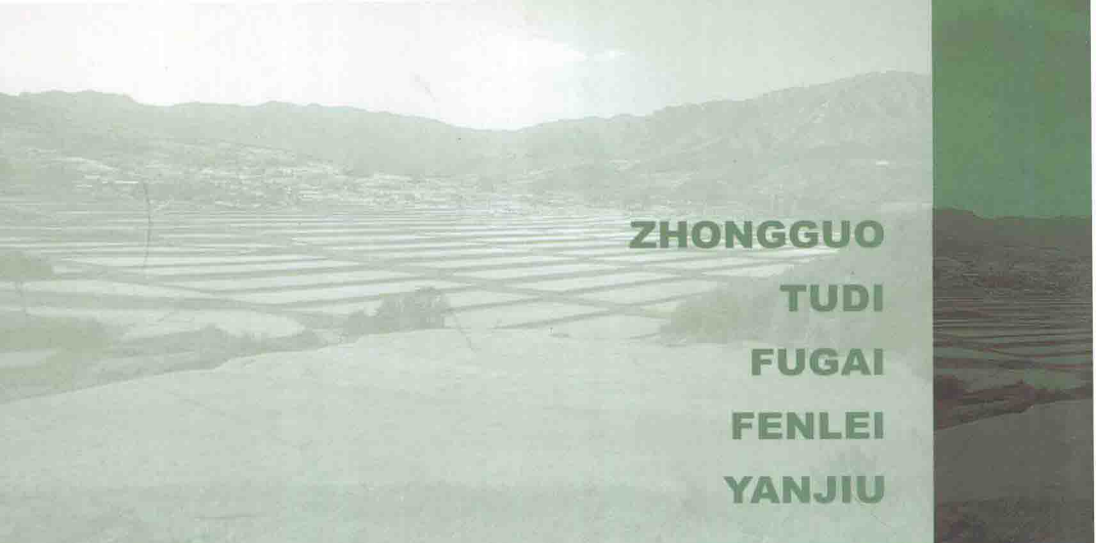




ZHONGGUO

TUDI

FUGAI

FENLEI

YANJIU

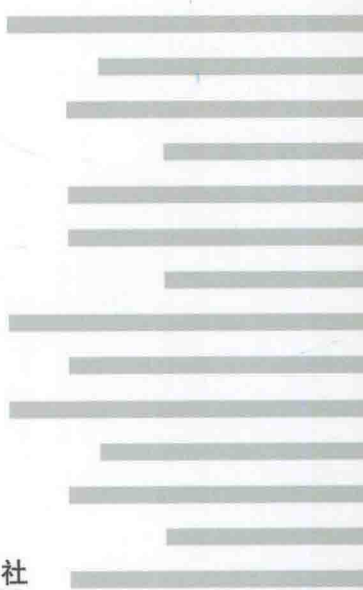
# 中国土地覆盖分类研究

---

宫 攀 著



经济科学出版社  
Economic Science Press



ZHONGGUO

TUDI

FUGAI

FENLEI

YANJIU

# 中国土地覆盖分类研究

宫 攀 著



经济科学出版社  
Economic Science Press

责任编辑：柳 敏 程振峰

责任校对：杨晓莹

版式设计：代小卫

技术编辑：邱 天

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国土地覆盖分类研究/宫攀著. —北京：经济  
科学出版社，2012. 3

ISBN 978 - 7 - 5141 - 1482 - 9

I. ①中… II. ①宫… III. ①土地 - 覆盖 -  
土地分类 - 研究 - 中国 IV. ①F321. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 280748 号

## 中国土地覆盖分类研究

宫 攀 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址：北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编：100142

总编辑部电话：88191217 发行部电话：88191540

网址：www. esp. com. cn

电子邮件：esp@ esp. com. cn

北京京鲁创业科贸有限公司印装

880 × 1230 32 开 6 印张 150000 字

2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 1482 - 9 定价：15. 00 元

(图书出现印装问题，本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)



### 作者简介

---

宫攀，女，1978年出生，河北保定人，博士，副教授，青岛科技大学经济与管理学院任教。2006年于中国农业大学土壤学专业获博士学位，主要从事土地可持续发展及“3S”应用研究。在农业工程学报、资源科学等期刊发表论文10余篇，主持参加省自然科学基金、省软科学、市社科规划项目及横向课题近10项，先后获得山东省软科学一等奖、三等奖。

---

# 前 言

人类在改造和利用自然的同时，要与自然和谐共处，这是人类可持续发展的基础。然而工业革命之后，随着生产力的迅猛发展，人类改造自然和利用自然的能力大大提高，对自然资源的过度开采，使其遭到了严重破坏。随着全球变化研究课题的不断深入和发展，科学家们深刻认识到土地利用和土地覆盖变化对于研究全球环境变化的重要意义，尤其认识到人类为了生存和发展对土地的开发和利用引起的土地变化已成为全球变化的重要组成部分和主要原因。地球表层系统最突出的景观标志是土地覆盖，“国际地圈与生物圈计划”（IGBP）和“全球环境变化的人文因素计划”（IHDP）将土地覆盖定义为“地球陆地表面和近地面的自然状态，是自然过程和人类活动共同作用的结果。”自1990年起，两大组织积极筹划全球性综合研究计划，于1995年共同拟定并发表了《土地利用/土地覆盖变化科学研究计划》，将其列为全球变化研究的核心项目之一。土地覆盖具有特定的时间和空间属性，其形态和状态可在多种时空尺度上变化，而且变化的原因也是复杂多样的。一个地区的土地覆盖状况受该地区气候条件、土壤条件、植被状况、地理地质环境和景观格局的影响，同时也受人类对土地利用方式和强度的影响。因此如何细致、准确而实时的获取区域及其全球尺度土地覆盖数据已成为当前全球变

化研究中的热点。

土地覆盖类型识别作为土地覆盖变化研究的核心内容,它可为全球变化和土地覆盖变化监测、可持续发展、碳循环评价及气候模型、生态模型的建立等研究提供动态参数。遥感技术为开展全球性和区域性土地覆盖研究提供了新的手段。它可以多种光谱、时间和空间分辨率连续或周期性地观测地球表面,可快速及时地获取区域乃至全球尺度的土地覆盖信息,可从最新的遥感影像上识别出地表的土地覆盖现状,也可从长时间序列的遥感影像中得到土地覆盖变化信息,这在对地观测卫星发射之前是难以做到的。目前,AVHRR、MODIS、TM 等数据成为全球、洲际、区域等不同尺度的土地覆盖分类以及土地覆盖变化研究的重要数据源,对于环境监测起着不可或缺的作用。中国作为全球变化研究的重要部分,在获取大面积的土地覆盖数据研究中显得相对滞后。本书在 MODIS (中分辨率成像光谱仪) 遥感数据的支持下,采用国际上先进的遥感理论技术和方法,对中国区域宏观土地覆盖分类进行了较为系统的研究和探讨。

本书利用中国农业科学院资源与区划研究所的 MODIS 数据接收站的数据进行研究,旨在利用 MODIS 数据的各类数据产品提高中国区域的土地覆盖分类精度,按结构本书分为两部分,第一部分为基于 MODIS 数据的土地覆盖分类方法研究,以东北地区为研究区域;第二部分通过对全国进行土地覆盖分区,利用 LCCS 建立中国土地覆盖分类系统,进而为全国土地覆盖分类奠定基础。通过研究本书主要得出以下结论:

(1) Savitzky-Golay 平滑滤波法能得到高质量的 NDVI 时序数据。本书采用 Savitzky-Golay 滤波器对旬合成 NDVI 数据进行平滑滤波处理,该方法采用 NDVI 数据的上包络线来拟合 NDVI 时序数据的变化趋势,根据自然界的实际情况制定一些模拟规则,通

过迭代过程得到高质量的 NDVI 时序数据。

(2) NDVI 与 LST 时序数据土地覆盖分类能满足区域制图。利用单纯 NDVI 时序数据总分类精度为 62.74%，对分类结果分析之后，通过添加地表温度 LST 数据，得到温度/植被指数 TVI 进行分类。从分类结果看，TVI 的分类总精度提高到 71.63%。TVI 在相同自然条件下能夸大植被之间的区别，而对于具有相似物候特征但生活环境差异明显的类型，则是相当于添加了若干自然条件信息，具有重要的生态学意义。

(3) 基于关键物候参数的土地覆盖分类能有效地识别植被类型。本项研究目的在于通过提取 NDVI 时序数据中的关键有效信息提高分类精度。通过分析确定关键指标为：绿叶始期、绿叶末期、NDVI 最大值、NDVI 最小值、绿叶面积最大值持续时间。利用 Logistic 曲线对植被生长及衰落进行模拟。利用提取的关键参数进行分类，分类结果显示该方法能有效地识别植被类型。

(4) FAO LCCS 建立中国土地覆盖分类系统。LCCS 是 FAO 为了解决数据共享及汇总的问题建立起来的，该系统改变了传统分类系统定义类别的方式，通过分类属性来表示。本书利用 LCCS 软件，根据 MODIS 数据特点建立了全国尺度土地覆盖分类系统，包括 21 个类型。

(5) 中国土地覆盖分区。本书利用年平均降水量 (Pa)、生物温度 (BT)、海拔高度 (DEM)、多年平均植被指数 (NDVI) 及湿润指数 (IM) 五个指标划分土地覆盖均质区域，经过主成分分析发现湿润指数、降水、高程和植被指数是影响覆盖类型分布差异的关键因素。利用前 3 个主成分采用聚类分析法将中国分为 9 个土地覆盖区域，每个区域具有相对均一的气候、植被和自然条件。

# 目 录

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                        | 1  |
| 1.1 研究背景及研究意义 .....                 | 1  |
| 1.2 国内外研究进展 .....                   | 3  |
| 1.2.1 LUCC 研究进展 .....               | 4  |
| 1.2.2 遥感技术在土地覆盖分类领域的研究进展 .....      | 6  |
| 1.2.3 基于遥感的土地覆盖分类系统研究进展 .....       | 8  |
| 1.2.4 土地覆盖遥感分类方法研究进展 .....          | 10 |
| 1.2.5 MODIS 数据在土地覆盖领域的国内外研究进展 ..... | 16 |
| 1.3 研究内容与技术路线 .....                 | 18 |
| 1.3.1 研究内容 .....                    | 18 |
| 1.3.2 技术路线 .....                    | 19 |
| 第二章 研究区与数据准备 .....                  | 21 |
| 2.1 中国东北区概况 .....                   | 21 |
| 2.1.1 东北区自然环境因素 .....               | 22 |
| 2.1.2 东北区自然资源特点 .....               | 23 |
| 2.1.3 东北主要土地覆盖类型分布情况 .....          | 24 |
| 2.2 MODIS 数据 .....                  | 28 |
| 2.2.1 MODIS 及数据产品概述 .....           | 28 |

|       |                |    |
|-------|----------------|----|
| 2.2.2 | MODIS 数据的获取及处理 | 32 |
| 2.2.3 | MODIS 植被指数计算   | 35 |
| 2.2.4 | SG 技术平滑        | 38 |
| 2.3   | 验证及分类参考数据准备    | 47 |
| 2.3.1 | 验证数据           | 50 |
| 2.3.2 | 分类参考数据         | 52 |
| 2.4   | 本章小结           | 54 |

### 第三章 基于 MODIS NDVI 及 LST 时序数据的土地

|       |                         |    |
|-------|-------------------------|----|
|       | 覆盖分类                    | 56 |
| 3.1   | MODIS NDVI 数据准备         | 57 |
| 3.2   | MODIS LST 数据计算          | 58 |
| 3.2.1 | MODIS 地表温度 A 级产品的算法     | 59 |
| 3.2.2 | 亮度温度的计算                 | 60 |
| 3.2.3 | 大气透过率的计算                | 61 |
| 3.2.4 | 地表比辐射率的估计               | 63 |
| 3.2.5 | 地表温度反演及合成               | 64 |
| 3.3   | 土地覆盖分类系统的确定             | 65 |
| 3.4   | 研究区域土地覆盖分类过程            | 66 |
| 3.4.1 | 利用 MODIS NDVI 时间序列分类    | 66 |
| 3.4.2 | 通过添加 LST 改善分类结果         | 68 |
| 3.4.3 | 高分辨率 ETM+ 数据验证 TVI 分类结果 | 74 |
| 3.5   | 本章小结                    | 75 |

### 第四章 基于关键物候参数的土地覆盖分类

|       |                  |    |
|-------|------------------|----|
| 4.1   | 遥感技术在植被物候期监测中的应用 | 77 |
| 4.1.1 | 物候学研究的内容及意义      | 77 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 4.1.2 遥感技术监测植被物候期的常用方法 .....       | 78 |
| 4.2 土地覆盖分类中关键物候参数的选择 .....         | 80 |
| 4.3 物候分类指标的提取 .....                | 81 |
| 4.3.1 研究区域不同覆盖类型特性分析 .....         | 81 |
| 4.3.2 曲率最大值法计算植被物候期 .....          | 82 |
| 4.3.3 NDVI 最大(小)值物候特征参数提取 .....    | 88 |
| 4.4 不同土地覆盖类型关键物候指标的差异分析 .....      | 89 |
| 4.4.1 不同覆盖类型绿叶始期差异分析 .....         | 90 |
| 4.4.2 不同覆盖类型绿叶末期差异分析 .....         | 91 |
| 4.4.3 不同覆盖类型绿叶面积最大值持续时间差异分析 .....  | 91 |
| 4.4.4 不同覆盖类型 NDVI 年最大值差异分析 .....   | 91 |
| 4.4.5 不同覆盖类型 NDVI 年最小值差异分析 .....   | 92 |
| 4.5 基于关键物候参数的土地覆盖类型识别 .....        | 92 |
| 4.5.1 物候指标 .....                   | 93 |
| 4.5.2 基于物候期分类结果及精度检验 .....         | 94 |
| 4.5.3 高分辨率 ETM+ 数据验证关键参数分类结果 ..... | 96 |
| 4.6 本章小结 .....                     | 97 |

## 第五章 应用 FAO LCCS 建立基于 MODIS 数据的

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 中国土地覆盖分类系统 .....              | 100 |
| 5.1 土地覆盖分类系统简介 .....          | 100 |
| 5.1.1 分类系统的结构设置 .....         | 100 |
| 5.1.2 分类系统的分类方法 .....         | 101 |
| 5.2 国内外现有的土地覆盖分类系统及存在问题 ..... | 101 |
| 5.2.1 国外主要的土地覆盖分类系统 .....     | 102 |
| 5.2.2 国内主要的土地覆盖分类系统 .....     | 104 |
| 5.2.3 讨论 .....                | 107 |

|                           |                          |     |
|---------------------------|--------------------------|-----|
| 5.3                       | FAO LCCS 简介 .....        | 108 |
| 5.4                       | 土地覆盖分类系统的建立 .....        | 111 |
| 5.4.1                     | 二叉树阶段 .....              | 112 |
| 5.4.2                     | 模块化的分层分类阶段 .....         | 113 |
| 5.4.3                     | 与 IGBP 土地覆盖分类系统的比较 ..... | 119 |
| 5.5                       | 本章小结 .....               | 120 |
| 第六章 中国土地覆盖分区及分类方案设计 ..... |                          | 122 |
| 6.1                       | 土地覆盖分区 .....             | 122 |
| 6.1.1                     | 土地覆盖因素分析 .....           | 122 |
| 6.1.2                     | 土地覆盖分区气象数据准备 .....       | 123 |
| 6.1.3                     | 植被指数因子的生成 .....          | 127 |
| 6.1.4                     | 地形因子 .....               | 130 |
| 6.1.5                     | 土地覆盖分区 .....             | 130 |
| 6.2                       | 土地覆盖区域特点分析及分类方案选择 .....  | 132 |
| 6.2.1                     | 东北针阔混交林区 .....           | 132 |
| 6.2.2                     | 东北农业耕作区 .....            | 133 |
| 6.2.3                     | 华北农业耕作区 .....            | 134 |
| 6.2.4                     | 华中亚热带植被区 .....           | 135 |
| 6.2.5                     | 华南亚热带、热带湿润植被区 .....      | 136 |
| 6.2.6                     | 温带荒漠区 .....              | 137 |
| 6.2.7                     | 温带草原区 .....              | 137 |
| 6.2.8                     | 高原高寒灌丛、草甸区 .....         | 138 |
| 6.2.9                     | 高原西北部荒漠区 .....           | 139 |
| 6.3                       | 本章小结 .....               | 140 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第七章 结论与展望 .....               | 142 |
| 7.1 研究结论 .....                | 142 |
| 7.2 研究展望 .....                | 145 |
| 附录 100 万植被图中东北区主要森林植被类型 ..... | 147 |
| 参考文献 .....                    | 149 |
| 后记 .....                      | 170 |

## 图表索引

|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 图 1-1 | 研究的技术路线 .....                      | 20 |
| 图 2-1 | MODIS 投影软件主界面 .....                | 33 |
| 图 2-2 | 表面反射率产生流程 .....                    | 36 |
| 图 2-3 | Savitzky-Golay 滤波平滑方法的框架 .....     | 42 |
| 图 2-4 | Savitzky-Golay 滤波平滑过程 .....        | 46 |
| 图 2-5 | 拟合次数与拟合影响系数 $F_k$ 之间的关系 .....      | 47 |
| 图 2-6 | NDVI 时序数据线性内插与 SG 滤波去云及异常值对比 ..... | 49 |
| 图 2-7 | ETM + 验证区 .....                    | 52 |
| 图 2-8 | 1995 年东北区 1:25 万土地利用现状 .....       | 54 |
| 图 3-1 | 2004 年 NDVI 时间序列平滑前后图像对比 .....     | 58 |
| 图 3-2 | 四种混分类型 NDVI 及 LST 年变化曲线 .....      | 70 |
| 图 3-3 | 两对混分类型的 NDVI 与 TVI 年变化曲线 .....     | 72 |
| 图 3-4 | 东北区土地覆盖分类 .....                    | 72 |
| 图 3-5 | ETM + 分类结果及 MODIS-TV1 分类结果 .....   | 75 |
| 图 4-1 | Logistic 曲线模拟落叶阔叶林与耕地植被生长曲线 .....  | 84 |
| 图 4-2 | 曲率最大值法监测物候期流程 .....                | 86 |
| 图 4-3 | 绿叶始期分布 .....                       | 86 |
| 图 4-4 | 绿叶末期图分布 .....                      | 87 |

## 中国土地覆盖分类研究

|       |                                                |     |
|-------|------------------------------------------------|-----|
| 图 4-5 | 植物绿叶面积最大期持续时间分布 .....                          | 87  |
| 图 4-6 | 植物生长季长度分布 .....                                | 87  |
| 图 4-7 | NDVI 最大值分布 .....                               | 88  |
| 图 4-8 | NDVI 最小值分布 .....                               | 88  |
| 图 4-9 | ETM + 分类结果及基于关键参数分类结果 .....                    | 96  |
| 图 5-1 | 利用 FAO LCCS 建立分类系统的二叉树分类<br>阶段 .....           | 112 |
| 图 5-2 | FAO LCCS 模型化的分层分类阶段 (天然或半<br>天然陆生植被覆盖类型) ..... | 114 |
| 图 5-3 | FAO LCCS 模型化的分层分类阶段 (天然陆地<br>无植被覆盖类型) .....    | 114 |
| 图 6-1 | 全国年平均降水分布 .....                                | 124 |
| 图 6-2 | 生物温度全国分布 .....                                 | 126 |
| 图 6-3 | 全国湿润指数等级分布 .....                               | 127 |
| 图 6-4 | 中国区 NDVI-Goode 投影 .....                        | 128 |
| 图 6-5 | 中国区 20 年 NDVI 月平均值 .....                       | 129 |
| 图 6-6 | 全国高程分布 .....                                   | 130 |
| 图 6-7 | 中国土地覆盖分区 .....                                 | 132 |
| 表 2-1 | MODIS 仪器特性、波段范围和主要用途 .....                     | 29  |
| 表 2-2 | MODIS 数据产品一览 .....                             | 32  |
| 表 2-3 | 数据投影参数 .....                                   | 34  |
| 表 2-4 | 各土地覆盖类型野外样点个数 .....                            | 51  |
| 表 2-5 | TM2003 年东北区农业资源图分类系统 .....                     | 53  |
| 表 3-1 | MODIS 第 31 波段和第 32 波段的大气透过率<br>估计方程 .....      | 61  |
| 表 3-2 | 大气透过率的温度校正函数 .....                             | 62  |

|       |                                   |     |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 表 3-3 | 相互作用校正项 $d\epsilon$ 估计经验公式 .....  | 64  |
| 表 3-4 | 研究区土地覆盖分类系统 .....                 | 65  |
| 表 3-5 | MODIS NDVI 时间序列分类结果误差矩阵 .....     | 67  |
| 表 3-6 | 温度—植被指数 TVI 分类结果误差矩阵 .....        | 72  |
| 表 3-7 | MODIS-TV1 区域分类误差矩阵 .....          | 75  |
| 表 4-1 | 研究区各物候指标分布情况 .....                | 89  |
| 表 4-2 | 不同植物覆盖类型的物候特征参数 .....             | 90  |
| 表 4-3 | 基于植被关键物候参数的土地覆盖分类结果<br>误差矩阵 ..... | 94  |
| 表 4-4 | MODIS 关键物候参数区域分类误差矩阵 .....        | 97  |
| 表 4-5 | 两种数据分类结果覆盖类型结构分析 .....            | 97  |
| 表 5-1 | 土地覆盖分类 .....                      | 115 |
| 表 5-2 | 土地覆盖分类系统类型及标准描述 .....             | 116 |
| 表 5-3 | LCCS 与 IGBP 分类系统比较 .....          | 119 |
| 表 6-1 | 全国气温与海拔高度的相关关系 .....              | 125 |
| 表 6-2 | Goode 投影参数 .....                  | 129 |
| 表 6-3 | 土地覆盖分区因子主成分分析 .....               | 132 |

# 第一章

## 绪 论

### 1.1 研究背景及研究意义

近几年来,全球变化是科学界研究的热点问题,土地利用与土地覆盖变化对人类生存环境影响方面的研究又是其中一个核心问题。土地利用与土地覆盖变化直接影响着全球的生物多样性、生态系统的服务功能以及生物系统的承载能力,是全球环境变化的主要驱动因素。有效、实时地把握真实、准确的土地覆盖数据,可为全球变化和土地覆盖变化监测、可持续发展、碳循环评价及气候模型、生态模型的建立等研究提供动态参数。因此,国际地圈与生物圈计划(IGBP)和全球环境变化的人文因素计划(IHDP)两大组织在1995年联合提出了土地利用与土地覆盖变化(Land Use and Land Cover Change, LUCC)的研究计划,在世界范围内掀起了LUCC研究的高潮。

随着遥感对地观测技术的迅猛发展,人们已经能够重复、连续地获得全球或区域性的对地观测数据,以满足不同的研究目的和研究尺度。我国已利用NOAA-AVHRR数据进行全国植被和土

地覆盖分类,该数据具有高时间分辨率和数据时间序列长的特点,对研究中国的土地覆盖变化和环境变化提供了重要依据。但是该数据星下点为 1.1 千米,空间分辨率低,这就限制了其分类精度。美国航空航天局 (NASA) 1999 年 12 月和 2002 年 5 月成功发射了 TERRA 和 AQUA 两颗对地观测卫星,两个卫星上都载有中等分辨率成像光谱仪 (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS),提供全球陆地、海洋和大气的综合探测,在可见光到红外线的光谱范围内每两天将地球整个表面扫描一次。MODIS 仍沿用传统的成像辐射计的思想,运行周期为 1~2 日,仪器视场  $\pm 55^\circ$ ,轨道高度为 705 千米,星下点空间分辨率分别为 250 米 (2 个波段)、500 米 (5 个波段)、1 千米 (29 个波段),每日或每两日可获取一次全球观测数据。光谱仪的光学设计可为地学应用提供 0.4~14.5 微米间的 36 个离散波段图像。由于 MODIS 数据特性,在宏观与动态调查方面具有很强的实用性,为土地利用动态监测提供了有力支持。TERRA 和 AQUA 每日地方时上午 10:30 和下午 1:30 过境,对研究全国土地覆盖变化提供了可靠保证,对于开展自然灾害监测、全球环境变化和气候变化的综合性研究等有重要意义,因此,其必将促进相关学科的极大发展。

MODIS 数据与 NOAA-AVHRR 相比无论在空间分辨率、光谱分辨率还是辐射分辨率上都有很大改善,为研究全球和区域尺度土地覆盖及其变化提出了新的机遇和挑战。NASA 已经用 MODIS 数据开发了全球 1 千米空间分辨率的土地覆盖数据 (MOD12),该数据可以为建立全球和区域尺度的气候模型、模拟水循环过程和生物化学循环过程服务。该数据为季合成数据,在全球布设了地面、高分辨率卫星影像两种训练样区,但是在中国地区的地面验证点较少,因此精度难以保证。