



草原植被 遥感监测

Grassland Vegetation
Remote Sensing Monitoring

徐 斌 杨秀春 金云翔 等 著



科学出版社

草原植被遥感监测

徐 斌 杨秀春 金云翔 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在国家、部委等多个项目研究的基础上,系统梳理和总结草原植被遥感监测的国内外研究成果,阐述草原植被遥感监测的理论、方法和实践效果,尤其是结合中国草原国情、遥感技术的特点,以及植被遥感监测的研究进展,自主构建了有关模型、方法,并研发了相关运行系统,其中大部分已经有 10 余年的运行和多次应用,且已服务于农业部和各省(区、市)的草原主管部门。本书共分八章,主要内容包括草原植被长势、物候、草原产草量的遥感监测和草畜平衡监测,以及草原沙化遥感监测等,分别阐述其研究进展、监测原理、技术方法、监测应用等。

本书在我国草原植被遥感监测、掌握草原植被宏观变化规律、采用遥感技术研究植被生态等方面具有较好的参考价值,同时还为了解我国牧区和半牧区草畜平衡变化规律和草原沙化的时空动态提供了依据,可供与草原植被相关的科技和管理人员使用,也可供从事植被生态、生态遥感、自然地理、农业资源和草原畜牧业等专业的科研人员、教学人员和学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

草原植被遥感监测/徐斌等著. —北京:科学出版社,2016. 1
ISBN 978-7-03-047059-1

I. ①草… II. ①徐… III. ①遥感技术—应用—草地植被—环境监测—研究
IV. ①Q948. 15-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 013426 号

责任编辑:张 欣 朱海燕 / 责任校对:何艳萍

责任印制:肖 兴 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张:9 1/4

字数:210 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

全部作者(按姓氏汉语拼音排序)

陈 实 高 添 郭 剑 金云翔 李金亚
申 格 覃志豪 王道龙 徐 斌 杨 智
杨秀春 于海达 张文博 赵 芬

序

草原植被遥感监测是我国国土治理、草业建设和草业科学发展的必要手段。《草原植被遥感监测》一书的出版是我国草业科学界的一桩大事。

首先,该书的出版适应了当前国家需求。草原是我国最大的陆地生态系统类型,草原面积约占国土陆地面积的 41.7%,草原不仅是我国重要的土地资源,也是我国重要的生态屏障和发展畜牧业生产的基础。由于自然因素和社会因素,特别人口增加和人类干预强度加大等因素的影响,我国草原出现了诸多明显的退化现象,草原生物量、生物多样性等显著下降,生草土被剥蚀。草原植被是诸多草原现象的指示剂。及时、准确地获取草原植被信息,对于全面掌握我国草原资源状况和生态动向,对有效管理草原畜牧业生产和保护草原具有重要意义。

其次,该书是作者及其工作团队从事中国草原监测十多年来科学探索的荟萃,其中不仅有长期的劳动经验,更重要的是本书包含了他们的原创核心技术,这是对中国草业科学的宝贵贡献,也是向世界展示中国草业科学工作者在大国崛起中发出的信息。

最后,该书也体现了草原监理部门众多管理和科技人员多年艰辛的劳动和硕果。其理论的系统性和技术的可操作性是毋庸置疑的。这不同于市场常见的浮泛读物。读这样的书心里感觉踏实。出版这样的书,也是对当前率尔操觚、浮躁著述学风的针砭与示范。

该书是以往的科技积累,我相信今后随着我国草业建设的发展,作者团队的奋发开拓,研究成果还会不断推陈出新,有新的版本出现。因此这是一本有生命力的书。

该书作者徐斌同志要我为该书作序,我欣然命笔。我很乐意把该书推荐给对草原、环境和遥感应用感兴趣的广大读者。

任继周

2015 年末

前言

“天苍苍，野茫茫，风吹草低见牛羊”，这首广为流传的北朝民歌是对阴山下壮美草原景象的生动写照。由于牧草丰茂，成群的牛羊掩藏于草被之下，当风起时忽隐忽现，给人留下了无限美好的遐想空间。草原作为我国最大的陆地生态系统，是国家重要的生态屏障和牧民的生产生活资料，然而其却在 20 世纪 70~80 年代发生了严重的退化。过度开垦、放牧和樵采等不合理的草原利用方式，导致草原沙化严重和沙尘暴频发。国家自此开始重视草原保护及其治理，并着手开展草原植被生态方面的遥感监测研究。

在研究初期，草原植被遥感监测处于探索阶段。由于国内外采用遥感技术监测草原植被的科研基础非常薄弱，没有现成的技术方法可供借鉴，我国仅在部分典型草原区域开展了一些零星的研究。2000 年前后，在国家自然科学基金重大项目、农业部项目和中国农业科学院杰出人才基金等的支持下，开展有关草原植被产草量和植被长势以及草畜平衡宏观监测的方法研究，取得了重要进展，实现了对我国北方草原产草量和长势，以及草畜平衡等的监测。2005 年以后，农业部草原监理中心开始组织科研院所和各省（区、市）草原监理部门开展全国草原植被监测工作。中国农业科学院农业资源与农业区划研究所作为农业部草原监理中心的技术支撑单位，在国家 863 计划等的支持下，进行了系统性的草原植被遥感监测的理论与方法研究，研发的有关草原植被遥感监测的成果在全国广泛应用。相关研究成果已在 *Remote Sensing of Environment*、*International Journal of Remote Sensing*、《中国科学》和《生态学报》等国内外权威学术刊物上公开发表。

为了便于相关领域研究人员进行相互探讨与交流，同时也为了研究成果的传播与共享，项目组成员认为非常有必要对过去已有研究成果进行系统地梳理和总结。在此背景下，组织了有关科研人员撰写本书。

本书的最大特点是草原植被遥感监测模型和方法等核心内容是著者自己创建，主要包括以下四个方面：①草原植被长势监测方法与技术。基于长时间序列旬度 NDVI 数据库，构建了植被长势指数模型，建立阈值判定准则，自主研发了快速监测系统，实现了每旬、每月全遥感草原植被长势监测；基于 NDVI 动态变化，构建了草原植被返青遥感动态判别模型，利用阈值判定法，研发了系统，局部监测精度达到 90% 以上。②草原产草量遥感监测。基于 MODIS 遥感数据和全国草原部门测定的大量草原产草量样地等数据，分区域和草地类型构建了覆盖全国草原的产草量遥感模型系统，并经过严格检验，在大尺度上精度达到 80% 左右，其每年都用于监测我国草原产草量。③县域单元草畜平衡监测技术。将县级行政单元作为一个综合整体，突破了主流草畜平衡研究以局部自然区域为主进行研究和应用的限制，紧密结合我国草原区特点，解决了我国牧区和半牧区县草畜平衡准确、快速评估的问题。该项技术已经在我国草原畜牧业行业中得到广泛应用。④草原沙化遥感监测。结合遥感技术的特点和我国草原沙化的实际情况，完善了草原沙化和草原沙化遥感监测的概念，发展了草原沙化自动解译的遥感方法和技术，并分别对内蒙古、

新疆、宁夏、西藏等省(区、市)的草原沙化进行了监测,揭示了草原沙化的时空分布规律。

全书共分为八章。各章撰写者对自身和本项目组以往研究结果以及国内外同类研究进行了收集、整理、总结、凝练与提升。

第一章概述。简要叙述了草原植被和草原遥感监测的概念、意义和应用,并概述了草原遥感监测的发展趋势。

第二章数据获取与处理。介绍了草原植被遥感监测中所用的各种数据,以及数据的获取和处理等。

第三章草原植被遥感参数。介绍了草原植被遥感监测中常用的参数等。

第四章到第八章分别阐述了草原物候遥感监测、草原植被长势遥感监测、草原产草量遥感监测、草畜平衡监测和草原沙化遥感监测等内容,主要涉及研究进展、监测原理、技术方法、监测应用和小结与建议等。

各章主要撰写者如下:第一章,徐斌、杨智、王道龙、张文博等;第二章,陈实、杨秀春等;第三章,赵芬、金云翔等;第四章,郭剑、杨秀春、覃志豪等;第五章,杨秀春、徐斌、于海达等;第六章,金云翔、赵芬、徐斌、高添等;第七章,杨秀春、金云翔、徐斌、申格等;第八章,李金亚、徐斌、杨秀春等。最终统稿由徐斌、杨秀春、金云翔和张丽萍完成。

本书不仅是多个项目长时间研究积累的成果,也是集体智慧的结晶,先后参与不同时期项目和课题的人员主要包括:刘海启、刘佳、缪建明、杨桂霞、辛晓平、陈仲新、吴晓天、张莉、毕于运、陈佑启、邹金秋、陶伟国、朱立博、张志如,白可喻、高懋芳、黄治平、袁平、郭守平、张济、吕海燕、姜立鹏、唐巍等。合作单位人员主要包括曹云刚、李召良、唐伯惠、吴骅、王周龙、刘永利、闫凯等,在此表示衷心的感谢。

本书的研究工作得到了上级主管部门和所在单位有关人员的大力支持和帮助,特此向李伟方、宗锦耀、马有祥、刘北桦、周应华、刘加文、徐百志、刘连贵、杨智、唐华俊、王道龙、周清波、徐明岗、王秀芳、张海林、苏胜娣、杨宏、白丽梅、杨鹏等,一并表示感谢。

本书出版得到了国家自然科学基金“温性典型天然草原合理载畜量测算方法精度提高研究”(31372354)、“内蒙古草甸草原物候高精度遥感反演与验证研究”(41571105)、国家 863 计划“草原监测管理系统关键技术研究”(2006AA10Z242)、财政专项“农业农村资源监测统计”、中国农业科学院创新团队经费的资助。

需要说明的是,由于本书是项目组成果的汇总和集成,鉴于内容完整性和结构合理性的考虑,对部分已在国内外期刊发表的内容也进行了收集。限于作者水平,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者朋友不吝赐教。

徐 斌

2015 年 11 月 22 日

目 录

序	
前言	
第一章 概述	1
1.1 草原植被和草原遥感监测的概念	1
1.2 草原植被遥感监测意义	3
1.3 遥感在草原植被监测中的应用	4
1.4 草原遥感发展的趋势	10
参考文献	12
第二章 草原遥感监测常用数据与数据处理	13
2.1 遥感数据源的选择与预处理	13
2.2 地面数据	16
参考文献	19
第三章 草原植被遥感参数	20
3.1 植被光谱特征	20
3.2 植被指数	21
3.3 植被生理参数	23
3.4 地表参数	24
参考文献	29
第四章 草原物候遥感监测	30
4.1 研究进展	30
4.2 监测原理	33
4.3 技术方法	34
4.4 监测应用	37
4.5 小结与建议	43
参考文献	44
第五章 草原植被长势遥感监测	47
5.1 研究进展	47
5.2 监测原理	52
5.3 技术方法	52
5.4 监测应用	54
5.5 小结与建议	69
参考文献	69

第六章 草原产草量遥感监测	72
6.1 研究进展	72
6.2 监测原理	73
6.3 技术方法	74
6.4 监测应用	76
6.5 小结与建议	84
参考文献	85
第七章 草畜平衡监测	87
7.1 研究进展	87
7.2 监测原理	90
7.3 技术方法	90
7.4 监测应用	93
7.5 小结与建议	99
参考文献	99
第八章 草原沙化遥感监测	101
8.1 研究进展	101
8.2 监测原理	105
8.3 基于裸沙面积比例的草原沙化信息提取	106
8.4 基于植被盖度的草原沙化信息提取	117
8.5 对比分析与总结	120
8.6 监测应用	122
8.7 小结与建议	131
参考文献	133

第一章 概 述

本章的目的是对本书有个纲要性和总体性的了解,概括叙述了草原植被和草原遥感监测的概念、草原植被遥感监测意义、遥感在草原植被监测中的应用和草原遥感发展的趋势等内容,试图以较少的笔墨,勾画出草原植被遥感监测的主要思想、主要模型和方法的特点及主要创新的内容等。

1.1 草原植被和草原遥感监测的概念

草原是内陆半干旱到半湿润气候条件下所特有的一种自然生态系统类型,以多年生旱生草本植物为主要组成成分,多年生杂草及灌木也起重要作用。以针茅属为代表的寒温型和中温型草原主要分布于温带,以扭黄茅属为代表的高温型植物和高温耐旱的灌木,以及高温耐旱的乔木组成的稀树草原主要分布于热带。

世界草原总面积约 2400 万 km^2 ,为陆地面积的 1/6(中国大百科全书,1991)。联合国粮农组织(FAO)出版的《世界草原》(Suttie et al., 2011)认为,广义上讲,草原是世界上最大的生态系统,面积约有 5250 万 km^2 ,占陆地面积的 40.5%,其中稀树草原占 13.8%,灌丛草原占 12.7%,无树草原占 8.5%,苔原占 5.7%,这比传统认为的草原面积大了很多。我国是草原大国,拥有草原约 400 万 km^2 ,草原占全国陆地面积的 40%以上。

草原是一种地带性的生态系统类型,草原在地球表面有固定的位置,水热的组合状况是决定草原空间分布的决定因素,如在寒温带,年降水量 150~200mm 地区有大面积草原出现,而在热带,稀树草原主要分布区的年降水量为 800~1200mm,地带性草原通常位于湿润的森林和干旱的荒漠之间。在靠近森林的一侧,降水相对丰沛,气候一般为半湿润,草木茂盛,种类多样,常有乔木或灌丛出现,如疏林草原或草甸。在靠近荒漠的一侧,降水缺乏,气候一般为干旱到半干旱,草群低矮稀疏,种类组成简单,常混生有耐旱的小半灌木或肉质植物,如我国内蒙古的荒漠草原等。在二者之间是广阔的典型草原,降水状况较好,气候一般为半干旱,针茅属植物在草本植物组成中占有较大比例。

中国地域辽阔,地形复杂,气候条件多样,南北跨越了寒温带、中温带、暖温带、亚热带和热带等 5 个热量气候类型带,东西从东南沿海到西部内陆降水量从 2000 余毫米减少到 50mm 以下,包括湿润区、半湿润区、半干旱区和干旱区等气候类型。我国是一个多山和高原面积分布广泛的国家,特别是青藏高原,是世界上最高的高原,号称世界第三极,高原上气候寒冷,形成独特的气候类型。由于中国地域广,地形复杂,水热组合类型异常丰富,因而也形成了复杂多样和丰富多彩的植被类型,包括热带雨林、亚热带常绿林、温带落叶林、寒温带针叶林,以及森林、疏林草原、草甸草原、干草原、荒漠草原、荒漠、高寒荒漠、高寒草原等各种植被类型。

根据全国第一次草原调查采取的分类方法和体系,将全国天然草原划分为 18 大类、

21 亚类和 824 型。18 大类草原的类型和占草原总面积的比例见表 1-1。

表 1-1 中国草原类型及面积比例 (单位: %)

草原类名称	面积比例	草原类名称	面积比例	草原类名称	面积比例
高寒草甸	16.22	热性灌草丛	4.69	高寒荒漠草原	2.43
温性荒漠	11.47	山地草甸	4.26	高寒荒漠	1.92
高寒草原	10.59	温性草甸草原	3.70	高寒草甸草原	1.75
温性草原	10.46	热性草丛	3.62	暖性草丛	1.69
低地草甸	6.42	暖性灌草丛	2.96	沼泽	0.73
温性荒漠草原	4.82	温性草原化荒漠	2.72	干热稀树灌草丛	0.14

注: 表中的类型名称和面积比例由《中国草地资源》整理而来, 是我国第一次草地资源调查的结果。

由表 1-1 可知, 我国草原面积比例大于 10% 的草地类型有高寒草甸、温性荒漠、高寒草原和温性草原四类, 这四类的面积之和占总草原面积的 48.74%。我国热性和温性灌草丛、草甸的面积并不大, 但是这些草原植被类型的产草量往往较高, 生物多样性丰富, 在畜牧业生产中占有重要地位。

草原生态系统是我国最大的陆地生态系统类型, 草原面积约占国土面积的 41.7%, 草原资源不仅是我国重要的战略资源, 也是我国重要的生态屏障和发展畜牧业生产的基础。由于人口增加和人类活动强度加大等因素的影响, 我国草原总体上出现了明显的退化、沙化等现象, 草原生物量、生物多样性显著下降, 草原资源的持续利用呈现出恶化的趋势。

草原生态系统的战略意义和重要性主要包括以下四个方面。

(1) 草原是农业基础资源的主要组成部分。我国草原对发展草食家畜, 生产畜产品, 提高和改善人们的物质生活, 缓解人口增长压力与食物生产安全起到了积极的作用。

(2) 草原生态系统是生物多样性的重要基因库, 我国草原区分布广、类型复杂, 有全球海拔分布最高、气候高寒的青藏高原, 也有气候极端干旱的阿拉善戈壁, 特有的和复杂的生态环境, 造就了我国草原是生态系统多样性、物种多样性和遗传多样性最为丰富和特别的国家之一, 动植物的物种和基因多样性极其丰富, 拥有大量的特有种。

(3) 我国草原区是少数民族集中居住的地区, 草原资源是我国牧区和少数民族地区重要的生产资料, 是当地人民赖以生存和发展的物质基础, 草食家畜和畜产品是当地人的重要生活资料, 也是当地人经营的主要对象, 草原植物是放牧的重要饲料来源。

(4) 草原是我国重要的生态屏障, 广大的草原区域主要分布于半干旱区域, 位于人口密集的东部和西部干旱区之间, 是重要的生态屏障, 西部干旱荒漠区和荒漠草原区, 植被疏矮, 地表疏松是沙尘暴的重要发生源地, 产生的沙尘暴经过草原区的阻拦, 进入东部时通常会大大减弱。草原植物具有防风固沙、保持水土、改善大气质量等功能。

保护和利用好草原具有重要的意义, 准确掌握草原的状况, 是进行草原利用和保护的基础, 要想掌握草原的情况, 应对草原进行监测, 并及时了解草原的现实状况和变化情况。

草原监测(rangeland monitoring)是有计划的、定期对草原资源数据进行收集、分析和解释, 并结合管理目标进行评价的过程(任继周, 2008)。草原监测有地面监测和遥感监

测等,地面监测是对地面的草原植被、土壤等进行有计划的测定,获取数据,对草原的变化和状况进行分析和评价,目的是了解草原的状况,为草原的利用、保护和管理服务。

草原遥感监测(rangeland remote sensing monitoring)是利用遥感技术监测草原生物和环境因子,通常从较大尺度上进行监测,了解草原生态系统的状况。目前对草原遥感监测比较多和成熟的内容主要有:植被遥感监测、草原灾害遥感监测和其他草原宏观遥感监测等。植被遥感监测主要有:草原生物量遥感监测、草原物候和草原长势遥感监测、草原植被覆盖度遥感监测和草畜平衡遥感监测等。草原灾害遥感监测包括草原火灾、雪灾、旱灾遥感监测,以及草原生物灾害遥感监测等。此外我们对草原沙化、退化等的遥感监测也进行了大量的工作。

1.2 草原植被遥感监测意义

连片的草原主体主要分布于我国北方干旱半干旱地区和青藏高原高寒地区,在草原区主要进行畜牧业,草原牧区是蒙、藏、维吾尔、哈萨克、回等少数民族主要聚居区,生活着近 2000 万牧民。草原牧区是我国自然条件最严苛、生态环境最脆弱的区域,生产方式原始落后,生产力水平低,是我国新农村建设中非常特殊的一个区域。由于面积广阔,气候条件严酷,有些地方属于无人区,遥感是大面积监测草原的最实用和有效的方法。掌握草原植被状况是草原生态保护、草原生产和管理的关键,因此草原植被遥感监测就成为草原遥感监测的最重要的内容之一。对草原植被进行遥感监测的意义如下。

一、获取草原信息,有效保护草原资源和生态环境,维护生态安全的需要

草原是具有多种功能的自然资源,在国民经济和我国生态安全中具有重要的地位和作用。我国是一个草原大国,拥有各类天然草原近 4 亿 hm^2 ,占陆地国土面积的 41.7%,草原是我国干旱、半干旱和高寒地区最主要植被生态系统。开展草原遥感监测,可准确而全方位地掌握我国草原生态、资源等状况,特别是通过时间序列的分析,可以掌握草原资源和生态的动态过程和变化趋势,可以从实际出发制定草原保护和利用的政策和措施,使我国的草原植被和资源状况得到改善。

草原遥感监测揭示,我国草原退化沙化严重,退化沙化的主要原因是超载过牧造成的,草原退化沙化已经严重影响了草原牧区人民的生产和生活和生态安全。在这样的背景下,我国启动了《草原生态保护补助奖励机制》,是草原牧区迄今为止最大的资金投入,政策和措施实施的目的是促进牧区生态优良、生活改善、社会富裕,使草原牧区生产、生态协调可持续发展。科学有效地落实《草原生态保护补助奖励机制》,需要以充分考虑牧区自然区位差异为前提,在政策实施初期进行科学合理的多尺度的空间布局,确定需要实施禁牧、草畜平衡、人工补贴的区域。政策实施后,需要对各项政策实施效果进行准确了解和掌握。一方面通过遥感监测确保政策措施和工程的有效落实;另一方面通过草原遥感监测发现问题,提出改进方案。通过定期对现行的政策和工程措施的实施效果进行全面评估,从重视与发挥草原的生态功能与社会功能的角度出发,调整牧区建设的政策和工程措

施,为进一步完善草原生态保护建设机制提供科学基础。

二、贯彻落实《草原法》和国务院有关文件精神的需要

《草原法》和《国务院关于加强草原保护与建设的若干意见》(国发[2002]19号)对草原资源与生态监测工作都提出了明确的要求。《草原法》明确提出“国家建立草原生产、生态监测预警系统”。《国务院关于加强草原保护与建设的若干意见》(国发[2002]19号)也指出“认真做好草原生态监测预警工作。草原生态监测是草原保护的基础。地方各级农牧业行政主管部门要抓紧建立和完善草原生态监测预警体系”。我国的草原法等法规性文件明确提出草原生态监测是草原保护的基础,各级主管部门要抓紧建立和完善草原生态监测预警体系,草原宏观监测和预警工作需要遥感技术引入,遥感技术具有客观、宏观、省时、省力等特点,是进行草原生态监测和预警的首选技术,实践证明草原遥感监测在贯彻《草原法》和国务院有关文件精神,进行草原生产、生态监测和预警中发挥了重要的作用。

三、牧区和半农半牧区草原生产发展和生态保护的需要

我国牧区和半牧区县(市、旗)有268个,草原总面积约占全国草原总面积的67%。草原是牧区、半农半牧区农牧民的重要生产资料,草地畜牧业是农牧民收入的重要来源,保持草原资源合理利用和草原生态系统的安全与当地农牧民生产和生活密切相关。草原遥感监测可以及时监测草原返青和草原长势,以及草原的植物性生产力,这些信息是进行草原放牧、饲草生产和过冬饲草准备的主要决策依据,是科学安排生产的重要支撑。草原遥感监测可以及时监测草畜平衡、草原退化和草原沙化,以及草原雪灾和火灾等,这些信息是草原保护的基础性信息,是科学保护草原的信息保障。

四、有效实施草原保护建设工程的需要

近些年来,国家对草原保护与建设的投入大幅度增加,先后启动了天然草原植被恢复与建设、草原围栏、退牧还草工程、京津风沙源建设工程、草原生态保护补助奖励机制政策等草原保护建设项目,这些项目实施后效果如何,宏观上发生了什么变化是项目实施单位亟须掌握的信息,这些信息通过遥感技术可以方便获取,草原遥感监测可以快速获取项目区内外草原植被的长势、生物量、覆盖度等植被生态信息,这些信息是揭示草原工程生态效果的基础信息。

1.3 遥感在草原植被监测中的应用

遥感技术具有宏观特性,在对地观测中应用广泛,应用于国民经济的方方面面,在植被生态和草原植被监测方面也有很大发展,本部分简要叙述遥感技术的发展和遥感在草原植被遥感监测中的部分应用。

一、遥感技术的发展

遥感技术内容丰富,发展迅速,特别是遥感数据的获取、存储和应用等方面发展很快,

本节仅简述遥感技术的概念和遥感技术的特点两部分内容。

（一）遥感技术的概念

遥感是 20 世纪 60 年代发展起来的对地观测技术,是根据电磁波的理论,应用各种传感仪器对远处的目标物所辐射和反射的电磁波信息进行记录、处理和分析,揭示目标物体的特征性质及其变化的综合性的探测技术。根据遥感的定义,要完成遥感的过程,需要了解远处被测目标物体的信息特征、如何获取被测目标的信息、信息如何传输和记录,对获取的信息进行处理和分析,以及对信息进行各种应用等,这些过程组合起来就构成了一个系统,或称为遥感系统。

任何目标物体都具有反射、辐射和吸收电磁波的特性,通过目标物的电磁波特性,可以揭示目标物的其他特性,目标物与电磁波相互作用,构成目标物的电磁性质,这是进行遥感探测的基础。对目标物的电磁特性的接收和记录需要通过仪器进行,这些仪器称为传感器,如扫描仪、摄影机、摄像机、照相机、雷达、辐射计等,装载传感器的平台称为遥感平台,主要有地面平台(如遥感车、遥感塔等),空中平台(如飞机、气球等),空间平台(如人造卫星、宇宙飞船等)。传感器接收到目标物的电磁信息,记录到磁介质或其他介质中,传输到接收站。接收站对收到的信息进行各种处理,如进行信息的恢复、辐射校正、投影变换、格式转换等,然后提交给用户。用户根据各自的目标进行应用。应用是遥感的主要目的,随着遥感技术的发展,遥感已应用于众多的领域,当然在草原植被研究中也得到了重要的应用与发展。

遥感从应用的领域进行划分,可以分为资源遥感、环境遥感、农业遥感、林业遥感、渔业遥感、地质遥感、气象遥感、水文遥感、植被遥感、城市遥感、工程遥感、灾害遥感、军事遥感等,遥感在上述方面均得到了长足的发展。草原植被遥感可以隶属于资源遥感、环境遥感、农业遥感或植被遥感等应用领域。

（二）遥感技术的特点

遥感主要是从空中俯瞰大地,获取目标物的信息,探测目标物的特性,主要有以下四个特点。

1. 大范围同步观测

航摄飞机飞行高度约 10km,陆地卫星的卫星轨道高度可达 910km,可及时获取大范围的遥感信息。遥感平台越高,视角越宽广,可以同步观测到地面的范围就越大,如 Landsat 影像,1 幅可以覆盖面积约为 $185\text{km} \times 185\text{km} = 34225\text{km}^2$,5~6 分钟内即可扫描完成,MODIS 数据地面空间分辨率分别为 250m、500m 和 1000m,扫描宽度为 2330km,对地观测时,每日或每两日可获取一次全球观测数据。同步大范围的观测,可以发现重要目标物的空间分布规律。

2. 速度快、时效性强

卫星围绕地球运转,能及时获取所经地区的各种自然现象的最新资料,发现地球上事

物和现象的动态变化,这对研究和揭示地球上具有周期性变化规律或具有动态变化的事物或现象非常有用,如研究北方植被的物候变化规律以及火灾动态变化将非常有用。气象卫星的发展,极大地促进了天气预报和天气动态变化规律的研究。

3. 数据获取受条件限制少

在很多地方,自然条件极为恶劣,人类难以到达,如沙漠、沼泽、高山峻岭、青藏高原地区等,采用不受地面条件限制的遥感技术,特别是卫星遥感可方便及时地获取各种宝贵资料。有时需要观测的地区,下雨或有云覆盖,可采用微波数据等进行分析。

4. 数据获取的手段多、信息量大

遥感技术可选用不同波段和遥感仪器来获取信息,不同波段对目标物各种属性的敏感性不同,不同波段可以探测目标物不同的属性。例如,可采用可见光探测物体结构等,也可采用紫外线、红外线等探测地表的植被或温度等,利用不同波段对物体不同的穿透性获取地物内部信息。

二、遥感在草原植被监测中的应用

草原是我国陆地面积最大的生态系统类型,对草原监测受到越来越多人们的重视,更受到各级草原主管部门的重视。用遥感监测草原植被系统的技术发展迅速、内容逐渐扩展,热点内容和有重要社会需求的内容从模型、方法到监测系统逐渐完善和发展。

我国草原植被遥感监测与国外相比有其独创性,我国草原植被遥感监测充分体现了以下特点:①草原主管部门重视,监测的内容从草原主管部门的需求出发,充分满足草原主管部门和社会的需求;②空间上充分考虑了草原植被的自然分布和行政界线,模型的构建主要考虑草原类型和水热的空间分布,结果分析考虑了省级或县级行政区划;③宏观特性,监测的内容一般在全国尺度或区域尺度进行监测。我国草原植被遥感监测的主要内容有:草原物候、草原植被长势、草原植被生产力(或草原产草量)、草原的合理载畜量或草畜平衡、草原植被的沙化或草原植被的退化等。以上的内容已经研究和应用了 10 多年,从理论、方法和技术应用等方面均得到了长足的发展,形成了自己的理论和方法体系,分别对上述内容,进行简述。

(一) 草原物候遥感监测

物候是自然界以年为周期重复出现的各种生物现象的发生时间,气候和水文是影响物候的重要因素,随着全球变化研究的发展,物候成为了研究热点。遥感对于从大尺度上研究物候变化,特别是植被返青、地表绿波变化具有优势,本章仅概述技术方法成熟和应用时间较长的草原植被返青遥感监测的内容来作为草原植被物候遥感监测的代表。

草原植被返青是草原植被在春季植物普遍开始生长和变绿的过程,通常分为返青初期、返青普遍期和返青后期。对于某个物种或植物群落,返青常定义为有几个叶片长出即为返青初期,有约半数的植物个体发芽或展叶即为返青普遍期,大部分植物个体发芽或展叶即为返青后期。用遥感描述植被返青和地面观测将有较大的区别,遥感是从宏观上对

地面植被返青进行测算,首先看到的是地表植被变绿,当变绿达到一定的程度时(或阈值)就定义为植被返青。遥感观测到的返青是春季当温度回暖时,绿波(植被指数达到某阈值)从南到北(随着温度升高)逐步推进的过程。研究表明,遥感光谱中的红色通道和近红外通道反射能量与地表植被的数量有关,叶绿素对光的吸收,随着植物的生长反射的红光能量降低,植物对近红外波段的辐射吸收很少,反射的近红外波段的能量随着植物的生长而增加。这两个波段与植物的密度以及植物的生长有关,用这两个波段的组合即可反映植被的状况,通常组合成植被指数,植被指数有很多种,各种指数反映植被状况是各有其优点或弱点。反映植被状况稳定,应用最广泛的植被指数是归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI), NDVI 定义为

$$NDVI = (X_{nir} - X_{red}) / (X_{nir} + X_{red}) \quad (1-1)$$

式中, X 为卫星接收到的地表辐射率和反射率等的计算值; nir 为近红外波段; red 为红外波段,理论上 NDVI 的比值限定在 $[-1, 1]$ 的范围内,对于地表目标物, NDVI 值下界一般为 0, 上界一般为 0.8 左右。当 NDVI 为 0 时,表示地表无植被,当 NDVI 大于 0.8 时,表示植被茂密。

根据 NDVI 等植被指数,可以定义或度量植被返青,从原理上讲,植被返青可以用多种方法表示。

1. 阈值法

当植被指数或由植被指数等构成的模型指数高于某阈值时,可以认为植被开始返青,或达到了返青的某个阶段,阈值法相对简洁,但容易受人为主观影响。

2. 滑动平均法

是以实际 NDVI 的时间动态曲线为基础,采用自回归滑动平均模型计算生成滑动平均曲线,将曲线与 NDVI 动态曲线进行叠加比较,确定植被的返青期,这种方法有较好的稳定性,有时也会出现误差。

3. 斜率最大值法

把植物生长过程中 NDVI 时间动态变化曲线中变化率最大的点所对应的时间定义为关键物候期,草原植物返青期可定义为 NDVI 时间序列动态曲线上上升变化率最大处(或曲线变化的拐点处)为返青期。

用遥感监测植被返青还有函数拟合法、波谱分析法等多种方法,各种方法均有其各自的优点和局限性。随着草原类型区别以及降水特点的变化,不同方法在监测草原植被返青时表现出不同的稳定性和敏感性。通过大量的试验和检验,以及反复应用,我们创建了像元阈值法,它是监测我国草原植被返青的有效方法。

(二) 草原植被长势遥感监测

草原植被长势是草原植被的总体生长状况与趋势,是掌握草原植被状况和进行草原

畜牧业管理的重要植被指标,是从宏观上把握草原植被生长状况的指标之一。植被在可见光部分有较强的吸收峰(被叶绿素吸收),在近红外波段有强烈的反射率,形成突峰,这些敏感波段及其组合(常称植被指数)可以反映植被生长的特征信息。对植被指数 NDVI 进行组合,构建植被长势模型,用以反映草原植被的长势情况,遥感上草原植被长势通常是和过去相同的生长时间段进行比较,过去的时间段可以是过去某年或多年平均的时间段。

对草原植被长势的较系统研究,开始于 Xu 等(2013)的研究,早期的研究参考了农作物等长势遥感监测的原理,构建了差值长势指数(subtractor vegetation growth index, SVGI),用两期遥感影像数据做差值运算,对差值进行分类划分,计算公式如下:

$$\text{SVGI} = \text{NDVI}_n - \text{NDVI}_p \quad (1-2)$$

式中,SVGI 为差值植被长势指数; NDVI_n 为现在某时间段(或监测年份某时间段)的 NDVI 值; NDVI_p 为过去某时间段(或多年某时间段的平均值)的 NDVI 值。

根据 SVGI 值的大小分成 5 个等级,表示植被长势的情况,依次为好、较好、持平、较差和差。2005 年用差值长势指数(SVGI)完成了对全国草原植被长势的遥感监测。基于我国草原植被的复杂性和对草原植被长势需求的提高,经过反复试验,构建了归一化草原植被长势模型,本模型具有普遍适用性,实现了在国家尺度上对复杂条件下草原植被长势的全遥感高频度的监测。实践证明,归一化草原植被长势模型和开发的“中国草原植被长势遥感监测系统”可以准确反映草原植被的生长情况。

(三) 草原产草量遥感监测

草原产草量或生物量是草原生态系统最重要的特征指标之一,是草原宏观管理和草原畜牧业生产的重要基础。草原产草量的测定,传统方法是利用样地、样方进行测定,这种方法的优点是比较准确,缺点是测定的区域小、费工费时。随着遥感技术的发展,利用遥感技术估算草原产草量(或生物量)的方法发展很快,遥感测定草原产草量的优点主要有大尺度和省时省力。用遥感技术测定草原产草量的理论依据和测定草原植被返青和长势的理论依据相同,即有的光谱波段与植被有稳定的相关关系,利用这种关系建立模型,然后反演产草量。主要做法是,植被指数和时空匹配的地面样地(样方)的产草量建立数据库、构建产草量遥感统计模型,并对模型进行调整、精度验证等。影响产草量遥感统计模型精度的主要因素有地面样地(样方)空间分布的合理性和样地的数量等。

光能利用率模型,是一种重要的测定生物量的模型,认为植被净初级生产力 NPP 主要由植被吸收有效光合辐射(absorbed photosynthetic active radiation, APAR)以及光能利用率决定,其中光能利用率又受到水、温等因素的影响。目前应用较多的光能利用率模型有 CASA 模型等。一般认为,统计模型精度较高,在实际中应用比较广泛。本项目组 10 多年来为草原主管部门进行业务化运行,产草量遥感监测已经形成了自己的理论、模型和方法体系,方法的主要步骤如下:

(1) 选用 MODIS(moderate-resolution imaging spectroradiometer,即中分辨率成像光谱仪)遥感数据,基于 7~8 月每日的 NDVI 值,进行旬度最大化合成。