

土地利用/覆盖变化-生态系统服务-人类福祉关系 研究进展*

董孝斌[†] 刘梦雪

(北京师范大学地理科学学部, 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 100875, 北京)

摘要 系统厘清土地利用/覆盖变化、生态系统服务与人类福祉之间的复杂关系及研究进展与研究趋势, 对于应对全球变化、生态环境破坏等问题十分重要. 本文从土地利用/覆盖与生态系统服务、生态系统服务与人类福祉以及土地利用/覆盖变化-生态系统服务-人类福祉 3 个方面, 总结了三者之间复杂关系的研究进展, 并指出未来的研究方向. 研究结果表明: 1) 生态系统服务的变化主要由土地利用类型、格局和强度的改变引起; 2) 土地利用/覆盖变化、生态系统服务与人类福祉的研究通常用来解决减贫、生态系统健康、生物多样性保护、可持续发展与自然资本方面的问题; 3) 在土地利用变化、生态系统服务与人类福祉的研究方面未来需要加强的研究主要包括多尺度关联、驱动力分析、不同人群特征及土地利用类型与生态系统服务偏好的关联, 以及气候变化对生态系统服务与人类福祉的影响等.

关键词 土地利用/覆盖变化; 生态系统服务; 人类福祉; 相互关系

中图分类号 K903

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2022115

0 引言

随着人类活动与气候变化持续加剧, 引起全球快速变暖、巨大碳排放和海平面升高等一系列生态环境问题, 严重损害了人类生存的环境^[1-2]. 2005 年千年生态系统评估(MEA)显示, 全球 60% 的生态系统服务(24 项中的 15 项)已经处于退化或不可持续态势^[3]; 2015 年地球界限评估结果认为, 地球的 9 个关键过程中磷循环和土地利用变化进入高风险区^[4]; 2019 年 IPBES 全球评估报告显示, 人类从自然界获取的 78% 惠益中(18 类中 14 类)快速下降, 土地利用、人口、经济和技术等人类活动过程是重要的驱动因素^[5]. 土地利用/覆被变化(land use/ cover changes, LUCC)作为人类活动的重要体现, 不仅是全球变化的重要驱动力, 还直接影响着生态系统的结构和功能, 并最终影响其提供生态系统服务的能力. 而生态系统服务作为生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件基础, 其变化可以直接或间接地影响人类福祉的所有组成要素^[6-7].

在 MA 提出生态系统服务与人类福祉之间的关联后, 科学界正在从不同的理论和实践角度分析生态系统服务, 旨在将生物物理、经济和社会方面纳入全

球框架. 现有的研究大多集中在 LUCC 与生态系统服务^[8-9], 以及生态系统服务与人类福祉之间的关系^[10-11].

大量文献^[12-13]研究了土地利用变化对生态系统结构和功能及服务的影响, 该领域的研究相对成熟, 但是有关机制的研究不够深入^[14]. 对于生态系统服务与人类福祉关系的研究, 主要集中在描述二者发生了怎样的变化. 但是 LUCC、生态系统服务与人类福祉之间存在多层次的复杂非线性关系, 且受多种因素影响, 三者必须作为整体来研究. 厘清土地利用、生态系统服务与人类福祉三者之间的关系, 可以有效揭示人与自然系统之间的内在相互作用, 理解生态系统服务过程与机制, 了解区域生态环境变化, 有助于土地利用规划和生态保护政策的制定和实施^[15], 对促进区域可持续发展具有重要的科学意义.

1 研究现状与进展

1.1 LUCC 与生态系统服务 LUCC 是人类活动最直观地反映. 人类通过改变土地利用方式、结构、组成、模式和空间配置变化, 影响能量交换、土壤侵蚀、水循环和生物地球化学循环等过程, 进而影响生态系统服务和价值, 其变化程度取决于所采用的特定土地使用实践活动. LUCC 与生态系统服务是了解社

* 第二次青藏高原综合科学考察研究资助项目(2019QZKK0608); 国家自然科学基金资助项目(42171275)

[†] 通信作者: 董孝斌(1973—), 男, 教授. 研究方向: 碳中和、产业生态学、生态系统服务与人类福祉. E-mail: xbdong@bnu.edu.cn

收稿日期: 2022-04-24

会系统与自然系统动态耦合的方法,一般认为 LUCC 对生态系统服务的影响主要通过改变生物多样性^[16]、改变生态系统过程^[17]和改变生境^[18]3 条途径,如图 1 所示. LUCC 与生态系统服务二者间是一种复杂的反馈调节关系,LUCC 可以直接改变生态系统的结构和

功能. 反之,生态系统服务价值的评估结果可以为土地利用相关政策的制定提供理论支持. 理解 LUCC 对生态系统服务的影响,能厘清土地利用变化过程和准确评估生态系统服务,有助于推动土地利用规划和生态保护政策的制定和实施.

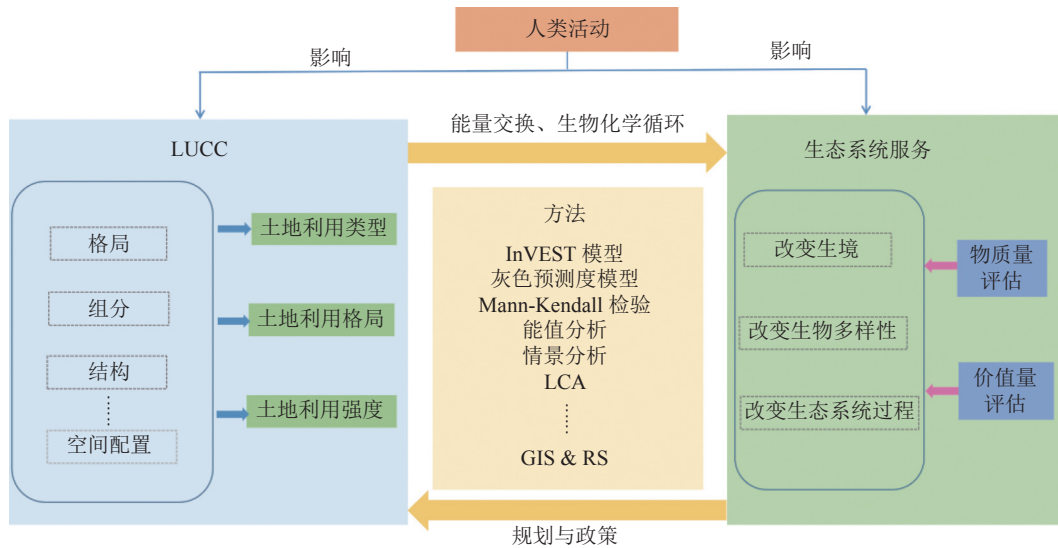


图 1 LUCC 与生态系统服务关系

LUCC 和生态系统服务之间关系的研究,有全球尺度、国家尺度和区域尺度的^[19-20],也有生态脆弱区^[21]和发达地区^[22]的,使用土地利用/覆盖信息来评估生态系统服务的研究主要集中在:1)使用土地利用数据分析生态系统服务的历史性变化;2)在不同土地利用情景下预测未来生态系统服务的变化. 定量分析 LUCC 对生态系统服务的影响是构建土地管理与生态系统服务之间桥梁的关键步骤. 我们将研究这二者的关系分为土地利用类型变化影响生态系统服务、土地利用空间格局变化影响生态系统服务、土地利用强度变化影响生态系统服务 3 类.

土地利用类型直接决定生态系统服务价值的多少,其配置方式的不同影响土壤养分的分布和迁移,其对固碳的效益也各不相同,从而导致生态系统服务的不同. 研究通过收益转移方法和弹性系数评估 LUCC 对生态系统服务价值的影响,结果表明由于实施“以粮换绿”工程,黄河流域上游和中游地区的自然植被得到明显改善. 这意味着在适当的政策框架下,少量人为引起的土地覆盖变化也可以显著改善生态系统服务^[23]. 有研究利用 1990—2015 年 Landsat 数据与生态系统价值当量,研究了南四湖流域土地利用时空动态变化对生态系统服务功能的影响,结果表明建设用地和林地的生态系统服务价值对生态系统价值总量的影响最大,而水域和未利用地对生态系统服务价值总量的影响最小^[24].

土地利用空间格局,如生境面积变化、景观破碎化等不可避免地影响或制约景观中的物种运动、水分和养分迁移、水土流失等生态系统过程以及景观中的种群动态和生物多样性^[25]. 很多研究使用景观指数探讨土地利用与生态系统服务之间的相互关系. 有研究评估了智利温带森林 1986—2011 年土地利用变化对原生林生境多样性空间格局的影响,认为生态系统服务供给的损失可以通过面积损失、斑块数量增加和多样性损失之间的相互作用来解释^[26]. 有研究表明景观生态规划不仅可以有效减少景观破碎化,提高集约化管理水平,还可以提高生态系统服务在当地土地利用规划中的可见度,从而改善未来景观的生态功能^[27]. 还有研究将长期的景观动态与欧洲阿尔卑斯山脉生态系统服务之间的多种相互作用联系起来,评估了土地利用变化动态与生态系统服务供给相互作用的影响,表明在复杂的农业生态山区生态系统服务能力对长期的景观动态非常敏感^[28].

土地利用强度的提升会加大供给与调节服务间的权衡^[29],当用地强度超过一定阈值时,将导致水土和养分的过量流失,降低粮食供给能力,从而影响人类粮食安全福祉,而且用地强度的增加会加大景观破碎度,提高生态敏感性. 有研究使用耦合协调度探究生态系统服务多功能性与土地利用强度之间的关系,以识别中国沿海城市中具有低协调度的地区并揭示其驱动因素^[30].

在研究 LUCC 与生态系统服务之间的相互关系时,除了最常见的 InVEST 模型、主成分分析、敏感性分析、Logistic analysis、灰色预测模型、Markov 模型和 Mann-Kendall 检验法以外,还有生态系统服务指数法、能值分析法、情景模拟法等.一些研究^[31-32]使用生命周期分析(LCA)法对土地利用如何影响生态系统服务进行评估,核心是对特征因子的计算.很多研究使用遥感数据和基于 GIS 的模型来检验 LUCC 对生态系统服务的影响,将遥感观测数据融合到生态系统评估方法中解决社会-生态系统之间的相互作用问题^[33-34].基于 1990—2010 年 Landsat 影像和气候数据, Fu 等^[35]研究了 LUCC 和气候变化对中国阿尔泰山地区生态系统服务的影响.有研究使用 Sentinel-2A 数据和 DYNA-CLUE、InVEST 模型研究了不同气候和 LUCC 变化情景下哥伦比亚 2 个流域的生态系统服务的累

积效应^[36].

1.2 生态系统服务与人类福祉

1.2.1 人类福祉内涵与评价指标

人类福祉是有关人类学、经济学、心理学、社会学和其他社会科学的概念.基于不同的研究背景和目的,不同研究领域的学者选取不同的要素构建了福祉的概念,本研究总结了人类福祉的不同定义,如表 1 所示.根据不同的福祉概念,研究者提出了不同的人类福祉评价指标.现阶段对人类福祉的评价指标大致可分为主观福祉、客观福祉和主观福祉与客观福祉相结合(见表 2).由于人类福祉受到自然因素、社会经济和文化因素的影响,使得人类福祉的评价指标具有多样性,但这些指标侧重于人类福祉的经济维度和社会维度,对人类福祉的环境因素表征不明确,并对精神、文化以及主观福祉等方面的测度也比较少.

表 1 福祉概念

年份	福祉概念	参考文献
1781	Bentham 立场的古典功利主义认为福祉是物品消费的效用或偏好的满意,是最喜爱的、最有利的精神状态,可通过人们的幸福度或满意度来评估(此时福祉和幸福本质上同义)	[37]
1990	联合国 1990 年发布的人类发展报告选取寿命(由出生时预期寿命衡量)、知识(由成年人的识字率和平均受教育年限衡量)和获取所需资源的能力(由以美元为基准的人均国民生产总值的购买力评价衡量)等指标来测度人类福祉	[38]
1993	Sen 指出福祉是可行性能力的函数,一个人的可行性能力指的是此人有可能实现的、各种可能的功能性活动组合	[39]
1997	Dodds 认为福祉有 4 种基本内涵: 1) 人类福祉被认为是一种心态; 2) 福祉被认为是世界的一种状态,它包括人们喜好和基本需求的满意度; 3) 福祉被认为是人的能力; 4) 福祉作为基本需求的满意度	[40]
2003	Cummins 等认为人类福祉是一个总体衡量人们生活满意度的概念,包括生活水平的满意度、健康、生活成就、人际关系、安全、社区联系和未来的安全等 7 个主要领域	[41]
2005	MA 是人们认为有价值的活动及状态,是一种根据经验而定的概念,将人类福祉的组成要素定义为安全、维持高品质生活的基本物质需求、健康、良好的社会关系和选择与行动的自由 5 个方面,这与马斯洛需求理论类似	[3]
2009	CMEPSP(the commission on the measurement of economic performance and social progress)认为人类福祉有 8 个关键维度: 物质生活标准(收入、消费和财富)、健康、教育、个人活动、政策和政府、社会关系、社会和物理环境条件(现在和未来)、身体和经济上的不安全感	[42]
2011	Hall 等认为人类福祉包括健康、知识、工作、良好的物质条件,以及自我决定权、人际关系和生活条件.在一定条件下,人类福祉也被划分为个人福祉和社会福祉	[43]
2012	Summers 等认为人类福祉由人类基本需求、经济需求、环境需求以及主观幸福感组成	[44]
2015	人类福祉包括: 1) 人们生活的客观物质环境,如住房、收入、生计、健康和环境; 2) 社会方面,如社区网络; 3) 个人对其周围环境的主观感受	[45]
2021	人类福祉包括主观福祉和客观福祉.主观福祉是指对生活顺利程度的情感和认知评估.客观福祉是指对满足社会和物质需求的程度的评价	[46]

1.2.2 生态系统服务与人类福祉研究热点

在应用方面,将生态系统服务和人类福祉纳入可持续空间管理,可为研究人员、管理人员和决策者提供一种新的实现可持续发展的策略,生态系统服务和人类福祉之间的关系研究越来越多地应用于减贫、环境保护、生物多样性和可持续发展等方面.

1.2.2.1 减贫

贫困不仅是收入的下降,也是人类发展或选择的受限和福祉的下降或者被剥削^[60].普遍认为生态系统服务的供给服务有助于减轻贫困,特别是在发展中国家的农村地区^[61-62].而且越贫困的地方对生态系统的依赖性越大,因此,生态系统服务的退化

会对人类福祉造成不利影响.生态补偿是此方面的一个很好的应用.一般而言,生态系统服务通过以下 4 种方式来减贫: 1) 提供生计基础支持; 2) 通过提供支持服务来获取生态补偿; 3) 通过市场交易销售生态产品; 4) 由于生态系统服务恶化而导致的生态移民.但是很少有研究在宏观上审查生态系统服务与贫困的关系,而且大多数忽略了影响的分布情况,因此不足以确定哪些群体实际上受益.

1.2.2.2 生态系统健康

在提高主观福祉方面发挥着重要作用,恶劣的环境条件可能损害人类身体健康和心理健康^[63],减少人类有利于环境的行为,从而进一

表 2 福祉评价指标

类别	评价指标	参考文献	优缺点
客观福祉	国内生产总值(GDP)	[47]	客观福祉即影响个人和社会福祉的物质及社会属性,包括财富、教育、健康和设施等。客观福祉主要是利用可以计量的社会或经济指标去反映人类需求被满足的程度
	生活质量指数(physical quality of life Index, PQoL)	[48]	
	联合国人类发展指数(human development index, HDI)	[49]	
	人类福利指数(human welfare index, HWI)	[50]	
	结合人类资本和建设资本的国家福利指数(NWI)	[51]	
	情感平衡表(affect balance scale, ABS)	[52]	
主观福祉	个人福利指数(personal welfare index, PWI)	[53]	主观福祉理论认为福祉是由人们的好恶态度决定的,取决于内心的感受与情景体验。更侧重于个人对其自身状况的评价,即其主观所感
	生活满意度(satisfaction with life scale, SWLS)	[54]	
	积极和消极经验表(scale of positive and negative experiences)	[55]	
	生活质量表(quality of Life scale)	[56]	
	个人福祉指数(the personal wellbeing index)	[57]	
	彭伯顿幸福指数(the Pemberton happiness index)	[58]	
主观福祉与 客观福祉相结合	快乐星球指数(happy planet index, HPI)	[59]	是主观福祉与客观福祉的综合度量,由于人类福祉具有多维性、层次性和地域性,所以构建人类福祉指标体系时,需要遵循科学性原则、全面性原则、层次性原则和可操作性原则
	人类福祉指标体系	[6]	

步恶化生态系统^[64]。增强生态系统的健康可以改善居民的福祉。例如,鸟类种类、高质量的植被覆盖与福祉的增长有关^[65]。生态系统健康评估主要通过构建基于生态系统过程的指标来进行。生态系统健康的目的不是诊断生态系统疾病,而是定义生态系统的预期状态并确定生态系统的界限。生态系统健康的概念、评价和应用领域已经成熟,但将人类需求、经济发展和环境胁迫因素联系起来的生态系统健康评价与人类福祉相结合的研究相对较少。此类研究可为区域可持续发展和环境管理提供有效依据。

1.2.2.3 生物多样性 一般包括基因、物种、生态系统和景观多样性。生物多样性和生态系统服务评估是生态系统管理和决策的重要依据,生物多样性和生态系统服务与人类福祉息息相关^[66]。生物多样性通常对生态系统服务产生积极影响。生物多样性不仅可规避生态系统服务退化的风险,而且可以间接地增加人类福祉。而生产生活更直接依赖于生态系统服务的人群(农民、牧民和渔民等),生物多样性损失对其的影响更为剧烈。有研究表明生物多样性、生态系统服务和人类福祉之间存在 2 个联系: 1) 人类发展观。人类利用现有的生态产品和价值来改善人类福祉,这往往导致生态系统服务的下降。2) 保护观。生物多样性是提供人类福祉的基石,保护生物多样性带来生态系统服务的改善,从而提高人类福祉。学者们基于这

一观点进行了一系列研究。有研究使用 DPISR 模型探讨了中国生物多样性、生态系统服务和人类福祉的社会经济影响^[67]。有研究建立了生物多样性资产、生态系统功能、生态系统稳定性和生态系统服务的概念框架。结果表明,生物多样性资产和生态系统服务流影响人类福祉。

生物多样性通过不同空间尺度的多种运行机制与生态系统服务相关联。然而,鉴于生物多样性、生态系统服务和人类福祉之间关系不确定性,生物多样性与生态系统服务和人类福祉之间的联系尚未在全球热点地区进行研究^[68]。

1.2.2.4 可持续发展 可持续发展的最终目的是提高人类福祉^[69]。可持续性科学聚焦于生态系统服务和人类福祉二者的相互关系^[70],并探讨生物多样性、生态系统过程、气候变化、土地利用变化等自然社会经济因素对二者关系的影响。在可持续发展的 17 个目标中,大部分与生态系统服务和人类福祉息息相关^[71]。可持续科学的核心目标是综合考虑生态系统服务、人类福祉和可持续发展。人类和自然系统的适应性、脆弱性和恢复力对可持续发展至关重要,在目前的研究中仍然是一个挑战。在利用生态系统服务与人类福祉的关系来探究可持续发展的研究中,一般使用经济维度,社会维度与环境维度 3 个维度来进行度量,如图 2 所示。

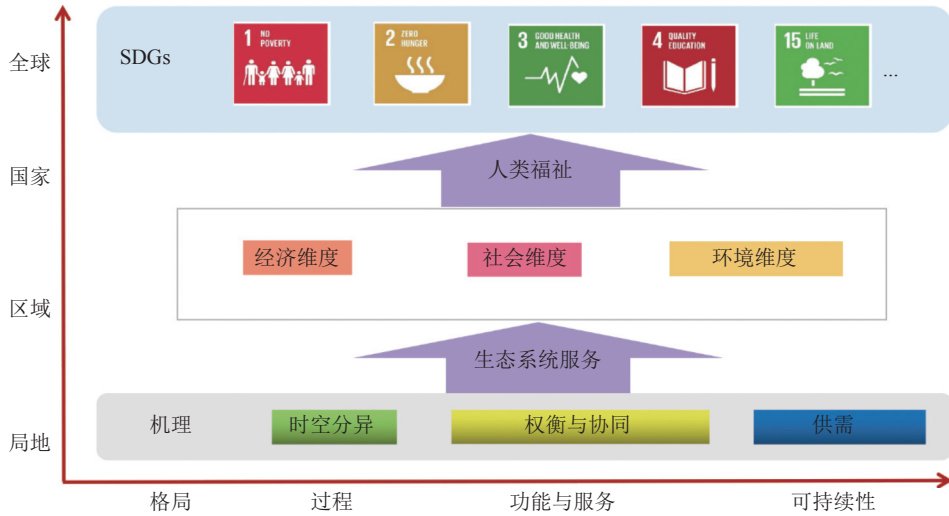


图 2 生态系统服务、人类福祉与可持续发展研究框架

此外, 本文总结了该主题的一些研究局限性. 首先, 许多国家收集和分析数据评估其国内可持续发展进程的变化特征, 但他们没有关注可持续发展目标之间的协同/权衡. 此外, 有研究系统地将联合国可持续发展目标与人类福祉的区域层面进行了比较, 发现人类福祉的区域概念与联合国可持续发展目标之间存在重叠^[72]. 因此, 在实现可持续发展目标时, 需注意区域人类福祉与联合国可持续发展目标之间的相似性与区别. 其次, 可持续发展的进一步研究应侧重于人类福祉与自然系统之间的权衡. 最后, 社会如何引导和管理人类和自然系统向可持续发展的转型, 仍然是亟需解决的核心问题.

1.2.2.5 自然资本 可以定义为直接或间接为人类提供各种生态系统服务的材料或信息的存量^[73]. 自然资本是连接生态系统服务和人类福祉的重要桥梁. 就经济学资本的概念框架而言, 生态系统服务包括在自然资本、建筑资本、人力资本和社会资本 4 类资本系统中. 然而, 自然资本并不能直接转化为人类福祉, 它必须与其他 3 种资本相结合, 产生生态系统服务流. 自然资本在将生态系统服务与人类福祉联系起来方面取得了长足的发展^[74-76]. 自然资本不仅支持地球上的生命系统, 而且将生态系统服务与人类福祉联系起来. 因此, 迫切需要将自然资本的价值纳入重大发展决策.

1.2.3 生态系统服务与人类福祉之间的关系

1.2.3.1 权衡与协同 “权衡”一词最早出现在物理学领域, 用于讨论信号可检测性、准确性、分辨率和背景噪声抑制之间的关系. 从那时起, 越来越多的研究领域引入了权衡来理解事物之间的相互作用关系. 生态系统服务的权衡指代一种服务随着另一种服务的增加而下降. 由于生态系统服务分布多样且分布

不均, 加上人类需求的不同, 人们对生态系统服务的选择也有着不同的偏好. 不同生态系统服务之间的权衡也导致了不同群体人类福祉的权衡. 这种权衡不仅存在于生态系统服务之间, 也存在于生态系统服务的不同受益者之间, 更存在于生态系统服务与人类福祉之间.

现有的权衡/协同研究主要集中在类型和形成机制、研究方法、分析工具、尺度效应和不确定性等方面. 跨学科综合研究是未来生态系统服务与人类福祉权衡/协同研究的重要方向. 同时, 从多角度充分阐明不同尺度的生态系统结构-过程-功能-服务机制, 探索生态系统服务与人类福祉权衡/协同的时空动态及影响因素, 识别其内在机制和可能的关系变化等, 对于促进自然生态系统、社会经济和人类福祉协调发展具有重要意义.

1.2.3.2 供给、需求与消费 生态系统服务消费是指人类生产生活对生态系统服务的消费、利用和占用. 生态系统服务的持续供给是社会和自然可持续发展的基础. 人类消费生态系统服务以满足需求并改善自身福祉. 生态系统服务需求的差异推动了生态系统服务管理的变革. 同时, 生态系统管理调节生态系统服务供给. 此外, 个体从生态系统服务中获得的利益依赖于复杂的传输机制, 涉及物质流、生态系统服务流和价值流, 并且不是自动均匀分布的. 它们的分配和消费会受到市场、社会关系、性别、能力、权利和各种资本的影响. 供需消费机制是生态系统服务向人类福祉转化过程中的关键环节, 决定了生态系统服务对人类的可得性. 科学认识生态系统服务供给、需求和消费与人类福祉之间的关系, 对于协调生态系统服务保护与改善人类福祉具有重要意义.

生态系统服务的供给、需求和消费不是同步的,

它们与人类福祉的关系存在不确定性,因此,许多研究致力于解决这个问题.有研究^[6]探讨了山地-绿洲-沙漠地区生态系统服务供给、社会需求和人类福祉之间的联系,结果表明生态系统服务社会需求的空间分布与生物物理供给并不完全一致,供需双方的因素会导致生态系统服务供需不匹配.也有研究从供需平衡的视角探讨生态系统保护与社会经济发展之间的协调关系,结果表明:过度开垦和城市化虽然暂时

增加了粮食供给和经济效益,但造成了生态系统服务失衡,威胁到生态安全;过度的保护措施忽视了经济成本和居民的生计,威胁到了粮食安全,从而加剧了贫困^[77].因此,明确生态系统服务流的生产、传递和消费过程,深入分析和认识生态系统服务供给和消费的空间特征,对于制定生态补偿政策和保护生态系统功能具有重要意义.根据已有的知识,本文在图 3 中总结了生态系统的供需与消费和人类福祉的关系.

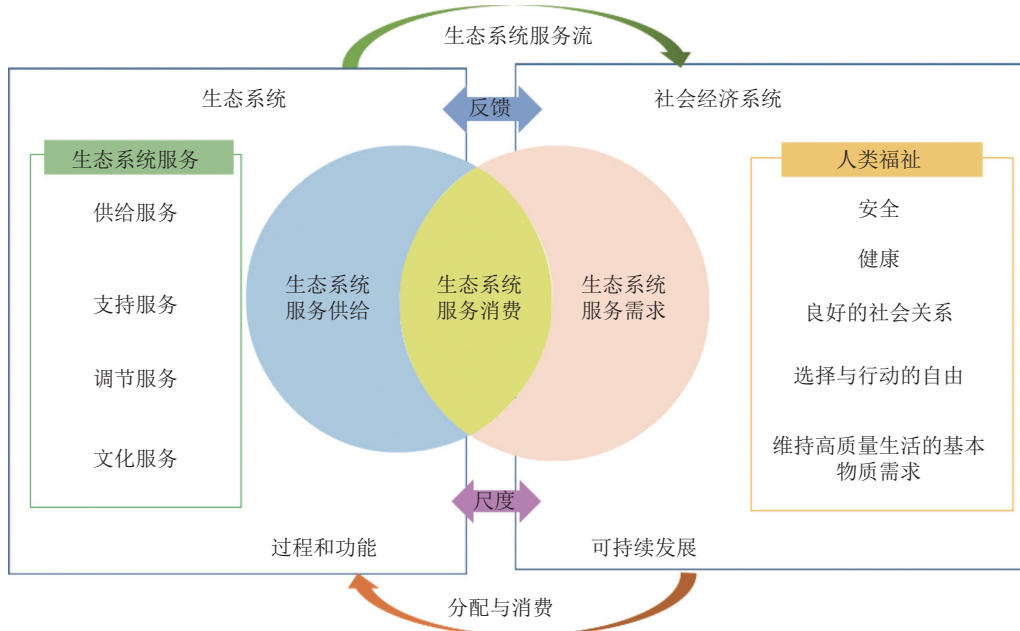


图 3 生态系统服务供需与消费与人类福祉之间的关系

现有研究主要集中在大尺度生态系统服务与主观福祉的关系,而定量研究区域尺度生态系统服务供给、需求、消费与人类福祉的关系和机制应加强.此外,应加强生态系统服务供给、需求和消费的量化研究,加强生态系统服务空间格局研究.例如,在研究区域内,谁在消费生态系统服务,它们在空间上的分布情况,以及福祉的哪些方面得到了改善.

1.2.4 尺度效应 在评估和衡量生态系统服务对人类福祉影响的过程中,尺度是一个重要的分析视角.不同尺度的生态系统服务对不同尺度的利益相关者具有不同的重要性,涉及不同尺度的生态过程.本文总结了此主题中的 4 个尺度议题: 1) 特定尺度的生态系统服务的消费可以由多尺度生态系统供给,特定尺度的供给服务可以由多尺度消费者消费. 2) 一个尺度的权衡/协同效应不适用于另一个尺度. 3) 不同的时间尺度也会对生态系统服务与人类福祉的关系研究产生影响.我们无法根据短期数据得出生态系统服务对人类福祉长期影响趋势. 4) 不同尺度生态系统服务的交互效应将对人类福祉产生重要影响,只关

注一个研究尺度会忽视不同尺度间的交互效应.

因此,生态系统服务对人类福祉的影响只能在特定的尺度上进行科学分析和判断.有研究使用主观福祉指标评估 151 个英国海洋遗址为休闲垂钓者和潜水者提供的福祉,并使用调查和多层线性模型分析区域文化服务和个人特征对流域范围内人类主观福祉的影响^[78].有研究在社区范围内研究了生态系统服务对人类福祉的影响,发现生态系统服务的变化可以从根本上解释人类福祉的变化,尤其是教育和健康福祉的变化^[79].尽管在多个尺度上量化生态系统服务与人类福祉之间的关系仍然具有挑战性,但学者们仍在不懈努力.例如,研究使用空间插值解决人类福祉的降尺度问题^[80].然而,在解决尺度问题时需要权衡国家和地方利益,如基础设施规划和生态保护建设的取舍,对于实际政策制定仍然是一个很大的挑战.此外,不同尺度生态系统服务变化对人类福祉影响的分布和消费机制,尚未得到系统研究.

1.3 LUCC、生态系统服务与人类福祉之间的关系 人类通过改变土地利用的类型、格局和强度来满

足自身需求, 导致生态系统类型、生态系统服务发生变化, 影响物质循环和能量流动等主要生态过程, 进而反作用于人类福祉. LUCC、生态系统服务与人类福祉之间的联系是复杂和多方面的. 影响它们的途径大致可分为 3 种^[81]: 1) 资源系统的变化; 2) 政府系统的变化; 3) 更宽泛的社会、经济、政治制度的变化. 在此基础上, 国内外学者开展了大量研究, 但多集中

在大中尺度 LUCC 对生态系统服务与人类福祉的影响. 虽然有研究表明, 人为干扰的 LUCC(如工业化用地扩张) 对人类福祉的提升有益, 但 LUCC 对人类福祉的影响存在异质性和时滞效应, 不能立即得到响应. 本文基于已有的知识, 构建了 LUCC、生态系统服务与人类福祉三者之间关系研究的框架, 如图 4 所示.

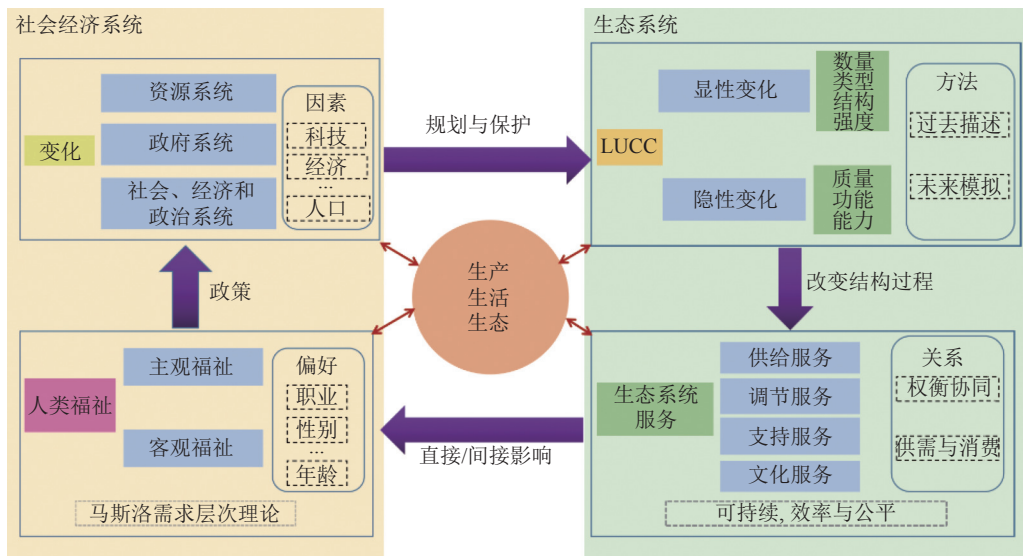


图 4 LUCC、生态系统服务与人类福祉三者之间的关系研究框架

1.3.1 自然资源系统变化 此方面的研究相对较多. 有研究基于 3S 技术, 使用当量因子法和人类福祉指标体系评估法对玛纳斯河流域 2003—2013 年的土地利用变化、生态系统服务、人类福祉进行评估, 并刻画它们之间的关系, 提出了为实现可持续发展, 必须减缓现有土地利用趋势的建议^[82]. 也有研究从多尺度角度着手, 基于土地利用和社会统计数据, 构建了“土地利用强度-生态系统服务-人类福祉”多尺度分析框架, 从县区和乡镇尺度探讨了定西市安定区 1990—2015 年土地利用强度-生态系统服务-人类福祉的时空权衡/协同关系, 结果表明: 研究时间段内安定区土地利用强度-生态系统服务-人类福祉关系变化存在区域整体相似性和乡镇局部差异性; 土地利用强度的增加, 提高了供给服务和生产资料供给福祉, 但弱化了调节和支持服务^[83]. 有研究采用利益转移法评价生态系统服务价值量的变化, 并采用评价指标体系和熵权法评估人类福祉的变化, 最后用耦合协调模型对 LUCC、生态系统服务与人类福祉的耦合协调状态进行分析, 并利用灰色关联法确定参与耦合机制的关键因素^[84].

1.3.2 政府系统变化 此方面大多反映政府政策实行前后三者之间关系的变化. 例如在南水北调中线

水源区, 中国政府实施生态移民前后, 移民安置导致的 LUCC 会影响生态系统服务变化, 从而影响利益相关者的人类福祉变化, 通过人类福祉来判断移民设计方案的正确与否^[85]. Li 等^[85] 将不同空间尺度上的利益相关者分为农户、政府、区域和全球, 通过级联模型和生态系统服务流将不同利益相关者进行剥离, 结果表明: 生态移民降低了农户福祉, 政府需改变生态移民的补贴标准; 对政府而言, 短期投入会带来长期效益; 而下游和全球在短期和长期一直是受益的.

1.3.3 社会、经济政治制度的变化 此方面大部分借助于不同的情景模拟进行评估. Quintas-Soriano 等^[86] 探讨了 4 种 LUCC 情景下对西班牙干旱生态系统提供的 8 项关键服务的社会重要性和脆弱性, 与人类福祉组成部分的联系以及变化的驱动因素, 结果发现, 土地利用类型对生态系统服务的积极影响和消极影响在社会感知上存在显著差异, 2 种截然相反的土地开发模式, 城市开发和自然保护之间的争论凸显了促进土地管理新战略的必要性. 也有研究综合考虑人口、经济和文化因素对内蒙古乌审旗过去 10 年的 LUCC、生态系统服务与人类福祉的影响, 研究结果表明: 2007—2016 年当地牧民家庭人类福祉水平略有提高; 家庭人口因素的变化增强了当地土地利用强度, 导致

生态系统供应能力增加,人类福祉水平提高^[87]。

2 展望

1) 量化研究多时空尺度关联机制。LUCC-生态系统服务-人类福祉的时空关系研究, 需要关注不同尺度(局地、流域、区域、全球)之间的关联以及对生态过程的影响。LUCC、生态系统服务和人类福祉的相互作用关系是随时间和空间尺度的变化而变化的, 目前它们之间的时空耦合机制尚不明晰, 尤其缺乏微观尺度下, 从生物物理过程角度研究 LUCC、生态系统服务与人类福祉复杂关系的内在机制研究。

2) 驱动力精准识别与政策的有效性评估。关于 LUCC、生态系统服务与人类福祉之间驱动力方面的研究有待加强。由于受到多种自然和社会因素的影响, 如气候变化、土地利用变化、生物入侵、政策、技术、经济、人口等, 生态系统服务具有很高的时空变异性。在未来的研究中应尽量选择较小的研究区域, 便于分析土地利用变化的具体驱动因素。因为较大研究区域内的土地利用变化往往由多种政策措施引起, 较小的研究尺度更容易辨析引起特定土地利用变化的驱动因素。关于政府治理与干预措施如何影响生态系统服务供给的可持续性、效率和公平性((efficiency (E), fairness (F), and sustainability (S))的知识研究仍然缺乏。

3) 阐明居民的偏好与感知的影响。在人类福祉中不同群体、不同性别、不同年龄对生态系统服务的偏好和感知尚未与土地利用类型相关联, 且不同主体行为如何影响生态系统服务和影响各利益相关者群体的福祉, 以及这些利益相关者的福祉如何随时间变化, 并对其他区域产生溢出效应等相关的研究较少。特别是在 LUCC、生态系统服务与人类福祉的关系中当地居民对生态系统服务的偏好和感知对三者关系的影响的研究比较少, 然而, 此结果可以帮助理解各种 LUCC 对生态系统服务的恶化或保护所产生的影响, 并有助于政府决策。

4) 关注气候变化的影响。在研究土地利用变化-生态系统服务-人类福祉关系时, 气候变化与土地利用变化在时空上密切相关, 在研究时要注意气候变化对 LUCC-生态系统服务-人类福祉的影响, 特别是气候变化对土地利用隐性变化(土地利用变化速度、土地利用多样性)与生态系统服务的空间关系的影响, 以及气候变化对土地利用变化与无形的生态系统服务之间关系的影响。

3 参考文献

- [1] CAO Y N, KONG L Q, ZHANG L F, et al. The balance between economic development and ecosystem service value in the process of land urbanization: a case study of China's land urbanization from 2000 to 2015[J]. *Land Use Policy*, 2021, 108(2): 105536
- [2] HE C, LIU Z, WU J, et al. Future global urban water scarcity and potential solutions[J]. *Nature Communications*, 2021, 12(1): 4667
- [3] MEA. Ecosystems and human well-being: synthesis[R]/Millennium Ecosystem Assessment. [s.l.]: World Health, 2005, 1134: 25-60
- [4] 张军泽, 王帅, 赵文武, 等. 地球界限概念框架及其研究进展[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(4): 465
- [5] BONGAARTS J. IPBES Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services[J]. *Population and Development Review*, 2019, 45(3): 680
- [6] WEI H J, LIU H M, XU Z H, et al. Linking ecosystem services supply, social demand and human well-being in a typical mountain-oasis-desert area, Xinjiang, China[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 44
- [7] MENGIST W, SOROMESSA T, LEGESE G. Ecosystem services research in mountainous regions: a systematic literature review on current knowledge and research gaps[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 702: 134581
- [8] RIAO D, ZHU X, TONG Z, et al. Study on land use/cover change and ecosystem services in Harbin, China[J]. *Sustainability*, 2020, 12(15): 1
- [9] GOMES E, INACIO M, BOGDZEVIC K, et al. Future land-use changes and its impacts on terrestrial ecosystem services: a review[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 781: 146716
- [10] RICHARDS D R, BELCHER R N, CARRASCO L R, et al. Global variation in contributions to human well-being from urban vegetation ecosystem services[J]. *One Earth*, 2022, 5(5): 522
- [11] 杨武, 陶俊杰, 陆巧玲. 基于生态系统服务视角的人类福祉评估技术方法体系[J]. *生态学报*, 2021, 41(2): 7
- [12] WU J. Linking landscape, land system and design approaches to achieve sustainability[J]. *Journal of Land Use Science*, 2019, 14(2): 173
- [13] CLERICI N, COTE-NAVARRO F, ESCOBEDO F, et al. Spatio-temporal and cumulative effects of land use-land cover and climate change on two ecosystem services in the Colombian Andes[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 685: 1181
- [14] DADE M C, MITCHELL M G E, MCALPINE C A, et al. Assessing ecosystem service trade-offs and synergies: the need for a more mechanistic approach[J]. *Ambio*, 2019, 48(10): 1116
- [15] HOU L, WU F, XIE X. The spatial characteristics and relationships between landscape pattern and ecosystem service value along an urban-rural gradient in Xi'an city, China[J]. *Ecological indicators*, 2020, 108: 105720
- [16] MAES J, PARAXXHINI 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
- [17] FU B J, ZHANG L W, XU Z H, et al. Ecosystem services in changing land use[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15(4): 833
- [18] SANCHIRICO J N, MUMBY P. Mapping ecosystem functions to the valuation of ecosystem services: implications of species-habitat associations for coastal land-use decisions[J]. *Theoretical Ecology*, 2009, 2(2): 67
- [19] ANDREW M E, WULDER M A, NELSON T A, et al. Spatial data, analysis approaches, and information needs for spatial ecosystem service assessments: a review[J]. *GIScience & Remote Sensing*, 2015, 52: 344
- [20] ENGLUND O, BERNDES G, CEDERBERG C. How to analyse ecosystem services in landscapes: a systematic review[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 73: 492
- [21] HUANG A, XU Y, SUN P, et al. Land use/land cover changes and its impact on ecosystem services in ecologically fragile zone: a case study of Zhangjiakou City, Hebei Province, China[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 104: 604
- [22] ESTOQUE R C, MURAYAMA Y. Examining the potential impact of land use/cover changes on the ecosystem services of Baguio City, the Philippines: a scenario-based analysis[J]. *Applied Geography*, 2012, 35(1/2): 316
- [23] LIU B, PAN L, QI Y, et al. Land use and land cover change in the Yellow River basin from 1980 to 2015 and its impact on the ecosystem services[J]. *Land*, 2021, 10(10): 1
- [24] 程晰钰. 南四湖流域生态系统服务功能对土地利用变化的响应研究[J]. *地理科学研究*, 2020, 9(2): 9
- [25] MITCHELL M G E, SUAREZ-CASTRO A F, MARTINEZ-HARMS M, et al. Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2015, 30(4): 190
- [26] RODRÍGUEZ-ECHEVERRY J, ECHEVERRÍA C, OYARZÚN C, et al. Impact of land-use change on biodiversity and ecosystem services in the Chilean temperate forests[J]. *Landscape Ecology*, 2018, 33(3): 439
- [27] LIU L, ZHOU Y P, YIN H K, et al. Improving land use planning through the evaluation of ecosystem services: one case study of Quyang County[J]. *Complexity*, 2021, 2021: 1
- [28] VIGL L E, SCHIRPKE U, TASSER E, et al. Linking long-term landscape dynamics to the multiple interactions among ecosystem services in the European Alps[J]. *Landscape Ecology*, 2016, 31(9): 1903
- [29] BENNETT E M, PETERSON G D, GORDON L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services[J]. *Ecology Letters*, 2009, 12(12): 1394
- [30] LIU C, YANG M, HOU Y, et al. Ecosystem service multifunctionality assessment and coupling coordination analysis with land use and land cover change in China's coastal zones[J]. *Science of the Total Environment*, 2021: 149033
- [31] OTHONIEL B, RUGANI B, HEIJUNGS R, et al. An improved life cycle impact assessment principle for assessing the impact of land use on ecosystem services[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 693: 133374
- [32] CHAUDHARY A, CARRASCO L R, KASTNER T. Linking national wood consumption with global biodiversity and ecosystem service losses[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 586: 985
- [33] PULLANIKKATIL D, MOGRABI P J, PALAMULENI L, et al. Unsustainable trade-offs: provisioning ecosystem services in rapidly changing Likangala River catchment in southern Malawi[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2020, 22(2): 1145
- [34] WILLEMEN L, CROSSMAN N D, QUATRINI S, et al. Identifying ecosystem service hotspots for targeting land degradation neutrality investments in south-eastern Africa[J]. *Journal of Arid Environments*, 2018, 159: 75
- [35] FU Q, LI B, HOU Y, et al. Effects of land use and climate change on ecosystem services in Central Asia's arid regions: a case study in Altay Prefecture, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 607/608: 633
- [36] RIMAL B, SHARMA R, KUNWAR R, et al. Effects of land use and land cover change on ecosystem services in the Koshi River basin, Eastern Nepal[J]. *Ecosystem Services*, 2019, 38: 100963
- [37] COLLARD D. Research on well-being: some advice from Jeremy Bentham[J]. *Philosophy of the Social Sciences*, 2006, 36: 330
- [38] MAHAJAN S K. Human development index: measurements, changes and evolution[C]//Nirma University International Conference on Engineering. Ahmadabad: IEEE, 2014
- [39] NUSSBAUM M, SEN A. The quality of life[M]. Oxford: Clarendon Press, 1993
- [40] DODDS S. Towards a 'science of sustainability': improving the way ecological economics understands human well-being[J]. *Ecological Economics*, 1997, 23(2): 95
- [41] CUMMINS R A, HUNTER B, DAVERN M. The Australian unity wellbeing index: an overview[J]. *SINET*, 2003, 76: 08856729
- [42] STIGLITZ J E, SEN A, FITOUSSI J P. Report by the commission on the measurement of economic performance and social progress[R]. OECD: Commission, 2009
- [43] GIOVANNINI E, HALL J, MORRONE A, et al. A framework to measure the progress of societies[J]. *Revue d'Economie Politique*, 2011, 121(1): 93
- [44] SUMMERS J K, SMITH L M, CASE J L, et al. A review of the elements of human well-being with an emphasis on the contribution of ecosystem services[J]. *AMBIO*, 2012, 41(4): 327
- [45] WOODHOUSE E, HOMEWOOD K M, BEAUCHAMP E, et al. Guiding principles for evaluating the impacts of conservation interventions on human well-being[J].

- Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2015, 370: 1681
- [46] SCHAAFSMA M. Natural environment and human well-being[M]//SCHAAFSMAM. Life on Land. [s.l.]: [s.n.], 2020: 688-699
- [47] COSTANZA R, KUBISZEWSKI I, GIOVANNINI E, et al. Development: time to leave GDP behind[J]. Nature, 2014, 505: 283
- [48] GEORGIAN B, LORAND B. The meaning of physical health in the improvement of the quality of life index[J]. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, 180: 1221
- [49] QADIR U. UN development programme (UNDP). Human Development Report 2015-Work for Human Development[R]//Programme, U. N. D. Human development report 2015, 2015
- [50] WAGNER, CYNTHIA G. The well-being of nations[J]. *Futurist*, 2006, 40(6): 12
- [51] VEMURI A W, COSTANZA R. The role of human, social, built, and natural capital in explaining life satisfaction at the country level: toward a national well-being index (nwi) [J]. *Ecological Economics*, 2006, 58: 119
- [52] BRADBURN N M. The structure of psychological well-being[J]. *Social Service Review*, 1969, 44(3):371
- [53] LAU A L D, CUMMINS R A, MCPHERSON W. An investigation into the cross-cultural equivalence of the personal wellbeing index[J]. *Social Indicators Research*, 2005, 72(3): 403
- [54] DIENER E. the satisfaction with life scale[J]. *Journal of Personality Assessment*, 1985, 49(1): 71
- [55] DIENER E, WIRTZ D, TOV W. New measures of well-being: flourishing and positive and negative feelings[J]. *Social Indicators Research*, 2010, 39: 247
- [56] CUMMINS R A, LAU A, DAVERN M T. Subjective wellbeing homeostasis[M]. Oxford: Oxford University Press, 2013
- [57] BURUŠIĆ J, RIBAR M, RACZ A. To live in material well-being or to trust others more? Standard of living and interpersonal trust as predictors of personal well-being in different age groups[J]. *Ljetopis Socijalnog Rada*, 2014, 21: 189
- [58] HERVAS G, VAZQUEZ C. Construction and validation of a measure of integrative well-being in seven languages: the Pemberton happiness index[J]. *Health & Quality of Life Outcomes*, 2013, 11(1): 66
- [59] ABDALLAH S, THOMPSON S, MICHAELSON J, et al. The happy planet index 2.0: why good lives don't have to cost the earth[M]. [s.l.]: New Economics Foundation, 2009
- [60] SUICH H, HOWE C, MACE G. Ecosystem services and poverty alleviation: a review of the empirical links[J]. *Ecosystem Services*, 2015, 12: 137
- [61] TALLIS H, KAREIVA P, MARVIER M, et al. An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105: 9457
- [62] HUANG Q, YIN D, HE C, et al. Linking ecosystem services and subjective well-being in rapidly urbanizing watersheds: insights from a multilevel linear model[J]. *Ecosystem Services*, 2020, 43: 101106
- [63] BRATMAN G N, ANDERSON C B, BERMAN M G, et al. Nature and mental health: an ecosystem service perspective[J]. *Science Advances*, 2019, 5(7): eaax0903
- [64] NAM K M, SELIN N E, REILLY J M, et al. Measuring welfare loss caused by air pollution in Europe: a cge analysis[J]. *Energy Policy*, 2010, 38: 5059
- [65] MING K. How might contact with nature promote human health? Promising mechanisms and a possible central pathway[J]. *Frontiers in Psychology*, 2015, 6: 1093
- [66] NAEEM S, CHAZDON R, DUFFY J E, et al. Biodiversity and human well-being: an essential link for sustainable development[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2016, 283: 1844
- [67] HOU Y, ZHOU S, BURKHARDA B, et al. Socioeconomic influences on biodiversity, ecosystem services and human well-being: a quantitative application of the dpsir model in Jiangsu, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 490: 1012
- [68] PIRES A P F, AMARAL A G, PADGURSCHI M C G, et al. Biodiversity research still falls short of creating links with ecosystem services and human well-being in a global hotspot[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 34(A): 68
- [69] WU J G. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(6): 999
- [70] ROBERT K W, PARRIS T M, LEISEROWITZ A A. What is sustainable development? Goals, indicators, values, and practice[J]. *Environment Science and Policy for Sustainable Development*, 2005, 47: 8
- [71] WOOD S L R, JONES S K, JOHNSON J A, et al. Distilling the role of ecosystem services in the sustainable development goals[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 29(A): 70
- [72] STERLING E J, PASCUA P, SIGOUIN A, et al. Creating a space for place and multidimensional well-being: lessons learned from localizing the SDGs[J]. *Sustainability Science*, 2020, 15(4): 1129
- [73] SAITO O, KAMIYAMA C, HASHIMOTO S, et al. Co-design of national-scale future scenarios in Japan to predict and assess natural capital and ecosystem services[J]. *Sustainability Science*, 2019, 14(1): 5
- [74] ALBAPATIO D, CARABASSA V, CASTRO H, et al. Social indicators of ecosystem restoration for enhancing human wellbeing[J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2021, 174: 105782
- [75] SMITH A C, HARRISON P A, SOBA M P, et al. How natural capital delivers ecosystem services: A typology derived from a systematic review[J]. *Ecosystem Services*,

- 2017, 26(A): 111
- [76] DAILY G C, OUYANG Z, ZHENG H, et al. Securing natural capital and human well-being[J]. *Applied Economics*, 2013, 33(3): 677
- [77] MIN J, CHONG J, WHC D, et al. Quantifying the supply-demand balance of ecosystem services and identifying its spatial determinants: a case study of ecosystem restoration hotspot in Southwest China[J]. *Ecological Engineering*, 2022, 174: 106472
- [78] BRYCE R, IRVINE K N, CHURCH A, et al. Subjective well-being indicators for large-scale assessment of cultural ecosystem services[J]. *Ecosystem Services*, 2016, 21: 258
- [79] YEE S H. Contributions of ecosystem services to human well-being in Puerto Rico[J]. *Sustainability*, 2020, 12(22): 1
- [80] YEE S H, PAULUKONIS E, BUCK K D. Downscaling a human well-being index for environmental management and environmental justice applications in Puerto Rico[J]. *Applied Geography (Sevenoaks, England)*, 2020, 123: 1
- [81] SCHNEIDER F, LUNDSGAARDHANSEN L M, MYINT W, et al. Sustainable development under competing claims on land: three pathways between land-use changes, ecosystem services and human well-being[J]. *The European Journal of Development Research*, 2020, 32: 316
- [82] WANG X, DONG X, LIU H, et al. Linking land use change, ecosystem services and human well-being: a case study of the Manas River Basin of Xinjiang, China[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 27(A): 113
- [83] 柳冬青, 张金茜, 巩杰, 等. 陇中黄土丘陵区土地利用强度-生态系统服务-人类福祉时空关系研究: 以安定区为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(2): 637
- [84] HU Z, YANG X, YANG J, et al. Linking landscape pattern, ecosystem service value, and human well-being in Xishuangbanna, Southwest China: insights from a coupling coordination model[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2021, 27: e01583
- [85] LI C, ZHENG H, LI S, et al. Impacts of conservation and human development policy across stakeholders and scales[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112: 7396
- [86] QUINTAS-SORIANO C, CASTRO A J, CASTRO H, et al. Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish Drylands[J]. *Land Use Policy*, 2016, 54: 534
- [87] ZHANG J, LI X, BAO T, et al. Linking demographic factors, land use, ecosystem services, and human well-being: insights from an sandy landscape, Uxin in Inner Mongolia, China[J]. *Sustainability*, 2021, 13(9): 1

Relationships among LUCC, ecosystem services and human well-being

DONG Xiaobin LIU Mengxue

(Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China)

Abstract The coupling and feedback loops among changes in land use/cover (LUCC), ecosystem services, and human well-being must be established to address issues such as global change, population growth, and urbanization. Here we summarize such complex relationships between LUCC and ecosystem services, ecosystem services and human well-being, LUCC-ecosystem services and human well-being. Changes in ecosystem services are found to be mainly due to changes in land use type, pattern and intensity. Relationships among LUCC, ecosystem services and human well-being are usually used to address issues on poverty reduction, ecosystem health, biodiversity, sustainable development and natural capital. Future works need to emphasize multi-scale correlation, driving force analysis, ecosystem service preferences to different group characteristics and land use types, impact of climate change on ecosystem services and human well-being.

Keywords land use/cover changes (LUCC); ecosystem services; human well-being; relationships

【责任编辑: 刘先勤】