

# 土地利用/覆盖变化对生态系统服务的影响： 空间尺度视角的研究综述

张宇硕<sup>1,2</sup>, 吴殿廷<sup>2</sup>, 吕晓<sup>3</sup>

(1. 山西财经大学文化旅游学院, 太原 030006; 2. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875;  
3. 东北大学文法学院, 沈阳 110169)

**摘要:** 作为连接自然过程与社会过程的桥梁与纽带, 生态系统服务与人类福祉和可持续发展息息相关。土地利用/覆盖变化(Land Use/Land Cover Change, LUCC)是生态系统服务变化的重要原因之一, 对生态系统服务的影响随着空间尺度的变化而变化。尺度问题一直是LUCC和生态系统服务理论研究与实践管理的重点与难点。系统理解LUCC对生态系统服务影响的尺度特征、尺度差异及尺度关联, 对深入LUCC和生态系统服务的尺度效应研究、协调多层次管理机构的制度决策、缓解生态系统服务稀缺对社会经济发展的限制等具有重要意义。本文从空间尺度切入, 基于国内外不同尺度LUCC对生态系统服务影响的理论研究和实践进展, 总结归纳尺度的概念与内涵, 整理介绍考虑空间尺度的研究框架, 系统梳理LUCC对生态系统服务影响研究中的空间尺度选择、空间尺度特征及空间尺度关联, 评析单一尺度和多尺度研究方法的特点。并提出未来研究中应在构建人文因素与自然因素相结合的研究框架、阐释LUCC对生态系统服务影响的尺度效应、完善LUCC对生态系统服务影响的尺度分析方法等方面开展更深入的研究。

**关键词:** 空间尺度; 土地利用/覆盖变化; 生态系统服务; 影响; 尺度效应

生态系统服务是生态系统形成并维持人类赖以生存的自然环境条件与效用, 为人类直接或间接从生态系统得到的惠益<sup>[1]</sup>。生态系统服务与人类福祉和可持续发展息息相关, 已成为国际地理学、生态学及相关学科研究的前沿和热点<sup>[2-4]</sup>。土地利用/覆盖变化(LUCC)是全球变化与可持续发展研究的重要组成部分。在全球变化背景下, LUCC与生态系统服务之间的关系越来越密切, LUCC对生态系统服务的影响已经得到了证明<sup>[5-7]</sup>。如何通过对LUCC的监测、模拟、预测及决策来实现生态系统服务的可持续发展并应对全球环境变化, 已成为全球范围重点关注的问题。

尺度问题一直是LUCC和生态系统服务研究的重点与难点。近年来, 国内外学者主要关注空间尺度在生态系统服务供需关系、驱动机制、空间治理、人类福祉中的平衡关系。以1997年Costanza等在*Nature*上发表文章作为时间起点, 在Web of Science和CNKI数据库以“ecosystem services”和“scale”为主要关键字进行检索。结果显示, 2002年开始出现相关论文, 截至2019年7月的总发文量为210篇, 其中案例研究类占94%, 综述类占1.4%; 2010年以后快速增长, 发文量最多的为2016年, 共发表39篇。主要经历

收稿日期: 2019-05-30; 修订日期: 2019-08-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771128); 山西省软科学项目(2018041072-6); 山西省高等学校工商管理优势学科攀升计划项目(晋教研[2018]4号)

作者简介: 张宇硕(1985-), 女, 山西忻州人, 博士, 讲师, 研究方向为土地利用/覆盖变化及其生态效应。

E-mail: zys1008.hi@163.com

了以下发展过程：评估景观、流域、农场等单一尺度的生态系统服务、反思研究尺度与治理尺度的空间错位所引起的研究结果的不确定性和局限性、分析不同尺度LUCC对生态系统服务的影响过程与机制<sup>[8,9]</sup>、从利益主体视角阐释土地规划或土地政策制度对生态系统服务的多尺度影响<sup>[10]</sup>、评价制度或政策在人类需求与生态系统服务供给关系中的跨尺度作用<sup>[11,12]</sup>。研究内容从土地类型、数量、强度、格局变化对生态系统服务时空差异的影响<sup>[13]</sup>，发展到对生态系统服务空间流动<sup>[14,15]</sup>、供需变化<sup>[16,17]</sup>、权衡关系<sup>[18,19]</sup>等的影响，越来越重视生态系统服务概念和方法在土地利用规划研究与实践中的作用<sup>[20]</sup>。研究对象已由较多针对供给服务发展为综合关注多种生态系统服务。研究尺度从全球、国家、省域等大中尺度拓展到社区、乡镇、村落、城市绿色空间等小尺度，由单一尺度发展到多尺度比较和跨尺度关联研究<sup>[21,22]</sup>。然而，从理论上探讨研究框架和范式的仍然较少。

生态系统服务的形成依赖于一定时间和空间尺度上的生态系统结构和过程，只有在特定的时空尺度上才能表现其显著的作用<sup>[23]</sup>。LUCC对生态系统服务的影响会随尺度发生变化，即使是同一变化过程，不同尺度上对生态系统服务的影响也不尽相同<sup>[24]</sup>。LUCC对生态系统服务影响的尺度效应源于空间异质性、要素复杂性及系统等级性与层次性<sup>[25]</sup>。不同学科领域对尺度的概念界定、选择依据、分析方法及实践应用存在较大差别。本文基于国内外不同空间尺度的理论研究与实践进展，归纳尺度的概念与内涵；介绍LUCC对生态系统服务影响的分析框架；梳理LUCC对生态系统服务影响研究中的空间尺度选择、尺度特征及尺度关联特征，以说明已有研究主要选择哪些尺度，这些尺度上的空间特征如何，不同尺度之间存在怎样的关系；从空间尺度视角评析LUCC对生态系统服务影响的研究方法；提出未来研究中应关注的主要问题，以期为深化LUCC与生态系统服务的理论研究与实践指导提供参考依据。

## 1 LUCC对生态系统服务影响的尺度概念与框架

### 1.1 尺度概念与内涵

LUCC对生态系统服务影响的尺度研究涉及生态系统尺度、人文系统尺度、地理空间尺度等，涵盖了自然、社会、生态、经济、文化等系统，需要集成地理学、生态学、环境科学等多学科进行交叉研究。因此，理解空间尺度在不同学科领域中的概念与内涵，是开展LUCC对生态系统服务影响研究的重要前提和基础。

空间尺度是研究对象和过程在空间上的表征<sup>[26]</sup>，地理学研究空间现象或过程必须明确空间尺度。地理学对LUCC和生态系统服务的尺度概念侧重于从空间视角揭示其区域差异性和空间依赖性。然而，不同分支学科对空间尺度的概念理解又不相同（表1）。生态学中的尺度概念更加多样化，不同研究视角对生态系统服务尺度概念的理解不同（表2）。吕一河等<sup>[32]</sup>对生态学中的尺度概念、尺度分析及尺度转换进行了系统阐释。将尺度分为本征尺度和量测尺度，并指出尺度研究的根本目的是通过选择适宜的量测尺度来揭示本征尺度中的规律性。本征尺度属于研究对象范畴，而量测尺度隶属方法论范畴。量测尺度主要包括幅度（Extent）和粒度（Grain）。Wu等<sup>[33]</sup>提出了生态学尺度的三重概念：维数（dimensions）、种类（kinds）和组分（components），张娜<sup>[34]</sup>进一步对每重概念的尺度含义进行了分类与解释。作为与土地利用/覆盖和生态系统服务最为密切的学科领域，土地变化科学与景观生态学主要采用幅度和粒度来表征尺度<sup>[35,36]</sup>。千年生态系统评估（Mil-

表1 地理学对空间尺度的概念界定

Table 1 The definition of spatial scale in geography

学科领域	空间尺度概念
地图学	地图影像距离与实际对应距离之间的关系, 即比例尺 <sup>[27]</sup>
遥感科学	最小空间分辨率单元 <sup>[28]</sup>
自然地理学	对不同空间尺度或层次的区分主要来自于系统论观点, 对尺度的界定通常与自然地理现象的空间范围即自然地理系统的规模和边界相联系 <sup>[29]</sup>
人文地理学	对尺度的内涵存在两种代表性观点, 一种是把尺度作为一种真实的物质性存在, 另外一种是把尺度作为表达人类对世界理解的一种方式 <sup>[30]</sup> 。空间尺度通常指行政等级单元, 包括全球、国家、城市、县域、社区、街道、家庭等 <sup>[31]</sup>

表2 生态学中与空间尺度相关的术语及其概念<sup>[27-29,31]</sup>

Table 2 The terms related to spatial scale and their definitions

空间尺度术语	空间尺度概念
尺度	研究对象或现象在空间和时间上所涉及的范围和发生的频率(研究过程或现象的特征角度); 或者用于收集和处理的单元(研究者角度)
本征尺度	自然要素独立于人类控制之外的固有属性
量测尺度	用来测量过程和格局的一种感知尺度
幅度	研究区域的空间范围
粒度	粒度是指景观中最小可辨识单元所代表的特征长度、面积或体积
维数	包括时空尺度和组织尺度
种类	包括现象(phenomenon)尺度、观测(observational)尺度、分析(analysis)或模拟(modeling)尺度
组分	包括粒度(grain)、幅度(extent)、间隔(lag或spacing)、分辨率(resolution)、比例尺(cartographic scale)、支撑(support)和覆盖度(coverage)等
组织尺度	由生态、社会等系统中组织层次的等级, 如种群、家庭等
时空尺度	在观察或研究某一物体或过程时所采用的空间或时间单位, 同时又可指某一现象或过程在空间和时间上所涉及到的范围

lennium Ecosystem Assessment, MA) 将生态系统服务的空间尺度界定为观测、分析或过程所涉及的空间幅度<sup>[7]</sup>。

根据上述概念界定, 生态学中的大尺度(coarse scale)指大空间范围, 往往对应于地理学或地图学中的小比例尺和低分辨率。小尺度(fine scale)则常指小空间范围, 往往对应于地理学或地图学中的大比例尺和高分辨率<sup>[35]</sup>。通常大空间尺度(幅度)对最小单元(粒度)的分辨率要求较小, 但往往容易遗漏局部细节信息。小空间尺度对最小单元的空间分辨率要求较高, 但容易忽视那些更大尺度上的变化所带来的跨尺度影响。随着不同学科领域在LUCC对生态系统服务影响研究中的交叉与融合, 需要对空间尺度的概念及其相关术语进行规范与统一。

## 1.2 尺度研究框架

为深入理解LUCC对生态系统服务影响的尺度效应, 国内外已有学者从不同视角构建了相关理论模型与研究框架。

千年生态系统评估构建了一个间接驱动力—直接驱动力—生态系统服务—人类福祉的多尺度概念框架(图1), 将局地尺度LUCC作为生态系统服务变化的直接驱动因素之一, 并强调该过程在局地、区域、全球的尺度传递作用<sup>[37]</sup>。该框架为不同尺度LUCC、

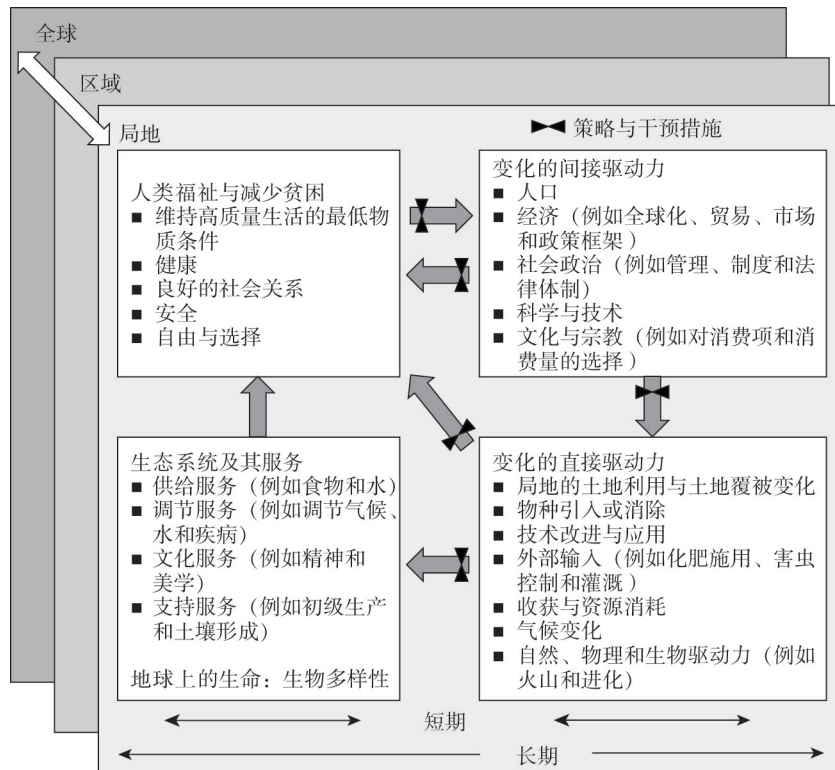


图1 千年生态系统评估的概念框架<sup>[7]</sup>

Fig. 1 The conceptual framework of million ecosystem assessment <sup>[7]</sup>

生态系统服务和人类福祉的关系研究提供了规范化工具和系统化思路。Burkhard等<sup>[37]</sup>从景观视角提出了多源数据—生态系统服务供给—专家判断—数据建模的链条式概念框架，强调土地利用/覆盖数据和空间尺度识别在生态系统服务评估中的重要性，并通过德国Leipzig-Halle的案例<sup>[37]</sup>分析阐释了LUCC的条件、过程及空间尺度对生态系统服务影响的复杂性。赵文武等<sup>[38]</sup>将景观生态学视角下格局—过程—服务—可持续性的研究范式应用到人地系统耦合研究中，构建了以生态系统服务为核心的人地系统耦合框架。该框架突出生态系统服务机制、效应和调控与人地耦合系统的互馈作用，将土地利用变化作为生态系统服务的重要影响因素与调控手段。李双成等<sup>[39]</sup>基于空间与区域视角提出了土地利用/覆盖—生态系统服务级联框架，强调土地类型、结构及分布与生态系统服务供给和消费、权衡和优化之间的尺度传递与反馈作用。

尺度特征、尺度关联和尺度效应是尺度研究的重要内容，自然和人文因素的交互耦合为LUCC对生态系统服务影响的框架构建提供了重要的切入点。然而，目前研究多从土地资源的自然属性切入，将土地作为生态系统服务的物质提供者。土地利用/覆盖主要被作为生态系统服务变化的影响因素、驱动机制或调控手段，嵌入到以生态系统服务和人类福祉为主的框架中。对LUCC所蕴含的社会人文因素对生态系统服务的影响仍然关注较少，对制度政策、行为主体认知及社会经济需求在生态系统服务中的驱动作用仍有待深入阐释。

## 2 LUCC对生态系统服务影响的尺度特征

### 2.1 空间尺度选择

空间尺度的选择不仅影响评估结果,还会影响一系列管理决策实施的空间范围和效果。LUCC对生态系统服务影响的尺度既包括LUCC主导的空间范围,又涵盖生态系统服务形成、供给与需求的特征尺度,二者的最佳研究尺度并不总是一致。因此,研究尺度的选择是一个异常复杂的过程。陈睿山等<sup>[36]</sup>指出,土地变化研究中的尺度选择应该以问题为指向,数据为基础。Kasperson等<sup>[40]</sup>提出,生态系统服务研究最常用的尺度选择依据有两种,一种是基于相关过程的经验判断,另一种是与决策制定尺度相对应。所选择的尺度边界应符合系统内部具有明显的反馈作用但与边界外部的相互作用相对微弱的原则<sup>[7]</sup>。

研究尺度的选择通常是基于对研究对象的先验性描述或按照研究惯例预先设定的,具有一定的主观性。目前的尺度选择依据大致可归为两类。一类是以LUCC时空特征或行政管理的空间范围为依据。如,对于以建设用地扩张为主导形式的研究区,通常选择单个城市或城市群为研究尺度<sup>[41]</sup>。另一类是以生态系统服务供给、需求、流动及管理所涉及的空间范围为依据。李双成等<sup>[42]</sup>指出,根据生态系统服务作用的空间范围,可将其空间尺度分为局地尺度、区域尺度和全球尺度三类。

综合LUCC和生态系统服务的空间尺度选择依据、作用范围及尺度依存性特征,可将已有研究中的空间尺度分为全球、区域和局地三类。各尺度的研究区域类型多样,具体研究所选择的幅度和粒度不尽相同(表3)。其中,区域尺度的研究区域类型和数量远多于全球和局地尺度。主要包括以省、市、县(区)为主的行政辖区、以城市群、经济区为主的社会经济功能区、以生物多样性保护为主的生态功能区、按自然条件划分的流域、高原、山地、盆地等自然地理单元。行政辖区属于管理决策尺度,区域内部具有社会经济活动的相似性和管理决策的相对一致性,有利于综合探究人类活动、LUCC、生态系统服务和人类福祉的复杂联动效应。尤其大、中尺度的研究便于将研究结果与高层次机构的政策制定联系起来。社会经济功能区或生态功能区具有系统内要素、结构和功能的连通性,已成为LUCC对生态系统服务影响的重要研究区域。自然地理单元内部的生态系统结构、过程与功能具有联系性、系统性与完整性,有利于揭示LUCC与生态系统服务形成、维持和流动之间的作用机制。确定研究尺度时需要对幅度和粒度加以区分和说明。空间粒度可根据遥感影像分辨率、数据重采样格网大小、最小行政区划单元等划分为不同类型。相对而言,空间幅度更加明确和便于统一。具体研究中选择哪些尺度,还会受到研究问题、研究对象、数据来源、研究方法、决策管理及其尺度依赖性的影响。

目前,由于尺度概念存在学科差异,一些研究在未对幅度和粒度进行说明与区分的情况下就选择其中之一来指代尺度,导致研究结果之间难以进行对比分析,无法满足政策制定需求。另外,大量研究探讨了不同尺度LUCC对生态系统服务的影响,但尚未建立统一的多尺度集成分析框架。此外,不同尺度LUCC、生态系统服务、行政管理层级的耦合关系使LUCC对生态系统服务影响的多尺度特征与尺度关联更加复杂,为尺度效应理论研究与实践管理带来巨大挑战。

表3 不同空间尺度LUCC对生态系统服务影响的文献

Table 3 Papers that are related with the impact of LUCC on ecosystem services at different spatial scales

空间尺度	区域类型	空间幅度	空间粒度	案例区
全球尺度	全球范围	全球	1 km; 300 m	全球 <sup>[43,44]</sup>
区域尺度	行政辖区	国家	1 km×1 km; 10 km×10 km	中国 <sup>[8]</sup> ; 美国 <sup>[45]</sup>
		直辖市	1 km×1 km; 社区	北京市 <sup>[46]</sup> ; 上海市 <sup>[47]</sup>
		省域	30 m; 区县; 市/州/地区	湖南省 <sup>[48]</sup> ; 陕西省 <sup>[49]</sup> ; 贵州省 <sup>[50]</sup>
		地级市	2 km×2 km; 30 m; 20 m	延安市 <sup>[51]</sup> ; 厦门市 <sup>[52]</sup> ; 济南市 <sup>[53]</sup>
		县域	乡镇	定西市安定区 <sup>[22]</sup>
		乡镇	3 m×3 m	宜兴市官林镇 <sup>[54]</sup>
		功能区	城市群	1 km×1 km; 500 m; 地级市; 5 km×5 km; 1 km×1 km; 30 m
	经济区	30 m	关中—天水经济区 <sup>[60]</sup>	
	经济带	区县	长江中游经济带 <sup>[61]</sup>	
	农业区	1 km×1 km	黄淮海平原 <sup>[62]</sup>	
	自然保护区	30 m; 150 m	甘肃省白龙江流域保护区 <sup>[63]</sup> ; 额尔比尔湖湿地保护区 <sup>[64]</sup>	
	生态保育区	30 m; 斑块	新疆克里雅绿洲 <sup>[65]</sup> ; 西班牙 Donana 湿地 <sup>[66]</sup>	
	自然单元	流域	25 km×25 km; 区县; 0.1 km×0.1 km	欧洲河流河岸地区 <sup>[67]</sup> ; 延河流域 <sup>[68]</sup> ; 南京市九乡河流域 <sup>[69]</sup>
高原		5 km×5 km; 30 m	陕北黄土高原 <sup>[70]</sup> ; 若尔盖高原 <sup>[71]</sup>	
山地		1 km×1 km	黔桂喀斯特山地 <sup>[72]</sup>	
局地尺度	局地范围	市辖区	斑块	天津滨海新区 <sup>[43]</sup>
		子流域	5 km×5 km	黑河中游 <sup>[73]</sup>
		村落	斑块	西安市马家村和火箭村 <sup>[74]</sup>

## 2.2 空间尺度特征

不同空间尺度的土地利用/覆盖状况、行为主体对LUCC与生态系统服务关系的认知水平、组织机构的决策管理模式等存在较大差异。LUCC对生态系统服务影响的过程、方式、机制等存在较大尺度差异。国内外学者已从全球、区域和局地尺度进行了大量研究。

全球尺度上，侧重于探讨人造地表、林地、耕地、湿地的变化监测与土壤过程、气候变化、生物多样性之间的关系，进而对全球变化进行情景分析和预测<sup>[75]</sup>。Brown<sup>[76]</sup>对全球生态系统服务的社会价值与土地类型间的空间关系进行研究，发现最高生态系统服务社会价值的频数与森林覆盖密切相关；Kobayashi等<sup>[77]</sup>发现，全球尺度的采矿业发展对生物多样性造成了巨大压力；Turner等<sup>[78]</sup>指出，全球尺度土地退化和修复对生态系统服务影响研究的数据和模型已十分丰富，但对现实问题的解释能力依然较低。跨学科研究、多尺度融合及突出人文因素的作用在未来研究需要突破的难题。

区域尺度上，主要揭示LUCC对关键生态系统服务分布与变化的影响，开发适宜区域发展的土地与生态决策的支持工具<sup>[79]</sup>。国内外学者已对中国<sup>[80]</sup>、美国<sup>[45]</sup>、英国<sup>[81]</sup>、德国<sup>[37]</sup>、丹麦<sup>[82]</sup>等国家进行了研究，为国家尺度上土地与生态系统的可持续发展战略提供决策工具。自然条件、生计方式和生态认知的区域差异使LUCC的强度、方向和模式存

在结构性差异。即使同属区域尺度,不同研究区LUCC对生态系统服务影响的研究焦点也明显不同。以农业活动密集区、城镇化密集区和生态保育区为例。(1)农业活动密集区主要关注农田扩张、缩减或废弃对生态系统服务的影响。Quintas-Soriano等<sup>[83]</sup>对西班牙东南部农业地区研究发现,大规模温室大棚建设导致农田面积骤减,为水质调节和农业活动传承带来明显的负面影响;Zorrilla-Miras等<sup>[66]</sup>研究发现,西班牙西南部的农田扩张导致70%的沼泽湿地被占用,引发调节服务和文化服务剧烈下降。(2)城市群区域主要关注快速城镇化区域城市扩张对生态系统服务的影响,同时越来越重视生态用地变化与城市扩张或收缩的交互影响<sup>[84]</sup>。Haas等<sup>[85]</sup>研究发现,1990—2010年京津冀、长三角、珠三角城市群城市用地分别增长了约0.4倍、1倍和0.8倍,导致生态系统服务价值分别损失90.5亿元人民币、83.5亿元人民币和12.4亿元人民币;Zhang等<sup>[59]</sup>对环渤海的辽东半岛、京津冀、山东半岛城市群对比研究发现,2000—2010年间辽东半岛盘锦湿地自然保护区的湿地恢复缓解了城市扩张引起的生态系统服务下降,而京津冀和山东半岛分别受港口和工业建设、盐田和水产养殖扩张的影响,加剧了城市扩张对区域生态系统服务的负面影响。(3)生态保育区主要关注生态系统服务的时空变化、人类活动干扰对生态系统服务的影响。李哲等<sup>[86]</sup>对艾比湖湿地自然保护区研究发现,流域中游的水利工程建设、引水灌溉使流域水域面积萎缩,防风固沙能力下降;Zhang等<sup>[64]</sup>对额尔比湖湿地国家自然保护区研究发现,1972—2030年间水域、裸地和荒地均将呈现缩减趋势,保护区的生态系统服务将以年均50.89%的速率下降。

局地尺度上,LUCC对生态系统服务的影响最为直接和明显。局地行为主体通过利用和调整土地资源所提供的产品和服务维持生计,生计方式的多样化与演变使居民点用地模式、耕地经营管理模式、土地流转等发生显著的区域分化<sup>[87,88]</sup>。对更大尺度的生态感知、行为差异、选择偏好等产生重要影响。赵雪雁<sup>[89]</sup>指出,生计转型所引起的土地利用变化是农户适应社会、经济、制度变化所作决策的表现,应构建二者的共生关系框架,进一步揭示农户决策与生态系统服务的驱动—反馈机制。局地尺度农户生计、土地利用、生态系统服务之间存在紧密的耦合关系,但目前主要关注农户生计与土地利用之间的驱动或响应关系,对于三者之间的连锁效应和驱动机制有待进一步探索。

### 2.3 空间尺度关联

LUCC对生态系统服务影响的尺度特征不仅表现在单一尺度上,还表现在不同尺度之间的空间关联上。某一尺度LUCC对生态系统服务的影响过程通常与其他尺度存在关联。一方面,局地尺度土地利用状况不仅取决于当地的人类活动与决策措施,也受到国家生态政策、全球气候变化甚至全球贸易市场的影响。另一方面,LUCC对生态系统服务的直接影响通常发生在局地或微观尺度,这些变化可能会以累积性或系统性的方式在更大尺度上产生影响。尤其是那些不可逆转的影响,如生物多样性破坏和土地退化<sup>[90]</sup>。

其次,行政体系的等级性使LUCC对生态系统服务影响的尺度问题更加复杂<sup>[91]</sup>。不同等级层次的管理决策在实施过程中往往被采取一刀切的方式,甚至出现不同等级行政单元之间的决策存在矛盾的现象,引起生态系统服务管理中的政策冲突。社会系统和生态系统各有自己的等级序列与特征尺度,已有研究将制度层次和生态尺度的空间范围及其相互关系表示在一个共享纵轴上(图2)。政治或社会经济系统内部的行政等级体系之间存在相互作用,生态和环境系统内部的要素或空间范围之间存在尺度关联,具体研究

中还需要考虑两个系统、不同尺度之间的相互影响及对应关系。

再者，任何单一尺度都会受到其他尺度社会因素、经济因素或决策因素的交互影响<sup>[93]</sup>。人口、教育、信息技术、城市化、经济水平等社会经济因素越来越呈现区域差异性与多元化，不同利益主体对生态系统服务的选择偏好存在显著的尺度差异<sup>[38]</sup>。这些因素属于不受决策者控制的外部驱动因素，会通过激发不同等级行政体系的土地决策而对生态系统服务产生跨尺度影响。因此，在决策时要综合考虑这些因素的作用。

LUCC对生态系统服务的影响尚缺乏稳定的尺度关联规则。即使同一生态系统服务，在LUCC影响下，在不同尺度上的变化方向、速率或空间特征也不尽相同。既可能呈现规律性，也可能是不确定性。以中国、京津冀风沙源区、张家口市三个尺度的水土保持服务为例。1999年以来中国政府在国家尺度上实施了退耕还林还草、天然林保护、京津冀风沙治理等一系列生态工程，通过恢复和增加生态用地的方式促进了全国水土保持服务的提升<sup>[94]</sup>。Jiang等<sup>[12]</sup>对京津冀风沙源区的研究表明，2000—2010年林地和灌丛地分别增加了0.1%和0.3%，土壤保持和水文调节服务均呈波动式轻微增长趋势。Huang等<sup>[95]</sup>对处于京津冀风沙源区的张家口市研究发现，2000—2015年园地和林地分别增加了13.1%和20.4%，土壤保持和防风固沙分别增加了24.5%和2%。可以看出，生态恢复工程对国家、生态脆弱区、市域三个尺度的水土保持服务起到不同程度的促进作用。与此不同的是，局地或更小尺度上土地利用变化对生态系统服务的影响不一定会以相同方向或相似程度表现在区域或更大尺度上。以水质调节为例。Fedele等<sup>[96]</sup>对印度尼西亚西加里曼丹岛的一项研究表明，森林转换为橡胶林促使景观尺度的水质调节明显下降，并推测，当橡胶林对当地居民的生计贡献达到一定程度时，这种负面影响将会扩大到区域或更大尺度。然而，根据Qiu等<sup>[97]</sup>的研究，不同尺度上生态系统服务的主导驱动因素不同，局地或更小尺度上养分循环和肥料使用等“地下因素（belowground drivers）”是影响生态系统服务的主导影响因素，但在区域尺度上土地利用变化等“地上因素（aboveground drivers）”成为主导因素；同时指出，在区域尺度上通过积极的管理决策、土地利用转换、技术进步等手段增加土壤养分储存能力，能够缓解局地橡胶林种植引起的水质调节服务下降；并强调，对局地尺度有效的管理决策不一定适宜区域和国家尺度。

### 3 考虑空间尺度的研究方法

掌握LUCC对生态系统服务影响的空间尺度研究方法是探索尺度效应的基础。在GIS与遥感技术的支持下，国内外学者已从单一尺度分析、多尺度分析、尺度转换等方法上进行了大量有意义的探索。

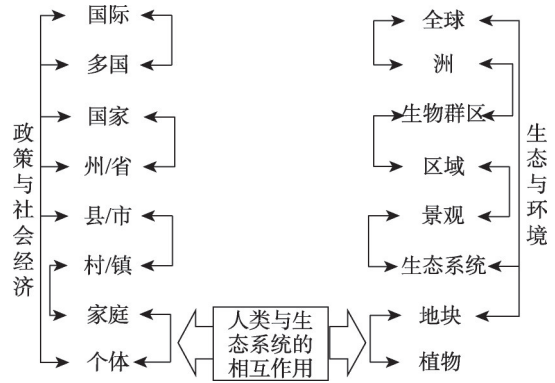


图2 政治与社会经济系统和生态与环境系统的尺度及对应关系<sup>[92]</sup>

Fig. 2 The scale of physical-ecosystem, social economic system and its corresponding relation<sup>[92]</sup>



(1) 单一尺度的研究方法主要用于揭示LUCC对生态系统服务时空变化的影响机制。根据所采用的数据和模型可归为三类：① 生态系统服务价值量法。其中应用最为广泛的是基于单位面积价值当量因子的方法。该方法不需要进行复杂的模型计算，主要利用土地利用/覆盖数据和生态系统服务当量，在生态系统服务评估结果的基础上，分析LUCC对生态系统服务时空格局的影响。然而，该方法用土地类型来代替生态系统类型，土地数据的分类精度与空间分辨率会直接影响生态系统服务的评估结果，生态系统服务格局与过程更多反映的是LUCC的空间特征。另一类是基于单位服务功能价格的方法。通过将机会成本法、影子价格法、替代工程法等引入生态系统服务评估中，探讨LUCC对生态系统服务的影响机制。价值量法可以从经济价值视角为生态补偿和生态支付意愿研究提供科学依据。② 生态系统服务物质质量法。该方法以生态系统过程和功能为依据，利用土地调查数据、遥感数据、社会经济统计数据及生态监测数据等，采用定量估算、生物物理模型模拟、情景预测等方法，评估LUCC对生态系统服务的影响。采用的模型主要包括InVEST、MIMES、SoIVES、ARIES、UFORE和MIMES等。Lautenbach等<sup>[98]</sup>利用多时段土地调查数据、高分辨率遥感数据、统计数据及专家知识，构建了水质净化、授粉、户外游憩等生态系统服务模型，对LUCC引发生态系统服务退化的原因进行了探究。物质质量法主要从生态系统视角对生态系统服务变化进行评估和预测，对土地分类精度和空间分辨率要求较高。③ 相关分析、回归分析等统计学方法。相关分析法主要通过对LUCC的量化指标与生态系统服务估算结果的相关系数分析来确立二者之间的关系<sup>[99]</sup>。相关分析法可以确定LUCC与生态系统服务的相关程度，但难以揭示其内在机制。回归分析法通过构建影响生态系统服务的综合指标体系，并选择回归模型来量化和分析综合因素对生态系统服务的影响<sup>[100]</sup>。已采用的回归模型包括线性回归、Logistic回归、多项式回归、经验回归等。

(2) 多尺度分析法主要用于研究LUCC对生态系统服务影响的尺度关联，是尺度效应分析的基础。该方法便于将某一尺度的问题反映到其他尺度的分析和结论中，不仅有助于纠正单一尺度所不可避免的偏误，而且有利于提高多个等级层次决策制定的有效性。多尺度分析需要根据LUCC和生态系统服务作用的空间范围、行为主体层次性、管理机构等级性等选取多个研究尺度，根据相应的尺度特征构建指标体系，对多个尺度研究结果进行对比分析。如，柳冬青等<sup>[101]</sup>比较分析了县区和乡镇两个尺度土地利用强度变化对生态系统服务影响的尺度相似性与差异性。县区尺度采用遥感影像与土地利用强度指标的方法，乡镇尺度采用的是农户调查法。孙泽祥等<sup>[102]</sup>从城市、区域和城市群三个尺度对生态系统服务进行了多尺度分析，采用的方法是将90 m粒度单元外推到以上三个尺度。张宇硕等<sup>[103]</sup>采用空间统计的方法将1 km 网格外推到区县和城市尺度，比较分析了三个尺度生态系统服务的权衡关系。事实上，直接升尺度外推的方法容易忽视景观等级结构、生态系统空间异质性及斑块之间非线性相互作用所带来的影响。

(3) 尺度转换法也被称为尺度推绎 (scaling)，主要用于解决在一种尺度上所得到的研究结果如何推广到另一尺度上的问题。相关学科领域已对尺度转换的理论和方法进行了研究。目前主要包括：地理学中的尺度转换与分析模式<sup>[104,105]</sup>、生态学的尺度转换方法<sup>[32-34]</sup>、GIS支持下的地理空间数据尺度转换方法<sup>[106]</sup>、遥感科学领域的尺度转换方法<sup>[107,108]</sup>等。已得到各学科普遍认同的是，空间尺度转换包括尺度上推 (upscaling) 和尺度下推

(downscaling)。LUCC对生态系统服务影响的尺度上推法可概括为两类。一类是基于相似性原理的推绎方法（如量纲分析和相似性分析法）。另一类是能够将空间格局与尺度联系起来动态模型尺度推绎方法（如简单聚合法、有效参数外推法、空间相互作用模型等）。尺度下推法可分为经验型统计学途径和嵌套动态模型途径两类<sup>[109]</sup>。如，诸多研究通过嵌套式结构模型的方法将IPCC、MA及UNEP的全球情景研究成果缩小到局地尺度，以实现局地情景分析成果的可比性。尽管已有大量数据、方法和模型可供使用，但尺度问题具有多变性、复杂性和非线性，LUCC对生态系统服务影响的尺度效应仍不够清晰。

## 4 未来研究中需要关注的主要问题

### 4.1 系统构建人文因素与自然因素相结合的研究框架

LUCC涵盖自然因素和人文因素的双重作用。社会需求、消费偏好及制度决策等通过对土地利用方式和模式的改变而对生态系统服务供给与管理产生影响。不同尺度个体与群体的认知水平与行为决策发挥着重要作用。行为地理学家认为，将行为变量与其他因素综合能够在决策框架内发现更多的空间行为，有助于增加对问题的解释力和理解力。已有研究表明，土地经营主体对生态系统服务的认知直接影响土地利用的活动与选择，制度过程及组织机构的决策主体在所有层面上起作用且影响着土地与生态系统的利用策略<sup>[110]</sup>。

面对自然要素与人文要素在LUCC对生态系统服务影响中的交互驱动作用，需要将自然地理学、人文地理学、遥感技术与地理信息系统的理论基础和技术手段与生态学的理论模型和方法结合起来，从自然系统、生态系统扩展到经济、社会与文化的人地耦合系统。为此，在已有研究框架基础上，基于LUCC对生态系统服务影响的多尺度关联、多主体参与、多要素驱动提出一个概念框架（图3）。

### 4.2 深入阐释LUCC对生态系统服务影响的尺度效应

尺度问题是地理学的传统核心问题，某一尺度的研究结论对于另一尺度可能存在相似性和有效性，但也可能需要修正<sup>[106]</sup>。对土地利用/覆盖与生态系统格局—过程—服务级联关系的识别、比较及应用研究应该是多尺度的<sup>[111]</sup>。只关注单一尺度容易漏掉尺度之间相互关联的信息，所揭示的影响机制往往存在片面性。多尺度研究需要系统整合和探究尺度概念内涵、尺度选择依据、尺度分析方法，对格局、过程与服务进行多尺度识别与尺度关联分析，深入阐释影响过程和影响机制的尺度依赖性。

已有研究以区域尺度居多，主要原因是，相比全球尺度和局地尺度，特定地区要解决的问题以及决定特定地区LUCC的因素更为宽泛，而且区域尺度的研究结论更易于与决策制定的管理尺度相对应。目前对多个尺度的比较、尺度关联性的分析仍较少。LUCC对生态系统服务的影响具有尺度连续性和传递性，不同尺度之间存在着复杂的嵌套和反馈关系。因此，在关注单一尺度的基础上，还需要重视某一尺度LUCC对其他尺度生态系统服务的影响。此外，研究结果与管理决策的尺度错位不仅使研究结论的实践指导存在局限性，还可能导致空间治理中的环境冲突<sup>[112]</sup>。如，研究尺度的现象和机制是否能够有效反馈到管理尺度的决策制定中？管理尺度的制度与决策是否在局地尺度上具有适宜性和可操作性？都是需要进一步研究的问题。

在多层次决策需求的背景下，需要综合考虑LUCC与生态系统服务在不同空间尺度

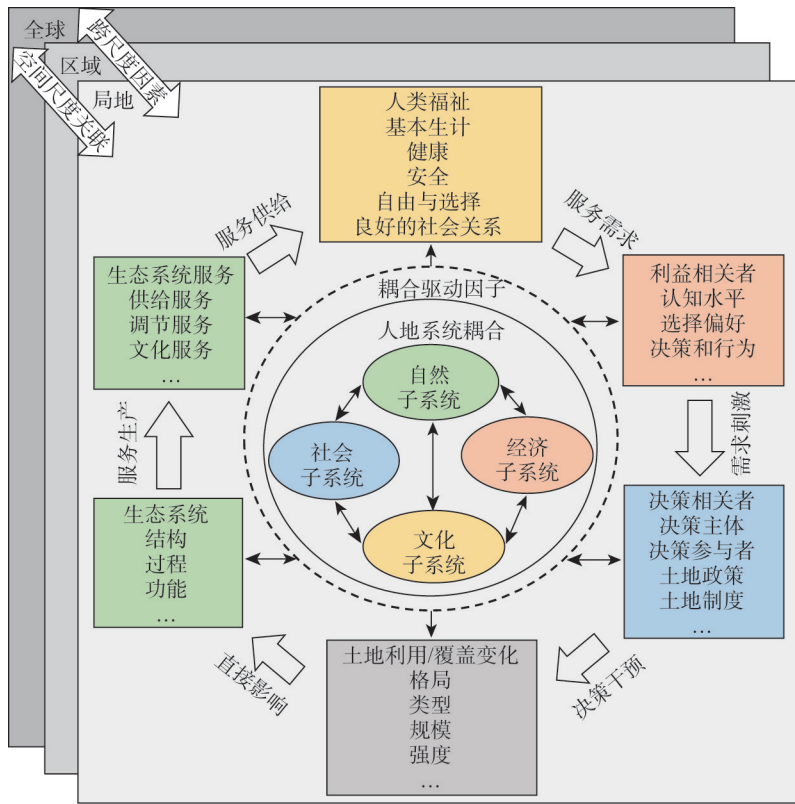


图3 LUCC对生态系统服务影响的概念框架

Fig. 3 Multi-scale conceptual framework for the impact of LUCC on ecosystem services

之间的相互作用、管理尺度与研究尺度的对应关系、跨尺度因素所发挥的间接驱动作用等。通过多尺度比较和尺度关联分析，识别各尺度上的影响机制，比较不同尺度间的相互联系，明晰影响因素的跨尺度作用机制。另外，需要探讨特定的社会—生态系统中LUCC对生态系统服务影响的变异性、弹性及空间阈值，以期为制定有效的多尺度管理决策提供依据。

### 4.3 合理完善LUCC对生态系统服务影响的尺度分析方法

科学有效的尺度分析方法是识别空间尺度特征、明晰尺度关联、分析尺度效应的关键。不同方法对空间格局、过程、机制的分析结果不同，在此基础上得出的结论和调控策略也必然不同。

多尺度方法是一个促进局部、区域和全球尺度研究标准化、统一化的方法，但在数据获取与整合、模型模拟与应用方面仍面临较大挑战。数据方面，需要获取不同尺度上自然、社会、生态系统的观测、遥感、统计、调研、访谈等数据，需对不同格式与分辨率的数据进行整合、融合与同化，使数据的空间粒度、幅度与研究尺度相匹配，提高量化结果的准确性。模型选择上，不同模型具有不同的幅度和粒度适宜性，目前大部分适用于景观和流域尺度<sup>[113]</sup>。数据整合与模型构建是单一空间尺度向多空间尺度转变过程中需要深入探讨的问题。此外，并非所有在多尺度分析中揭示的影响过程与机制都符合要素间实际的组织与结构特征，需要进一步明确哪些尺度的研究结果更加合理。因此，有

必要对两种或两种以上多尺度分析方法的研究结果进行实例比较与理论评估。

尺度转换法为探究尺度效应提供了有效的量化工具。其中明确尺度依赖性因素的尺度推绎规则至关重要。目前,多分辨率、多要素、多时段的遥感与观测数据为格局与过程耦合的尺度推绎提供了数据支撑。然而,对尺度推绎规则的研究仍较少。主要由于LUCC对生态系统服务的影响不仅涉及土地系统、生态系统及社会系统的尺度叠加,还包括格局与过程的尺度耦合。从哪一系统的尺度效应切入,如何将研究尺度与决策尺度进行多尺度集成,都加剧了尺度推绎规则的复杂性。

遥感和地理信息系统技术为LUCC对生态系统服务影响的尺度分析方法提供了海量的数据与有力的分析工具<sup>[14]</sup>,但技术手段与尺度效应及多尺度理论之间的衔接关系仍然较弱。当前,需要构建土地利用/覆盖、生态系统服务、人类福祉的空间尺度分析模型,依托遥感、地理空间数据和技术进行生态系统服务的尺度集成与优化。

## 5 结论

从自然系统到社会—经济—自然复合系统,地理学研究面临的研究对象异常复杂,尺度已成为解析地理格局与过程复杂系统的有效手段。土地利用/覆盖与生态系统服务作为可持续发展研究的核心问题和前沿领域,得到了学术界广泛关注。从空间尺度视角系统理解LUCC对生态系统服务的影响,是促进土地资源与生态系统服务由认知向决策发展的重要途径,是实现可持续发展的现实需求。

国内外学者已开展了从全球到局地尺度的大量研究。然而,LUCC对生态系统服务影响的尺度选择、尺度差异、尺度关联、尺度效应等问题还需要进一步的探讨。首先,地理学、生态学及其分支学科对“尺度”的概念界定尚存在差异与分歧;其次,目前的理论分析框架以生态系统服务为主,LUCC更多地是作为生态系统服务的影响因素、驱动机制或调控手段嵌入到生态系统服务与人类福祉的研究框架中;第三,LUCC对生态系统服务影响的价值量和物理量方法得出的结果难免存在偏差,亟需建立普适性的评估准则;第四,多尺度分析法或尺度转换法在实际应用中均存在明显的不确定性问题,需要建立客观标准进行效果评价。未来,需要在地理学和生态学相关理论与方法的基础上,开展具有土地与生态背景的多部门、多学者合作的跨学科、多尺度综合集成研究,提升研究结论在实践决策中的指导价值。

**致谢:** 本文成文过程中得到西北师范大学地理与环境科学学院赵雪雁教授的指导意见和宝贵建议,在此表示感谢。

## 参考文献(References):

- [1] DAILY G. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D C: Island Press, 1997: 392.
- [2] 傅伯杰,周国逸,白永飞,等. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全. 地球科学进展, 2009, 24(6): 571-576. [FU B J, ZHOU G Y, BAI Y F, et al. The main terrestrial ecosystem services and ecological security in China. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(6): 571-576.]
- [3] 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761. [OUYANG Z Y, ZHU C Q, YANG G B, et al. Gross ecosystem product: Concept, accounting framework and case study. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(21): 6747-6761.]
- [4] COSTANZA R, DE GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environ-*

- mental Change, 2014, 26(1): 152-158.
- [5] SALA O E, CHAPIN F S, ARMESTO J J, et al. Biodiversity: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287(5459): 1770-1774.
- [6] TRIMBLE S W, CROSSON P. U.S. soil erosion rates: Myth and reality. *Science*, 2000, 289(5477): 248-250.
- [7] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Washington D C: Island Press, 2005: 37-39.
- [8] WANG W, GUO H, CHUAI X, et al. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution. *Environmental Science Policy*, 2014, 44: 62-72.
- [9] 王军, 顿耀龙. 土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(5): 798-808. [WANG J, DUN Y L. A review on the effects of land use change on ecosystem services. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(5): 798-808.]
- [10] BENNETT E M, PETERSON G D, GORDON L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 2009, 12(12): 1394-1404.
- [11] WANG J, PENG J, ZHAO M, et al. Significant trade-off for the impact of Grain-for-Green Programme on ecosystem services in Northwestern Yunnan, China. *Science of the Total Environment*, 2017, 574: 57-64.
- [12] JIANG C, NATH R, LABOVSKY L, et al. Integrating ecosystem services into effectiveness assessment of ecological restoration program in Northern China's arid areas: Insights from the Beijing-Tianjin Sandstorm Source Region. *Land Use Policy*, 2018, 75: 201-214.
- [13] 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. *Applied Geography*, 2012, 35: 316-326.
- [14] 王嘉丽, 周伟奇. 生态系统服务流研究进展与趋势展望. *生态学报*, 2018, 39(12): 1-10. [WANG J L, ZHOU W Q. Ecosystem service flows: Recent progress and future perspectives. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 39(12): 1-10.]
- [15] MARIO V B, CARUANA J, ZAMMIT A. Assessing the capacity and flow of ecosystem services in multifunctional landscapes: Evidence of a rural-urban gradient in a Mediterranean small island state. *Land Use Policy*, 2018, 75: 711-725.
- [16] MORRI E, PRUSCINI F, SCOLOZZI R, et al. A forest ecosystem services evaluation at the river basin scale: Supply and demand between coastal areas and upstream lands (Italy). *Ecological Indicators*, 2014, 37: 210-219.
- [17] 马琳, 刘浩, 彭建, 等. 生态系统服务供给和需求研究进展. *地理学报*, 2017, 72(7): 1277-1289. [MA L, LIU H, PENG J, et al. A review of ecosystem services supply and demand. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(7): 1277-1289.]
- [18] QIU J, TURNER M G. Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed. *PNAS* 2013, 110(29): 12149-12154.
- [19] YANG G, GE Y, XUE H, et al. Using ecosystem service bundles to detect trade-offs and synergies across urban-rural complexes. *Landscape Urban Planning*, 2015, 136: 110-121.
- [20] 刘紫玟, 尹丹, 黄庆旭, 等. 生态系统服务在土地利用规划研究和应用中的进展: 基于文献计量和文本分析法. *地理科学进展*, 2019, 38(2): 236-247. [LIU Z W, YIN D, HUANG Q X, et al. Research and application progress of ecosystem services in land use planning: A bibliometric and textual analysis. *Progress in Geography*, 2019, 38(2): 236-247.]
- [21] SCHOLES R J, REYERS B, BIGGS R, et al. Multi-scale and cross-scale assessments of social-ecological systems and their ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(1): 16-25.
- [22] SEPPELT R, LAUTENBACH S, WOLK M. Identifying trade-offs between ecosystem services, land use, and biodiversity: A plea for combining scenario analysis and optimization on different spatial scales. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(5): 458-463.
- [23] 王广成, 李中才. 基于时空尺度及利益关系的生态服务功能. *生态学报*, 2007, 27(11): 4758-4765. [WANG G C, LI Z C. The valuation of ecosystem services based on temporal, spatial and benefit characters. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4758-4765.]
- [24] 罗格平, 张爱娟, 尹昌应, 等. 土地变化多尺度研究进展与展望. *干旱区研究*, 2009, 26(2): 41-47. [LUO G P, ZHANG A J, YIN C Y, et al. Progress and prospects of multi-scale evaluation of land change. *Arid Zone Research*, 2009, 26(2): 41-47.]
- [25] 张永民, 赵士洞. 多尺度评估的贡献及经验教训. *地球科学进展*, 2007, 22(8): 851-856. [ZHANG Y M, ZHAO S D. Contributions and lessons of multiscale assessments. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(8): 851-856.]
- [26] 傅伯杰. 地理学综合研究的途径与方法: 格局与过程耦合. *地理学报*, 2014, 69(8): 1052-1059. [FU B J. The integrated studies of geography: Coupling of patterns and processes. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(8): 1052-1059.]
- [27] 约翰斯顿人文地理学词典. 柴彦威, 蔡运龙, 顾朝林, 等译. 北京: 商务印书馆, 2006: 630-631. [JOHNSTON R J.

- The Dictionary of Human Geography. Translated by CHAI Y W, CAI Y L, GU C L, et al. Beijing: The Commercial Press, 2006: 630-631.]
- [28] 苏理宏, 李小文, 黄裕霞. 遥感尺度问题研究进展. 地球科学进展, 2001, 16(4): 544-548. [SU L H, LI X W, HUANG Y X. An review on scale in remote sensing. *Advances in Earth Science*, 2001, 16(4): 544-548.]
- [29] 倪绍祥, 查勇. 综合自然地理研究有关问题的探讨. 地理研究, 1998, 17(2): 2-7. [NI S X, ZHA Y. A preliminary study on some issues in the study of integrated physical geography. *Geographical Research*, 1998, 17(2): 2-7.]
- [30] 萨拉·霍洛韦, 斯蒂芬·赖斯, 吉尔·瓦伦丁. 当代地理学要义: 概念、思维与方法. 黄润华, 孙颖, 刘清华, 等译. 北京: 商务印书馆, 2008: 182-194. [HOLLOWAY S L, RICE S P, VALENTINE G. *Key Concepts in Geography*. Translated by HUANG R H, SUN Y, LIU Q H, et al. Beijing: The Commercial Press, 2008: 182-194.]
- [31] 周尚意. 区域整体性、区域关联性与因地制宜. 地理教育, 2017, 6(12): 4-6. [ZHOU S Y. Regional integrity, regional relevance and local conditions. *Education of Geography*, 2017, 6(12): 4-6.]
- [32] 吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. 生态学报, 2001, 21(12): 2096-2105. [LYU Y H, FU B J. Ecological scale and scaling. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2096-2105.]
- [33] WU J, LI H. Concepts of scale and Scaling. In: WU J, JONES K B, LI H, et al. *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*. Dordrecht: Springer, 2006: 3-16.
- [34] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法. 生态学报, 2005, 26(7): 2340-2355. [ZHANG N. Scale issues in ecology: Concepts of scale and scale analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 26(7): 2340-2355.]
- [35] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2007: 17. [WU J G. *Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Beijing: Higher Education Press, 2007: 17.]
- [36] 陈睿山, 蔡运龙. 土地变化科学中的尺度问题与解决途径. 地理研究, 2010, 29(7): 1244-1256. [CHEN R S, CAI Y L. Progress in the study of scale issues in land change science. *Geographical Research*, 2010, 29(7): 1244-1256.]
- [37] BURKHARD B, KROLL F, MULLER F. Landscapes' capacities to provide ecosystem services: A concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, 2009, 15(1): 1-12.
- [38] 赵文武, 刘月, 冯强, 等. 人地系统耦合框架下的生态系统服务. 地理科学进展, 2018, 37(1): 139-151. [ZHAO W W, LIU Y, FENG Q, et al. Progress in geography, ecosystem services for coupled human and environment systems. *Progress in Geography*, 2018, 37(1): 139-151.]
- [39] 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. 地理学报, 2014, 69(11): 1628-1639. [LI S C, WANG J, ZHU W B, et al. Research framework of ecosystem services geography from spatial and regional perspectives. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(11): 1628-1639.]
- [40] KASPERSON J X, KASPERSON R E, TURNER B L. *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*. Tokyo: United Nations University Press, 1995: 39-45.
- [41] LONG H, LIU Y, HOU X, et al. Effects of land use transitions due to rapid urbanization on ecosystem services: Implications for urban planning in the new developing area of China. *Habitat International*, 2014, 44: 536-544.
- [42] 李双成, 马程, 王阳, 等. 生态系统服务地理学. 北京: 科学出版社, 2014: 96-97. [LI S C, MA C, WANG Y, et al. *The geography of ecosystem services*. Beijing: Science Press, 2014: 96-97.]
- [43] SONG, X. Global estimates of ecosystem service value and change: Taking into account uncertainties in Satellite-based land cover data. *Ecological Economics*, 2018, 143: 227-235.
- [44] SANNIGRAHI S, BHATT S, RAHMAT S, et al. Estimating global ecosystem service values and its response to land surface dynamics during 1995-2015. *Journal of Environmental Management*, 2018, 223: 115-131.
- [45] LAWLER J J, LEWIS D J, NELSON E, et al. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United States. *PNAS*, 2014, 111(20): 7492-7509.
- [46] PENG J, TIAN L, LIU Y, et al. Ecosystem services response to urbanization in metropolitan areas: Thresholds identification. *Science of the Total Environment*, 2017, 607-608: 706-714.
- [47] SU S, LI D, XIAO R, et al. Spatially non-stationary response of ecosystem service value changes to urbanization in Shanghai, China. *Ecological Indicators*, 2014, 45: 332-339.
- [48] 刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 等. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析: 以湖南省为例. 地理研究, 2015, 34(4): 691-700. [LIU Y Q, LIAO L W, LONG H L, et al. Effects of land use transitions on ecosystem services value: A case study of Hunan province. *Geographical Research*, 2015, 34(4): 691-700.]
- [49] 王萌辉, 白中科, 董潇楠. 基于生态系统服务供需的陕西省土地整治空间分区. 中国土地科学, 2018, 32(11): 75-82. [WANG M H, BAI Z K, DONG X N. Land consolidation zoning in Shaanxi province based on the supply and demand of ecosystem services. *China Land Science*, 2018, 32(11): 75-82.]
- [50] 李正, 王军, 白中科, 等. 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测. 地理科学进展, 2012, 31(5): 577-583. [LI Z, WANG J, BAI Z K, et al. Land use and ecosystem service values and their grey forecast in Guizhou province.

- Progress in Geography, 2012, 31(5): 577-583.]
- [51] 侯孟阳, 姚顺波, 邓元杰, 等. 网格尺度下延安市生态服务价值时空演变格局与分异特征: 基于退耕还林工程的实施背景. 自然资源学报, 2019, 34(3): 539-552. [HOU M Y, YAO S B, DENG Y J, et al. Spatial-temporal evolution pattern and differentiation of ecological service value in Yan'an city at the grid scale based on Sloping Land Conversion Program. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 539-552.]
- [52] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响. 地理学报, 2010, 65(6): 708-714. [SHI L Y, CUI S H, YIN K, et al. The impact of land use/cover change on ecosystem service in Xiamen. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(6): 708-714.]
- [53] 刘金勇, 孔繁花, 尹海伟, 等. 济南市土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1231-1236. [LIU J Y, KONG F H, YIN H W, et al. Land use change and its effects on ecosystem services value in Jinan city of Shandong province, East China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1231-1236.]
- [54] 夏敏, 张子红, 赵炳梓, 等. 快速城镇化地区镇域生态用地变化模拟及其生态系统服务价值响应. 土壤, 2018, 50(5): 1022-1030. [XIA M, ZHANG Z H, ZHAO B Z, et al. Simulation of ecological land changes and corresponding ecosystem service values in rapid urbanization area. Soils, 2018, 50(5): 1022-1030.]
- [55] PENG J, LIU Y, LIU Z, et al. Mapping spatial non-stationarity of human-natural factors associated with agricultural landscape multifunctionality in Beijing-Tianjin-Hebei Region, China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2017, 246: 221-233.
- [56] ZHANG D, HUANG Q, HE C, et al. Impacts of urban expansion on ecosystem services in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration, China: A scenario analysis based on the shared socioeconomic pathways. Resources, Conservation and Recycling, 2017, 125: 115-130.
- [57] 欧维新, 王宏宇, 陶宇. 基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化. 生态学报, 2018, 38(17): 359-369. [OU W X, WANG H Y, TAO Y. A land cover-base assessment of ecosystem services supply and demand dynamics in the Yangtze River Delta Region. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(17): 359-369.]
- [58] ZHOU R, LIN M, GONG J, et al. Spatiotemporal heterogeneity and influencing mechanism of ecosystem services in the Pearl River Delta from the perspective of LUCC. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29: 831-845.
- [59] ZHANG Y, ZHAO L, LIU J, et al. The impact of land cover change on ecosystem service values in urban agglomerations along the coast of the Bohai Rim, China. Sustainability, 2015, 7(8): 10365-10387.
- [60] YANG X, ZHOU Z, LI J, et al. Trade-offs between carbon sequestration, soil retention and water yield in the Guanzhong-Tianshui Economic Region of China. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(10): 1449-1462.
- [61] 刘永强, 龙花楼, 李加林. 长江中游经济带土地利用转型及其生态服务功能交叉敏感性研究. 地理研究, 2018, 37(5): 165-178. [LIU Y Q, LONG H L, LI J L. Study on the land use transition and its cross-sensitivity of ecological service function in the middle of Yangtze River Economic Belt. Geographical Research, 2018, 37(5): 165-178.]
- [62] SONG W, DENG X, YUAN Y, et al. Impact of land-use change on valued ecosystem service in rapidly urbanized North China Plain. Ecological Modelling, 2015, 318: 245-253.
- [63] 幸赞品, 颜长珍, 冯坤, 等. 1975—2015年甘肃省白龙江流域自然保护区生态系统服务价值及其时空差异. 中国沙漠, 2019, 39(3): 172-182. [XIN Z P, YAN C Z, FENG K, et al. Spatial and temporal variation of ecosystem service value in the nature reserves of Bailongjiang Watershed from 1975 to 2015. Journal of Desert Research, 2019, 39(3): 172-182.]
- [64] ZHANG F, YUSHANJIANG A, JING Y. Assessing and predicting changes of the ecosystem service values based on land use/cover change in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China. Science of the Total Environment, 2019, 656: 1133-1144.
- [65] 普拉提·莫合塔尔, 海米提·依米提. 土地利用变化下的生态系统服务敏感性研究: 以克里雅绿洲为例. 自然资源学报, 2014, 29(11): 1849-1858. [PULATI M, HAIMITI Y. Ecosystem services sensitivity to land-use change: A case study of the Keriya Oasis. Journal of Natural Resources, 2014, 29(11): 1849-1858.]
- [66] ZORRILLA-MIRAS P, PALOMO I, GOMEZ-BAGGETHUN E, et al. Effects of land-use change on wetland ecosystem services: A case study in the Doñana marshes (SW Spain). Landscape and Urban Planning, 2014, 122: 160-174.
- [67] CLERICI N, PARACCHINI M L, MAES J. Land-cover change dynamics and insights into ecosystem services in European stream riparian zones. Ecohydrology & Hydrobiology, 2014, 14(2): 107-120.
- [68] SU C, FU B, HE C, et al. Variation of ecosystem services and human activities: A case study in the Yanhe Watershed of China. Acta Oecologica, 2012, 44: 46-57.
- [69] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化对流域生态系统服务价值空间异质性的影响: 以南京市九乡河流域为例. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1715-1725. [HU H B, LIU H Y, HAO J F, et al. Effects of urbanization on the spatial heterogeneity of watershed ecosystem services value: A case study of Jiuxiang River Watershed in Nanjing city. Journal of Natu-

- ral Resources, 2011, 26(10): 1715-1725.]
- [70] 傅微, 吕一河, 傅伯杰, 等. 陕北黄土高原典型人类活动影响下景观生态风险评价. 生态与农村环境学报, 2019, 35(3): 290-299. [FU W, LYU Y H, FU B J, et al. Landscape ecological risk assessment under the influence of typical human activities in Loess Plateau, Northern Shaanxi. Journal of Ecology and Rural Environment, 2019, 35(3): 290-299.]
- [71] 李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等. 若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2010, 31(12): 3451-3459. [LI J C, WANG W L, HU G Y, et al. Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2010, 31(12): 3451-3459.]
- [72] 尚二萍, 许尔琪. 黔桂喀斯特山地主要生态系统服务时空变化. 资源科学, 2017, 39(10): 2000-2015. [SHANG E P, XU E Q. Temporal and spatial variation of main ecosystem services in Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region. Resources Science, 2017, 39(10): 2000-2015.]
- [73] 王雅, 蒙古军. 黑河中游土地利用变化对生态系统服务的影响. 干旱区研究, 2017, 34(1): 200-207. [WANG Y, MENG J J. Effects of land use change on ecosystem services in the middle reaches of the Heihe River Basin. Arid Zone Research, 2017, 34(1): 200-207.]
- [74] 任婷婷, 周忠学. 农业结构转型对生态系统服务与人类福祉的影响研究: 以西安都市圈两种农业类型为例. 生态学报, 2019, 39(7): 2-13. [REN T T, ZHOU Z X. Influence of agricultural structure transformation on ecosystem services and human well-being: Case study in Xi'an Metropolitan area. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7): 2-13.]
- [75] SETO K C, GUNERALP B, HUTYRA L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. PNAS, 2012, 109(40): 16083-16088.
- [76] BROWN G. The relationship between social values for ecosystem services and global land cover: An empirical analysis. Ecosystem Services, 2013, 5: 58-68.
- [77] KOBAYASHI H, WATANDO H, KAKIMOTO M. A global extent site-level analysis of land cover and protected area overlap with mining activities as an indicator of biodiversity pressure. Journal of Cleaner Production, 2014, 84: 459-468.
- [78] TURNER K G, ANDERSON S, GONZALES-CHANG M, et al. A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration. Ecological Modelling, 2016, 319: 190-207.
- [79] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446. [FU B J, ZHANG L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress. Progress in Geography, 2014, 33(4): 441-446.]
- [80] 欧阳志云, 徐卫华, 肖焱, 等. 中国生态系统格局、质量、服务与演变. 北京: 科学出版社, 2017: 35-54. [OUYANG Z Y, XU W H, XIAO Y, et al. China's Ecosystem Pattern, Quality, Service and Evolution. Beijing: Science Press, 2017: 35-54.]
- [81] EIGENBROD F, BELL V A, DAVIES H N, et al. The impact of projected increases in urbanization on ecosystem services. Proceedings: Biological Sciences, 2011, 278(1722): 3201-3208.
- [82] 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.
- [83] 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. Land Use Policy, 2016, 54: 534-548.
- [84] 吴康, 李耀川. 收缩情境下城市土地利用及其生态系统服务的研究进展. 自然资源学报, 2019, 34(5): 1121-1134. [WU K, LI Y C. Research progress of urban land use and its ecosystem services in the context of urban shrinkage. Journal of Natural Resources, 2019, 34(5): 1121-1134.]
- [85] HAAS J, BAN Y. Urban growth and environmental impacts in Jing-Jin-Ji, the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 30(1): 42-55.
- [86] 李哲, 张飞, HSIANG-TE K, 等. 1998—2014年艾比湖湿地自然保护区生态系统服务价值及其时空变异. 生态学报, 2017, 37(15): 4984-4997. [LI Z, ZHANG F, HSIANG-TE K, et al. Spatial and temporal ecosystem changes in the Ebinur Wetland Nature Reserve from 1998 to 2014. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15): 4984-4997.]
- [87] 张佰林, 蔡为民, 张凤荣, 等. 中国农村居民点用地微观尺度研究进展及展望. 地理科学进展, 2016, 35(9): 1049-1061. [ZHANG B L, CAI W M, ZHANG F R, et al. Progress and prospects of micro-scale research on rural residential land in China. Progress in Geography, 2016, 35(9): 1049-1061.]
- [88] 史洋洋, 吕晓, 黄贤金, 等. 江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应. 自然资源学报, 2017, 32(6): 961-976. [SHI Y Y, LYU X, HUANG X J, et al. Arable land use transitions and its response of ecosystem services value change in Jiangsu coastal areas. Journal of Natural Resources, 2017, 32(6): 961-976.]
- [89] 赵雪雁. 地理学视角的可持续生计研究: 现状、问题与领域. 地理研究, 2017, 36(10): 45-58. [ZHAO X Y. Sustainable livelihoods research from the perspective of geography: The present status, questions and priority areas. Geographical Research, 2017, 36(10): 45-58.]



- [90] FOLEY J A, RUTH D, GREGPRU P A, et al. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [91] 刘云刚, 王丰龙. 尺度的人文地理内涵与尺度政治: 基于1980年代以来英语圈人文地理学的尺度研究. *人文地理*, 2011, 3: 1-6. [LIU Y G, WANG F L. Concept of scale in human geography and politics of scale: Based on anglophone human geography since 1980s. *Human Geography*, 2011, 3: 1-6.]
- [92] Millennium Ecosystem Assessment Board. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Washington D C: Island Press, 2003: 120-122.
- [93] 石龙宇, 卢新, 崔胜辉. 土地变化的生态效应研究进展. *中国土地科学*, 2008, 22(4): 73-79. [SHI L Y, LU X, CUI S H. Research progress on ecological effects of land change. *China Land Science*, 2008, 22(4): 73-79.]
- [94] LIU J, LI S, OUYANG Z, et al. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *PNAS*, 2008, 105(28): 9477-9482.
- [95] 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. *Ecological Indicators*, 2019, 104(9): 604-614.
- [96] FEDELE G, LOCATELLI B, DJOUDI H, et al. Reducing risks by transforming landscapes: Cross-scale effects of land-use changes on ecosystem services. *PLoS ONE*, 2018, 13(4): 1-21.
- [97] QIU J, CARPENTER S R, BOOTH E G, et al. Understanding relationships among ecosystem services across spatial scales and over time. *Environmental Research Letters*, 2018, 13(5): 1-15.
- [98] LAUTENBACH S, KUGEL C, LAUSCH A, et al. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. *Ecological Indicators*, 2011, 11(2): 676-687.
- [99] 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. [PENG J, HU X X, ZHAO M Y, et al. Research progress on ecosystem service trade-offs: From cognition to decision-making. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 960-973.]
- [100] OUYANG Z, ZHENG H, XIAO Y, et al. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [101] 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. *生态学报*, 2019, 39(2): 1-12. [LIU D Q, ZHANG J Q, GONG J, et al. Spatial and temporal relation among land-use intensity, ecosystem services, and human well-being in the Longzhong Loess Hilly Region: A case study of the Anding district, Gansu province. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(2): 1-12.]
- [102] 孙泽祥, 刘志峰, 何春阳, 等. 中国快速城市化干燥地区的生态系统服务权衡关系多尺度分析: 以呼包鄂榆地区为例. *生态学报*, 2016, 36(15): 4881-4891. [SUN Z X, LIU Z F, HE C Y, et al. Multi-scale analysis of ecosystem service trade-offs in urbanizing drylands of China: A case study in the Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(15): 4881-4891.]
- [103] 张宇硕, 吴殿廷. 京津冀地区生态系统服务权衡的多尺度特征与影响因素解析. *地域研究与开发*, 2019, 38(3): 141-147. [ZHANG Y S, WU D T. Multi-scale analysis of ecosystem service trade-offs and associated influencing factors in Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Areal Research and Development*, 2019, 38(3): 141-147.]
- [104] 鲁学军, 周成虎, 张洪岩, 等. 地理空间的尺度—结构分析模式探讨. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 107-114. [LU X J, ZHOU C H, ZHANG H Y, et al. Analytical scheme on scale-structure of geographical space. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 107-114.]
- [105] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨. *地理研究*, 2005, 24(1): 11-18. [LI S C, CAI Y L. Some scaling issues of geography. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 11-18.]
- [106] 胡云锋, 徐芝英, 刘越, 等. 地理空间数据的尺度转换. *地球科学进展*, 2013, 28(3): 297-304. [HU Y F, XU Z Y, LIU Y, et al. A review of the scaling issues of geospatial data. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(3): 297-304.]
- [107] 李小文, 王祎婷. 定量遥感尺度效应当议. *地理学报*, 2013, 68(9): 1163-1169. [LI X W, WANG Y T. Prospects on future developments of quantitative remote sensing. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(9): 1163-1169.]
- [108] 姚远, 陈曦, 钱静. 定量遥感尺度转换方法研究进展. *地理科学*, 2019, 39(3): 367-376. [YAO Y, CHEN X, QIAN J. A review on the methodology of scale issues in quantitative remote sensing. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(3): 367-376.]
- [109] WU J, LI H. Perspectives and methods of scaling. In: WU J, JONES K B, LI H, et al. *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*. Dordrecht: Springer, 2006.
- [110] 赵雪雁, 刘春芳, 王学良, 等. 干旱区内陆河流域农户生计对生态退化的脆弱性评价: 以石羊河中下游为例. *生态学报*, 2016, 36(13): 4141-4151. [ZHAO X Y, LIU C F, WANG X L, et al. Assessment of the vulnerability of farmers' livelihoods to ecological degradation in arid regions of a continental river basin: A case study of the middle-lower reaches of the Shiyang River in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(13): 4141-4151.]
- [111] 傅伯杰, 刘焱序. 系统认知土地资源的理论方法. *科学通报*, 2019, 64(21): 2172-2179. [FU B J, LIU Y X. The theo-

- ries and methods for systematically understanding land resource. Chinese Science Bulletin, 2019, 64(21): 2172-2179.]
- [112] CELINE P, GOULARD M, GERARD B. The spatial scale mismatch between ecological processes and agricultural management: Do difficulties come from underlying theoretical frameworks?. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 139(4): 455-462.
- [113] 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. [DAI E F, WANG X L, ZHU J J, et al. Progress and perspective on ecosystem services trade-offs. Advances in Earth Science, 2015, 30(11): 1250-1259.]
- [114] 张宇硕, 陈军, 陈利军, 等. 2000—2010年西伯利亚地表覆盖变化特征: 基于GlobeLand 30的分析. 地理科学进展, 2015, 34(10): 1324-1333. [ZHANG Y S, CHEN J, CHEN L J, et al. Characteristics of land cover change in Siberia based on GlobeLand 30, 2000-2010. Progress in Geography, 2015, 34(10): 1324-1333.]

## A review on the impact of land use/land cover change on ecosystem services from a spatial scale perspective

ZHANG Yu-shuo<sup>1,2</sup>, WU Dian-ting<sup>2</sup>, LYU Xiao<sup>3</sup>

(1. Faculty of Culture Tourism, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China;

2. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. School of Humanities and Law, Northeastern University, Shenyang 110169, China)

**Abstract:** As an important link between human and natural systems, ecosystem services are closely related to human well-being and sustainable development. Land use/land cover change (LUCC) is one of the important drivers for ecosystem services change, and it has a significant impact on ecosystem services at the local, regional and global scales. Under the background of ecological civilization construction, it is very important to understand the spatial characteristics, differences and correlation at multi spatial scales. It is beneficial for studying the scale effect profoundly, coordinating the decision-making of multi-level management institutions and alleviating the constraints of scarce ecosystem services on socio-economic development. From the perspective of spatial scale, we summarized the concepts of spatial scale on this topic and introduced the analytical framework for considering spatial scale effect based on the recent theoretical and empirical developments. Then, we systematically analyzed the scale selection basis, features and correlation on the impact of LUCC on ecosystem services at different spatial scales, following the research thinking and process. Furthermore, we evaluated the research approach used to study the impact of LUCC on ecosystem services at both single scale and multi scales. This review put forward the key questions which should be considered in studies on the scale effect as follows: (1) building a research framework combining humanistic factors with natural factors; (2) explaining the scale effect of LUCC on ecosystem services; (3) exploring the effective analytical methods of the scale effect of LUCC on ecosystem services.

**Keywords:** spatial scale; land use/land cover change (LUCC); ecosystem services; impact; scale effect