

The background of the book cover is a sepia-toned photograph of tall reeds or grasses in a body of water. The reeds are reflected in the rippling water, creating a complex, layered pattern of vertical and diagonal lines. The overall mood is natural and serene.

# 生态水文学

—陆生环境和水生环境植物与水分关系

〔英〕 Andrew J. Baird 编著  
Robert L. Wilby

赵文智 王根绪 译



海洋出版社

## 内 容 提 要

《生态水文学》一书阐述和探讨了各种环境植物与水分的相互作用问题。第一流的生态学家和水文学家针对干旱区(旱地)、湿地、温带森林与热带森林、河流和湖泊五大生态系统的生态水文问题进行了总结性的评述。各位执笔者提供了从个体细胞到植物群丛(林分)方面背景信息,深入讨论了尺度和数学模型在生态水文学中的应用问题。本书是综述有关陆生环境和水生环境植物与水分关系方面的第一本书,对于水文学家、生态学家、自然保护学家以及研究生态系统、植物生活和水文过程的其他学者都有很大的参考价值。

### **Ecohydrology**

Plants and water in terrestrial and aquatic environments

First published 1990 by Routledge

11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE

Simultaneously published in the USA and Canada by Routledge

29 West 35<sup>th</sup> Street, New York, NY 10001

*Routledge is an imprint of the Taylor & Francis Group*

©1999 Andrew J. Baird & Robert L. Wilby, selection and editorial matter; individual contributors, Chapters

《生态水文学》中文版经 Routledge 出版社授权出版。版权所有,未经 Routledge 许可,任何部分不得以任何方式翻印。

### 图书在版编目(CIP)数据

生态水文学/赵文智等编译. —北京:海洋出版社,  
2002.4  
ISBN 7-5027-5525-X

I. 生… II. 赵… III. 水环境-生态平衡  
IV. X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 010711 号  
图字: 01-2002-0822 号

**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

2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月兰州第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 17

字数: 392.8 千字 印数: 1~1000 册

定价: 40.00 元

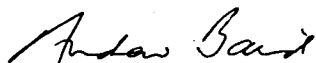
海洋版图书印、装错误可随时退换

22<sup>nd</sup> January 2002.

Dear Professor Wenzhi Zhao,

I am happy to grant copyright permission for the publication in Chinese of the book Baird AJ and Wilby RL (editors) (1999) *Eco-Hydrology: Plants and water in Aquatic and terrestrial Environments* by the Chinese Academy of Sciences.

Yours sincerely,

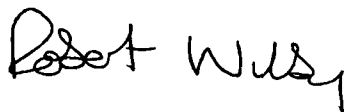


22<sup>nd</sup> January 2002.

Dear Professor Wenzhi Zhao,

I am happy to grant copyright permission for the publication in Chinese of the book Baird AJ and Wilby RL (editors) (1999) *Eco-Hydrology: Plants and water in Aquatic and terrestrial Environments* by the Chinese Academy of Sciences.

Yours sincerely,



First published 1999

by Routledge

11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE

Simultaneously published in the USA and Canada

by Routledge

29 West 35th Street, New York, NY 10001

*Routledge is an imprint of the Taylor & Francis Group*

© 1999 Andrew J. Baird & Robert L. Wilby, selection and editorial matter; individual contributors, chapters

Typeset in Garamond by Keystroke, Jacaranda Lodge, Wolverhampton  
Printed and bound in Great Britain by Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn

All rights reserved. No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical, or other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any information storage or retrieval system, without permission in writing from the publishers.

*British Library Cataloguing in Publication Data*

A catalogue record for this book is available from the British Library

*Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*

A catalog record is available on request

ISBN 0-415-16272-6 (hbk)

ISBN 0-415-16273-4 (pbk)

# 研究生态水文问题 服务西部生态建设

——《生态水文学》中文版代序

人类活动所造成的地球陆地生态系统正以前所未有的速度退化,水资源以及提供和支持水资源的相关生态系统也面临着人类活动引起的污染、非可持续利用、土地利用变化、气候变化及其他诸多方面的威胁。但环境科学家越来越相信,对生态水文关系的功能作用和重要性进行更加深入的了解,可以使这些退化的生态系统得以更新恢复和实现水资源的可持续利用。常规模式已经无法解决这些问题,需要寻求新的解决途径。

20世纪90年代兴起的生态水文学是水文学和生态学的交叉学科,是解决上述问题的理论工具之一,已成为生态环境研究的热点和生态环境建设的需求点。生态水文学以生态过程和生态格局的水文学机制为研究核心,以植物与水分关系为基础理论,将尺度问题贯穿于整个研究之中,研究对象涉及旱地、湿地、森林、草地、山地、湖泊、河流等。

生态环境保护和建设被作为西部开发战略的重要组成部分,充分说明西部地区生态环境建设的重大战略意义和极端重要性。但西部地区特别是青藏高原的广大地区(寒区)和分布在 $35^{\circ}\text{N}$ 以北、 $106^{\circ}\text{E}$ 以西的广大内陆河流域(旱区),生态条件严酷,生态环境建设富有挑战性。生态水文学规律是寒区旱区生态环境建设所必须遵从的重要规律。只有深入研究生态水文学规律,认识生态水文学规律,才能服务于生态建设的伟大实践。

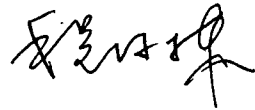
全球气候暖化引起冰川退缩、雪线上升、冻土退化,从而改变了青藏高原的生态系统的格局和过程,也改变了与其相关联的水文过程。这不仅影响青藏高原自身的生态环境,而且事关长江、黄河的生态环境。青藏高原的生态水文学规律的研究将会为高原生态环境的保护和恢复重建提供十分重要的指导。气候变化和人类活动已经极大地改变了生态系统格局和过程,也改变了相关的水文过程。水文过程特别是干旱区水文过程控制着土地荒漠化的主要调控者——植被的生长发育,所以水文过程的改变往往是干旱区主要生态环境问题——土地荒漠化的直接驱动力。因此,对生态水文过程机理的深入研究不仅可以为我国广大干旱区天然生态系统的可持续维持,而且为退化生态系统恢复重建提供重要的生态水文学依据。

英国剑桥大学 Keith Richards 主编的鲁特勒杰自然环境丛书(Routledge Physical

Environment Series)包括 10 卷,本书《生态水文学》(Eco-hydrology)列为首卷,于 1999 年出版。其余 9 卷分别为《环境公害:评估危险频率和减灾》、《干旱区水资源》、《冰期地球:晚第四纪地质学和气候》、《荒漠沙丘地貌学》、《热带环境:热带生态系统的功能和管理》、《山岳天气和气候》、《热带森林生态系统》、《地中海地区环境问题》和《山岳地理学》。

赵文智和王根绪两位博士翻译的、赵兴梁研究员校对的《生态水文学》,是由英国谢菲尔德大学(Sheffield University)自然地理系讲师 Andrew J. Baird 博士和德比大学(Derby University)自然地理系高级讲师、美国国家大气研究中心项目科学家 Robert L. Wilby 博士共同编著、伦敦鲁特勒杰(Routledge)出版社 1999 年出版,是综述有关陆生环境和水生环境植物与水分关系方面的奠基之作,阐述和探讨了各种环境植物与水分的相互作用问题。一流的生态学家和水文学家针对干旱区(旱地)、湿地、温带森林与热带森林、河流和湖泊五大生态系统问题进行了总结性的评述。

中国在生态水文学方面已进行了大量的探讨,但系统的生态水文学研究正在起步阶段。可以预料,《生态水文学》中文版的出版发行将会引起我国从事生态学和水文学研究者的兴趣,并对推动我国生态水文学特别是寒区旱区生态水文学的深入开展发挥作用。



2001 年 10 月于兰州

## 译著前言

生态水文学是 20 世纪 90 年代以来兴起的一门边缘学科,是描述生态格局和生态过程水文学机制的一门科学,是研究植物如何影响水文过程及水文过程如何影响植物分布和生长的水文学和生态学之间的交叉学科。生态水文学可以积极地用来保护和改善景观而不是消极地用来进一步开发利用景观。近 20 年来,水文过程在生态系统中的重要性和植物对水文过程的影响变得越来越明显。任何生态系统格局和生态过程的变化都与水文过程相关联。正确管理水资源的方法,应该建立在对生态系统格局和过程的水文学机制深入了解的基础之上,这正是生态水文学的核心之所在。

由英国谢菲尔德大学(Sheffield University)自然地理系讲师 Andrew J. Baird 博士和德比大学(Derby University)自然地理系高级讲师、美国国家大气研究中心项目科学家 Robert L. Wilby 博士共同编著的,伦敦鲁特勒杰(Routledge)出版社 1999 年出版的《生态水文学》是综述有关陆生环境和水生环境植物与水分关系问题方面的第一本书,阐述和探讨了各种环境植物与水分相互作用问题。本书对于水文学家、生态学家、自然保护学家以及研究生态系统、植物生活和水文过程的其他学者都有很大的参考价值,也是生态水文学专业理想的研究生教学参考书。

水资源的管理事关西部开发战略的成败和西部地区社会经济的可持续发展。西部地区特别是青藏高原,是我国许多江河的发源地,素有中国“水塔”和“生态源”之称,还分布着大量的湿地和湖泊,湿地和湖泊的保护,不仅对局地生态环境,而且对江河源生态环境的保护都具有重要意义。此外,西北干旱区内陆河流域开发利用和生态环境保护、北方地区人工植被土壤干化、农牧交错带荒漠化土地综合整治、植物固沙中流沙斑块的大小和格局对沙地水分平衡的影响,干旱区生产用水和生态用水的关系以及维持干旱区内陆河流域持续发展的生态需水,特别是维持内陆河下游天然绿洲稳定的生态需水等生态水文问题已成为我国特别是寒区旱区环境建设和社会经济可持续发展的关键问题。在生态水文学理论与方法指导下,揭示生态格局和生态过程的水文学机制,将会为管理水资源、指导西部地区生态环境建设提供科学依据。

一直关注寒区旱区水资源和生态环境问题的程国栋院士深刻地认识到生态水文学问

题对水资源保护和利用的重要性,并将生态水文学作为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新的重点研究方向之一,旨在推动我国生态水文学特别是寒区旱区生态水文学的深入研究。1999年底他从国外带回《生态水文学》原著,安排我们译成中文,多次过问此书的进展,还亲自校正了本书的部分章节。本书的出版发行与程院士的大力关心和支持是分不开的,在此表示由衷感谢!我们还要特别感谢我国治沙界的老前辈赵兴梁研究员,他不顾年迈体弱,放弃了许多休息娱乐时间,对本书原译稿进行了非常认真地校正。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所水土资源室主任康尔泗研究员对本书的出版给予多方支持,陈仁升博士、张济世博士、何志斌硕士也不同程度地帮助校改本书。《中国沙漠》编辑部的金炯编审、郝美玲、孙良英同志为本书的出版,在编辑、排版、校稿、插图制作等方面付出了辛勤劳动。该书原著的主编 Andrew J. Baird 博士,Robert L. Wilby 博士和鲁特勒杰出版社的版权助理 Jane Fisher 博士在解决本书的版权问题上提供了帮助。在此向为本译著的出版做出过贡献的前辈、同仁们表示诚挚的谢意!本译著出版经费由西部地区特殊学科和人才培养基金、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所所长基金、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新课题“生态需水和生态地下水位研究”资助。

由于本译著专业领域宽、知识面广,加之译者水平有限,如有不妥和纰漏之处是译者的过错,望大家批评指正。

译 者

2001年10月于兰州

## 原著前言

我们生活在学院式学科之间的界限日益变得模糊的时代。当代许多环境问题和重要研究课题只有通过有关学科的合作才得以解决。例如,就自然保护而言,湿地生态系统的管理就需要包括生态学家与水文学家的密切合作,以便了解一个特殊湿地特定植物群落对水位和水质的需要。同样,为了保护自然,湿地管理也需要对应该加以保护的植物种和生境作出评价,这里涉及社会科学、环境伦理学和环境法的领域。

本书试图论述生态学与水文学之间的重叠领域。最近 20 年,生态学家们越来越认识到水文过程对生态系统功能有重要影响。尽管一些简单的概念模式如水生演替系列(这一演替系列可反映植物与地下水位的的关系模式)已经得到广泛的认可,但对水文过程与个体植物和植物群落的互相影响问题仍然缺乏详细了解。水文学家们也深刻地认识到植物对水文过程的影响。例如,在干旱和半干旱环境中,水文学家发现植物的分布对地表漫流和侵蚀有深远的影响。同样,水分的可获得性严重地制约着植物的分布和覆盖度。

上述这些关系都属于生态水文学(eco-hydrology)的范畴。但是,这一术语不应当与“水文生态学”(“hydro-ecology”)混淆。水文生态学是从狭义方面描述河流和泛滥平原的生态过程和水文过程。虽然“生态水文学”术语经常被生态学家用来描述湿地中地下水位与植物分布的关系,但该术语也能被用来描述其他环境中的植物与水分关系。因此,就探讨生态水文学而言,本书覆盖的水文环境范围比水文生态学要广阔一些。虽然本书旨在把读者引导到生态水文学的有关主题方面,但这并不是一本通常意义上的启蒙教科书。设想本书的读者对水文学和生态学已经有了很好的基本知识,因此,本书着眼于高年级大学生和初次从事这方面研究的研究人员。尽管本书是经过编辑的文集,我们就编写准备工作方面却采取与以往不太一样的方法。我们觉得让一、两位或甚至三位作者对生态水文学的不同领域进行精辟的综述是不可能的,所以采取许多作者共同编写的方法。与目前普遍采用的许多作者开会讨论的程序不同之处在于,本书详细的结构和内容是事先议定好的,并对各章的执笔者进行了周密的安排。但是,开会讨论也有积极的一面,可使执笔者在出版著述以前得以听取其他代表所提出的广泛而有建设性的意见。其实,审稿工作的基础是很宽的。考虑到这一优越条件,由英国生态学会和水文学会共同发起的并



于1997年10月18日在谢菲尔德大学举办了生态水文学公开研讨会,主编把执笔者都邀请到会,同时参加会的有50多位学者、教授级水文学家和热爱本专业工作的生态学家。提交会议的论文引起了极其有益的讨论和反应,我们感谢所有的与会者为这次研讨会取得成功所做的努力。

除了这次研讨会上收到的意见外,每章分别又进行送审。Jo Bullard 博士、Tim Davie 博士、George Hornoerger 教授、Ricard John Huggett 博士、Hugh Ingran 博士、Patricia Rice 博士、Neil Roberts 教授、Peter Smithson 教授、David Thomas 教授和 Ian Woodward 教授参与审稿工作,在此一并表示感谢。我们还要感谢鲁特勒杰(Routledge)自然环境丛书工作者 Sarah Catty 的耐心,因为本书的高级编辑将交稿日期比计划推迟了5个月。他的电子邮件可以说是彬彬有礼的典范!书中的许多插图是由谢菲尔德大学地理系制图室 Paul Coles 和 Graham Allsop 重新统一清绘的。德比(Derby)大学 Oliver Tomlinson、Andy Barrett、Simon Birket 和 Sally Edwards 帮助整理了图表,在此一并表示感谢。最后,我们非常感谢本书的作者们,在学术界面临撰写涉及国际问题的研究论文方面的压力越来越大的时候,以致危及本书各章的编写工作,他们还是一致同意提交各自负责编写的有关章节。

我们谨以本书献给我们的家庭: Andrew J. Baird 家人 Laura、Aileen、Hester 和 Robert L. Wilby 家人 Dawn、Samuel。

主 编

1998年8月分别写于英国谢菲尔德和美国博尔德

# 目 次

研究生态水文问题 服务西部生态建设——《生态水文学》中文版代序 .....	( i )
译著前言 .....	( iii )
原著前言 .....	( v )
第一章 绪论 .....	Andrew J. Baird (1)
第一节 什么是生态水文学 .....	(1)
第二节 各章内容简介 .....	(3)
参考文献 .....	(5)
第二章 植物水分关系 .....	Melvin T. Tyee (8)
第一节 植物细胞水分关系 .....	(8)
第二节 植物水分关系 .....	(11)
第三节 植物根的吸水作用 .....	(14)
第四节 水分移动途径(水力结构) .....	(16)
第五节 内聚力-张力理论与木质部功能失调 .....	(18)
第六节 制约水分吸收和运动速率的因素 .....	(20)
第七节 凋萎和渍水 .....	(24)
结论 .....	(26)
参考文献 .....	(26)
第三章 生态水文关系相互作用的尺度问题 .....	
..... Robert L. Wilby David S. Schimel	(28)
第一节 特征观测尺度 .....	(29)
第二节 过程尺度、异质性和变异性 .....	(32)
第三节 外推和整体定标技术 .....	(35)
第四节 统计降尺度技术 .....	(41)
第五节 分布技术 .....	(44)
第六节 生态过程与水文过程之间的尺度和尺度不匹配 .....	(47)
参考文献 .....	(49)
第四章 干旱区的水分与植物 .....	John Wainwright Mark Mulligan John Thornes (55)
第一节 干旱区的生态水文过程 .....	(55)
第二节 建立干旱区生态水文过程模型 .....	(69)
第三节 干旱区生态水文时空演化 .....	(71)
第四节 干旱区生态水文现状和未来的模拟——以地中海地区研究为例 .....	(77)
结论 .....	(80)
参考文献 .....	(81)
第五章 淡水湿地水分与植物 .....	Bryan D. Wheeler (91)
第一节 绪论 .....	(91)
第二节 湿地水分状况和植物 .....	(98)
第三节 植被对水分动态的影响 .....	(109)
第四节 水化学成分 .....	(112)

参考文献	(117)
<b>第六章 森林和疏林中的植物与水分</b>	John Roberts (130)
第一节 森林的水分循环	(131)
第二节 森林的蒸腾作用	(132)
第三节 截留	(132)
第四节 蒸腾作用	(136)
第五节 森林对土壤的影响	(147)
第六节 典型研究	(150)
结论	(159)
参考文献	(160)
<b>第七章 河流植物与水分</b>	Andrew R. G. Large Karel Prach (169)
第一节 植物对河道水流的影响	(171)
第二节 河道形态和流型对水生植物的影响	(175)
第三节 水质	(180)
第四节 干旱和洪水	(182)
结论	(183)
参考文献	(185)
<b>第八章 湖泊及其毗连地区的植物与水分</b>	Robert G. Wetzel (191)
第一节 水生生态系统的陆水界面带	(191)
第二节 水向湖泊流动和湖内水分运动	(193)
第三节 养分源地及其在湖中的分布	(196)
第四节 湖盆形态与水生植物群落	(201)
第五节 作为湖泊水文过程控制因素的植物	(203)
结论	(207)
参考文献	(208)
<b>第九章 建立模型问题</b>	Andrew J. Baird (212)
第一节 什么是模型?	(212)
第二节 什么是生态水文模型?	(219)
第三节 模型的简单性和复杂性	(220)
第四节 建立好模型的计划	(223)
第五节 建立模型与数学问题	(233)
第六节 生态水文模型中的尺度、过程和控制方程	(236)
第七节 数学模型的价值	(238)
参考文献	(239)
<b>第十章 生态水文学展望</b>	Robert L. Wilby (243)
第一节 掌握环境的不确定性	(244)
第二节 生态水文实验	(247)
第三节 全球尺度的生态水文学	(249)
第四节 应用生态水文学	(253)
结论	(257)
参考文献	(257)

# 第一章 绪 论

Andrew J. Baird

## 第一节 什么是生态水文学

生态水文学,顾名思义,涉及水文学和生态学这两方面的研究。在试图给它定义以及由此来阐明本书的内容之前,回顾过去生态学和文学各自分别的及相结合的研究状况是必要的。作为一门学科,水文学具有很长的历史,Biswas(1972)和 Wilby(1997a)对此曾做过详细说明。但作为一门科学,却是近代的事。Bras(1990:p. 1)给现代水文学定义为“研究地球上一切形式的水及其从发源到终点循环”的科学,该定义的含义在于必须了解水是如何通过物理环境和生物环境进行循环和运动的。该定义也反映出水的连续性原理或平衡方程;这就是说为了了解一个系统中的水文问题,我们要能够计算出进入、流出以及贮存于这一系统中的水。正如 Baird(1997)继 Dooge(1988)之后所指出的,连续性原理可以认为是水文学的基本原理或方程。但这一原理占主导地位,是近代的事,令人们惊奇的是早期的水文学家不了解降水是江河水流的惟一来源。显然,这种现象一直延续到 Palissy(1510~1590)以前的时候,他揭示出流域降水足以维持河川径流(Biswas, 1972:152)。水文学的历史多半是由于获得和分配饮用水的必要性所决定的。因此,这一学科还有着工程背景。

今天,水文学仍然是与供水、污水处理及洪水预报密切相关的一门工程学科,正如工程师所研究的,水文学与管道和渠道的水力学有密切关系。水文学和水力学与水文学知识的实践应用相结合,往往成为权威性水文学和水力学教科书的焦点,Chow(1959)、Linsley *et al.* (1988)和 Shaw(1994)为工科学士所编著的课本就是这种情况。尽管 Palissy 等人的工作有所创新,但水文学作为一门科学也不过是最近几十年的事。Ward(1967)的《水文学原理》一书的出版,代表了水文学作为科学向非专家读者论述其基本原理的初期尝试之一。现在有许多教科书和杂志涉及科学水文学,前者包括 Parsons 和 Abrahams (1992)、Hughes 和 Heathwaite (1995)及 Wilby (1997b)论文,后者如《水文学杂志》、《水资源研究》及《水文过程》。然后,大约从 20 世纪 80 年代初期以来,水文学家才日益关注景观中水与生态过程的相互关系。例如,过去,水文学家在使用曼宁 1889 年的通用流量公式(Manning 1889 Universal Formula)时把河道中的植物仅作为特殊粗糙度系数来考虑。而现在,越来越多的水文学家关注流速如何影响河道内的植物生长以及河川径流状况与滨岸生境生态过程的相互关系(Petts and Bradley, 1997; Petts *et al.*, 1995)。

由此就诞生了所谓水文生态学(hydro-ecology)的这一分支学科,该学科侧重研究河流及泛滥平原区的水文与生态过程以及建立模拟这两个过程相互作用的模型,比如自然生境模拟模型(HABitat SIMulation model or PHABSIM)(Bovee,1982)。水文学家不再

把植物和生态过程视作水文景观的静态部分。另一个反映水文学家研究植物在水文景观中的作用的一个突出实例,就是研究蒸散对蒸腾和降水截留的问题,这是最近的实例(Davie and Durocher, 1997a,b)。生态学家通过类似的方法在评价生态系统中的贮水和水的传输方面是越来越富有经验了。最后,特别是在 20 世纪 90 年代,工程水文学与科学水文学之间的界线似乎变得模糊起来,工程师越来越关注工程建设对生态过程的影响和以前所建河流的自然化(naturalisation)问题。同样,工程师对这一学科的科学进展也起了相当重要的作用。比如,工程师像科学家一样,利用复杂的野外设备和实验设备以及计算机模型研究自然和半自然水道内的复合径流结构和泥沙运动(Ashworth *et al.*, 1996; Hodkinson and Ferguson, 1998; Niño and García, 1998; Tchamen and Kahawita, 1998)。

在许多权威性的生态学教科书中,比如在 Brewer (1994)、Stirling (1992)和 Colinvaux (1993)所著的教科书中,对生态学的历史都有详尽的叙述。据 Brewer(1994),生态学(ecology)一词最早是由德国动物学家 Ernst Haeckel 在 1866 年首先杜撰的(德语为 Ökologie),但是基于希腊语中的“oikos 一词的,意为居室。虽然 Haeckel 用这一术语描述动物与自然环境和生物环境之间的关系,该词常被用来描述任何一种有机体或有机体群与其环境的关系和环境彼此间的关系。正如 Brewer(1994:p. 1~2)所说:“生态学是研究相互作用的。森林中的植物与动物名录仅仅是生态学的第一步。生态学还要知道谁吃谁,或什么植物由于不能忍受阴暗而在森林中逐渐消亡,抑或这些植物能够生长在森林之中,但却被吃掉了。”生态学发源于自然历史,直到 20 世纪中叶,生态学通过演替过程着重于描述群落和群落的演化。Clements(1916)认为生态演替的含义在于群落向最后稳定状况的有序变化,所谓最后稳定状态,即演替顶极(climax)。演替的基本概念是以海岸沙丘系统和湖边系统这两个系统来加以很好说明的。对于前者,演替系统叫做沙生演替系列(psammosere),而后者,演替系统则称之为水生演替系列(hydrosere)。有趣的是,这两种系统的演替似乎是水文过程和生态过程紧密联系的产物。例如就水生演替系列而言,假定植物越远离水边,其受水渍的能力就越弱。于是,这两种演替就成了生态水文模式的早期实例,人们从中对水在植物生长和生存中的作用也就有了明确的认识。现在人们已认识到,假定对沙生演替系列和水生演替系列的经典性描述即使有一点进展的话,那也是罕见的,而且,关于植物与其自然环境的关系方面比从前想像的要更复杂。例如,Wheeler 和 Shaw (1995:p. 63)就湿地研究方面曾经指出:“自然保护论者一般都希望对泥沼(mire)植被与水文之间的相互关系能有一个明确的了解,以帮助他们预测水文变化对植被的大致影响……不过,尽管做过大量的研究……低位沼泽(fen)的水文及其植被成分可说是一无所知。”

本书第五章对这一问题进行了详细讨论。在植物生长和生态与水文过程之间的双向联系方面,是在一系列环境中进行研究的,并不限于湿地。例如,Veenendaal 等(1996)在研究中发现了在西非热带雨林林冠下的水分胁迫之下和森林间隙有幼苗生存的情况,Pigott 和 Pigott (1993)在法国南部地中海气候带的边界上调查过水分有效性为树木分布的一个决定性因素。还有其他许多非湿地生态水文研究的实例,其中包括 Berninger (1997)、Jonasson 等(1997)、Stocker 等(1997)、Bruijzeel 和 Veneklaas (1998)以及 Hall

和 Harcombe (1998)等学者的研究。

但是,用于描述水与植被关系的“生态水文学”一词原是湿地生态学家仅为湿地研究而杜撰的(Ingrarm,1987),看来,使用该术语至少达 20 年之久(G. van Wirdum and H. A. P. Ingram, 私人通信)。在《植被》(Vegetatio)杂志专刊关于湿地生态水文过程的论文集的序言中,Wassen 和 Grootjans (1996:p. 1) 仅从湿地所发生的过程方面,给“生态水文学”定义如下:

生态水文学是应用性的交叉学科,旨在更好地了解水文因素如何决定湿地生态系统(wet ecosystems)的自然发育,特别是在自然保护和更新方面是很有价值的。

阅读这本植物杂志专刊的论文是会有所启发的,因为这些论文给“生态水文学”术语的使用者提供一种洞察力,引导他们的研究。在这些论文中一再出现的主题在于对所研究的生态系统中的水文、水化学和植被格局是分别观测的,然后才加以相互联系。Wassen 等(1996)的论文在这一方面尤为明显,他们对自然景观和人工景观中的低位沼泽从水文变化、水质和植被成分方面进行了比较。同样,Grootjans 等(1996a) 研究了沙丘低地植被变化与地下水量和水质的关系。有点出乎意料的是,在实验室内或野外就影响植物生长的因素方面所进行的控制性实验,在研究方案中显得并不突出。这些论文的第二个主题在于把科学知识实际应用于生态系统管理方面特别是自然保护方面。

但在这些论文中对生态水文学所下的定义显得有点狭窄。首先,该术语用于叙述湿地研究;其次,该术语主要叙述基于野外的研究工作,至于水文变量与生态变量之间的关系,限于探索而已,没有包含控制性实验;再则,生态水文学是与科学思想的实际应用相结合的,特别是在自然保护方面。有趣的是,同时有点混乱的是,Grootjans 等(1996b; 刊于 Wassen and Grootjans, 1996) 似乎认识到生态水文学这一术语可较为广泛地加以运用,他们认为“生态水文学是生态学的水文方面问题的一门科学;是从生态问题着眼研究的生态学之间的一种重叠。”这一定义尽管有所拓宽,但仍强调解决生态问题,这大概与上述的自然保护问题有相同之处。

最近,Hatton 等(1997)应用生态水文学这一术语概述植物与水分的相互作用,并建议生态水文平衡的 Eagleson (1978a~g)理论应成为生态水文研究的核心。Hatton 等关于生态水文模型建立的观点将在本书第九章中予以讨论。

## 第二节 各章内容简介

本书中关于生态水文学的定义比任何一个定义都拓宽一些(Wassen and Grootjans, 1996; Grootjans *et al.*, 1996b),这在前面说过了。从 eco 是 hydrology(水文学)的一个修饰词可以推断 eco-hydrology(水文生态学)偏向于水文学而不是生态学。然而,仅从植物与水分如何互相影响方面考虑植物与水分的关系,是不可取的,也是不可能的。因此,本书虽侧重于研究水文过程,但也考虑这些过程是如何影响植物生长的。此外,正如上面所提及的,并没有关于生态水文学应该仅涉及湿地中的过程这一方面的什么内在原因。

生态水文关系在许多生态系统中,甚至在所有生态系统中,都是很重要的。这种关系

尽管在湿地中非常重要,但在森林和旱地的生态系统中无疑也是同样重要的。因此,本书按 Hatton 等(1997) 广义的生态水文学定义,试图探讨一系列环境中的生态水文过程,涉及旱地、湿地、森林、河流和湖泊。不过,编写一本反映生态水文过程每一方面的书本几乎是不可能的。基于这种认识,本书的重点在于探讨陆地生态系统和水生生态系统中植物与水分的关系。尽管在结论中承认海洋生态系统在全球水系中具有极其重要的作用,但本书并没有论述其细节。

对一个主题深入的探讨是值得编纂一本书的。由于同样的原因,水分作为制约动物种群的一个环境因素之作用也没有涉及到。即使涉及的陆地生态系统和水生生态系统,也不可能对所有的生态系统进行综合论述。因此,对苔原和中纬度草地的生态水文过程同样也没有予以讨论。尽管本书讨论的重点是有所选择的,但在某些问题方面仍希望本书所提供的资料能够揭示生态水文学方面的主要研究主题及趋势。最后,本书还评述了生态水文研究的一系列方法,其中包括控制性实验。

第四章到第八章分别探讨了上述五种环境或五种生态系统类型的植物与水分关系。在第四章,John Wainwright、Mark Mulligan 和 John Thornes 论述了旱地的生态水文过程。这三位作者分析了旱地植物如何克服一般很少的而又多变的降水量。他们也分析了植物如何影响旱地的径流和水蚀问题。这一章也涉及尺度问题。在空间上,讨论了旱地大尺度土壤-植被-大气传输(SVAT)情况下的小尺度过程的相互作用问题。在时间上,从气候变化方面探讨了地中海地区的植被演化问题。

在第五章中,Bryan Wheeler 讨论的是湿地中的植物和水分。作者着重分析湿地水位如何影响植物的生长和生存。Wheeler 认为,不仅水容积是至关重要的;水位状况像绝对水位一样,对植物生长有很强的制约作用。可是,尽管有大量证据表明水分影响植物生长,但应当明白,关于水位或水位状况与植被植物种成分之间的关系,仍然是难以理解的。决定植被成分和水位关系的众多因素包括水源,而水源又影响水的养分状况;也包括水分对湿地土壤内的其他过程,例如对氧化还原反应的影响。Wheeler 分析了植物在影响湿地水位中的作用时认为这种影响主要是通过植物制约着许多湿地有机物质的结构来实现的。

在第六章中,John Roberts 探讨了森林中植物与水分的关系。强调了树木如何影响水分向地面的传输以及如何通过蒸散过程影响土壤水分状况。综述了有关的各种过程尤其是树冠截留雨水和蒸腾的观测方法和模型建立问题。Roberts 还着重讨论了热带雨林和温带森林的水文过程,比较了两种森林的水分传输过程。他指出对北方森林和地中海森林的植物与水分关系知之甚少,他认为这些生态系统应该是森林水文学今后研究的重点所在。

在第七章中,Andrew Largy 和 Karel Prach 讨论了河流中的植物与水分。植物对河流的水力特性有很大的影响,这主要是因为植物影响河道的粗糙度和河水的摩擦力。植物这种确切的影响取决于河流水位、河道植被的植物成分和密度。水流状况也对河道内植物的生长和生存有深远的影响。如果水流太强,植物可能被从河道基质中拔出,或者根本不可能立足。同样,基质的稳定性也与水流状况有关,而基质的稳定性则影响河道植物的扎根作用。像湿地中的情况一样,水文状况与平均条件同样重要,洪水和干旱成为河道

中植物得以生长的一个特殊影响问题。

在第八章中,Robert Wetzel 探讨了湖泊中的植物和水分问题。植物对制约湖泊水位的作用是很大的。就这方面而言,湖岸植被尤为重要。在开阔水域浮游生物尽管能改变温度条件,影响蒸发、水层及其混合过程,但对湖盆的水通常并不重要。事实上,湖边植被的蒸散比开阔水面的蒸发大数倍,超过湖泊系统其他形式的水分损失。湖边地下水位的下降也改变着地下水进出湖泊的格局。湖泊中由风产生的水分运动不仅搬运泥沙和养分,因而也能影响到植物在湖泊系统中的定植。湖岸露生植被的存在对这种水分运动也有很大影响。

为了给特定环境的主题资料打基础,本书还包括了三章“一般性的”问题。其中第二章,Melvyn Tyree 讨论了植物的水分关系。旨在给读者提供有关植物如何利用水分的一些基本知识。现有的许多水文学教科书着重于讨论蒸腾,很少涉及水分从植物根到叶的运动以及渍水和干旱对植物生长和生存的影响。因此,第二章也为其他各章特别是第四章到第八章打下坚实基础。第三章的主题是尺度,植物的水分关系是从细胞、整个植株和植物群丛的尺度进行讨论的。Robert Wilby 和 David Schimel 在第三章中说明以不同尺度探讨了生态水文关系问题。尺度对水文学和生态学来说都是一个越来越重要的主题,尺度对于了解从研究小区到区域和全球不同尺度的生态水文过程是至关重要的。如何把不同尺度的观测结果加以联系,及我们如何评价发生在某一个尺度上的过程对较大尺度过程和较小尺度过程的影响也是很重要的。在第九章中,Andrew Baird 讨论了模型在生态水文学中的作用。模型经常被用来模拟环境过程,以便了解这一过程;模型也被用来进行理论检验。作者强调了建立生态水文模型的重要性和迫切性。但是,为了对生态水文过程进一步做到科学的了解,设计切合实际的模型至关重要。当然,经常面临的危险是模型设计得过于复杂抽象化,以致难以理解和应用。

在第十章中,Robert Wilby 提出了生态水文学研究的未来方向。他回到了尺度的主题,并探讨了全球尺度生态水文学的前景问题。他还强调了生态水文学实验途径的作用,分析了有关生态水文过程的知识可应用于人类所干扰的生态系统管理问题。

## 参考文献

- Ashworth, P. J., Bennett, S. J., Best, J. L. and McLelland, S. J. (eds) (1996) *Coherent Flow Structures in Open Channels*, Chichester: Wiley, 733.
- Baird, A. J. (1997) Continuity in hydrological systems, in Wilby, R. L. (ed.) *Contemporary Hydrology: Towards Holistic Environmental Science*, Chichester: Wiley, 25~58.
- Berninger, F. (1997) Effects of drought and phenology on GPP in *Pinus sylvestris*: a simulation study along a geographical gradient, *Functional Ecology* 11: 33~42.
- Biswas, A. K. (1972) *History of Hydrology*, Amsterdam: North Holland.
- Bovee, K. D. (1982) *A Guide to Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*. In-stream Flow Information Paper 12, FWS/OBS-82/26. Office of Biological Sciences, US Fish and Wildlife Service, Fort Collins.
- Bras, R. L. (1990) *Hydrology: an Introduction to Hydrologic Science*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Brewer, R. (1994) *The Science of Ecology* (second edition), Fort Worth: Harcourt Brace.
- Bruijnzeel, L. A. and Veneklaas, E. J. (1998) Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet, *Ecology* 79: 3~9.



- Chow, V. T. (1959) *Open Channel Hydraulics*, New York; McGraw-Hill, 680.
- Clements, F. E. (1916) *Plant Succession*, New York; Carnegie Institute of Washington.
- Colinvaux, P. (1993) *Ecology 2*, New York; Wiley.
- Davie, T. J. A. and Durocher, M. G. (1997a) A model to consider the spatial variability of rainfall partitioning within deciduous canopy. 1. Model description, *Hydrological Processes* 11; 1509~1523.
- Davie, T. J. A. and Durocher, M. G. (1997b) A model to consider the spatial variability of rainfall partitioning within deciduous canopy. 2. Model parameterization and testing, *Hydrological Processes* 11; 1525~1540.
- Dooge, J. C. I. (1988) Hydrology in perspective, *Hydrological Sciences Journal* 33; 61~85.
- Eagleson, P. S. (1978a) Climate, soil, and vegetation. 1. Introduction to water balance dynamics, *Water Resources Research* 14; 705~712.
- Eagleson, P. S. (1978b) Climate, soil, and vegetation. 2. The distribution of annual precipitation derived from observed storm sequences, *Water Resources Research* 14; 713~721.
- Eagleson, P. S. (1978c) Climate, soil, and vegetation. 3. A simplified model of soil water movement in the liquid phase, *Water Resources Research* 14; 722~730.
- Eagleson, P. S. (1978d) Climate, soil, and vegetation. 4. The expected value of annual evapotranspiration, *Water Resources Research* 14; 731~739.
- Eagleson, P. S. (1978e) Climate, soil, and vegetation. 5. A derived distribution of storm surface runoff, *Water Resources Research* 14; 741~748.
- Eagleson, P. S. (1978f) Climate, soil, and vegetation. 6. Dynamics of the annual water balance, *Water Resources Research* 14; 749~764.
- Eagleson, P. S. (1978g) Climate, soil, and vegetation. 7. A derived distribution of annual water yield, *Water Resources Research* 14; 765~776.
- Grootjans, A. P., Sival, F. P. and Stuyfzand, P. J. (1996a) Hydro-chemical analysis of a degraded dune slack, *Vegetatio* 126; 27~38.
- Grootjans, A. P., Van Wirdum, G., Kemmers, R. H. and Van Diggelen, R. (1996b) Ecohydrology in the Netherlands; principles of an application-driven interdisciplin [sic], *Acta Botanica Neerlandica* (in press) (cited in Wasen and Grootjans, 1996).
- Hall, R. B. W. and Harcombe, P. A. (1998) Flooding alters apparent position of floodplain saplings on a light gradient, *Ecology* 79; 847~855.
- Hatton, T. J., Salvucci, G. D. and Wu, H. I. (1997) Eagleson's optimality theory of an ecohydrological equilibrium, quo vadis? *Functional Ecology* 11; 665~674.
- Hodkinson, A. and Ferguson, R. I. (1998) Numerical modelling of separate flow in river bends; model testing and experimental investigation of geometric controls on the extent of flow separation at the concave bank, *Hydrological Processes* 12; 1323~1338.
- Hughes, J. M. R. and Heathwaite, A. L. (eds) (1995) *Hydrology and Hydrochemistry of British Wetlands*, Chichester; Wiley.
- Ingram, H. A. P. (1987) Ecohydrology of Scottish peatlands, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 78; 287~296.
- Jonasson, S., Medrano, H. and Flexas, J. (1997) Variation in leaf longevity of *Pistacia lentiscus* and its relationship to sex and drought stress inferred from  $\delta^{13}\text{C}$ , *Functional Ecology* 11; 282~289.
- Kondolf, G. M. and Downs, P. (1996) Catchment approach to planning channel restoration, in Brooks, A. and Shields, F. D., Jr (eds) *River Channel Restoration: Guiding Principles for Sustainable Projects*, Chichester; Wiley, 129~148.
- Linsley, R. K., Jr, Kohler, M. A. and Paulhus, J. L. H. (1988) *Hydrology for Engineers* (SI metric edition), London; McGraw-Hill, 492.