



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



地球观测与导航技术丛书

生态环境参数遥感 协同反演与同化模拟

张显峰 廖春华 等 著



科学出版社



地球观测与导航技术丛书

生态环境参数遥感 协同反演与同化模拟

张显峰 廖春华 等 著

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书以新疆为研究区域,系统介绍陆面生态与环境参数的遥感协同反演算法、模型以及同化模拟技术,共9章。主要内容包括重要生态环境参数的含义、地面测量方法及仪器、基于多源遥感数据的反演算法与模型;区域尺度与建筑物尺度的太阳辐射估算模型与系统;基于光学与微波遥感协同反演积雪覆盖分布与积雪深度的原理、方法与模型,并以新疆雪灾灾情应急监测为实例,探讨雪灾遥感应急监测的方法;陆面数据同化的基本概念,陆面数据同化模拟方法及其应用,以及当前主要的陆面数据同化模拟系统;基于光学与被动微波遥感的陆表土壤水分协同反演方法、基于VIC与Kalman滤波的同化模拟方法与系统,以及干旱区重要生态环境参数遥感反演模型与软件系统研发等。

本书可供从事遥感、生态、环境、水文、灾害监测与防治等专业的科研人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

生态环境参数遥感协同反演与同化模拟/张显峰等著. —北京:科学出版社,2014.11

(地球观测与导航技术丛书)

ISBN 978-7-03-042275-0

I. ①生… II. ①张… III. ①生态环境-环境遥感 IV. ①X87

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第248212号

责任编辑:朱海燕 苗李莉 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:赵德静 / 封面设计:王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.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

*

2014年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年11月第一次印刷 印张:22

字数:500 000

定价:198.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《地球观测与导航技术丛书》编委会

顾问专家

徐冠华 龚惠兴 童庆禧 刘经南 王家耀
李小文 叶嘉安

主 编

李德仁

副主编

郭华东 龚健雅 周成虎 周建华

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

鲍虎军	陈 戈	陈晓玲	程鹏飞	房建成
龚建华	顾行发	江碧涛	江 凯	景贵飞
景 宁	李传荣	李加洪	李 京	李 明
李增元	李志林	梁顺林	廖小罕	林 琿
林 鹏	刘耀林	卢乃锰	孟 波	秦其明
单 杰	施 闯	史文中	吴一戎	徐祥德
许健民	尤 政	郁文贤	张继贤	张良培
周国清	周启鸣			

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

地球空间信息科学与生物科学和纳米技术三者被认为是当今世界上最重要、发展最快的三大领域。地球观测与导航技术是获得地球空间信息的重要手段,而与之相关的理论与技术是地球空间信息科学的基础。

随着遥感、地理信息、导航定位等空间技术的快速发展和航天、通信和信息科学的有力支撑,地球观测与导航技术相关领域的研究在国家科研中的地位不断提高。我国科技发展中长期规划将高分辨率对地观测系统与新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项;国家有关部门高度重视这一领域的发展,国家发展和改革委员会设立产业化专项支持卫星导航产业的发展;工业和信息化部、科学技术部也启动了多个项目支持技术标准化和产业示范;国家高技术研究发展计划(863 计划)将早期的信息获取与处理技术(308、103)主题,首次设立为“地球观测与导航技术”领域。

目前,“十一五”计划正在积极向前推进,“地球观测与导航技术领域”作为 863 计划领域的第一个五年计划也将进入科研成果的收获期。在这种情况下,把地球观测与导航技术领域相关的创新成果编著成书,集中发布,以整体面貌推出,当具有重要意义。它既能展示 973 计划和 863 计划主题的丰硕成果,又能促进领域内相关成果传播和交流,并指导未来学科的发展,同时也对地球观测与导航技术领域在我国科学界中地位的提升具有重要的促进作用。

为了适应中国地球观测与导航技术领域的发展,科学出版社依托有关的知名专家支持,凭借科学出版社在学术出版界的品牌启动了《地球观测与导航技术丛书》。

丛书中每一本书的选择标准要求作者具有深厚的科学研究功底、实践经验,主持或参加 863 计划地球观测与导航技术领域的项目、973 计划相关项目以及其他国家重大相关项目,或者所著图书为其在已有科研或教学成果的基础上高水平的原创性总结,或者是相关领域国外经典专著的翻译。

我们相信,通过丛书编委会和全国地球观测与导航技术领域专家、科学出版社的通力合作,将会有一大批反映我国地球观测与导航技术领域最新研究成果和实践水平的著作面世,成为我国地球空间信息科学中的一个亮点,以推动我国地球空间信息科学的健康和快速发展!

李德仁

2009 年 10 月

前 言

地球生态系统是支撑人类社会经济存在与发展的物质基础,是连接地球大气、陆地与海洋的纽带,涉及生物与大气圈、水圈(包括冰雪圈)、土壤圈的物质与能量循环过程。如何深层次认识地球表层系统的要素、过程与变化是当前地球科学研究的前沿领域。遥感作为 20 世纪飞速发展起来的一门新型交叉学科,通过传感器非接触地获取有关目标的影像或非成像数据,已逐渐成为人们认识客观世界的一条重要途径。多平台、多传感器、多分辨率和多谱段的遥感观测系统,使人类可以更好地认识地球表层生态系统的复杂过程及各圈层之间的相互作用机制。做到这一点的关键是如何从海量遥感观测中挖掘有用信息,更好地描述地表生态与环境过程,这涉及定量遥感反演这一前沿研究领域。

然而,现有对地观测系统主要还是瞬时离散观测,尚不能提供时空连续的观测结果。要实现对生态系统过程的模拟与计算机仿真,还须依赖在规律认识基础上通过演绎或归纳建立的各种模型与模式,如陆面过程模式、水文模型与生态系统模式等。但模型模式是通过抽象概括建立起来的数学表达,本身具有不完备性,加之陆表过程的复杂性和不确定性,必然导致模式模型模拟结果存在较大的误差。因此,如何将模式模型的模拟与各种观测“有机”结合,更好地认识与理解地球表层系统,是当前地球系统科学研究的又一热点,即数据同化策略与同化模拟技术。

本书是作者在主持与参与的国家 863 计划课题“基于 MODIS 与 AMSR-E 传感器的土壤水分遥感协同反演与同化模拟技术研究”(2008AA12Z112)、国家自然科学基金项目“建筑物尺度的高分辨率太阳能资源潜力模型研究”(41071257)、国家科技支撑计划项目课题“生态环境空间信息服务系统研发”(2007BAH12B05)、“新疆重大突发事件应急响应技术与应用”(2012BAH27B03)、“低空遥感数据获取与处理系统研发”(2012BAH27B02)等项目研发工作的基础上,结合本人在北京大学讲授研究生课程“生态与环境遥感”的内容,总结提升并参考相关研究撰写而成。全书比较系统地介绍当前主要生态与环境参数的地面仪器测量方法、遥感反演模型,以及同化模拟系统的研究进展,以作者在新疆完成的大量研究实例为基础,具体阐述如何建立这些遥感反演模型与软件系统。读者如果对部分算法和模型代码有需求,在不侵犯知识产权的前提下可联系作者索取。

全书共 9 章,第 1 章介绍主要生态与环境系统参数的含义、地面测量方法及所使用仪器,以及基于遥感的测量方法研究进展;第 2 章着重介绍除植被生态参数外的重要环境参数的遥感反演方法与模型,包括地表反照率、地表比辐射率、陆面温度和土壤水分等;第 3 章阐述主要的植被遥感指数模型、叶面积指数与植被覆盖度的遥感反演方法与模型;第 4 章研究植被净初级生产力的遥感估算模型以及荒漠化遥感信息模型,并以新疆为研究区对模型进行了验证分析;第 5 章探讨如何利用高时间分辨率的静止气象卫星数据、高空间分辨率遥感影像数据,以及 LiDAR 点云数据,在区域和建筑物两个尺度上建立地面太阳辐射参数的估算模型,以及高分辨率的太阳能资源潜力评价模型与系统;第 6 章则介绍基于光学遥感与微波遥感协同反演积雪覆盖分布与雪深的原理、方法与模型,并以新疆雪灾

灾情评价为具体应用,探讨雪灾遥感应急监测的方法与模型;第7章介绍陆面数据同化的概念、同化模拟方法及其应用领域,以及当前主要的陆面同化模拟系统;第8章探讨基于光学与被动微波遥感的陆表土壤水分协同反演模型,以及基于VIC与集合Kalman滤波的同化模拟方法与系统;第9章研究干旱区重要生态环境参数的遥感反演模型、软件系统的实现,以及介绍ESISS系统主要功能。

本书第1章由廖春华、孙权、张显峰编写;第2章由赵杰鹏、潘一凡、张显峰编写;第3章由廖春华、王旭阳编写;第4章由廖春华、王旭阳、江森编写;第5章由吕扬、刘羽、张显峰编写;第6章由张显峰、包慧漪、吕扬、刘羽、于泓峰编写;第7章由张显峰、包慧漪编写;第8章由张显峰、赵杰鹏、唐家奎编写;第9章由张显峰、孙权、冯先伟编写。全书由张显峰统合定稿。在支撑本书主要内容的项目研究工作中,得到了石河子大学郑旭荣教授、赵庆展副教授、王克如副教授、刘海隆教授、吴大勇副处长,北京大学孙敏副教授、李培军教授,中国农业大学吴才聪副教授,中国科学院遥感与数字地球研究所田国良研究员,新疆大学师庆东教授、师庆三副教授,加拿大滑铁卢大学Jonathan Li教授,加拿大西安大略大学王今飞教授、Micha Pazner教授,美国佛罗里达州立大学杨小军教授,以及美国Clark大学田杰博士等的大力支持与帮助。特别感谢中国科学院遥感与数字地球研究所童庆禧院士、北京师范大学减灾与应急管理研究院李京教授在百忙中对本书书稿的审读和所提宝贵建议。

由于著者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不妥之处,敬请读者和同行批评斧正。

张显峰

2014年7月于燕园

目 录

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

前言

第 1 章 生态环境参数及其测量方法	1
1.1 生态环境参数及其意义	1
1.1.1 生态环境参数	1
1.1.2 研究参数测量的意义	2
1.1.3 常见生态环境参数及其意义	4
1.2 生态环境参数的地面测量方法	6
1.2.1 土壤水分含量测定	6
1.2.2 地温测量	13
1.2.3 地面光谱测量	17
1.2.4 太阳辐射测量	19
1.2.5 叶绿素含量测量	20
1.2.6 光合作用测量	21
1.2.7 叶面积指数测量	22
1.2.8 植被地表生物量测量	23
1.3 基于遥感传感器的测量	25
1.3.1 遥感测量的优势与研究内容	25
1.3.2 生态环境参量遥感反演研究进展	26
1.4 遥感信息模型概述	33
参考文献	35
第 2 章 陆面环境参数遥感估算模型	41
2.1 地表反照率遥感估算模型	41
2.1.1 基本原理	41
2.1.2 反照率遥感反演模型	43
2.2 比辐射率遥感估算模型	47
2.2.1 植被指数法	48
2.2.2 分类法	49
2.3 陆面温度遥感估算模型	49
2.3.1 基本原理	49
2.3.2 分裂窗算法	50
2.3.3 单通道算法	51
2.3.4 多通道算法	55
2.4 土壤水分遥感估算模型	56

2.4.1 基于可见光-近红外遥感土壤水分反演法	56
2.4.2 基于热红外遥感的温度法	61
2.4.3 微波遥感监测法	64
2.4.4 存在的问题与分析	66
参考文献	68
第3章 植被指数与覆盖度遥感估算模型	73
3.1 植被光谱指数模型	73
3.1.1 植被光谱指数的含义	73
3.1.2 常用植被指数模型介绍	74
3.1.3 植被指数的应用	77
3.2 叶面积指数遥感估算模型	81
3.2.1 叶面积指数的含义	81
3.2.2 叶面积指数遥感估算模型	82
3.2.3 叶面积指数的应用	90
3.3 植被覆盖度遥感估算模型	94
3.3.1 植被覆盖度的含义	94
3.3.2 植被覆盖度遥感估算模型	95
3.4 植被覆盖度反演的实例	103
3.4.1 数据获取与预处理	103
3.4.2 像元二分模型的建立	106
3.4.3 多端元混合像元分解模型的建立	109
3.4.4 简单线性混合光谱分解	112
3.4.5 结果分析与精度验证	114
参考文献	117
第4章 植被生产力与荒漠化遥感监测模型	123
4.1 植被净初级生产力遥感估算模型	123
4.1.1 NPP 估算模型	123
4.1.2 CASA 模型实例	130
4.2 生态资产遥感信息模型	136
4.2.1 生态资产及其评估方法	136
4.2.2 生态资产遥感评估模型流程	136
4.2.3 模型实现与结果分析	137
4.3 荒漠化监测遥感信息模型	141
4.3.1 荒漠化监测指标的确定	141
4.3.2 荒漠化遥感信息模型	142
4.3.3 荒漠化时空动态分析	145
参考文献	148
第5章 多尺度太阳辐射潜能估算模型及系统	150
5.1 太阳辐射估算基础	150

5.1.1	地表太阳辐射估算方法	150
5.1.2	基本参数的介绍	151
5.2	区域尺度的地面太阳辐射估算	153
5.2.1	基于辐射传输的逐时地面太阳辐射估算	153
5.2.2	融合多源气溶胶产品	161
5.3	建筑物尺度的太阳能估算模型	166
5.3.1	阴影算法简介	168
5.3.2	对平面投射法的改进	168
5.3.3	计算建筑表面非阴影区面积	171
5.3.4	基于三维分析方法的太阳能估算与可视化	173
5.4	基于机载 LiDAR 的建筑和树冠三维建模及应用	177
5.4.1	方法与模型	177
5.4.2	实例研究	181
5.5	软件系统设计与开发	183
5.5.1	需求分析	183
5.5.2	系统分析与设计	184
5.5.3	系统开发方案与实现	186
	参考文献	188
第 6 章	积雪参数遥感反演模型与应用	191
6.1	积雪遥感监测进展	191
6.2	积雪覆盖范围的遥感提取方法	193
6.2.1	雪盖遥感提取原理	193
6.2.2	基于 MODIS 与 AMSR-E 的积雪覆盖范围识别	195
6.3	基于微波遥感的雪深反演模型	198
6.3.1	雪深遥感反演原理	198
6.3.2	雪深经验反演模型的建立	200
6.3.3	基于 MEMLS 模型的雪深反演	202
6.3.4	地形修正以及结果与精度评价	211
6.4	积雪参数在雪灾评价中的应用——以新疆为例	214
6.4.1	雪灾灾害系统理论	214
6.4.2	新疆雪灾成因分析	215
6.4.3	雪灾遥感监测与评价	216
6.4.4	实例:2012 年 12 月新疆雪灾危害度评价	219
6.5	雪灾灾情评价系统设计与开发	227
6.5.1	需求分析	227
6.5.2	系统设计	228
6.5.3	模块开发与系统实现	229
6.5.4	SPR&DAS 系统应用实例	231
	参考文献	234

第 7 章 数据同化策略与陆面数据同化模拟方法	236
7.1 认识地球表层:观测还是模拟?	236
7.1.1 观测	236
7.1.2 模拟	237
7.1.3 数据同化的思想	238
7.2 数据同化的概念与应用	238
7.2.1 数据同化的含义	239
7.2.2 数据同化的特点	240
7.2.3 数据同化的应用领域	241
7.3 数据同化方法概述	245
7.3.1 数据同化方法的分类	245
7.3.2 主要数据同化方法	248
7.4 陆面数据同化系统	254
7.4.1 陆面数据同化系统的组成	255
7.4.2 陆面数据同化系统的建立	258
7.4.3 主要数据同化系统介绍	258
参考文献	264
第 8 章 干旱区土壤水分遥感协同反演与同化模拟	268
8.1 基于微波与光学遥感数据的协同反演策略	268
8.1.1 问题的提出	268
8.1.2 协同反演策略与建模原理	269
8.1.3 土壤水分协同反演实例	272
8.2 TVDI 模型及其改进	278
8.2.1 问题的提出	278
8.2.2 对 TVDI 模型的改进	278
8.2.3 改进的 TVDI 模型应用	281
8.3 基于 VIC 模型与卡尔曼滤波的同化模拟	286
8.3.1 问题的提出	286
8.3.2 基于 VIC 模型预测土壤水分	287
8.3.3 顺序同化——集合卡尔曼滤波方法	288
8.3.4 新疆地区土壤水分同化模拟	290
8.4 土壤水分遥感反演与同化模拟系统的设计与实现	295
8.4.1 系统总体结构	295
8.4.2 系统功能设计	295
8.4.3 系统开发与实现	297
8.4.4 SMIAS 系统介绍	301
参考文献	302
第 9 章 生态环境监测空间信息服务系统	304
9.1 研究区概况及需求分析	305

9.2 系统设计与实现	306
9.2.1 系统分析与设计	306
9.2.2 系统开发与实现	309
9.2.3 基本结论	312
9.3 ESISS 系统主要功能模块介绍	313
9.3.1 系统概述	313
9.3.2 生态环境参数遥感反演	314
9.3.3 专题产品生成	319
9.3.4 产品发布模块	330
9.4 准噶尔南缘生态环境综合评价	330
9.5 主要空间信息产品介绍	331
9.5.1 系统应用实例	331
9.5.2 生态环境空间信息专题产品一览	333
参考文献.....	334
索引.....	336

第 1 章 生态环境参数及其测量方法

1.1 生态环境参数及其意义

1.1.1 生态环境参数

生态环境是指影响人类生存与发展的水资源、土地资源、生物资源,以及气候资源数量与质量的总称,关系到社会和经济的可持续发展。近半个世纪以来,随着人类社会的飞速发展和人口数量的激增,人类对自然资源进行了大规模的不合理开发与利用,几乎漠视自然生态系统自身的生态功能。这些开发和利用在给人类社会带来巨大物质财富的同时,也给人类自身带来了严重的生态灾难与环境问题,使全球生态环境发生了急剧的变化。环境污染、气候变暖、森林等植被遭到破坏与退化、水土流失与荒漠化、生物多样性减少等生态问题不断出现(吴炳方等,2005)。人类正受到某些资源短缺或耗竭的严重挑战,资源环境问题正威胁着人类的生存和发展(Daily, 1995; 李晓兵,1999)。

生态环境参数是用来刻画地球表面生态与环境的生物、物理与化学参数,能够反映区域生态环境的状况,其中最直接反映生态环境状况的是植被特征、土壤特征与冰雪水体变化。随着全球变化研究的深入,人们深刻地认识到研究地表生物物理化学参数是地球系统科学的核心内容之一,通过研究这些参数或变量从而能更好地了解全球变化的趋势及其驱动因子。生态环境参数包括很多方面:反映植被覆盖状况的植被指数、植被覆盖度、叶面积指数、植被净初级生产力和地上生物量等;反映生态环境变化的地表物理环境属性的参量,如反照率、陆面温度、亮度温度、比辐射率和土壤水分等。一些常用的生态环境参数及含义,见表 1.1。

表 1.1 生态环境参数及其含义

参数名称	含义
植被指数	由遥感传感器获取的多光谱数据,经线性或非线性组合而构成的对植被有一定指示意义的各种数值(陈述彭等,1998)。常用的植被指数有归一化差值植被指数(NDVI)、比值植被指数(RVI)及增强型植被指数(EVI)等
反照率	从非发光体表面反射的辐射与人射到该表面的总辐射之比,它体现了物体反射太阳辐射能力的强弱。它是许多遥感反演模型的输入参量,也是全球辐射变化研究的一个重要变量(Liu and Hete, 1995)
比辐射率	物体在温度 T 、波长 λ 处的辐射出射度 $M_s(\lambda, T)$ 与同温度同波长下的黑体辐射出射度 $M_b(\lambda, T)$ 的比值。比辐射率是衡量物体出射辐射度的参量,是计算陆面温度的一个参数(Qin and Karnieli, 2001)

参数名称	含义
陆面温度	指陆地表面土壤、水体、建筑物和植被冠层表面的温度,它是区域和全球尺度地球表层物理过程的一个关键参量,它是地气相互作用与能量交换的结果,单位为开尔文(K)
植被覆盖度(FVC)	植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比。表征地表植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标和描述生态系统的重要基础数据;是全球、区域变化监测模型中所需的重要信息(刘广峰等,2007)
叶面积指数(LAI)	LAI有多种不同的定义和解释,但最常用的是指单位水平土地面积上的植物叶子单面的总面积。它是研究植物冠层表面物质和能量交换的重要参数,被广泛应用于植物生长模型、能量平衡模型、气候模型和冠层反射模型等诸多方面的研究(程武学,2010)
净初级生产力(NPP)	绿色植物在单位时间单位面积内总初级生产量(GPP)减去呼吸作用消耗掉的能量(R),余下的有机物质的量就是净初级生产力
土壤水分	土壤水分是指土壤中含水的多少,可按重量含水量 [*] 和体积含水量来统计。大范围的土壤水分监测是农业过程研究和环境因子评价的基础,在改善区域及全球气候、预测区域干湿状况,以及干旱监测等研究中意义重大
植物生物量	植物生物量是指某一时刻单位面积或体积内实存生活的有机物质的质量(干重或鲜重)。植物群落的生物量是植物生态系统生产力的最好指标,是植物生态系统结构优劣和功能高低最直接的表现。生物量还对碳、氮等物质循环研究、全球变化研究有重要意义

注: * 这里重量含水量严格来说应该称为质量含水量,这里沿用习惯叫法。

1.1.2 研究参数测量的意义

全球变化对陆地生态系统的强烈影响正在改变着陆地生态系统固有的自然过程,其后果已经并将越来越严重地威胁人类的生存环境及社会经济的可持续发展。因此,这一问题不仅仅引起了全世界各国科学家的关注,也成为当前生态学研究的一个重点领域,同时也已经成为政府和公众高度关注的一个社会和经济问题。为了最大限度地减少全球变化可能引起的不良后果,人类必须科学地认知在全球自然变化和人为活动双重影响下的陆地生态环境变化的过程,进而实施对生态系统的有效管理,以维持对人类生存和持续发展适宜的环境(傅伯杰等,2005)。叶笃正先生曾指出,“全球环境是一个不可分割的整体,任何区域的环境变化都要受到整体环境变化的制约;反过来,整体环境的变化又是各区域相互影响着的环境变化的综合体”(叶笃正和陈泮勤,1992)。生态环境是社会经济发展的物质基础,生态环境状况的定量评价是实施区域可持续发展战略的重要依据(宋松柏和蔡焕杰,2004)。生态环境参数的准确测量与定量化描述对全球变化研究、地球系统研究,以及气候变化监测都有着重要作用。

1. 表征生态系统物质能量循环

生态系统中的物质循环和能量流动是紧密结合在一起的。物质是能量的载体,能量是物质循环的动力,在能量的驱动下物质从一种形态变成另外一种形态,从一个物质载体中进入到另外一个载体。植被是生态系统的重要组成部分,是地球上物质循环和能量流

动的枢纽。植被通过光合作用将自然环境中的无机物质合成为有机物质,把所吸收的太阳能储存起来,为其他生物直接或间接地提供物质和能量来源。同时,植物在食物链和食物网的作用下与其他生物联系起来,使有机界和无机界连接成一个整体,推动着地球生态系统的进化和发展;其次,植物是环境中二氧化碳和氧气的主要调节器。植物吸收二氧化碳,释放出氧气,维持着大气中二氧化碳和氧气的平衡。二氧化碳和氧气是生命活动的原料,也是生命活动的产物,它们在大气中的含量状况影响着整个地球环境。因此,陆面温度、土壤水分和太阳辐射等生态因子不仅直接影响整个生态系统,而且通过影响生态系统中最重要的因子——植被,从而间接影响地球表层系统的变化。

植物与环境的相互关系一直是生态学研究的核心问题。植物的生命活动需要从环境中获得光照、温度、水分、无机盐等基础生态因子,与此同时也会影响环境。水分是植物生长发育所必需,与其他因子相比,植物功能性状对水分的响应更为显著,如干旱地区植物会有较高的氮、磷含量(Wright et al., 2001)。研究表明,常绿树种的叶片渗透水含量、叶绿素含量均会随着干季到湿季的变化而降低,而比叶重、叶片密度会随之增大(Prior et al., 2004)。水分还影响着植物的光合速率,在区域尺度上植物光合作用也会随着环境湿度上升而减弱。一般来说,个体植物对环境的影响是有限的,随着个体数量的增加,植物对环境影响的范围和强度也加大。不同的植物群体因组成和结构的区别而成为不同的群落,每一个群落创造着自身的“植物环境”,并不同程度地影响周围的外界环境。这就是说,植物群落的组成和结构及其规模,对环境影响的程度都是呈正比的。

通过地面测量或遥感等手段对生态系统物质能量的组成要素及其变化进行量化认识,是了解生态系统物质能量循环的基本方法。因此,这些量化的“参数”可用来表征生态系统物质能量循环的基本特征,如叶面积指数可以表征不同植物或同一植物在不同生长阶段的群体生长状况。

2. 制备陆面过程模型参数

当今生态学研究的热门问题是全球变化的研究,全球变化是由于 CO_2 等温室气体的浓度升高造成温度与水分这两大生态因子改变并将由此驱动的大范围的生态系统改变的现象。要研究在当前或预测未来全球气候条件下,大气组成、氮循环、人类土地利用/土地覆盖在全球或区域尺度上的变化,需要有一个对环境和植被、土壤、太阳辐射等生态环境要素之间在更广阔水平上相互关系的机理性的认识(廖海萍和蒋高明,2000)。地球上每一个生物化学反应都以某种形式与生物地球化学循环相联系,因此要了解全球变化的原因及其对生态环境的影响,需要研究全球的生物地球化学过程。数学和数值模型的应用,有助于对生物地球化学循环动态的定量理解,同时定量理解生物地球化学循环在过去和未来中的作用。由于许多生态环境参数都是全球变化模型的输入参数,因此生态环境参数的测量在全球变化研究中起着非常重要的作用。

地球系统为开放性系统,受到外部的影响非常大,如受到太阳辐射变化的影响或另外一些未知的因素,地球系统模型的运行有着不确定性。因此需要不断对内部各个因子进行校正,对各个生态环境参数进行准确及时的测量。在很大程度上生态环境参数的准确测量直接决定了地球系统模型运行的精度。

3. 监测与评价生态环境状况

生态环境问题是指由于生态平衡遭到破坏,导致生态系统的结构和功能严重失调,从而威胁到人类的生存和发展的现象。目前,土地荒漠化是全球最严重的生态环境问题之一,是全球变化研究中的一个重要内容。荒漠化在世界上造成了严重的环境恶化和经济贫困,被列入威胁人类生存的十大环境与发展问题之首。它不仅威胁到整个人类的生存环境,而且是制约全球经济发展和影响社会稳定的重要因素。荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和干燥的亚湿润地区的土地退化。包括三个方面的内容:①风蚀和水蚀致使土壤物质流失;②土壤的物理、化学和生物特性或经济特性退化;③自然植被长期丧失。

荒漠化监测对荒漠化防治对策的制定具有重要意义。荒漠化监测的主要内容是荒漠化发生空间范围及其分类分级。目前几乎所有有关荒漠化的评价都是以包括干燥的亚湿润区在内的干旱土地退化为评价对象。荒漠化监测评价体系主要以气候、土壤、植被、动物和人类影响等因子为依据,提出了用于全球、地区(跨国家的)、国家和地方的评价指标体系。然后,又把荒漠化指标进一步具体化,归纳为自然地理学、生物与农学、社会三个方面,涉及土壤、植被、水、动物与人类活动等众多指标。因此生态环境参数(尤其是植被和土壤水分等参数)的测量是对生态环境状况进行监测的重要手段。

1.1.3 常见生态环境参数及其意义

1. 土壤水分和陆面温度

在地球系统中,地表土壤水分和陆面温度是重要的地球物理参数。其中,地表土壤水分是陆地和大气能量交换过程中的重要因子,是气候、水文、生态、农业等领域衡量土壤干旱程度的重要指标,也是全球气候变化的重要组成部分,并对陆地碳循环等物质循环有很强的控制作用(Seneviratne et al., 2010)。在水文循环中,它是联系地表水与地下水的纽带,在水资源的形成、转化及消耗过程中有重要作用,同时土壤水分状况对于降水产流、植被蒸腾、土壤蒸发及生态环境下垫面植被生态系统的变化等具有重要影响。在气候领域,土壤水分决定太阳辐射能用于潜热和显热的比例,影响土壤的蒸发和植被的蒸腾;在生态研究领域,土壤水分是决定土地沙化、植被覆盖、干旱的重要因素之一;在农业生产方面,土壤水分是农作物发芽、生长发育的基本条件,它对降水和灌溉后的径流、渗漏、重新分布、排水的储存等也是相当重要的。全球范围的地表土壤水分反演又是陆面过程模式研究的重要组成部分,在改善区域及全球气候、预测区域干湿状况研究中意义重大(Zhang et al., 2011; Zhao et al., 2011)。

陆面温度则影响大气、海、陆之间的显热和潜热交换,是研究全球和区域地-气之间能量、物质交换、水分与碳循环的关键指标。陆面温度作为一个重要的水文、气象参数,影响着地气之间的显热和潜热交换,在气象、水文、植被生态、环境监测等方面有着重要的应用价值(Qin et al., 2001)。

2. 植被净初级生产力和生物量

陆地生态系统碳循环是全球碳循环研究中最重要的重要组成部分,同时也是全球变化科学的核心科学问题,在全球碳收支研究中占有重要地位。陆地生态系统净初级生产力(net primary productivity, NPP)是衡量绿色植物通过光合作用固定太阳能和生产有机物的效率指标,是计算生态系统中绿色植物物质循环的基础数据。在全球变化和物质与能量循环的研究中都要涉及这一基础参数。NPP 的模拟,是研究区域甚至全球尺度初级生产力、估算碳通量的空间分布信息以及预测生态环境变化的重要手段,是碳循环中最重要的一环之一,直接关系到植被对大气 CO₂ 的固定,并进一步影响碳循环的其他环节。全球变化对植被的影响将直接影响植被净初级生产力的大小,人与生物圈计划(MAB)、国际地圈-生物圈计划(IGBP)、全球变化与陆地生态系统(GCTE)和《京都议定书》均将植被 NPP 研究确定为核心内容之一(Field et al., 1995)。国内外学者基于模型模拟及遥感资料对 NPP 时空特征及其对气候变化的响应已进行大量研究。

生物量既是表征植物群落数量特征的重要参数,又是反映植物群落初级生产力重要指标,也是生态系统获取能量能力的主要体现,对生态系统结构的形成以及生态系统的功能具有十分重要的影响(宇万太和于永强,2001)。同时,通过生物量的研究,可以为进一步研究碳储量做好铺垫,甚至可以直接通过生物量近似估计碳储量的大小,尤其是大尺度的碳储量的估计基本上是采用生物量数据去估算(Ares, 2002)。

3. 植被指数与覆盖度及叶面积指数

植被指数是遥感领域中用来表征地表植被覆盖、生长状况的一个简单有效的度量参数(郭锐,2003)。随着遥感技术的发展,植被指数在环境、生态、农业等领域有了广泛的应用。在环境领域,通过植被指数来反演土地利用和土地覆盖的变化,逐渐成为实现对全球环境变化研究的重要手段(高志强和刘纪远,2000);在生态领域,随着斑块水平的生态系统研究成果拓展到区域乃至全球的空间尺度上,植被指数成了空间尺度拓展的连接点(赵士洞和罗天祥,1998);在农业领域,植被指数广泛应用在农作物分布及长势监测、产量估算、农田灾害监测及预警、区域环境评价,以及各种生物参数的提取等方面。

植被覆盖度(fractional vegetation cover, FVC)被公认为评价土地荒漠化的最为有效的指标(张云霞等,2003;孙红雨等,1998)。植被覆盖度是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区面积的百分比(Purevdorj et al., 1998)。研究植被覆盖度的意义主要在于:①植被覆盖度是水土流失的控制因子之一(Wang et al., 2002),植被覆盖度的高低很大程度上决定着水土流失的强度;②植被覆盖度在评估土地退化(Dymond et al., 1992; Matricardi et al., 2010)、盐渍化(潘晓玲,2001)和荒漠化(Yue, 2012)的有效指数等研究中具有重大意义;③植被覆盖度与植被蒸散有着密切的联系,而植被蒸散是能量平衡与水分平衡的重要组成部分,是土壤-植被-大气系统水热通量传输中的一个过程,蒸散监测需要根据不同的植被覆盖度采用不同的方法;④研究植被覆盖度还具有重要的生态学意义,许多全球及区域气候数值模型中都需要植被覆盖度的信息,是生态环境监测和指示生态系统变化的重要指标(Gutman and Ignatov, 1998)。

叶面积指数是生态系统的—一个重要结构参数,用来反映植物叶面数量、冠层结构变