

国家自然科学基金重大项目(No.49790020)

内蒙古半干旱草原 土壤-植被-大气 相互作用 IMGRASS

吕达仁 陈佐忠等 主编

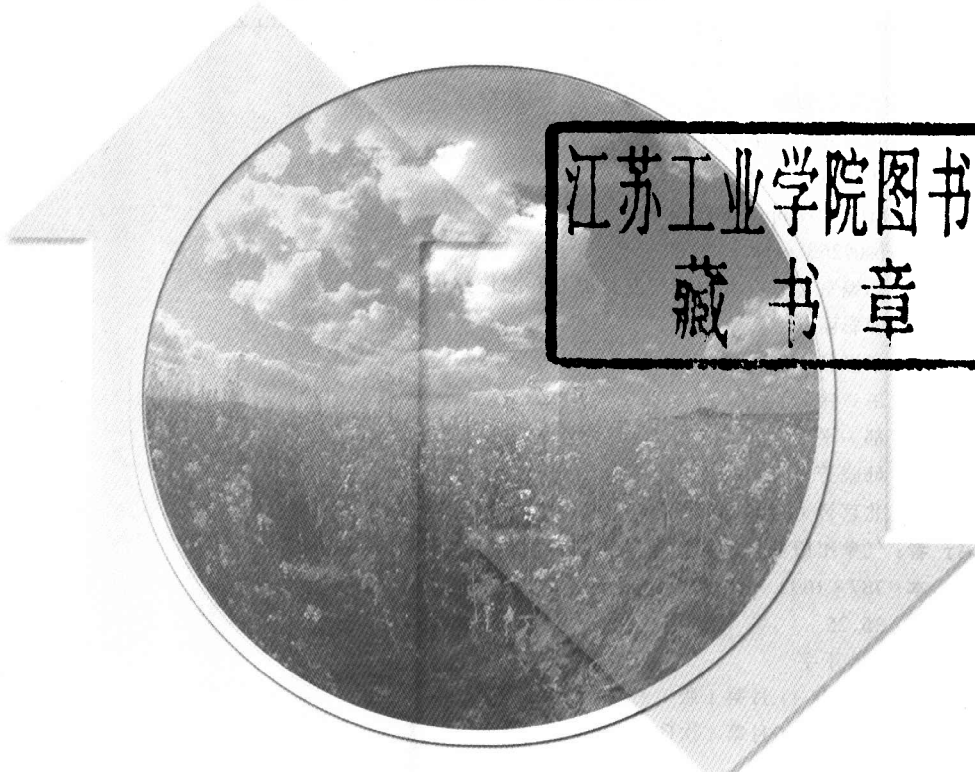
气象出版社

国家自然科学基金重大项目(No.49790020)

IMGRASS

内蒙古半干旱草原 土壤-植被-大气 相互作用

吕达仁 陈佐忠 陈家宜 主编
季劲钧 王庚辰 陈洪滨



江苏工业学院图书馆
藏书章

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用/吕达仁等主编.
—北京:气象出版社,2005.11
ISBN 7-5029-4071-5
I.内… II.吕… III.内蒙古草原-半旱区-生态系统-研究-文集
IV.P942.267.1-53
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 136434 号

内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用

Inner Mongolia Banganhan Caoyuan Turang Zhibei Daqi Xianghu Zuoyong

出 版 者:气象出版社
地 址:北京海淀区中关村南大街 46 号
邮 编:100081
网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>
E-mail: qxcbs@263.net
电 话:总编室 010-68407112 发行部 010-6217952
责任编辑:郭彩丽
终 审:章澄昌 朱文琴
封面设计:王 伟
责任技编:都 平
责任校对:韩晓芳
印 刷 者:北京智力达印刷有限公司
发 行 者:气象出版社
开 本:787×1092 1/16
印 张:36.25
字 数:928 千字
版 次:2005 年 11 月第 1 版
印 次:2005 年 11 月第 1 次印刷
印 数:1—1000
定 价:100.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前言

全球变化研究是 20 世纪 80 年代中期以来国际地球和生命科学界共同关注的前沿研究领域,已经形成了以四大计划——世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈-生物圈计划(IGBP)、全球环境变化的人类因素计划(IHDP)、生物多样性计划(DIVERSITAS)——为总体框架的全球变化研究计划,并在执行中对总体目标与各项具体核心研究计划的构成进行协调。从全球变化研究开展以来,其显著的特点是,科学界更为强调气候、环境、生态和人类活动之间高度复杂的相互作用和对人类活动引起的全球变化过程的干预作用。这些相互作用以及人类活动干预体现在地球系统的各个圈层之间的各种过程。其中的陆面过程(即水文过程和土壤-植被-大气相互作用)及其对全球和区域的气候、环境和生态系统的响应和反馈是最基本的前沿问题之一。在全球变化研究的各核心计划中,WCRP 的全球能量与水循环实验(WCRP/GEWEX)、IGBP 的水文循环的生物圈方面(IGBP/BAHC),以及 IHDP 的土地利用与土地覆盖变化(IHDP/LUCC)三个核心计划均与此密切相关。十几年来,各国和国际组织已经执行或合作执行了以上述三个核心计划之一为主的大量实验计划。我国科学界对此也有积极的参与和行动。其中黑河外场实验计划(HEIFE)对西北地区黑河流域沙漠、戈壁、绿洲的陆气相互作用进行了系统的研究。陆气相互作用研究的重要特点是,陆地地表的不同的气候-生态类型在相互作用的过程与陆气交换量的强度与季节变化方面有巨大的差别。因此,需要在具有代表性的各类陆地生态系统区域进行外场实验,以认识系统的过程和对交换量模式的参数化。中纬度半干旱草原是全球陆地生态系统的主要类型之一,在我国也是主要的地表类型之一,从东北、内蒙古到西北广大地区均有分布,同时又是我国少数民族和边疆区域经济社会可持续发展的重点关注地区。人口的急剧增长、不合理的农垦和严重的过牧已经造成草原生态系统的退化。在全球变暖的大背景下,这种因人类活动干预而造成的生态恶化更为严重,并引发新的沙尘暴源和更频繁的沙尘环境灾害。这类现象不仅在我国,而且在许多发展中国家所处的中纬度半干旱草原开发中均有发生。因此,对这类地区进行重点研究,是全球变化工作的重要内容之一。

在国家自然科学基金委员会的支持下,针对上述需求,我们开展了“内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用(IMGRASS)”重大项目研究,选择内蒙古锡林郭勒草原作为开展中纬度半干旱草原气候-生态相互作用的研究实验基地。该区域已有中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站的科学工作者对草原生态系统进行了较长期的外场观测,有良好的研究及其支持条件,因此,这一项目才得以顺利开展。IMGRASS 计划于 1997 年开始执行。原定计划 4 年。2000 年由于华北沙尘暴天气突发增强,2001 年该计划延长 1 年,重点开展与沙尘暴有关的专题研究。

IMGRASS 以中纬度温带半干旱草原的气候-生态相互作用为研究主题,涉及气候生态相互作用的几个主要方面。这里至少包括两个层面:其一为典型草原土壤、植被系统与大气之间的交换的定量关系、控制因子和过程分析;其二为自然过程与人类活动共同作用下的草

原生态系统变化及其对全球变化的响应和反馈。就锡林郭勒草原(包括浑善达克沙地)区域而言,研究内容至少包含以下几方面:(1)草地和沙地的形成与季风气候的关系;(2)在人类活动与气候变化影响下的草地生态系统与生产力变化;(3)草原的中小尺度水循环;(4)草原的碳循环与草地温室气体源(汇)作用及其对全球变化的贡献。上述几方面的问题都是全球变化与区域响应中的重要问题。为了实现上述科学目标,必须进行综合研究,包括采取区域性的综合观测实验、在代表性地点进行气候与生态的长期监测,以及开展过程分析与数值模拟等。

自 IMGRASS 计划执行以来,项目研究者已经在国内外学术刊物和国际会议上发表了许多篇论文与报告。根据不完全统计,已发表论文和报告 120 多篇,并有 20 多位青年学者以 IMGRASS 研究主题为主要研究内容完成了他们的博士或硕士论文,另有不少论文尚在撰写之中。随着观测数据的发布与进一步分析,相信还会有更多的论文发表。为了较集中地表达 IMGRASS 的研究结果,与国内外相关领域的学者进行交流,作为项目负责人,我们从已经发表的论文中选择了 57 篇,编撰成本文集,以表达 IMGRASS 作为学科交叉研究计划的几个不同方面的研究结果。论文集分成六个部分,分别是:一、IMGRASS 综论;二、半干旱草原与浑善达克沙地理化特征测量与分析;三、半干旱草原土壤-植被-大气系统相互作用模式研究;四、半干旱草原温室气体收支的外场观测与机制研究;五、半干旱草原生态与气候及人类活动影响;六、半干旱草原土壤-植被-大气系统遥感研究。有关 IMGRASS 项目已经出版的其他论文的目录,列为本书的附录。

IMGRASS 是国内多个研究单位共同承担的地球科学与生命科学交叉研究项目。参加单位包括中国科学院大气物理研究所、植物研究所、地理科学与资源研究所、寒区旱区环境与工程研究所、北京大学、内蒙古大学、内蒙古农业大学、中国气象局培训中心。中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站提供了外场观测的许多后勤支持。内蒙古自治区锡林郭勒盟政府对此项工作给予了大力支持。先后有近百位科技工作者参与外场实验与分析研究。

IMGRASS 计划在立项和执行过程中先后得到了多位国内外专家的指导、帮助和关注。在立项过程中得到了叶笃正院士、K. N. Liou 教授[美国加州大学洛杉矶分校(UCLA)], E. A. Smith 教授[美国佛罗里达州立大学(FSU)], J. Businger 博士[美国国家大气科学研究中心(NCAR)], M-D Chou 博士[美国航空航天局戈达德航天中心(NASA/GSFC)], 以及 IGBP/BAHC 主席 P. Kabat 博士的支持和提供的许多宝贵意见。在项目执行的几年中得到以孙鸿烈和丑纪范两位院士为首的专家组的指导,国家自然科学基金会地球科学部林海研究员和陆则慰研究员从学术和管理两个方面对该项目都给予了热心的关注。作为项目负责人,在此一并表示衷心的感谢。

在本文集编撰过程中,中国科学院大气物理研究所的刘锦丽研究员认真细致地承担了一系列繁杂的事务与技术性工作。气象出版社的郭彩丽副编审为本文集的顺利出版付出了巨大的努力。在此谨向她们致以诚挚的谢意。

希望本文集的出版有助于半干旱草原生态系统相互作用与人类活动影响研究的交流,并对半干旱草原可持续发展提供一定的科学基础。IMGRASS 相关研究还将继续,我们希望未来有新的研究成果面世,为全球变化研究做出更多的贡献。

本书主编
2005年12月

目 录

前 言

一、IMGRASS 综论

内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用(IMGRASS)综合研究

..... 吕达仁 陈佐忠 陈家宜等(3)

内蒙古半干旱草原气候-生态相互作用问题——IMGRASS 计划初步结果

..... 吕达仁 陈佐忠 王庚辰等(19)

Inner Mongolia Semiarid Grassland Soil-Vegetation-Atmosphere

Interaction (IMGRASS)..... Daren LÜ (36)

二、半干旱草原与浑善达克沙地理化特征测量与分析

草原群落蒸发蒸腾的研究..... 宋炳煜(43)

草地反射太阳光偏振特性测量个例分析..... 韩志刚 吕达仁 刘春田等(59)

内蒙古浑善达克沙地土壤水分状况的分析..... 陈有君 关世英 李绍良等(66)

Physical Characteristics of Dust Aerosol over Hunshan Dake Sandland

in Northern China Tiantao CHENG, Daren LÜ, Hongbin CHEN, et al. (73)

Chemical Characteristics of Asian Dust Aerosol from Hunshan Dake Sandland in

Northern China Tiantao CHENG, Daren LÜ, Gengchen WANG, et al. (83)

Mesoscale Characteristics of Dust Storms and Mineral Dust Aerosol's

Spectral Optical Depth over Northern China

..... Daren LÜ, Wenxing ZHANG, Hongzhou LI (96)

北京地区大气气溶胶光学厚度的观测和分析

..... 章文星 吕达仁 王普才(108)

浑善达克沙地气候因子对沙尘暴频率的影响

..... 成天涛 吕达仁 王革丽等(116)

浑善达克沙地沙尘暴气候特征分析..... 王革丽 吕达仁 尤 莉(124)

A Miniature Robotic Plane Meteorological Sounding System

..... MA Shuqing, CHEN Hongbin, WANG Gai, et al. (131)

三、半干旱草原土壤-植被-大气系统相互作用模式研究

内蒙古草原陆面通量和边界层结构数值模拟..... 殷达中 陈家宜(145)

一个陆面过程参数化模式与 MM5 的耦合 殷达中 陈家宜(156)

一维大气边界层二阶闭合的有限元数值模式

- I. 对流边界层模拟 郭振海 陈 重 张宏升等(166)
- 水平非均匀对流边界层热量平衡和平流输送作用的大涡模拟
..... 蔡旭晖 陈家宜(179)
- 涡旋相关法测定湍流通量的低估 陈家宜 范绍华 赵传峰等(187)
- 陆面面积平均通量的参数化问题 牛国跃 洪钟祥 孙菽芬等(199)
- 半干旱地区地表水平衡的特征和模拟 季劲钧 刘 青 李银鹏(211)
- 不均匀地表产生的中尺度通量的数值试验 张治坤 桑建国(221)
- Numerical Simulation on the Response of Land Surface to Severe Weather
..... NIU Guoyue, C. CARSSARDO, HONG Zhongxiang, et al. (230)
- 沙尘重粒子在对流边界层中的扩散模拟 蔡旭晖 陈家宜(245)
- Framework of a Regional Impacts Assessment Model and Its Application
on Arid/Semiarid Region Yinpeng LI, Jinjun JI(257)
- 气候变化对中国中纬度半干旱草原生产力影响机理的模拟研究
..... 季劲钧 黄 玫 刘 青(266)

四、半干旱草原温室气体收支的外场观测与机制研究

中国温带典型草原土壤呼吸特征的实验研究

- 王庚辰 杜 睿 孔琴心等(281)
- 内蒙古草原 N_2O 和 CH_4 排放通量及其季节变化特征研究
..... 王庚辰 杜 睿 王艳芬等(289)
- 内蒙古典型草原土壤 N_2O 产生的机理探讨
..... 杜 睿 王庚辰 吕达仁(296)
- 放牧对草原土壤 N_2O 产生及微生物的影响
..... 杜 睿 王庚辰 吕达仁(303)
- 温度对内蒙古典型草原土壤 N_2O 排放的影响
..... 杜 睿 吕达仁 王庚辰等(309)
- 内蒙古草甸草原 CH_4 和 N_2O 排放通量的时间变异
..... 王艳芬 马秀枝 纪宝明等(317)
- 静态箱法原位观测草原 CO_2 通量的探讨 杜 睿 王庚辰 吕达仁等(325)
- 土壤水分对温带典型草地 N_2O 排放过程的影响
..... 杜 睿 周宇光 王庚辰等(335)
- 内蒙古草原生长季节大气中 CO_2 浓度及其变化特征研究
..... 王庚辰 孔琴心 杜 睿等(346)
- 天然温带草地 CO_2 通量排放规律研究 杜 睿 吕达仁 王庚辰(353)
- 天然温带典型草原 N_2O 和 CH_4 通量的时间变化特征
..... 杜 睿 吕达仁 王庚辰(363)

五、半干旱草原生态与气候及人类活动影响

内蒙古典型草原放牧生态系统硫循环模式的初步研究

..... 汪诗平 王艳芬 姚依群(377)

人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响

..... 王艳芬 陈佐忠 Larry T. TIESZEN(383)

内蒙古锡林河流域羊草草原生态系统碳素循环研究

..... 李凌浩 刘先华 陈佐忠(391)

不同放牧率对草原植物与土壤碳、氮、磷含量的影响

..... 李香真 陈佐忠(399)

内蒙古锡林河流域植被多样性特点及其与气候因子的关系

..... 刘先华 李凌浩 陈佐忠(408)

锡林河流域羊草草原植物种群和功能群的长期变异性及其

对群落稳定性的影响..... 白永飞 陈佐忠(415)

内蒙古草原植被在持续牧压下退化演替的模式与诊断

..... 刘钟龄 王 炜 梁存柱等(426)

内蒙古退化草原植被对禁牧的动态响应

..... 王 炜 刘钟龄 郝敦元等(433)

冰草叶片光合速率与生态因子的关系..... 杜占池 杨宗贵(438)

羊草种群的水分利用动态..... 牛海山 旭 日 宋炳煜(446)

半干旱草原主要植物光能和水利用特征的研究

..... 崔骁勇 陈佐忠 杜占池(453)

不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响

..... 汪诗军 李永宏 王艳芬等(462)

六、半干旱草原土壤-植被-大气系统遥感研究

Retrieval of Atmospheric Aerosol over Mid-Latitude Grassland with

POLDER Data Zhigang HAN, Daren LÜ(475)

To Retrieve Regional Distribution for CO₂ Assimilation of Grassland in

Inner Mongolia of China Using Two Time-Phase NOAA-AVHRR

and Surface Data Renhua ZHANG, Xiaomin SUN, Hongbo SU, et al.(483)

Monitoring Vegetation Cover Change in East Hunshan Lake Savanna

with Landsat TM Qing HE, Daren LÜ(489)

GMS 5 资料反演地表温度的一个修正算法 王旻燕 吕达仁(499)

Land Surface Temperature Database in Clear Days Retrieved by Using

GMS 5 Satellite Observation: Preliminary Investigation

..... Minyan WANG, Daren LÜ(513)

利用云下阴影实现陆地上空气溶胶和地表反射率的同时反演

——理论方法和模拟..... 段民征 吕达仁 崔克俭等(525)

Atmospheric Correction for High Resolution Multi-Wavelength Spectrometry Based on
Radiative-Transfer Model Computation Daren LÜ, Minzheng DUAN(535)

Strategy of Simultaneous Remote Sensing of Aerosol Optical Depth and
Surface Reflectance with Space-Borne Spectrometry
..... Daren LÜ, Minzheng DUAN(546)

地基全天空成像辐射仪遥感的科学、技术问题与初步试验
..... 吕达仁 陈 英 霍 娟等(560)

附录：IMGRASS 重大项目其他已发表论文目录 (568)



一、IMGRASS综论

内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气 相互作用(IMGRASS)综合研究^{①②}

吕达仁¹ 陈佐忠² 陈家宜³ 王庚辰¹ 季劲钧¹
陈洪滨¹ 刘钟龄⁴ 张仁华⁵ 乔劲松¹ 陈有君⁴

1. 中国科学院大气物理研究所(LAGEO),北京 100029
2. 中国科学院植物研究所,北京 100093
3. 北京大学物理学院大气科学系,北京 100871
4. 内蒙古大学资源研究所,内蒙古呼和浩特 010021
5. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100029

摘 要—为深化对中纬半干旱草原气候-生态相互作用的过程、机制及其对全球变化的响应与贡献的认识,一项名为“内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用(IMGRASS)”的基金重大项目于1997—2001年在内蒙古锡林郭勒草原执行。IMGRASS计划在1998年草原生长季节,在所选定的以典型草原为主,包括草甸草原、稀疏沙地草原等在内的中尺度实验区开展了多点、多要素的综合观测。观测内容包括土壤、植被、大气的相关要素和发生于地气界面的潜热、感热通量,还包括 N_2O 、 CH_4 、 CO_2 等微量气体交换量,辐射和降水分布。除1998年中尺度观测试验外,在1999—2001年在代表性地点进行了微量气体收支、遥感和沙尘天气相关的专项观测,结合草原站已进行的长期监测资料,分析气候-生态长期相互作用,特别是人类活动干预的影响。在分析观测结果的基础上,对该地区的气候-生态相互作用进行了数值模拟研究。本文是IMGRASS计划介绍的第一部分,对该项研究计划作一全面简要介绍,包括科学目标、计划实施实验区背景、中尺度综合观测,并对实验所得大气边界层结构、辐射通量、沙地土壤水分状况、地表反射率谱、遥感测量等提供了个例分析,并简单介绍IMGRASS数据库。与全球变化有关的几个方面的初步研究结果将在本期刊中另文进行介绍。

关键词—陆气相互作用; IMGRASS; 半干旱草原; 温室气体; 中尺度模拟; BAHC;
气候-生态相互作用

0 引 言

全球变化研究是20世纪80年代中期以来国际地球和生命科学界共同关注的研究前沿和科学攻坚方向之一。在全球已经形成了以三大计划(WCRP, IGBP, IHDP)为总体框架的全球变化研究计划,并在执行中对总体目标与各项具体核心研究计划的构成进行协调。从全球变化研究开展以来,可以看出的突出的一点是,科学界更为强调气候、环境、生态和人类活动之间高度复杂的相互作用和对人类活动引起的全球变化过程的干预作用。这些相互作用及其人类活动干预体现于地球系统的各圈层之间的各种过程。其中的陆面过程,即水文

① 原载《地学前缘》第9卷(2002)第2期295~306页。

② 国家自然科学基金重大项目(49790020)和中国科学院重大项目(BKZ951)共同资助。

过程和土壤-植被-大气相互作用及其对全球和区域的气候、环境和生态系统各自的响应和反馈是最基本的前沿问题之一。在全球变化研究的各核心计划中,WCRP/GEWEX、IGBP/BAHC 以及 IHDP/LUCC 三个核心计划均与此密切相关。各国和国际合作在十几年来已经执行了以上三个核心计划之一为主的大量实验计划。我国科学界对此也已有积极的投入^[1],其中 HEIFE 计划对西北地区黑河流域沙漠、戈壁、绿洲的陆气相互作用进行了系统的研究^[1]。陆气相互作用研究的重要特点是陆地地表的不同的气候-生态类型在相互作用的过程与陆气交换量的强度与季节变化方面有巨大的差别。因此,需要在具有代表性的各类陆地生态系统区域进行外场实验,以取得对过程的认识和对交换量的模式参数化。中纬半干旱草原是全球陆地生态系统的主要类型之一,在我国也是主要的地表类型之一。从东北、内蒙古到西北广大地区均有分布,同时又是我国少数民族和边疆区域经济社会可持续发展的重点关注地区。由于人口的急剧增长,不合理的农垦和严重的过牧已经造成草原生态系统的退化。在全球变暖的大背景下,这种人类活动干预所造成的生态恶化更为严重,并引发新的沙尘暴源和更频繁的沙尘环境灾害。这类现象不仅在我国,而且在许多发展中国家所处的中纬半干旱草原开发中均有类似情况。因此,对这类地区进行重点研究,是全球变化中的重要问题之一。

在国家自然科学基金委员会支持下,针对上述需求,开展了“内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用(IMGRASS)重大项目研究^[2]”,选择内蒙古锡林郭勒草原作为开展中纬度半干旱草原气候-生态相互作用的研究实验基地。由于该区域已有中国科学院草原生态定位站科学工作者有关草原生态较长期的野外观测,建立了良好的研究和科研支持的条件,使这一项目得以顺利开展。

半干旱草原气候-生态相互作用包括多种物理-化学-生物过程和多个时空尺度,就锡林郭勒草原(包括浑善达克沙地)区域而言,至少包含着以下几个方面:(1)草地/沙地的形成与季风气候的关系;(2)在人类活动与气候变化影响下的草地生态系统与生产力变化;(3)草原的中小尺度水循环;(4)草原的碳、氢循环与草地温室气体源(汇)作用及其对全球变化的贡献。上述几方面的问题都是全球变化与区域响应中的重要问题。为了对上述科学目标进行研究,必须采取区域性的综合观测实验、代表性地点进行气候和生态的长期监测、过程分析与数值模拟相结合的综合研究方法。IMGRASS 计划于 1997 年开始执行。原定计划 4 年。2000 年由于华北沙尘暴天气突发增强,2001 年该计划延长 1 年,开展沙尘暴有关专题研究。

本文将综合介绍 IMGRASS 计划的科学背景、综合观测、数据库建立,以及在研究中的的一些新构思和新方法。介绍应用数值模拟与观测资料相结合对中纬度半干旱草原气候-生态相互作用的若干重大问题所作的一些初步研究结果,这些问题与全球变化及可持续发展研究密切相关。本文是第一部分,重点介绍科学目标与实验区背景、研究与观测设计、综合观测和初步示例,以及数据库的建立。第二部分是关于 IMGRASS 计划与全球变化相关的初步研究结果,将另文发表^[3]。

1 IMGRASS 研究计划的结构与背景

1.1 科学目标与实验设计

IMGRASS 以中纬度温带半干旱草原的气候-生态相互作用为研究主题,涉及气候-生态相

互作用的几个主要方面。这里至少包括两个层面,即(1)典型草原土壤、植被系统与大气之间的交换的定量关系、控制因子和过程分析;(2)自然过程与人类活动共同作用下的草原生态系统变化及其对全球变化的响应和反馈。前者要求我们开展中小尺度的土壤、植被、大气要素的综合观测,使其能覆盖典型草原一定的空间尺度和地表类型,在时段上能覆盖一个生长季节,在观测要素上尽可能完整地获得土壤、植被、大气及其交换量的信息。而后者则要求有对该地区典型地点气候、生态的长期监测,并有区域气候、生态与人类活动相结合的调查。在上述观测数据的支持下,开展有关陆气相互作用和中尺度大气过程数值模式模拟研究,深化这方面的定性和定量认识。基于上述要求,我们选择了已有较长期定位观测的中国科学院草原生态定位站及其所在的锡林郭勒典型草原区域作为实验区。该区域具有典型的中纬度半干旱草原,并具备典型草原的生物多样性、地表类型(草原、沙地)与地形的中等程度的复杂性(图 1 和 2)。

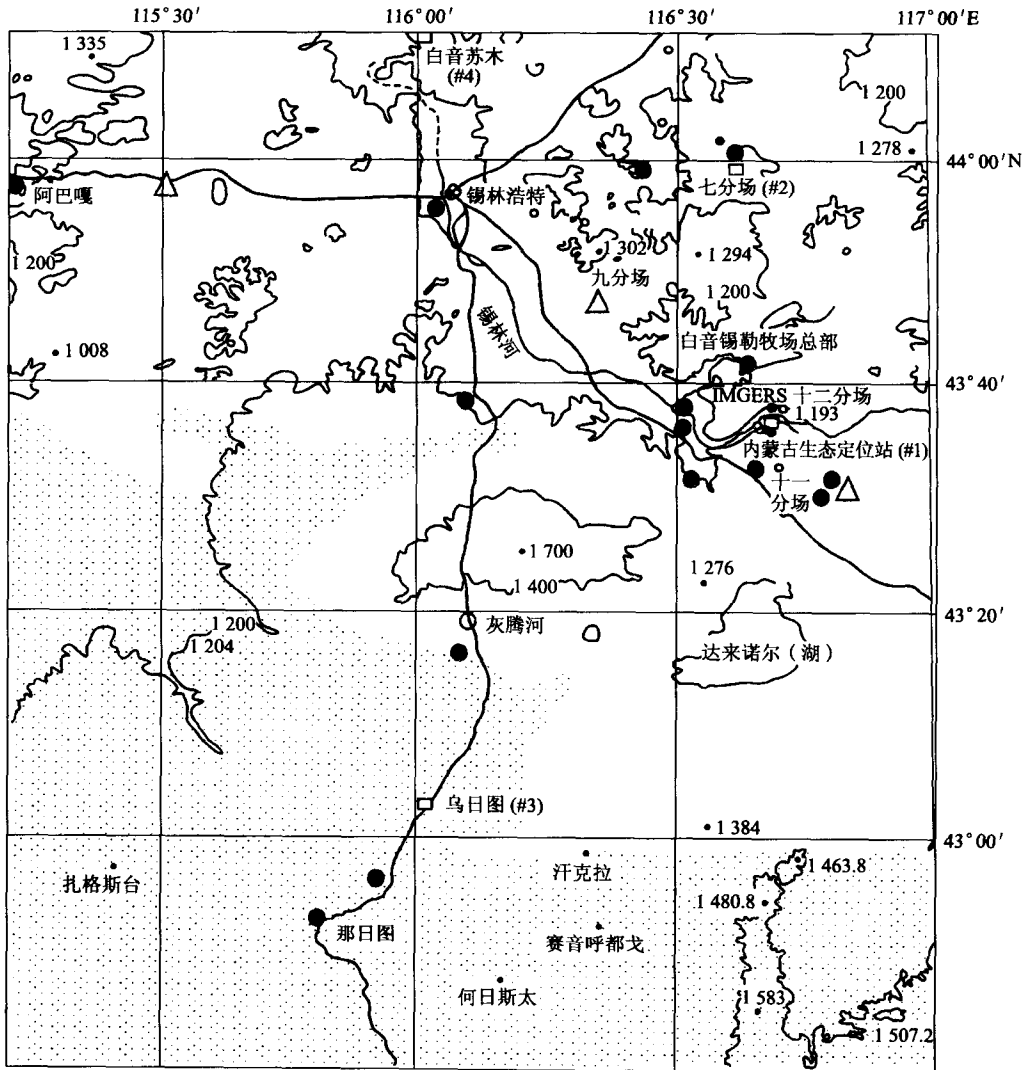


图 1 IMGRASS 中尺度实验布局图

(□—核心站;△—自动气象站;○—测雨雷达;●—雨量自记点;图中数字表示该处地形高程,单位为 m)

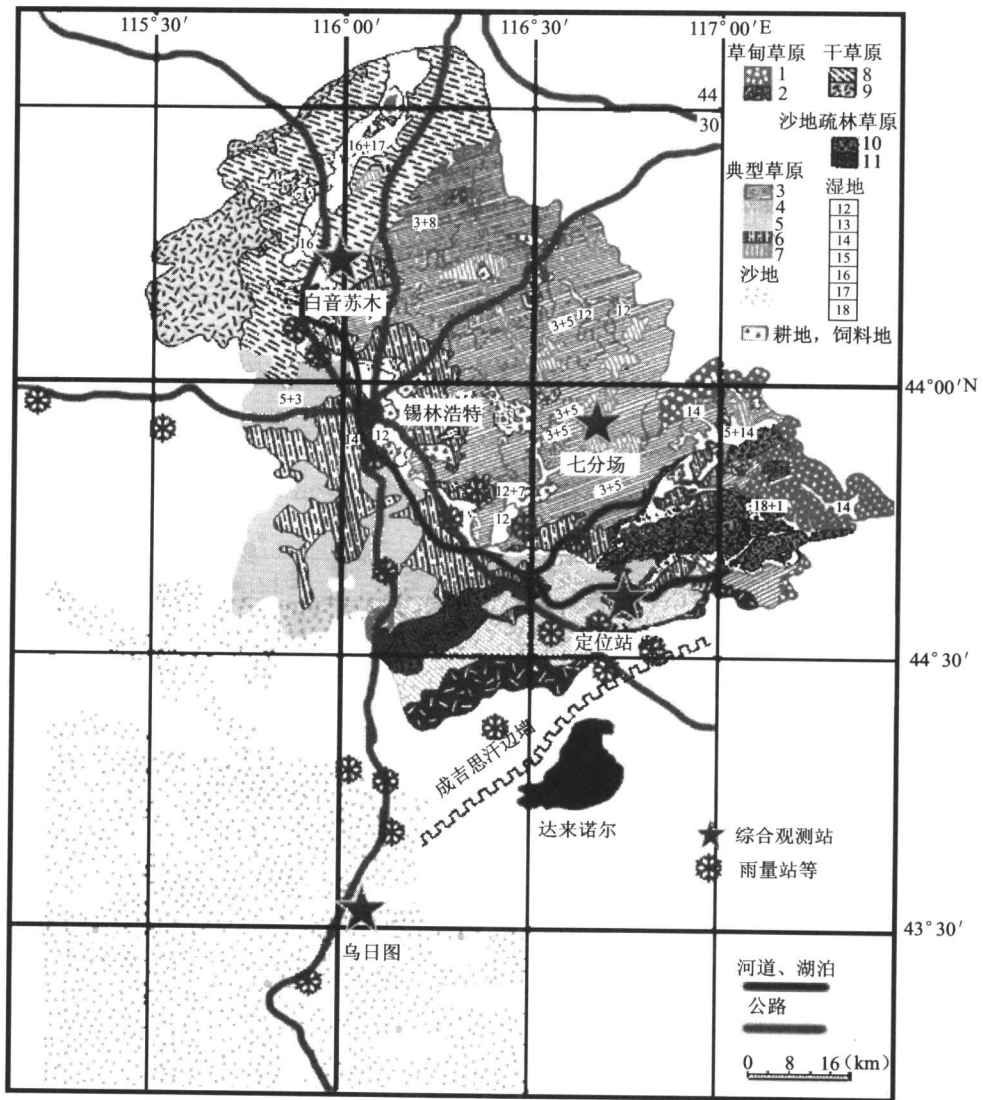


图2 实验区锡林河流域的植被分布图^[6]

根据 IMGRASS 的总体目标,列出以下研究内容与重点:(1)内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用中尺度综合外场实验。根据科学目标与各课题提出的观测要求,实施综合观测,获得一个生长季节土壤、植被、大气特征及其界面通量的综合观测资料,形成实验数据库。(2)中纬度半干旱草原边界层特征与 SVAT 模式研究。半干旱草原边界层特征,SVAT 模式发展验证与应用模式研究。(3)半干旱草原非均匀陆面的中尺度模式。中尺度非均匀地表陆气相互作用的参数化方案,非均匀陆面中尺度环流的水循环作用研究。(4)内蒙古半干旱草原不同生态类型和生理特征对气候变化和人类活动作用的响应。羊草草原、大针茅草原等生态、生物量对气候和人类活动的响应,过牧与农垦的生态效应。(5)中纬度半干旱草原在温室气体收支中的作用与过程研究。定量估计半干旱草原的 CO_2 , CH_4 , N_2O 等温

室气体的源(汇)作用,相关过程研究及其与土壤-植被-大气系统的关系。(6)卫星遥感反演地表、大气及其相互作用参数的原理方法和应用研究。利用 NOAA、GMS 等卫星资料反演草原地表、植被、大气有关参数及通量。

1.2 实验区的背景情况

IMGRASS 地面综合观测选择的实验区处于锡林河流域及其周围地区。有关该区域的详细情况可参考文献[4~6]。在 IMGRASS 计划的介绍论文^[2]中我们也已作了介绍,在本文中再给予概括如下:(1)地理状况:中心实验区所在的锡林河流域地处内蒙古高原东部,东接大兴安岭西麓低山丘陵地区,南接昭盟玄武岩高原,地理坐标($43^{\circ}26' \sim 44^{\circ}39'N$, $115^{\circ}32' \sim 117^{\circ}12'E$),面积 10 000 多平方千米。区域东南高西北低,海拔从 1 500 m 降至 900 m。地形多为山地丘陵,坡度较缓,相对高差低山不大于 300 m,丘陵 30~150 m。实验区中还有盐碱地和风沙带。这是具有中等复杂性的地形地貌。区域内有总长为 175 km 的内陆河——锡林河,发源于东南山麓,流向西北并消失,年平均流量为 $23.5 \times 10^6 \text{ m}^3$,流域面积不足 4 000 km^2 。实验区东南有达里诺尔湖,面积约为 1.68 km^2 ,是区内唯一较大的湖泊。实验区土壤总体具有地带性,从东南向西北黑钙土、暗栗钙土、淡栗钙土逐渐过渡。这一过渡与本区气候分布相一致,即从东南湿润、相对低温向西北干旱、相对高温过渡。本区土壤的一个重要特点是存在较浅钙积层,在一般降水年份钙积层的存在使土壤浅层水与深层水相隔离,从而在考虑该区域的水平衡时,一般可以不考虑深层水的作用。但这一结论可能并不适用于特大丰水年的情况,这时钙积层可能被融化,从而可能形成浅层水向深层的输送。我们在 1998 年的观测中在观测点上就发现了这一情况(见下文)。(2)气候状况:该区属温带大陆性季风气候,四季分明,冬季严寒漫长,年平均气温仅 1°C ,气温年较差与日较差均较大,有长日照。降水集中于 6—8 月,占年降水 60%~75%,降水的年际变化极大,比值达 3.8,年降水量从东南的 350 mm 降至西北不足 250 mm,气温则从西北向东南递增,春季大风日多,平均沙尘暴日为 8.4 d,但与降水一样,沙尘日数和强度有很强的年际甚至年代际变化^[2]。(3)植被分布:实验区的主体处于典型草原带内,东边有草甸草原,西北部则临荒漠草原带,区内有锡林河流经,南部有浑善达克沙地疏林草原。植被类型具有多样性和复杂性。区内天然植被占总土地面积的 96.4%,其中草地植被约占 90%,表 1 列出该区 3 个主要植被亚型

表 1 锡林河流域三个植被亚型的生境特征^[6]

植被亚型	草甸草原 (禾草、中生杂类草草原)	典型草原 (多杂类草的禾草草原)	干草原 (贫杂类草的禾草草原)
海拔(m)	1 300~1 500	1 100~1 300	900~1 100
地形	丘陵与高台地	低丘、台地、塔拉	平原及山前洪积扇
土壤	黑钙土	暗栗钙土	淡栗钙土
钙积层中 CaCO_3 含量(%)	痕迹至 5.4	13.03	21.2
年降水量(mm)	~450	350~450	250~350
年平均气温($^{\circ}\text{C}$)	-1.4	-0.3~1	1~2
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温($^{\circ}\text{C}$)	1 600~1 800	1 800~2 000	2 000~2 300
代表植物群系	线叶菊、贝加尔针茅、羊茅、 羊草、杂类草	大针茅、羊草、丛生禾草	克氏针茅、冷蒿
农业生产	旱作,基本稳产	可进行旱作,不稳产	旱作,极不稳产,歉年颗粒不收

的生境特征。可以看出,植被类型与气候、土壤、河流分布密切相关,该区植被的生产力由于水热同季,相对较高。生产力与降水量有密切关系。另一个重要特征是地下生产力较地上生产力大很多^[6]。这对了解该区的碳循环有重要价值。(4)人类活动影响:该区域在 1950 年以前基本无人类活动,1950 年居民为 20 人,而目前已有 10 000 人以上。草原的载畜量迅速增加,草地农垦亦有一定规模,已经构成对草原退化和沙化的严重压力。到 20 世纪 90 年代末期,草原和浑善达克沙地的生态退化已经极为严重,并成为华北春季沙尘灾害的新的重要威胁。

1.3 观测区域和主要站网设置

从需要和实际可能相结合,我们选择位于锡林浩特以东和以南的白音锡勒牧场及其周围区域作为中尺度站网的主要设置区域,适当考虑区域覆盖的拓宽,为此在锡林浩特西、北地区和达来诺尔附近设置观测点。在各类观测点中保证有 4 个核心站,即在這些站上可获得较完整的模式发展所需要的资料,这 4 个站又尽可能设在区域的近边界地点和植被有代表性的地点。为了获得卫星资料反演验证所需要的地面观测资料,适当增加了辐射测站。设计中的观测点安排见图 1。

经过 1997 年 7 月最后一次选点考察,最终中尺度实验由 4 个主要的土壤-植被-大气边界层综合测量点、3 个自动气象站、利用锡林浩特常规探空和低空探空点、约 25 个降雨自记点、1 个双波长测雨雷达站、若干项特殊观测组成。在中尺度的实验数据库构成中还会有邻近区域的常规气象资料,包括观测期间该区域的极轨和同步气象卫星的观测资料。观测的时段为 1998 年 5 月初至 8 月底,代表一个完整的生长季节。在此期间,选择 3 个时段进行加强期观测,分别代表生长初期(5 月)、盛期(7 月)和成熟期(8 月)。加强期的观测将提供中尺度和其他模式的较为完整的验证。实际上,IMGRASS 计划中还包括个别站点多要素的长期监测。中尺度综合实验观测点选择如下:(1)土壤-植被-大气边界层综合测量点选择。从区域覆盖、植被类型的要求出发,结合后勤支持的可能条件,我们选择图 1 中 #1~#4 四个站点,分别位于实验区的四个方向,代表自然状况保持完好的羊草草原(#1 七分场)、具有多样性代表性的典型草原(#2 定位站)、沙带稀树草原(#3 乌日图)、干草原(#4,白音苏木,典型草原中的干旱类型)。在这些点上开展了系统的土壤理化要素、土壤水分和温度、植被生理和生产力、地气间的水、热、动量和辐射通量、大气和地表辐射、地表和大气边界层气象等要素的综合观测。(2)探空和低空探空。除锡林浩特常规探空站外,在七分场上开展了低空探空,在乌日图开展微型 GPS 导航飞机的低空探空,以获得加强期对流层中下部的气象场。(3)自动气象站辅助点。由于实验区中等复杂的地形以及明显的高度、植被类型、温度和降水梯度,因此,为了获得尽可能真实的地表气象场,除边界层观测点外,在区域内增加布设 3 个自动气象站,以获得温、湿、压、风、地温、辐射、降雨等地面气象数据。(4)区域雨量自记仪站网。为获得区域内的雨量和雨强分布,将布置以 3 条线为主的雨量自记仪网,即沿张家口至锡林浩特南—北向公路沿线,从阿巴嘎旗至白音锡勒牧场七分场的东—西一线,从实验区东南角嘎松山向西北锡林浩特之间靠近锡林河沿岸一线。由此了解降雨分布与地形、植被中尺度分布的关系。(5)测雨雷达站。在灰腾河站架设 X/C 双波长测雨雷达,以观测实验区 100~150 km 内的降雨分布,以此与雨量自记仪网配合,形成实验区降水强度的较高密度的测量。(6)土壤、植被参数和碳氮循环的测量。在每个综合测量点建立相应的土壤水分垂直分布、植被生理参数、叶面积指数、生物量等配套测量。此外,在各典型植