

Review of Paleoclimate Research and Methods in China

Hua Dongwen^{1,2,3,4*}

1. Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co. Ltd, Xi'an;
2. Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co. Ltd, Xi'an;
3. Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Land and Resources, Xi'an;
4. Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an

Abstract: Global warming is one of the hot topics today, and the understanding of past global climate change, especially the past climate change is the key to predicting future global change. China's research on loess, lake sediments, ice cores, marine sediments and other information carriers has achieved a lot of results. This paper summarizes the previous studies on the basis of previous studies. Revelation of paleoclimate, global change process and revealing of laws provide a reference.

Key words: Paleoclimate; Climate change; Record carrier; Research method

Received: 2020-04-16 ; Accepted: 2020-04-30 ; Published: 2020-05-30

我国古气候研究与方法综述

花东文^{1, 2, 3, 4*}

1. 陕西省土地工程建设集团, 西安;
2. 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 西安;
3. 陕西省土地整治工程技术研究中心, 西安;
4. 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 西安

邮箱: huadongwen@126.com

摘 要: 全球变暖是当今的热门话题之一, 而对过去全球气候变化的认识, 尤其是对过去古气候变化的认识是预测未来全球变化的关键。我国对黄土、湖泊沉积物、冰芯、海洋沉积物等气候变化信息载体的研究已取得了大量的成果, 本文在前人研究基础上进行了归纳总结, 为过去全球变化及环境演化研究、古环境和古气候重建、全球变化过程及规律的揭示提供参考。

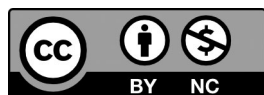
关键词: 古气候; 气候变化; 记录载体; 研究方法

收稿日期: 2020-04-16; 录用日期: 2020-04-30; 发表日期: 2020-05-30

Copyright © 2020 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



近年来,全球变暖问题及极端天气事件频发越来越受到社会的关注,不少学者将目光投向古气候学,以期通过研究自古代保存至今的记录指标,建立其与当时自然地理环境的关系,进而推演古代气候特征,来应对当下日益严重的气候变化[1]。其研究方法大致可概述如下:针对某一个研究问题,获取研究材料(沉积物、冰芯、树木年轮、洞穴石笋等),对沉积物等定年获取气候变化信息,建立气候变化时间序列,分析描述气候变化历史(包括变化周期、特殊事件、相位关系、区域与全球对比等),在重建时间序列的基础上描述空间上的变化特征,通过数值模拟讨论气候变化的原因与机制(包括动力因素、动力过程),预测气候变化趋势(包括动力因素、空间格局、动力机制、变化趋势)。多年来,我国学者在古气候研究领域开展了大量研究,取得了一系列成果,本文在前人研究基础上,以各种古气候记录的信息载体为主线对过去的研究成果进行综述,为过去全球变化及环境演化研究、古环境和古气候重建、全球变化过程及规律的揭示提供参考。

1 冰芯记录

冰芯是在冰盖上钻孔获得的连续冰层,因其保真度好(低温环境)、分辨率高(可达到年)、记录序列长(可达几十万年)等优势,已成为研究古气候和古环境变化的重要载体。冰芯本身不直接反映气候环境,而是通过对冰芯中隐含的各类代用指标的破译,与过去的气候环境要素变化建立起联系。我国在青藏高原地区开展了大量的冰芯记录研究[2],如1987年钻取的祁连山敦德冰芯最初被确认为年龄高于100 ka;1992年在西昆仑山古里雅冰帽钻取的308.6 m透底冰芯是中、低纬地区钻取的深度最深、时间尺度最长的冰芯[3],基于古里雅冰芯放射性元素 ^{36}Cl 的测量结果,估算古里雅冰芯底部年代老于500 ka,甚至最高可达760 ka;1997年在喜马拉雅山脉中段希夏邦马峰地区的达索普冰川(海拔7000 m)钻取了全球最高海拔的冰芯,成为在中低纬度获取的唯一可进行甲烷等大气温室气体含量变化研究的冰芯。30余年来,我国科研工作者在青藏高原及其毗邻地区20余处钻取了多支冰芯,在不同时空尺度揭示了青藏高原地区的气候环境变化特征绝对定年技术的发展,促使中国冰期-间冰期尺度

上第四纪冰川序列的数值年表被建立起来,并发现气候变化幅度与北极、南极地区的差异十分明显,认为太阳辐射是青藏高原气候变化的主要驱动力 [4]。

2 海洋、湖泊记录

2.1 湖泊沉积物

湖泊是地球圈层重要的组成部分,是湖水、湖盆、以及水体生物等组成的自然综合体。湖泊沉积物是不同地质、气候、水文条件下各类碎屑、自生或生物成因矿物以及有机物质等的综合体。湖泊沉积物因其地理覆盖面广、时间跨度大、保存完整且连续性好、蕴含信息量大以及高分辨率等特点而成为恢复地球环境不同时间尺度演变历史的重要指示器。刘瑾 [5] 通过内蒙古中东部达里湖和浩来呼热古湖的湖泊沉积物,重建该区域全新世以来的气候环境变化过程,其中记录的六次冷事件与北大西洋的冰伐事件具有较好的一致性,说明东亚季风系统气候变化与北大西洋地区相耦合。

2.2 孢粉

孢粉包括植物的孢子和花粉,具有体积小、产量高、易被搬运的特点,并且由于孢粉壁的性质稳定使孢粉易于保存。而植物的生长受到地形、气候、土壤等条件的控制,不同的气候条件和地理环境造成了植物群落的不同,相应地会在地层中留下不同的化石孢粉组合,所以化石孢粉资料可以用来推断过去植被生长状况和气候变化情况 [6]。

随着数理统计方法和计算机技术被引入古气候研究,伴随全球植被和气象数据库日趋完善以及现代孢粉数据库的不断建立和补充,基于孢粉的古气候重建研究的热点从早期的根据孢粉组合中的优势种丰度定性描述气候的冷暖干湿状态或半定量地估计气候变冷、变暖、变干、变湿的状态,转变为根据孢等代用指标对化石样点过去的气候状况进行量化估计并对不同时间尺度的区域或全球气候变化情况进行比较。目前,通过现代花粉资料建立孢粉-气候模型已经成为定量重建古气候的重要方法之一。常用孢粉-气候建模方法主要有最佳类

比法、孢粉-气候响应曲面法、孢粉-气候因子转换函数法 [7]、增强回归树法 [8] 等。例如, Mu [9] 等利用 420 个表土样点的现代花粉数据和气象数据应用最佳类比法重建了泥河湾盆地侯家窑遗址形成过程的降水和温度序列, 并指出侯家窑古人类生活在具有丰富动植物食物来源的大理冰期(距今约 7 万至 1 万年)。

3 陆地记录

3.1 树木年轮

树木的生长是一个吸收 CO_2 和 H_2O 进行光合作用的过程。树木在光合作用过程中吸收的 CO_2 和 H_2O 是树轮有机组成中 C、H、O 的唯一来源, 因而树轮 C、H、O 同位素组成应能反映树木生长时大气圈(CO_2)和水圈(H_2O)的同位素组成特点。同时, 光合作用过程也是一个受环境气候因子制约的同位素分馏过程, 经过这一过程的树轮同位素组成, 也应记录生长时气候因子的信息。树轮碳、氢、氧同位素已成为古气候学家研究古气候、古环境变化的一个有力工具 [10]。中国树轮研究始于 20 世纪 30 年代, 21 世纪以后得到快速发展。除了常用的松、杉、柏外, 目前部分灌木也被用于气候学研究。树轮气候学指标不仅包括宏观的树轮宽度、密度和稳定同位素(C、H、O)记录, 还包括细胞尺度上的多种指标。近年来开展的野外树木生长监测, 则为基于树轮指标与气候要素关系统计分析基础上的气候重建奠定了树木生理学基础 [11]。

3.2 黄土古土壤

古土壤是地形、沉积物组成、母岩、时间、生物、水文、相对物源区的盆地位置和气候的综合产物, 在地球表面形成, 期间一直暴露在空气中与大气接触, 所以能够保存大量的古气候信息, 可以为重建古气候提供优良的通道。当前国际上与国内对古土壤的关注主要集中在, 测试古土壤中的碳酸盐的稳定同位素, 以此来恢复古生态环境、重建古气候等, 并且可以追溯显生宙的大气 pCO_2 浓度信息。比如刘芮芩 [12] 在岩相、阴极发光分析基础上, 对湖南茶陵盆地戴家

坪组成壤钙质结核进行了碳、氧同位素测试,重建了该区晚白垩世古降水的氧同位素;李余亮 [13] 通过对广东丹霞盆地的古土壤特征观察以及碳氧同位素及主量元素测试分析了丹霞盆地的古气候;荆夏 [14] 通过对松辽盆地青山口组的鸟河剖面与红石山剖面、吉林农安地区李家沱子剖面以及吉林松原地区哈达山剖面以及嫩江组沈家屯剖面等五个剖面,进行一系列野外与室内分析工作,恢复当时的古气候环境;王凤之 [15] 通过对信江盆地塘边组的碳氧同位素测试,对该地的大气 $p\text{CO}_2$ 进行了详细的探讨。

3.3 洞穴石笋

洞穴石笋是洞穴内的一种碳酸盐沉积,其形成所经历的地球化学过程受到气候和环境因素的影响和控制。因此,石笋蕴含的多种指标,如碳氧同位素、微量元素、生长速率、流体包裹体、微生物等,被提取出来重建过去的气候和环境变化。如:石笋沉积中的铀系同位素为确定年代标尺提供了证据,而氧同位素的高低则通常被用来反映季风的强度。程海教授及其研究团队与国内外同行合作对湖北神农架地区进行了长期考察,并在三宝洞采集到多根石笋材料,利用高精度铀(U)-钍(Th)定年和稳定同位素测试分析,将亚洲季风的洞穴石笋氧同位素记录延伸至过去64万年,即U-Th测年方法的年龄上限 [16]。该项研究给出了一份迄今最为详细和准确的64万年以来亚洲季风强度变化的历史记录,证实了过去7次主要冰期结束和千年尺度气候事件的发生是由岁差(地球的轴进动)引起的太阳辐射变化驱动的。研究同时指出,距今40万年前后和最近2000年的氧同位素记录可为预测未来的气候变化提供参考。该成果不但为其他古气候序列提供了高精度的绝对年代控制,而且使人们在探索气候系统的驱动因素和响应机制方面又迈进了一步。

4 结语

近几年来,古气候研究无论在记录(冰芯、湖泊沉积物、孢粉、树木年轮、黄土、石笋)揭示还是在机制认识及模拟方法等方面都取得了非常大的进步。随着科学技术的不断发展,一些新技术和新方法也随之出现,如AMS ^{14}C 测

年、热电离质谱 (TIMS) 铀系法定年, 使得高精度高分辨率研究古气候成为可能; Versteegh 等 [17] 发现蚯蚓的粪便中微小的方解石颗粒 (Earthworm Calcite Granule, ECG) 会记录下周围环境的信息, 因此可以作为了解古气候变化的“金钥匙”, 具有进一步推广发展成新的古气候指标的潜力。在古气候的研究中, 基本分为两个时段, 一个是近 0.2 万年以来的古气候变化的模式, 旨在理解引起冰期-间冰期变化的动力学, 从而阐明控制气候变化的动力学机制。另一个是距今 0.2 万年以来古气候、古环境的变化趋势, 这主要是为预测未来 50—100 年地球系统的区域至全球尺度的变化速率提供资料。

气候变化的原因十分复杂, 到目前为止还没有哪一种学说或观点能够给我们一幅清晰的气候变化的图像, 对气候变化的影响实际上是多因子共同作用、多尺度重叠、人类活动和自然因素混杂的过程。正是气候变化的极端复杂性, 才使处于今天科技飞速发展的现代人类比以往任何时期都更加迫切地希望了解整个地球环境的行为规律, 也正是气候变化的极端复杂性, 才使不同学科的科学家的献身于这一领域, 形成全球气候变化研究的巨大潮流。我们相信, 在不远的将来, 更加切合实际的气候模拟与广泛而具有高分辨率的可靠的长时间序列的气候记录及观察结果的紧密结合, 无疑会使我们对气候变化原因的认识更加深入。

参考文献

- [1] 刘东生, 丁仲礼, 郭正堂. 国际南北半球古气候计划简介 [J]. 地球科学进展, 1995, 10 (5): 483–487.
- [2] 姚檀栋, Thompson L. 敦德冰芯记录与过去 5 ka 温度变化 [J]. 中国科学 B 辑: 化学-生命科学-地学, 1992, 10: 1089–1093.
<https://doi.org/10.1360/zb1992-22-10-1089>
- [3] 姚檀栋, Thompson L, 施雅风, 等. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1997, 27: 447–452.
- [4] 姚檀栋. 青藏高原冰芯研究 [J]. 冰川冻土, 1998 (3): 41–45.
<https://doi.org/10.1215/01636545-1998-71-41>

- [5] 刘瑾, 王永, 姚培毅, 等. 末次冰消期以来内蒙古东部气候变化——基于风成砂-古土壤序列的地球化学记录[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1103-1114.
- [6] 丁国强, 申改慧, 李月丛, 等. 泥河湾盆地上新世末期植被与气候变化的孢粉学记录[J]. 第四纪研究, 2018, 38(2): 336-347.
- [7] 秦锋, 赵艳. 基于孢粉组合定量重建古气候的方法在中国的运用及思考[J]. 第四纪研究, 2013, 33(6): 1054-1068.
- [8] 潘安定, 陈碧珊, 刘会平, 等. 孢粉学定量重建古气候方法探讨[J]. 热带地理, 2008, 28: 493-497.
- [9] Mu H, Xu Q, Zhang S, et al. Pollen-based quantitative reconstruction of the paleoclimate during the formation process of Houjiayao Relic Site in Nihewan Basin of China [J]. Quaternary International, 2015, 374(3): 76-84.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.02.019>
- [10] Kaizer J, Kučera J, Kameník J, et al. Determination of elemental content in the Rumanová, Uhrovec, Velké Borové, Košice and Chelyabinsk chondrites by instrumental neutron activation analysis [J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2017, 311(3).
<https://doi.org/10.1007/s10967-017-5168-3>
- [11] 陈拓, 秦大河, 康兴成, 等. 树轮氢、氧同位素研究进展. 地球科学进展, 1998, 13(4): 382-386.
- [12] 刘茵岑, 李祥辉, 胡修棉. 湖南茶陵盆地晚白至世古降水氧同位素[J]. 沉积学报, 2018, 36(6): 1169-1176.
- [13] 李余亮, 郭福生, 王凤之, 等. 江西贵溪塘边组细粒碎屑岩地球化学特征及其地质意义[J]. 地层学杂志, 2018, 42(2): 224-237.
- [14] 荆夏. 松辽盆地东部晚白至世孢粉化石组合及其古气候记录[D]. 中国地质大学(北京), 2011.
- [15] 王凤之, 陈留勤, 郭福生, 等. 江西信江盆地晚白至世塘边组成壤碳酸盐岩碳、氧同位素特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2018, 37(1):

143–151.

- [16] 程海, 张海伟, 赵景耀, 等. 中国石笋古气候研究的回顾与展望 [J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49 (10): 1565–1589.
- [17] 宗秀兰, 宋友桂, 李越. 蚯蚓方解石颗粒——一种新的古气候信息记录载体 [J]. 地球科学进展, 2018, 33 (9): 983–993.