

气候变化的证据、原因 及其对生态系统的影响

章基嘉 编著



气象出版社

气候变化的证据、原因及其对 生态系统的影响

章基嘉 编著

气象出版社

(京)新登字 046 号

图书在版编目(CIP)数据

气候变化的证据、原因及其对生态系统的影响/章基嘉 编著. —北京:气象出版社, 1995, 7

ISBN 7-5029-1915-5

I. 气候… II. 章… III. 气候变化—影响—生态系统 IV. ①P467 ②S16

中国版本图书馆(CIP)数据核字(95)第 11547 号

气候变化的证据、原因及其对生态系统的影响

章基嘉 编著

责任编辑:曾晓梅 终审:纪乃晋

责任技编:曾晓梅 封面设计:曾晓梅

责任校对:张励坚

气象出版社

(北京西郊白石桥路 46 号)

北京王史山印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:850×1168 1/32 印张: 11.375 字数:300 千字

1995 年 7 月第一版 1995 年 7 月第一次印刷

印数:1—2 000 定价:13.8 元

ISBN 7-5029-1915-5/P · 0741

内 容 简 介

本书系统地介绍了三种时间尺度气候变化,即 $10^4 \sim 10^6$ 年的长期气候变化, $10^2 \sim 10^4$ 年的短期气候变化和 $10^0 \sim 10^2$ 年的当代气候变化的证据、原因和各种气候模式取得的进展,分析了目前对气候变化预测中存在的困难和引起不确定性的原因。用植物形态学和生理学的观点讨论了生态系统与气候变化的关系。介绍了现有森林模式和农作物模式及它们在未来 CO_2 倍增前景下模拟主要树种和农作物对气候变化的响应情况。介绍了中国当代气候变化的诊断分析结果和有关气候模式的模拟结果,讨论了气候变化对中国农业的可能影响以及应采取的对策建议。

本书将气候变化贯穿到对生态系统影响的研究中去,旨在为气候变化研究服务于社会经济发展寻求一些思路和途径,可供从事气候、农业、林业、环境、海洋、地质、地理和经济管理等方面的研究人员和高校师生参考。

前 言

地球气候变化由来已久,根据海洋沉积物和化石群体等各种气候代用指标提供的证据,可以追溯到距今约 45 亿年前。但对漫长地质时期的气候变化研究得较多的是最后 200 万年中第四纪的冰期-间冰期循环。人们除希望了解地质时期的气候变化外,更加关心的是自上世纪末以来全球气候变暖,特别是自本世纪 80 年代以来全球气候加速变暖和未来气候将如何变化的问题。为了适应这种需要,本书在第一章引论中概述了地球漫长的气候变化史,给出了 $10^1 \sim 10^9$ 年时间尺度上气候变化的证据、可能存在的主要周期及相应的机制,并引出长期气候变化($10^4 \sim 10^6$ 年)、短期气候变化($10^2 \sim 10^4$ 年)和当代气候变化($10^0 \sim 10^2$ 年)的定义。

本书的第二章讨论了长期气候变化的地质证据和原因,论述了 Milankovitch 地球轨道参数强迫理论的合理程度及以后根据多种地质证据进行的修正。为了帮助读者更好地理解各种地质证据在研究长期气候变化中的重要作用,还介绍了用同位素测定古代温度和断定地质证据年代的理论和方法。此外,对三类古气候模式及其对冰期-间冰期循环的模拟结果作了评述。第三章专门讨论短期气候变化的证据和成因。短期气候变化亦称冰后期气候变化,也就是最后一次冰期结束以后大约 1 万年以来的气候变化。这个时期在地质上称第四纪的全新世,地球气候目前仍处在全新世中。在冰后期地球气候逐渐变暖的趋势下,大约在距今 1.1 万年前出现

了一次气候迅速恶化的小仙女木(Younger Dryas)冷事件,使气候回到了冰期状况。这次事件总共持续不到 1 千年,是一次气候突变,它说明气候系统能够从间冰期迅速地向冰期转变。对这次气候突变的成因至今尚未有统一的认识,但本章还是对已经提出的几种假说作了评述。在这次气候突变之后,地球气候进入了全新世。对全新世气候过去曾认为是气候一致变暖的时期,但这种观点正在被不断出现的证据所修正,证明它是一个有气候波动的时期。人们用多种气候代用指标和同位素断代方法鉴别出至少有三次全球性的冰川再度前进。晚全新世气候变化研究中首推竺可桢(1973)根据大量历史和考古发掘资料对近 5000 年来中国气候变迁的研究,他把这一时期中国的气候变化分为四个温暖时期和四个寒冷时期,并把它们同欧洲的同期气候变化作了分析和比较。此外,对发生在 1550~1850 年期间的小冰期研究情况亦作了介绍。关于短期气候变化的原因,目前普遍认为,除轨道强迫因子外,还与海洋环流变化、太阳活动变化、重大火山爆发、海洋和大气相互作用以及冰的反照率反馈机制有关。这也是目前比较普遍接受的观点。本章着重介绍了海洋环流变化、太阳活动变化和重大火山爆发对最后约 1.5 万年气候波动贡献的研究。

通过前三章的内容希望使读者对过去 $10^2 \sim 10^9$ 年地球气候变化的历史和目前能提供的各种证据以及已经认识到的各种原因(机制)有一定程度的认识。这里得到的重要结论是:气候变化是由一种时间尺度较长的趋势和其上迭加着尺度较短的波动组成的,而其成因是多方面的,尽管在某种时间尺度上可能由某种原因起主导作用,但必须考虑其它因子的次要作用,否则难以解释气候变化的多样性和复杂性。

在前三章的基础上,第四章专门讨论当代气候变化的事实、证据和原因。当代气候变化是指最近一个多世纪以来全球性气候变暖的事实。证明这种变暖的证据,除 1854~1990 年期间南、北半球和全球地面年平均气温随时间变化的实测资料外,还有过去 100

年左右全球海平面上升的实测资料和对各种贡献所作的分析与估计、进入工业化社会(1750年)以来大气中温室气体(主要是 CO_2)浓度不断增加(由280ppm增至353ppm)的实测资料,以及根据温室气体浓度增加利用多种气候模式所进行的模拟试验结果。尽管目前比较公认人类活动引起的大气中各种温室气体浓度的增加是造成当代全球气候变暖的主要原因,但随着研究的不断深入,人们愈加深刻地认识到,气候模式中必须考虑云、水汽、冰雪和地面的反照率乃至生物圈对气候的反馈作用,目前已经确定了这些反馈作用的性质。各种气候模式的模拟结果中,对温度变化(尤其是高纬度增温最多)比较一致,但对其它气候变量的模拟还有相当分歧。这说明今后对各种气候模式尚需不断改进和完善。为了使读者了解全球气候变暖背景下中国当代的气候如何变化,本章还专门介绍了中国近百年来气候变化的统计诊断研究和若干气候模式的模拟研究。

为了更好地理解气候变化怎样影响各种生态系统,本书第五章专门讲述了植物形态学和生理学的必要知识;第六章用植物形态学和生理学的观点讲述了各种生态系统与气候变化的关系。这两章除起联系以后几章的纽带作用外,还根据臭氧生成和破坏的化学原理讲述了世人所关心的南极臭氧洞形成紫外辐射增加及其多种原因以及它们对南极生态系统的可能影响。

植被(包括森林)是最重要的生态系统之一。气候变化对过去植被产生过何种影响是研究气候变化对生态系统影响首先要弄清楚的问题。第七章介绍了这方面的研究结果。未来气候变化对植物将可能产生什么样的影响是人们更为关心的问题。第八章的内容介绍了现有的森林模式及其模拟结果。目前估计未来气候变化对森林影响的基本思路是:将气候模式对未来气候变化的模拟(预测)结果输入森林模式,此外森林模式中还输入表征树种的有关参数和表征生物环境的变量,通过模式中所含的子程序(如最佳树木生长方程、树木最大生存时间函数、指定地点的特征参数等)进行

积分,一般需要运算数百年至千年,以便得出未来 $2\times\text{CO}_2$ 、 $4\times\text{CO}_2$ 的气候变化下森林的迁移和主要树种的变化情况。这种模拟研究已经能为美国各大自然区域森林和树种的变化提供一个梗概,可供国家为适应气候变化保护生态环境制定相应对策和措施时参考,有着重要的实际价值。但也应该看到,由于气候模式的不够完善和气候变化预测中存在的 uncertainty 以及森林模式本身的局限性,对未来森林和树种的模拟结果必然也包含着 uncertainty 和由此带来可观的误差。因此,这方面的研究有待从气候模式和森林模式两方面的改进而不断提高水平。

从第九章开始,本书转入讨论气候变化对另一重要生态系统——农业生态系统的影响。从大气中 CO_2 浓度的直接效应、温度升高、气候的其他变化和海平面上升对农业生态系统(作物、土壤、病虫害和家畜等)的影响及机制着手,为后面两章提供原理,同时还介绍了多种气候模式在 $2\times\text{CO}_2$ 下的模拟结果对世界各主要粮食产区农业生产潜力的影响。主要结论是,在北半球中纬度的主要谷物产区,在 CO_2 倍增的气候前景下,潜在产量可能降低 $10\%\sim 30\%$,而在这些主要产区的边缘,因变暖可使气候带北移而增加生产潜力。但高纬度变暖所得到的好处似乎不可能补偿现有主要谷物产区生产潜力的下降。因此,必须从提高土地利用效率、作物类型的改变和改进管理措施等方面使农业生产适应未来气候的变化。第十章专门介绍现有的农作物模式及气候变化对其影响的模拟结果。目前的作物模式主要有小麦模式、玉米模式和大豆模式。对这些作物模式的输入变量,除气候模式对未来气候变化的模拟(预测)结果外,还包括与作物生长有关的三类变量,它们是外因变量(如太阳辐射、最高和最低气温、雨量等)、可控变量(如播种日期、植株密度、灌溉和施肥)和系统参数(如遗传特征、作物生长模型、光合作用和呼吸作用等)。这些模式已对美国大湖区、东南部、大平原及 MINK 区域等产区的玉米、大豆和小麦等作物在 $2\times\text{CO}_2$ 气候前景下的生长条件、生长状况和产量作了模拟。这些模拟

研究所取得的进展和大量结果不仅提供了未来气候变化影响下各种农作物的前景,而且可供国家对农业适应气候变化制定相应的政策和采取趋利避害的对策措施参考。这方面存在的问题与森林模式模拟的结果相类似,但农业生态系统对气候变化响应的时间尺度短,观测资料也比植被生态系统多。今后的重点应是提高土壤-作物-大气系统中能量平衡、物质平衡和能量-物质转化等生物物理规律的认识,改进各种作物模式,缩小大气-作物模拟中的不确定性及由此引起的各种误差。估计作物模式的改进将比森林模式的改进要快些。

第十一章专门讨论气候变化对中国农业的可能影响问题。根据国内近年来已有的研究,论述了气候变化对中国粮食作物(小麦、水稻、玉米)和经济作物(棉花、大豆、花生、油菜)的可能影响,种植制度和农业水热资源的可能变化,气候变化对中国农业灾害的可能影响,以及最近 40 年来中国气候的实际变化和未来气候变化对农业生产潜力的影响。结果得到北方生产潜力的变异性明显大于南方。提出了为使农业生产适应气候变化应采取的基本对策。最后一章介绍了 IPCC 科学评估报告中为缩小气候变化预测的不确定性提出的各种国际合作计划及其主要目标,以及需要进行研究的重要领域。由于气候变化是一个涉及所有国家的重大问题,因此,所有国家都应该分担这些国际合作计划的责任,并为它们作出各自的贡献。通过这些国际合作计划的实施将看到这个关系到全人类的重大问题不断取得进展的美好前景。这是最后一章的目的所在。

在本书的编写过程中,作者从书后所列的参考文献得到不少启迪和裨益,它们为本书的写作提供了大量的知识、素材和文献资料,使作者在较短时间内得以实现把气候变化贯穿到对生态系统影响的研究中去的多年夙愿。由于作者的水平有限,而且由于这些问题所涉及的知识面很广,再加上目前某些研究结果只能看成是初步的,有的还互相矛盾,因此,这种努力不可能是完美无缺的,也

只能看成是一种尝试,缺点和疏漏在所难免,内容繁简处理也不一定妥当,竭诚希望读者不惜多加批评指教。

最后,我要感谢在美国工作和学习的中国学者朱迅、周顺泰、邹晓蕾、汪学良、朱跃建、张明华、章琳和章玮等在我于1993年12月至1994年5月访问美国期间帮助收集和复制大量有关气候变化及其对生态系统影响的研究报告和文献资料。

目 录

前言

第一章 引论	(1)
第二章 长期气候变化的证据及原因	(6)
§ 2.1 机制问题	(6)
§ 2.2 地质证据	(9)
§ 2.3 对第四纪冰期-间冰期循环的模拟	(20)
§ 2.4 内部强迫和因果关系	(26)
第三章 短期气候变化的证据及原因	(37)
§ 3.1 引言	(37)
§ 3.2 冰后期气候变化的地质证据	(39)
§ 3.3 短期气候变化的原因	(50)
第四章 当代气候变化的证据及原因	(65)
§ 4.1 全球气候变暖的证据	(65)
§ 4.2 温室气体的性质和人类活动引起的变化	(67)
§ 4.3 大气环流模式研究	(73)
§ 4.4 中国当代气候变化研究	(91)
第五章 植物形态学和生理学	(110)
§ 5.1 概述	(110)
§ 5.2 植物对水分和能量的需求	(111)
§ 5.3 植物形态学	(113)
§ 5.4 植物生理学	(115)
§ 5.5 森林衰退的原因	(121)
§ 5.6 物候学	(125)
第六章 生态系统与气候变化	(127)
§ 6.1 生态系统及其对气候变化的响应	(127)
§ 6.2 鸟类	(131)
§ 6.3 哺乳类动物	(137)
§ 6.4 爬行动物、两栖动物和鱼类	(139)

§ 6.5	昆虫类	(143)
§ 6.6	北美洲五大湖区生态系统	(145)
§ 6.7	海平面上升和沿海湿地损失	(148)
§ 6.8	臭氧贫化、紫外辐射和生命	(151)
§ 6.9	南极生态系统	(160)
第七章	气候变化对过去植被变化的影响	(165)
§ 7.1	植被迁移	(165)
§ 7.2	植被对小仙女木冷事件的响应	(174)
§ 7.3	植物-气候响应面	(177)
§ 7.4	北方森林的迁移	(180)
§ 7.5	小结	(182)
第八章	森林模式及其模拟结果	(184)
§ 8.1	森林模式	(185)
§ 8.2	对未来森林的模拟	(191)
§ 8.3	其它林块模式	(200)
§ 8.4	森林对温度变化的敏感性	(211)
§ 8.5	经验模式	(214)
第九章	气候变化对世界农业的可能影响	(227)
§ 9.1	气候变化对农业生态系统的可能影响	(227)
§ 9.2	气候变化对农业潜力的可能影响	(235)
§ 9.3	对气候变化的适应问题	(241)
第十章	农作物模式及其模拟结果	(246)
§ 10.1	农作物模式	(246)
§ 10.2	作物模式的推算结果	(249)
§ 10.3	北美小麦生产与气候变化	(258)
§ 10.4	加利福尼亚的农作物产量和气候变化	(261)
§ 10.5	MINK 区域	(264)
§ 10.6	气候变化对作物病虫害的影响	(267)
§ 10.7	牲畜与气候变化	(271)
§ 10.8	干旱、沙漠化和厄尔尼诺的影响	(274)
第十一章	气候变化对中国农业的可能影响	(282)

§ 11.1	全球 CO ₂ 浓度倍增条件下未来中国气候变化的可能格局	(282)
§ 11.2	气候变化对中国粮食作物的可能影响	(289)
§ 11.3	气候变化对中国经济作物的可能影响	(293)
§ 11.4	气候变化对中国种植制度和农业水热资源的可能影响	(295)
§ 11.5	气候变化对中国农业灾害的可能影响	(299)
§ 11.6	最近40年来中国的气候变化及其对农业生产潜力的影响	(302)
§ 11.7	为减缓气候变化对中国农业的影响应采取的基本对策	(313)
第十二章	减小全球气候变化预测的不确定性	(320)
§ 12.1	减小不确定性对观测系统和气候模式的要求	(320)
§ 12.2	气候和全球变化研究的国际合作计划及其主要目标 ...	(325)
§ 12.3	为减小气候变化预测科学上的不确定性需要研究的重要领域	(329)
参考文献		(335)

第一章 引论

气候变化的研究由来已久,而当前它又是一个较新和发展迅速的学科。气候变化不仅是一个科学问题也是一个社会经济问题,例如,10年或100年尺度上的气候变化与未来农业和经济活动有着明显的关系。有关未来气候变化的信息对能源政策的研究也是很重要的,矿物燃料的使用水平非常可能要受气候变化知识的指导。

环境影响评价是编制国家计划过程中一个共同关心的问题,这是因为某些人类活动影响的持续时间常常超过编制计划的典型时间尺度10年。一般而言,目前有把短期气候变化和长期气候变化,自然机制和人为机制分开研究的趋势。

在响应周期性和随机性两类强迫因子的过程中,可以说气候在所有时间尺度上发生变化。图1.1给出从10年到100亿年尺度上气候相对变化的尝试性估计,它是以古气候代用指标(如氧的同位素记录),史料记载和近代器测资料相结合得到的,它只表示对资料的主观解释,而非定量评估。图中的峰值代表气候变化的各种周期分量。如果假定气候系统按线性方式响应各种强迫因子的组合,那么这些峰值必定与强迫因子的周期相对应。但是,如果气候系统对强迫因子的响应是强非线性的,那么,响应周期不一定与强迫因子的周期相同。

由图1.1可见,在直至100万年的时间尺度上,相对变化的主要峰值出现在10万年、4万年、2万年和2500年的周期上(实线);在1000万年以上的时问上还有两个主峰值,对应于2亿~5亿年和3000万~6000万年的周期。由图还可看到,随着时间尺度缩短,区域尺度($<1000\text{km}$)气候变化的贡献有增大的趋势。

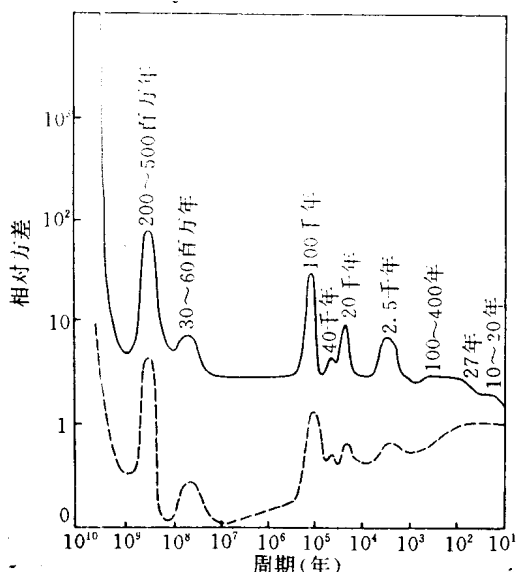


图 1.1 从 45 亿年到 10 年时间尺度上气候变动周期的相对方差的尝试性估计(实线)。虚线表示气候变动的地理尺度,在它以下的面积表示小于 1000km 空间尺度的气候过程对总方差的贡献 (Mitchell, 1976, 取自 Goodess 等, 1992)

为了认识气候变化的原因,需要弄清对这些相对变化的峰值有贡献的机制。图 1.2 给出自然气候变化的主要机制及它们运作的时间尺度。该图表示, $10^8 \sim 5 \times 10^9$ 的气候变化是由银河系尘埃和螺旋臂变化引起的, $10^7 \sim 5 \times 10^9$ 的气候变化与太阳演化有关, $5 \times 10^6 \sim 10^9$ 年的气候变化是由大陆漂移和极点游动造成的, $10^4 \sim 10^9$ 年的气候变化与造山运动和地壳均衡有关, $10^4 \sim 5 \times 10^8$ 年的气候变化与地球轨道参数有关, $10^0 \sim 5 \times 10^8$ 年的气候变化与海洋环流变化相联系, $10^1 \sim 5 \times 10^9$ 年的气候变化与大气演化有关, $10^0 \sim 10^7$ 年的气候变化与火山活动有关, $10^0 \sim 5 \times 10^4$ 年的气候变化

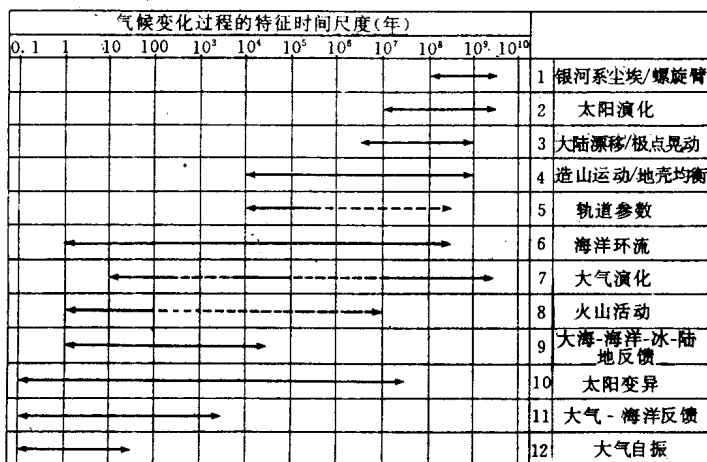


图 1.2 气候变化的主要机制及它们运作的时间尺度(Wigley, 1981, 取自 Goodess 等, 1992)

是大气-海洋-冰-陆地之间的反馈过程造成的, $10^{-1} \sim 5 \times 10^7$ 年的气候变化与太阳变异有关, $10^{-1} \sim 5 \times 10^3$ 年的气候变化是由大气-海洋之间的反馈引起的, 最后, $10^{-1} \sim 5 \times 10^1$ 年的气候变化是大气自身变动的结果。

图 1.3 给出整个地球气候史(45 亿年)上温度和降水最一般的特征曲线, 它们是根据各种气候代用指标(包括海洋沉积物和化石群体)提供的证据重建而成的。注意, 它们表示的是冷暖、干湿的相对(现在)状况, 而不是绝对值。在图的顶部时间尺度是放大的, 因为越接近现代, 有越多的地质证据和其它证据可用。这种放大的分辨率允许识别比较迅速的变化, 在最后 200 万年(第四纪)地质记录中的表现是一致的, 即不仅在极冷周期迅速变动的数目上, 而且在接近现代的“正常”温度值上, 都具有相当好的一致性。这些就是第四纪(或更新世, Pleistocene, 它包括第四纪, 但最后的 1 万年不在内)冰期-间冰期循环。在冰期中现今的温带受到陆冰

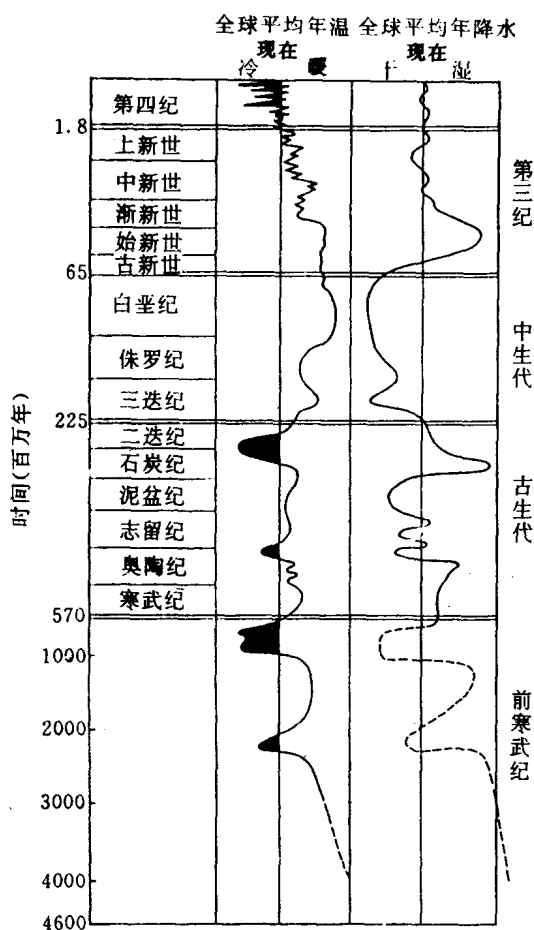


图 1.3 整个地球气候史上全球平均温度和降水的特征曲线。它们给出的是相对现在全球平均值的偏差。比现在冷的时期涂以黑色，虚线表示资料空白时期。注意，时间标尺是由下至上逐渐放大的 (Frakes, 1979, 取自 Goodess, 1992)