



中国科学院研究生院教材

Textbooks of Graduate University of Chinese Academy of Sciences

古气候动力模拟

■ 于 革 刘 健 薛 滨 编著

**Dynamical Palaeoclimate
Simulations**



高等教育出版社
Higher Education Press



中国科学院研究生院教材

Textbooks of Graduate University of Chinese Academy of Sciences

古气候动力模拟

■ 于革 刘健 薛滨 编著

Dynamical Palaeoclimate Simulations



高等教育出版社
Higher Education Press

图书在版编目 (CIP) 数据

古气候动力模拟/于革, 刘健, 薛滨编著. —北京: 高等教育出版社, 2007.3

ISBN 978-7-04-020685-2

I. 古… II. ①于…②刘…③薛… III. 古气候-大气动力学-气候模拟 IV. P532 P433

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 012865 号

策划编辑 陈正雄 责任编辑 田 军 封面设计 王凌波
责任绘图 尹文军 版式设计 张 岚 责任校对 殷 然
责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京印刷一厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 23.00
字 数 440 000
插 页 8

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 3 月第 1 版
印 次 2007 年 3 月第 1 次印刷
定 价 42.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20685-00

总 序

在中国科学院研究生院和高等教育出版社的共同努力下,凝聚着中国科学院新老科学家、研究生导师们多年心血和汗水的中国科学院研究生院教材面世了。这套教材的出版,将对丰富我院研究生教育资源、提高研究生教育质量、培养更多高素质的科技人才起到积极的推动作用。

作为科技国家队,中国科学院肩负着面向国家战略需求,面向世界科学前沿,为国家作出基础性、战略性和前瞻性的重大科技创新贡献和培养高级科技人才的使命。中国科学院研究生教育是我国高等教育的重要组成部分,在新的历史时期,中国科学院研究生教育不仅要为我院知识创新工程提供人力资源保障,还担负着落实科教兴国战略和人才强国战略,为创新型国家建设培养一大批高素质人才的重要使命。

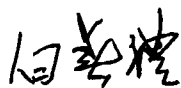
集成中国科学院的教学资源、科技资源和智力资源,中国科学院研究生院坚持教育与科研紧密结合的“两段式”培养模式,在突出科学教育和创新能力培养的同时,重视全面素质教育,倡导文理交融、理工结合,培养的研究生具有宽厚扎实的基础知识、敏锐的科学探索意识、活跃的思维和唯实、求真、协力、创新的良好素质。

研究生教材建设是研究生教育中重要的基础性工作。由一批活跃在科学前沿,同时又具有丰富教学经验的科学家编写的中国科

学院研究生院教材,适合在校研究生学习使用,也可作为高校教师和专业研究人员的参考书。这套研究生教材内容力求科学性、系统性、基础性和前沿性的统一,使学习者不仅能获得比较系统的科学基础知识,也能体会蕴于其中的科学精神、科学思想、科学方法,为进入科学研究的学术殿堂奠定良好的基础;优秀教材不但是体现教学内容和教学方法的知识载体、开展教学的基本条件和手段,也是深化教学改革、提高教育质量、促进科学教育与人文教育结合的重要保证。

“十年树木,百年树人”。我相信,经过若干年的努力,中国科学院研究生院一定能建设起多学科、多类型、多品种、多层次配套的研究生教材体系,为我国研究生教育百花园增添一枝新的奇葩,为我国高级科技人才的培养作出新的贡献。

中国科学院 常务副院长
中国科学院研究生院 院长
中国科学院 院士



二〇〇六年二月二十八日

序 言

读到于革、刘健、薛滨三位教授编著的这本研究生教材,心中十分欣喜。

回想早年师从刘东生院士,练习做古气候研究工作时,我就深切体会到:我国一些从事古气候研究的前辈学者,如刘东生院士、施雅风院士、汪品先院士、安芷生院士、李吉均院士等,均十分重视和善于从纷繁的地质现象中凝练出概念,并进而探讨导致这些现象的具体过程与机制。他们的思辨性极强的工作代表了古气候研究中的最高境界,但同时也受到一定的制约,即缺少强有力的研究工具。据我个人的理解,数值模拟即为此类工具之一。由于学术训练的限制,我国从事古气候研究的大多数学者,其研究起点为古气候变化记录,同时亦往往令人遗憾地止步于记录本身,而利用各类数值模式,在古气候变化机制研究方面更进一步,则并非我们之所能。而在这方面,国际上的情况要比我们好得多。大气环流数值模式是为满足天气预报的需求而发展起来的。约半个世纪以来,大气科学界在模式研制及各类模式耦合方面,已取得了长足的进步。我们注意到,即使在大气环流数值模式发展的初期,它们即被用来研究古气候的问题。以后,数值模式每发展一步,都会在模拟古气候变化过程方面留下其坚实的脚印。显然,这同大气科学家与古气候学家能紧密合作有关。而在我们国家,这方面合作的脚步则显得比较迟缓,以至汪品先院士曾在某个非正式的场合,把此现象戏喻为“单相思”。

近些年来,这方面的状况在我国已有相当大的改善。这一方面表现为许多古气候研究者开始学习和理解数值模拟这门学问,另一方面,不少卓有成就的数值模拟专家也越来越关注古气候学的问题,并致力于具体的模拟实践。对这一点,我国科学家近年来针对我国特有的古气候问题在国际刊物上发表的一些模拟结果,即为明证。然而,我国要想在此领域真正处于国际前沿,我们还需做大量的基础性工作。这包括在大气科学家与古气候学家之间建立起通畅的合作桥梁,培养能把握这两个领域的年轻两栖人才,等等。“古气候动力模拟”这本教材涉及面甚广,它既有各种数值模式的介绍,又有古气候重建方法的综述,同时

II 序 言

列举了大量古气候模拟的具体案例。我个人认为,作为一本入门教材,它将在我国新一代人才培养中发挥重要的作用,同时也会在促进大气科学家与古气候学家合作方面起到桥梁作用。

这本教材是为研究生编写的,希望研究生们在从中学到具体学问的同时,建立起这样一个概念:任何古气候现象均是可以模拟的。

是为序。

丁仲礼

2006年9月25日

符号和定义

物理单位

a	年
AU	天文单位($1 \text{ AU} = 1.495\,978\,70 \times 10^8 \text{ km}$)
°C	摄氏温度
Cal	卡($1 \text{ Cal} = 4.186\,8 \text{ J}$)
d	日
hPa	百帕
h	时
K	绝对温度
ka	千年
kCal	千卡
kpc	千秒差距
ly	光年($1 \text{ ly} = 9.5 \times 10^{12} \text{ km}$)
Ma	百万年
min	分
mon	月
mW	毫瓦
Pa	帕
pc	秒差距($1 \text{ pc} = 2.06 \times 10^5 \text{ AU} = 3.26 \text{ ly}$)
ppb	十亿分之一
ppm	百万分之一
ppt	千分之一
PW	petawatt($1 \text{ PW} = 10^{15} \text{ W}$)
s	秒

II 符号和定义

Sv	西弗特(剂量当量, $1 \text{ Sv} = \text{J/kg}$)
W	瓦

代号

a. s. l.	(海拔高度在)海面以上
AD	公元年代
AGCM	大气环流模式
BP	距今年代
CLSDB	中国古湖泊数据库
DC	年代数据控制
DVI	火山灰屏蔽指数
EBM	能量平衡模式
ELSDB	欧洲古湖泊数据库
EOF	正交函数分析
EPD	欧洲的花粉数据库
EPICA	欧洲南极冰芯计划
GWP	全球暖化潜力
IVI	火山指数
K/T	白垩纪/第三纪界线
LGM	末次冰盛期
LIA	小冰期
LIM	陆冰模式
LSM	陆面模式
MIS	海洋氧同位素阶段
MIS - 3	海洋氧同位素 3 阶段
MM	区域中尺度气象模式
MW	中世纪温暖期
OGCM	海洋环流模式
OLLDB	牛津古湖泊数据库
PDF	概率密度函数
PDM	古气候动力模式
QBO	准两年振荡

RCM	辐射 - 对流模式
RegCM	区域气候模式
SDM	统计 - 动力模式
SIM	海冰模式
SLP	海面气压
SST	海洋表面温度
VEI	火山爆发指数
YD	新仙女木
ZADM	纬向平均动力模式

气候模式、组织

BIOME	全球植被模式
BMRC	澳大利亚气象局研究中心 GCM
CCCCA	加拿大气候模拟与分析中心 GCM
CCM	美国国家大气研究中心 GCM
CCSR	日本气候系统研究中心 GCM
CNRM	法国国家气象研究中心 GCM
CSIRO	澳大利亚联邦科学与工业研究组织 GCM
ECHAM	德国马普气象研究所 GCM
EVE	美国植被生态模式
GENESIS	美国全球环境和生态模拟交互系统 GCM
GFDL	美国地球物理流体动力实验室 GCM
GISS	美国 Goddard 太空研究所 GCM
HadMC	英国气象局 Hadley 气候预测与研究中心 GCM
LMCE	法国气候与环境模型站 GCM
LMD	法国气象动力实验室 GCM
MRI	日本气象研究所 GCM
MSU	俄罗斯莫斯科州立大学 GCM
SDVVM	英国陆地生态系统模式
SSiB	简化型生物圈模式
UGAMP	英国大学大气联合 GCM
UIUC	美国 Illinois 大学 GCM

IV 符号和定义

UKMO	英国气象局 GCM
YONU	韩国 Yonusei 大学 GCM

国际研究计划缩写

AMIP	Atmospheric Model Intercomparison Project
BIOME 6000	Global Palaeo-vegetation Mapping Project
CLIMAP	Climate: Long Range Investigation, Mapping, and Prediction
CLIVAR	Climate Variability and Predictability
COHMAP	Cooperative Holocene Mapping Project
GAIM	Global Analysis, Interpretation and Model
GLAMA	Glacial Atlantic Mapping and Prediction
IGBP	International Geosphere-Biosphere Program
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
PAGES	Past Global Changes
PMIP	Palaeoclimate Modelling Intercomparison Project
TEMPO	Testing Earth System Models with Paleoenvironmental Observations

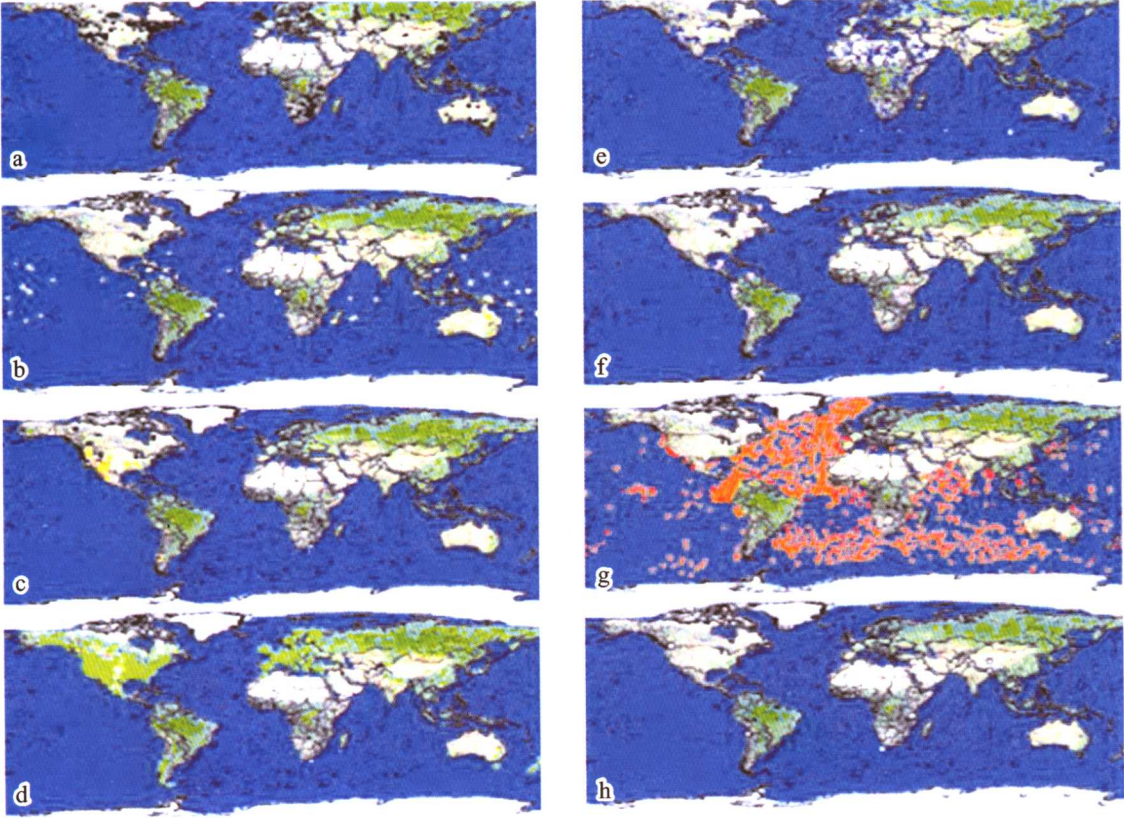


图 0.4 全球古气候环境数据库的数据点分布

a. 大陆钻孔;b. 珊瑚;c. 火记录;d. 树轮;e. 湖泊水位;f. 古湖沼;
g. 海洋钻孔;h. 冰芯(资料来自 NOAA 古气候环境数据中心;Larocque,2006)

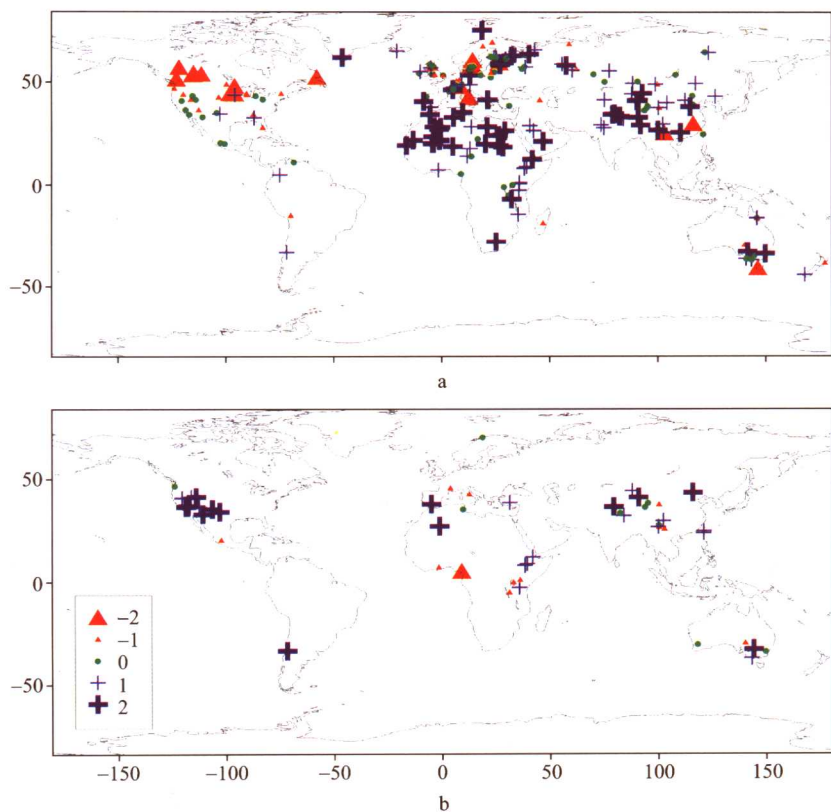


图 11.1 全球古气候湿度状况的空间分布

采用与现代相比的湿度变化表示,共分 5 级:湿润(+2)、较湿润(+1)、无变化(0)、较干燥(-1)和干燥(-2)。采用年代控制标准在 3 级以内($DC \leq 3$)。

a. 中全新世(6 kaBP); b. 末次冰盛期(18 kaBP)(据(Street-Perrot *et al.*, 1989; Trasove *et al.*, 1994; Yu *et al.*, 1995, 2000)。

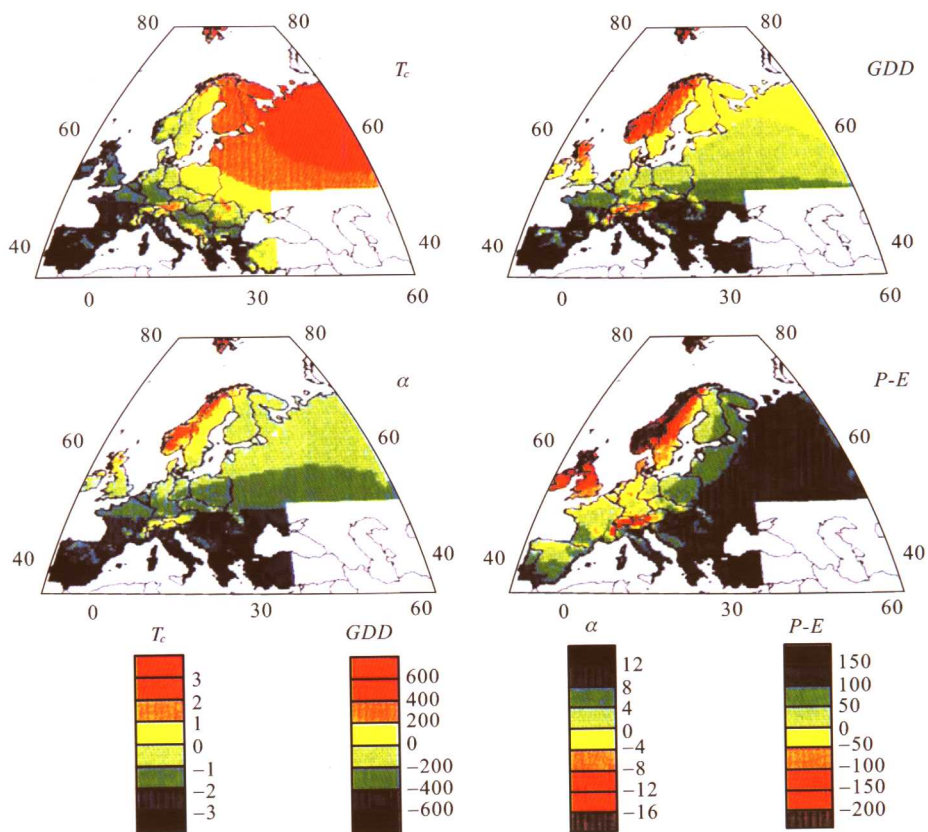


图 11.2 欧洲中全新世气候重建图

T_c : 最冷月平均温度($^{\circ}\text{C}$), GDD : $>5^{\circ}\text{C}$ 积温($^{\circ}\text{C}$), α : 蒸发率, $P-E$: 有效降水(mm/a), 均以现代值的变化值表示(Chaddad *et al.*, 1996)

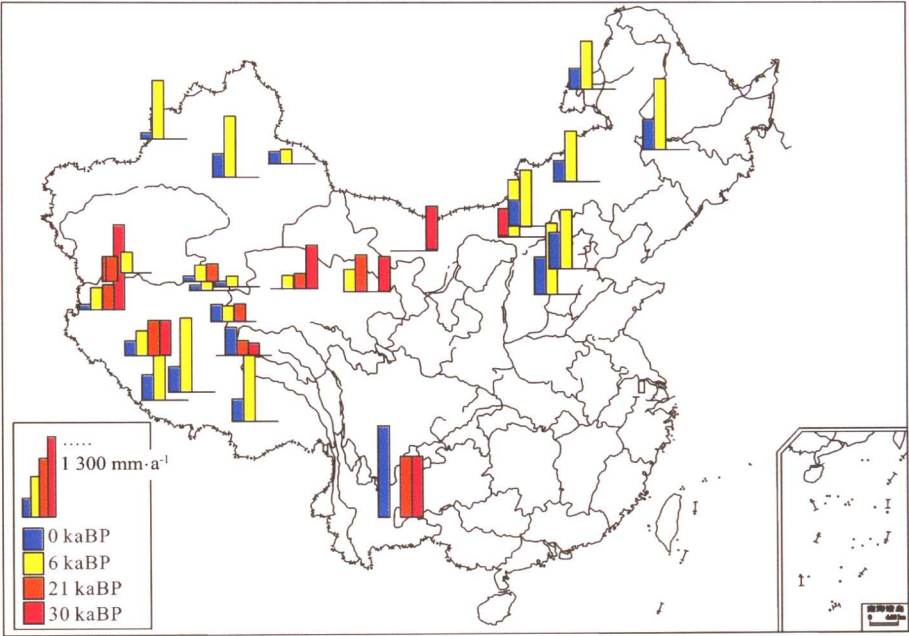


图 11.3 根据水量平衡法计算的中国湖泊流域 3 万年来古降水
(根据于革等,2001)

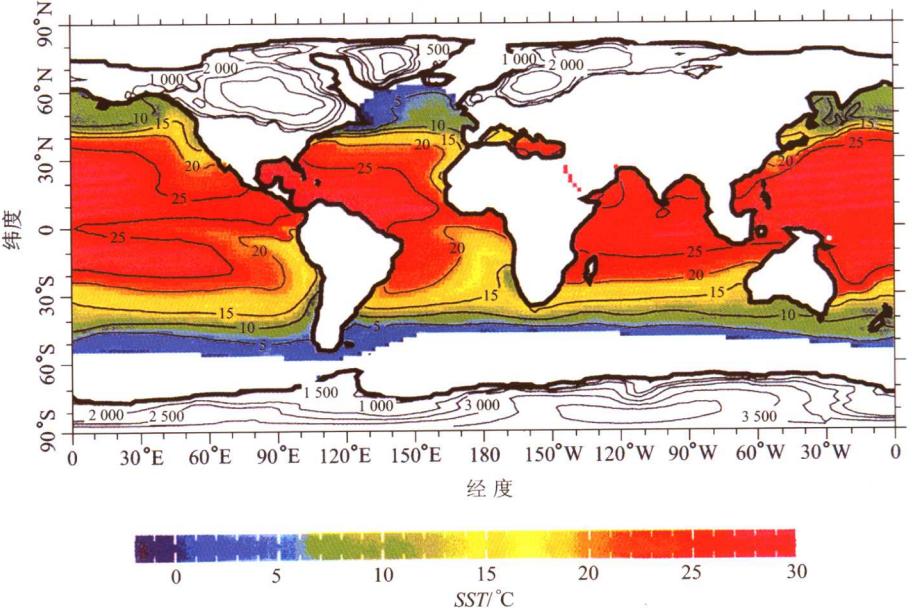


图 13.5 末次冰盛期古气候模拟采用的 SST 和陆冰
(根据 CLIMAP Member,1976)

大陆轮廓根据低于现代海面 120 m 估计。海洋等值线为 SST(°C),大陆等值线为冰盖厚度(m)

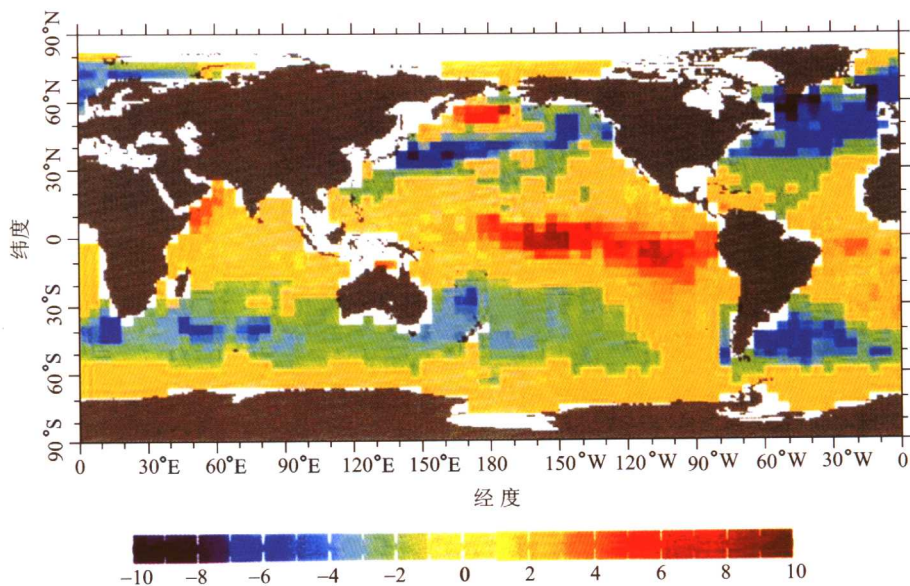


图 13.6 海洋到大气圈的碳净通量的全球分布

(Takahashi, 1989)

碳通量(每 4×5 格点为 10^{12} g/a)

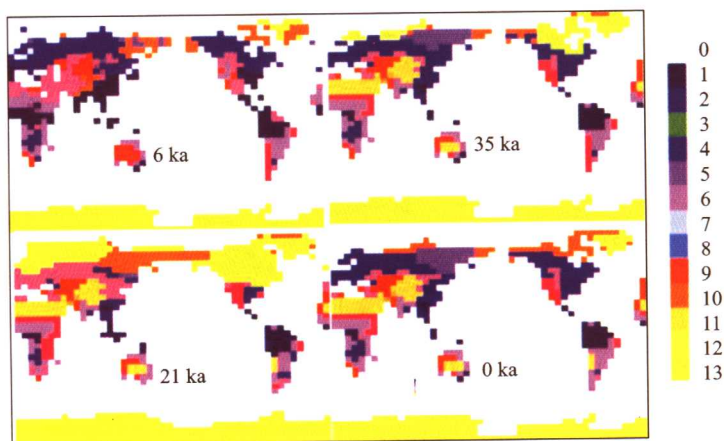


图 13.10 全球格点分布的 0 ka, 6 ka, 21 ka 和 35 kaBP 的陆面类型分布图

包括第四纪冰盖、海陆分布、11 种植被, 投影到 GCM-R15 精度的网格。

资料来源和作图根据于革等(2001)和 Yu 等(2005)综合。

- 0. 海洋; 1. 常绿阔叶林; 2. 落叶阔叶林; 3. 针阔混交林; 4. 常绿针叶林;
- 5. 落叶针叶林; 6. 稀疏草原; 7. 草原; 8. 热带灌丛林; 9. 干旱灌木林;
- 10. 苔原; 11. 荒漠; 12. 农耕植被; 13. 永久冰