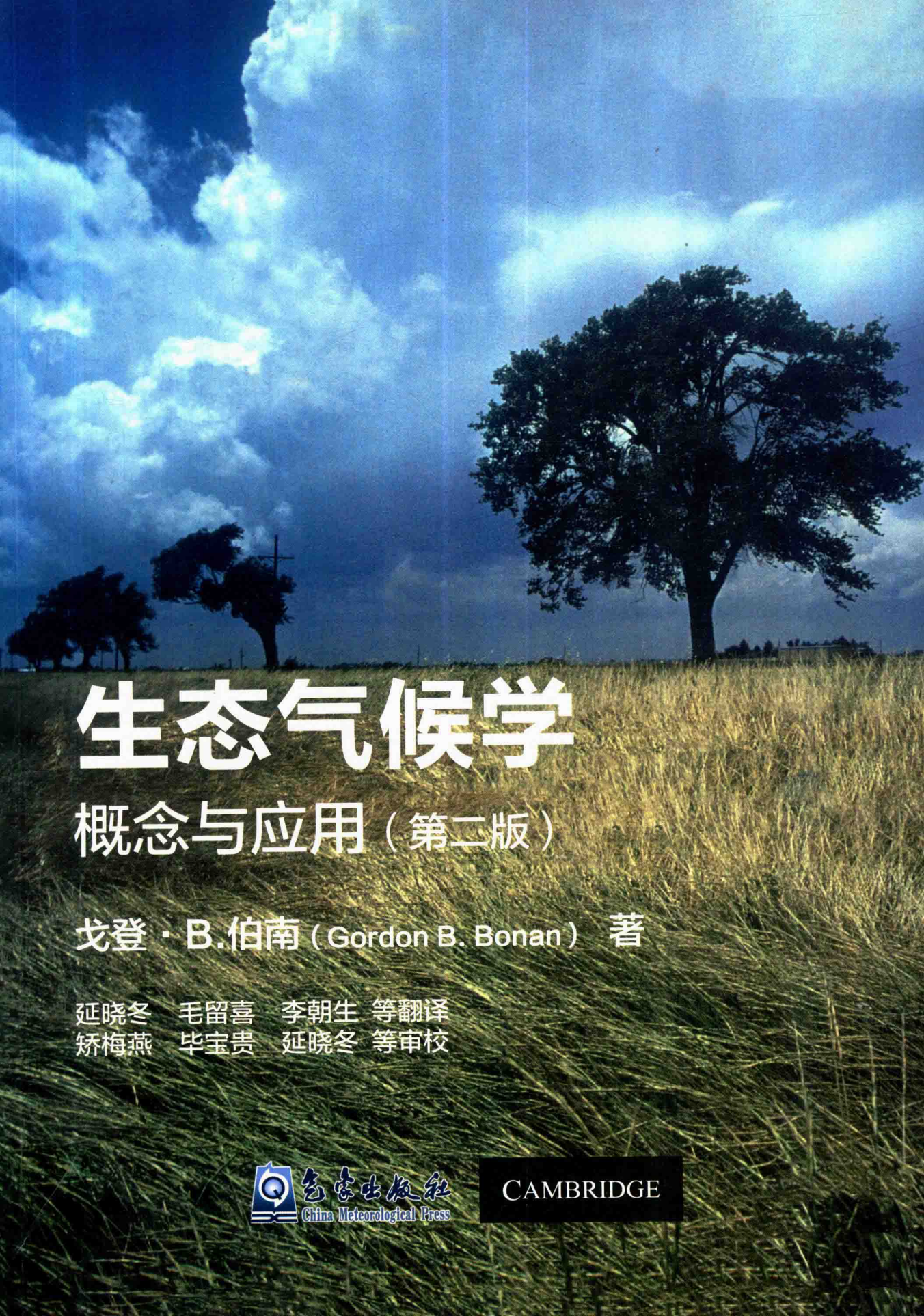




生态气候学

概念与应用 (第二版)

戈登·B.伯南 (Gordon B. Bonan) 著

延晓冬 毛留喜 李朝生 等翻译
矫梅燕 毕宝贵 延晓冬 等审校



CAMBRIDGE

生态气候学

概念与应用

(第二版)

戈登·B. 伯南 (Gordon B. Bonan) 著

延晓冬 毛留喜 李朝生 钱 拴 吴门新
徐玲玲 侯英雨 曹 云 延 昊

矫梅燕 毕宝贵 延晓冬 毛留喜 李朝生 钱
吴门新 徐玲玲 侯英雨 曹 云 延 昊

翻译



Ecological Climatology Concepts and Applications (ISBN 978-0-521-69319-6) by Gordon Bonan second published by Cambridge University Press 2008.

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press and China Meteorological Press 2017.

This edition is authorized for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) only. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of Cambridge University Press and China Meteorological Press.

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾省)销售。

图书在版编目(CIP)数据

生态气候学：概念和应用/(美)戈登·B.伯南著；延晓冬等译. —2版.
—北京：气象出版社，2017.7
ISBN 978-7-5029-6185-5

I. ①生… II. ①伯… ②延… III. ①气候变化—影响—生态环境—研究
IV. ①P46—05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 201770 号
北京市版权局著作权合同登记：图字 01-2017-3707

Shengtai Qihouxue Gainian yu Yingyong
生态气候学：概念与应用(第二版)

出版发行：气象出版社

地 址：北京市海淀区中关村南大街 46 号	邮政编码：100081
电 话：010-68407112(总编室) 010-68408042(发行部)	
网 址： http:// www.qxcbs.com	E-mail: qxcbs@cma.gov.cn
责任编辑：李太宇	终 审：邵俊年
封面设计：博雅思企划	责任技编：赵相宁
印 刷：中国电影出版社印刷厂	
开 本：787 mm×1092 mm 1/16	印 张：39.5
字 数：1011 千字	彩 插：12
版 次：2017 年 7 月第 1 版	印 次：2017 年 7 月第 1 次印刷
定 价：95.00 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。

序

第二版与第一版具有显著的区别。两者具有同一个目标——描述陆地植被如何影响天气与气候。第一版体现了三个基本原则：继承性；希望写的不是一本关于模型的教科书；应用景观设计和城市规划等科学原理来改进我们的环境质量。Joseph Kittredge 于 1948 年出版的《森林的作用》一书是继承性的一个例子。虽然他的研究成果和观测设备已经过时，但是 60 年前他对森林如何影响环境的概念与认识却得以保留。用数学模型和数值方法来表征物理、化学和生物过程的进展很快，而在第一版中我只选择了少量的数学方程来说明基本概念。很多生态气候学原理可应用于环境建设。土地利用的变化，正如全球气候变化一样，是具有未知社会和环境后果的没有对照的大规模实验。但是，与全球变化有所不同，土地利用变化的发生局限在我们生活的区域范围中，它可以在人类能看到和影响到的空间和时间尺度上说明环境事件的实质；我们通常能在几年的时间里，就在我们的区域范围内看到这些变化。

第二版对上述指导性原则有所修正。它包含了更多的数学公式，但仅用于阐释概念而并非描述当前模型发展现状。本书大量采用模型、它们的科学应用和模型模拟实验来解释陆地一大气的相互作用。尽管本书仍旧不是关于模型的教科书，但是我希望从模式应用得到的认识是具有继承性的。尽管一再提到景观设计与城市环境，但仅限于非常有目的地讨论以保持简洁性。

尽管第二版包含了最新的科学进展与参考文献，但也只是一本较全面的修订和内容重新组织后的教材，以使学生们更容易理解与接受。内容的组织变化较大。第一版中许多章节中包含了太多的论题；第二版中将各章内容重新编排得更有条理，论题更鲜明。第一版中很多章节篇幅过长；第二版中的绝大部分章节篇幅显著缩减。一个简洁的章节概要可使读者能够快速浏览全书和理解各个章节之间的相互关系。参考文献附在每一章的最后一节，为读者提供一个与该章有关的简明文献列表，有利于当学生们在需要加深理解特定主题的细节时，作为基本的资料易于获取。每一章都有几道复习题来强化关键概念。

本书分为引言——描述全书的大致内容，以及 29 个科学章节——共七部分：地球系统、全球物理气候学、土壤过程、水文气象学、生物气象学、陆地植物生态学、陆地强迫与陆地反馈。没有在第一版中包括的或有大幅度扩展的内容包括：对地球作为一个系统的讨论：它的组成，各成员间能量循环、水循环和碳循环；湍流通量与相似性理论；在不同植被类型和气候区中表面能量通量计算的例子；边界层气象学和土壤水分对边界层的影响；流域研究的例子；包含植物冠层研究的生物气象学；对气候模式中陆面过程模型的回顾；陆地（雪、土壤水分、叶片生物气候特性）在季节—年际尺度上对气候变率的影响。农业对天气和气候的影响、生物地球化学反馈等章节纳入了新的科学前沿知识。很欣慰地看到从 2002 年第一版出版后，本科学领域又有所拓宽和加深，这些尤其可以在陆面过程模式、土地利用变化作为气候强迫这一章，以及介绍碳循环—气候模式的全新章节中得到反映。

我十分感激国家大气研究中心的同事对我撰写第二版所给予的支持，尤其是 Sam Levis 和 Keith Oleson，他们从 1999 年就长期致力于开发和维护共同陆面模式使我得以撰写这本书。还有 David Lawrence，承担着共同陆面模式开发的领导角色，使我能专心致力于撰写工作。

戈登·B. 伯南
于科罗拉多州博尔德

目 录

序

第 1 章 引言	(1)
1.1 生态气候学——概念	(1)
1.2 生态气候学——应用	(7)
1.3 全书概述	(9)
1.4 习题	(11)
参考文献	(12)

第一部分 地球系统

第 2 章 地球系统的组成	(15)
2.1 本章概述	(15)
2.2 大气	(15)
2.3 水圈	(17)
2.4 冰冻圈 (cryosphere)	(19)
2.5 生物圈	(21)
2.6 土壤圈	(22)
2.7 人类	(23)
2.8 地球系统	(26)
2.9 习题	(26)
参考文献	(27)
第 3 章 全球循环	(29)
3.1 本章概述	(29)
3.2 科学单位制	(29)
3.3 能量通量	(30)
3.4 水循环	(33)
3.5 生物地球化学循环	(37)
3.6 习题	(40)
参考文献	(41)

第二部分 全球物理气候学

第 4 章 大气辐射	(42)
4.1 本章概述	(42)

4.2	太阳几何学	(42)
4.3	大气层顶太阳辐射	(45)
4.4	大气消减	(48)
4.5	全球年均能量收支	(49)
4.6	地球的能量平衡模型	(50)
4.7	习题	(52)
	参考文献	(53)
第 5 章	大气环流与气候	(54)
5.1	本章概述	(54)
5.2	气压	(54)
5.3	风	(55)
5.4	大尺度大气环流	(59)
5.5	大陆	(63)
5.6	海洋	(64)
5.7	季节	(66)
5.8	习题	(70)
	参考文献	(71)
第 6 章	地球的气候	(72)
6.1	本章概述	(72)
6.2	全球气候带	(72)
6.3	区域气候	(79)
6.4	森林与裸地	(91)
6.5	习题	(94)
	参考文献	(95)
第 7 章	气候变率	(97)
7.1	本章概述	(97)
7.2	洪涝、干旱和热浪	(97)
7.3	厄尔尼诺 (El Nino) /南方涛动 (SO)	(101)
7.4	北大西洋涛动	(110)
7.5	习题	(112)
	参考文献	(114)
第 8 章	气候变化	(115)
8.1	本章概述	(115)
8.2	过去 250 000 年的气候历史	(115)
8.3	气候变化的机制	(119)
8.4	20 世纪的气候	(131)
8.5	21 世纪的气候	(134)
8.6	气候反馈	(135)
8.7	习题	(137)
	参考文献	(138)

第三部分 土壤过程

第 9 章 土壤物理	(142)
9.1 本章概述	(142)
9.2 土壤质地与结构	(142)
9.3 土壤温度	(144)
9.4 土壤水	(149)
9.5 习题	(153)
参考文献	(154)
第 10 章 土壤生物地球化学	(155)
10.1 本章概述	(155)
10.2 风化	(155)
10.3 分解和矿化	(158)
10.4 土壤溶液	(161)
10.5 土壤剖面	(163)
10.6 土壤形成	(164)
10.7 习题	(168)
参考文献	(169)

第四部分 水文气象学

第 11 章 水平衡	(170)
11.1 本章概述	(170)
11.2 陆地水循环	(170)
11.3 降水截留与穿透雨	(172)
11.4 蒸散	(173)
11.5 渗透	(176)
11.6 径流	(180)
11.7 土壤水分	(182)
11.8 水分平衡模型	(183)
11.9 习题	(185)
参考文献	(186)
第 12 章 流域水文	(188)
12.1 本章概述	(188)
12.2 流域	(188)
12.3 流域研究	(188)
12.4 径流过程	(192)
12.5 集水区径流	(193)
12.6 河流流量	(203)
12.7 全球流域	(205)
12.8 习题	(208)

参考文献	(210)
第 13 章 地表能量通量	(213)
13.1 本章概述	(213)
13.2 地表能量收支	(213)
13.3 地表能量平衡	(214)
13.4 年循环	(217)
13.5 日循环	(218)
13.6 能量平衡模型	(222)
13.7 Penman-Monteith 方程	(224)
13.8 土壤微环境	(226)
13.9 习题	(227)
参考文献	(228)
第 14 章 湍流通量	(229)
14.1 本章概述	(229)
14.2 湍流	(229)
14.3 湍流统计	(230)
14.4 涡度相关	(232)
14.5 对数风速廓线	(232)
14.6 曼宁-奥布霍夫相似理论	(234)
14.7 传输方程组	(237)
14.8 习题	(239)
参考文献	(240)
第 15 章 土壤水分和大气边界层	(241)
15.1 本章概述	(241)
15.2 边界层性质	(241)
15.3 昼夜循环	(243)
15.4 土壤水分和地表通量	(245)
15.5 地表异质性和中尺度环流	(250)
15.6 习题	(252)
参考文献	(253)

第五部分 生物气象学

第 16 章 叶片能量通量	(255)
16.1 本章概述	(255)
16.2 叶片能量收支	(255)
16.3 叶片阻抗	(256)
16.4 叶片通量和温度	(258)
16.5 叶片—大气耦合	(260)
16.6 叶片大小和形状	(261)
16.7 习题	(263)

参考文献	(264)
第 17 章 叶片光合	(265)
17.1 本章概述	(265)
17.2 综述	(265)
17.3 光反应	(266)
17.4 暗反应	(267)
17.5 气孔	(269)
17.6 净光合作用	(270)
17.7 光合与蒸腾作用的折中机制	(273)
17.8 光合—气孔传导模型	(275)
17.9 协同的叶片特征	(277)
17.10 习题	(280)
参考文献	(281)
第 18 章 植被冠层	(283)
18.1 本章概述	(283)
18.2 叶面积指数	(283)
18.3 辐射传输	(284)
18.4 冠层光合	(288)
18.5 冠层导度	(291)
18.6 森林冠层的湍流交换	(292)
18.7 “大叶”冠层模型	(294)
18.8 多层冠层-土壤模型	(297)
18.9 环境对冠层通量的影响	(298)
18.10 习题	(301)
参考文献	(303)

第六部分 陆地植物生态学

第 19 章 植物策略	(306)
19.1 本章概述	(306)
19.2 植物碳平衡	(306)
19.3 生长和发育的季节性	(308)
19.4 分配	(311)
19.5 生命史类型	(313)
19.6 植物功能型	(320)
19.7 习题	(322)
参考文献	(323)
第 20 章 种群和群落	(325)
20.1 本章概述	(325)
20.2 生态位和物种丰度	(325)
20.3 环境梯度与群落	(330)

20.4	变化环境中的植物	(333)
20.5	习题	(334)
	参考文献	(336)
第 21 章	生态系统	(337)
21.1	本章概述	(337)
21.2	生态系统的概念	(337)
21.3	生态系统的结构和功能	(340)
21.4	净初级生产力的环境控制	(341)
21.5	生物地球化学循环	(345)
21.6	森林生产力与养分循环	(350)
21.7	净生态系统生产力	(354)
21.8	习题	(358)
	参考文献	(360)
第 22 章	植被动态	(362)
22.1	本章概述	(362)
22.2	种群动态	(362)
22.3	演替	(366)
22.4	植被演替机理	(376)
22.5	习题	(381)
	参考文献	(382)
第 23 章	扰动与景观	(385)
23.1	本章概述	(385)
23.2	植物群落的格局与过程	(385)
23.3	林窗动态	(386)
23.4	火灾	(389)
23.5	土地利用	(392)
23.6	习题	(401)
	参考文献	(402)
第 24 章	全球生物地理	(405)
24.1	本章概述	(405)
24.2	生物地理	(405)
24.3	净初级生产力和植物生物量	(409)
24.4	凋落物与土壤碳	(414)
24.5	气候变化	(416)
24.6	全球陆地生态系统模型	(422)
24.7	习题	(428)
	参考文献	(430)

第七部分 陆地强迫与陆地反馈

第 25 章	气候模式中的陆面过程	(435)
25.1	本章概述	(435)

25.2	水文气象模型	(435)
25.3	卫星地面数字产品	(442)
25.4	模式验证	(443)
25.5	陆地-大气耦合实验	(451)
25.6	气候-生态系统耦合模式	(452)
25.7	习题	(454)
	参考文献	(455)
第 26 章	季节到年内变率	(461)
26.1	本章概述	(461)
26.2	土壤水分	(461)
26.3	雪	(465)
26.4	叶片物候	(469)
26.5	习题	(472)
	参考文献	(473)
第 27 章	土地利用和土地覆盖变化	(478)
27.1	本章概述	(478)
27.2	生物物理过程	(478)
27.3	绿色行星/荒漠行星	(480)
27.4	干草地过牧	(482)
27.5	澳大利亚	(490)
27.6	热带森林砍伐	(493)
27.7	欧洲森林砍伐	(497)
27.8	美国土地清理	(498)
27.9	灌溉	(506)
27.10	湿地排水	(507)
27.11	土地利用作为气候强迫	(507)
27.12	习题	(510)
	参考文献	(511)
第 28 章	气候-植被耦合动力学机制	(519)
28.1	本章概述	(519)
28.2	生态系统对气候的反馈作用	(519)
28.3	雏菊世界	(520)
28.4	北非	(521)
28.5	泰加林-苔原生态交错带	(527)
28.6	大气 CO ₂ 浓度升高的植被反馈	(533)
28.7	习题	(536)
	参考文献	(537)
第 29 章	碳循环-气候反馈	(542)
29.1	本章概述	(542)
29.2	全球碳循环	(542)
29.3	陆地碳存储	(546)

29.4	碳与气候变化·····	(556)
29.5	碳循环—气候耦合模式·····	(558)
29.6	矿物气溶胶·····	(564)
29.7	生物地球化学与生物地球物理的集成研究·····	(566)
29.8	习题·····	(569)
	参考文献·····	(571)
第 30 章	城市化 ·····	(579)
30.1	本章概述·····	(579)
30.2	城市形态·····	(579)
30.3	城市热岛·····	(582)
30.4	城市能量通量·····	(585)
30.5	城市峡谷和辐射·····	(588)
30.6	城市边界层·····	(591)
30.7	城市公园·····	(592)
30.8	城市能量平衡模型·····	(596)
30.9	降水和其他气候影响·····	(597)
30.10	城市水文·····	(599)
30.11	习题·····	(602)
	参考文献·····	(604)
	译后记·····	(608)
	本书出现的有关专业名词术语中英对照·····	(609)

第 1 章 引言

1.1 生态气候学——概念

1.1.1 学科起源

生态学是研究生物之间及它们与环境之间相互作用的一门学科。它着重于理解自然界中生命的各种格局(例如:生物的空间和时间分布)以及调控这些格局的过程。气候学是研究大气的物理状态的一门学科:大气的瞬时状态或者天气过程,大气的季节和年际变化—气候的长期平均状态或者气候,以及气候如何随时间发生变化。这两个独特的研究领域——生态学和气候学—可以认为具有类似白天与黑夜之间的区别。一个是生物科学,另一个是地球物理科学。一个的基本法则是自然选择,另一个基本法则是物理学和流体动力学。但是,两者都有着共同的历史。

这两学科的起源要归因于亚里士多德(大约公元前 350 年)和西奥弗雷特斯(大约公元前 300 年),以及他们的著作《气象学》(Lee 1962)和《植物探秘》(Host 1968,1980)。生态学和气候学的现代起源可以分别追溯到自然历史学和植被地理学。17、18 和 19 世纪博物学家和地理学家在探索新区域时发现了植被的变化,在他们探索这些地理格局的解释时,奠定了生态学和气候学的基础。19 世纪初,洪堡(Alexander von Humboldt)注意到如果气候相似的话,即使相隔遥远的区域也存在结构和功能上相似的植被。Alphonse de Candolle 假定热带、温带、极地植被纬带分布是由温度引起的,并于 1874 年正式提出用温度界定的植被分布带,这为划分气候区提供了一个客观基础。1884 年柯本(Wladimir Köppen)根据植被分布图作出气候图。他的五个主要的气候区域与德堪多(de Candolle)的植被类型有着共同的温度界限(表 1.1)。主要气候带与主要植被带之间密切相关,许多亚气候带,如热带稀树草原、热带雨林、苔原地带也都是依植被命名的。虽然在现代气候制图中不再用植被命名,但是温度、降水量与树木年轮宽度、孢粉的丰度、叶子的形态之间的关系仍是重建过去气候一个主要方法。

表 1.1 德堪多植被类型与柯本气候类型之间的关系

De Candolle 植物类型	Köppen 气候类型	主要植被种类
高温植物	热带湿润气候	热带雨林
		热带稀树草原
旱生植物	干燥气候	沙漠
		草原
中温植物	亚热带中纬度湿润气候	暖温带落叶林
		暖温带针叶林
		地中海植被

续表

De Candolle 植物类型	Köppen 气候类型	主要植被种类
低温植物	大陆湿润气候	寒温带落叶林
		寒温带针叶林
		北方森林
寒温植物	极地气候	苔原

来源:由 Olinvaux(1996, p236)和 Oliver(1996)的资料改写

尽管生态学和气候学的起源相同,在 20 世纪它们还是以典型的学科发展模式发展成具有各自特色的研究领域。生态学可细分为动物生态学和植物生态学。植物生态学又进一步细分为生理生态学,种群生态学,群落生态学,生态系统生态学和景观生态学研究。天气和气候的研究则依据不同的空间尺度分为微气象学、中尺度气象学和全球气候学,及依据大气过程分为边界层气象学、水文气象学、辐射传输和全球动力学。

如果缺乏学科间的交流,生态学家和气候学家对同一对象,可能具有不同的认识。老 Pieter Bruegel 的名画“雪地里的狩猎者”可以很好地说明这一点(图 1.1)。卓越的英国气候学家 H. H. Lamb 在他的气候学著作中用这幅画说明了气候变化(Lamb 1977; Lamb 1995)。这幅画绘于 1565 年冬天,根据 Lamb 的记录,Bruegel 对那个冬天的体会是前所未有的严寒。Lamb 注意到,对荷兰冬天风景的长期艺术兴趣开始于此,这与欧洲长期的异常严寒时期是一致的。另外,Richard Forman 和 Michel Godron 在他们的景观生态学的书中则使用这幅画来说明景观生态学的概念(Forman and Godron 1986)。他们不把这幅画看成是一个异常寒冬的记录,而是作为对景观生态学核心原则的展示:景观要素的异质性,空间尺度和跨景观的运动。



图 1.1 雪地里的狩猎者(老 Pieter Bruegel)。源自维也纳艺术史博物馆

20 世纪 80 年代和 90 年代全球气候模式的发展改变了生态学和气候学研究的学科界限。这些模式需要陆地与大气之间能量、水分和动量交换的数学表达。但是,这些过程有一部分由植物通过自身的叶子、气孔和大量并不符合流体动力学的生命形式进行调节。因此,发展气候模式的大气科学家必须使他们的地球物理学框架扩展为生物地球物理框架(Deardorff 1978; Dickinson *et al.* 1986; Sellers *et al.* 1986)。这种发展与大气科学家把行星地球看成是气候系统或地球系统的趋势是平行的。地球过程不应限定为单个独立的学科来研究,如物理气候学,大气化学,水文学,生态学,地质学和海洋学,我们现在已经认识到,这些相互作用的物理、化学、生物分量构成了一个完整的系统。包含有陆地和大气能量、水分、动量交换的气候模式已经显著地改变了我们对陆地的气候系统中的作用的认识。现在广泛认为陆地生态系统对气候具有显著的反馈作用,并且自然和人类引起的土地覆盖变化会改变气候、水循环和生物地球化学循环。这种认识已经体现在气候与生命协同进化的概念中,即气候调节生物活动,而反过来,生物活动也通过能量、水和化学循环来调节气候。

植被变化能够改变气候的观点并不新鲜。北美洲殖民扩张时期,大量森林被迅速破坏用于建设城镇和农田,这促进了对开垦土地会如何影响气候的关注(Kittredge 1948; Thompson 1980; Feldman 1992)。对景观变化会如何改变气候这一问题的研究兴趣,19 世纪中期以普遍的认识“雨跟着犁耙走”达到极盛,这要归功于由于那时农耕和植树造林增加了大平原(Great Plains)的降水(Thompson 1980; Williams 1989)。在澳大利亚,随着 19 世纪初欧洲移民的涌入,原始森林大量砍伐和林地开垦所引起的气候变化也同样受到了关注(Lawrence 2004)。如今,从气候与生命协同进化的概念(Budyko, 1974, 1986; Schneider and Mesirow 1976; Lovelock 1979, 1988; Schneider and Londer 1984; Schneider *et al.* 2004)以及最近的认识中可见,气候变化减缓策略必须包含陆地生态系统对气候的反馈的综合评价(Betts 2007)。

1.1.2 学科框架

本书把生态学和气候学的相关领域合并成生态气候学交叉集成研究。生态气候学是一个旨在理解陆地景观在气候系统中的功能的交叉科学领域。它把物理气候学、微气象学、水文学、土壤科学、植物生理学、生物地球化学、生态系统生态学,生物地理学和植物动力学等学科结合在一起,以便认识景观影响气候的物理、化学和生物过程。本书新出现的一个中心主题是陆地生态系统通过能量、水分、化学元素和痕量气体的循环成为气候的一个决定因素。由自然植被的动态变化和人类对土地的使用和土地管理引起陆地生态系统变化是气候系统内部的一个重要反馈和强迫。

图 1.2 是一个传统分支学科的概念性框架。它们可归类为 5 个核心领域:以从分钟到小时尺度上调节与大气的能量、水分、动量及化学物质交换的生物地球物理和生物地球化学过程;调节这些交换的流域和水文过程;陆地生态系统与控制植物种类的丰度和分布以及其在群落和生态系统的地位的生态学过程;植被动态与生态系统结构和功能的时间变化。这些核心领域既有本学科领域的独特性,又通过共同的物理、化学和生物学过程相联系。

生物地球物理学是对生物圈和岩石圈与大气圈之前的物理相互作用的研究。它考虑了陆地和大气间的热量、水分和气体交换以及调节这些交换的气象、水文、生态等过程。动量传递在地表的植物和其他粗糙的因素对风的流动形成干扰时发生。而热量和水分交换在到达地球表面的净太阳辐射(R_n)作为感热(H)、潜热(λE , 也称为蒸散)返回大气或者储存在地面(G)时

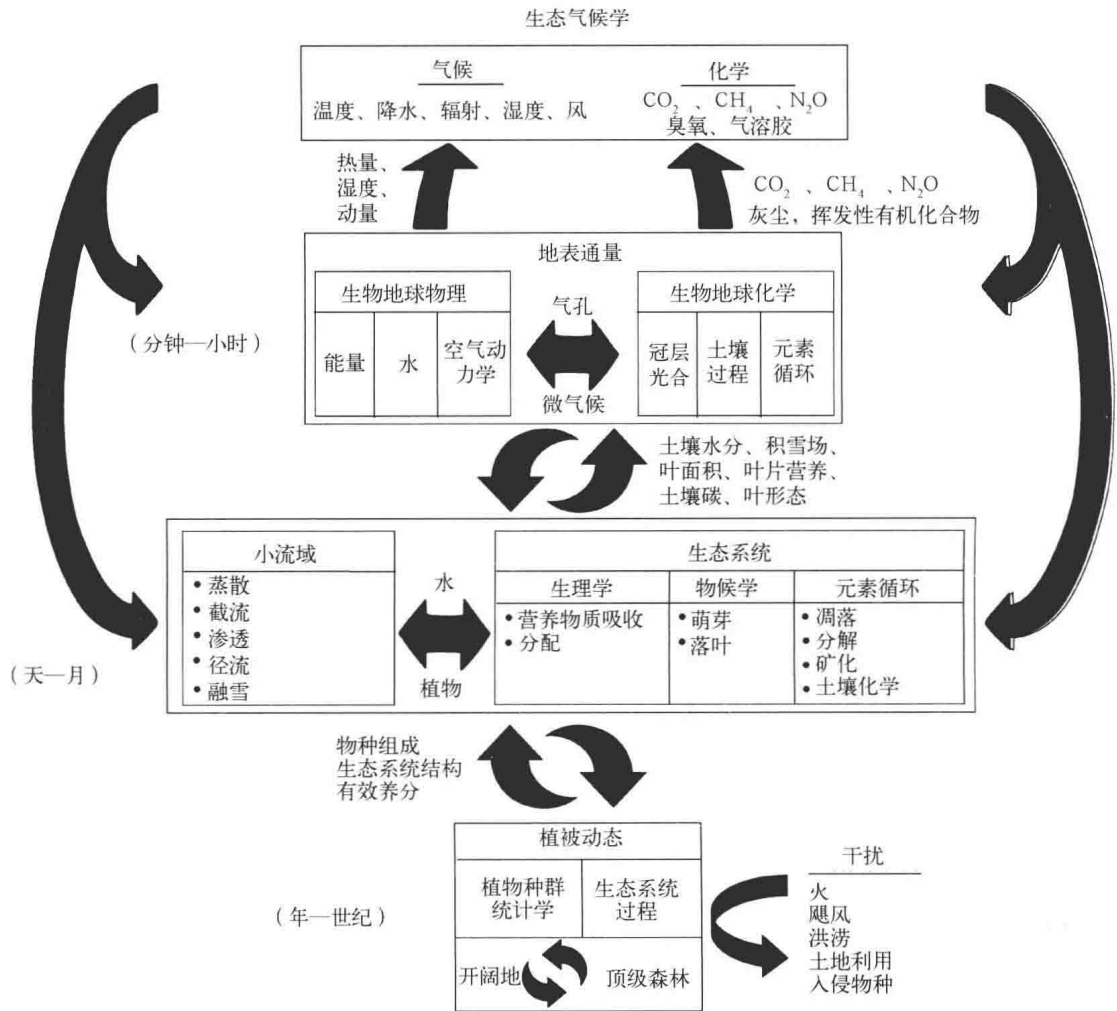


图 1.2 说明生态气候学的一个一般性框架。其中包括影响气候与天气的陆地生态系统生物地球物理和生物地球化学过程,调控这些过程的流域和生态系统过程,及在启动变化中植被动态的作用

产生。因此生物地球物理反馈可以通过地表能量平衡方程来理解：

$$R_n = S \downarrow (1 - r) + (\epsilon L \downarrow - \epsilon \sigma T_s^4) = H + \lambda E + G \tag{1.1}$$

其中： $S \downarrow$ 和 $L \downarrow$ 为向下短波辐射和长波辐射， r 为地表反照率。 $S \downarrow (1 - r)$ 项表示地表吸收的短波辐射， $\epsilon L \downarrow$ 项表示地表吸收的长波辐射。 $\epsilon \sigma T_s^4$ 表示在地表温度为 T_s 时所发射的长波辐射，这三项共同构成了净辐射。

地表能量平衡强调了两个重要陆地—大气反馈过程。第一个反馈与地表反照率有关，地表反照率的增加可由植被覆盖率减少所致，它能减少地表对太阳辐射的吸收，使得地表气候变冷。较少的能量以感热和潜热的形式返回大气，促进高空气流下沉从而减少降雨量。这种反照率对降雨的反馈在沙漠地区尤为显著。雪的高反射率在植被覆盖区相较于无植被覆盖区产生较暖的气候。第二个反馈与潜热通量或土壤水分的蒸散总量有关。高潜热通量与湿润的土壤可产生一个凉快、湿润的大气边界层——这种条件可能会对降雨量的增加构成反馈。而植被覆盖减少引起的潜热通量降低会使得地表气候变暖，从而减少降雨量，这种现象在热带森林砍伐地区表现尤为突出。