

引用格式:刘纪远,张增祥,张树文,等.中国土地利用变化遥感研究的回顾与展望——基于陈述彭学术思想的引领[J].地球信息科学学报,2020,22(4):680-687. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhang S W, et al. Innovation and development of remote sensing-based land use change studies based on Shupeng Chen's academic thoughts[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(4):680-687.] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.200052

中国土地利用变化遥感研究的回顾与展望 ——基于陈述彭学术思想的引领

刘纪远¹,张增祥²,张树文³,颜长珍⁴,吴世新⁵,李仁东⁶,匡文慧¹,史文娇^{1,7},
黄麟¹,宁佳¹,董金玮¹

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室,北京 100101; 2. 中国科学院空天信息创新研究院,北京 100101; 3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所,长春 130102; 4. 中国科学院西北生态环境资源研究院,兰州 730000; 5. 中国科学院新疆生态与地理研究所,乌鲁木齐 830011; 6. 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院,武汉 430077; 7. 中国科学院大学资源与环境学院,北京 100049

Innovation and Development of Remote Sensing-based Land Use Change Studies based on Shupeng Chen's Academic Thoughts

LIU Jiyuan^{1*}, ZHANG Zengxiang², ZHANG Shuwen³, YAN Changzhen⁴, WU Shixin⁵, LI Rendong⁶,
KUANG Wenhui¹, SHI Wenjiao^{1,7}, HUANG Lin¹, NING Jia¹, DONG Jinwei¹

1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China; 4. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 5. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 6. Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China; 7. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract:The rapid industrialization and urbanization along with the economic development of China since the 1980s have been profoundly altering land use pattern in China and subsequently affecting regional and national ecological and environmental conditions. Under the guidance of Shupeng Chen, since 1992 the Chinese Academy of Sciences (CAS) has established a complete framework for remote sensing-based land use change monitoring and data analyses, as well as a unique classification system, which has laid the foundation for China's Land Use and Land Cover Change (LUCC) information platform. Firstly, this paper systematically described the history of the LUCC studies in CAS, which include three phases: (1) 1992-1995: Establishment of remote sensing platform for National LUCC Monitoring System. In this phase, CAS designed a land classification system, and built the national-scale monitoring platform for land use interpretation, by using 30 m optical remote sensing data as inputs. (2) 1996-2005: Standardization and operation of National LUCC Monitoring System. The three national satellite image and land use map databases in the late 1980s, 1995 and 2000 covering the country were built with the National LUCC Monitoring System. (3) 2005-present: Multidisciplinary applications of land

收稿日期:2020-02-03;修回日期:2020-03-23.

基金项目:中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDB-SSW-DQC005)。[**Foundation item:** The Key Research Program of Frontier Sciences of Chinese Academy of Sciences, No.QYZDB-SSW-DQC005.]

作者简介:刘纪远(1947—),男,上海人,研究员,博士生导师,主要从事资源环境遥感与土地利用/覆被变化及其宏观生态效应研究。E-mail: liujy@igsnrr.ac.cn

use changes results according to the National LUCC Monitoring System. In this phase, the multiple serial land use maps were widely used in various fields, e.g., the driving mechanism of agricultural reclamation and ecological conversion of farmland, and the system provided scientific support for the national ecological protection and sustainable development. Secondly, we proposed key scientific questions in the field of China's LUCC studies: What is the major spatiotemporal process of LUCC in China and even the world since the era of industrialization? What are the combined effects of LUCC and climate change on the structure and function of terrestrial ecosystems? How to treat the land system science as a multidisciplinary solution for sustainability? Thirdly, we also summarized the achievements of recent LUCC researches in the past 10 years, including different topics ranging from land use dynamic models, process and driving mechanism of land use/cover changes, improved land use change detection based on integration of big earth data and cloud computing technology, regional climatic and ecological consequences of urban, agricultural and forest land use changes. Finally, potential new directions of LUCC research are discussed from the perspectives of the scientific and technological frontiers. The LUCC research expect to provide important scientific supports for China to achieve the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) in the future.

Key words: Land Use and Land Cover Change (LUCC); remote sensing; China; spatial and temporal pattern; drivers; environmental effects; LUCC model; information platform

***Corresponding author:** LIU Jiyuan, E-mail:liujy@igsrr.ac.cn

摘要:20世纪80年代以来中国社会经济快速发展带来的工业化、城市化正深刻影响着中国土地利用空间格局并影响到区域和国家生态与环境状况。在陈述彭先生指导下,1992年以来中国科学院建立起了完整的土地利用/覆盖变化遥感监测与数据分析技术路线,以及独特的分类体系和动态区划体系,奠定了中国LUCC信息平台的基础。本文在系统回顾陈述彭学术思想指导中国LUCC研究的基础上,面向国家需求与国际科技前沿梳理了我国LUCC研究的核心科学问题,并总结了中国科学院团队在最近20年LUCC研究取得的成果,包括土地利用/覆盖动态时空表征与分析模型、土地利用/覆盖变化过程及驱动机制、基于大数据和云计算的土地利用/覆盖变化探测方法、城市土地利用变化的区域气候/生态效应、气候变化与土地利用变化对农田生态系统的影响、林业活动的区域气候/生态效应,在此基础上对未来LUCC研究的前景进行了展望。

关键词:土地利用与土地覆盖变化(LUCC);遥感;中国;时空格局;驱动机制;环境效应;LUCC模型;信息平台

1 引言

工业革命以来,世界人口剧增,现代工业迅速发展,城市扩张、森林砍伐、草地开垦与过牧等人类活动引起了全球气候变暖、水资源短缺、生态系统退化、生物多样性丧失等一系列的全球及区域尺度环境变化。土地利用变化是导致全球变化的重要诱因和结果,探测与模拟土地系统的动态变化是理解人类活动的环境效应的关键环节。土地利用和覆盖变化作为全球变化研究的核心内容之一,前两大国际组织 IGBP(国际地圈与生物圈计划)和 IHDP(全球变化人类因素计划)于20世纪90年代初期一起发布了“土地利用/土地覆盖变化科学研究计划”(Land-Use and Cover-Change Project)^[1],简称LUCC研究计划,该计划于2005年结束。2个机构在2006年又联合启动了全球土地计划(Global Land Project, GLP),新的GLP计划以人类-环境耦合系统为

核心,强调陆地系统中人类-环境耦合系统的综合集成与模拟研究^[2-3]。

改革开放以来,经济和工业化的快速发展以及城市化进程的加快对中国土地利用空间格局变化产生了显著影响,成为影响国家生态与环境状况,以及影响区域气候变化的关键原因;与此同时,国家也实施了一系列区域发展与生态保护战略措施。为支持国家资源环境可持续发展的科学决策,地理工作者必须及时准确地掌握国家土地利用变化和生态系统退化的态势和区域差异规律,指导人们正确开发利用自然资源,保护生态环境,并向国家决策部门提供科学有效的科学咨询。

针对上述科学问题和国家需求,在中国科学院重大项目的支持下,由陈述彭先生和童庆禧先生担任学术指导,刘纪远研究员任首席科学家,在1992年开始着手组建一支中国土地利用/覆盖变化(LUCC)研究团队,由中国科学院地理科学与资源

研究所和原遥感应用研究所牵头,东北地理与农业生态研究所、原兰州沙漠研究所、新疆生态与地理研究所、测量与地球物理研究所、南京土壤研究所等共同参与研发,历时5年,成功发展并形成了完整的遥感监测与数据分析技术路线,以及独特的分类体系和动态区划体系,奠定了中国LUCC信息平台的基础。该研究以Landsat TM卫星30 m空间分辨率遥感数据作为主要数据源,采用人机交互快速提取的方法建成中国国家尺度1:10万比例尺土地利用变化数据库^[4-9]。

此后,多个国家“973”项目和科技支撑项目给予了不间断的支持,使项目组得以采用同类卫星遥感信息源和相同的数据分析方法完成每隔5年的全国范围土地利用数据更新。自1996年起,历时20余年,建立了更新周期为5年的20世纪80年代后期至2015年系列全国土地利用1:10万数据库和动态时空数据库,形成了具有深远影响的国家土地利用数据集(China Land Use/Cover Dataset, CLUD),可全面、及时、准确地反映全国土地利用历史、现状及动态变化状况^[4-9]。

在上述研究工作的论证与执行过程中,陈述彭院士给予了全过程的学术指导,同时,在各阶段成果凝练与下一步项目设计中,把握国际遥感科学技术前沿,指明重大应用需求方向,使我国的土地利用变化遥感科学事业不断创新发展。限于篇幅,本文仅对陈述彭先生指导下的中科院LUCC遥感工作进行了回顾,国内多家研究机构,如国家基础地理信息中心^[10]和清华大学^[11]在土地覆盖和土地利用变化遥感监测方面也取得了重要进展;此外自然资源部的土地利用变更调查和全国基础性地理国情监测项目等也产生了精细的土地利用产品,生态环境部在生态环境十年评估中生产了全国生态系统类型数据,这些产品为政府决策和业务应用提供了重要支持。

2 陈述彭院士对土地利用变化遥感研究的学术指导与前瞻

2.1 第一阶段(1992—1995年):国家土地利用及资源环境遥感调查技术体系的建立

为了满足国家及地方对土地利用时空信息的迫切需求,在“八五”期间(1991—1995年),中国科

学院启动了国家资源环境遥感宏观调查与动态研究项目,完成了全国范围的资源环境遥感调查并建立了相应的技术系统^[12]。项目以“采用航天遥感手段,在2~3年的时间内,查清国家基本土地资源及其环境背景状况,并开展典型区的多专题资源环境动态研究”为目标,设计了以30 m空间分辨率卫星遥感信息源为基础的遥感监测与数据分析技术路线,以及土地利用类型-生态环境背景单元组合的分类系统,进行了大量艰苦细致的遥感图像解译和多层属性地理信息空间分析,完成了国家尺度土地利用-生态环境背景组合信息数据库,分析了国家土地资源及其生态环境背景的区域分异特征,以及国家耕地资源和典型区城市、沙漠、水域、土壤侵蚀的动态变化规律,有效支撑了国家重大决策^[13]。

陈述彭院士指导了项目的设计与成果总结工作。他认为项目产出的重要成果主要包括:“参照地理单元制定资源-环境组合分类系统,建成庞大的图形与统计数据库;分析统计我国近10年来耕地面积变化的时空分布规律和地区差异;初步评估了我国耕地后备资源和生态与环境质量;提出了有关开发与保护耕地宏观决策的建议;对城郊用地、土地荒漠化、水域动态和土壤侵蚀进行了典型研究^[14]”等。

他前瞻性地指出:“规范、标准化的数据库的建设乃是信息系统的根本,但是,行百里者半九十。数据库的维护更新和分析利用工程更为浩大而艰巨。以卫星遥感手段而言,2000年以前,国际商品化的图像数据产品,空间分辨率即将达到1 m;而高光谱与多极化雷达信息源极大丰富。土地利用的分类图像处理技术日新月异,全球变化的同步监测能力覆盖全球。要想建成完整的国家资源环境动态监测信息系统,能够及时准确地向国家主要部门提供资源与环境动态变化情况的图件和数据,不可能毕其功于一役,尚有待于运行体制的优化与政府协调功能的强化,有待于资金投入的增加和科技含量的提高,从而保障高科技转化为生产能力成为现实。特别是独立自主的国产资源与环境卫星数据的实时供应与地面台站网络观测数据的共享,均有待九五期间进一步做出努力通力合作,上述目标才能做到运行无阻,服务及时^[14]”。他提出的运行体制、高科技转化为生产能力、地面台站网络观测数据共享以及国产资源环境卫星数据实时供应等问题,成为遥感科技界持续努力的方向。

2.2 第二阶段(1996—2005年):国家LUCC遥感监测的规范化和业务化

在上述成果的基础上,在1996年经陈述彭院士、童庆禧院士建议科技部设立了“国家级基本资源与环境遥感动态信息服务体系的建立”科技攻关项目,由中国科学院主持,农业部、国家林业局、中国气象局、国家测绘局所属相关科研单位参加,在全国范围内建成了20世纪90年代中期1:10万比例尺土地利用地理信息数据库,并于2000年实现了全面更新。随后,中国科学院于1999年启动了“国土环境遥感时空信息分析与数字地球相关理论技术预研究”知识创新工程重大项目,各研究所投入100余名科研人员,成功完成了我国20世纪80年代末期至2000年的土地利用动态监测并研发了信息系统^[12]。

中国科学院发展了基于遥感的时间-空间土地利用数据库建设技术方法,建立了20世纪80年代末期、1995年和2000年共3期覆盖全国的卫星影像库和土地利用空间数据库,完成了我国国土资源遥感时空数据系列,为国家开展土地利用动态监测与科学研究奠定了技术和数据基础,进而对我国20世纪80年代末期到2000年的土地利用变化过程进行了全面分析^[15-16]。

陈述彭院士在为《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》一书所做序言中^[17]指出:“依托多种卫星遥感信息源,建成1:10万比例尺的可更新的数据库,实现全数字化、计算机处理与制图,从而剖析全国范围土地利用近10年来的变化过程与地区差异,并探讨其驱动力,总结理论方法,提出趋势预测模型。它标志着我国土地利用研究与与时俱进,跨进了全新的一代;跻身于新世纪空间时代、信息社会土地覆盖与土地利用研究领域的国际先进行列”。该项成果“闪烁着许多技术创新和知识发现的新亮点。例如,全数字化、人机交互遥感信息的提取方法与精度分析、动态数据库(包括元数据库、现势数据库与历史数据库)的数据标准化与操作规范、影像数据库和专题数据库的质量控制标准、耕地系数静态抽样的空间统计模型、生态背景数据的空间叠加、人口密度数字模型与历史时期土地利用状况的模拟再现等,使土地覆盖与土地利用时空变化的研究方法提升到定量化、信息化的新水平,使全国范围土地覆盖与土地利用及其变化的研究深度跨进了很大的一步^[17]。”

2.3 第三阶段(2005年以来):国家LUCC遥感监测成果的多学科应用

在全国LUCC遥感监测的规范化和业务化运行的基础上,完成了21世纪以来的每隔5年的土地利用变化监测,在此基础上分析揭示了21世纪初10年土地利用变化的时空规律及其主要政策、经济和自然归因^[13-14]。在此阶段,长时间序列的LUCC遥感监测成果在各个领域得到了广泛应用,相关成果的中英文引用达到上万次。这一时期,关于土地利用变化背后的自然和人为驱动力的研究更加深入,对于农业开垦、生态退耕等过程开展了深入的驱动机制剖析,并就土地利用变化带来的生态和气候效应进行了研究,为国家生态保护和可持续发展战略提供了科学支持。

陈述彭指出^[18-19]:“关于驱动力的分析,本专著提出了许多重要的、独到的见解,同时也揭示了不少有待于进一步深入探讨的新问题,留给读者探索和思考。以城镇化对土地利用的影响为例,各省耕地总量平衡作为第一原则就不能一刀切。在城镇化较为滞后的地区是合理的、可行的;对于高速城镇化的东南沿海地区,则导致耕地质量的严重下降。又如城镇化对水域面积的减少,是不是直接的驱动力?是人为的过失还是自然历史演化的必然?当年围湖、围海造田,大面积开荒的破坏程度究竟有多大?都还需要从自然资源合理利用和社会经济可持续发展着眼,作更深入细致的时空分析,不只是统计相关分析可以解决的问题。学而不思则罔,思而不学则殆。捧读这部专著,我们不仅可以得到许多有关全国土地覆盖与土地利用的新知,同时也会得到启迪,引发更多的质疑,举一反三,共同把我国土地覆盖与土地利用的时空研究推上科学的巅峰^[18-19]。”他将LUCC遥感监测成果的应用明确指向国家资源保护和区域可持续发展战略,为今后的学科领域拓展与应用做出了前瞻性的展望与预判。

3 土地利用变化遥感研究的新进展

3.1 主要科学问题的凝练

在陈述彭院士学术思想的指引下,众多学者分析LUCC科学领域的国家需求与国际科技前沿,并结合实现国家可持续发展战略的需求,提出了土地利用变化研究的核心科学问题。围绕这些问题,科

学地回答国家关心的生态、资源、环境和农业生产等重大问题,将为国家制定相关的宏观政策提供重要的科学理论依据。

(1)进入工业化时代以来,中国乃至全球LUCC变化的时空过程的基本规律是什么?全球变化和人类社会活动如何驱动这一宏观过程的形成与演化?探究LUCC变化的时空过程将使我们对于目前国家土地利用的格局的基本特征和演化过程有一个更深入的认识,在此基础上可以指导国家和区域的生态安全和资源安全的评价。

(2)LUCC与全球变化的共同作用对生态系统结构和功能已经产生或将在未来产生什么影响?LUCC变化导致生态系统退化的机理是什么?人类如何通过自身行为的调整实现对生态系统的保护和修复?这一问题的回答对于认识当前国家生态和粮食安全具有重要启示,在该研究的基础上如何有针对性地采取保障国家生态安全、粮食安全和实现生态系统修复与管理的对策,并进而评估国家相关重大行动计划是否取得生态成效,对于实现国家生态安全和粮食安全具有重要的现实意义。

(3)如何集成并发展陆地系统探测与模拟研究的技术手段,实现地理信息学研究和自然、人文地理学研究的学科交叉,进而发展陆地系统变化研究的方法体系?土地系统科学具有显著的多学科交叉的特点,是全面认识陆地系统科学的重要纽带。土地利用变化科学的研究将为我国实现联合国可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs)提供重要的科学支撑。

3.2 21世纪以来土地利用变化遥感研究主要进展

3.2.1 土地利用/覆盖动态时空表征与分析模型

研究团队开展了高精度的国家尺度长时间序列土地利用/覆盖变化遥感监测,以卫星影像作为主要数据源,建成了国家尺度土地利用变化数据库,实现了每隔5年的连续变化监测并形成了全国范围的土地利用数据更新。截止目前已完成20世纪80年代末、1995、2000、2005、2010和2015年共6期的全国土地利用1:10万比例尺矢量数据库和1 km比例成分栅格数据库^[5,7,16,20]。完成了多个资源环境时空规律模型的构建,包括土地利用动态度模型、土地利用程度评价模型、土地资源空间分布模型、土地资源的生态环境背景评价模型等^[16,21]。揭示了改革开放以来经济快速发展过程中土地利用变化的现代过程,为中央和地方各级政府在水土资源管理和生态环境保护

与重建决策中提供有价值的科学信息。

3.2.2 土地利用/覆盖变化过程及驱动机制

开展自20世纪80年代末以来的中国土地利用/覆盖变化空间格局变化的分析,以LUCC时空模式的提炼为主线,实现了LUCC过程与格局的集成研究,揭示了20世纪80年代至2015年中国土地利用动态区划边界、动态区划中的区划单元的变迁、消长等的“格局的变化过程”以及“变化过程的格局”,刻画了LUCC动态区划中区划单元的消长、边界变动以及土地利用变化强度的时空特征,揭示了土地利用“格局”与“过程”之间的交替转化规律及在不同类型和区域的驱动机制。阐明了全国土地资源时空分布规律及影响因子,实现了模型分析结果的高分辨率图形表达。

3.2.3 基于遥感大数据和云计算的土地利用/覆盖变化探测方法

遥感大数据和云计算的应用,为创新土地利用/覆盖变化制图提供了重要的前沿技术^[22]。通过遥感云计算平台充分挖掘所有可用时间序列Landsat数据,利用作物独特的物候信息能够实现农业土地利用信息的提取,如基于物候的分类方法已经被用于大范围水稻种植面积信息的自动提取^[23]。此外,通过融合光学和雷达数据可以改进土地利用和覆盖信息的提取,如通过整合L波段PALSAR数据和光学数据实现对中国森林信息的提取和变化监测^[24]。

3.2.4 城市土地利用变化的区域气候/生态效应

发展了城市下垫面等级尺度的地表时空信息表征方法,重建了中华人民共和国成立70年来城市扩展过程,实现了30 m分辨率的中国城市不透水面和绿地组分的精细化制图,揭示了中国城市扩展和内部地表覆盖组分变化的时空过程以及驱动机制^[25-26],定量评估了城乡地表辐射能量收支差异,解释了城市热岛的形成机制^[27-28],为国土空间规划以及生态环境保护提供科学基础。

3.2.5 气候变化与土地利用变化对农田生态系统的影响

厘定了北方耕地开垦和弃耕的空间格局变化的气候和人为驱动因素^[29],提出了两种空间定量探测气候变化对北方农牧交错带界线变迁的贡献程度的方法^[30],定量分析了在不同时段和不同生态功能区内的气候变化对农牧交错带界线变迁的贡献程度^[31-32];研究了黄淮海平原20世纪80年代以来耕地变化对粮食产量的影响,从而为国家气候变化适

应性和农业可持续发展提供科学基础^[33-35]。

3.2.6 林业活动的区域气候/生态效应

揭示了我国造林活动引起水热碳链式响应过程进而产生水分调节、碳氮调节、气候调节的明显差异,阐明造林引发温室气体收支变化和改变地表陆—气界面过程的机理^[36-37],定量模拟和评估我国大规模造林活动的生态系统耦合调节效应以及森林管理对人工林水热碳过程及耦合调节效应的影响,为国家生态保护与修复相关策略提供科学基础。

4 土地利用变化遥感研究的前景展望

4.1 耦合遥感与大数据进行信息挖掘以实现土地覆盖到土地利用信息获取的转变

一方面,遥感对土地系统的刻画主要是从物理属性角度,通过光谱特征以及由时间序列光谱形成的季相变化特征和由空间格局形成的纹理特征来区分土地覆盖的类型。在地理学思维指导下从基于遥感影像的“地理图斑”概念出发,发展遵循“粒化—重组—关联”计算思维的遥感信息提取的新方法,充分挖掘遥感数据的空间、时间与属性等多维度信息,实现更丰富的土地利用和覆盖信息的提取^[38]。另一方面,尽管遥感可以一定程度上揭示土地类型和用途,但对于土地系统的社会经济属性的描述仍面临技术瓶颈。当前迅速发展的大数据(包括社交媒体数据、电子地图POI数据、开源数据、手机APP数据、出行轨迹数据、物联网传感器数据等)为刻画土地系统的社会经济数据提供了可能。例如,通过海量的出行GPS数据进行时空挖掘,从居民活动的时间和空间变化来建立与城市用地类型之间相关关系,从而实现对城市土地利用类型(如商业用地、工业用地、住宅用地等)的识别,更好地支持城市规划和土地管理决策。

4.2 发展支撑地球系统科学和全球变化生态学研究的土地分类系统新的范式

土地覆盖和土地利用产品是地球系统模式中陆表下垫面数据的重要数据源,但目前的LUCC产品难以与地球系统模式或生态模型无缝衔接。比如IGBP土地覆盖分类系统有森林、草地等主要的生态系统类型,但对于光合作用模拟至关重要的植物光合作用途径(C3或C4植物类型)等类型信息在现有的LUCC产品中仍是空白。土地管理措施的

变化如农业灌溉具有重要的区域生态和气候效应,但灌溉等在目前的LUCC产品中尚十分缺乏。

4.3 土地利用变化既是全球变化的原因和结果,也应视为实现可持续发展的手段

土地利用变化既是全球环境变化的原因和结果,又是缓解和适应全球环境变化的强大手段。前期土地利用变化研究都集中于了解土地系统变化的驱动因素和环境影响,然而,我们需要利用获得的土地系统知识来发展和建立可持续土地管理做法和政策的原型,从而利用调整土地利用实现可持续发展目标。这也是当前全球土地计划(GLP)以及未来地球国际研究计划(Future Earth)关注的重点问题。如何通过土地系统科学的角度服务于联合国可持续发展目标(SDGs)的实现?我们需要从关注探索性的研究转向对土地系统的功能及其动态的理解,与利益相关者(stakeholders)一起使用这些知识来寻找适应和缓解全球环境变化和社会风险的方法。例如,通过土地利用结构的优化有可能权衡和改善土地利用系统多种生态服务并增强整个土地系统的抵抗力。

5 结论

本文回顾了陈述彭先生指导国家LUCC遥感监测研究的历程,特别对于20世纪90年代上半期国家土地利用及其环境背景状况的调查与动态研究以及后来的LUCC遥感监测的业务化运行提出了宝贵的意见。在其学术思路指引下,中国科学院LUCC研究团队围绕国家需求和国际研究前沿科学问题,在LUCC时空表征与分析模型、LUCC过程及驱动机制、基于大数据和云计算的LUCC探测方法、城市土地利用变化的区域气候/生态效应、气候变化与土地利用变化对农田生态系统的影响、林业活动的区域气候/生态效应等方面取得了一系列研究进展。在此基础上本文也对未来LUCC研究进行了展望,提出了新时期LUCC研究的新目标和使命。

参考文献(References):

- [1] Lambin E F, Geist H. Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts[M]. New York: Springer, 2006.
- [2] IGBP. Science Plan and Implementation Strategy[R].

- Stockholm, SWEDEN: IGBP Secretariat. 2005.
- [3] 刘纪远,张增祥,徐新良等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J].地理学报,2009,64(12):1411-1420. [Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12):1411-1420.]
- [4] Liu J Y, Tian H Q, Liu M L, et al. China's changing landscape during the 1990s: Large-scale land transformations estimated with satellite data[J]. Geophysical Research Letters, 2005,32(2):L02405.
- [5] 刘纪远,匡文慧,张增祥等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J].地理学报,2014,69(1):3-14. [Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(1):3-14.]
- [6] 刘纪远,刘明亮,方大庄,等.中国近期土地利用变化的空间格局分析[J].中国科学(D辑:地球科学),2002,32(12):1031-1040. [Liu J Y, Liu M L, Fang D Z, et al. Analysis of the spatial pattern of land use in China recently[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2002,32(12):1031-1040.]
- [7] Liu J Y, Liu M L, Tian H Q, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990-2000: An analysis based on Landsat TM data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005,98(4):442-456.
- [8] Liu J Y, Xu X L, Zhuang D F, et al. Impacts of LUCC processes on potential land productivity in China in the 1990s [J]. Science in China, Series D: Earth Sciences, 2005,48(8):1259-1269.
- [9] Liu J Y, Zhuang D F, Luo D, et al. Land-cover classification of China: Integrated analysis of AVHRR imagery and geophysical data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003,24(12):2485-2500.
- [10] Chen J, Chen J, Liao A P, et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach [J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2014,103:7-27.
- [11] Gong P, Wang J, Yu L, et al. Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data. International Journal for Remote Sensing, 2013,34(7):2607-2654.
- [12] 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[J].地理研究,2003,22(1):1-12. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. Geographical Research, 2003,22(1):1-12.]
- [13] 刘纪远.中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M].北京:中国科学技术出版社,1996. [Liu J Y. Remote sensing macro survey and dynamic research of resources and environment in China[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1996.]
- [14] 陈述彭.中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M].1996,北京:中国科学技术出版社. [Chen S P. Remote sensing macro survey and dynamic research of resources and environment in China[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1996.]
- [15] 刘纪远,张增祥,庄大方.二十世纪九十年代我国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].中国科学院院刊,2003(1):35-38. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F, et al. Study on the spatial-temporal dynamic change of land-use change and driving forces analyses in 1990s[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2003(1):35-38.]
- [16] 刘纪远,张增祥,方大庄等. 20世纪90年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究[M].北京:科学出版社,2005. [Liu J Y, Zhang Z X, Fang D Z, et al. Study on the remote sensing spatio-temporal information of land use change in China in the 1990s[M]. Beijing: Science Press, 2005.]
- [17] 陈述彭. 20世纪90年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究[M].北京:科学出版社,2005. [Chen S P. Study on the remote sensing spatio-temporal information of land use change in China in the 1990s[M]. Beijing: Science Press, 2005.]
- [18] 陈述彭.《中国近期土地利用变化的遥感时空信息研究》导读[J].国土资源科技管理,2004(21):14. [Chen S P. Introduction to the study of remote sensing spatiotemporal information of recent land use change in China[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2004(21):14.]
- [19] 刘纪远.恩师陈述彭院士永远活在我们的心中[J].遥感学报,2009,13(1):12-13. [Liu J Y. Academician Supeng Chen will live in our heart forever[J]. Journal of Remote Sensing, 2009,13(1):12-13.]
- [20] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等. 2010-2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J].地理学报,2018,73(5):789-802. [Liu J Y, Ning J, Kuang W H, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2018,73(5):789-802.]
- [21] 刘纪远,布和敖斯尔.中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据[J].第四纪研究,2000,20(3):229-239. [Liu J Y, Buheaozier. Study on Spatial-temporal Feature of Modern Land-use Change in China: Using Remote Sensing Techniques[J]. Quaternary Sci-

- es, 2000,20(3):229-239.]
- [22] Dong J W, Metternicht G, Hostert P, et al. Remote sensing and geospatial technologies in support of a normative land system science: Status and prospects[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2019,38:44-52.
- [23] Dong J W, Xiao X M, Menarguez M A, et al. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 185:142-154.
- [24] Qin Y, Xiao X, Dong J, et al. Mapping forests in monsoon Asia with ALOS PALSAR 50 m mosaic images and MODIS imagery in 2010[J]. *Scientific Reports*, 2016,6(1): 20880.
- [25] 匡文慧,陈利军,刘纪远,等.亚洲人造地表覆盖遥感精细化分类与分布特征分析[J].*中国科学:地球科学*,2016,46(9):1162-1179. [Kuang W H, Chen L J, Liu J Y, et al. Remote sensing-based artificial surface cover classification in Asia and spatial pattern analysis[J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2016,46(9):1162-1179.]
- [26] 匡文慧,刘纪远,张增祥,等. 21世纪初中国人工建设不透水地表遥感监测与时空分析[J].*科学通报*,2013,58(5-6): 465-478. [Kuang W H, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Spatio-temporal dynamics of impervious surface areas across China during the early 21st century[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013,58(5-6):465-478.]
- [27] 匡文慧,刘纪远,陆灯盛.京津唐城市群不透水地表增长格局以及水环境效应[J].*地理学报*,2011,66(11):1486-1496. [Kuang W H, Liu J Y, Lu D S. Pattern of Impervious Surface Change and Its Effect on Water Environment in the Beijing-Tianjin-Tangshan Metropolitan Area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011,66(11):1486-1496.]
- [28] 邵全琴,孙朝阳,刘纪远,等.中国城市扩展对气温观测的影响及其高估程度[J].*地理学报*,2009,64(11):1292-1302. [Shao Q Q, Sun C Y, Liu J Y, et al. Impact of Urban Expansion on Meteorological Observation Data and Overestimation to Regional Air Temperature in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009,64(11):1292-1302.]
- [29] Shi W J, Tao F L, Liu J Y, et al. Has climate change driven spatio-temporal changes of cropland in northern China since the 1970s?[J]. *Climatic Change*, 2014,124(1-2): 163-177.
- [30] Shi W, Liu Y T, Shi X L. Contributions of climate change to the boundary shifts in the farming-pastoral ecotone in northern China since 1970[J]. *Agricultural Systems*, 2018, 161(3):16-27.
- [31] 高志强,刘纪远,曹明奎,等.土地利用和气候变化对农牧过渡区生态系统生产力和碳循环的影响[J].*中国科学(D辑:地球科学)*,2004,34(10):946-957. [Gao Z Q, Liu J Y, Cao M K, et al. Effects of land use and climate change on ecosystem productivity and carbon cycle in the transition area of agriculture and animal husbandry [J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2004,34(10):946-957.]
- [32] Shi W J, Liu Y T, Shi X L. Development of quantitative methods for detecting climate contributions to boundary shifts in farming-pastoral ecotone of northern China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017,27(9):1059-1071.
- [33] 刘纪远,徐新良,方大庄,等. 20世纪90年代LUCC过程对中国农田光温生产潜力的影响——基于气候观测与遥感土地利用动态观测数据[J].*中国科学(D辑:地球科学)*,2005,35(6):483-492. [Liu J Y, Xu X L, Fang D Z, et al. The influence of LUCC process on the light and temperature production potential of farmland in China in 1990s based on climate observation and dynamic observation of remote sensing land use[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2005,35(6):483-492.]
- [34] 田展,刘纪远,曹明奎.气候变化对中国黄淮海农业区小麦生产影响模拟研究[J].*自然资源学报*,2006,21(4):598-607. [Tian Z, Liu J Y, Cao M K. Simulation of the impact of climate change on Chinese wheat production in Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Journal of Natural Resources*, 2006,21(4):598-607.]
- [35] Shi W J, Tao F L, Liu J Y. Changes in quantity and quality of cropland and the implications for grain production in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. *Food Security*, 2013,5(1):69-82.
- [36] Huang L, Liu J Y, Shao Q Q, et al. Carbon sequestration by forestation across China: Past, present, and future[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012,16(2): 1291-1299.
- [37] Huang L, Zhai J, Liu J Y, et al. The moderating or amplifying biophysical effects of afforestation on CO₂-induced cooling depend on the local background climate regimes in China[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, 260-261:193-203.
- [38] 骆剑承,吴田军,吴志峰,等.地理图斑智能计算及模式挖掘方法研究[J].*地球信息科学学报*,2020,22(1): 57-75. [Luo J C, Wu T J, Wu Z F, et al. Methods of Intelligent Computation and Pattern Mining based on Geoparcel[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2020,22(1): 57-75.]