

# 全球宏观尺度多源土地覆盖 数据融合与质量评价研究

Data Fusion and Accuracy Evaluation of Multi-Source  
Global Land Cover Datasets

白燕等/著



非  
外  
借



科学出版社

# 全球宏观尺度多源土地覆盖数据 融合与质量评价研究

白 燕 等 著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书在国家科技基础条件平台项目——国家地球系统科学数据共享网(2005DKA32300)和江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心建设项目的支持下,以5套全球宏观尺度中低分辨率土地覆盖数据集为研究对象,在对其一致性精度进行系统评价、对比分析其异同的基础上,结合利用相关辅助数据集,设计了一种基于模糊逻辑思想的证据融合方法,实现了多源土地覆盖信息的融合,并对融合数据与源数据的质量进行了定量评价与对比分析。

本书可供土地利用/土地覆盖、遥感和GIS应用等相关领域的研究人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

全球宏观尺度多源土地覆盖数据融合与质量评价研究 / 白燕等著.  
—北京:科学出版社,2019.9

ISBN 978-7-03-059321-4

I. ①全… II. ①白… III. ①土地-覆盖-数据集-研究  
IV. ①F301.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第245934号

责任编辑:刘超 / 责任校对:樊雅琼  
责任印制:吴兆东 / 封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年9月第一版 开本:720×1000 1/16

2019年9月第一次印刷 印张:12

字数:240 000

定价:128.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

全球及区域尺度的土地覆盖遥感分类制图是开展全球变化、陆表模型模拟、人地关系及区域可持续发展等研究的一项重要的基础性工作。在过去的近 30 年里，国际上已经建立起众多基于遥感分类制图的全球土地覆盖数据集，它们大多数易于获取而且免费共享，因而在众多全球及区域性的科学研究中得到了广泛应用。然而，由于这些数据集彼此之间的差异性、分类系统不兼容，以及数据产品的第三方精度较低且没有可比性等问题，用户在具体应用中选择利用这些数据集时面临严重的挑战和不确定性，同时上述局限性直接导致已有土地覆盖数据集不能有效满足全球变化等研究发展的需求。在多源数据共存和集成研究的背景下，采用信息融合技术进行土地覆盖遥感分类制图是全球变化研究的主要发展趋势。数据融合是一个多层次、多方面的数据处理过程，可用来处理数据的分类系统不兼容问题，并在一定程度上提高数据精度。

本书以 5 套全球宏观尺度中低分辨率土地覆盖数据集为研究对象，包括 GLCC、UMd、GLC2000、MODIS LC 和 GlobCover，在对其一致性精度进行系统评价、对比分析其异同性的基础上，从相关性分值的定义和融合规则出发，结合利用 MODIS VCF、MODIS Cropland/Non-Cropland 及 AVHRR CFTC 等土地覆盖辅助数据集，设计了一种基于模糊逻辑思想的证据融合方法，实现了多源土地覆盖信息的融合；在开展融合数据质量不确定性分析的同时，利用高精度土地覆盖样点数据，对土地覆盖融合数据及多源输入数据集的精度进行定量评价与对比分析。研究以广泛应用的 5 套全球宏观尺度中低分辨率土地覆盖数据集在中国区域的精度评价为主线，并将模糊逻辑思想理论、多源数据融合方法、精度直接验证和间接验证方法充分应用。

本书共分 7 章。第 1 章主要论述了研究背景和研究意义，并说明了研究目标、研究内容与方法。第 2 章从全球宏观尺度土地覆盖数据集、土地覆盖分类系统、全球土地覆盖数据精度评价及多源土地覆盖遥感数据融合 4 个方面对国内外相关的研究进展进行了综述，并分析了全球土地覆盖数据集的特征，指出了已有研究的不足，为开展后续的研究工作奠定了基础。第 3 章介绍了本书对全球土地覆盖数据集精度进行评价所采用的方法，包括数据一致性对比和精度定量评价两类方法。第 4 章重点论述了本书所采用的多源土地覆盖数据集融合方法的相关理

论基础，以及融合方法实现的流程和技术手段。第5章从面积属性和空间一致性两方面对全球土地覆盖数据集之间、与参考数据之间的一致性进行对比评价分析。第6章重点介绍了利用直接与间接两种验证方式对多源土地覆盖融合数据与源输入数据集之间的精度定量评价与对比分析。第7章对本书的主要研究内容及结论进行了凝练总结，同时讨论了本研究的不足，并对未来的研究进行了展望。

限于作者专业领域覆盖面和时间等因素的影响，可能会有不足之处，请读者不吝指正。

作者

2018年10月

# 目 录

## 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 土地覆盖及其变化是全球变化研究的重要组成部分	1
1.1.2 精确的土地覆盖数据是全球变化研究重要的基础数据	4
1.1.3 多源土地覆盖信息融合是全球变化研究的发展趋势	8
1.2 研究意义	10
1.3 研究目标、研究内容与方法	11
1.3.1 研究目标	11
1.3.2 研究内容与方法	11
1.4 技术路线	12
第 2 章 全球土地覆盖数据精度分析及其融合研究进展	14
2.1 全球宏观尺度土地覆盖数据集概述	14
2.1.1 GLCC 数据	16
2.1.2 UMd 数据	17
2.1.3 GLC2000 数据	18
2.1.4 MODIS LC 数据	19
2.1.5 GlobCover 数据	22
2.1.6 小结	22
2.2 土地覆盖分类系统研究进展	23
2.2.1 土地覆盖分类系统概述	23
2.2.2 土地覆盖分类系统的国内外研究进展	23
2.2.3 国内外主要的土地覆盖分类系统	24
2.2.4 小结	32
2.3 全球土地覆盖数据精度评价的研究进展	33
2.3.1 土地覆盖数据精度评价方法概述	33
2.3.2 全球土地覆盖数据精度评价研究进展	37

2.4	多源土地覆盖遥感数据融合研究 .....	42
2.4.1	多源信息融合的基本概念 .....	42
2.4.2	多源土地覆盖遥感信息融合方法与技术 .....	43
2.4.3	多源土地覆盖数据融合与重建研究进展 .....	50
2.5	本章小结 .....	55
<b>第3章</b>	<b>全球土地覆盖数据集的精度评价方法 .....</b>	<b>57</b>
3.1	数据源收集与预处理 .....	57
3.1.1	全球土地覆盖数据及其预处理 .....	57
3.1.2	参考数据及其预处理 .....	61
3.2	目标分类系统的定义 .....	62
3.2.1	陆面过程模型中植被的描述及其分类方案 .....	62
3.2.2	植物功能型概述 .....	66
3.2.3	目标分类系统的定义 .....	68
3.3	数据一致性对比方法 .....	69
3.3.1	土地覆盖类型面积数量精度对比 .....	70
3.3.2	多源土地覆盖数据空间一致性对比 .....	70
3.4	精度定量评价方法 .....	70
3.4.1	野外采样方法 .....	71
3.4.2	统计采样方法 .....	72
3.4.3	受控分层随机采样方法 .....	74
3.4.4	基于样点的土地覆盖解译方法 .....	76
3.4.5	精度评价指标 .....	82
3.5	本章小结 .....	82
<b>第4章</b>	<b>多源土地覆盖数据融合方法 .....</b>	<b>83</b>
4.1	融合原则 .....	83
4.2	输入数据及其预处理 .....	83
4.2.1	GLCC、UMd、GLC2000、MODIS LC 和 GlobCover 数据集 .....	84
4.2.2	MODIS VCF 数据集 .....	84
4.2.3	MODIS Cropland Probability 数据集 .....	84
4.2.4	AVHRR CFTC 数据集 .....	86
4.3	相关性分值的定义 .....	88
4.3.1	源土地覆盖数据集中土地覆盖类型与 <i>Trees</i> 的相关性分值 .....	89
4.3.2	源土地覆盖数据集中土地覆盖类型与农田的相关性分值 .....	90

4.3.3	源土地覆盖数据集中土地覆盖类型与其他目标分类的相关性分值	90
4.4	多源土地覆盖数据融合方法	91
4.4.1	多源土地覆盖数据融合的技术方法	91
4.4.2	多源土地覆盖数据融合的计算方法	93
4.5	多源土地覆盖融合数据的变异程度值计算	97
4.5.1	多源土地覆盖融合数据中像元值为森林的变异程度值计算	98
4.5.2	多源土地覆盖融合数据中像元值为农田的变异程度值计算	98
4.5.3	多源土地覆盖融合数据中像元值为其他生物形态的变异程度值计算	99
4.5.4	多源土地覆盖融合数据中像元值为森林叶属性的变异程度值计算	100
4.6	多源土地覆盖融合数据与源土地覆盖数据集的一致性对比方法	101
4.6.1	土地覆盖数据集的平均总体一致性	101
4.6.2	土地覆盖类型的平均一致性	101
4.7	本章小结	102
<b>第5章</b>	<b>全球土地覆盖数据集在中国区域的一致性分析</b>	<b>103</b>
5.1	全球土地覆盖数据集的面积数量精度对比分析	103
5.1.1	全球土地覆盖数据集之间的面积一致性对比	103
5.1.2	全球土地覆盖数据集与中国土地覆盖参考数据之间的面积一致性对比	105
5.2	全球土地覆盖数据集的空间一致性对比分析	106
5.2.1	全球土地覆盖数据集之间的空间一致性对比	106
5.2.2	全球土地覆盖数据集与中国土地覆盖参考数据之间的空间一致性对比	107
5.3	本章小结	112
<b>第6章</b>	<b>全球土地覆盖融合数据在中国区域的精度评价与分析</b>	<b>113</b>
6.1	多源土地覆盖融合数据	113
6.1.1	土地覆盖两级类融合数据	113
6.1.2	土地覆盖融合数据的可靠性精度	114
6.2	土地覆盖融合数据的一致性精度评价与对比分析	116
6.2.1	土地覆盖数据集的平均总体一致性	116
6.2.2	土地覆盖类型的平均一致性	118
6.3	土地覆盖样点数据	120
6.3.1	基于 Labeling 系统采集得到的土地覆盖样点	120
6.3.2	野外采集的土地覆盖 GPS 样点	120
6.4	土地覆盖融合数据精度的定量评价与分析	120
6.4.1	基于 Labeling 系统采集样点的数据精度评价	120

6.4.2	利用野外采集 GPS 样点的数据精度评价	123
6.5	本章小结	128
<b>第 7 章</b>	<b>结论与展望</b>	<b>129</b>
7.1	结论	129
7.1.1	5 套全球土地覆盖数据集在中国区域的一致性评价结果	129
7.1.2	全球土地覆盖融合数据在中国区域的一致性精度评价结果	130
7.1.3	全球土地覆盖数据集精度的定量评价与对比分析结果	130
7.2	创新点	131
7.3	讨论	132
7.3.1	影响土地覆盖数据集之间差异的因素	132
7.3.2	影响土地覆盖数据集精度对比评价的因素	133
7.4	研究展望	133
<b>参考文献</b>		<b>135</b>
<b>附录 1</b>	<b>土地覆盖分类系统</b>	<b>158</b>
<b>附录 2</b>	<b>FAO LCCS 类别分类表</b>	<b>164</b>
<b>附录 3</b>	<b>土地覆盖分类系统映射转换表</b>	<b>165</b>
<b>附录 4</b>	<b>相关性分值表</b>	<b>167</b>

# 第1章 绪论

## 1.1 研究背景

20世纪以来,随着世界人口的不断增长和经济社会的快速发展,一系列全球性重大资源与环境问题,如全球气候变化、水土资源短缺、土地荒漠化、环境污染加剧、生态系统退化、生物多样性减少等,严重威胁着经济、社会的可持续发展和人类的安全健康。了解全球资源与环境问题的产生原因,预测其未来发展趋势及可能产生的各种影响,科学制定相应的对策进行解决,已经成为世界各国发展的重要课题(摆万奇和柏书琴,1999)。

从地球系统科学的角度看,全球环境问题的产生是由大气圈、水圈(含冰冻圈)、生物圈(含土壤圈)、岩石圈与人类活动相互作用的结果(黄秉维,1996)。作为地球与大气圈的界面,土地覆盖是地球表层系统中最突出的景观标志,也是地球上最直接、最重要遗迹的载体,对地球系统物理和化学循环、物质能量平衡具有重要作用。土地覆盖及其时空动态变化是人类活动对地球系统最为重要的影响因素之一,具有全球范围的环境效应(Vitousek *et al.*, 1997; Lambin *et al.*, 2001),因此一直都是国际学术界广泛关注的研究方向(唐华俊等,2009;张宇硕等,2015)。

### 1.1.1 土地覆盖及其变化是全球变化研究的重要组成部分

土地覆盖是自然要素在地球陆地表面的各种生物的或物理的覆盖类型及其自然属性与特征的综合体(Jansen and Gregorio, 2004)。土地覆盖的空间分布直接反映了人类生存的地表现状及其社会经济活动过程,在地球生态系统过程的物质和能量交换中起着非常重要的作用,是支撑地球生物圈和大气圈中许多物质流、能量流的源和汇(Sellers, 1985),其变化直接影响生物地球化学循环,改变着陆地-大气的水分、能量和碳循环,以致引起气候变化(陈军等,2010)。因此,土地覆盖类型及其格局变化被视为全球陆地生态系统变化最为重要的影响因素之一;一方面其通过影响气候、土壤、水文及地貌从而对自然环境产生深刻影响,

另一方面对陆地生态系统的结构与功能、生物多样性、动植物的种群动态及其他一系列的地球表层过程产生显著影响 (Henderson-Sellers and Wilson, 1983; Lean, 1989; Crutzen and Andreae, 1990; Keller *et al.*, 1991; Sellers *et al.*, 1997), 包括地球化学循环与气候变暖 (Meyer and Turner, 1994)、生态系统碳水循环模拟 (Foley *et al.*, 2005)、土壤侵蚀与土地可持续利用 (Douglas, 1999)、生物多样性 (Chapin *et al.*, 2000) 及人地关系与区域可持续发展等 (Lambin *et al.*, 2003)。科学界已广泛达成“土地覆盖类型物理特征变化的监测、定量与制图已经成为研究全球变化问题的关键因素”的共识 (Belward and Loveland, 1995; Nemani and Running, 1997), 国际社会也十分重视全球土地覆盖及其变化研究。

在国际上, 20 世纪 70 年代之前为土地覆盖研究的缓慢发展阶段, 各国根据自身特点和发展需要开展了一些与土地覆盖及其变化有关的研究活动。70 年代以来, 以气候变化为先导的全球变化研究成为学术界研究的热点领域之一。而作为引起全球变化的两大基本人类因素之一的土地利用/土地覆盖变化 (land use and land cover change, LUCC), 越来越引起普遍关注, 对其相关研究也迈入一个新的阶段。特别是到了 90 年代, LUCC 研究越来越受到重视, 已成为全球变化研究的一个重点领域。1990 年, 全球变化研究委员会 (Committee for Research on Global Change) 最早提出了一个全球性 LUCC 研究框架 (Burton *et al.*, 1993); 1995 年, 国际科学理事会 (International Council for Science, ICSU) 在国际地圈-生物圈计划 (international geosphere-biosphere programme, IGBP) 和全球环境变化人文因素计划 (international human dimensions programme on global environmental change, IHDP) 框架下, 共同拟定并发表了为期 10 年的“土地利用/土地覆盖变化科学研究”计划, 并将其作为国际全球变化研究的一项核心计划 (杜习乐等, 2011), 提出了 LUCC 研究的框架问题和重点研究领域, 包括 LUCC 机制研究、区域和全球模型综合评价, 使得 LUCC 研究成为全球变化研究的前沿和热点方向。此后, 许多国际组织和国家也分别建立了不同层次的 LUCC 研究项目, 如国际应用系统分析研究所 (International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA) 于 1995 年启动了“欧洲和北亚土地利用/土地覆被变化模拟”的 3 年期研究项目, 旨在分析 1900~1990 年欧亚大陆北部地区 LUCC 的空间特征、时间过程和环境效应, 预测其在未来 50 年的 LUCC 趋势, 为制定相应对策服务; 联合国环境规划署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 于 1994 年启动了亚太地区环境评价计划“土地覆盖评价和模拟” (land cover assessment and monitoring, LCAM) 项目, 旨在调查东南亚地区土地覆盖的现状与变化及其热点地区, 为区域可持续发展服务; 美国与欧洲空间署等国际组织合作开展高分辨率雷达监测土地覆盖变化和季节性植被状况的项目, 并利用该遥感信息编制全球土地

覆盖图,进行了全球植被分类和生物量估算工作;美国全球变化委员会(United States Global Change Research Program, USGCRP)将土地覆盖变化与气候变化、臭氧层的耗损一起列为全球变化研究的主要领域之一,于1996年开展了北美洲土地覆盖变化的研究工作;日本国立科学院全球环境研究中心提出了“全球环境保护的土地利用研究”(land use for global environmental conservation, LU/GEC)项目,研究LUCC的空间分布、时间动态和驱动因子,同时强调相应对策和技术的研究(李秀彬,1996)。

持续10年的“土地利用/土地覆盖变化科学研究”计划结束后,IGBP和IHDP研究组织于2005年进一步共同发起了全球土地计划(global land programme, GLP),以深化地球系统演化背景下对人类-陆地环境系统的研究。GLP是当前国际全球环境变化4个核心研究计划(水系统、碳、食物、土地)之一,其前身是全球变化与陆地生态系统(global change and terrestrial ecosystem, GCTE)科学计划和LUCC科学计划。目前,GLP已成为聚焦土地系统变化研究的新一轮全球变化的核心研究计划,其核心目标是量测、模拟和理解人类-环境耦合系统,为此提出了3个相互衔接的研究目标,即识别人类-环境耦合系统的各种变化,并量化这些变化对耦合系统的影响;评估人类-环境耦合系统的变化对生态系统服务功能的影响;识别人类-环境耦合系统的脆弱性和持续性与各类干扰因素(包括气候变化)相互作用的特征及动力学过程(GLP,2016)。

在国内,千百年来对土地的持续开发利用,使中国土地利用/土地覆盖发生了翻天覆地的变化,产生了多种多样的土地覆盖类型。特别是改革开放以来,经济的快速发展和人口的大量增加及生存环境压力的增大,使中国土地利用/土地覆盖变化的深度、广度和速度较以前呈现出急剧增加的趋势,由此造成的对环境的影响已越出国界(李仕利等,2008)。可见,中国土地利用/土地覆盖变化已成为全球变化研究的重要组成部分。中国的LUCC研究最初主要为国家经济建设与社会发展服务,集中于分类、分区及开发、管理等方面。20世纪50年代末开始大、中比例尺土地类型调查与制图;70年代以土地类型为基础进行土地资源评价和农业区划;80年代出版了《1:100万中国土地利用图集》,1992年出版了与之相关联的专著《中国土地利用》。随着国际上LUCC相关研究的不断推进,自90年代起,中国学者将LUCC与全球变化研究紧密联系,开展了一系列相关研究。例如,1992年,在中国科学院“八五”重大应用项目“国家资源环境遥感宏观调查与动态研究”中,构建了中国土地利用变化现代过程的数据平台——中国资源环境数据库(刘纪远,1996);2000年,美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)应用气象卫星数据研究土地覆盖变化、植被覆盖的变化及区域分异规律,完成了“西部遥感调查”项目

(李仕利等, 2008); 2005年, 在“国家科技基础条件平台项目——地球系统科学数据共享网”项目的支持下, 中国科学院相关研究所组织实施了全国区域的土地覆盖遥感监测, 建设了20世纪80年代和2005年的中国1:25万土地覆盖及其变化数据库(张增祥等, 2009); 2010年, 环境保护部与中国科学院联合开展了“全国生态环境十年变化(2000~2010年)遥感调查与评估专项”项目, 出版了《中华人民共和国土地覆被地图集》(1:100万); 在科学技术部“863计划”重点项目“全球地表覆盖遥感制图与关键技术研究”的支持下, 开展了关于全球尺度高分辨率土地覆盖制图的相关理论和技术研究, 以人工选取样本和自动分类算法为基础, 生产了空间分辨率为30m的全球土地覆盖遥感数据产品(Gong *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2015)等。综上所述, 中国科学家在全球LUCC计划和GLP的发起与组织实施过程中发挥了重要作用, 目前正积极就GLP涉及的学科问题及在模拟过程中出现的多源信息融合、尺度转换、不确定性等问题展开深入研究与探讨, 推动了GLP的深入开展。

### 1.1.2 精确的土地覆盖数据是全球变化研究重要的基础数据

陆表土地覆盖信息及其动态变化已成为全球气候变化、区域环境变化、资源环境监测、人地关系及其可持续发展等众多研究的基础数据, 也是深入理解人类活动与气候变化之间复杂作用机制的基础(Running, 2008)。日益深入的全球地表过程研究需要确定土地覆盖类型及其各种特征参数, 如生物量、地表蒸散量等(Keller *et al.*, 1991); 同时, 许多陆面过程模型需要以大区域的土地覆盖信息作为基础数据支撑, 如陆面过程模型(land surface models, LSM)(Bonan, 1996)、简单生物圈模型(simple biosphere model version 2.0, SiB2)(Sellers *et al.*, 1996)、通用陆面过程模型(common land model, CLM)(Zeng *et al.*, 2001)和CoLM等植被参数(Dai *et al.*, 2003)都需要由土地覆盖数据提供。因此, 客观真实地描述全球及区域尺度陆表生态系统结构及其生态过程的关键因子是如何获取代表陆表土地覆盖及其动态变化的精确数据(李晓兵和史培军, 1999; Feddema *et al.*, 2005; Sutherland *et al.*, 2009); 同时, 获取高精度、大范围、长时间序列的土地覆盖数据也成为LUCC研究的首要前提。

土地覆盖数据获取常用的方法包括统计调查法、实地测量法、空间制图法等(陈迪等, 2016)。遥感技术以其大面积、实时、快速、准确、周期性重复等优点, 为大空间范围尺度土地覆盖制图提供了可能(Lu and Weng, 2007), 逐步成为土地覆盖数据获取的主流方法。地球观测组织(Group on Earth Observations, GEO)将土地覆盖数据遥感获取作为其未来10年发展执行方案

中最重要的任务之一。土地覆盖遥感制图常用的信息源有 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, 美国国家海洋和大气管理局)、Landsat MSS (Multispectral Scanner)、Landsat TM (Thematic Mapper)、SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre)、MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer) 等航天遥感卫星数据。不同类型的遥感影像数据具有不同的信息提取精度, 从而适用于不同的研究尺度。NOAA 气象卫星数据地面分辨率低, 最小为 1km, 可用于全球及洲际尺度的土地覆盖变化研究, 利用 NOAA 数据开发的土地覆盖数据库可用于地表覆盖对中尺度大气环流和区域天气的影响检验, 分析气候干湿变化及季节降水、温度和蒸发对地表植被及其动态变化的依赖性和敏感性 (纪仰慧等, 2005)。Landsat MSS 影像为多光谱扫描仪获取的影像, 具有 4 个波段, 空间分辨率为 80m, 适用于 20 世纪 70 年代土地覆盖信息的获取与重建。Landsat TM 和 SPOT 影像适用于局部区域尺度土地覆盖变化的相关研究。其中, Landsat TM 影像最小分辨率为 30m, 几何精度较高, 可利用图像配准和制图, 在资源、环境动态、生态效益等的综合调查中, 具有明显的技术与经济优势, 可满足 1:10 万, 甚至 1:5 万的土地覆盖专题制图的要求; SPOT 影像最小分辨率为 10m, 定位精度高, 结构可靠性强, 因而可以用于编制 1:10 万 ~ 1:5 万的土地覆盖专题图; 但是数据价格较高, 不易在大范围推广使用。MODIS 影像光谱范围广 (36 个波段), 时间分辨率高, 空间分辨率较 NOAA 卫星数据有了很大的进步 (250m、500m 和 1km), 适用于空间范围大、时间序列长的土地覆盖专题制图及其变化监测研究。

世界各国许多组织, 如美国地质调查局、欧洲太空局、联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)、中国国家测绘地理信息局 (现为自然资源部) 等相继采用不同的分类技术和遥感信息源, 主要包括美国国家航空航天局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 陆地卫星 Landsat、NOAA 卫星高级甚高分辨率辐射仪 (advanced very high resolution radiometer, AVHRR)、SPOT、MODIS 及中分辨率成像光谱仪 (medium resolution imaging spectrometer, MERIS) 数据等, 开展了以土地覆盖为主体的区域、国家、洲际和全球系列尺度的土地覆盖遥感制图研究, 形成了众多的土地覆盖数据集 (Hansen *et al.*, 2000; Loveland *et al.*, 2000; 刘纪远等, 2002; Buttner *et al.*, 2004; Friedl *et al.*, 2002; Bartalev *et al.*, 2003; 赵有松等, 2007; Arino *et al.*, 2007; Tateishi *et al.*, 2008; Xian *et al.*, 2009; Nowak and Greenfield, 2010; Gong *et al.*, 2013; 陈军等, 2014)。

当前, 在全球尺度上开放使用的全球土地覆盖分类遥感制图数据主要有以下几种。

1) 美国地质调查局 (United States Geological Survey, USGS) 建立的 1992 ~ 1993 年 0.25°、0.5°、1.0° 及 1km GLCC (Global Land Cover Characterization) 数据 (Townshend, 1994)。

2) 美国马里兰大学 (University of Maryland, UMD) 建立的 1992 ~ 1993 年 1km UMD 数据 (Hansen *et al.*, 2000)。

3) 欧洲联合研究中心 (European Commission's Joint Research Center, EC-JRC) 建立的 1999 ~ 2000 年 1km GLC2000 (Global Land Cover 2000 project data) 数据 (Bartholomé and Belward, 2005)。

4) 波士顿大学 (Boston University, BU) 建立的自 2001 年起逐年 500m MODIS LC (annual Land Cover product) 数据 (Friedl *et al.*, 2002)。

5) 欧洲太空局 (European Space Agency, ESA) 建立的 2004 ~ 2006 年和 2009 年 300m GlobCover (Global Land Cover Map) 数据 (Arino *et al.*, 2007), 以及 2000 年、2005 年和 2010 年 300m CCI-LC (Climate Change Initiative-Land Cover mpas) 数据 (ESA, 2014)。

6) 日本千叶大学 (Chiba University) 建立的 2003 年 1km 和 2008 年 500m GLCNMO (Global Land Cover by National Mapping Organizations) 数据 (Tateishi *et al.*, 2011, 2014)。

7) 清华大学 (Tsinghua University) 建立的 2010 年、2015 年、2017 年 30m FROM-GLC (Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover) 数据 (Gong *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2013, 2014a, 2014b)。

8) 中国国家测绘地理信息局 (National Geomatics Center of China) 建立的 2000 年和 2010 年 30m GlobeLand30 数据 (Chen *et al.*, 2015)。

在国家尺度上开放共享的区域土地覆盖分类遥感制图数据主要有以下几种。

1) USGS 建立的美国 1992 年、2001 年、2006 年、2011 年和 2016 年 30m 国家土地覆盖数据库 (National Land Cover Database, NLCD) (Vogelmann *et al.*, 2001; Homer *et al.*, 2007; Fry *et al.*, 2011; Xian *et al.*, 2011; Jin *et al.*, 2013; Homer *et al.*, 2015)。

2) 加拿大自然资源部 (Natural Resources Canada, NRCan) 建立的加拿大 1km 1985 ~ 2005 年逐年 (Land Cover map of Canada, LCC85-05)、250m 2005 年长时间序列 (2000 ~ 2011 年) 及 20m 2005 ~ 2010 年逐年土地覆盖数据集 (Latifovic and Pouliot, 2005; Latifovic *et al.*, 2009; Pouliot *et al.*, 2014; Olthof *et al.*, 2009, 2015)。

3) 巴西地理与统计研究所 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE) 建立的 2000 年和 2010 年巴西 250m 土地覆盖数据集 (Macedo *et al.*,

2013)。

4) 印度国家遥感中心 (National Remote Sensing Centre, NRSC, former National Remote Sensing Agency) 建立的 1:25 万 2005~2016 年、1:5 万 2005~2006 年和 2011~2012 年印度土地覆盖数据库 (NRSA, 2006; NRSC, 2006, 2014)。

5) 澳大利亚国家地球观测组织 (National Earth Observation Group, NEOG) 建立的 250m 2000~2008 年本国土地覆盖数据集 (Dynamic Land Cover Dataset, DLCD) (Lymburner *et al.*, 2013, 2018)。

6) IIASA 建立的 1999~2000 年俄罗斯 1km 土地覆盖数据集 (Hybrid Land Cover of Russia, HLCR) (Schepaschenko *et al.*, 2011), 以及 NASA 橡树岭国家实验室分布式活动档案中心 (Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, ORNL-DAAC) 建立的 1984~1993 年 15km 俄罗斯土地覆盖 (Russian Land Cover, RLC) 数据集 (Stone *et al.*, 2000)。

7) 在我国, 中国科学院在“八五”“九五”期间, 组织开展了全国范围的以遥感手段为主的土地资源调查和分类制图工作, 后续持续建立了每 5 年更新一期 (1980 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年) 的中国 1:10 万土地利用数据库 (National Land Use Database of China, NLUD-C) (刘纪远, 1996, 1997; Liu *et al.*, 2002, 2005, 2014; Zhang *et al.*, 2014)。2007~2008 年, 在国家科技基础条件平台项目——地球系统科学数据共享网的资助下, 由中国科学院遥感与数字地球研究所和中国科学院地理科学与资源研究所等单位共同完成了全国两期 (1980 年和 2005 年) 1:25 万的土地覆盖遥感制图 (张增祥等, 2009)。2015~2016 年, 由国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据共享网牵头组织国内 10 多个研究所和高校, 基于 2013~2017 年的 Landsat8 OLI 影像及地形、植被、湿地、草地等专题辅助数据, 开展了全国 2015 年 1:10 万土地覆盖遥感制图。

随着遥感技术的不断发展, 遥感影像的空间分辨率和时间分辨率都有了进一步的提高, 已有的全球及区域土地覆盖数据集的建立显示出了遥感信息在全球尺度分类制图中的巨大潜力, 并且逐步提高了不同空间尺度土地覆盖数据集的质量 (宁佳等, 2012)。此外, 由于上述大多数全球及区域土地覆盖数据集易于获取且免费共享, 其在众多全球性及区域性的科学研究中得到了广泛应用, 诸如为全球土地利用/土地覆盖变化模型 (Foley *et al.*, 2005; Verburg *et al.*, 2011)、气候变化模拟 (Quaife *et al.*, 2008) 以及作物生长建模 (You *et al.*, 2009) 提供输入数据, 用于生物多样性研究 (Giri, 2005), 以及其他生态学和地学研究等 (Belward *et al.*, 1999; Defries *et al.*, 2000; Ramankutty *et al.*, 2002; Wu *et al.*,

2007; Cai *et al.*, 2010)。然而, 鉴于不同的数据生产者采用了不同的输入数据源、分类系统和制图技术, 目前已经建立的全球及区域尺度的土地覆盖数据集彼此之间存在明显的差异。因此, 对这些数据集的精度进行对比评价分析, 不仅能够更好地了解各数据集的优缺点, 而且有助于为数据用户针对特定的应用选择合适的土地覆盖数据集提供科学指导。

### 1.1.3 多源土地覆盖信息融合是全球变化研究的发展趋势

上述不同时空尺度的土地覆盖数据集的建立为地球系统科学领域的各项研究提供了丰富的数据源, 使全球和区域粮食安全与耕地保护、生态系统结构与功能评估、陆面过程模型模拟、人地关系及区域可持续发展等诸多领域的研究成为可能(史学丽等, 2016)。然而, 已有的全球土地覆盖遥感数据是针对不同的应用领域、应用目的和技术标准进行设计生产的, 并没有考虑数据之间的兼容性和可比较性, 致使每个数据成为相对独立的数据集。另外, 用户在选择利用不同来源的全球土地覆盖数据集进行全球或区域尺度的应用服务时, 十分有必要弄清楚它们之间的异同性。一些学者已经在不同尺度上对全球土地覆盖数据集的精度进行了对比分析(Strahler *et al.*, 1999; Hansen *et al.*, 2000; Latifovic and Olthof, 2004; Giri *et al.*, 2005; Herold *et al.*, 2006; McCallum *et al.*, 2006; See and Fritz, 2006; Neumann *et al.*, 2007; Fritz *et al.*, 2010)。但是在具体的应用中, 当用户使用这些全球土地覆盖数据集时仍会时面临如何选择数据(how)及为什么选择该数据(why)的问题, 这严重影响了其应用水平。

#### (1) 数据的精度无法满足特定模型输入参数的要求

根据遥感传感器的一次观测来估计一系列大气和地表参数的过程是一个病态反演过程, 因为数据反演算法采用的遥感模型参数量常常大于单一传感器获取的信息量(宋宏利, 2013)。为了在这种病态条件下进行反演, 就不得不做各种假设, 使得反演的数据具有较高的平均精度, 但在一些特定条件下还是具有很大的不确定性(Foody, 2007; 何晴和吕达仁, 2008)。虽然数据生产者对其各自的数据精度在全局尺度上进行了定量验证, 但是从评价结果来看, 其精度并不高。例如, 在全球尺度上, GLCC的总体精度(overall accuracy, OA)为66.9%(Scepan, 1999), GLC2000的总体精度为68.6%(Mayaux *et al.*, 2006), MODIS LC的总体精度略高, 为71.6%(Friedl *et al.*, 2002), 而且数据集在全球尺度上的精度并不能完全代表其在区域尺度上的精度。此外, 在数据质量验证的过程中, 不同的土地覆盖数据生产者各自使用了不同的验证框架和参考数据, 使得这些独立完成的精度验证结果之间不具有可比性。特别是针对全球尺度土地覆盖数