



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
中国陆地生态系统碳收支研究丛书



中国生态参数遥感监测方法 及其变化格局

吴炳方 曾源 赵旦 等著



 科学出版社
 龙门书局



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国陆地生态系统碳收支研究丛书

中国生态参数遥感监测方法 及其变化格局

吴炳方 曾源 赵旦等 著

科学出版社
龍門書局
北京

内 容 简 介

本书是“中国陆地生态系统碳收支研究”丛书的一个分册,对碳专项遥感课题构建的中国生态参数遥感监测技术体系进行系统性总结。中国生态参数以2000年、2005年、2010年三期全国土地覆被数据为基础和核心,涵盖2000~2010年时空连续的植被覆盖度、叶面积指数、植被生长期、光合有效辐射吸收比率、地表温度和植被地上生物量、蒸散发等生态参数数据,据此建立了具有特色的生态参数遥感监测方法。

本书可供从事地理信息系统(GIS)和遥感应用、生态研究以及环境保护方面的科技工作者,高等院校相关专业师生和政府相关部门人员参考。

审图号:GS(2019)5264号

图书在版编目(CIP)数据

中国生态参数遥感监测方法及其变化格局/吴炳方等著.—北京:龙门书局,2019.11

(中国陆地生态系统碳收支研究丛书)

国家出版基金项目 “十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-5088-5688-9

I. ①中… II. ①吴… III. ①生态环境—环境遥感—环境监测—研究—中国 IV. ①X87

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第245150号

责任编辑:王静 李迪 / 责任校对:严娜

责任印制:肖兴 / 封面设计:北京明轩堂广告设计有限公司

科学出版社 出版
龙门书局

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年11月第一版 开本:787×1092 1/16

2019年11月第一次印刷 印张:17 1/4

字数:419 000

定价:168.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

中国陆地生态系统碳收支研究丛书
编委会

总主编 方精云 于贵瑞

丛书编委会 (以姓氏笔画为序)

于贵瑞 方精云 白永飞

吴炳方 周国逸 唐志尧

谢宗强

前 言

《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》的生效实施，让中国这个世界最大的发展中国家面临节能减排的巨大压力。联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）认为生态系统固碳是目前最经济可行和环境友好的减缓大气 CO₂ 浓度升高的途径，因此，全球变化背景下增加陆地生态系统碳库已经成为国际社会关注的焦点和研究热点，定量评估我国陆地生态系统碳库量及其区域分布格局、动态变化趋势成为迫在眉睫的工作。

为了摸清我国生态系统固碳量，在中国科学院战略性先导科技专项“陆地生态系统固碳参量遥感监测及估算技术研究”课题（编号 XDA05050100）及中国科学院和环境保护部（现称生态环境部）联合支持项目“全国生态环境十年变化（2000—2010 年）遥感调查与评估”的“全国生态环境十年变化土地覆盖与地表参量遥感提取”（编号 STSN-01-00）专题的支持下，在继承前人研究成果的基础上，中国科学院遥感与数字地球研究所联合中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院东北地理与农业生态研究所、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所、中国科学院新疆生态与地理研究所、中国科学院南京地理与湖泊研究所、中国科学院测量与地球物理研究所、中国科学院深圳先进技术研究院、南昌大学、北京大学等多家单位，开展了全国土地覆被和 7 个生态参数（植被覆盖度、叶面积指数、植被生长期、光合有效辐射吸收比率、地表温度、蒸散发、植被地上生物量）遥感监测方法的研究，并形成了中国土地覆被类型与生态参数一体化遥感监测技术，构建了 2000~2010 年时空连续的土地覆被和生态参数数据集。土地覆被相关工作已于 2017 年完成整理并先后出版了国家地图集《中华人民共和国土地覆被地图集（1:1 000 000）》和配套专著《中国土地覆被》。

从 2011 年起历时 3 年，研究团队先后完成了生态参数野外调查、数据收集与预处理、生态参数遥感监测方法研究、生态参数数据集构建、生态参数数据集验证等工作。在此基础上，我们系统总结了基于遥感的生态参数监测方法，提出了生态遥感的新思路。据此，在研究团队的推动下，2015 年中国生态学会正式成立了生态遥感专业委员会，目的是将生态与遥感领域的科学家召集在一起，促进生态和遥感的有机结合，开拓并引领生态遥感的研究方向和研究热点。

本书在编写过程中还参考了大量有关文献资料，在此对文献作者表示衷心的感谢。由于编写人员水平及资料有限，书中不足之处在所难免，请广大读者批评指正。

作 者

2019 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 生态参数	1
1.1 概述	1
1.2 生态参数及其构成	2
1.3 基于遥感的陆地生态系统关键生态参数监测	4
1.3.1 基于遥感的陆地生态系统监测发展历程	4
1.3.2 常见陆地生态系统关键生态参数的遥感监测	7
1.3.3 生态参数一体化遥感监测技术	10
1.4 生态参数地面观测	12
1.4.1 样区布设	12
1.4.2 常见生态参数的地面观测方法	15
1.5 生态参数时空变化格局及气候变化格局的驱动分析	21
1.5.1 生态参数时空变化格局分析方法	21
1.5.2 气候变化格局对生态参数变化格局的驱动分析方法	22
参考文献	24
第 2 章 植被覆盖度遥感监测及变化格局	27
2.1 概述	27
2.1.1 植被指数法	28
2.1.2 分类回归树法	28
2.1.3 混合像元分解模型法	29
2.1.4 其他方法	30
2.2 植被覆盖度遥感监测方法	31
2.2.1 像元二分模型	31
2.2.2 精度验证方法	32
2.2.3 $NDVI_{veg}$ 的选取	34
2.2.4 $NDVI_{soil}$ 的选取	43
2.3 全国植被覆盖度数据成果与变化格局	49
2.3.1 数据成果	49
2.3.2 植被覆盖度变化格局	52
2.3.3 气候变化格局对植被覆盖度变化的驱动分析	56

2.4 小结	58
参考文献	59
第3章 叶面积指数遥感监测及变化格局	62
3.1 概述	62
3.1.1 叶面积指数常见遥感监测方法	62
3.1.2 叶面积指数数据产品	64
3.1.3 主要的叶面积指数反演算法	67
3.1.4 叶面积指数的遥感监测精度分析	68
3.2 叶面积指数的遥感监测方法	70
3.2.1 MODIS LAI 数据集的预处理	70
3.2.2 LAI 产品的改进	71
3.2.3 时空滤波算法	72
3.2.4 生长曲线滤波算法	73
3.2.5 尺度下推	73
3.3 叶面积指数数据成果与变化格局	74
3.3.1 数据成果	74
3.3.2 质量评价	76
3.3.3 典型生态类型样点的叶面积指数曲线	77
3.3.4 叶面积指数时空变化格局	78
3.3.5 气候变化格局对叶面积指数变化的驱动分析	81
3.4 小结	83
参考文献	83
第4章 植被生长期遥感监测及变化格局	85
4.1 概述	85
4.1.1 植被物候遥感监测	86
4.1.2 基于 AVHRR 时间序列数据的生长期监测	90
4.2 农作物复种指数的遥感监测方法	94
4.2.1 复种指数与 NDVI 时间序列曲线的关系	94
4.2.2 NDVI 时间序列数据去云重构	96
4.2.3 峰值频数的提取	100
4.3 基于 S-G 滤波和 Logistic 分段拟合方法的生长期遥感监测	105
4.3.1 MODIS NDVI 数据的时间滤波	105
4.3.2 基于 Logistic 分段拟合的生长期监测	108
4.4 植被生长期数据成果与变化格局	108
4.4.1 数据成果	108

4.4.2 生长期变化时空格局	109
4.5 小结	111
参考文献	112
第5章 光合有效辐射吸收比率遥感监测及变化格局	120
5.1 概述	120
5.1.1 植被光合有效辐射吸收比率的研究进展	120
5.1.2 基于遥感的光合有效辐射吸收比率估算	124
5.2 基于机理模型的植被光合有效辐射吸收比率遥感估算方法	136
5.2.1 光合有效辐射吸收比率参数化模型	136
5.2.2 冠层背景反演理论及模型参数化	141
5.3 全国光合有效辐射吸收比率数据成果与变化格局	149
5.3.1 数据成果	149
5.3.2 光合有效辐射吸收比率时空变化格局	156
5.3.3 气候变化格局对光合有效辐射吸收比率变化的驱动分析	157
5.4 小结	159
参考文献	160
第6章 地表温度遥感监测及变化格局	171
6.1 概述	171
6.1.1 热红外地表温度遥感反演方法	171
6.1.2 卫星反演地表温度的验证	182
6.2 基于“劈窗”算法的地表温度反演方法	185
6.2.1 地表发射率估算方法	185
6.2.2 地表温度遥感反演模型劈窗系数的率定	188
6.3 全国地表温度数据成果与变化格局	191
6.3.1 数据成果	191
6.3.2 全国地表温度时空变化格局	194
6.3.3 气候变化格局对地表温度变化的驱动分析	196
6.4 小结	198
参考文献	199
第7章 植被地上生物量遥感监测及变化格局	205
7.1 概述	205
7.1.1 森林地上生物量遥感监测方法研究进展	205
7.1.2 草地地上生物量遥感监测方法研究进展	219
7.2 植被地上生物量遥感监测	228
7.2.1 森林地上生物量遥感监测	228

7.2.2 草地地上生物量遥感监测.....	232
7.2.3 农田地上生物量遥感监测.....	245
7.3 全国植被地上生物量数据成果与变化格局.....	247
7.3.1 数据成果	247
7.3.2 全国植被地上生物量时空变化格局.....	248
7.4 小结	249
参考文献	251
第8章 展望：生态遥感	263
参考文献	266

第1章 生态参数

1.1 概 述

生态环境恶化已经成为当前人类生存与发展面临的严峻挑战，受到世界各国的高度重视。改革开放以来，我国的经济建设取得了巨大成就，进入了工业化和城市化快速发展阶段。这一系列成就取得的同时也引发了巨大的生态环境问题，人与环境之间的矛盾日益突出。目前，环境问题已成为制约我国经济发展和社稳定的重要因素之一。

中国政府一直重视生态环境保护与治理。20世纪80年代，中国政府把环境保护确立为一项基本国策。1984年，国务院环境保护委员会成立。1989年，《中华人民共和国环境保护法》正式颁布。1992年，联合国环境与发展大会以后，中国是率先制定和实施可持续发展战略的国家之一。1993年，全国人民代表大会环境与资源保护委员会正式成立（张连辉和赵凌云，2007）。进入21世纪，随着中国经济的飞速增长、人民群众物质生活的日益富足，环境问题开始进一步凸显，也越来越受到政府的高度重视。2003年，政府提出为全面落实科学发展观，加快构建社会主义和谐社会，实现全面建设小康社会的奋斗目标，必须把环境保护摆在更加重要的战略位置（国务院，2006）。随后的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》（简称“十一五”规划）、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》（简称“十二五”规划）中，环境保护在国民经济建设和社会进步中所扮演的重要角色得到了进一步明确。尤其是十八大中提出，“面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势，必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，把生态文明建设放在突出地位，融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程”。

本章执笔人：吴炳方，曾源，赵旦

掌握过去全国生态环境的变化特点和规律,对提出新时期的环境保护对策、转变经济增长方式、实现经济发展与生态环境保护的可持续发展具有重要意义。植被退化与破坏是我国存在的重大生态问题之一。我国长期存在着耕地过度开垦与征用、草原过度放牧、森林乱砍滥伐等不合理的土地利用方式,导致部分地区的植被质量大幅度降低,并因此导致水土流失、洪灾频繁、物种减少、土壤肥力流失、土地荒漠化和盐碱化、粮食产量降低、气候变化等多种严重恶果。这些问题得到政府和民间组织的重视,改革开放以来,我国实施了一系列绿色生态工程,如天然林资源保护工程、防沙治沙工程、退耕还林工程、速生丰产林工程、“三北”及长江防护林工程、京津风沙源治理工程等,对改善生态环境、维护国土生态安全发挥了重要作用。

21世纪前十年(2000~2010年),我国经济与城镇化的快速发展给生态环境带来了前所未有的冲击,另外生态保护与建设工程规模空前,导致我国土地覆被类型与质量发生了翻天覆地的变化。精细刻画土地覆被类型与生态参数的空间格局,准确掌握其时间和空间变化规律,既是区域环境过程基础研究的需要,也是国家生态建设策略制定的重大需求。

1.2 生态参数及其构成

广义的生态参数是指表征生态环境属性的所有参数集合,包括生理参数、物理参数、化学参数等。本书所述的生态参数是指陆地生态系统的生态参数(下文中的生态参数均以此为准),包括土地覆被类型、植被覆盖度(fractional vegetation coverage, FVC)、叶面积指数(leaf area index, LAI)、植被生长期、光合有效辐射吸收比率(fraction of absorbed photosynthetically active radiation, FAPAR/FPAR)、地表温度、蒸散发和植被地上生物量,是生态评估、全球变化研究和生态系统管理的重要基础数据。

土地覆被(也常见“土地覆盖”)是一种地理特征,是陆地表面可被观察到的自然营造物和人工建筑物的综合体,是自然过程和人类活动共同作用的结果,既具有特定的时间和空间属性,也具有自然与社会属性(吴炳方等,2014),是一个随遥感科学的发展而出现的概念。土地覆被遥感监测主要对地表覆盖物(包括已利用土地和未利用土地)进行解译和分类。通过遥感监测某一时刻地表土地覆被信息,实际上就是识别此刻地表土地覆被的类型信息,了解其空间分布状况,记录自然过程和人类活动改变地球表面特

征的空间格局。对某一时段地表土地覆被信息的获取,目的是描述地表土地覆被类型的变化(王长耀等,2005),再现地球表面的时空变化过程。土地覆被的主要组成部分是植被,但也包括土壤和陆地表面的水体。土地覆被信息与植被覆盖度、植被地上生物量、生物多样性等植被特征信息相结合,可以进一步反映土地覆被类型的质量信息。

植被覆盖度是指植被(包括茎、叶、枝)在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比(Gitelson et al., 2002),该指数不仅是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标,同时也是生态模型、碳循环模型、水循环模型等的重要特征参量,是区域生态环境评价的前提和必要基础。植被覆盖度在不同的植被生态系统有着不同的表现形式,在森林生态系统是指森林中乔木树冠、林下灌丛和草本层遮蔽地面的程度,与仅反映冠层的郁闭度具有一定的差异;在草地和农田生态系统中是指草和农作物遮蔽地面的程度,也可称为盖度。

叶面积指数是指单位土地面积上植物叶片总面积占土地面积的比例,是反映植物群体生长状况的一个重要指标,是从植物光合作用、蒸腾作用、光合和蒸腾的关系、水分利用及生产力基础构成等方面进行群体和群落生长分析时必不可少的一个重要参数。同时叶面积指数在林分、景观及地区尺度上对碳、能量、水分通量等研究方面有重要用途,在林冠水平及景观尺度上是模拟水分蒸发与估算蒸腾损失总量的一个重要指标,也被用来估测林分尺度及景观水平上的森林生产力(王希群等,2005)。

植被生长期是指一年中植物显著可见的生长时间。生长期与温度条件有着密切的关系,在一定温度以上可继续生长的时间就称为生长期,但在干旱地区,水分条件往往决定着生长期的长短。维持正常生长所必需的生长期,因植物种类不同而异。生长期的长短多决定植物(尤其是树木)分布的北限。生长期越短,植物可生长的纬度和海拔越高。

光合有效辐射吸收比例是指被植被冠层绿色部分吸收的光合有效辐射(photosynthetically active radiation, PAR)与到达冠层顶部总PAR之比(Martínez et al., 2013; McCallum et al., 2010)。而光合有效辐射是波长为400~700nm、有利于植物光合作用那部分太阳下行辐射(董泰锋等,2011)。准确、定量地获取FPAR,对进行陆地生态系统过程研究、作物产量估算有着重要的意义。

地表温度即地面的温度。太阳辐射到达地面后,一部分被反射,另一部分被地面吸收,使地面增温,对地面的温度进行测量后得到的温度就是地表温度。地表温度会因所处地点环境不同而有所不同。影响地表温度变化的因素也比较多,如地表湿度、气温、光照强度、地表类型(草坪、裸露土地、水泥地面、沥青地面)等。对于一个

地区而言, 该地区的地表温度主要取决于该地区所处的纬度(如赤道线上的地区与北极的北冰洋地区的温度有几十摄氏度的温差), 此外还有海拔、人口密度、工业发展程度、森林的覆盖程度(如同一纬度上的沙漠地区和原始森林地区的温差很大)等。

陆表蒸散发包括陆表水分蒸发(水面蒸发与土壤蒸发等)与通过植被表面和植被体内的水分蒸腾两部分, 是土壤-植被-大气系统中能量水分传输及转换的主要途径, 也是陆表水循环中最重要的分量之一。一个流域内, 水面蒸发、土壤蒸发和植被蒸腾的总和称为流域蒸散发或流域蒸散, 它是流域水文-生态过程耦合的纽带, 是流域能量与物质平衡的结合点, 也是农业、生态耗水的主要途径。掌握了流域的蒸散发时空结构, 将极大地提升人们对流域水文和生态过程的理解和水资源管理能力。

地上生物量是指某一时刻单位面积内实际生活的有机物质(地上部分干重)总量。森林生物量表征森林生态系统中的碳储量, 已被国际林业研究组织联盟(International Union of Forest Research Organizations, IUFRO)列为重要的监测指标之一(Zhao and Zhou, 2005)。其中, 森林的地上生物量(包括干、枝、叶片生物量)因森林的寿命长、体积大而长期、大幅度地影响碳库, 是研究森林生态系统生产力、评估森林碳收支的基础, 对全球气候变化研究具有重要意义(Tuominen et al., 2010)。

1.3 基于遥感的陆地生态系统关键生态参数监测

1.3.1 基于遥感的陆地生态系统监测发展历程

早在遥感卫星发射以前, 人类就已经采用航空遥感开展生态监测, 如美国用航空遥感进行美国国家公园的植被类型遥感制图。遥感卫星发射后, 基于遥感的陆地生态系统监测发展历程中的标志性事件有3个。

一是国际地圈-生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)开创全球土地覆被遥感监测。土地覆被数据主要取决于自然因素及人类活动对土地利用和整治产生的影响, 随着全球气候变化、碳排放等环境问题研究的深入, 全球土地覆被信息产品应运而生。联合国开发计划署(United Nations Development Programme, UNDP)的IGBP建立了全球7个产品的数据集, 由美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)地球资源观测系统数据中心(EROS Data Center)与内布拉斯加林肯大学

(University of Nebraska Lincoln, UNL)、欧盟委员会联合研究中心 (European Commission's Joint Research Center, JRC) 成立了 IGBP 土地覆被工作组 (LCWG), 基于 1km AVHRR 数据构建了包括 17 个类型的 IGBP DISCover 全球土地覆被数据集 (Loveland et al., 2000)。IGBP DISCover 是首个全球性的土地覆被数据集, 它的出现为全球尺度的生态系统评估、全球变化等多个研究领域提供了统一且规范的基础数据。随后, MODIS 土地覆被产品也采用了同样的分类系统 (Friedl and McIver, 2002)。美国马里兰大学的全球土地覆被产品, 其分类系统也是在 IGBP 的基础上综合成的 14 类 (Hansen et al., 2000)。

二是全球气候观测系统 (global climatic observation system, GCOS) 提出基本气候变量 (essential climate variables, ECV), 首次系统梳理了基于遥感的生态参数指标体系。基本变量是描述系统变化所需的最小变量集。从满足《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)、联合国政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 的需求以及全球系统观测的可行性等角度出发, GCOS 在大气、陆地、海洋 3 个领域分别选定了一些重要气候变量, 共同构成 ECV (GCOS, 2003), GCOS 随后在 2004 年、2006 年和 2010 年分别评估并补充基于遥感的 ECV 变量子集。ECV 中的大部分变量对生态系统监测与评估具有重要意义, 支持大量的大尺度生态系统相关研究, 为后续全球性的生态参数遥感监测指标体系的构建提供了依据。GCOS 联合多家研究机构随后制定了关于生物多样性 (Pereira et al., 2013)、水 (Constable et al., 2016) 以及社会生态系统和可持续发展目标 (Reyers et al., 2017) 的基本变量。目前地球观测组织 (Group on Earth Observation, GEO) 的全球农业监测 (GEO-GLAM) 旗舰计划和全球干旱生态系统国际大科学计划 (Global-DEP) 正在制定面向农业和干旱区的基本变量。

三是联合国千年生态系统评估 (millennium ecosystem assessment, MA) 计划首创基于多源遥感数据融合的大尺度生态系统监测与评估先河。MA 计划是原联合国秘书长科菲·安南于 2000 年呼吁, 2001 年正式启动的。目标是评估生态系统变化对人类福祉的影响, 为针对提高生态系统对人类福祉的贡献而需采取的行动奠定科学基础。全世界 1300 多名专家参与了“千年评估”的工作。评估结果包括 5 个技术报告和 6 个综合报告, 对全世界生态系统及其提供的服务功能 (如洁净水、食物、林产品、洪水控制和自然资源) 状况与趋势进行了全面的科学评估, 并提出了恢复、保护或改善生态系统可持续利用状况的各种对策。MA 计划综合运用遥感获取的土地覆被类型和生态参数, 构建了生

态系统的评估指标体系,对不同生态系统的服务功能进行了详细评估,为后续国家尺度和全球尺度的生态遥感应用奠定了技术基础。

我国的相关研究工作起步比国外要晚,开始于20世纪90年代前后,标志性的事件也有3个。

一是在1987年全面展开的“三北”防护林遥感综合调查工程项目。为了评估“三北”防护林体系建设现状、国家经济扶持政策与技术措施的效益并进一步完善防护林体系,国家把“三北防护林遥感综合调查”列为“七五”计划的科技攻关课题,对“三北”范围进行综合性遥感分析和地面调查,并在此基础上建立“三北”防护林地区资源与环境信息系统,为该地区宜林、宜灌、宜草类型区界线划分、不同类型区成林效果、动态变化和生态效益等提供综合性、连续性数据信息(张德宏,1990)。该项目以 Landsat MSS、TM 和 SPOT 数据为主要信息源,结合地面调查与航片,利用目视解译方法完成了土地利用、森林分布、草地类型数据集,该项目是我国将遥感技术应用于大区域生态监测的一次典型示范。

二是我国先后启动两个重大项目。国家高技术研究发展计划(863计划)信息获取与处理技术主题专家组结合当时西部大开发的监测需求,组织实施了“西部金睛行动”,以期快速查明西部生态环境的本底现状及影响生态环境变迁的主要原因,建立我国西部生态环境遥感监测网络系统和生态环境动态数据库。该项目通过西部、区域、省(自治区、直辖市)、典型地区4个层次,制定统一的标准、实施方案和质量检查方法,提出了12项分类技术指南,完成了1990年和2000年的生态环境本底遥感调查,构建了13个数据层的生态环境本底数据库,并在资源、环境、灾害以及西部与境外有争议的水资源利用等问题领域进行典型的应用示范研究,动态监测西部大开发的生态环境效应,评价与分析西部的开发潜力和制约因素(吴炳方等,2004)。“西部金睛行动”是我国首次将遥感应用到大范围的生态系统监测上,形成了本底数据库,并为国家决策服务。此外,我国政府积极支持千年生态系统评估计划,并于2001年6月启动了中国西部生态系统综合评估项目(MAWEC)。该项目是MA计划亚全球生态系统评估项目的案例之一。项目参照国际千年生态系统评估框架,采用系统模拟和地球信息科学方法体系,利用遥感和统计数据对中国西部生态系统及其服务功能的现状、演变规律和未来情景进行了全面的评估(刘纪远等,2006)。在该项目中,利用遥感开展的土地覆被监测、归一化植被指数(normalized differential vegetation index, NDVI)、净初级生产量(net primary production, NPP)等生态参数监测成为生态系统评估的重要指标和基础数据。该项目的实施是我国首次将遥感广泛应用到大区域的生态系统评估中,并参与到全球性的生

态系统评估工作中，极大地推动了我国生态遥感技术的发展。

三是我国开展的一系列重大工程遥感监测与评估。2002年国务院三峡工程建设委员会办公室启动三峡工程生态与环境遥感动态与实时监测，在移民区、库区和长江上游3个尺度展开生态环境本底、水土流失、植被生态参数等多个专题的监测，对长江三峡工程建设前后的资源、生态和环境进行长期遥感动态监测与影响评估（吴炳方，2011）。由国家林业局（现国家林业和草原局）组织的“国家林业生态工程重点区遥感监测评价”项目，以林业六大重点工程中的天然林资源保护工程、退耕还林工程为监测对象，以遥感技术为核心，综合运用3S技术（遥感、地理信息系统和全球定位系统），采用多级遥感监测方法，实现对工程建设情况及成效的连续动态监测与评价（鞠洪波，2003）。2004年水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院启动了“南水北调中线工程生态环境遥感监测”863计划课题，选择典型区对地表水水质、水库岸坡稳定性（滑坡及塌岸）、水土流失、水面、盐碱化和植被等6个环境因子进行了监测与评价（潘世兵和李纪人，2008）。2008年中国科学院启动知识创新工程重大项目“重大工程生态环境效应监测、评估与预警”，该项目以三峡工程、“三北”防护林工程和海河流域治理工程为对象，采用遥感、地面观测与生态学相结合的方法，对影响重大工程生态环境效应的诸多要素进行定量化监测和综合评估，建立重大工程生态环境效应监测与评估技术体系，为国家宏观决策提供准确可靠的科学依据与信息基础，实现重大工程综合效益的最大化，并为其其他重大工程的监测提供借鉴（朱教君等，2016；吴炳方和闫娜娜，2019）。

1.3.2 常见陆地生态系统关键生态参数的遥感监测

国际上的土地覆被遥感监测以IGBP和国际全球环境变化人文因素计划（International Human Dimensions Programme, IHDP）联合提出的土地利用/覆被变化（LUCC）为代表，是一个跨学科领域的研究课题。美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration, NASA）主导的土地覆被/土地利用变化项目（LCLUC）则是LUCC的直接响应。从大的方面而言，LUCC研究在于更好地理解 and 不断地认识不同时间及空间尺度上土地利用与土地覆被的相互作用及其变化，包括土地利用与土地覆被变化的过程、机制及其对人类社会经济与环境所产生的一系列影响，为全球、国家或区域的可持续发展战略提供决策依据。在过去的20多年里，不同学科的研究者对LUCC给予了很大关注，围绕LUCC何地发生变化、何时发生变化、如何发生变化和为何发生变化等问

题开展了大量的研究。

欧洲研究人员也一直在关注土地覆被监测，早在 1985 年，欧洲委员会就决定制订环境信息协作计划（Coordination of Information on the Environment, CORINE），建立一种稳定且一致的欧洲土地覆被数据库（CORINE Land Cover, CLC）。CLC 数据库土地覆被分类系统包括人造区域、农业区、森林和半自然区、湿地、水体 5 个一级类型，15 个二级类型和 44 个三级类型（Lavalle et al., 2002）。至今，CORINE 土地覆被产品已经发布 5 期，覆盖欧洲国家，其中 2018 年数据基于哥白尼计划的哨兵 2 号卫星数据制作，空间分辨率达到 10m，方法主要为对高空间分辨率遥感影像进行目视解释，在部分国家采用了半自动的分类方法，制图精度优于 85%。

近年来，我国生态遥感领域也先后推出了多个重要的土地覆被数据集。国家基础地理信息中心陈军研究团队与国内多家单位合作，基于像素-对象-知识（Pixel-object-knowledge, POK）相结合的方法（Chen et al., 2015），于 2014 年发布了全球 10 类 30m 土地覆被数据产品（GlobeLand30），总精度为 80%。GlobeLand30 分类利用的影像为 30m 多光谱影像，包括美国陆地资源卫星（Landsat）TM5、ETM+多光谱影像和中国环境减灾卫星（HJ-1）多光谱影像。

清华大学宫鹏教授团队联合多家单位，采用最大似然法、决策树法、随机森林法、支持向量机法，基于样本训练全自动处理，于 2013 年完成了全球 30m 分辨率土地覆被图（FROM-GLC）（Gong et al., 2013）。其分类系统包括 10 个一级类型，以及 28 个二级类型，平均精度为 64.9%。该团队还分别在 2017 年和 2018 年发布了 2015 年全球 30m 分辨率土地覆被数据集和 2017 年全球 10m 分辨率土地覆被数据（Gong et al., 2019）。

中国科学院地理科学与资源研究所刘纪远研究团队自 20 世纪 90 年代以来，以人工目视解译方法为主，建成了国家尺度土地利用变化数据库，每隔 5 年采用同类卫星遥感信息源和相同的数据分析方法，完成全国范围的土地利用数据更新（刘纪远等，2014），截至目前，已经完成 20 世纪 80 年代、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年共 6 期 30m 空间分辨率全国土地利用数据库。该数据库包括耕地、林地、草地、水域、城乡建设用地、未利用地等 6 个一级类型及 25 个二级类型，一级类型综合评价精度达 94.3%以上，二级类型综合评价精度达 91.2%以上。

本书研究团队主导完成了 1990 年、2000 年和 2010 年三期 30m 空间分辨率中国土地覆被数据集（ChinaCover）。该数据集的分类系统包括 6 个一级类型（林地、草地、耕地、湿地、人工表面和其他）和 40 个二级类型，其中一级类型与联合国政府间气候