



# LUCC 时空过程研究的方法进展

刘纪远, 邓祥征

中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

E-mail: liujy@igsrr.ac.cn

2009-06-18 收稿, 2009-08-28 接受

国家重点基础研究发展计划(编号: 2009CB421105)、国家科技支撑计划(编号: 2006BAC08B00)和国家自然科学基金(批准号: 70873118)资助项目

**摘要** 历经过去十多年的发展, LUCC 时空过程研究的方法渐成体系, 并不断完善. LUCC 时空过程研究方法体系是以地理学为理论依据, 以遥感和地理信息系统为技术依托, 适应全球变化与人类可持续发展研究的科学需求而形成的学科领域. 它涵盖 LUCC 时空过程探测、驱动机理分析、过程刻画与模拟及宏观生态效应评价等多个方面, 促进了地理学、地球信息科学、宏观生态学的跨学科交叉, 并推动了 LUCC 时空过程研究的不断深入. 国内外的研究表明, LUCC 遥感动态信息提取与分析技术的发展和 LUCC 时空过程模拟手段的创新, 促进了 LUCC 时空过程研究方法体系的发展, 并推动 LUCC 时空过程研究的日臻深入. 综合利用遥感动态信息探测与分析技术, 建立多源时空数据平台, 实现海量数据的存储与集成, 是支撑 LUCC 时空过程研究方法体系的重要能力建设之一. LUCC 时空过程研究方法体系将为区域乃至全球尺度 LUCC 研究提供综合技术手段, 并最终成为 LUCC 时空过程研究的重要方法论.

## 关键词

LUCC  
土地利用  
时空过程  
格局演替  
LUCC 动态区划  
时空数据平台

随着气候变化、人口增长、环境污染、能源短缺等诸多全球性问题的日益突兀, 一系列全球环境变化研究计划相继开展. 20 世纪 80 年代以来, 国际科学界先后发起并组织实施了世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、生物多样性计划(DIVERSITAS), 并通过组织“地球系统科学联盟(ESSP)”倡导就地球系统变化及其对可持续性发展的影响开展综合研究.

随着全球变化研究工作的深入, 土地利用/覆被变化(LUCC)研究逐渐成为全球环境变化研究的核心组成部分. 国际上真正意义上的 LUCC 研究开始于 1992 年. 随后, 联合国在“21 世纪议程”中明确提出将加强 LUCC 研究作为 21 世纪工作的重点. 1994 年, 联合国环境署(UNEP)启动了“土地覆被评价和模拟(LCAM)”项目, 旨在采用高分辨率雷达影像探

测技术, 探测亚全球尺度(主要是东南亚地区)的土地覆被现状与变化, 为区域可持续发展提供服务. 1995 年, 国际应用系统与分析研究所(IIASA)开展了“欧洲和北亚 LUCC 模拟”研究, 分析了 1900~1990 年欧洲和北亚地区 LUCC 过程的空间分异、时间动态和生态效应, 并预测了地球系统变化背景下的未来 50 年 LUCC 时空过程变化趋势, 为制定相关区域对策服务<sup>[1]</sup>. 同年, IGBP 与 IHDP 共同发起了“土地利用/覆被变化(LUCC)”研究计划, 并就 LUCC 的研究方法提出了概念性框架<sup>[2]</sup>. 1996 年, 美国开展了洲际尺度(北美洲)的土地覆被变化研究, 主要涉及土地覆被(主要是森林)变化监测及土地覆被变化与温室气体排放关系的研究. 2003 年, IGBP 进一步提出了土地计划项目的研究重点并提炼了相关科学问题<sup>[3]</sup>.

持续十余年的 LUCC 研究计划结束后, 全球土地计划(GLP)成为聚焦土地系统变化研究的新一轮全

**引用格式:** 刘纪远, 邓祥征. LUCC 时空过程研究的方法进展. 科学通报, 2009, 54: 3251~3258

Liu J Y, Deng X Z. Progress of the research methodologies on the temporal and spatial process of LUCC. Chinese Sci Bull, 2009, 54, doi: 10.1007/s11434-009-0733-y

球环境变化核心研究计划. GLP 关注人类行为与陆地生态系统之间的相互作用, 强调从局部到区域尺度的人地耦合关系研究, 关注测量、模拟与解释陆地系统中人类与环境的相互作用关系, 从而增进人类对地球系统运行状态变化及其造成的社会、经济与政治后果的理解<sup>[4]</sup>.

中国科学家在全球 LUCC 计划和全球土地计划的发起与组织实施过程中发挥了重要作用. 早在 1988 年的第 21 届 ICSU 大会上, 叶笃正等人<sup>[5,6]</sup>就提出要将土地利用引发的全球环境问题作为除温室气体以外的另一类重大问题加以重视. 这一提议得到很多国家的积极响应, 并在一定程度上促成了 LUCC 计划的形成与发展. 自此, 中国科学家积极就 GLP 涉及的学科问题及在模拟过程中出现的信息融合、尺度转换、不确定性等问题展开深入探讨<sup>[7]</sup>, 提出了众多解决方案, 并推动了 GLP 科学计划的开展.

## 1 LUCC 时空过程探测

LUCC 时空过程探测, 即采用遥感技术并结合传统调查方法, 积累时空连续的土地利用/覆被数据, 建立 LUCC 多源时空数据平台, 在该平台的支持下通过数学模型描述 LUCC 时空分异规律, 实现土地利用动态区划. 因此, LUCC 时空数据平台的建立与完善是 LUCC 时空过程探测的关键环节<sup>[8]</sup>.

LUCC 时空数据平台建设需要以海量的土地利用/覆被数据为支持. 这些数据可以通过遥感探测、地面调查、定位观测、文献资料整理等多种手段获取. 其中, 遥感探测是最主要、最高效的土地利用/覆被数据获取手段. 随着遥感技术的发展, 全球已经积累了海量土地利用/覆被数据, 建成了大量的全球、亚全球以及区域尺度的 LUCC 时空过程数据集, 主要包括基于 NOAA/AVHRR 数据的全球、区域遥感数据集, 如 GAC(global area coverage)数据集和 GVI(global vegetation index)数据集, 基于 GAS 数据改进的 GIMMS(global inventory modeling and monitoring study)数据集, 中等分辨率的 NOAA 数据、高分辨率的 SPOT 数据, Landsat TM/ETM 数据等. 这些数据集的建成无疑为 LUCC 时空数据平台建设提供了重要数据基础. 但这些数据在时空分辨率、覆盖范围、观测主题等方面的差异也在一定程度上为建设 LUCC 时空数据平台增加了难度.

DIScover 数据集的生成在一定程度上满足了 IGBP 倡导的研究计划对全球 LUCC 时空数据的需求. 由 IGBP-DATA 和 IGBP-DIS 工作组共同启动的 1 km 分辨率 DIScover 项目, 用 17 种土地覆被分类的图例表征了土地覆被的空间分异格局, 形成了表征土地覆被一般构成要素和植被情况的全球数据集<sup>[9]</sup>. 目前, 该数据集已被广泛应用于全球尺度的气候、生物地球化学模拟及其他地球系统过程研究.

应用遥感技术获取的数字影像, 需经过解译与分类, 方能提供有效的 LUCC 时空过程信息并服务于 LUCC 时空数据平台建设. 遥感影像的分类是根据影像所具有的光谱特征, 利用一定的数字图像处理方法和佐以经验性知识, 提取有关土地利用与土地覆被信息的过程<sup>[10,11]</sup>. 遥感影像的分类方法大致分为光谱直接比较法和分类结果比较法. 前者主要包括插值法、比值法、植被指数法、主成分分析法和变化向量法等, 其不足是不能同时提供像元变化前后和未变化像元的土地覆被信息. 后者先对影像数据进行分类(或之前先进行光谱值的直方图变换), 然后对分类结果进行比较分类. 该方法目前应用非常广泛, 但也存在诸多不足, 如无法探测某一土地覆被类型斑块内部的细微变化, 且分类精度有时难于保障数据处理的精度.

目前, 中国 LUCC 时空数据平台建设所采用的数据主要来自 Landsat 影像<sup>[12]</sup>. 已经建成的数据集包括 20 世纪 80 年代中后期、90 年代中期、2000 年末期和 2005 年 Landsat TM/ETM 影像数据库以及相应的土地利用/覆被现状数据库、遥感解译标志数据库等. 其中利用全数字化、人机交互遥感信息提取与精度分析技术建成的我国首个国家尺度 1:10 万的 LUCC 多源时空数据平台, 为 20 世纪 90 年代中国 LUCC 时空过程的解释提供了重要数据基础<sup>[12,13]</sup>. 依托该数据集提出的 1 km 成分栅格数据模型, 综合了矢量数据模型和栅格数据模型的优点, 在 1 km 栅格尺度上表征土地利用变化, 在一定程度上推进了国内在精细栅格尺度上 LUCC 时空过程研究的精度. 在该平台的支持下, 20 世纪 90 年代中国 LUCC 时空过程基本特征得到了刻画与表征. 另外, 该平台包含的 LUCC 自然环境背景、社会经济条件、区位环境、过程变化、格局演替、利用结构与生产力变化等专题数据, 还支持了 LUCC 生态效应研究.

## 2 LUCC 时空过程驱动机理分析

LUCC 时空过程驱动机理分析是 LUCC 时空过程研究的技术核心之一。LUCC 时空过程驱动机理研究,直接揭示了 LUCC 时空过程的原因、影响因素的作用途径及其驱动机制,为预测其未来发展变化趋势并制订相应对策提供了基础。

LUCC 时空过程驱动因子主要包括自然条件、气候变化、经济发展、社会环境和人口变化 5 个方面的因素。这些驱动因子从总体上可以划分为自然因素和社会经济因素两个层面。在较短时间尺度上,自然因素的影响主要体现为累积性效应,而社会经济因素对 LUCC 时空过程的影响相对活跃且易于探测。因此,LUCC 时空过程驱动机理研究也更多地关注于引起土地利用变化的社会经济因素及其作用途径。另外,由于 LUCC 时空过程研究格外重视空间尺度,LUCC 时空过程驱动机理分析或在某一具体空间尺度上探讨驱动力的构成及作用,或在其基础上进一步探索 LUCC 时空过程驱动因素随研究尺度变化而变化的规律。不过,诚如 Lambin 等人<sup>[14]</sup>所言,当前的一些 LUCC 时空过程驱动机理研究,尤其在对土地利用/覆被变化的原因进行解释时,往往基于一些过于理想的假设,以至于所得的结论与事实或人们的直觉认识存在较大差异。实际上,LUCC 时空过程研究,尤其是在研究 LUCC 时空过程驱动机理时,必须要遵循“始于简化,逐渐认识驱动力系统的复杂性,最后形成一般性规律”的思路,才能实现对 LUCC 时空过程的科学探索。

近年来,LUCC 时空过程驱动机理研究得到了越来越多的关注,人们在不同尺度上展开了一系列的相关研究。Aspinall<sup>[15]</sup>利用经验统计模型在多个尺度上研究了土地利用变化,提出了土地利用变化的主要驱动因子是生物物理与社会经济因素的观点。Bakker 等人<sup>[16]</sup>基于回归模型分析了希腊 Lesvos 岛的土地利用变化情况,发现了当地土地遭弃耕的主要原因是土壤侵蚀这一自然-人类交互作用过程导致的。Lambin 与 Geist<sup>[17]</sup>综述了全球数十名 LUCC 研究领域科学家的研究成果,阐述了过去 300 多年人类扰动造成的 LUCC 时空格局演变,揭示了社会经济因素对全球尺度 LUCC 时空过程的驱动作用。此外,近年来发展起来的基于精细栅格单元数据分析的 LUCC 时空过程驱动力及其尺度效应研究<sup>[18,19]</sup>,提出了栅格

尺度大小选择影响驱动机理分析结论并由此导致的不确定性问题的解决方案。

与国外研究不同,国内 LUCC 时空过程驱动机理研究更为强调对不同影响因素的驱动机理的综合认识,以便为土地利用管理决策提供科学依据<sup>[20,21]</sup>。所以,该类研究一般比较重视对 LUCC 时空过程与格局演替的描述、解释、预测及与之相关的政策分析<sup>[22,23]</sup>。我国学者应用多种系统分析与数理统计模型从多个角度开展了 LUCC 时空过程驱动机理分析研究,其中,基于经验统计的模型在相关研究中占主导地位。这类模型侧重于研究 LUCC 时空过程与各种社会经济和自然驱动因子之间的关系,通过提取 LUCC 时空过程主要驱动因子,解释 LUCC 时空过程的原因。常用的基于经验统计的方法有主成分分析法、灰色关联度分析法、逐步回归法、典型相关分析法、系统动力学方法、空间统计模型及非线性回归模型等。史培军等人<sup>[24]</sup>通过回归分析,提取了影响深圳市土地利用变化的内在驱动因子,并探讨了各因子对土地利用变化的影响。刘纪远等人<sup>[13]</sup>开展了中国 20 世纪 90 年代后期 LUCC 时空过程驱动机理分析,初步揭示了中国国家尺度 LUCC 时空过程的驱动机理。摆万奇<sup>[25]</sup>采用系统动力学方法,将土地利用变化的主要驱动因子与土地利用类型置于一个系统中考察其长期动态趋势,并诊断出各驱动因子的贡献大小。对不同驱动因子影响作用的研究必须在人地系统耦合条件下进行<sup>[7]</sup>。样带尺度上的案例研究是区域 LUCC 时空过程驱动机理研究的一个重要切入点。龙楼花和李秀彬<sup>[26]</sup>把长江干流作为一个样带进行了梯度分析。该项研究剖析了沿江城镇化对土地利用变化的影响作用,不仅对当地经济建设具有参考价值,而且补充了代表温带的北纬 40°样带,与 IGBP 中原有的沿海经度带和东经 107°经度带一起,共同架构成“井”字形的格网,为 LUCC 时空过程驱动机理研究试验了方法。

中国 LUCC 时空过程驱动机理研究在强调认识不同驱动因子影响作用存在差异的同时,也重视研究对象的选择和案例比较研究。比如,在区域尺度开展 LUCC 时空过程研究多选择人文和自然驱动因素活跃的热点地区,如苏州、无锡、常州等,或者人口、资源、环境、发展协调欠佳的生态脆弱区,如河西走廊、北方农牧交错带等。

针对当前 LUCC 时空过程驱动机理研究现状,要揭示中国改革开放以来 LUCC 时空过程驱动机理,需在土地利用变化动态分区框架下发展 LUCC 时空过程间接驱动力和直接驱动力之间的驱动链模式<sup>[27]</sup>,通过设计并利用 LUCC 时空过程驱动计量模型,揭示政策、市场、人口结构、城乡经济差距、GDP 增长率、外商投资增长率等重要间接/直接驱动因子在不同动态区划单元中对 LUCC 时空过程的前向、反向与回馈作用,以及各驱动过程之间的相互触发、增强、制约关系,形成中国区域水平 LUCC 时空过程驱动机理分析方法的突破及相关驱动规律的归纳与总结。

另外,国家层次 LUCC 时空过程驱动机理的揭示须注意分清 LUCC 时空过程驱动力的层次性特征<sup>[11]</sup>。LUCC 时空过程的驱动力应该包括中央核心战略与国策层次的顶级驱动力、国家与区域政策响应层次的基本驱动力及包括经济发展、人口增长等因素的直接驱动力 3 个层次。其中,顶级驱动力是关乎国家根本利益,并从根本上影响国家 LUCC 时空过程,对国家经济及社会发展具有战略意义、事关全局的长期性重大决策。基本驱动力涉及人口、经济、环境、社会发展及人类福利、城市规划及土地管理 5 个方面。它将国家发展的大政方针落到实处,决定着资本、人口流向,从而引发要素供给、产业结构、消费需求等指标的变化,并影响到 LUCC 时空过程。在当代中国,基本驱动力的变化受到顶级驱动力的直接控制。体现在动力学指标上的直接驱动力直接影响着区域用地需求总量与结构。3 个层次逐级驱动的链状结构及各个因素之间的联系能较好地解释中国 LUCC 时空过程的驱动机理。

总之,国内外 LUCC 时空过程驱动机理分析方面,已经形成了一系列基于地区特征,依托不同土地利用变化研究计划,并应用于多尺度、不同研究专题的大规模、跨学科、综合性模型<sup>[28]</sup>。这些模型方法及其对 LUCC 时空过程驱动机理的分析反映了 LUCC 时空过程驱动机理分析的方法已基本形成,并在不同地区的实证研究中得到发展与完善。

### 3 LUCC 时空过程刻画与模拟

LUCC 时空过程刻画与模拟是在 LUCC 格局-过程耦合与动态区划研究的基础上发展起来的。刘纪远等人<sup>[29]</sup>提出了 LUCC 研究“格局的变化过程(指区

划边界的推移、区划单元内部特征的变化与单元的消长等)和变化过程的格局(指变化过程与特征的分阶段区域差异划分)”的理论,在此基础上,创建了中国 LUCC 动态区划体系,刻画了 LUCC 动态区划中各级单元的消长及每 5 年的变化强度特征,揭示了土地利用“格局”与“过程”之间的交替转化规律,进而揭示了农田草地城市等各类型的时空变化规律与动态模式,这在动态分区的基础上开展驱动机理分析提供了空间参照。

历经了从描述性模型到机理性模型的发展历程,LUCC 时空过程刻画与模拟取得了诸多研究成果,已经形成了一个比较完整的方法体系。国际上,LUCC 时空过程刻画与模拟一直是 LUCC 时空过程研究的核心科学命题之一。LUCC 时空过程系列报告第 6 辑曾专门讨论了基于智能体的 LUCC 时空过程模拟模型(Agent-based models of Land-use and Land-cover, ABM/LUCC)的研究进展,并认为 ABM/LUCC 由基于智能体的模型(ABM)和元胞自动机模型(CA)两部分构成,可以根据输入的一系列规则模拟土地管理者的土地利用决策,并将其后果反映到模拟的景观上<sup>[30]</sup>。Manson<sup>[31]</sup>通过发展基于智能体的 LUCC 时空过程模拟模型对墨西哥 Yucatan 半岛南部地区的土地利用变化进行了模拟,阐明了当地主要社会经济因素和政治环境因素对土地利用变化的影响。相应地,由 Veldkamp 和 Fresco<sup>[32]</sup>等科学家组成的“土地利用变化及其影响模型”(conversion of land use and its effect)研究小组提出的 CLUE 模型,也引起了学术界的广泛关注。CLUE 模型是基于系统理论的尺度动态模型,主要通过综合分析社会经济和生物物理驱动因素,刻画与模拟区域土地利用变化过程。Kok 和 Farrow 等人<sup>[18]</sup>对 CLUE 模型进行了多尺度应用尝试,取得了令人满意的研究结果。总之,LUCC 时空过程刻画与模拟是认识 LUCC 时空过程动态性与复杂性的主要手段,在揭示区域驱动机制(时空针对性)和区域调控对策方面具有重要意义。

中国学者对 LUCC 时空过程的刻画与模拟进行了广泛而深入探索,一般做法是将 LUCC 时空过程置于一个开放的土地系统,从系统的角度识别区域用地结构变化的各种影响因素及其作用途径,通过选择恰当的模型工具,在区域和栅格两个尺度上开展模拟<sup>[33]</sup>。作为一个跨学科、跨专业研究领域,LUCC

时空过程刻画与模拟涉及的范围十分广泛,需要综合考虑空间尺度和时间尺度对分析结果的影响,在准确把握影响 LUCC 时空过程的诸多影响因素及其作用机理的基础上,刻画与模拟 LUCC 时空过程。

基于经验统计的方法、基于多智能主体分析的方法和基于栅格邻域关系分析的方法在中国区域尺度 LUCC 时空过程的刻画与模拟中应用较广<sup>[34,35]</sup>。张永民等人<sup>[36]</sup>运用 CLUE-S 模型对内蒙古奈曼旗 2000 年的土地利用变化进行了模拟,并取得了理想的结果。何春阳等人<sup>[37]</sup>综合自上而下的系统动力学(SD)模型和自下而上的 CA 模型,从宏观需求和微观供给相平衡的角度建模模拟了中国北方 13 省未来 20 年的土地利用变化情况。Yue 等人<sup>[38]</sup>采用自然过程方法对中国 1960 年以来的陆地生态系统空间格局演替进行研究,模拟分析了每个地貌单元的气候空间变异规律,阐明了 Holdridge 生态系统的空间格局动态。邓祥征<sup>[7]</sup>探讨了土地系统结构变化与格局演替的原理与方法,开发了土地系统动态模拟系统(DLS),试验了一套在区域水平上以土地结构变化均衡理论和栅格尺度用地类型分布约束理论为支撑、在区域和栅格两个尺度上开展 LUCC 时空过程情景分析的方法。

总之,LUCC 时空过程刻画与模拟研究已经具有了一个相对完整的方法体系,模拟结果将为代表不同利益主体的各级决策者提供区域土地利用规划、土地资源管理方面的决策参考信息,形成的包括区域用地结构预测、栅格尺度驱动机理分析、栅格水平土地供需平衡与空间分配技术构成了 LUCC 时空过程研究的重要技术支撑。

#### 4 LUCC 时空过程宏观生态效应评价

开展 LUCC 时空过程宏观生态效应评价研究,通过科学地分级归纳,认识 LUCC 时空过程的宏观生态效应,是理解 LUCC 时空过程对地球系统影响的重要内容,也是全球与亚全球尺度 LUCC 时空过程研究的核心课题之一。尽管人类对 LUCC 时空过程宏观生态效应的理解与认识还处在不断深入的过程中,但地区性粮食危机、淡水资源匮乏、森林资源存量及其变化、区域气候变暖和空气质量恶化、传染病与地方病爆发等一系列大尺度生态环境问题,无疑都与土地利用/覆被变化存在密切联系<sup>[39]</sup>。从这个意义上看,目前人类面临的挑战是如何在生物圈供给能力和人类需求之间寻找一个平衡点,以确保人

类与地球环境之间的和谐共存。

国际上,LUCC 时空过程宏观生态效应评价的研究案例非常丰富,涉及范围也非常广泛。Matson 等人<sup>[40]</sup>和 Tilman 等人<sup>[41]</sup>分别针对农业土地利用集约程度增加对生态系统的影响进行了研究,认为土地利用变化强度的增加会改变生态系统生物间的相互作用和资源的可得性,导致负面的局地、区域乃至全球影响。Solomon 等人<sup>[42]</sup>从土壤有机质的角度探索了 LUCC 时空过程对农业的影响。Trimble 等人<sup>[43]</sup>研究了美国土地利用变化对土壤流失的影响,并利用水蚀模型 USLE 和风蚀模型 WEE 计算了美国土壤流失速率。Sliva 等人<sup>[44]</sup>对土地利用变化对河流水质的影响进行了研究。Kalnay 等人<sup>[45]</sup>对过去 50 年全球气温进行再分析,重建得到地表温度趋势,并将其与利用观测得到的美国大陆地表温度趋势进行差异比较,研究了土地利用变化对美国地区气候的影响。Sala 等人<sup>[46]</sup>和 Jenkins<sup>[47]</sup>也分别从不同的视角出发,将土地利用作为一个考察因子,就其对区域未来生物多样性的影响做出了预测。

LUCC 时空过程宏观生态效应评价是在全球环境变化背景下分析中国土地利用变化对宏观生态环境的影响,开拓、发展 LUCC 时空过程研究方法体系的重要切入点。联合国新千年生态系统评估项目(MA)“中国西部生态系统综合评估”和国家 973 项目“中国陆地生态系统碳循环及其驱动机制”的实施推进了中国的 LUCC 时空过程宏观生态效应研究。通过对中国西部土地利用/覆被变化和气候变化双重驱动下我国生态系统退化状况和未来趋势的研究,国内学者提炼了过去 30 年中国西部地区各类生态系统退化的空间格局特征<sup>[48]</sup>。其中的一个重要发现是,中国西部地区永久冰雪面积的持续减少和荒漠面积的增加严重威胁到绿洲生态系统的稳定,同时,生物气候带的北移和抬高导致了生态系统多样性的增加,尤其以贵州大部、陕西南部等地区生态承载能力和压力矛盾最为突出。研究结果表明,未来 50~100 年,我国西部生态系统多样性和森林覆盖率将会大幅增加,各类生态系统生产力提高、碳汇作用加强,大城市周边、黔陕甘宁等地区生态系统承载能力和压力矛盾将被进一步激化。我国学者还进一步模拟了 20 世纪 90 年代 LUCC 时空过程与气候变化对中国农田光温生产潜力、土壤碳和农牧交错带碳循环的影响。通过对中国陆地生态系统碳循环及其驱动机理研究,获得

了一系列原创性研究成果,如LUCC时空过程导致我国农田光温生产潜力呈南减北增态势<sup>[27]</sup>。由此可见,基于LUCC时空过程能直接改变生态系统宏观结构并进而影响生态系统服务功能的判断,以LUCC时空过程研究方法体系为基本框架,整合地面生态系统联网观测和遥感生态参数反演信息,经尺度转换和相互验证开展集成研究是LUCC时空过程宏观生态效应评价方法的一个重要突破<sup>[49]</sup>。此外,在分析生态系统生物地球化学循环过程中形成并逐步完善的一系列生态过程模型,如CENTURY模型、TEM模型、CEVSA模型等,也为开展LUCC时空过程宏观生态效应评价提供了有力手段。

## 5 问题及展望

纵观LUCC时空过程研究,我们不难发现,LUCC时空格局研究在数据积累、模型集成与相关理论建设方面仍存在诸多问题与瓶颈,其方法体系还有赖于通过开展更大尺度、更多区域水平上的案例研究来试验与完善。

### 5.1 LUCC时空过程研究的数据集建设

为揭示区域、亚全球乃至全球尺度的LUCC时空过程的变化规律,众多服务于国家乃至全球尺度的LUCC时空过程探测与综合分析研究计划得以部署与实施,其中大部分研究计划都为形成多源、多主体的海量LUCC空间数据集提供了能力建设。这些数据集的建立,直接服务于土地利用/覆被总量及空间变化特征的刻画。但不同数据源在空间分辨率、时间分辨率、观测尺度、覆盖范围、观测主题等方面的差异也给LUCC数据集的综合应用带来了挑战。不少在国家、区域与局域尺度开展的LUCC时空过程动态监测与研究,偏重以遥感、GIS为技术依托,缺少地面验证工作<sup>[50,51]</sup>。因此,基于相关研究工作建立起来的数据集不可避免地存在系统性或者实验性误差。现阶段,我们应需重视通过诸如国土勘测、地形图查询、实地调研等传统方法获得信息,并通过不断创新数据融合技术克服利用多源数据刻画LUCC时空过程的技术瓶颈。

### 5.2 LUCC时空过程研究的模型体系建设

在LUCC相关研究计划的推动下,美国、欧洲、日本、中国等国家的科学家,开始结合本国地域特征与社会经济条件,研究服务于揭示本土土地利用/覆

被时空格局演替规律的动态模拟系统,发展了诸如CLUE-S模型、CA模型、ABM和DLS等一系列模型。总体而言,尽管目前大多数的LUCC时空过程模拟模型开始尝试研究LUCC时空过程探测、驱动机理分析或者宏观生态效应评价的某一方面,并重点考虑LUCC时空过程的区域、局域尺度效应及反馈,但相关模型的集成度依然不高,还不能满足LUCC时空过程研究的需要。鉴于此,我们强调,一方面要借助遥感、GIS技术,结合自然、人文等多方面信息,佐以驱动机理和宏观生态效应分析开展综合研究;另一方面,要加强GIS与其他专题分析模型的集成,扩大研究范围,综合并发挥各模型的优势,建立实用性更强、更系统的LUCC时空过程研究模型体系。

### 5.3 LUCC时空过程研究的理论体系建设

LUCC时空过程是一个跨学科、跨专业的研究领域,涵盖了地理学、经济学、生态学、统计学、管理学等多学科知识。LUCC时空过程研究理论体系的建立,为土地利用变化的解释、评价和预测提供了基础。目前,国际上由于LUCC时空过程研究理论体系的欠缺,许多基于不同学科背景的研究对同一尺度下LUCC时空过程作出的评价和预测往往不同,甚至相互抵触。这要求我们从LUCC时空过程探测、驱动机理分析、时空过程模拟与宏观生态效应评价等方面继续为LUCC时空过程研究的理论体系的发展做出不懈的努力。

## 6 结论与讨论

随着LUCC时空过程研究的数据积累与研究方法的发展,在LUCC时空过程探测、驱动机理分析、过程模拟与生态效应分析方面均已形成了相应的技术方法体系。

LUCC时空过程探测是在LUCC多源时空数据平台的支持下,基于系统论的相关原理与方法,通过建立数学模型描述LUCC时空分异规律,实现土地利用动态区划。遥感探测技术的发展和遥感影像分类技术的进步都为LUCC时空过程数据平台的建立奠定了基础。目前,国内建立的全国范围LUCC时空数据平台,为中国LUCC时空过程研究提供了重要的数据支持并积累了丰富的案例经验,是中国LUCC时空过程探测方法体系进一步发展完善的重要前提。

LUCC 时空过程驱动机理分析是 LUCC 时空过程研究的核心问题。深入理解 LUCC 时空过程驱动机理, 需要从多个尺度上揭示人类活动和生物物理过程对 LUCC 时空过程的驱动作用。国内 LUCC 时空过程驱动机理研究的特点主要体现在对人对地耦合系统的研究中强调认识不同驱动因子的影响, 并重视研究对象的选择和案例比较研究, 注重相关驱动规律的归纳分析。到目前为止, 国内 LUCC 时空过程驱动机理分析已经形成了一套相对完整的理论体系, 该领域的专家和学者们已经开始尝试从系统的角度探索 LUCC 时空过程的机理。

LUCC 时空过程的刻画与模拟是理解 LUCC 时空过程动态性和复杂性的必然途径, 需要综合考虑自然环境条件与社会经济因素的作用, 将整个研究对象置于一个开放的土地系统, 选择恰当的模型工具, 在区域和栅格两个尺度上同时开展, 从系统的角度认识 LUCC 时空过程的各种影响因素及其作用途径。区域土地系统动态模拟原理与方法探索及土地系统动态模拟系统的开发, 为 LUCC 时空过程刻画与模拟提供了重要的理论与模型工具。

作为开展全球与亚全球尺度 LUCC 时空过程研究的最终目标之一, LUCC 时空过程宏观生态效应评

价涉及农业、水资源和区域气候等诸多方面。众多案例研究提炼形成的“整合地面生态系统联网观测和遥感生态参数反演信息, 经尺度转换和相互验证实现 LUCC 时空过程宏观生态效应评价”的技术路线, 是 LUCC 时空过程宏观生态效应评价研究的重要方法基础, 推动了 LUCC 时空过程生态效应评价方法体系的形成。

尽管目前 LUCC 时空过程研究已初步形成了一个相对完整的方法体系, 但该体系在多源数据融合、模型功能集成、理论体系建设等方面还存在诸多不足, 需要在今后的研究和应用中不断完善<sup>[1]</sup>。LUCC 时空过程研究是一个跨学科、跨专业的研究领域, 必须同时考虑自然因素、人文因素对土地系统变化的作用与影响, 克服 LUCC 时空过程研究中的时空尺度及其转换问题。土地系统的结构变异性、演化复杂性和格局差异性, 也增加了 LUCC 时空过程探测、驱动机理分析、过程刻画与模拟和宏观生态效应评价结果的不确定性。从这一点看, LUCC 时空过程研究方法体系的进一步发展, 还需要在开展更多案例研究的同时, 加强对 LUCC 时空过程研究结果的精度验证与灵敏度分析, 最终形成一个基于不同时空尺度的 LUCC 时空过程研究方法论框架。

**致谢** 谨以此文纪念我国遥感和地理信息系统科学的创建者和奠基人陈述彭先生。

## 参考文献

- 1 IIASA. Modeling land-use and land-cover change in Europe and Northern Asia. 1999 Research Plan, 1998
- 2 IGBP/IHDP. Land-use and land-cover change science/research plan. IGBP Report No.35 and IHDP Report No.7, 1995
- 3 Moran E F. News on the land project. Global Change Newslett, 2003, 54: 19—21
- 4 GLP. Science plan and implementation strategy. IGBP Report No.53 and IHDP Report No.19, 2005
- 5 叶笃正, 符淙斌, 董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势. 地球科学进展, 2002, 17: 467—469
- 6 刘燕华, 葛全胜, 张雪琴. 关于中国全球环境变化人文因素研究发展方向的思考. 地球科学进展, 2004, 19: 889—895
- 7 邓祥征. 土地系统动态模拟. 北京: 中国大地出版社, 2008
- 8 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. 地理学报, 1996, 51: 553—558
- 9 Loveland T R, Belward A S. The IGBP-DIS global 1km land cover data set, DISCover: First results. Int J Remote Sens, 1997, 18: 3289—3295
- 10 Johnson R D, Kasischke E S. Change vector analysis: A technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. Int J Remote Sens, 1998, 19: 411—426
- 11 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究. 北京: 科学出版社, 1998
- 12 刘纪远. 二十世纪九十年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究. 北京: 科学出版社, 2005
- 13 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. 地理研究, 2003, 22: 1—12
- 14 Lambin E F, Turner B L II, Geist H J, et al. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. Glob Environ

- Change: Human Policy Dimens, 2001, 11: 5—13
- 15 Aspinall R. Modeling land use change with generalized linear models: A multi-model analysis of change between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana. *J Environ Manag*, 2004, 72: 91—103
- 16 Bakker M M, Govers G, Kosmas C, et al. Soil erosion as a driver of land-use change. *Agr Ecosys Environ*, 2005, 105: 467—481
- 17 Lambin E F, Geist H J. *Land-use and Land-cover Change: Local Processes and Global Impacts*. Berlin: Springer, 2006
- 18 Kok K, Farrow A, Veldkamp A, et al. A method and application of multi-scale validation in spatial land use models. *Agr Ecosys Environ*, 2001, 85: 223—238
- 19 Verburg P H, Veldkamp A. The role of spatially explicit models in land-use change research: A case study for cropping patterns in China. *Agr Ecosys Environ*, 2001, 85: 177—190
- 20 黄季焜, 朱莉芬, 邓祥征. 中国建设用地扩张的区域差异及其影响因素. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37: 1235—1241
- 21 曲福田, 赵海霞, 朱德明. 江苏省土地生态安全问题及对策研究. *环境保护*, 2005, 2: 57—59
- 22 史培军, 宫鹏. *土地利用/覆盖变化研究的方法与实践*. 北京: 科学出版社, 2000
- 23 摆万奇, 赵士洞. 土地利用和土地覆被变化研究模型综述. *自然资源学报*, 1997, 12: 167—175
- 24 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析. *地理学报*, 2000, 55: 151—160
- 25 摆万奇. 深圳市土地利用动态趋势分析. *自然资源学报*, 2000, 15: 112—116
- 26 龙棲花, 李秀彬. 区域土地利用转型分析——以长江沿线样带为例. *自然资源学报*, 2002, 17: 144—149
- 27 Liu J Y, Zhan J Y, Deng X Z. Spatio-temporal patterns and driving forces of urban land expansion in China during the economic reform era. *AMBIO*, 2005, 34: 450—455
- 28 Fu B, Chen L, Ma K, et al. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China. *Catena*, 2000, 39: 69—78
- 29 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的时空格局分析. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2002, 32: 1031—1040
- 30 McConnell W J. Agent-based models of land-use and land-cover change. *LUCC Report No.6*, 2001
- 31 Manson S M. Agent-based modeling and genetic programming for modeling land change in the Southern Yucatan Peninsular Region of Mexico. *Agr Ecosys Environ*, 2005, 111: 47—62
- 32 Veldkamp A, Fresco L O. Exploring land use scenarios, an alternative approach based on actual land use. *Agr Sys*, 1997, 55: 1—17
- 33 邓祥征. *土地利用转换分析*. 北京: 中国大地出版社, 2008
- 34 陈百明. 试论中国土地利用和土地覆被变化及其人类驱动力研究. *自然资源学报*, 1997, 14: 31—36
- 35 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析. *资源科学*, 2001, 23: 39—41
- 36 张永民, 赵士洞, Verburg P H. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用. *自然资源学报*, 2003, 18: 310—318
- 37 何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 基于系统动力学模型和元胞自动机模型的土地利用情景模型研究. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2005, 35: 464—473
- 38 Yue T, Fan Z, Liu J. Changes of major terrestrial ecosystem in china since 1960. *Glob Planet Change*, 2005, 48: 287—302
- 39 Foley J A, DeFries R, Asner G P. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309: 570—574
- 40 Matson P A, Parton W J, Power A G. Agriculture intensification and ecosystem properties. *Science*, 1997, 277: 504—509
- 41 Tilman D, Fargione J, Wolff B, et al. Forecasting agriculturally driven global environment change. *Science*, 2001, 292: 281—284
- 42 Solomon D, Lehmann J, Zech W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: Carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. *Agr Ecosys Environ*, 2000, 78: 203—213
- 43 Trimble S W, Crosson P. U.S. Soil erosion rates-myth and reality. *Science*, 2000, 289: 248—250
- 44 Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. *Water Res*, 2001, 35: 3462—3472
- 45 Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 2003, 423: 528—531
- 46 Sala O E, Chapin S F, Armesto J J, et al. Biodiversity: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287: 1770—1774
- 47 Jenkins M. Prospects for biodiversity. *Science*, 2003, 302: 1175—1177
- 48 刘纪远, 岳天祥, 鞠洪波, 等. 中国西部生态系统综合评估. 北京: 气象出版社, 2005. 845
- 49 刘纪远, 于贵瑞, 王绍强, 等. 陆地生态系统碳循环及其机理研究的地球信息科学方法初探. *地理研究*, 2003, 22: 397—405
- 50 Zeledon E B, Kelly N M. Understanding large-scale deforestation in southern Jinotega, Nicaragua from 1978 to 1999 through the examination of changes in land use and land cover. *J Environ Manag*, 2009, 90: 2866—2872
- 51 Liu J, Liu M, Tian H, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990—2000: An analysis based on Landsat TM data. *Remote Sens Environ*, 2005, 98: 442—456