。相关研究多借助定量表征和回归分析,根据相关性和显著性等指标,量化生态系统服务之间的权衡。具体定量方法包括社会经济数据换算、土地利用类型换算、专家打分以及模型模拟,前3种方法主要利用社会经济和土地利用数据,直接乘以对应的系数或按特定公式来量化生态系统服务内容,模型模拟则通过现有的或研究者自己构建的模型对生态系统服务进行计算和模拟。

现状生态系统服务研究多基于土地利用类型换算和社会经济数据换算这两种方法,能够为生态系统服务功能区、生态系统重要保护区以及需要人为参与调解生态系统服务权衡的场地范围划定等提供指导。这些权衡研究通常能够在较大的尺度范围内,通过对不同方案的模拟,筛选出兼顾生态与经济发展的最优的土地利用规划方案^[20]。数理关系的权衡研究不仅可以指导已受损生态系统服务的修复和保护区的划定,还可以通过增设绿色基础设施等方式来协同维持生态系统服务。

1.2 供给需求权衡

从主体出发的生态系统服务需求评价,可通过调研等形式反映社区居民主观上对生态系统服务的认知和需求水平^[21]。相关定量研究方法包括社会经济数据换算、土地利用类型换算、专家打分以及

表 1 典型数理关系权衡研究及应用
Table 1 Typical research on mathematical supply tradeoffs and their applications

作者及年份	尺度和地点	研究方法	研究内容	实践应用
Li 等 ^[14] (2018)	区域, 中国银 川盆地	社会经济数据换算供给服务, 土地 利用类型换算支持服务	对银川盆地土壤、水质调节、生物多样性 等生态系统服务进行空间制图和相关性计 算(供给、调节和支持)	根据生态系统服务之间的权衡大小 和范围, 确定生态系统服务分区、 用地指标
Langner ^[15] (2017)	区域, 德国中 心区域	模型计算预测(运用 Clue-s, SWAT, InVEST 和 SoIVES 等软 件)	对生态系统 4 种服务(木材生产, 碳储存, 生物多样性保护)在 3 种管理模式下, 基于 生态系统服务价值量化彼此之间的权衡	对 3 种管理模式做出选择, 制定土 地管理策略
Nedkov ^[16] (2012)	全国, 德国	模型计算预测(基于水文模型预 测水供给服务) 社会经济数据换算粮食供给	洪水调节服务与粮食供给将数据进行归一 化处理之后做相关性分析	确定不同区域的资源保护对象和策 略
Artmann 等 ^[17] (2017)	区域, 惠明顿 新汉诺威州	经验打分: 专家根据基于卫星图 片的不同土地利用类型的支持 和文化生态系统服务进行打分	支持服务与文化服务进行空间制图, 并分 析其相关性	确定诸如绿色空间规划和管理条例 等的资源保护策略和土地利用策略
Onaindia 等 ^[18] (2013)	区域, 西班牙 乌尔代百保护 区	土地利用类型换算淡水供给, 生 物多样性支持服务用模型计算 预测	通过土地利用类型研究西自然保护区内的 淡水供给(类型换算)与生物多样性(过程模 拟)保护之间的权衡	为已有的生态保护区进行精细的生态 服务功能分区, 确定用地指标从 而制定更为精细化的土地利用策略
Turner 等 ^[19] (2014)	全国, 丹麦	社会经济数据换算四大类生态 系统服务	对丹麦文化与调节服务的集聚簇研究, 发 现 6 种集聚类型, 对指导农业生产和文化 休闲分区布局提出分析基础	根据生态系统服务权衡的 6 个多元 丛集类型, 划定保护核心区以及各 核心区的用地指标

模型模拟。需求定量将生态系统服务的需求与供给状况相结合, 运用空间叠加和冷热点计算等手段, 反映在一张总图上, 识别出潜在的需重点保护的生态系统服务类型和区域, 将其与人类生存和社会发展所依赖的生态系统服务的供应能力相匹配, 确定需重点保护规划的区域(表 2)。具体地讲, 可以通过空气和水质净化量、调节水量、控制侵蚀量、营养物吸收量、重要栖息地、水源供给和文化服务感知等现状生态系统服务的量化指标, 判断生态系统服务的客观供应与居民人口密度、建设密度、经济水平等方面的空间差异度^[28]。通过对生态系统服务供需的冷热点制图或者空间叠加分析, 即可得出供需具有空间异质性的区域, 从而指导规划能够结合当地特定条件, 设定相应目标, 如哪些地方增加或维持生态系统服务, 哪些生态系统服务可考虑发展经济。基于空间制图的生态系统服务供需权衡研究, 可以为生态规划提供翔实的数据库, 为后期的生态分区管理提供便捷和统一的基础。

1.3 利益主体权衡

对不同利益主体进行权衡分析的目的是为了规划明确受益主体(社会群体或生物群落)^[29]。通过生态系统的权衡分析, 可以得出是否将生物群落保护作为优先考虑的目标、不同主体的出发点会产生怎样的权衡、怎样协调彼此的平衡关系等结论。除输出结果具有一定的参考价值外, 生态系统服务不

同利益相关者之间的权衡过程也能为规划中的公众参与提供参考(表 3)。生态系统服务的权衡研究充分地考虑利益相关方的意见, 将公众参与真正带入规划中, 实现“自上而下”与“自下而上”两种方式的结合, 在不同利益的博弈权衡中, 实现空间布局的最优化和最公平化。

1.4 时间空间权衡

严格地讲, 生态系统服务的时间空间权衡贯穿在生态系统服务权衡研究的各个方面, 因为生态系统服务本身就具有时空效应(表 4)。时间权衡是讨论不同时期生态系统服务的代际竞争关系, 从而确定土地利用的近期和远期规划方案^[42]。目前, 相关研究主要涉及过去、现在和未来 3 个时间场景。时间权衡的意义在于各类生态系统服务对时间的响应速率不同, 从短期场地水平的休闲游憩等文化服务, 到长期全球水平的碳存储等, 不同时间段关注的规模和利益相关者往往不同。对应到规划上, 我们需要考虑的是 5 年, 10 年, 甚至 50 年的发展保护规划^[1], 需要找到不同时间段满足近期与远期生态系统服务需求的平衡点, 以此来制定区域的可持续发展规划。

此外, 不同尺度下人们感受到的生态系统服务不同。固碳释氧和水源涵养间的关系在中、小尺度上既有权衡, 也有协同, 而在较大空间尺度上(面积在 $1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 以上)只表现出协同关系^[39]。对全球利益相关者而言, 森林的固碳功能体现的是生态系统

表 2 典型供需权衡研究及应用
Table 2 Typical research on supply-demand tradeoffs and their applications

作者及年份	尺度和地点	研究方法		研究内容	实践应用
		供给侧	需求侧		
Baró 等 ^[22] (2016)	区域, 巴塞罗那都市区	土地利用类型换算	政策条文指标	将土地利用类型作为实际供给的源, 使用环境质量和政策规定作为生态系统服务需求的流, 对源和流的权衡关系做出空间判断	指导进行保护区的核心区划定: 包括 PTMB 规划中已经保护的特种用地类型, 也应该包括城市中的开放空间体系和都市区域
Koschke 等 ^[23] (2014)	市域, 德国 Saxony 州	土地利用类型换算和模型计算预测相结合	问卷调查	采用 PPGIS 的方法对当地居民进行问卷调查, 将其偏好度作为需求的依据, 做出实际供给与偏好产生差异的权衡区域	确定各服务需要多少面积的用地指标, 指导最急需保护区的核心区划定, 并确定保护用地内的各服务分区
Hilde 等 ^[24] (2014)	市域, 德克萨斯州中心区	模型计算预测	社会经济数据换算作为需求的指标	运用 i-tree eco 干沉积模型, 计算了德克萨斯州城市绿色基础设施对于空气调节的作用大小, 得出客观的绿地调节服务难以继续现状需求	理解生态完整性的土地消费模式是缓解环境恶化的核心, 确定了城市目标和发展模式, 通过模型选择如何利用种植行道树的最佳土地利用策略
Plieninger 等 ^[25] (2013)	社区, 德国 Gutttau	土地利用类型换算	问卷调查(空间区域识别画图调研)	采用对文化服务的需求进行地图画区的方式与实际土地利用相叠加	提出基于当地人需求的保护区规划, 包括: 生物多样性的资源保护策略, 优化保护核心区划定。在现有区域之外增加具有当地人文化认同的热点区域
Chelleri 等 ^[26] (2016)	当地, 玻利维亚 Bolivian Altiplano	经验打分: 将问卷调研的偏好结果作为判断供给的依据	问卷调查(图片场景偏好调研)	让被调查者据直觉对不同量化级别的生态系统服务图片场景打分, 得出大家的喜好和需求, 再与当地生态系统服务供给做比较	根据当地人需求的反馈, 确定城市发展的目标和资源保护策略中需要增强的生态系统服务类型
白杨等 ^[27] (2013)	流域, 白洋淀流域	经验打分: 专家打分针对不同生态类型用“矩阵法”进行专家打分	经验打分: “矩阵法”进行专家打分	通过专家打分, 采用算术平均及四舍五入的方法得到研究区域生态系统潜在供给、实际供给和人类需求的得分值, 根据供需比和供给率判断区域生态系统服务供需特征	核心区划定: 1) 对流域内供给率较高及供给处于盈余的区域, 予以重点保护, 并确定生态补偿的主要受益人群和区域; 2) 对城市区域内部人群需求密度大的地方, 进行必要的生态保护; 3) 构建水陆生态廊道等绿色基础设施建设

表 3 典型利益主体权衡研究及应用
Table 3 Typical research on stakeholder tradeoffs and their applications

作者及年份	尺度和地点	研究方法	研究内容	实践应用
Smith 等 ^[30] (2017)	流域, Guánica Bay 海岸地区	单方向卷调研(生态系统服务重要性/优先性问卷调查)	通过问卷调查, 对当地居民所重视的海洋生态系统服务进行分类权衡, 并分别与当地相关政策进行分析	确定流域内珊瑚礁的资源保护策略, 要求管理投资增加能够照顾到政府与当地居民等受益人群利益的方案, 并获得认可
Hansen 等 ^[31] (2014)	流域, 德国 Leipzig-Halle 区域	单方向卷调研(运用 PPGIS 优先性生态系统服务区域调研)	采用 PPGIS 的方法对当地居民的生态系统服务偏好度进行问卷调查并作为权衡的判断基础	基于偏好度的分析基础, 识别划定核心区域, 优化绿色基础设施建设
Sumarga 等 ^[32] (2014)	当地, 印度尼西亚 Kalimantan 中心	单方向卷调研(支付意愿调研)	提出 6 种对于生态系统服务付费的方案, 通过问卷调查得出使用者对此的消费意愿和偏好	识别核心生态系统服务, 划定核心区域, 优先考虑将付费意愿高的服务类型作为发展和保护的對象, 确定生态补偿的方案和受益人群
Moreno 等 ^[33] (2014)	区域, 西班牙 Sierra Nevada 和 Doñana	多方互动参与(参与式心理图示)	在使用者、研究者和管理者之间建立起一套良性互动的机制, 便于三方相互沟通意见并了解对方的意愿	提供规划的对谈平台, 动态协调多方的博弈关系, 根据参与方给出的核心区域识别筛选叠加, 优化原有保护方案, 确定具有多方认可度的资源保护策略以及土地利用策略
Granek 等 ^[34] (2010)	当地, 印度尼西亚 Puget Sound 和华盛顿 Puget Sound	多方互动参与(圆桌会议、情景模拟)	海岸规划中组织三方圆桌会议, 并将各方意见转化成模型计算结果, 将权衡清晰展现给参与者, 便于彼此做出判断	规划中应用公众参与的过程, 动态协调多方参与者, 得出一致的海岸保护规划规划方案, 包括资源保护策略和土地利用策略
BenDor 等 ^[35] (2017)	社区, 费城	多方互动参与(社区参与自组织)	在费城绿色基础设施规划中, 将社区团体提出的目标地点作为绿色基础设施项目的优先建设点, 并由社区参与其中的投资和管理	在组织过程中动态协调社区参与者, 形成一套绿色基础设施规划体系和管理方法, 优化土地利用策略

表 4 典型时间空间权衡研究及应用
Table 4 Typical research on time/space tradeoffs and their applications

作者及年份	尺度和地点	研究方法	研究内容	实践应用
Haase等 ^[36] (2012)	流域, 德国 Leipzig 地区	土地利用类型: 过去到现在连续时间段内生态系统服务此消彼长的变化	时间尺度的代际关系(连续16年的数据进行生态系统服务之间的权衡研究)	根据土地覆盖类型对生态系统服务权衡的影响, 确定每个时间段内合理的资源保护策略, 动态调整和制定土地利用规划
Sanon等 ^[37] (2012)	当地尺度, 奥地利维也纳堡岛	生态过程模拟: 现状条件下对未来不同情境下的生态系统服务权衡的模拟	时间尺度的代际关系(探讨了未来几种利益群体的不同意见下, 在增加岛屿连接度的情景下其水生生物生境、陆生生物生境、饮用水生产、休闲娱乐几种生态系统服务的关系)	根据不同受益人群下的博弈关系, 优选河道连通规划最低成本和洪水风险标准决策, 得出科学的资源保护策略提出高风险下的针对性恢复的土地利用策略
Nelson等 ^[38] (2009)	流域, 西太平洋 Willamette 流域	模型预测模拟: 未来时间尺度内长期和短期的权衡研究	时间尺度的代际关系(运用InVEST模型对未来50年内供给服务与生物多样性服务的权衡关系进行研究, 发现其在不同时间尺度下动态变化的规律)	确定动态过程中, 未来10年、20年规划的土地利用策略, 以及城市扩张面积, 划定必须严守的核心区底线, 甚至确定进行生态系统服务保护的生态系统服务付费方案, 包括补偿机制和受益人群
Vidal-Lega等 ^[39] (2013)	区域, 西班牙南部	土地利用类型换算供给服务 社会经济数据换算需求	时间尺度的代际关系(通过遥感地图, 将1990—2010年间土地覆盖类型变化作为相应的生态系统服务的供给方, 与社区经济结构变化作相关性分析)	考虑土地最大限度发挥作用, 城市发展目标要控制灌溉农业的量, 维持橄榄林等特色资源的保护, 优先推广社区尺度中土地多功能使用的土地利用策略
Van Jaarsveld等 ^[40] (2005)	区域, 南非 森林	社会经济数据换算: 不同尺度生态系统服务产生的权衡	空间尺度的不一致性(研究了南非大尺度下森林的生物多样性保护服务与小尺度下木材的供给作用所产生的权衡作用)	确定区域内生态系统服务的源汇范围, 基于对此生态过程的认知, 确定土地利用策略和不同尺度下的资源保护策略
Viguié等 ^[41] (2012)	区域, 巴黎地区	社会经济数据换算: 空间不一致下如何进行流域生态管理	空间尺度的不一致性(通过权衡巴黎3种不同政策下生态系统服务状况3类决策)	围绕空间不一致下的流域生态管理, 确定一系列绿色基础设施建设和生态补偿中受益人群、生态补偿范围和生态补偿机制的制定

的调节服务,但在当地,森林可能被视为燃料木材而直接被砍伐以换取经济效益。总体来讲,在大尺度,上人们更偏向于关注空气质量改善和促进碳循环等调节作用,在小尺度上则更关注直接感受的粮食生产和雨洪调控等生态系统服务^[6]。尺度推移过程中产生的权衡对于处理公平和效益具有重要意义,例如下游对生态系统服务的选择可能造成上游某种生态系统服务的严重缺失,从而导致生态系统服务的时间和空间权衡^[43]。如何兼顾效率与公平,是生态系统服务时空权衡下重要的一个环节,对于生态管理和生态政策的制定都有重要意义。因此,只有在多个尺度上全面地探讨生态系统服务的权衡关系,才能系统地了解权衡关系形成的内在机制。

2 生态系统服务权衡研究的规划实践应用框架

以生态系统服务的4种权衡为基础,本文试图将生态系统服务的权衡研究与空间规划实践相结合,从而为城乡空间规划提供方便的操作框架。如图1所示,从上至下是生态系统服务权衡研究从客

观到主观不断增强的过程,从数理关系的量化研究到供需关系中需求方意愿的加入,再到不同利益主体中,将公众参与作为规划的过程和方法,生态系统服务的权衡研究越来越关注人的主观能动性,成为规划实践的重点之一。此外,不同的空间规划和管理决策会导致生态系统服务的类型、结构和过程发生变化,从而产生权衡^[44]。由于每个生态系统服务不是独立的,而是存在复杂的相互作用关系,将进一步导致环境和社会经济呈现出不同的特征,进而影响相应的个体或群体,产生不同利益相关者的权衡。生态系统服务权衡研究从结果和方法上,通过认知和识别现状区域的生态系统服务各项指标状况,为规划实践提供一定的支持和指导。通过反复的验证和实验,不断优化并调整规划目标,使整体规划质量得到持续性的提升。

3 研究局限与展望

在当前世界人口和物质资料需求不断增长的背景下,开展生态系统服务权衡研究对优化自然资源的开发和利用,遏制区域生态环境恶化,缓解生态

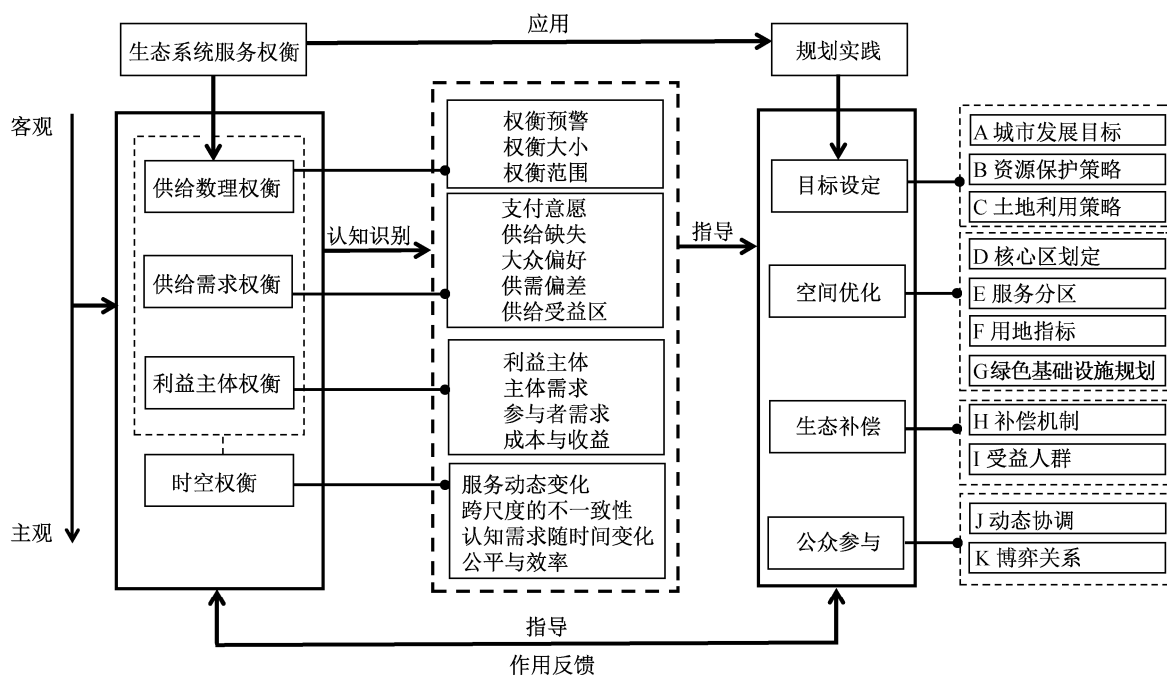


图1 生态系统服务权衡研究在空间规划中应用
Fig. 1 Planning application of ecosystem service tradeoff research

贫困, 应对全球气候变化和提升人类福祉具有重要意义^[12]。为了切实推进生态系统服务研究的可操作性和可实践性, 下文所述的研究局限和未来发展方向值得重点考量。

3.1 研究局限

尽管在生态系统服务权衡与空间规划相结合方面已有一些实践尝试, 但由于相关研究存在不足, 生态系统服务尚未被有效地利用到城市及区域的可持续发展实践中^[3]。

1) 研究方法缺乏可比性和统一性。如前所述, 生态系统服务的研究方法多样, 涉及土地利用类型换算、社会经济数据换算、生态过程模型预测、政策指标换算、专家打分、问卷调查以及参与式决策等多种类型, 且不同项目选择的方法有所差异, 即便使用模型预测, 也会涉及不同的模型, 这些都极大地削弱了不同项目之间的可比性。与此同时, 由于涉及不同时空和尺度, 导致生态系统服务权衡研究不能使用统一、固定的评价指标去分析不同的对象。如何定量地测度生态系统服务功能, 使生态系统服务功能权衡结果在不同尺度上可重复、可扩展^[25], 也是很大的挑战。

2) 研究尺度过大。生态系统服务概念从提出之初, 就具有跨尺度应用的潜力, 但目前的研究可能受数据所限, 大多聚焦在国家及区域层面, 很少

对小尺度生态系统服务进行研究。这使得即使对研究成果有所应用, 也只停留在国家及区域战略, 对于更多尺度相对较小、更具可操作以及实践意义的项目不具有指导意义。为了推进实践过程中不同功能以及服务博弈的科学性, 生态系统服务跨尺度研究亟待强化。

3) 机制不明确。生态系统权衡机制的内涵包括两个层面: 一是科学层面, 生态系统服务之间权衡的过程不明晰; 二是实践层面, 由生态系统权衡研究向生态实践决策转化的应用机制研究匮乏。前者很多研究及综述文章都提及, 主要是生态系统结构、功能及服务具有动态可变性, 既受外部干扰影响, 也有内部竞合, 但目前研究多注重数理关系, 缺乏对形成机理的解释^[45-49]。后者是本文强调的另外一种机制, 即在生态系统科研向生态规划与管理实践转换过程中, 数理关系向决策结果转化的机制。目前, 很多研究直接基于数理结果提出决策建议, 这样做可能诱发新问题(表5)。例如, 两种现状生态系统服务如果其数值都高, 就直接认定为协同关系, 默认不需要博弈。但是, 从生态管理实践的层面看, 两者数值都高可能意味着两者的潜力都大, 未来会变成潜在的博弈与竞争关系。再如供需关系分析中, 供需失衡就需要改进吗? 什么样的需求以当地的供给就能够满足? 是否存在满足不同服务

表 5 由权衡研究向规划实践决策转化的挑战
Table 5 Challenges in transiting tradeoff research into planning practices

权衡研究侧重方面	研究内容	规划实践关注的问题
数理关系权衡	一种对一种或多种生态系统服务之间的权衡	数理上的高与低对于实践与管理意味着什么? 对于生态管理而言, 高与高在一起是协同还是竞争?
供给需求权衡	生态系统服务供给和人们需求的空间差异性	所有的需求都能或是应该在当地满足么? 对不同服务需求的满足有没有空间阈值?
利益主体权衡	不同利益主体	谁的利益更重要?
时间空间权衡	过去到现在连续时间段内生态系统服务此消彼长的变化	哪个时间或是哪个区域的利益更重要?

需求的空间阈值? 谁的、哪个时间段或哪个区域的利益更重要? 这类问题都是决定生态系统服务权衡研究向生态规划管理实践转化的关键。

3.2 研究展望

随着中国生态文明建设的推进, 以可持续发展为目标的规划实践将变得愈发重要。生态系统服务的权衡研究要切实从操作层面指导规划设计, 需要进行一系列的改变, 主要包括以下方面。

1) 方法体系工具化。目前生态系统服务量化以及权衡研究方法多元且复杂, 远超规划实践人员的理解能力以及应用范畴。只有强化研究方法层面的体系化、简单化和工具化, 才能使生态系统服务研究变得通俗易懂, 并为实践人员提供可以操作的前期分析决策工具。

2) 研究尺度精细化。生态系统服务权衡研究目前集中在区域、流域甚至国土和全球尺度, 对于场地等精细尺度的研究比较欠缺。考虑到生态系统服务权衡的尺度效应, 在多个尺度上全面地探讨生态系统服务的权衡关系, 既能系统地了解权衡关系形成的内在机制, 又能直接指导小尺度的景观设计, 获得全方位的协同。

3) 研究过程交叉化。生态系统服务权衡研究需要从一开始就是交叉学科研究的过程, 尤其是远景方面, 需要与规划设计部门接轨, 不然, 很多远景只是用于研究而不具有实践价值。与此同时, 目前研究对不同利益相关者之间感知和利用生态系统服务的差异性原因的研究不足, 这方面亟待更进一步与社会学等相关学科的深度交叉。

4) 关系理解定性化。现有研究多集中在通过统计学的方法解释相互之间的关系, 而从数理关系演化到机制, 再到决策, 这一过程需要很多定性研究来深度理解不同因素之间的关系以及相互作用。定量和定性研究是地理学研究的重要组成部分^[50],

目前生态系统服务权衡的研究是定量有余而定性不足, 亟待定性化的关系探索。

5) 数据和成果共享化。中国目前数据分散, 数据获得壁垒多, 且研究结果以期刊论文为主, 直接限制了规划实践的准确性。只有强化各类数据库的建设, 深化研究成果的空间制图, 并将这些结果全方位共享, 才能更有效地让规划实践者接触各类数据及科研成果, 进而推进有理有据的实践决策。

参考文献

- [1] 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. 地球科学进展, 2015, 30(11): 1250-1259
- [2] 王志芳. 生态实践智慧与可实践生态知识. 国际城市规划, 2017, 32(4): 16-21
- [3] 傅伯杰, 于丹丹. 生态系统服务权衡与集成方法. 资源学, 2016, 38(1): 1-9
- [4] 毛齐正, 黄甘霖, 邬建国. 城市生态系统服务研究综述. 应用生态学报, 2015, 26(4): 1023-1033
- [5] McKenzie E, Posner S, Tillmann P, et al. Understanding the use of ecosystem service knowledge in decision making: lesson from international experiences of spatial planning. Environment and Planning C: Government and Policy, 2014, 32: 320-340
- [6] 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. 地理学报, 2017, 72(6): 960-973
- [7] Willemsen L, Hein L, Mensvoort M E F V, et al. Space for people, plants, and livestock? Quantifying interactions among multiple landscape functions in a Dutch rural region. Ecological Indicators, 2010, 10(1): 62-73
- [8] Rall E L, Kabisch N, Hansen R. A comparative exploration of uptake and potential application of ecosystem services in urban planning. Ecosystem Servi-

- ces, 2015, 16: 230–242
- [9] Cowling R M, Egoh B, Knight A T, et al. Ecosystem services special feature: an operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(28): 9483–9488
- [10] Li F, Wang R, Paulussen J, et al. Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 72(4): 325–336
- [11] 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. *风景园林*, 2017(1): 45–51
- [12] Woodruff S C, BenDor T K. Ecosystem services in urban planning: comparative paradigms and guidelines for high quality plans. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 152: 90–100
- [13] 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. *地理研究*, 2013, 32(8): 1379–1390
- [14] Li Boyan, Wang Wei. Trade-offs and synergies in ecosystem services for the Yinchuan Basin in China. *Ecological Indicators*, 2018, 84: 837–846
- [15] Langner A. Value-based ecosystem service trade-offs in multi-objective management in European mountain forests. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 245–257
- [16] Nedkov R. Assessment of information efficiency and data quality from microsatellite for the need of ecological monitoring. *Aerospace Research in Bulgaria*, 2012, 24: 146–150
- [17] Artmann M, Bastian O, Grunewald K. Using the concepts of green infrastructure and ecosystem services to specify Leitbilder for compact and green cities — the example of the Landscape Plan of Dresden (Germany). *Sustainability*, 2017, 9(2): 596–608
- [18] Onaindia M, Manuel B F, Madariaga I, et al. Co-benefits and trade-offs between biodiversity, carbon storage and water flow regulation. *Forest Ecology and Management*, 2013, 289: 1–9
- [19] Turner K G, Odgaard M V, Bøcher P K, et al. Bundling ecosystem services in Denmark: trade-offs and synergies in a cultural landscape. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 89–104
- [20] Groot R S, Alkemade R, et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 2010, 7(3): 260–272
- [21] Ametzaga-Arregi I, Alday J G. Integrating stakeholders' demands and scientific knowledge on ecosystem services in landscape planning. *Landscape Ecology*, 2014, 29(8): 1423–1433
- [22] Baró F, Palomo I, Zulian G, et al. Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: a case study in the Barcelona metropolitan region. *Land Use Policy*, 2016, 57: 405–417
- [23] Koschke L, Van der Meulen S, Frank S, et al. Do you have 5 minutes to spare? — the challenges of stakeholder processes in ecosystem services studies. *Landscape Online*, 2014, 37(1): 1–25
- [24] Hilde T, Paterson R. Integrating ecosystem services analysis into scenario planning practice: accounting for street tree benefits with *i-Tree* valuation in Central Texas. *Journal of Environmental Management*, 2014, 146: 524–534
- [25] Plieninger T, Dijks S, Oterosroza E, et al. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy*, 2013, 33: 118–129
- [26] Chelleri L, Minucci G, Skrimizea E. Does community resilience decrease social–ecological vulnerability? Adaptation pathways trade-off in the Bolivian Altiplano. *Regional Environmental Change*, 2016, 16(8): 2229–2241
- [27] 白杨, 郑华, 庄长伟, 等. 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控. *生态学报*, 2013, 33(3): 711–717
- [28] Gonzalezredin J, Luque S, Poggio L, et al. Spatial Bayesian belief networks as a planning decision tool for mapping ecosystem services trade-offs on forested landscapes. *Environmental Research*. 2014, 144(B): 15–26
- [29] 戴君虎, 王焕炯, 王红丽, 等. 生态系统服务价值评估理论框架与生态补偿实践. *地理科学进展*, 2012, 31(7): 963–969
- [30] Smith A, Yee S H, Russell M, et al. Linking ecosystem service supply to stakeholder concerns on both land and sea: an example from Guánica bay watershed, Puerto Rico. *Ecological Indicators*, 2017, 74: 371–383
- [31] Hansen R, Pauleit S. From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio*, 2014, 43(4): 516–529
- [32] Sumarga E, Hein L. Mapping ecosystem services for land use planning, the case of Central Kalimantan.

- Environmental Management, 2014, 54(1): 84–97
- [33] Moreno J, Palomo I, Escalera J, et al. Incorporating ecosystem services into ecosystem-based management to deal with complexity: a participative mental model approach. *Landscape Ecology*, 2014, 29(8): 1407–1421
- [34] Granek E F, Polasky S, Kappel C V, et al. Ecosystem services as a common language for coastal ecosystem-based management. *Conservation Biology*, 2010, 24(1): 207–216
- [35] BenDor T K, Spurlock D, Woodruff S C, et al. A research agenda for ecosystem services in American environmental and land use planning. *Cities*, 2017, 60: 260–271
- [36] 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. *Ecology and Society*, 2012, 17(3): 1–22
- [37] Sanon S, Hein T, Douven W, et al. Quantifying ecosystem service trade-offs: the case of an urban floodplain in Vienna, Austria. *Journal of Environmental Management*, 2012, 111: 159–172
- [38] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4–11
- [39] Vidal-Legaz B, Martínez-Fernández J, Picón A S, et al. Trade-offs between maintenance of ecosystem services and socio-economic development in rural mountainous communities in southern Spain: a dynamic simulation approach. *Environmental Management*, 2013(13): 280–297
- [40] Van Jaarsveld A S, Biggs R, Scholes R J, et al. Measuring conditions and trends in ecosystem services at multiple scales: the Southern African Millennium Ecosystem Assessment (SAfMA) experience. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, 360: 425–441
- [41] Viguié V, Hallegatte S. Trade-offs and synergies in urban climate policies. *Nature Climate Change*, 2012, 2(5): 334–337
- [42] 曹祺文, 卫晓梅, 吴健生. 生态系统服务权衡与协同研究进展. *生态学杂志*, 2016, 35(11): 3102–3111
- [43] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 等. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例. *生态学报*, 2011, 31(19): 5623–5631
- [44] Hauck J, Görg C, Varjopuro R, et al. Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: some stakeholder perspectives. *Environmental Science & Policy*, 2012, 5(12): 13–21
- [45] 李双成, 刘金龙, 张才玉, 等. 生态系统服务研究动态及地理学研究范式. *地理学报*, 2011, 66(12): 1618–1630
- [46] 徐翀崎, 李锋, 韩宝龙. 城市生态基础设施管理研究进展. *生态学报*, 2016, 36(11): 3146–3155
- [47] 马凤娇, 刘金铜. 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述. *生态学报*, 2013, 33(19): 5963–5972
- [48] 张立伟, 傅伯杰, 吕一河, 等. 基于综合指标法的中国生态系统服务保护有效性评价研究. *地理学报*, 2016, 71(5): 768–780
- [49] Mascarenhas A, Ramos T B, Haase D, et al. Integration of ecosystem services in spatial planning: a survey on regional planners' views. *Landscape Ecology*, 2014, 29(8): 1287–1300
- [50] Galler C, Albert C, Von Haaren C, et al. From regional environmental planning to implementation: paths and challenges of integrating ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2016, 18: 118–129