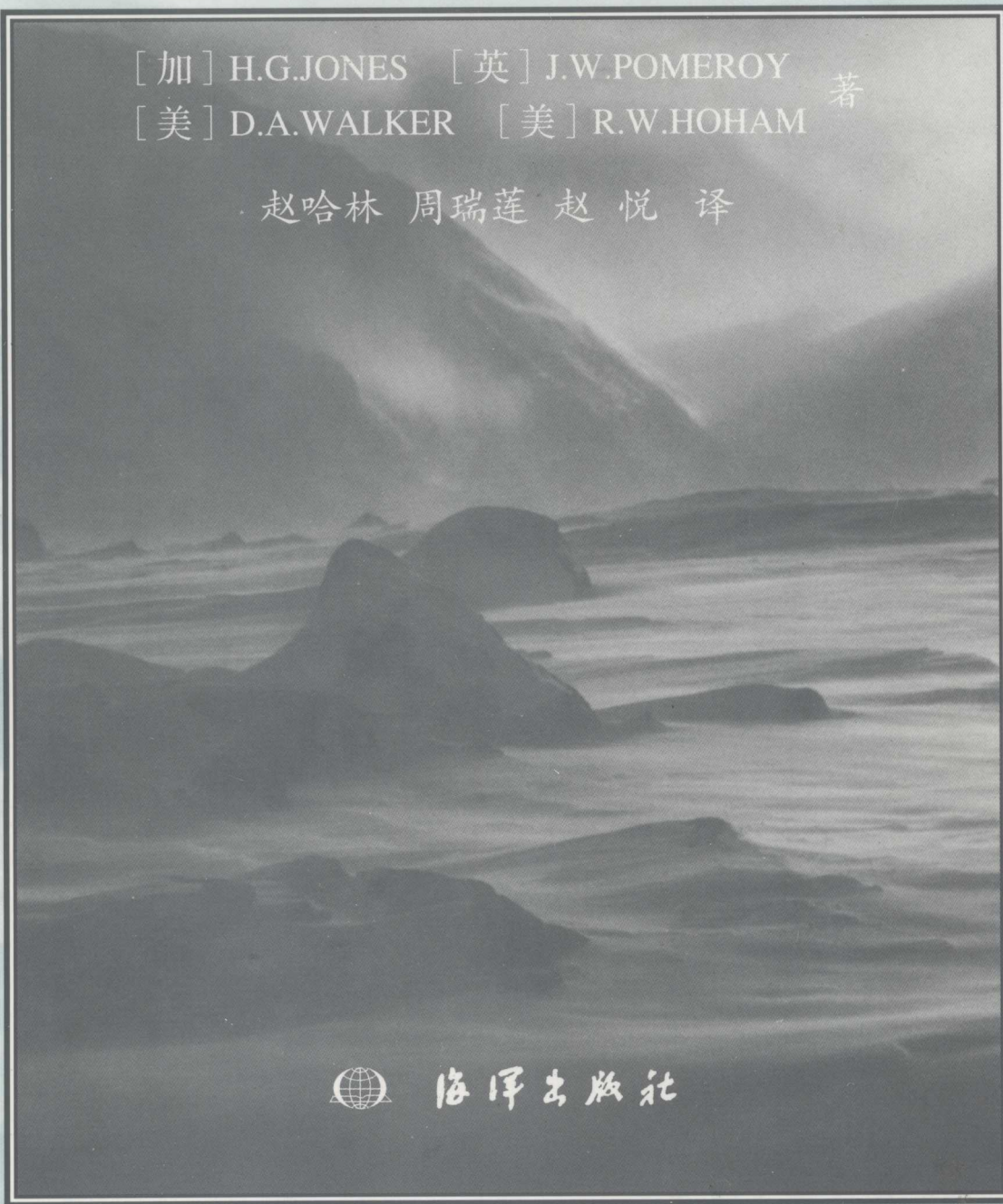


雪生态学

——覆雪生态系统的交叉学科研究

[加] H.G.JONES [英] J.W.POMEROY 著
[美] D.A.WALKER [美] R.W.HOHAM

赵哈林 周瑞莲 赵悦 译



海洋出版社

雪生态学

——覆雪生态系统的交叉学科研究

[加] H. G. JONES [英] J. W. POMEROY 著
[美] D. A. WALKER [美] R. W. HOHAM

赵哈林 周瑞莲 赵悦 译



海洋出版社

2003年·北京

Snow Ecology

An Interdisciplinary Examination of Snow-Covered Ecosystems

Edited by

H. G. Jones

J. W. Pomeroy

D. A. Walker

R. W. Hoham



CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

《雪生态学》是第一部将物理、化学和生物学科的冰雪研究归一到雪生态系统的多学科综述性专著。本书展示了一个新的观点,即把雪盖作为极端环境条件下生物体的一个生境和作为地球表面众多生态因子中的一个关键因子。雪科学领域的著名专家提供了雪结构和生命之间相互关系的认识。作者描述了以雪变化为特征的基本物理和化学过程,描述了雪盖与真正的雪生物体和寒冷地区生物的生活周期之间的反馈机制。本书还提供了雪和气候与过去雪况对植物群落影响的古生态学之间关系的研究。

《雪生态学》可用于生态学、地理学、环境学和地球科学高级课程的主要教科书,它是专用于冰圈研究的一个重要组分。它还可作为毕业生和与环境有关的科学研究机构、政府与非政府组织的研究人员、专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

雪生态学——覆雪生态系统的交叉学科研究/赵哈林等编译. —北京:海洋出版社, 2003. 3

ISBN 7-5027-5851-8

I. 雪… II. 赵… III. 雪-生态系统—研究 IV. P426.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 012301 号

图字: 01-2002-2340 号

责任编辑: 金 炯

责任印制: 王兴新

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

兰州中科印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月兰州第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 17.5

字数: 404 千字 印数: 1~1000

定价: 50.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

PUBLISHED BY THE PRESS SYNDICATE OF THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE
The Pitt Building, Trumpington Street, Cambridge, United Kingdom

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS
The Edinburgh Building, Cambridge CB2 2RU, UK
40 West 20th Street, New York, NY 10011-4211, USA
10 Stamford Road, Oakleigh, VIC 3166, Australia
Ruiz de Alarcón 13, 28014 Madrid, Spain
Dock House, The Waterfront, Cape Town 8001, South Africa
<http://www.cambridge.org>

© Cambridge University Press 2001

This book is in copyright. Subject to statutory exception
and to the provisions of relevant collective licensing agreements,
no reproduction of any part may take place without
the written permission of Cambridge University Press.

First published 2001

Printed in the United States of America

Typeface Ehrhardt 11/15 pt. System L^AT_EX 2_ε [TB]

A catalog record for this book is available from the British Library.

Library of Congress Cataloging in Publication Data

Snow ecology : an interdisciplinary examination of snow-covered ecosystems / edited by
H.G. Jones . . . [et al.].

p. cm.

Based on papers from a conference held in Québec City, Canada in 1993.

Includes bibliographical references.

ISBN 0-521-58483-3

1. Snow ecology – Congresses. I. Jones, H. G. (H. Gerald), 1936–

QH541.5.S57 S66 2000

577.5'86 – dc21

00-023665

ISBN 0 521 58483 3 hardback

译者前言

2001年7月,当我来到美国准备进行为期半年的高访时,恰逢 H. G. Jones 等人编著的《雪生态学》一书刚刚出版。在艾奥瓦州立大学图书馆看到这本书时,我立即产生了将其翻译成中文的念头。我是搞生态研究的,但重点是干旱区生态学,特别是与沙漠化有关的生物过程研究。我过去很少涉足寒区生态学,更谈不上与雪相关的生态研究了。我之所以产生这样的念头,是因为我国的冰雪面积很大,从东北北部的大兴安岭到内蒙古高原、从新疆北部的阿尔泰山到青藏高原,都有广袤的季节性雪盖分布。但至今,我国的雪生态学研究几乎还是空白。我所在的中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,有一支世界一流的冰雪研究队伍,但他们主要研究冰川的形成演化及其与气候变化的关系,在雪生态学研究方面可以说还比较薄弱。这是世界第一本有关雪生态学的研究专著,把它介绍给中国读者,是希望能为我国寒区生物学、生态学、地理学、环境科学和地球科学的研究提供一些有益的参考,促进我国、特别是我所寒区生态学研究的发展。

冰雪环境是一种极端环境。但在冰雪环境中,仍然有大量生命活动存在,甚至在雪盖下面还有较强的动植物活动和土壤呼吸。而且,在极地、冻原和高寒地区的短暂夏季,低温、大风和强烈的紫外线照射并没能阻碍生命体完成其生活史,这些地区的微生物、动植物能在融雪季节迅速的生长、繁衍,并为随之而来的下一个严冬储备能量。在这样恶劣的自然环境中,生命体之所以能够生存和繁衍不息,主要有两个原因:一是冰雪特殊的物理化学特性可以为极端环境中的生命活动提供保护;二是生命体对极端环境有着特殊的生物学和生理生态学的适应机制。因而,研究冰雪的结构功能特征和冰雪生态系统中生命体的存在形式和适应机制,对于揭示极端环境与生命体的相互作用,阐明极端条件下生命的起源、发育、演化过程和适者生存的自然法则具有重要意义。特别是近些年来,随着世界温室气体排放量的持续增长,气温不断升高,全球环境正在发生明显的变化,由此而产生的冰川消退、土地荒漠化、海平面升高、气候异常和自然灾害增加,正在给人类的生存和发展造成严重威胁。由于冰雪覆盖范围、厚度及其物理化学特性对气候变化反应强烈而迅速,所以开展冰雪生态学研究对于揭示全球气候变化对区域生态环境的影响,阐明生命体对环境变化的响应过程和反馈机制,确定环境变化过程中生命体的生存极限和演替的临界指征都具有重要科学意义。由于生命体,特别是植物和微生物,对于风沙、干旱、寒冷、冰雪、强紫外线照射等环境胁迫的适应机制都有着相似之处,因此冰雪生态学的研究成果对于其他极端环境生态学的研究也具有重要促进作用。

《雪生态学》一书由加拿大魁北克大学国家科学研究所 H. G. Jones 教授、英国威尔士大学地理与地球科学研究所冰川研究中心高级讲师 J. W. Pomeroy 先生、美国阿拉斯加大学极地生物研究所和生物与野生生物系 D. A. Walker 教授、美国科尔盖特大学生物系 R. A. Hoham 教授等共同编著,由英国剑桥大学出版社 2001 年出版。全书共分 7 章,第一章论述了雪盖和气候的关系,从全球尺度解释了一些导致远距离年际气候变化的模式和反馈机制;第二章介绍了雪的物理学特性,阐述了生命能够在雪中和雪下生存的物

理环境特性;第三章介绍了雪在大气中形成期间获得化学物质的过程,阐述了雪中养分的转换,特别是融雪期间、融水渗入土壤和排入河流期间的养分转换;第四章介绍了雪盖中微生物种群的情况,讨论了这些微生物的起源、分布、生理学特征;第五章介绍了雪中小型动物在地球上的分布、生理机制和使它们忍受低温、寻找食物的形态适应,以及如何确定冬季活动的主要无脊椎动物区系种群和活动的技术;第六章介绍了极地和高山地区影响植物生理和分布的相关生态因子,确定了不同尺度植物种群和植物群落与雪的相关模式,还讨论了利用遥感监测图像、地理信息系统把生态系统模型与植被制图联系在一起的可能性;最后一章介绍了树木年轮学及其在确定过去雪况中的应用。从其内容看,这不是一部理论性著作,而是一部对目前世界雪生态学研究成果的系统全面的综合评述。从这本专著中,我们可以了解世界雪生态学的历史和现状,当前研究的主要内容、前沿和热点,以及未来的主要研究方向,可以看到国外相关科学家如何把雪盖和雪覆盖地区作为雪的功能生态系统进行完整正确评述和进行学科交叉研究的。

在本书的翻译过程中,得到了我所赵兴梁先生的悉心指导,并帮助校对了译文中的疑难段落和动植物、微生物拉丁名,在此表示由衷的感谢。我们还要感谢《中国沙漠》编辑部的金炯研究员和郝美玲、孙良英同志为本书的出版在编辑、制图、排版、校对等方面所做的大量工作,感谢中科院奈曼沙漠化研究站云建英同志在文字录入方面给予的帮助。本译著的出版得到了国家“973”课题“沙漠化的生物过程及植被恢复重建机理”(编号TG2000048704)和内蒙古自治区十五攻关课题的资助。

由于这是一部涉及遥感、物理、化学、微生物、动物、植物及年轮学等多学科研究内容的专著,一些动植物又是极地冰雪环境所特有的,很难查阅到中英文名称,这给翻译工作带来了很大困难,加之译者水平有限,在翻译过程中不免会有遗漏或不妥之处,望读者予以批评指正。

中国科学院寒区旱区环境工程研究所

赵 哈 林

2002年12月于兰州

原书序言

雪生态学是一门关于雪盖或雪生态系统中生物体与其周围环境相互关系的科学。雪生态系统可以看作是一组相互作用、相互依赖的生物和非生物的亚系统,其中非生物亚系统是雪盖。虽然,长期以来雪一直是科学调查的对象,但是大多数研究仅局限于物理学和生物学的范围,把雪盖和/或雪覆盖地区作为雪的功能生态系统进行完整正确评价的研究极少。然而,随着雪科学家越来越需要进行学科交叉研究,需要对雪科学的研究成果比本学科更熟悉,这就急需推进雪基础科学进行大范围的有关雪研究信息和认识的交换。1991年,国际水文学会的冰雪委员会成立了一个雪生态学工作小组(Jones *et al.*, 1994),招募了许多学科的雪科学家。工作小组的目的是编辑基础资料,以便能够从生态系统的观点指导雪研究。1993年在加拿大魁北克市的会议上,工作组回顾了雪生态学的研究现状,着手要出版这一项目已经完成的著作。其结果就是这本专著。

这本书的目的是介绍一些基础科学原理,使我们能够了解雪生态系统的功能。这一研究需要测定那些影响雪的演变或取决于雪盖本身动力学的物理、化学和生物过程。虽然很多的资料可适用于永久冰雪地区,但本书的重点主要还是季节性雪盖的研究。季节性雪盖是有限时期内的动态生境。其动力过程和持续时间由雪的物理变形、相变和化学转换控制,而这些又是由大气和土壤系统、植物和动物群落的相互作用所驱动。特别是在正常冬季气象条件下,雪盖保证了整个冬季特殊群落活动的延续。这些雪的亚表层群落本身又支撑着生活在雪上的或拜访雪地的动物种群。由于冬季不可避免的会被春季和夏季取代,雪盖又为地球高纬度和高海拔地区生物与水文地质化学生产的年际循环提供了必不可少的连接。

这本专著概括了雪生态学最关键的物理、化学和生物学的基本原理和过程。章节的顺序和每一章的连接使读者可以通读全书或着选读有兴趣的章节。在书的开篇中,Groisman 和 Davies 描述了雪盖和气候的关系,在全球尺度上解释了一些导致远距离年际气候变化模式的反馈机制。根据厄尔尼诺—南方涛动(El Niño-southern oscillation)与北美洲、欧亚大陆雪盖范围之间的关系和西欧、西藏高原雪盖对印度夏季季风的影响这样一些例子,Groisman 和 Davies 证实了季节性雪盖已经对地球所有生态系统的变化都产生了影响。因此,对雪盖和气候的了解成为预测生物圈气候变化的重要基础。

但是,季节雪盖的堆积、持续时间、范围和内部结构的变化将会怎样影响雪支撑和影响生命的自然能力? 这些问题是切中要害的,正如 Pomeroy 和 Brun 编写的第二章:关于雪的物理学特征。生命能够在雪中和雪下生存是因为周围环境物理特性的均一。在雪的亚表层世界,生物体和土壤依赖雪的热容量保持热量,也使大气中的极端热波动在地表得到了缓解。热容量本身受雪深和雪密度的控制,出露的植物降低了近地面风速和捕获了吹雪、降雪,因而提高了雪的热容量。相反,通过林冠拦截降雪,常绿森林可以明显减少雪的堆积。而且,在大气和地面之间,雪不仅调节热量而且调节光照,许多微生物和植物已经适应了雪中光照的水平,这种光照水平对光合作用是适宜的。这一章还考虑了雪在森

林、冻原和典型草原的能量和水分平衡中的作用。在春季径流期和土壤充满水分的时期,雪的结构及其与大气、地面植被、土壤的热交换是关键因素。正是在这个时间,许多生态系统得到了每年水分输入的大部分,这时融化雪场的微生物和无脊椎动物群落也最繁盛。

雪盖不仅仅是水文贮藏库,而且还是真正雪生生物和亚表层生物营养和化学种的来源,因而其生长季和繁殖期都受到雪盖的影响。在雪化学这一章中,Tranter和Jones叙述了雪在大气中形成期间获得化学物质的过程。这一章还概括了雪中养分的转换,特别是融雪期间、融水渗入土壤和排入河流期间的养分转换。由于氮是许多生态系统的限制性养分,因此还特别关注了氮素在雪中和融雪期间的变化,但在地球某些发达地区除了其他雪的化合物外,氮素也达到了毒害程度。在一些生态系统中,作为降雪、冬季降雨和干沉降的接纳者,雪盖还是氮素从大气传输到土壤的重要介质。虽然,短期内土壤和植被大多数养分传输源于内部循环,但归根结底大气才是氮的来源。在雪覆盖的土壤中,整个冬季养分循环都在进行,特别是雪-土壤界面上的气体排放增加(如 CO_2 和 N_2O)。雪下气体的排放可能反映了光合固定的碳年通量的重要部分。

本书的其余各章讨论了雪的生物学及其环境。在冰雪微生物生态学一章中,Hoham和Duval介绍了雪盖中微生物种群的概况,讨论了这些微生物的起源、分布、生理学和演变,并对完全在融水中生长和繁殖的真正雪藻种群给予了特别关注。雪藻在结构和繁殖方面的适应性,使得它们在较短的融雪季节能够完成生活周期中的这些基本阶段。作者讨论了雪的化学组成和雪藻分布的关系及其生长期间雪中养分含量的消耗。在森林雪盖中,林冠的散落物为雪藻提供了生长因子和可溶性磷素,促进了雪藻的生长,增加了养分的同化作用。其他生物体,如细菌、酵母和雪生真菌与雪藻是同时存在的,是真雪微生物种群的重要组成部分。

微生物种群被一些无脊椎动物采食,可以认为微生物是融雪期间短期雪生食物网的基础。生活在雪下或雪上的小型哺乳动物能够捕食无脊椎动物,从而把食物链扩展到了较寒冷的时期。在雪对小型动物影响的这一章里,Aitchison论述了如何确定冬季活动的主要无脊椎动物区系种群和活动的技术,包括蜘蛛、螨虫、跳虫、甲虫、苍蝇和昆虫。该章还介绍了这些小型动物在地球上的分布、生理机制和使它们忍受低温、寻找食物的形态适应。关于小型脊椎动物部分,主要集中于大多数重量少于250 g的小型哺乳动物研究。还特别强调了以无脊椎动物为生的鼯鼠生态学和食草动物田鼠的生态学。在这些小型动物中,防止热损失的生理机制包括某些腺体的钝化和产热的特化机制。小型动物能够经历季节性形态变化,以减少热损失和增强它们在雪中的活动。该部分还有用于种群测定的小型动物捕捉技术的参考文献。

寒冷地区的植被与雪盖状况关系密切。在极地和高山环境中雪-植被相互作用的这一章中,Walker、Billings和de Molenaar概述了极地和高山地区影响植物生理和分布的相关生态因子。以不同的尺度测定了植物种和植物群落与雪的相关模式,讨论了诸如雪区植被、土壤特性、分解率的生态系统特征。植物对雪盖的生理适应性包括雪盖下低光照时合成叶绿素的能力,在地下或叶中贮藏光合产物,在融雪期间或融雪后迅速开花。在对雪栅栏实验的概述中,描述了积雪状况的改变所造成的植被变化,在该实验中,雪的深度随截留积雪量的增加而增加。还讨论了利用雪况变化推断景观变化的可能性和利用遥感

监测图象、地理信息系统把生态系统模型与植被做图联系在一起的可能性。

书的最后一章,由Bégin和Boivin编写的树轮年代的确定,向读者介绍了树木年轮学及其在确定过去雪况中的应用。在副极地,树和雪关系密切。树的分布是不规则的,受风积雪的堆积和雪盖持续时间的影响很大,反过来它们又受树本身的控制。利用对树形态的分析和对树年轮年代的确定,能够重建过去的雪深。正确的方法是把注意力集中于具体表现上,如新干的发育、主干的伤疤、生长的异常变化等,能够从树轮上确定这些的年代。完全受到雪盖保护的树并不显示与雪相关的物理伤害特征,一旦它们出露于雪上就会遭受风吹雪引起的脱水和磨损。在树枝上的严重积雪还会导致树枝弯曲、撕裂和折断,引起树的变形。这一章有一些关于这些伤害类型和利用树轮分析确定伤害年代的例子。

这些对全书简明的介绍,概述了每章的一些内容。雪生态学是一个具有广阔发展前景的领域,但在这本书中并没有涵盖所有发展的方面。这本专著集中于雪的环境、生态系统的相互作用和亚表层生物体。寻找有关大型哺乳动物材料的人们,可以在目前的文献中发现许多参考文献(如狼[Huggard, 1993]、麝牛[Nellemenn, 1997]、驯鹿[Ouellet, Heard and Boutin, 1993]、苍鹰[Tornberg, 1997])。我们还向读者推荐Formazov(1964)的有关哺乳动物和鸟类生态学早期著作。

最后,我们承认,现在人类对改变大气、气候和寒冷地区的生态起着主要作用,但是人类的作用和直接影响并不包括在这本书的范围内。历史上人类和冰雪的关系是矛盾的,常常归结为寒冷、风暴、隔绝、饥饿和深雪等不利环境中的生存斗争。另一方面,冰雪使人类着迷,引发了许多奇妙的想法,为艺术的表达和体育运动的成功提供了物质条件。利用科学的方法,我们已经重建了过去,发现过去当广阔大陆被冰川和冰帽覆盖数百万年的时候,地球经历了长时期的冰雪。在了解了雪生态系统属于低能环境后,我们能够预测其他世界生命存在的条件。工业技术现在已经促进了寒冷地区人类的生存和工农业发展,但是这种活动对雪生态系统的影响也是相当大的。我们需要改进生态系统功能方面的知识,使人工群落和自然群落能够共存,在这种严酷环境中保持生命的多样性。这本专著就是要带着读者到众所周知的也是奇妙的冰雪世界去旅行,到寒冷中去生活。祝读者好。

H. G. Jones, J. W. Pomeroy, D. A. Walker, R. W. Hoham 和 R. Zlotin

参考文献

- Formazov, A. N., 1946. Snow cover as an integral factor of the environment and its importance in the ecology of mammals and birds. *Moscow Society of Naturalists, Materials for Fauna and Flora U. S. S. R. Zoology. Section, New Series.* 5, 1-152 (English translation; Prychodko, W., and Pruitt, W. O., 1963. Occasional Paper 1, Boreal Inst. Univ. Alberta, Edmonton.)
- Huggard, D. J., 1993. The effect of snow depth on predation and scavenging by Gray Wolves. *J. Wildl. Manage.*, 57, 382-88.
- Jones, H. G., Pomeroy, J. W., Walker, D. A., and Hoham, R. W., 1994. Interdisciplinary group investigates snow ecology. *Eos Trans. Amer. Geophys. Union*, 75(14), 162-63.

- Nellemenn, C., 1997. Graing strategies of muskoxen (*Ovibus moschatus*) during winter in Angujaartorfiup Nunaa in western Greenland. *Can. J. Zool.*, 75, 1129-34.
- Ouellet, J. P., Heard, D. C., and Boutin, S., 1993. Range impacts following the introduction of Caribou on Southampton Island, Northwest Territories, Canada. *Arctic Alpine Res.*, 25, 136-41.
- Tornberg, R., 1997. Prey selection of the goshawk *Accipiter gentilis* during the breeding season; the role of prey profitability and vulnerability. *Ornis Fennica*, 74, 15-28.

致 谢

作者感谢本书各章的审阅者,他们的批评和建议是极其有益和非常珍贵的。

我们还要感谢给予最初学术讨论会及其后来编辑委员会会议资金支持的机关、学校 and 研究所,是他们促成了本书的出版。他们是:

加拿大极地委员会(加拿大渥太华市);

加拿大自然科学与工程研究协会(加拿大渥太华市,加拿大政府);

加拿大魁北克省水利局(加拿大魁北克省,蒙特利尔市);

国家科学研究所(加拿大魁北克市,魁北克大学);

环境与动物部(加拿大魁北克市,魁北克省政府);

“加拿大环境”(加拿大萨斯卡通,国家水文研究中心,国家水研究所);

加拿大遗产部(加拿大萨斯喀彻温,华斯克苏湖艾伯特王子城国家公园)。

作者和译者简介

H. G. Jones: 加拿大魁北克大学国家科学研究所教授。

J. W. Pomeroy: 英国威尔士大学地理与地球科学研究所冰川研究中心的高级讲师。

D. A. Walker: 美国阿拉斯加大学极地生物学研究所和生物与野生生物系教授。

R. W. Hoham: 美国科尔盖特大学生物系教授。

赵哈林: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所研究员。

周瑞莲: 原兰州大学生物系副教授,现在美国艾奥瓦州立大学农学系工作。

赵 悦: 美国艾奥瓦州立大学学生。

目次

译者序言	(1)
原书序言	(3)
第一章 雪盖和气候系统	(1)
第一节 引言	(1)
第二节 雪盖观测和数据源	(3)
第三节 雪盖气候学	(7)
第四节 雪-气候的相互作用及其敏感性	(10)
第五节 未来气候变化对雪盖的影响及其生态学	(18)
第六节 结论	(20)
第七节 需要进一步研究的内容	(21)
第二章 雪的物理特性	(30)
第一节 雪的物理学和生态学	(30)
第二节 雪的堆积	(31)
第三节 雪场动力学	(48)
第四节 雪盖的结构	(62)
第五节 雪对土壤和水生生态系统影响	(73)
第六节 结论	(77)
第三章 雪化学:过程与养分循环	(84)
第一节 雪化学和生态学	(84)
第二节 降雪的化学组成	(85)
第三节 冷、干雪盖的化学组成	(89)
第四节 湿雪的化学组成和雪-融水系统	(95)
第五节 雪盖养分通量和生态系统平衡	(101)
第六节 小结和未来研究展望	(103)
第四章 强调雪藻的雪和淡水冰微生物生态学	(112)
第一节 综述	(112)
第二节 引言	(112)
第三节 种群	(113)
第四节 细胞结构和细胞生理	(118)
第五节 生活周期,实验室的接合实验与培养	(123)
第六节 演化和起源	(128)
第七节 物理因子与冰雪微生物的相互关系	(129)
第八节 雪冰中的生产力和生物地球化学循环	(132)

第九节 人类方面,兴趣和考虑	(138)
第十节 其他未来研究	(140)
第五章 雪盖对小型动物的影响	(153)
第一节 引言	(153)
第二节 无脊椎动物	(154)
第三节 脊椎动物	(168)
第四节 对未来研究的建议	(172)
第六章 冻原环境中雪和植被的相互作用	(182)
第一节 综述	(182)
第二节 引言	(182)
第三节 雪的梯度	(182)
第四节 植物的生理反应	(194)
第五节 实验研究	(204)
第六节 结论	(208)
第七章 记录过去雪况的树木年轮	(224)
第一节 引言	(224)
第二节 过去对雪深的树木年轮学研究和基本识别	(224)
第三节 雪对树生存的影响	(226)
第四节 雪盖解体的关键时期	(227)
第五节 积雪对树的影响	(237)
第六节 雪深与过去的气候	(234)
第七节 结论	(235)
附录 1: 专业术语汇编	(240)
附录 2: 植物名录索引	(254)
附录 3: 动物名称检索	(256)
附录 4: 微生物名称索引	(259)
附录 5: 地名检索	(261)
原书后记	(264)

第一章 雪盖和气候系统

Pavel Ya. Groisman 和 Trevor D. Davies

第一节 引言

在每年冬季的末期,在南北半球的高纬度和高海拔地区,大面积的土地被雪覆盖着。大部分地区无雪的时间只有 2~3 个月,而到晚秋又开始被雪覆盖(Gutzler and Rosen, 1992; Robinson, Dewey and Hein, 1993; Groisman *et al.*, 1994a)。在许多地区,特别是在南半球,雪盖这种季节性的扩张受到陆地界线的限制。但是,在极地地区,覆盖于海洋上的海冰其季节性扩张使得雪盖得以扩展,它明显改变了海冰的特性(Ledley, 1991)。雪盖的厚度变化很大,在一些山地(如阿尔卑斯山,落基山脉)它能超过 3 m。第一场雪很轻很白,密度为 100 kg/m^3 左右。在冬季结束的时候,地面大部分的雪都非常致密(达到 500 kg/m^3)且很脏,失去了白色(见 Pomeroy and Brun, 第二章)。秋季的第一场降雪,当白天温度保持在零度以下时,就能开始形成季节性雪盖,不过后来平流的温暖气流/或太阳辐射可能会使之融化。虽然,在高纬度地区第一场降雪与形成稳定雪盖之间的时间只有几个星期(如俄罗斯),但是一个单个的气候事件就能使大陆雪线向赤道扩展近千千米(Lamb, 1955)。在低纬度地区(如中国,美国),雪盖存在的时间更短暂,在冬季可融化和再生几次。但在建立之后,反馈过程倾向于支持雪盖的存在,其最主要的原因是高反射率(反照率)能够降低地表辐射平衡,因而减少使雪融化的有效能量。

由于北半球每年被雪覆盖的陆地面积达半数以上,且又有如此变化的特性,因此在许多温带地区雪盖是一个非常重要的生态因子。雪盖是一个辐射汇(radiative sink)。高的短波反照率(反射率)和高的热发射率相结合,就会使近地球表面的红外辐射损失量增加(Male and Gray, 1981)。由于雪的绝热特性,由下面产生的热通量并不能迅速补偿辐射损失。这些绝热特性在夜晚特别有效。例如,在 10 cm 厚雪盖表层的温度一个晚上可能下降 10 多摄氏度,但是下面土壤表面的温度下降幅度可能小于 1°C 。因此,地上的雪使土壤近地表温度保持相对温暖,防止了土壤低温冻结,使植物根系免受冻害。在许多地区,存在一定厚度的雪盖对于维持冬季谷物作物足够温暖的亚表层温度是个关键。同样,雪盖也为不能从夏季栖息地远迁的小型动物(如田鼠)提供了一个相对有利的冬季栖息地。

对一些物种来说,雪融是全年当中最重要的环境扰动或刺激(Hoham and Duval, 第四章)。因此,在受雪融影响的范围内,雪融时间和特性的变化会影响生物圈系统(Davies and Vavrus, 1991)。

季节性雪盖对远离雪盖本身的生态系统也有非常重要的影响。例如,欧亚大陆西部

和西藏高原的雪盖会影响到下一个季节的印度夏季季风(Hahn and Shukla, 1976; Verma, Subremaniam and Dugam, 1985; Barnett *et al.* 1989)。实际上,雪盖是全球气候系统极为重要的部分。雪盖作为气候系统的一个组分,对地球表面所有的生态系统都产生着直接的影响。

无论生态学关心的焦点是与雪盖密切相关的种群——通常是这样——还是延伸至那些与其远离的生态系统,了解雪盖气候学及其与大气圈的联系是重要基础。对大尺度气候变化的探测使它的重要性得到了提高。现在已经有了1966年以来北半球雪盖的卫星观测资料(Dewey and Heim, 1981, 1982; Robinson *et al.*, 1993)。这些记录表明,北半球雪盖和温度之间的关系呈明显负相关(图1-1)。从对古气候资料的分析和对全球气候模型的敏感性实验也能得到同样的结论(Budyko and Izrael 1991; Mokhov, 1984; Cohen, 1994)。持续增强的温室气体效应(政府间气候变化小组(IPCC), 1996),明显与雪盖生态系统有关。在温室气体效应的影响下,季节雪盖的时间、厚度、内部结构和范围都将会发生变化,从而影响其生态系统。由于在雪盖和大气之间存在两种空间尺度的

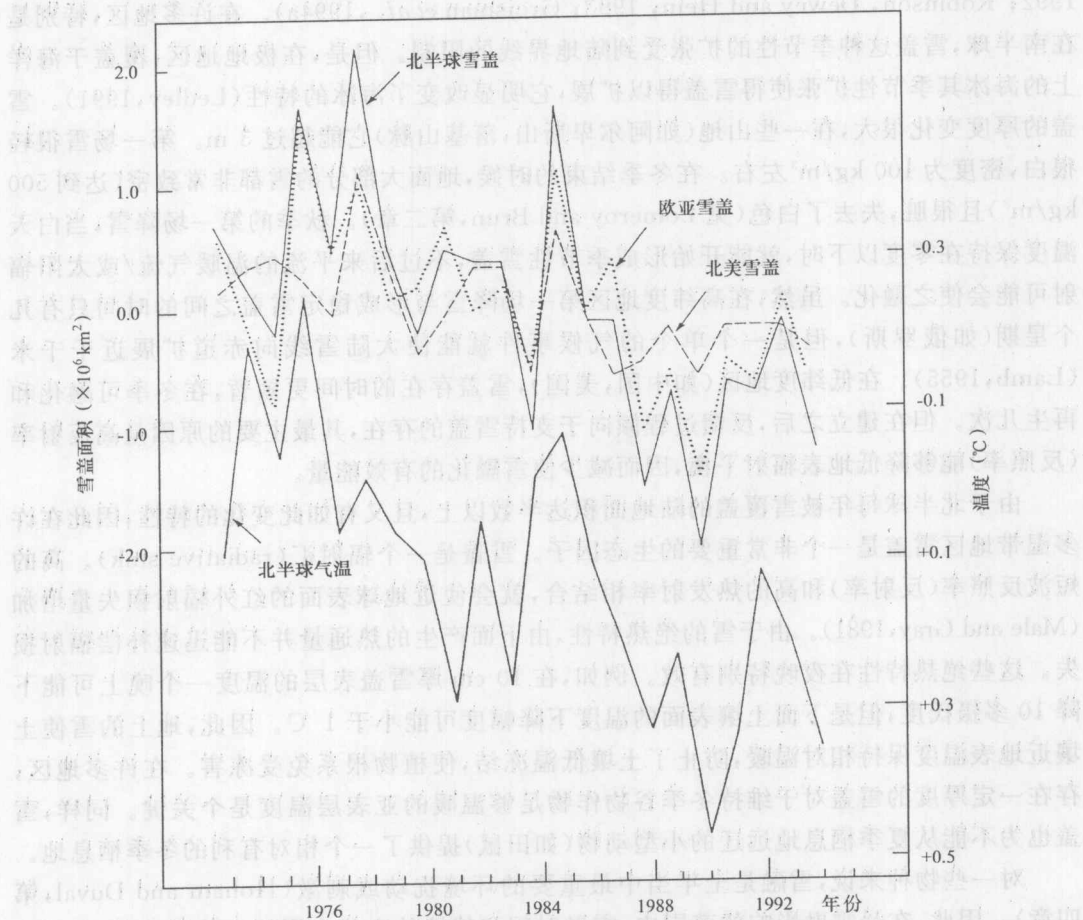


图1-1 由卫星短波测定的北半球、北美洲和欧亚地区的雪盖年际变化(1973—1994年距平,左竖坐标)及北半球陆地和海洋综合温度(1951—1981年距平,右竖坐标)

(Matson, 1986; Ropelewski, 1993, 校正值; 经华盛顿国家海洋大气局气象局的 D. Garrett 许可; Jones, 1994)

相互作用方式,把不断变化的气候与不断变化的雪盖相联系,就使雪盖在地理范畴之外有了生态含义。

两种途径的相互作用表明,雪盖除了作为影响气候变化的一个重要因子外,还是该变化的一种有用的指示物和监测物(Barry,1985;Schlesinger,1986)。当雪盖范围、数量、密度的变化得到可靠探测时,将显示除热带以外的全部陆地的全球水文循环和生态系统的变化(Watson,Zinyowera and Moss,1996)。因此,在这一章,除了雪盖和大气的相互作用外,我们还要描述雪盖的观测。

第二节 雪盖观测和数据源

雪盖的信息对于人类各种活动的重要性是早期建立雪盖观测系统的一个原因。在中国的第一个千年里,安装在山区河流上游的雪笼(snow cage)被用于预测洪水(Biswas,1970)。目前,一些北方国家已经积累了一个世纪时间序列的原始雪盖观测资料(Jackson,1978;Pfister,1985;Mestcherkaya, Belyankina and Golod, 1995; Brown and Goodison,1996; Hughes and Robinson 1996; Easterling *et al* 1997)。当时,最初的观测只是记载地面雪的厚度。这些都是用雪标竿(snow stick)观测的。在一些国家(如俄罗斯),为了计算积雪的明显差异,旷野和森林的雪厚度是分开测定的。由于需要了解雪场的雪水当量和对雪监测进行较好的空间描述,建立了测雪线(snow course)观测。正是在这个时候,观测者开始调查雪场断面,收集了许多样品,记录其微物理特性(类型、密度和存在硬壳等)。由于种种原因,这一艰苦的观测过程被证实对农业气象学和水文学是可靠的,因而在许多国家被完整的保留下来。第一批测雪线观测数字化数据库最近已经纳入世界地理数据中心(国家冰雪数据中心[NSIDC],1996)。19年前,在美国西部和阿拉斯加,测雪线观测逐步被自动观测系统所取代(SNOTEL)(Rallison,1981),该系统目前提供着落基山和科迪勒拉山600多个偏僻场地观测点雪场的雪水当量资料(Aguado *et al* 1992; Cayan,1996; Redmond and Schaefer, 1997)。

地面观测的主要误差来源于观测点或测雪线观测的初始准确性及随后向地区平均值的推断(Sevruk,1992)。Pomeroy 和 Gray(1995)最近讨论了有关地面雪观测的设备和技术。在风积地区,雪趋向于向森林区和沟壑区堆累,使开阔平原区的雪量少于林区。裸露地区的融雪速度要比有遮挡地点的雪融更快,在阵雪(snow flurry)期间雪水能够被吹掉和升华(Vershinina and Volchenko,1974;Pomeroy and Jones,1996; Mestcherskaya. *et al*,1995)。在山区,由于受风向变化、地形和绝热的影响,雪的堆积是极不均匀的,这也影响雪的融化(Pomeroy and Brun,第二章)。这使得对雪盖资料的空间归纳较为困难。而且,在较为偏远的地区(如加拿大北部和西伯利亚)地面观测很少,要衍生区域性资料是不可能的。相反,遥感技术为获取区域雪盖分布资料提供了惟一可行的方法(Karl *et al*. 1989)。遥感技术分为机载方法和卫星遥感方法。图1-2列出是不同技术的优缺点。

机载被动观测(airborne passive observation)的依据,是探测到的地表天然 γ 射线会随覆盖地表的水量和20 cm深表层土壤的含水量(液体或冰冻)增加而下降。因此,沿着一个飞行路线,在降雪前和雪融后进行比较探测,结合上层土壤水,可以确定地面雪水当

量(SWE)的总量(Kogan, Nazarov and Fridman, 1969; Peck, Carrol and Vandmark, 1980)。其限制性因素是难以区分地上水和地下水的比例。尽管存在这种缺点和其他缺点,这种方法对广大用户还是可用的(cf. Jones and carrol, 1983; glynn *et al.*, 1988; Carroll and Carroll, 1989)。现在,已能定期提供北美洲部分地区区域平均精度接近 10 mm 雪水当量和雪盖范围的估算值(Carroll, 1995)。

雪盖的卫星遥感观测采用短波(可见的和近红外的)和微波波段。图 1-1 的数据就是卫星短波测定的。原始数据包括每周雪盖范围的数字化图,它由美国海洋和大气管理署(NOAA)极地轨道卫星提供,由地球同步环境卫星(GOES)和欧洲气象卫星(METEOSAT)的观测资料补充(Matson and Wiesnet, 1981; Wiesnet *et al.*, 1987; Dewey and Heim, 1981, 1982; Matson, 1986; Ropelewski, 1993; Robison Keimig and Dewey, 1991; Robinson *et al.*, 1993)。虽然观测起始于 1966 年,但直到 1972 年底该系列资料才被认为是均一的(Robinson *et al.*, 1993)。空间解析数据随纬度而变化,其方格单元解析的测距在高纬度地区为 20 643 km²,在低纬度地区为 42 394 km²。在过去的 20 年里,北半球 1 月份至少有一周被雪覆盖的陆地面积比例达到了 55%(54.2×10⁶ km²)。平均来说,在一年当中整个地球表面有 23%(陆地表面的 50%)的面积永久或临时被雪覆盖(Sevruk, 1992)。

从 1987 年以来,雪盖范围和雪水当量的微波测定一直由地球同步卫星传感器执行(Weaver, Morris and Barry, 1987; Barry, 1991)。由地面发射的散射微波能量与地面的干雪量(颗粒数量)相关。虽然,在这些观测中难以把融化的雪与湿的裸露土壤区分开,但是几乎在所有气候条件下和黑暗中,被动微波遥感监测确实有相当大的可操作优势。灵敏的微波遥感在雪盖观测中有非常高的解析潜力(数十米),但是传输高质量雪水当量的观测信息还是有问题(Matzler and Schanda, 1984; Leconte, 1993)。虽然,雪盖范围的观测数据目前被认为是可靠的(Ferraro *et al.*, 1994; Basist and Grody, 1994),但糟糕的是采用这些方法测定雪水当量时其可靠指标还存在连续性问题。

古老的“地面”观测网是雪观测系统一个行之有效且十分重要的组成部分,它是卫星监测网无法替代的。事实上,它们是互为补充的。以卫星为基础的雪盖/厚度观测尽管现在还存在一些问题,但可能还是未来许多雪数据用户所需要的(Armstrong, 1993; Ferraro *et al.*, 1994)。现在,从经济和科学的角度讲,需要将所有可用的雪资料合并为一个高级增强数据库。在合并过程中,必须保证老的地表观测网在向新的观测网转换过程中的同质性。这一转换进展的并不顺利(Robinson *et al.*, 1991; Armstrong, 1993; Barry *et al.*, 1994),但毕竟在努力进行。

雪数据的可利用状况正在迅速改变。毫无疑问,在这本专著出版之后,新的数据资源将会出现。目前,处理一些非常大的数据库(如原始卫星图象)对许多用户来说需要太多的计算机资源。不过,现存雪资料的可用性分为:

(1) 一个很大的全球(遍及全球的 8 000 多个站)月平均降水量(包括冻结水量)的档案已保存于全球历史气候网(GHCN)(Vose *et al.*, 1992; Peterson and Vose, 1997)数据库中。它可以通过美国橡树岭二氧化碳信息分析中心(CDIAC)免费获得。在前苏联(FSU),每个观测站(1 000 个站)都有一个校正数据库,以提供有长期价值的无偏降水量