“十三五”国家重点出版物出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

▪ 全球水安全研究译丛 ▪



Climate Change
Impacts on Freshwater Ecosystems

气候变化对淡水生态系统的影响

[英]Martin Kernan Richard W. Battarbee Brian Moss／主编

李青云 郭伟杰 周跃峰／译

长江出版社

▪ 全球水安全研究译丛 ▪



气候变化 对淡水生态系统的影响

Climate Change
Impacts on Freshwater Ecosystems

[英]Martin Kernan Richard W. Battarbee Brian Moss／主编

李青云 郭伟杰 周跃峰／译

长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

气候变化对淡水生态系统的影响 /(英)马丁·柯南,(英)理查德·W.巴塔比,(英)布赖恩·莫斯主编；李青云，郭伟杰，周跃峰译. —武汉：长江出版社，2017.1
ISBN 978-7-5492-4825-4

Ⅰ.①气… Ⅱ.①马… ②理… ③布… ④李… ⑤郭… ⑥周… Ⅲ.①气候变化—影响—淡水—生态系—研究 Ⅳ.①TV211.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 007823 号

湖北省版权局著作权合同登记号：图字 17-2018-122

Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems Edited by Martin Kernan, Richard W. Battarbee and Brian Moss

© 2010 Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-1-405-17913-3

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, Published by John Wiley & Sons . No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体中文字版专有翻译出版权由 John Wiley & Sons, Inc.公司授予长江出版社。未经许可，不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

气候变化对淡水生态系统的影响

责任编辑：高婕妤
装帧设计：刘斯佳
出版发行：长江出版社
地　　址：武汉市解放大道 1863 号　　邮　　编：430010
网　　址：http://www.cjpress.com.cn
电　　话：(027)82926557(总编室)
　　(027)82926806(市场营销部)
经　　销：各地新华书店
印　　刷：武汉精一佳印刷有限公司
规　　格：787mm×1092mm　1/16　18.25 印张　387 千字
版　　次：2017 年 1 月第 1 版　2018 年 8 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5492-4825-4
定　　价：90.00 元

(版权所有　翻版必究　印装有误　负责调换)

▪ 全球水安全研究译丛 ▪

编委会

主任： 李青云

成员： 黄　茁　汤显强　林　莉　赵伟华

曹慧群　王振华　吴　敏　赵良元

赵　鑫

译丛序言

水安全是指一个国家或地区可以保质保量、及时持续、稳定可靠、经济合理地获取所需的水资源、水资源性产品及维护良好生态环境的状态或能力。水安全是水资源、水环境、水生态、水工程和供水安全五个方面的综合效应。

在全球气候变化的背景下，水安全问题已成为当今世界的主要问题之一。国际社会持续对水资源及高耗水产品的分配等问题展开研究和讨论，以免因水战争、水恐怖主义及其他诸如此类的问题而威胁到世界稳定。

据联合国统计，全球有43个国家的近7亿人口经常面临“用水压力”和水资源短缺，约1/6的人无清洁饮用水，1/3的人生活用水困难，全球缺水地区每年有超过2000万的人口被迫远离家园。在不久的将来，水资源可能会成为国家生死存亡的战略资源，因争夺水资源爆发战争和冲突的可能性不断增大。

中国水资源总量2.8万亿m^3，居世界第6位，但人均水资源占有量只有2300m^3左右，约为世界人均水量的1/4，在世界排名100位以外，被联合国列为13个贫水国家之一；多年来，中国水资源品质不断下降，水环境持续恶化，大范围地表水、地下水被污染，直接影响了饮用水源水质；洪灾水患问题和工程性缺水仍然存在；人类活动影响自然水系的完整性和连通性、水库遭受过度养殖、河湖生态需水严重不足；涉水事件、水事纠纷增多；这些水安全问题严重威胁了人民的生命健康，也影响区域稳定。

党和政府高度重视水安全问题。2014年4月，习近平总书记发表了关于保障水安全的重要讲话，讲话站在党和国家事业发展全局的战略高度，深刻分析了当前我国水安全新老问题交织的严峻形势，系统阐释了保障国家水安全的总体要求，明确提出了新时期治水思路，为我国强化水治理、保障水安全指明了方向。

他山之石，可以攻玉。欧美发达国家在水安全管理、保障饮用水

安全上积累了丰富的经验，对突发性饮用水污染事件有相对成熟的应对机制，值得我国借鉴与学习。为学习和推广全球在水安全方面的研究成果和先进理念，长江水利委员会长江科学院与长江出版社组织翻译编辑出版《全球水安全研究译丛》，本套丛书选取全球关于水安全研究的最前沿学术著作和国际学术组织研究成果汇编等翻译而成，共10册，分别为：①水与人类的未来：重新审视水安全；②水安全：水—食物—能源—气候的关系；③与水共生：动态世界中的水质目标；④变化世界中的水资源；⑤水资源：共享共责；⑥工程师、规划者与管理者饮用水安全读本；⑦全球地下水概况；⑧环境流：新千年拯救河流的新手段；⑨植物修复：水生植物在环境净化中的作用；⑩气候变化对淡水生态系统的影响。丛书力求从多角度解析目前存在的水安全问题以及解决之道，从而为推动我国水安全的研究提供有益借鉴。

本套丛书的译者主要为相关专业领域的研究人员，分别来自长江科学院流域水环境研究所、长江科学院生态修复技术中心、长江科学院土工研究所、长江勘测规划设计研究院以及深圳市环境科学研究院国家环境保护饮用水水源地管理技术重点实验室。

本套丛书入选了“十三五”国家重点出版物出版规划，丛书的出版得到了湖北省学术著作出版专项资金资助，在此特致谢忱。

该套丛书可供水利、环境等行业管理部门、研究单位、设计单位以及高等院校参考。

由于时间仓促，译者水平有限，文中谬误之处在所难免，敬请读者不吝指正。

《全球水安全研究译丛》编委会

2017年10月22日

译者序

全球范围内的污染和土地利用变化已经对淡水生态系统产生了深刻的影响。但在未来，气候变化将成为淡水生态系统最主要的威胁。本书系统阐述了过去、现在及未来的气候变化对淡水生态系统的影响；采用古湖沼学、时序分析、时空替代法、室内实验、现场试验以及建模等研究方法和手段，探讨了气候变化和其他变化因素之间的相互作用及其对淡水生态系统产生的影响，这些因素包括水文地貌学、营养负荷、酸沉降和毒性物质造成的污染等；探讨了气候变化在不同空间尺度上(流域、河段、栖息地等)对淡水生态系统的影响；分析了极端气候事件和气候要素的季节变化对淡水生态系统的影响，跟踪评价了近十年来已采取的缓解策略和生态系统恢复措施的效果。

本书第一作者 Martin Kernan 是一名环境学家，就职于伦敦大学学院(University College London)环境变化研究中心，他曾对欧洲的高原湖泊和河流有广泛的研究，目前的研究课题包括大气污染和气候变化对淡水生态系统的影响；第二作者 Richard W. Battarbee 是伦敦大学学院环境变化专业的荣誉退休教授，研究方向是硅藻分析以及古湖泊学在湖泊生态系统多样性研究中的应用，他是英国皇家学会的会员和挪威科学院的外籍成员；第三作者 Brian Moss 自 1989 年起就是利物浦大学的植物学教授，也是一名淡水生态学家，他曾在非洲马拉维、美国和英国任职，在六大洲执教或者做研究超过 45 年，目前研究方向包括水体富营养化、湖泊恢复和气候变化。

本书的主要基础是 Euro-limpacs 项目，该项目是由欧盟资助的在整个欧洲大陆实施的研究项目，其目的是进一步了解气候变化对淡水系统的潜在影响。本书汇总了“Euro-limpacs”项目的关键研究成果，编写结构也和项目设计框架相同，即首先评估气候变化可能产生的影响，再考虑管理策略问题。

本书共分12章，重点内容如下。第1章“前言”：阐述了气候变化对于生物圈的综合影响，强调了淡水系统通过水文循环和生物圈维系在一起，是生物圈中最易受损的部分。第2章“从古生态视角看水生生态系统的变异性与气候变化的关系”：研究了来自古生态记录的水生生态系统变化证据，总结了淡水生态系统从几千年到季节性的不同时间尺度上对气候变化响应的古生态证据。第3章“气候变化对淡水生态系统的直接影响”：阐述了气候变化在全球范围内和在欧洲的变化情况，基于最近的研究成果概述了气候变化下淡水生态系统主要的物理和化学响应。第4章“气候变化与淡水生态系统的水文学及形态学特征”：探讨了气候-水文地貌之间的相互作用对未来淡水生态系统的可能影响。包括分析预计的气候变化、土地利用变化及其在流域尺度、河段尺度和栖息地尺度上的影响，讨论了气候变化对溪流和河流生态系统修复措施及效果的影响。第5章“监测淡水生态系统对气候变化的响应”：提出了气候变化对湖泊、河流以及湿地生态系统的影响指标及其变化路径的方向、相对重要性和变幅，并在两个案例研究中分析了被选定的生物种对气候变化影响的灵敏度。第6章“气候变化与富营养化的相互作用”：阐述水体富营养化和全球变暖相互作用的新结果，讨论了基于不同方法得出的结论。第7章“气候变化和酸沉降的相互作用”：阐述了气候变化是如何延缓已被酸化和破坏的水生生态系统的修复过程的，基于长期数据资料(超过30年)的分析，研究了酸沉降变化和气候对水化学和水生生物学的影响。第8章“变化气候条件下淡水生态系统中持久性有机物和汞的分布”：详细阐述了挥发性重金属和持久性有机污染物对水质可能造成的影响和后果。第9章“气候变化-定义参照条件和修复淡水生态系统”：重点阐述建立参照条件的不同方法，以及气候变化是如何影响当前基准条件或恢复目标的。第10章“流域尺度气候变化响应模拟”：概

述了这种方法在Euro-limpacs项目中的使用情况，介绍了建模方法在一系列的研究案例中的应用。第11章“更好的决策工具：从科学到政策的桥梁”：介绍了相关工具和决策方法，用以帮助政策制定者和流域管理者制定更稳健的策略。第12章“展望未来”：预测了淡水系统及其对人类社会影响可能会发生的变化。

本书由李青云、郭伟杰和周跃峰共同翻译。李青云现任长江科学院流域水环境研究所所长，教授级高级工程师，工学博士，主要研究方向是流域水环境演变，负责翻译本书的序、第1章、第2章和第4章，并负责全书统稿和校核；郭伟杰是长江科学院流域水环境研究所水生态研究室的高级工程师，理学博士(后)，主要研究方向是水生态修复，负责翻译第3章、第5章、第6章、第8章和第9章；周跃峰是长江科学院土工研究所高级工程师，工学博士，主要研究方向是环境岩土工程，负责翻译第7章、第10章、第11章和第12章。本书部分章节承蒙长江科学院董耀华教授级高级工程师和中国科学院水生生物研究所王洪铸研究员进行了专业审校，译者深表感谢。本书的出版还得到2012年度中国清洁发展机制基金赠款项目“全球气候变化下长江流域水资源开发利用保护研究与宣传”(项目编号2012044)资助，在此表示感谢。

本书内容丰富，数据详实，可供相关领域的科研究人员、工程师和管理人员参考，也适合相关专业的研究生和高年级本科学生阅读学习。

限于译者水平，错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

译者

2017年10月

序言

一段时间以来，有充分的证据表明由化石燃料燃烧引起的温室气体排放是气候变化的主要诱因，即便仍存在不确定性，但威胁是真实存在的。当前的研究不仅要关注气候系统本身，而且更要关注气候系统自身的变化在未来是如何影响其他自然生态系统功能的。

在本书中，我们重点关注气候变化如何影响淡水生态系统。本书中的理念和案例多来源于欧盟资助的“全球变化对欧洲淡水生态系统影响”计划中的一个重要基金项目：Euro-limpacs 项目。本项目不仅评价气候变化对整个欧洲的湖泊、河流以及湿地的直接影响，同时还对气候变化和其他诸如水文地貌学、营养负荷、酸沉降和有毒物质暴露等因素的交互作用对淡水生态系统潜在的、间接的影响进行了评价。在本项目研究中采用了多种方法，通过分析湖泊沉积物和长期监测数据来识别气候变化业已造成的影响，通过实验、时空替代法(space-for-time substitution)以及建模模拟手段来评估未来不同气候情景对水生生态系统将会产生何种影响。同时，本项目也重点关注了未来气候变化对欧洲淡水生态系统的管理会产生什么样的潜在影响，尤其是在预估的未来气候变化情况下，目前为改善淡水生态系统状况所采用的政策和措施需要进行何种程度的修订和完善。

本书汇总了“Euro-limpacs”项目的关键研究成果，编写结构也和项目设计框架相同，即首先评估气候变化可能产生的影响，再考虑管理问题。

Richard W. Battarbee

致谢

我们十分感谢 Gene Likens 和 Curtis Richardson 对于撰写此书给予的鼓励，感谢欧盟第六框架项目为 Euro-limpacs 项目提供基金支持（欧盟基金号：GOCE-CT-2003-505540），感谢欧盟项目管理人员 Christos Fragakis 对本项目实施五年以来的支持。我们衷心感谢本项目的众多参与者，他们为本书提供了大量的数据和结果分析。感谢来自伦敦大学学院的 Cath D'Alton 对本书中图表绘制作出的努力以及 Catherine Rose 和 Katy Wilson 对本书手稿编辑整理提供的重要帮助。同时也要感谢同行专家对本书各章所做的匿名评论。另外，本书也汇编了很多参与 Euro-limpacs 项目科学家的研究成果，虽然他们未被列入作者之列，但他们对 Euro-limpacs 项目作出了重要贡献。

目录
Contents

第 1 章　前言　/ 1

1.1　变化的气候和变化的地球　/ 1
1.2　有关地球功能的观念变化　/ 2
1.3　水和淡水生物群落　/ 6
1.4　Euro-limpacs 项目、欧洲淡水系统和调查方法　/ 8
1.5　《水框架指令》及其应用　/ 10

第 2 章　从古生态视角看水生生态系统的变异性与气候变化的关系　/ 13

2.1　引言　/ 13
2.2　全新世以来的气候　/ 14
2.3　千年尺度上的变化　/ 16
2.4　百年尺度到千年尺度上的变化　/ 18
2.5　季节性、年际间以及十年时间尺度上的变化　/ 23
2.6　近期变化　/ 24
2.7　结论　/ 28

第 3 章　气候变化对淡水生态系统的直接影响　/ 30

3.1　引言　/ 30
3.2　物理影响　/ 35

3.3 化学影响 / 44
3.4 结论 / 50

第 4 章 气候变化与淡水生态系统的水文学及形态学特征 / 51

4.1 引言 / 51
4.2 预测的土地利用变化 / 52
4.3 流域尺度上的气候变化影响 / 53
4.4 河段尺度上的气候变化影响 / 56
4.5 栖息地尺度上的气候变化影响 / 59
4.6 气候变化对溪流和河流生态恢复成败的影响 / 60
4.7 结论 / 63

第 5 章 监测淡水生态系统对气候变化的响应 / 64

5.1 引言 / 64
5.2 气候变化对湖泊生物群落的影响 / 65
5.3 气候变化对河流生物群落的影响 / 70
5.4 气候变化对湿地生物群落的影响 / 79
5.5 结论 / 82

第 6 章 气候变化与富营养化的相互作用 / 83

6.1 引言 / 83
6.2 营养结构的变化 / 85
6.3 围隔试验 / 89
6.4 河流和湿地的区域配对试验 / 98
6.5 古湖沼学和数值模拟 / 103
6.6 综合分析 / 106
6.7 结论 / 109

第 7 章 气候变化与酸沉降的相互作用 / 110

7.1 引言 / 110
7.2 气候变化对硝态氮淋滤的影响 / 113
7.3 酸沉降事件 / 119
7.4 溶解有机碳(DOC) / 122
7.5 撒哈拉沙尘 / 125
7.6 气候变暖对土壤化学过程的作用 / 125
7.7 气候变化与酸沉降混合效应的模拟 / 125
7.8 对水生生物群落的影响 / 127
7.9 结论 / 129

第 8 章 变化气候条件下淡水生态系统中持久性有机污染物和汞的分布 / 131

8.1 引言 / 131
8.2 有机卤化物 / 131
8.3 多环芳烃 / 134
8.4 汞 / 135
8.5 温度升高的影响 / 135
8.6 降水变化的影响 / 146
8.7 水管理相关的人为影响 / 149
8.8 结论 / 149

第 9 章 气候变化:定义参照条件和修复淡水生态系统 / 150

9.1 引言 / 150
9.2 基于变化的基准条件探究修复效果 / 160
9.3 全球变化和修复 / 165
9.4 结论 / 172

第 10 章 流域尺度气候变化响应模拟 / 174

10.1 引言 / 174
10.2 Euro-limpacs 项目的建模策略 / 175
10.3 动态模型 / 183
10.4 链接模型 / 185
10.5 不确定性 / 189
10.6 结论 / 190

第 11 章 更好的决策工具:从科学到政策的桥梁 / 192

11.1 引言:气候变化背景下的决策 / 192
11.2 决策的工具及其基础 / 194
11.3 科学到政策的转化 / 200
11.4 决策支持系统的角色 / 201
11.5 结论 / 207

第 12 章 展望未来 / 208

12.1 引言 / 208
12.2 北极/北极地区 / 209
12.3 中纬度地区 / 211
12.4 半岛和岛屿 / 214
12.5 地中海地区 / 216
12.6 高山区 / 218

主要参考文献 / 220

第1章

前言

Brian Moss, Richard W. Battarbee and Martin Kernan

1.1 变化的气候和变化的地球

2008年6月，我们在英国西北部坎布里亚的AsbyScar附近的丘陵地上，偶遇一个牧羊者正在修理他那五英尺高的石灰石墙壁。我们不可避免地以天气为主题客套了几句，这毕竟是在英国。那天天气明亮而温暖，但我说道“这里的冬天很冷”。牧羊人则回答，“过去十五年已经不是那么冷了”，“以前墙壁后边有残雪，但是近年来这种现象已没有了”。这件趣事，也成为政府间气候变化专门委员会(IPCC，2007)收集的关于全球变暖现象巨量证据中的一个小插曲。

IPCC(政府间气候变化专门委员会，下同)的第四次报告总结了到目前为止的一些变化(图1.1)，从图中可以看出，工业革命(加速了化石燃料的使用并至今未见缓解)以来，北半球的平均气温有近1℃的增幅。这一变化过程呈现的相关性使我们有理由相信气温的上升主要是人类活动造成的。与此相关的变化是降雨分配的改变，总体上，在冬天或潮湿季节有更多的降水，在夏天以及干燥季节降水量减少。海平面上升了大约20 cm，主要是由于巨量的海洋水体热膨胀造成，雪山和极地冰川的融化也是原因之一。而且极端天气事件如飓风、干旱和洪水等发生的频率也在不断增加。相应地，观测到大量关于物种物候学的变化（Sparks & Carey，1995；Roy & Sparks，2000；Parmesan & Yohe，2003；Hays等，2005；Adrian等，2006）和一系列易迁徙物种持续稳定向极地迁移的现象（Walther等，2002；Root等，2003）。

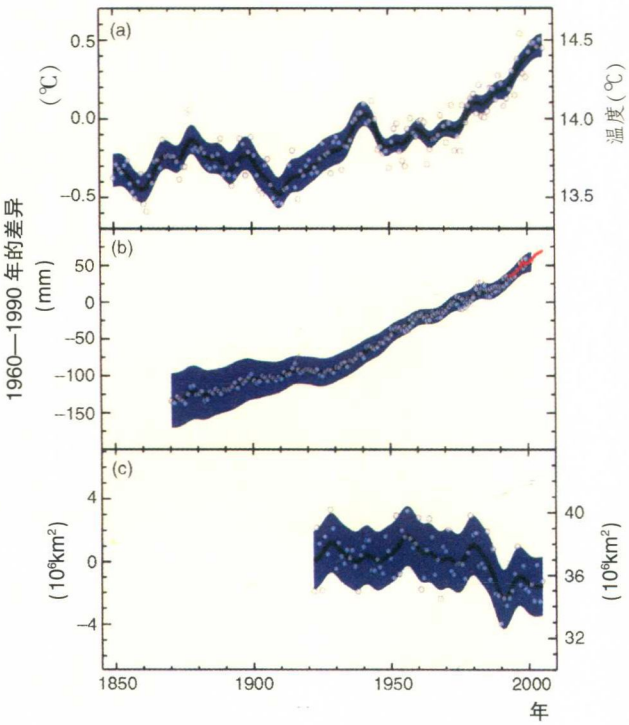


图 1.1 迄今为止的气候和海平面变化数据汇总

(a)全球平均温度;(b)全球平均海平面高度;(c)北半球冰雪层面积。

数据来源:《气候变化 2007:物理科学基础》政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告工作小组 I(S. Solomon, M. Manning, Z. Chen 等编著,剑桥大学出版社)。

气候是一个主变量,地球上的所有活动最终都依赖于它。它决定着自然界生物群落的整体结构,包括沙漠、草地和落叶或常绿的森林。它驱动了生物的进化过程、食物链的变化和平衡演化。它操纵着海洋循环、浮游生物群落营养物的获得性、雨季的开始和农作物的成熟、南北两极的辐射反射率。它在日常天气中以及人们(不仅仅是英国人)关注的事务中展示着自己。它在很大程度上决定着休闲旅游的质量:可以提供令人心旷神怡的温暖夏天,令人刺激的滑雪道以及春天新雨天气,而极端的天气变化也可以成为人们悲惨遭遇主因。气候方面的重大变化是一个非常值得重视的问题。

1.2 有关地球功能的观念变化

生态学家很早就试图解释自然系统的巨大差异:陆地上与气候和土壤相关的细节构成的图景,以及水域方面适合气候带宏观格局的物理和化学细节。G.E.Hutchinson(1965)