



中国科学院研究生教学丛书



第四纪环境

[澳]M.A.J.Williams D.L.Dunkerley P.De Deckker 著
A.P.Kershaw T.J.Stokes

刘东生 等 编译

科学出版社

中国科学院研究生教学丛书

第四纪环境

[澳] M.A.J. Williams D.L. Dunkerley P. De Deckker 著
 A.P. Kershaw T.J. Stokes

刘东生等编译

科学出版社

1997

内 容 简 介

本书是同名英文专著的中文版。新增的第十二章是根据中文版发行对象的需要而编写的介绍中国第四纪环境的章节。从环境演变的角度来看待第四纪时期发生的各种地质事件,探讨这些事件产生原因是本书的特色。书中系统介绍了在内外营力作用下,生物界(动植物群落)以及冰川、沙漠、海洋、河流和湖泊等地质体中各种环境变化的记录;探讨了人类活动对环境的影响;以古大气环流为纽带,把导致环境变化的各种驱动因子,每种地质体对各种驱动因子的响应,它们对环境变化的各种反馈机制以及各类地质体中记录的环境变化的相位差等环境变化的基本问题进行了深入的讨论。

本书为研究生教材,也可作为高等院校地质、生物、地理、气象、农业和环境专业高年级的教学参考书,对相关领域的教师和科研人员有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

第四纪环境/(澳)威廉斯(M. A. J. Williams,)等著;刘东生等编译. - 北京:科学出版社,1997.12

(中国科学院研究生教学丛书)

ISBN 7-03-006257-4

I. 第… II. ①威… ②刘… III. 第四纪-古环境 IV. Q911.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 19856 号

M. A. J. Williams, D. L. Dunkerley, P. De Deckker, A. P. Kershaw, T. J. Stokes

Quaternary Environments

Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1993

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1997年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1997年12月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:1-3000 字数:451 526

定价:38.00 元

《中国科学院研究生教学丛书》总编委会

主 任：

路甬祥

常务副主任：

白春礼

副主任：

李云玲 师昌绪 杨 乐 汪尔康 沈允钢

黄荣辉 叶朝辉 李 佩

委 员：

赵保恒 匡廷云 冯克勤 冯玉琳 朱清时

王 水 刘政凯 龚 立 侯建勤 颜基义

黄凤宝

《中国科学院研究生教学丛书》地学学科编委会

主 编：

黄荣辉

副主编：

王 水

编 委：

章 申 石耀霖 叶大年 王鸿祯 秦蕴珊

作者介绍

Martin Williams 是莫纳希 (Monash) 大学地理和环境科学系教授, 毕业于澳大利亚国立大学和剑桥大学。他曾在澳大利亚、非洲、印度和中国进行过大量的野外调查, 就澳大利亚、非洲和印度的地貌演化、气候变迁和史前环境等发表了 100 多篇学术论文, 还与他人合作, 编写了《亚澳地貌演化》(堪培拉: 澳大利亚国立大学出版社, 1978)、《撒哈拉和尼罗河》(鹿特丹: Balkema 出版社, 1980)、《青、白尼罗河之间的土地: 苏丹中部第四纪地质和生物》(鹿特丹: Balkema 出版社, 1982)、《澳大利亚季风》(鹿特丹: Balkema 出版社, 1991) 和《澳大利亚的新生代》(悉尼: 澳大利亚地质学会, 1991) 等著作。

David Dunkerley 是莫纳希大学地理和环境科学系的高级讲师, 他十分注意整个澳大利亚以及巴布亚新几内亚和加里曼丹赤道低地地区化学的和物理的风化剥蚀过程, 特别专注于全球构造活动过程和岩溶地球化学。

Patrick De Deckker 是澳大利亚国立大学 (ANU) 地质系的高级讲师。他研究过澳大利亚、南极、南美、欧洲、非洲和中国的许多湖泊, 率先利用海相和非海相沉积中的介形类来定量研究水温和盐度变化。与他人合作编写了《澳大利亚的湖泊》(墨尔本: CSIRO 和多德雷赫特: Junk 出版社, 1986)、《介形类在地球科学研究中的应用》(阿姆斯特丹: Elsevier, 1988) 和《澳大利亚的新生代》(悉尼: 澳大利亚地质学会, 1991) 等著作。他在第四纪的许多领域、现代环境和生物方面发表过 80 多篇学术论文。

Peter Kershaw 是莫纳希大学孢粉和古生态研究中心主任、地理和环境科学系的讲师。他对澳大利亚第三纪和第四纪植被历史深有研究, 已发表了三本专著和 70 多篇学术论文。他是澳大利亚孢粉和古植物研究联合会的主席, 曾参加过与中国和原苏联的孢粉合作研究。

Tonia Stokes 毕业于悉尼 (Sydney) 大学, 是莫纳希大学地理和环境科学系的研究助理。她的研究领域包括第四纪年代学、植被历史和地貌演化。

《中国科学院研究生教学丛书》序

在 21 世纪曙光初露,中国科技、教育面临重大改革和蓬勃发展之际,《中国科学院研究生教学丛书》——这套凝聚了中国科学院新老科学家、研究生导师们多年心血的研究生教材面世了。相信这套丛书的出版,会在一定程度上缓解研究生教材不足的困难,对提高研究生教育质量起着积极的推动作用。

21 世纪将是科学技术日新月异,迅猛发展的新世纪,科学技术将成为经济发展的最重要的资源和不竭的动力,成为经济和社会发展的首要推动力量。世界各国之间综合国力的竞争,实质上是科技实力的竞争。而一个国家科技实力的决定因素是它所拥有的科技人才的数量和质量。我国要想在 21 世纪顺利地实施“科教兴国”和“可持续发展”战略,实现小平同志规划的三步战略目标——把我国建设成中等发达国家,关键在于培养造就一支数量宏大、素质优良、结构合理,有能力参与国际竞争与合作的科技大军。这是摆在我国高等教育面前的一项十分繁重而光荣的战略任务。

中国科学院作为我国自然科学与高新技术的综合研究与发展中心,在建院之初就明确了出成果出人才并举的办院宗旨,长期坚持走科研与教育相结合的道路,发挥了高级科技专家多,科研条件好,科研水平高的优势,结合科研工作,积极培养研究生;在出成果的同时,为国家培养了数以万计的研究生。当前,中国科学院正在按照江泽民同志关于中国科学院要努力建设好“三个基地”的指示,在建设具有国际先进水平的科学研究基地和促进高新技术产业发展基地的同时,加强研究生教育,努力建设好高级人才培养基地,在肩负起发展我国科学技术及促进高新技术产业发展重任的同时,为国家源源不断地培养输送大批高级科技人才。

质量是研究生教育的生命,全面提高研究生培养质量是当前我国研究生教育的首要任务。研究生教材建设是提高研究生培养质量的一项重要的基础性工作。由于各种原因,目前我国研究生教材的建设滞后于研究生教育的发展。为了改变这种情况,中国科学院组织了一批在科学前沿工作,同时又具有相当教学经验的科学家撰写研究生教材,并以专项资金资助优秀的研究生教材的出版。希望通过数年努力,出版一套面向 21 世纪科技发展,体现中国科学院特色的高水平的研究生教学丛书。本丛书内容力求具有科学性、系统性和基础性,同时也兼顾前沿性,使阅读者不仅能获得相关学科的比较系统的科

学基础知识,也能被引导进入当代科学研究的前沿。这套研究生教学丛书,不仅适合于在校研究生学习使用,也可以作为高校教师和专业研究人员工作和学习的参考书。

“桃李不言,下自成蹊。”我相信,通过中国科学院一批科学家的辛勤耕耘,《中国科学院研究生教学丛书》将成为我国研究生教育园地的一丛鲜花,也将似润物春雨,滋养莘莘学子的心田,把他们引向科学的殿堂,不仅为科学院,也为全国研究生教育的发展作出重要贡献。

饶阳群

英文版序

作为大学教师和活跃在第一线的研究人员,很长时间以来,我们一直感觉到有这么一种需要,即为学生编写一本涉及与第四纪冰川作用有关的、包括全球和区域环境变化的最新研究进展的教科书。本书最初是为二三年级的大学生编写的,但它对研究生加深他们对全球变化的了解也是十分有用的。贯串全书的很多想法是出于对我们自己学生的了解这一点出发的,我们所附的文献并不希望包罗万象,而只列出了主要的英文文献,但还给读者指出了一些最新的、更综述性的研究论著。诚然,学习的最好方法是你自己走出去,通过野外工作去发现更新的东西,也只有这样,才是更生动、更有意义的。客观的规律总是:“一盎司”的实践知识比“一磅”理论更值钱,当然了解一点理论也会有很大的帮助。

从全球的视角来探讨第四纪环境问题是一项十分艰巨的任务,从 Richard Foster Flint 写他的无与伦比的《冰川与第四纪地质》(Wiley 出版公司,1972) 和 Karl Butzer 写他的权威的《环境与考古》(Methuen 出版公司,1971) 已过去了 20 多年。我们明白,他们这些宏著的光辉使得后人要写出优秀的著作变得十分困难,因而也少有佳作问世,但是除非知难而进,否则困难是不会自行消失的。

我们这些人在每块大陆(包括南极洲)开展了大量野外调查,在这本书里,我们试图从全球的视角来讨论问题。虽然,在所涉及到的问题上,我们仍有某些不可避免的歧见,因而我们尽量有选择性地深入讨论一些问题,而不是采用百科全书式的面面俱到。

在增加我们对全球,无论海洋或陆地第四纪环境变化的了解方面,很多人给予了帮助,在构思本书之前和其后的过程中,我们很高兴在与世界各地的朋友和同事们的讨论中得到了有益的启发,我们十分感谢这些朋友和同事。他们包括:Don Adamson, Stan Ambrose, Mike Barbetti, Raymonde Bonnefille, Jim Bowler, Karl Butzer, John Chappell, Desmond Clark, Jack Davies, Tom Dunne, Gerry Eck, Hugues Faure, Leon Follmer, Jean-Charles Fontes, Bob Galloway, Francoise Gasse, Alan Gillespie, John Gowlett, Dick Grove, Bernard Hallet, Jack Harris, Don Johnson, Hilt Johnson, Pete Lamb, Estella Leopold, Liu Tungsheng, Dan Livingstone, Virendra Misra, Dick Peltier, Nicole Petit-Maire, Steve Porter, S. N. Rajaguru, Pierre Rognon, Roman Schild, Asher Schick, Geoff Spaulding, Alayne Street-Perrott, Minze Stuiver, Maurice Taieb, Mike Talbot, Claudio Vita-Finzi, Donald Walker, Wang Pinxian, Andrew Warren, Link Washburn, Bob Wesson, Fred Wendorf, Tim White, Herb Wright, Karl-Heinz Wyrwoll 和 Aaron Yair。在此谨向他们表示诚挚的谢意。

我们还要特别感谢 Gary Swinton, 他绘制了本书所有图件。感谢 Jan Liddicut, 他以充分的自信处理了大量草图;感谢 Tim Barta, Sharon Davis, Alan Fried, Kate Harle, Kim New-

bury 和 Helen Quilligan, 他们为图件的编制和文献核对做了大量出色的工作。

Martin Williams, David Dunkerley,
Patrick De Deckker, Peter Kershaw, Tonia Stokes
1992 年 3 月于墨尔本

中文版序

《第四纪环境》是不久前由伦敦 Edward Arnold 出版公司以英文出版的同名专著的中国版。除了新增由刘东生教授主笔编写的“中国第四纪环境概要”一章（第十二章）之外，与原英文版内容完全相同。在“中国第四纪环境概要”一章中，刘东生教授介绍了中国第四纪环境研究的最新进展。

出版《第四纪环境》中文版的想法，是 1993 年中刘东生教授来堪培拉参加 INQUA 中期会议时提出来的，并于本人在 1993 年 9 月间访问中国科学院地质研究所时与刘东生教授进一步深入讨论后确定下来。自从 1975 年由 Donald Walker 教授（英国皇家学会会员）、Joe Jennings 教授和 Jim Bowler 教授组成的小型澳大利亚第四纪科学家代表团访问中国以来，中澳两国第四纪科学家之间，一直存在着长期、紧密和卓有成效的联系与合作，这既涉及教学，也涉及科研领域。我们希望《第四纪环境》中文版的出版，将激励新一代年青的中国第四纪研究工作者奠定扎实的基本功，在中国老一辈第四纪科学家业已作出巨大成就的基础上，为正确理解过去、现在和将来的全球环境变化做出新的贡献。

一本译著的出版，总是需要双方相互合作，共同努力的。我们谨向为翻译此书而勤奋和无私地工作的中国第四纪科学家和研究生表示衷心的感谢，韩家懋教授与北京科学出版社彭斌先生一起孜孜不倦地工作，保证了本书的及时出版。Edward Arnold 出版公司的 Laura McKelvie 先生始终对本书的中文版表示全力的支持，刘东生教授在百忙中拨冗阅读了译文，并完成了“中国第四纪环境概要”一章的编写，保证了我们最初的设想付诸实施。

“有志者事竟成”，我引用中国古代的这句话格言作为本书中文版序的结尾。



Martin Williams

1996 年 10 月于阿得莱德

编译者序

应原著者的要求,本书在出版中文版时,除将原著各章译成中文外,加入“中国第四纪环境概要”一章(第十二章)。本书前十一章和附录,基本上严格按原著译出,只是对原著中个别明显的打印错误进行了订正,并按中国读者的阅读习惯,必要时适当加了部分小标题。原书所列文献,无法与正文中一一对应,为了保持原貌,我们除对确实有误的部分文献条目作了订正外,其余仍按原书照列,部分物理量和单位也未与我国目前规定完全一致;第十二章的外文文献按字母顺序插入原文献目录中,中文文献按作者姓名的拼音顺序另排。编译者谨向原著作者和 Edward Arnold 出版公司表示衷心的感谢,没有 Martin Williams 教授对本书中文版给予全力的支持,很难想象本书能在短时期内顺利出版。

因限于篇幅和与全书协调一致起见,第十二章未对我国整个第四纪研究的全貌加以详述,仅就作者所熟悉、近年来研究较多的、有代表性的中国黄土及有关问题作一综述。即使在此范围内也未能把广大黄土研究者的工作全部给予介绍。但从总的思路,大家的工作基本上也是一致的,何况本章的作者们所得的结果也是受益于各方面的黄土研究工作,无论是地质生产部门,教学单位和研究单位同行的成果,或多或少反映了中国黄土研究的发展趋势。概括起来说,中国黄土和第四纪研究有以下特点:

(1) 中国黄土和第四纪研究日益和全球变化相结合。回顾几个世纪来,第四纪研究也和地质学其它分支的发展道路相一致,逐渐与邻近学科互相渗透。学科交叉,使第四纪研究带来新活力,这当然也是由生产实践和社会需要所驱动的;

(2) 中国黄土和第四纪研究日益向定量化和高分辨率记录识别的方向发展,这是在科学认识论中发现新的事实的根据,为进一步的飞跃提供基础;

(3) 在深入对自然界观测的基础上已经开始进行思维上的概括和抽象。对于第四纪各种变化的机制进行模拟并注重研究未来的发展趋势。

其实这方面的进展也不同程度地体现在本书其余各章中。只是近十几年来在中国是一个研究黄土的兴盛时期,吸引了许多欧洲和美洲的学者的注意,反而在对那里黄土的研究处于一个相对沉寂的时期。第十二章作者们愿以此章作为礼物献给我国广大的读者。

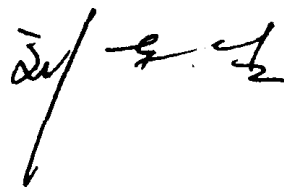
正如原著作者在中文版序中所指出的,一本译著的出版,总是需要双方相互合作,共同努力的。本书的翻译和编写过程,也是很多优秀人才集体劳动的结晶。本书第一章由储国强翻译,第二章由刘嘉麒翻译,第三章由韩家懋翻译,第四章由秦小光翻译^①,第五章由谭明翻译,第六章由丁仲礼、郭正堂翻译,第七章由周力平翻译,第八章由吴乃琴翻译,第九章由储国强翻译,第十章由丁仲礼翻译,第十一章由储国强翻译,附录由刘嘉麒翻译。

^① 目前尚在澳大利亚的庄武艺曾愉快地接受翻译第四、第五两章的邀请,并完成了任务,但由于至今尚不明原因,一直没有收到他寄来的译文,后来因事,他也无法再从事这一工作,出于无奈我们便请了秦小光、谭明重新翻译。我们对未能用上庄武艺的译文深表歉意。

全书译文除了第九章请中国科学院古脊椎动物与古人类研究所黄慰文校阅外,均由韩家懋进行了仔细的校订,最后请原地震出版社社长兼总编辑宋炳忠审定。第十二章由刘东生主笔,袁宝印协助组织编写,丁仲礼、顾兆炎、郭正堂、韩家懋、姜文英、吕厚远、吴乃琴等参与执笔编写了部分内容,储国强、李铁松、罗运利、田丽莉、王振海整理了第十二章的图件和参考文献编排。姜文英、褚骏负责所有图件的翻译和文献的编排任务,并协助完成校对和其他事务,田万华负责文稿的计算机输入与编排;林景星、吴乃琴协助校订了有孔虫的拉丁文的中译名,黄赐璇、孔昭宸、吕厚远协助校订了植物种属拉丁文的中译名。这一切说明,缺少了任何一位的协助,都不能使本书稿顺利完成。编译者愿借此机会向一切为本书的翻译出版作出努力的各位表示衷心的感谢。请原谅我们无法一一列出所有为本书工作过的人员的名字。

编译者还借此机会向一直支持我们组织好研究生课程“现代第四纪地质与环境”的中国科学技术大学研究生院(北京)地学教研室的何铸文、林秋雁表示衷心的感谢。他们的努力,使我们的课程能顺利讲授,也使这本教材得以成为第一批得到资助的中国科学院研究生教材。

由于编译人员学术水平和能力的限制,本书中译本中可能仍有遗漏、不足之处,敬请广大读者随时予以指正。



1997年5月31日

目 录

《中国科学院研究生教学丛书》序	i
英文版序	iii
中文版序	v
编译者序	vii
第一章 前言——第四纪环境	1
第一节 第四纪环境	1
1. 第四纪的前奏	1
2. 第四纪冰川作用	2
3. 第四纪海平面变化	3
4. 来自海洋的证据	3
5. 河流、湖泊和地下水	4
6. 来自沙漠的证据	4
7. 陆生动植物群的证据	5
8. 人类起源、革新和迁移	5
9. 第四纪时期的大气环流	5
10. 环境变迁:过去、现在和将来	5
11. 中国第四纪环境	7
第二节 第四纪环境重建	7
1. 第四纪年表	7
2. 第四纪古环境重建	8
3. 第四纪环境相似型	11
第三节 第四纪研究的实际意义	11
第二章 第四纪的前奏	13
第一节 引 言	13
第二节 岩石圈板块和板块的运动	13
第三节 大地构造对海陆分布的控制	14
第四节 板块演化对大气和海洋的影响	16
第五节 全球变冷和南极冰帽的扩张	16
第六节 第四纪冰期气候的开始	18
第七节 第四纪气候不稳定的可能原因	19
1. 作为第四纪气候不稳定性前奏的构造变化	19
2. 植物在气候变迁中的作用	19
3. 火山活动与气候	20
4. 冰川融水及其影响	20
第八节 结 语	21

第三章 第四纪冰川作用	22
第一节 引言	22
第二节 冰冻圈	22
1. 现代冰冻圈	22
2. 更新世时的冰冻圈	23
第三节 第四纪冰川作用概念的形成和发展	25
第四节 年代学	25
第五节 冰川作用的证据	26
第六节 重建第四纪冰冻圈	28
1. 阿尔卑斯山的冰川作用	28
2. 北美和格陵兰	31
3. 欧洲	34
4. 南半球	36
第七节 冰冻圈扩展和缩小的时间测定	37
第八节 冰芯记录	39
1. 格陵兰的冰芯记录	40
2. 南极冰芯记录	42
3. 全新世冰川记录	43
第九节 冰盖生成和消亡的原因	44
1. 冰盖的形成和扩展	44
2. 冰盖的退缩和冰消作用	45
3. 冰退作用的机制	46
第十节 全球气候模型的结果	48
第十一节 冰期-间冰期旋回模式	48
第四章 第四纪海平面变化	50
第一节 引言	50
第二节 海平面波动的原因	52
第三节 海平面波动定年	55
1. 第三纪和第三纪以前的海平面	55
2. 第四纪海平面变化	55
3. 全新世海进	58
第四节 陆桥;第四纪低海平面的产物	59
第五节 根据冰量研究检验海平面记录	60
第六节 海平面在历史时期与近期的变化	61
第五章 海洋证据	63
第一节 引言	63
第二节 海水及海洋不同水团的特征	63
第三节 微体化石作为重建古环境的工具	69
第四节 氧同位素	69

第五节	转换函数	73
第六节	微量元素(镉、钡、锆)分析	76
第七节	风尘与花粉	76
第八节	浮冰碎屑物质	77
第九节	大西洋及其重要性	77
第六章	河流、湖泊及地下水	78
第一节	引言	78
第二节	现代河流	78
第三节	若干现代河流的特征	79
第四节	第四纪时期影响河流环境的主要因素	80
1.	基准面变化	80
2.	流域水平衡及侵蚀过程	81
3.	流域冲积过程	81
第五节	第四纪河流环境变化实例	82
1.	北非尼罗河水系	82
2.	亚马孙河水系	84
3.	东南澳大利亚的默累-马兰比吉-达令河水系	85
第六节	河流变态作用与气候变迁	87
第七节	从古河道证据推测河流水文状况	87
第八节	湖泊形态及成因	87
第九节	相关特征	88
第十节	湖泊状况	91
第十一节	水生生物	92
第十二节	第四纪湖相记录	93
第十三节	湖泊历史	95
第七章	来自沙漠的证据	100
第一节	引言	100
第二节	现代干旱和半干旱地区的分布	101
第三节	造成干旱的原因	101
第四节	沙漠环境	103
第五节	晚新生代的变冷和变干	104
第六节	第四纪冰期干旱化	105
第七节	冰期和间冰期的沙漠环境	106
第八节	海陆记录的对比	111
第八章	陆生动植物群的证据	113
第一节	引言	113
第二节	孢粉	114
1.	产量	114
2.	扩散	115

3. 沉 积	117
4. 沉积后的变化	117
5. 地点选择和采样	118
6. 提 取	119
7. 鉴定和统计	119
8. 数据整理	122
9. 解 释	122
第三节 高分辨率的孢粉学	126
第四节 木炭碎屑	127
第五节 植物大化石	129
第六节 树木年轮	130
第七节 脊椎动物化石	133
第八节 无脊椎动物	134
第九节 全球总结	135
1. 现代动植物分布	135
2. 现代孢粉图	136
3. 化石数据库	136
4. 晚第三纪—第四纪过渡期	138
5. 冰期-间冰期气候旋回	139
6. 现代植被格局的发展	142
第九章 人类起源、革新和迁移	149
第一节 非洲和欧亚的中新世人猿超科	149
第二节 非洲上新世人科成员	150
第三节 能人(<i>Homo habilis</i>):最早的石器制造者	151
第四节 上新世晚期的环境变化	152
第五节 史前肉食和屠宰场遗址	152
第六节 直立人:火与阿修尔文化	152
第七节 直立人从非洲向欧亚迁移	155
第八节 从直立人到智人	156
第九节 从旧石器时代早期到中期	156
第十节 旧石器时代中期祭礼和艺术	157
第十一节 旧石器时代晚期文化的多样性和人类的迁移	158
第十二节 更新世动物群的灭绝	159
第十三节 古食物的同位素证据	160
第十四节 新石器时代动植物驯化	161
第十章 第四纪时期的大气环流	165
第一节 引 言	165
第二节 现代全球大气和大洋环流格局	166
第三节 末次冰期最盛期的海面温度	167

第四节	晚第四纪大气环流型式	170
第五节	全球古水文及其与大洋和大气环流间的联系	174
第十一章	环境变迁:过去、现在和将来	177
第一节	引言	177
第二节	农业生产和土壤侵蚀的加速	179
第三节	干旱、过度放牧和荒漠化	179
第四节	灌溉和盐碱化	181
第五节	人类对大气的影响	182
第六节	结 论	188
第十二章	中国第四纪环境概要	189
第一节	第四纪以前的中国环境概况	189
1.	早第三纪时的中国环境概况	189
2.	晚第三纪时的中国环境	190
第二节	第四纪时期环境空间格局	192
1.	青藏高原隆起与中国第四纪环境格局的形成	193
2.	青藏高原区第四纪环境	193
3.	西北戈壁-沙漠区第四纪环境	195
4.	黄土堆积区第四纪环境	196
5.	东部平原区第四纪环境	196
6.	南方红土区第四纪环境	197
7.	浅海与大陆架区第四纪环境	197
第三节	第四纪环境变化的时间序列	198
1.	黄土堆积中古环境信息提取和主要替代性气候指标	198
2.	黄土-古土壤序列环境变化的时间标尺	216
3.	2.5 Ma 以来长期的干旱化历史	217
4.	最后两个冰期-间冰期黄土中记录的短尺度气候事件	219
第四节	中国第四纪环境变化动力机制的概念模型	221
1.	东亚古季风变化主要特征	222
2.	东亚古季风变化的潜在动力因素	226
3.	东亚古季风变化机制概念模型	228
4.	讨 论	231
第五节	黄土地层旋回与旋回地层学问题	232
1.	旋回地层学概念的提出	232
2.	黄土轨道旋回地层表的建立	233
附录:	第四纪定年方法	240
第一节	引言	240
第二节	放射性碳定年	240
第三节	热释光定年	244
第四节	ESR 定年	246