

全新世北大西洋冷事件:年代学和气候影响*

王 绍 武

(北京大学物理学院大气科学系,北京 100871)

摘要 回顾了全新世北大西洋冷事件的研究,重点分析年代学和气候影响。首先,综合北大西洋 8 个深海沉积序列 13 种不同指标反映的冷事件,证明 Bond 等(1997)的研究是有代表性的。全新世的 9 次冷事件,由近及远编号 0~8,出现于 0.4 kaB. P., 1.4 kaB. P., 2.8 kaB. P., 4.2 kaB. P., 5.9 kaB. P., 8.1 kaB. P., 9.4 kaB. P., 10.3 kaB. P. 和 11.1 kaB. P.。其次,从早全新世到晚全新世逐一地综述了 9 次冷事件出现时间及气候影响。发现与冷事件对应的气候异常,主要表现为北半球高纬寒冷、低纬亚非季风区干旱。也有迹象表明出现冷事件时西-中欧及北美北部气候湿润。最后分析了冷事件的成因。早全新世冷事件可能与融冰淡水脉冲有关,中-晚全新世太阳活动减弱可能是冷事件发生主要原因,但不排除有气候系统内部振荡的影响。

主题词 全新世 北大西洋 冷事件

中图分类号 P534.632, P467 **文献标识码** A

1 引言

对北大西洋冷事件的大量研究至今不过 10 年左右。这个问题之所以引人注目,主要是它可能反映了北大西洋经向翻转流(Meridional Overturning Circulation,简称 MOC)的强度变化。MOC 是全球热盐环流(Thermohaline Circulation,简称 THC)的重要组成部分。发生冷事件时,北大西洋表层为融冰淡水控制,抑制了北大西洋深水(NADW)的形成,MOC 减弱,向北输送的热量大为减少。研究表明^[1-9]:冷事件对大西洋两岸的气候有重要影响,而且可能通过大气环流和海洋环流影响到世界上其他地区。因此,对冷事件的研究成为古气候研究的一个重要课题。全新世冷事件一般仅维持 100~200 年,而且开始和结束多在较短时间内完成,所以也称为气候突变或快速气候变化。另外,由于其发生发展与 THC 变化密切相关,与冰期中的 D/O 循环类似,而且发生频率在 1000~1500 年之间,所以也有人称为千年尺度气候震荡^[2,6]。本文重点研究冷事件年代学和气候影响。

2 北大西洋冷事件

Bond 等^[1]最早根据浮冰碎屑(IRD)指出全新

世北大西洋有 8 次流冰事件,人们经常称为冷事件的 1.4 kaB. P., 2.8 kaB. P., 4.2 kaB. P., 5.9 kaB. P., 8.1 kaB. P., 9.4 kaB. P., 10.3 kaB. P. 和 11.1 kaB. P.; 由近及远编号自 1 到 8。以后大量的研究显示小冰期(0.4 kaB. P. 前后)属于类似的冷事件。因此,也列入冷事件序列,编号为 0。后来又发表了一些新的北大西洋深海沉积序列^[2-7]。表 1 给出 8 个地点共 13 种不同要素的序列的冷事件年表。表 1 中 x 表示在 Bond 等^[1]所列的冷事件典型年代前后共 0.5ka 时间内没有冷事件信号,/表示没有记录,带括弧的数字表示仅为次峰值。表 1 中各序列的时间分辨率不一,甚至同一序列在不同时段时间分辨率也有不同,但是,大体上可以达到 100a 左右。所以表 1 分辨率取 0.1ka。由表 1 我们可以得到结论:北大西洋冷事件是大洋尺度的,而不是局地性的,并且 Bond 等^[1]的序列有相当好的代表性。对南极 11 个冰芯水的同位素分析^[8]表明,发生北大西洋冷事件时南极可能暖,但出现时间可能落后于北大西洋几百年到几十年。这是冷事件发生时 THC 减弱的有力证据。Mayewski 等^[9]分析了全球 50 个地点的古气候和古环境资料,证明 9~8kaB. P., 6~5kaB. P., 4.2~3.8kaB. P., 1.2~1.0kaB. P. 和 0.6~0.15kaB. P. 时期高纬度冷、热带干旱。这是对冷事件气候影响

作者简介:王绍武 男 76 岁 教授 气候学研究专业 E-mail:swwang@pku.edu.cn

* 财政部/科技部公益类行业专项项目(批准号:GYHY200706010)资助

2009-01-21 收稿,2009-06-09 收修改稿

表 1 全新世北大西洋冷事件年代学(kaB. P.)

Table 1 Chronology of Holocene cold events over the North Atlantic Ocean

No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	地点	代用指标
1	0.4	1.4	3.0	4.1	5.3	8.1	×	10.5	11.3	MD 99-2269 ^[4]	石英(%)
2	0.5	1.4	3.1	(4.1)	5.3	8.1	×	10.4	11.1	MD 99-2269 ^[4]	石英/斜长石比值
3	0.3	1.5	3.1	4.1	×	7.9	9.3	/	/	MD 99-2269 ^[4]	有孔虫(%)
4	0.8	1.3	2.9	×	×	8.4	9.3	10.2	/	BS191-K15 ^[5]	>2/mm 颗粒数
5	/	1.1	2.5	4.1	5.8	8.2	9.4	10.3	×	VM 28-14 ^[2]	染赤铁矿颗粒(%)
6	/	1.4	2.8	4.3	5.5	8.2	9.5	10.2	10.9	VM 29-191 ^[2]	染赤铁矿颗粒(%)
7	/	(1.4)	2.8	4.4	5.5	8.4	(9.5)	10.3	11.0	VM 29-191 ^[2]	冰岛玻璃(%)
8	0.3	1.8	2.6	4.1	×	7.9	9.3	10.4	/	MD 95-2011 ^[6]	石英/斜长石比值
9	×	1.3	2.8	4.1	×	7.9	×	10.5	/	MD 95-2011 ^[7]	有孔虫(右旋)
10	×	1.2	2.9	4.1	5.5	8.0	×	×	/	MD 95-2011 ^[7]	有孔虫(左旋)
11	0.4	1.4	2.8	4.2	5.2	/	/	/	/	NEAP-15K ^[3]	平均颗粒大小(μm)
12	0.3	1.4	2.8	3.8	5.4	8.0	9.5	10.2	10.8	EW93-GGC36 ^[2]	黑金刚石碎片(%)
13	0.4	1.4	2.6	3.6	(5.2)	8.2	9.4	10.0	10.9	KM98-MC21 ^[2]	冰岛玻璃(%)

全球性的最好证明。

(1) 早全新世气候振荡

一般指全新世中 8.2kaB. P. 事件及其以前的气候振荡。根据 Bond 等^[1]的研究,早全新世北大西洋冷事件分别出现于 8.1kaB. P., 9.4kaB. P., 10.3kaB. P. 和 11.1kaBP, 分别编号为 5, 6, 7, 8。从表 1 可以看出, 8.2kaB. P. 事件在 12 个序列中均有反应, 仅有 1 个序列缺少资料。而且, 是全新世最强的冷事件, 所以, 下一节再专门讨论。冷事件编号 6~8 发生于刚刚进入全新世, 所处环境相同, 因此一起讨论。这 3 个冷事件对欧洲, 特别是北欧有明显的气候影响。早在 1950 年代末到 1960 年代初, 欧洲气候的研究就已经注意到进入全新世后这一系列的气候振荡。其中, 全新世最早的冷事件(事件 8)出现在气候学上所谓前北方期(Preboreal, ¹⁴C 年龄为 10.0~9.5kaB. P.), 所以有时称为前北方期振荡(PBO)^[10,11]。西北欧, 这些气候振荡表现为短暂的冷干事件, 类似草原植被扩展, 孢粉、冰芯、水体沉积、树木年轮、氧同位素及叶片角质均证明了 PBO 的存在^[10,11]。事件 7 和 6 出现在气候学上的北方期(Boreal, ¹⁴C 年龄 9.5~7.5kaB. P.), 有时也称为北方期振荡。2005 年 4 月 21~22 日在阿姆斯特丹举办了早全新世气候振荡讨论会, *Quaternary Science Reviews* 于 2007 年出版了专号^[12]。Rasmussen 等^[13]分析了早全新世格陵兰 3 个冰芯, 指出有 3 个冷干事件, 与 Bond 等^[1]的冷事件 8, 6 和 5 相对应。Magny 等^[14]利用中欧湖泊沉积详细研究了 PBO, 时间分辨率在 10~20a 之间。主要结论是 PBO 时期(11.30~11.15kaB. P.) 中欧(58°~43°N)

湖泊水位高。认为这反映在 PBO 时北大西洋西风急流摆动大, 向大陆伸展强。

(2) 8.2kaB. P. 事件

这可能是全新世 11.5kaB. P. 以来最强的一次冷事件^[15]。由于这是出现在“新仙女木事件”(YD 事件, 约 12.5~11.5kaB. P.) 之后, 特征与之十分类似的事件, 所以, 曾经有人称为新“新仙女木事件”或 8kaB. P. 事件^[16]。但是, 大多数学者仍然采用 8.2kaB. P. 事件这个名称。早在 1990 年代中期^[15,17]或者更早^[18]已经有人注意到 8kaB. P. 前后北大西洋地区短时间冷干气候信号, 例如格陵兰冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 及化学成分, 冰川及许多其他古气候代用指标上均有反映。1997 年 Alley 等^[19]的研究是最具代表性的工作。他们详细分析了格陵兰 GISP2 冰芯的不同物理、化学量。这些量不仅反映了局地气候条件(温度、积雪量), 也反映了区域气候条件(风带来的海盐、大陆粉尘)和大尺度气候条件(甲烷)。把 8.25kaB. P. 的值与 8.0~8.4kaB. P. 的值比较, 得到距平值。发现气温下降 6°C, 积雪量减少 20%。说明当地的气候处于冷干状态。Cl⁻ 和 Ca⁺² 反映了海上及陆上大气环流强渡, 这两个量均增加 60%, 这表明大气环流增强。而甲烷减少 10%~15%, 这说明热带植被减少。因此, 8.2kaB. P. 事件的气候特征是冷干^[19]。但是, 究竟怎样来评价这个事件的强度呢? Alley 等^[19]与 YD 事件做了比较, 大体上可以认为 8.2kaB. P. 事件强度约为 YD 强度的 1/3 到 1/2。不少其他古气候资料证明^[16], 这个评估基本上是正确的。不过, 8.2kaB. P. 事件的强度是全新世冷事件中最强的。在 Bond 等^[2]的各种序列中也

有类似反映。另一个值得关注的就是事件持续时间。一般认为 YD 事件持续约 1000 年,而 8.2kaB. P. 事件持续约 200 年,只有 YD 事件的 1/5。至于 8.2kaB. P. 事件的影响是不是全球性的,Alley 等^[16]做了较为系统的总结:北半球大部地区的气候均受 8.2kaB. P. 事件的影响。特点是高纬变冷、变干,低纬则变干最突出。但是南半球除了南大西洋有变暖的微弱信号外,无明显的反映。

(3) 5.5kaB. P. 事件

这是发生在全新世中期的一次气候突变,其特点仍是气候变冷、变干。虽然 Bond 等^[1]的冷事件年表定为 5.9 kaB. P.,但是大多数大西洋深海沉积给出的年表在 5.5 ~ 5.3kaB. P.^[7,20]。这次事件是一次气候突变,同时也反映了全新世气候趋势由暖湿向冷干的转变。在北大西洋及欧洲这种转变的影响十分明显。黄春长在《环境变迁》^[21]中专门讨论了这个问题。他指出,这时正好处于大西洋时期 (Atlantic) 及亚北方期 (Sub-Boreal) 的过渡期,¹⁴C 年龄为 5kaB. P.。这时在西北欧出现了“榆树衰败” (Elm Decline) 事件。湖泊沼泽沉积剖面的花粉分析表明榆树花粉迅速减少。木炭屑和放牧指示植物如细叶车前和谷物花粉出现了全新世第一个峰值。这通常被解释为人类在新开辟出的空地上放火烧荒,林缘地带形成了次生桦、柳灌丛,空地形成牧场主要用来放牧,并少量开垦种植谷物。因此,不少学者认为“榆树衰败”也包含着人类活动的影响^[21]。如果直接做树轮校正,¹⁴C 年龄 5kaB. P.,大约相当日历年 5.7kaB. P.。但是,北欧的资料表明^[19],这个冷事件持续期可能在 250 年左右。所以考虑大多数研究^[21],这里用日历年 5.5kaB. P. 来做事件的特征时间。Magny 和 Haas^[22]综合了南、北半球陆地和海洋的 44 个代用指标序列,说明 5.6 ~ 5.0kaB. P. 气候的主要特征是冷干。这些资料包括植被、冰川、高山树限、永冻土、高纬树线、海温、极地冰盖及热带冰芯,涉及两个半球五大洲,充分显示了 5.5kaB. P. 事件的全球性。大量的事实证明,这个事件并不仅限于人类活动发展的欧洲。从北大西洋向西到南美洲、北美洲,向东到亚洲、非洲,甚至南半球均可发现这个事件影响的证据^[22]。显然,这就说明事件主要不是局地因素造成的。当然,人类活动或许加速或加重了事件的发展。吴文祥与刘东生^[23]强调了 5.5kaB. P. 冷事件在三大古文明演化中的作用。这也从另一个角度反映了 5.5kaB. P. 事件及其影响范围广泛。

(4) 4.2kaB. P. 事件

这是全新世中期,即 5kaB. P. 以来最强的一次气候突变。特点是中纬度 (45°N) 以南到热带 (15°N) 北美洲、北非、地中海到中亚及东亚的干旱。干旱期可能持续 100 ~ 200 年,降水量可能减少 20% ~ 30%。8.2kaB. P. 事件是早全新世最强的一次事件,4.2kaB. P. 事件则是晚全新世最强的事件。在 IPCC 第四次评估报告中讲述全新世气候突变时,只讨论了这两个事件^[24]。但是 8.2kaB. P. 事件的主要气候特征是高、中纬变冷,而 4.2kaB. P. 事件则是中、低纬干旱最突出。实际上,对 4.2kaB. P. 事件的重视,最初来源于对古文明发展的影响。Weiss 等^[25]最早提出干旱可能是阿卡德王国解体的原因。deMenocal^[26]根据阿曼湾的近海沉积中白云石、CaCO₃ 及陆源物质在 4kaB. P. 的显著增加,认为那时有严重的持续性干旱,并造成了阿卡德王国的解体。此外,大量的古环境证据表明,4.2 ~ 4.0kaB. P. 时期,土耳其、叙利亚、巴勒斯坦一带确实气候干旱^[25]。几乎在相同的时间 (2181 ~ 2040BC),在古埃及为第一中间期,正是王国四分五裂,人民动乱、文明衰落的时期^[27]。这时尼罗河流量减少、东非湖泊水位下降^[28]。印度河哈拉帕文明的衰败也可能与干旱有关,中国夏朝的建立 (2070BC) 也正好在这一时期^[29]。Marchant 与 Hooghiemstra^[30]总结了热带非洲 28 个古环境序列,着重说明 4.2kaB. P. 前后的干旱。An 等^[31]综合分析了中国西北部新疆、内蒙高原及青藏高原北部 23 个古气候序列,包括冰芯、湖泊水位、孢粉及黄土古土壤记录,指出新疆的湿润期在 7 ~ 5 kaB. P.,青藏高原北部 5kaB. P. 之后气候湿润度下降,内蒙古黄土高原 4kaB. P. 之后气候显著变干。Morrill 等^[32]综合分析了从阿拉伯半岛经红海、南亚、到中国的 36 个序列。以上这些研究表明 5.0 ~ 4.5kaB. P. 中国东南部季风区发生了向冷干的气候突变,这表明夏季风衰退。Booth 等^[33]根据大量的古环境资料证明,北美中部在 4.3 ~ 4.1kaB. P. 有一个约持续 200 年的干旱期。这证明 4.2kaB. P. 事件的气候影响不仅限于亚非季风区。

(5) 2.8kaB. P. 事件

这是晚全新世比较强的一次冷事件^[1]。各种海洋资料反映的时间比较集中,气候影响的时间也大多集中在 2.8 ~ 2.6kaB. P.^[4]。2.8kaB. P. 欧洲的气候特点与其他冷事件类似,即北欧冷干,而西欧冷湿^[9]。根据挪威冰川湖沉积,3.0 ~ 2.0kaB. P. 气候

特征为冷干,主要是夏季冷、冬季干,极值接近 2.8kaB. P.; 与现代观测比较,发现冬季降水与 NAO 有很高的相关性,气候冷干相当于弱 NAO^[34]。西欧的情况则不同,整个全新世英国有确定 ¹⁴C 定年的洪水共 506 次,其频率分布显示出有几个峰值,2.8kaB. P. 即是一个峰值,这说明西欧的气候特征为冷湿^[35]。有趣的是,同样根据现代观测^[34],这相当于负 NAO 位相,与北欧的结果相同。但是,在法国与瑞士等的中欧地区,气候特征为冬冷夏湿^[36]。Booth 和 Jackson^[37]根据密歇根沼泽阿米巴虫、泥碳腐殖质、气孔及植物化石研究了近 3.5kaB. P. 的地面湿度并与湖水水位记录作了比较。发现 3.2 ~ 2.3kaB. P. 是一个湿润期,其峰值在 2.8 ~ 2.6kaB. P.。近万年北美东北部洪水的研究也得到了同样的结论^[38]。王绍武等^[39]综合分析了 7 个代表亚非季风区夏季风的序列,其中 5 个序列在 3.0 ~ 2.8kaB. P. 有夏季风减弱、降水量减少的信号。中国西周晚期自周厉王到周幽王(877 ~ 771BC)共 107 年,有许多干旱的历史记载。一部分反映在《诗经》中,也有的记录在各种古籍中,如《国语》、《竹书纪年》。这些干旱记载得到了古环境资料的证实,如青海湖孢粉、巴谢黄土磁化率、红原泥碳 $\delta^{13}\text{C}$ ^[40]。这些地区正好在夏季风影响区的西北边缘,气候干旱表明夏季风减弱。

(6) 1.4kaB. P. 事件

这大约是晚全新世较弱的一次冷事件,不过在一些深海沉积中仍有明确的反映(见表 1)。这次事件气候影响的记录比其他冷事件要少一些,不过高纬寒冷、低纬干旱仍然是这次事件的主要气候特征。北美西北部、欧亚大陆温度下降、热带非洲干旱,例如的的卡卡湖水位下降、厄瓜多尔干旱^[9]。确实,从阿拉伯海到印度半岛南亚季风减弱^[41~44],东亚季风也减弱^[45]。但是,西-中欧冰川前进,湖泊水位上升^[36],北美大平原北部有湿润气候的证据^[46]。这种情况与 2.8kaB. P. 事件类似。此外,Mayewski 等^[9]认为与这次冷事件有关的气候异常大部分发生在 1.2 ~ 1.0kaB. P.。然而,确实也有部分异常发生在更宽的时间范围内,例如,1.1 ~ 1.8kaB. P. 之间(表 1)。这可能说明由于冷事件较弱,因此气候信号也较弱,或者不同地区气候对冷事件响应的时间有差异,这也是一个需要进一步研究的问题。

(7) 小冰期

这是距我们生活的时代最近的一次冷事件,也是资料最丰富、研究最广泛的、而且是惟一有直接温

度观测记录的冷事件。研究千尺度气候振荡时,一般采用的典型时间是 0.4 kaB. P., 即 1550 A. D., 实际上这只是冷期的开始。Lamb^[47,48] 给出的小冰期是 1550 ~ 1850 A. D., 持续 300 年。尽管也有不同的意见,例如 1300 ~ 1850 A. D.^[49], 但是大多数学者仍把 1550 ~ 1850 A. D. 作为小冰期。根据 Lamb^[47] 的估计,小冰期比 20 世纪的暖期英格兰的冬季温度低 1℃ 左右。然而,对温度的评估与研究的空间范围及平均的时间尺度有关。如中国这样区域的 10 年平均温度,小冰期比 20 世纪中期低 1℃ 左右^[50]。但是有的地区如格陵兰可能温度变化幅度更大,如取北半球平均,则小冰期可能仅比 20 世纪中期低 0.5℃^[24]。

尽管公认小冰期为一个冷期,但是小冰期内仍有强烈的年代际变化。竺可桢^[51] 早就指出中国小冰期包括 3 个冷期: 1470 ~ 1520 A. D., 1620 ~ 1720 A. D. 和 1840 ~ 1890 A. D.。详细的史料分析及标定证明这个结论基本是正确的^[50]。对欧洲、原苏联、北美、北极、东亚和南半球 6 个地区温度的评估^[52] 表明,在 12 世纪前半、13 世纪后半至 14 世纪前半、15 世纪后半、17 世纪和 19 世纪共有 5 个冷期。这说明从中世纪暖期(950 ~ 1100 A. D.)^[24] 到小冰期,温度是波动式逐步下降的。前 3 个冷期较弱。不少地区在年代际尺度上主要是后两个冷期比较明显。这也是 Lamb^[47] 把小冰期定为 1550 ~ 1850 A. D. 的原因。

由深海沉积的资料(表 1)可以看出,尽管个别序列在近期缺少记录,但是大多数序列均对小冰期有反映。这说明小冰期时 THC 减弱。而且有一些沉积资料显示,小冰期可能是近 3ka 最强的一次冷事件,其寒冷程度超过了晚全新世的 2.8kaB. P. 和 1.4kaB. P. 事件^[1,2,6]。小冰期北半球中高纬气候寒冷^[2]。西-中欧的冰川及湖泊水位资料^[36] 说明小冰期冰川前进、气候湿润,而且无论是冰川前进程度及湖泊水位高度均超过了 2.8kaB. P. 和 1.4kaB. P. 事件。小冰期的冰川前进及湖泊水位也清楚地反映出了峰值在 14 世纪下半、17 世纪中及 19 世纪中^[36]。在北半球低纬度,特别在亚非季风区小冰期时气候干旱,从东非沿岸^[42]、印度半岛^[43,44] 到中国^[45] 均有干旱的证据。

3 成因讨论

目前关于冷事件形成的原因还处于研究阶段。所以,只能进行一个初步的讨论,而不能称为结论。

现在已经提出来的成因至少有 3 种: 1) 淡水脉冲, 2) 太阳活动, 3) 气候系统内部振荡。

3.1 淡水脉冲

北大西洋融冰形成淡水脉冲, 导致北大西洋 NADW 减弱, 减缓 MOC, 从而形成冷事件。这种解释最早应用于 8.2kaB. P. 事件^[53]。但是, 很可能同样也适合于早全新世的其他 3 次冷事件, 即编号为 6, 7 和 8 号的冷事件^[9]。早全新世共有 10 次淡水爆发, 大部与冷事件 5~8 对应^[54]。

近年来北欧的科学家利用中等复杂程度模式 ECBilt-CLIO 研究了早全新世气候振荡的形成^[55,56]。发现淡水脉冲可能是主要原因。当 20 年内排放 $4.67 \times 10^{14} \text{ m}^3$ 淡水时, 就得到持续约 200 年的冷事件, 降温幅度达到 $1.5 \sim 2.0^\circ\text{C}$ ^[56], 与 8.2kaB. P. 事件的代用资料结果接近。其他模式^[57,58]也得到了类似的结果。Vellinga 等^[59]和 Wood 等^[60]用 HadCM3 模式, 使北大西洋上层 800m 瞬时淡水化, 积分 150a。发现在第一个 10 年北海温度下降 12°C 以上、英国下降 $3 \sim 5^\circ\text{C}$ 、北半球下降 2°C ; 但是到第三个 10 年降温就分别减少到 8°C , $2 \sim 3^\circ\text{C}$ 和 1°C 。南大西洋温度上升 1°C , 不过滞后 40~50 年。这对研究全新世冷事件的持续时间, 及南大西洋变暖相对于北大西洋冷事件的滞后均有参考意义。

3.2 太阳活动

最早于 1973 年 Denton 和 Karlén^[18] 提出太阳活动减弱可能是全新世气候突变形成的原因。Bond 等^[61]进行了全面的研究, 用 $\Delta^{14}\text{C}$ 值和 ^{10}Be 值代表太阳活动, 用 4 个海洋沉积记录综合得到综合指数, 把 $\Delta^{14}\text{C}$ 值、 ^{10}Be 值序列和综合海洋指数序列均去掉趋势, 并做 70 年滤波。全新世两个太阳活动指数和海洋沉积指数的相关系数分别达到 0.44 和 0.56, 而且与编号 0~8 的冷事件相对应的综合指数的峰值在两种太阳活动指数序列中均有对应。这表明太阳活动减弱 ($\Delta^{14}\text{C}$ 值和 ^{10}Be 值高) 可能是冷事件形成的原因。

但是, 对与太阳活动是否可能是早全新世冷事件形成的原因仍有争议。Magny 等^[14] 根据分辨率达到 10~20a 的资料详细分析早全新世的冷事件、淡水脉冲、与太阳活动之间的关系, 发现有时有淡水脉冲的峰值, 但是太阳活动没有低谷, 有时有淡水脉冲峰值但气候影响不显著。Mayewski 等^[9] 认为早

全新世冷事件可能与太阳活动关系不大, 但是太阳活动可能是中、晚全新世编号 0~4 的 5 次冷事件形成的原因, 其中 2.8kaB. P. 事件^[62] 和小冰期^[63] 与太阳活动的减弱有关的观点得到了较为广泛的承认。

3.3 气候系统内部振荡

Renssen 等^[55] 发现在没有外强迫情况下, 积分 15ka 也出现了 3 次冷事件, 持续约 500 年, 北大西洋降温达到 $1.5 \sim 2.0^\circ\text{C}$; Hall 和 Stouffer^[64] 也在没有外强迫情况下, 在模拟中出现了持续 30~40 年的冷期, 北大西洋格陵兰南部温度下降 $2.0 \sim 2.5^\circ\text{C}$, 极端值下降 4°C 。这说明冷事件的形成确实可能与气候系统内部振荡有关。但是, 还没有足够的证据说明全新世的冷事件主要是由气候系统内部振荡形成的。相反, 如 Renssen 等^[55] 指出, 如果太阳常数普遍下降 $5\text{W}/\text{m}^2$ 则在无外强迫情况下, 出现的冷事件从 3 次增加到 7 次。这说明气候内部振荡在适当外部强迫条件下, 可能有更重要的作用。无论如何, 这是一个还未解决的问题, 需要进一步探讨。

4 结论

分析表明, 北大西洋冷事件对全新世全球气候有重要的影响, 是全新世气候突变形成的直接原因。尽管冷事件发生于北大西洋, 但是其气候影响遍及北半球, 有时甚至能达到南半球。当然, 不同地区的气候影响并不一直都是冷事件的直接结果, 也可能是通过热盐环流变化实现的, 例如南极的温度波动。但是, 无论如何, 北大西洋冷事件是全新世气候突变的标志物, 在研究全新世气候变化中有重要的作用。

参考文献 (References)

- 1 Bond G, Showers W, Cheseby M *et al.* A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 1997, **278**:1257~1266
- 2 Bond G, Showers W, Elliot M *et al.* The North Atlantic's 1~2 kyr climate rhythm: Relation to Heinrich events, Dansgaard-Oeschger cycles and the Little Ice Age. In: Clark P U, Webb R S, Keegwin L D eds. Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales. *Geophysical Monograph*, 1999, **112**:35~58
- 3 Bianchi G G, McCave I N. Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland. *Nature*, 1999, **397**:515~517
- 4 Moros M, Emeis K C, Risebrobakken B *et al.* Sea surface temperatures and ice rafting in the Holocene North Atlantic: Climate influences on Northern Europe and Greenland. *Quaternary Science Reviews*, 2004, **23**:2113~2126

- 5 Andrews J T, Smith L M, Preston S R *et al.* Spatial and temporal patterns of iceberg rafting (IRD) along the last Greenland margin, ca. 68°N, over the last 14 cal. ka. *Journal Quaternary Science*, 1997, **12**:1 ~ 13
- 6 Moros M, Andrews J T, Eberl D D *et al.* Holocene history of drift ice in the Northern Atlantic: Evidence for different spatial and temporal modes. *Paleoceanography*, 2006, **21**: PA2017, doi: 10.1029/2005PA001214
- 7 Risebrobakken B, Jansen E, Andersson C *et al.* A high-resolution study of Holocene paleoclimatic and paleoenographic changes in the Nordic Seas. *Paleoceanography*, 2003, **18** (1): 1017, doi: 10.1029/2002 PA 000764
- 8 Masson V, Vimeux F, Jouzel J *et al.* Holocene climate variability in Antarctica based on 11 ice-core isotopic records. *Quaternary Research*, 2000, **54**(3):348 ~ 358
- 9 Mayewski P A, Rohling E E, Stager J C *et al.* Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 2004, **62**:243 ~ 255
- 10 Lotter A F, Eicher U, Siegenthaler U *et al.* Late-glacial climate oscillations as recorded in Swiss lake sediments. *Journal Quaternary Science*, 1992, **7**:187 ~ 204
- 11 Björck S, Rundgren M, Ingólfsson Ó *et al.* The preboreal oscillation around the Nordic Seas: Terrestrial and lacustrine responses. *Journal Quaternary Science*, 1997, **12**:455 ~ 465
- 12 Hoek W Z, Bos J A A. Early Holocene climate oscillations – causes and consequences. *Quaternary Science Reviews*, 2007, **26**:1901 ~ 1906
- 13 Rasmussen S O, Vinther B M, Clausen H B *et al.* Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 2007, **26**:1907 ~ 1914
- 14 Magny M, Vannière B, de Beaulieu J-L *et al.* Early-Holocene climatic oscillations recorded by lake-level fluctuations in west-Central Europe and in Central Italy. *Quaternary Science Reviews*, 2007, **26**:1951 ~ 1964
- 15 O'Brien S R, Mayewski P A, Meeker L D *et al.* Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science*, 1995, **270**:1962 ~ 1964
- 16 Alley R B, Ágústssdóttir A M. The 8k event: Cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews*, 2005, **24**:1123 ~ 1149
- 17 Dahl S O, Nesje A. Holocene glacier fluctuation at Hardangerjøkulen, central-Southern Norway: A high-resolution composite chronology from lacustrine and terrestrial deposits. *The Holocene*, 1994, **4**:269 ~ 277
- 18 Denton G H, Karlén W. Holocene climatic variations – their pattern and possible cause. *Quaternary Research*, 1973, **3**(1):155 ~ 205
- 19 Alley R B, Mayewski P A, Sowers T *et al.* Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology*, 1997, **25**:483 ~ 486
- 20 Moros M, Emeis K, Risebrobakken B *et al.* Sea surface temperatures and ice rafting in the Holocene North Atlantic: Climate influences on Northern Europe and Greenland. *Quaternary Science Reviews*, 2004, **23**:2113 ~ 2126
- 21 黄春长. 环境变迁. 北京: 科学出版社, 1998. 134 ~ 135
Huang Chunchang. *Environmental Variations*. Beijing: China Science Press, 1998. 134 ~ 135
- 22 Magny M, Haas J N. A major widespread climatic change around 5300 cal. yr BP at the time of Alpine Iceman. *Journal Quaternary Science*, 2004, **19**:423 ~ 430
- 23 吴文祥, 刘东生. 5500aBP 气候事件在三大文明古国古文明和古文化演化中的作用. *地学前沿*, 2002, **9**(1):155 ~ 162
Wu Wenxiang, Liu Tungsheng. 5500a climatic event and its implications for the emergence of civilizations in Egypt and Mesopotamia and Neolithic cultural development in China. *Earth Science Frontiers*, 2002, **9**(1):155 ~ 162
- 24 Jansen E, Overpeck J, Briffa K R *et al.* Palaeoclimate. In: Solomon S, Qin D, Chen Z *et al.* eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 463 ~ 464
- 25 Weiss H, Courty M A, Wetterstrom W *et al.* The genesis and collapse of third millennium North Mesopotamian civilization. *Science*, 1993, **261**:995 ~ 1004
- 26 deMenocal P B. Cultural responses to climate change during the Late Holocene. *Science*, 2001, **292**:667 ~ 673
- 27 Weiss H. Late third millennium abrupt climate change and social collapse in West Asia and Egypt. In: Dalfes H, Kukla G, Weiss H eds. *Third Millennium B C Climate Change and Old World Collapse*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1997. 711 ~ 723
- 28 Weiss H, Bradley R S. What drives societal collapse? *Science*, 2001, **291**:609 ~ 610
- 29 Wang Shaowu. Abrupt climate change and collapse of ancient civilizations at 2200BC ~ 2000BC. *Progress in Natural Science*, 2005, **15**:908 ~ 913
- 30 Marchant R, Hooghiemstra H. Rapid environmental change in African and South American tropics around 4000 years before present: A review. *Earth-Science Reviews*, 2004, **66**:217 ~ 260
- 31 An Chengbang, Feng Zhaodong, Barton L. Dry or humid? Mid-Holocene humidity changes in arid and semi-arid China. *Quaternary Science Reviews*, 2006, **25**:351 ~ 361
- 32 Morrill C, Overpeck J T, Cole J E. A synthesis of abrupt changes in the Asian summer monsoon since the last deglaciation. *The Holocene*, 2003, **13**:465 ~ 476
- 33 Booth R K, Jackson S T, Forman S L *et al.* A severe centennial-scale drought in mid-continental North America 4200 years ago and apparent global linkages. *The Holocene*, 2005, **15**:321 ~ 328
- 34 Nesje A, Matthews J A, Dahl S O *et al.* Holocene glacier fluctuations of flatebreen and winter-precipitation changes in the Jostedalbreen region, Western Norway, based on glaciolacustrine sediment records. *The Holocene*, 2001, **11**:267 ~ 280
- 35 Mark G, Johnstone E, Lewin J. Pervasive and long-term forcing of Holocene river instability and flooding in Great Britain by centennial-scale climate change. *The Holocene*, 2005, **15**:937 ~ 943
- 36 Holzhauser H, Magny M, Zumbühl H J. Glacier and lake-level variations in west-Central Europe over the last 3500 years. *The*

- Holocene*, 2005, **15**:789 ~ 801
- 37 Booth R K, Jackson S T. A high-resolution record of Late-Holocene moisture variability from a Michigan raised bog, USA. *The Holocene*, 2003, **13**:863 ~ 876
- 38 Brown S L, Bierman P R, Lini A *et al.* 10000 yr record extreme hydrological events. *Geology*, 2000, **28**:335 ~ 338
- 39 王绍武, 朱锦红. 全新世千年尺度气候振荡的年代学研究. 气候变化研究进展, 2005, **1**(4):157 ~ 160
Wang Shaowu, Zhu Jinhong. Studies of chronology of millennial time scale climate oscillations in the Holocene. *Advance Climate Change Research*, 2005, **1**(4):157 ~ 160
- 40 Wang Shaowu, Huang Jianbin, Wen Xinyu *et al.* Evidence and modeling study of droughts in China during 4 ~ 2kaBP. *Chinese Science Bulletin*, 2008, **53**(14):2215 ~ 2221
- 41 Overpeck J, Anderson D, Trumbore S *et al.* The south West Indian monsoon over the last 18000 years. *Climate Dynamics*, 1996, **12**:213 ~ 225
- 42 Gupta A K, Anderson D M, Overpeck J T. Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean. *Nature*, 2003, **421**:354 ~ 357
- 43 Staubwasser M. An overview of Holocene South Asian monsoon records - monsoon domains and regional contrasts. *Journal of the Geological Society of India*, 2006, **68**:433 ~ 446
- 44 Fleitmann D, Burns S J, Mudelsee M *et al.* Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from Southern Oman. *Science*, 2003, **300**:1737 ~ 1739
- 45 Wang Yongjin, Cheng Hai, Edwards R L *et al.* The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science*, 2005, **308**:854 ~ 857
- 46 Yu Zicheng, Ito E, Engstrom D R *et al.* A 2100-year trace-element and stable-isotope record at decadal resolution from Rice Lake in the Northern Great Plains, USA. *The Holocene*, 2002, **12**:605 ~ 617
- 47 Lamb H H. *Climates: Present, Past and Future, Vol. 1: Fundamentals and Climate Now*. London: Methuen, 1972. 1 ~ 270
- 48 Lamb H H, Gove J M. *Climate: Present, Past and Future, Vol. 2*. London: Methuen, 1977. 1 ~ 835
- 49 deMenocal P, Ortiz J, Guilderson T *et al.* Coherent high-and low latitude climate variability during the Holocene warm period. *Science*, 2000, **288**:2198 ~ 2202
- 50 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢. 中国小冰期的气候. 第四纪研究, 1998, (1):54 ~ 64
Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi. Climate in China during the Little Ice Age. *Quaternary Sciences*, 1998, (1):54 ~ 64
- 51 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究. 考古学报, 1972, (1):15 ~ 38
Chu Kochen. A Preliminary study on the climatic changes since the past 5000 years in China. *Acta Archaeologica Sinica*, 1972, (1):15 ~ 38
- 52 王绍武. 小冰期气候的研究. 第四纪研究, 1995, (3):202 ~ 212
Wang Shaowu. Studies on climate of the Little Ice Age. *Quaternary Sciences*, 1995, (3):202 ~ 212
- 53 Barber D C, Dyke A, Hillaire-Marcel C *et al.* Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, 1999, **400**:344 ~ 348
- 54 Teller J T, Leverington D W, Mann J D. Freshwater outbursts to the oceans from glacial Lake Agassiz and their role in climate change during the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews*, 2002, **21**:879 ~ 887
- 55 Renssen H, Goosse H, Fichet T. Modeling the effect of freshwater pulses on the Early Holocene climate: The influence of high frequency climate variability. *Paleoceanography*, 2002, **17**(2):1020, doi:10.1029/2001PA000649
- 56 Renssen H, Goosse H, Fichet T. Simulation of Holocene cooling events by a coupled climate model: Oceanic feedback amplifies solar forcing. *Quaternary Science Reviews*, 2007, **26**:2019 ~ 2029
- 57 Bauer E, Ganopolski A, Montoya M. Simulation of the cold climate event 8200 years ago by melt water outburst from Lake Agassiz. *Paleoceanography*, 2004, **19**: PA3014, doi: 10.1029/2004PA001030
- 58 LeGrande A N, Schmidt G A, Shindell D T *et al.* Consistent simulations of multiple proxy responses to abrupt climate change event. *Proceedings National Academy Sciences*, 2006, **103**:837 ~ 842
- 59 Vellinga M, Wood R A. Global climatic impacts of a collapse of the Atlantic thermohaline circulation. *Climatic Change*, 2002, **54**:251 ~ 267
- 60 Wood R A, Vellinga M, Thorpe R. Global warming and thermohaline circulation stability. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2003, **361**:1961 ~ 1974
- 61 Bond G, Kromer B, Beer J *et al.* Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 2001, **294**:2130 ~ 2135
- 62 Renssen H, Goosse H, Muscheler R. Coupled climate model simulation of Holocene cooling events: Solar forcing triggers oceanic feedback. *Climate Past Discussions*, 2006, **2**:209 ~ 232
- 63 Shindell D T, Schmidt G A, Mann M E *et al.* Solar forcing of regional climate change during the Maunder Minimum. *Science*, 2001, **294**:2149 ~ 2152
- 64 Hall A, Stouffer R J. An abrupt climate event in a coupled ocean-atmosphere simulation without external forcing. *Nature*, 2001, **409**:171 ~ 174

HOLOCENE COLD EVENTS IN THE NORTH ATLANTIC: CHRONOLOGY AND CLIMATIC IMPACT

Wang Shaowu

(Department of Atmospheric Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

Studies on Holocene cold events in the North Atlantic were reviewed. The chronology and climatic impact of these cold events were examined. Nine cold events were identified according to 13 proxy indices of oceanic sediments at 8 sites of the North Atlantic. The sediments at the 8 site, numbered 0, 1, 2, to 8, respectively, were dated around 0.4kaB. P., 1.4kaB. P., 2.8kaB. P., 4.2kaB. P., 5.9kaB. P., 8.1kaB. P., 9.4kaB. P., 10.3kaB. P., and 11.1kaB. P. by Bond *et al.* (1997). Chronology and climatic impact were outlined from event to event. Climatic patterns related to the cold events are characterized by cooling in high latitudes and drying in lower latitudes, especially in Africa-Asian monsoon regions. There are some indications which show that climate was wet in the west-central part of Europe and in the northern part of North America when a cold event occurred in the North Atlantic. The factors were examined that might be responsible for the occurrence of cold events in the North Atlantic. It should be emphasized that the pulse of glacier melt water to be the first candidate to form cold events in Early Holocene, while the solar activity-irradiance minima to be the main cause to form cold events in mid-late Holocene. Oscillations within the climate system would possibly intensify the cold event if the condition was proper.

Key words Holocene, North Atlantic, cold event

ISSN 1001-7410
CODEN DIYAEB

2009年10月15日 星期四 首页 | 期刊介绍 | 编委会 | 获奖情况 | 投稿指南 | 期刊订阅 | 广告合作 | 下载中心 | 联系我们 | English

文章快速检索 GO 高级检索

读者登录
用户名:
密码:
登录 注册 | 忘记密码?

科技新闻
更多 >>

科研动态
更多 >>

会议信息
更多 >>

第四纪研究
2009年 29卷 5期
刊出日期 2009-09-30

研究论文
学术争鸣
研究简报
纪念专家论文

上一期 下一期
带摘要目录 带摘要目录
合并选中摘要

研究论文

851 谭明
环境效应: 中国季风区石笋氧同位素短尺度变化的气候意义——古气候记录与现代气候研究的一次对话
2009 Vol. 29 (5): 851-862 [摘要] (31) [HTML 1KB] [PDF 0KB] (17)

863 张德二 梁有叶
近五百年我国北方多雨年及其与温度背景的关系
2009 Vol. 29 (5): 863-870 [摘要] (18) [HTML 1KB] [PDF 0KB] (10)

871 郝志新 葛全胜 郑景云
宋元时期中国西北东部的冷暖变化
2009 Vol. 29 (5): 871-879 [摘要] (21) [HTML 1KB] [PDF 0KB] (10)

880 杨保 谭明
近千年东亚夏季风演变历史重建及与区域温度变化关系的讨论
2009 Vol. 29 (5): 880-887 [摘要] (26) [HTML 1KB] [PDF 0KB] (11)

888 刘 禹 田沁花 宋慧明 孙军艳 Hans W. Linderholm Delliang Chen 蔡秋芳 他维燕 雷 莺
以树轮宽度重建公元1558年以来华山5~6月平均温度及20世纪中后期升温
2009 Vol. 29 (5): 888-895 [摘要] (19) [HTML 1KB] [PDF 0KB] (9)

896 刘 禹 田 华 宋慧明 梁剑鸣 蔡秋芳 孙军艳
油松年轮记录的河北围场公元1884年以来5~6月平均温度

编辑部公告
中国科技信息研究所公布的《第四纪研究》2007年度中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)(核心版)中计量指标如下
CSCD(中国科学引文数据库) 更多 >>

在线办公系统
· 作者投稿系统
· 专家审稿系统
· 编委审稿系统
· 远程编辑系统
· 主编审稿系统

在线期刊
· 最新录用
· 当期目录
· 下期目录
· 过刊浏览
· 作者索引
· 高级检索
· 全年目录
· 按栏目浏览
· 摘要点击排行
· 全文下载排行
· Email Alert
· RSS

下载中心
· 投稿须知
· 论文模板