

文章编号 1001-8166(2002)01-0096-08

# 中国过去 3 ka 冷暖千年周期变化的自然证据及其集成分析

葛全胜<sup>1</sup>, 方修琦<sup>1,2</sup>, 郑景云<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 北京师范大学资源与环境科学系, 北京 100875)

**摘要:** 基于集成分析的思想, 对不同时间分辨率的自然信息所反映的过去 3 ka 我国冷暖变化进行综合分析, 划分了百年尺度上过去 3 ka 冷暖变化的阶段, 进而发现冷暖变化呈现 1.3 ~1.35 ka 的重现周期, 每个周期包含相继出现的 4 冷暖阶段: 持续 300 ~350 a 的暖期、550 ~600 a 的冷期、200 ~250 a 的暖期和 200 a 左右的冷期。每个冷暖期中发生的相对冷暖事件也服从 1.3 ~1.35 ka 周期。在冷暖变化幅度上, 300 ~350 a 的暖期较 200 ~250 a 的暖期显著, 550 ~600 a 的冷期较 200 a 左右的冷期显著。目前处在长度为 200 ~250 a 的暖期中, 其特点可以与 2.7 ~2.5 ka BP 和 1.40 ~1.15 ka BP 的暖期相类比。

**关键词:** 自然代用资料, 过去 3000 年, 冷暖变化, 集成研究, 千年周期

中图分类号 P467 文献标识码 A

在全球变化研究中, “集成”研究已被 IGBP 确定为今后全球变化研究的主要方向<sup>[1]</sup>。IGBP 认为, “集成”的关键是通过对所有主题的各个方面的研究结果进行综合, 以获取新的概念, 并使(原有)认识水平提高到一个新的高度<sup>[2]</sup>。“集成”为过去全球变化研究提供了一种新的认识论和方法论。在过去全球变化中, 由于每种记录在不同时期的准确程度有所不同, 不同记录所记载的气候变化信息也各不相同, 任何一种记录都不一定比其它记录更准确。因而从集成的思想出发, 通过把不同精度、不同分辨率、不同类型、不同环境意义的记录相互校核、取长补短, 有可能减少重建过去气候变化的不确定性, 获得更为准确合理的认识。为实践这一思想, 同时为更清楚地揭示中国历史时期的气候变化状况及当前全球增暖过程所处的历史位置, 本文从最近我国所发表的大量文献中, 广泛地收集了有关我国过去 3

ka 冷暖变化的自然代用资料, 尝试对不同类型、不同分辨率的序列进行了归并和“集成”, 进而概括出中国过去 3 ka 的冷暖阶段及其变化特点。

## 1 信息的选择和分析方法

自然代用资料是重建历史时期气候变化的重要信息源<sup>[3]</sup>。在我国近来的历史气候变化研究中, 自然代用资料的采集和应用得到了迅速发展, 不仅类型增加、地域扩大, 而且采样的分辨率和测试精度也均显著提高。这些从自然界中所采集的代用资料与历史文献记录相互独立, 且大多分布在历史文献记载相对贫乏的地区, 对其进行综合分析不但对揭示我国历史时期的气候变化特征有重要意义, 而且也可与历史文献资料相互补充与验证。

### 1.1 自然信息的分类

不同的自然信息所记录气候变化信息和适用的时

收稿日期 2001-10-8; 修回日期 2001-11-12.

\* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目“过去 2000 年中国环境变化综合研究”(编号: KZCX2 - 314)、中国科学院地理科学与资源研究所领域前沿项目“高分辨率环境变化代用资料的综合集成研究”(编号: CX10G - A00 - 02)资助.

作者简介: 葛全胜(1963-) 男, 安徽安庆人, 研究员, 主要从事全球变化研究. E-mail: gqs@igsnr.ac.cn

间尺度都是不同的<sup>[3]</sup>。按反映环境变化分辨率的高低,我国目前已开发利用的自然信息可分为3种类型。

(1) 分辨率为年或10年以下的,如树木年轮、石笋纹层、高分辨率湖泊沉积记录。

(2) 分辨率为10年至100年左右的,如孢粉。

(3) 分辨率为100年以上的不连续事件,如冰川与冰缘现象、湖泊地貌。

在上述自然信息中,分辨率为100年以上的不连续事件记录通常对应于持续数百年的气候状态,尽管其分辨率较低且不连续,但其与气候变化的关系较直接,环境意义较明确,因此用其来解释气候变化的性质,甚至变化的定量特征,往往具有较高的准确性。高时间分辨率、高测试精度信息源在准确地确定环境变化事件的时间和揭示高频的环境变化过程方面具有明显的优势,但高分辨率气候变化信息在较能详尽地反映较高频变化的同时,也存在对低频变化构成干扰,甚至掩盖低频变化的问题,在用高分辨率信息分析低频变化时,需要进行适当的低通滤波处理。高分辨率信息环境意义的解释也存在一些问题,经分析测试所得到的代用气候变化信息往往是多种环境因素共同作用所形成的复合信息,在用其对所关注的气候变化特征进行解释时,尚不能有效地剔除其它环境因素的干扰,这些自然信息均需要通过适当的方式转换为指示气候变化的参数,但目前除树木年轮信息的转换有较明确的物理意义和成熟的方法外<sup>[5]</sup>,其它信息均有待完善。另外,由于年代测定方法的局限,有些信息尽管可以取得高分辨率的样品,但事实上这些样品的精确定年仍存在较大误差。

### 1.2 信息的筛选

气候并不是以某一规范的周期变化,气候变化一般发生在多种时间尺度上<sup>[4]</sup>。不同尺度上的变化是彼此独立的,受不同的驱动力所驱动,服从各自的变化规律,实际上所见的气候变化是不同尺度周期谱的叠加。但不同时间尺度的变化之间也存在密切的关系,长时间尺度变化是较短尺度变化的背景,较短尺度的变化叠加在长尺度变化之上。认识过去3 ka的冷暖变化规律,重点是分析百年尺度以上的变化,因此重点是选择能够反映百年尺度冷暖变化的证据。

本文所使用的自然信息是从近20年来国内主要学术刊物上公开发表的文献中筛选出来的。这些证据需满足的条件包括:第一,能明确地反映冷暖变化。对分辨率为百年以上事件性信息,除选择指示寒冷事件的冰川和冰缘证据之外,古土壤信息尽可

能选择与冰川和冰缘现象在同一区域的古土壤,沙区古土壤的发育主要受水分条件控制,尽管通常情况下古土壤发育在暖湿时期,为避免可能出现的不确定性,尽量不予选取;高分辨率序列按照原文作者的分析结果选取明确反映冷暖变化的指标。第二,所选择的信息要有准确的定年,对高分辨率序列其样本分辨率不低于50~100 a。第三,尽可能未受到人类活动干扰。一般只有边远地区才能够基本满足这一条件,而华北、太湖等东部平原地区受人类活动干扰太大,资料不宜使用,只有较高山地上所获得的信息才能勉强满足要求。按以上条件筛选的结果,只有有限的信息能够用来反映过去3 ka冷暖变化。

### 1.3 分析方法

对我国过去3000年的冷暖变化而言,重点是百年尺度以上的变化。因此,本文首先以指示温度变化意义明确、但分辨率为百年以上的冰川/冰缘和古土壤证据为基础,划分冷暖变化阶段,把高分辨率信息所反映的高频变化较看成是叠加在冷暖阶段上的波动,在冷暖阶段划分的基础上分析高分辨率信息所反映的变化。这样,既发挥了低时间分辨率信息环境意义明确的优点,也发挥了高分辨率序列定年相对精确的长处。

各种证据优先性次序为:首先是冰川和冰缘信息;其次是古土壤信息;再次为孢粉和树木年轮信息;最后是其它信息。具体方法为:首先,根据过去3 ka来西部地区山地冰川前进和东北、内蒙古等北方地区的冰缘活动现象确定主要寒冷阶段;其次,将冰川和冰缘进退事件与发生在对温度变化敏感区的古土壤发育事件相结合,对冷暖阶段作进一步划分;最后,将所获得的结果与能够反映冷暖变化的孢粉、冰芯、石笋纹层、树木年轮、湖泊沉积等高分辨率序列相对比,从而验证冷暖期划分的准确性并进一步确定每个冷暖期中的冷暖事件。鉴于影响自然信息形成因素的非单一性、不同类型的自然信息感应气候变化敏感程度的差别、年代测定方法的局限性等诸多因素的影响,目前序列之间的对比尚达不到高分辨率、数量化的水平,只是进行在一定时段内相对趋势的对比。在对比过程中,如果序列之间在 $\pm 50$  a之内出现相似性质的变化事件则认为彼此变化是一致的。

## 2 自然信息反映的我国过去3 ka冷暖阶段

### 2.1 基于冰川冰缘和古土壤信息的冷暖阶段划分 中国西部山地冰川前进和北方地区冰缘发育指

示寒冷事件的存在,其中山地冰川前进在统计意义上滞后于气候变化  $1.2 \sim 1.3 \text{ a}^{[6]}$ ,这对讨论百年以上尺度变化时影响不大,而冰川或冰缘发育间断或与冰川/冰缘现象交替出现的古土壤或对温度变化比较敏感地区的古土壤则指示相对温暖的状况。收集已发表的有关过去 3 ka 有关冰川/冰缘活动和古土

壤发育的证据,结果如表 1 所示。

把冰川/冰缘事件集中出现的时期确定为冷期,把冰川/冰缘活动停滞、古土壤发育的时期确定为暖期,综合对比冰川/冰缘事件与古土壤事件发生的时间,可把过去 3 ka 冷暖变化过程划分为:  $3.1 \sim 2.7 \text{ ka BP}$  为冷期,  $2.7 \sim 2.5 \text{ ka BP}$  为暖期,  $2.5 \sim$

表 1 过去 3 ka 我国境内冰川/冰缘活动和古土壤发育记录

Table 1 Records on the events of glacial and peri-glacial activities and paleosol formation during the past 3 ka in China

时间(aBP)	证据类型及其来源	时间(aBP)	证据类型及其来源
3110 ~2530	祁连山冷龙岭南坡冰川前进 <sup>[11]</sup>	1481 ±134	藏东南南伽巴瓦峰隆则弄冰川 <sup>[20]</sup>
3080 ±80	贡嘎山东坡海螺沟冰川前进 <sup>[11]</sup>	1480 ±80	大青山土左旗喇嘛洞古土壤 <sup>[23]</sup>
2980 ±150	藏东南阿雪当冰进 <sup>[8]</sup>	1450 ±70	青海共和沙地铁盖乡古土壤 <sup>[24]</sup>
2975 ±70	大青山顶泥流舌下古土壤底部 <sup>[23]</sup>	1341 ±67	青海贵南马场古土壤 <sup>[15]</sup>
2800	乌鲁木齐河源山北冰碛垄 <sup>[9]</sup>	1340 ±70	青海共和沙地马场六队古土壤 <sup>[24]</sup>
2800	博格达峰冰川 <sup>[10]</sup>	1150 ±80	藏东南阿扎冰川 40 米侧碛 <sup>[20]</sup>
2798 ±68	祁连山北坡乌鞘岭 2990 m 古土壤 <sup>[15]</sup>	1110 ±100	呼伦贝尔鄂温克旗西索木古土壤 <sup>[25]</sup>
2740 ±40	青海湖泥炭土,其上为栗钙土 <sup>[15]</sup>	940 ±50	川西海螺沟冰进 <sup>[19]</sup>
2730 ±58	祁连山北山丹古土壤 AB 层 <sup>[15]</sup>	522 ~418	祁连山石羊河冰川前进(据树轮推算) <sup>[27]</sup>
2720 ±85	西昆仑山崇测冰帽南 200 米冰碛 <sup>[8]</sup>	840 ±50	青海湖黑马河古土壤 <sup>[15]</sup>
3600 ~2300	黑龙江大兴安岭伊图里河一级阶地上的冰楔活动 <sup>[12]</sup>	820 ±80	大青山呼和浩特东郊大窑村古土壤 <sup>[23]</sup>
2700	黑龙江大兴安岭伊图里河一级阶地上的冰楔中泥炭土 <sup>[12, 23]</sup>	803 ±72	黄河玛曲古土壤 <sup>[16]</sup>
2690 ±110	各拉丹东冈加曲巴冰川最内冰碛垄表面土壤层底部 <sup>[7]</sup>	734 ±71	黄河玛曲古土壤 <sup>[16]</sup>
2640 ~2159	大青山喇嘛洞石线下游古土壤 <sup>[17]</sup>	652	喀拉昆仑南坡冰川前进 <sup>[26]</sup>
2600	若尔盖玛曲古土壤 <sup>[16]</sup>	328 ~210	祁连山石羊河冰川前进(据树轮推算) <sup>[27]</sup>
2600 ~2000	若尔盖玛曲风沙活动 <sup>[16]</sup>	301 ~201	博格达峰冰川前进 <sup>[10]</sup>
2480 ±80	贡嘎山东坡海螺沟冰川 <sup>[11]</sup>	452 ±80	珠穆朗玛峰南坡冰川前进 <sup>[28]</sup>
2450 ±80	内蒙古岱海石门水库冰卷泥 <sup>[14]</sup>	450	博格达峰冰川活动 <sup>[10]</sup>
2400 ±70	大青山喇嘛洞石线下游古土壤 <sup>[17]</sup>	412 ±20	乌鲁木齐 1 号冰川前进(地衣) <sup>[9, 27]</sup>
2330 ±75	内蒙古锡林浩特冰卷泥 <sup>[14]</sup>	400 ±70	锡林郭勒冰缘发育 <sup>[14]</sup>
2300 ±90	萨拉乌苏沼泽沉积冰卷泥 <sup>[14]</sup>	394 ±83	藏东南则隆弄冰川 80 米侧碛 <sup>[20]</sup>
2080 ±60	青海湖黑马河古土壤 <sup>[15]</sup>	292	喀拉昆仑南坡冰川前进 <sup>[26]</sup>
2047 ±73	黄河玛曲古土壤 <sup>[16]</sup>	287 ±93	藏东南则隆弄冰川 80 米侧碛 <sup>[20]</sup>
1970 ±75	岱海老虎山古土壤 <sup>[18]</sup>	160 ~85	博格达峰冰川前进 <sup>[10]</sup>
1920 ±110	藏东南易贡果冰进 <sup>[19]</sup>	150 ~85	祁连山石羊河冰川前进(据树轮推算) <sup>[27]</sup>
1910 ±70	内蒙古岱海瓦匠沟冰卷泥 <sup>[14]</sup>	222 ±58	黄河玛曲古土壤 <sup>[16]</sup>
1860 ±95	甘肃马衔山冰缘发育 <sup>[21]</sup>	219 ±57	黄河玛曲古土壤 <sup>[16]</sup>
1840 ±70	岱海老虎山古土壤 <sup>[18]</sup>	181	藏南坡戈冰川前进 <sup>[19]</sup>
1820 ±100	藏东南察隅阿扎冰川高 80 m 侧碛 <sup>[20]</sup>	173 ±20	乌鲁木齐 1 号冰川前进 <sup>[9, 27]</sup>
1809 ±69	黄河玛曲古土壤 <sup>[16]</sup>	172	藏南泡汗里峰冰川现代冰碛 <sup>[19]</sup>
1800 ~1500	内蒙古大青山冰缘发育 <sup>[17]</sup>	170 ±50	喀拉昆仑山前进 <sup>[9]</sup>
1800 ~1300	大兴安岭北部山地,北方寒温带性针叶林和冻土向南扩张 <sup>[22]</sup>	132	西藏泡汗里峰冰川现代冰碛 <sup>[21]</sup>
1550 ±70	贡嘎山东坡海螺沟冰川 <sup>[11]</sup>	110 ±60	青海共和沙地铁盖乡古土壤 <sup>[24]</sup>
1540 ±85	藏东南易贡果冰川前端侧碛 <sup>[20]</sup>	73 ±20	乌鲁木齐 1 号冰川前进 <sup>[9, 27]</sup>
1510 ±80	大青山土左旗金奎殿山顶古土壤 <sup>[23]</sup>	79	藏东南窝果杜林冰川前进 <sup>[19]</sup>
1486 ±58	北坡乌鞘岭 2990 米古土壤 AB 层 <sup>[15]</sup>	65	西藏取比下马冰川现代冰碛 <sup>[21]</sup>
1482 ±74	大青山喇嘛洞石线上古土壤顶 <sup>[17]</sup>	41	西藏波戈冰川现代冰碛 <sup>[21]</sup>

注:表中年代数据除注明者外,均为<sup>14</sup>C 测年数据

2.3 ka BP 为冷期, 2.3 ~1.95 ka BP 为暖期, 1.95 ~1.4 ka BP 为冷期; 1.4 ~1.15 ka BP 为暖期, 1.15 ~0.95 ka BP 为冷期, 950 ~650 a BP 为暖期, 650 ~50 a BP 为冷期(图1)。

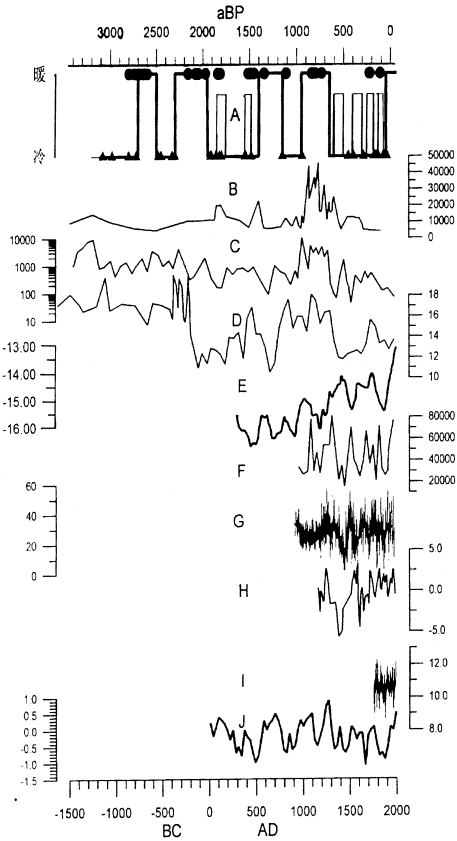


图1 过去3 ka冷暖变化的自然证据

Fig.1 Warm/cold changes in China indicated by natural proxy data during past 3 ka

A: 根据冰川/冰缘(三角)和古土壤(圆点)记录划分的冷暖阶段; B: 黑龙江密山孢粉序列<sup>[29]</sup>; C: 内蒙古科尔沁表里孢粉序列<sup>[30]</sup>; D: 台湾嘉明湖高山湖泊沉积<sup>[31]</sup>; E: 青藏高原古里雅冰芯氧同位素序列<sup>[32]</sup>; F: 秦岭太白山孢粉序列<sup>[31]</sup>; G: 北京石花洞石笋纹层灰度序列(G为灰度值)<sup>[32]</sup>; H: 内蒙古岱海湖泊沉积序列<sup>[34]</sup>; I: 秦岭树木年轮重建的初春温度序列<sup>[35]</sup>; J: 根据历史文献记录重建的过去2 ka 冬半年温度距平序列

3.1 ~2.7 ka BP 的冷期中, 在海洋性冰川区和大陆性冰川区均发现冰川前进的证据, 大兴安岭伊图里河一级阶地上有冰楔发育。2.5 ~2.3 ka BP 冷期的证据包括: 祁连山冷龙岭和贡嘎山东坡海螺沟

的冰川前进, 大兴安岭伊图里河的冰楔, 内蒙古岱海、鄂尔多斯和锡林浩特的冰卷泥。区分3.1 ~2.7 ka BP 和2.7 ~2.5 ka BP 两个冷期的主要证据是, 青海湖湖积平原上反映寒冷环境的泥炭土在2.74 ka BP 之后为栗钙土所取代, 2.7 ~2.6 ka BP 期间祁连山北山、若尔盖玛曲和内蒙古大青山古土壤发育。在2.3 ~1.95 ka BP 的暖期中, 青海湖黑马河、若尔盖玛曲、内蒙古大青山和岱海老虎山均有古土壤发育。

在1.95 ~1.4 ka BP 的冷期中, 冰川再次前进, 其证据主要见于藏东南和川西海洋性冰川类型区, 与此对应的冰缘现象见于内蒙古岱海和大青山地区、甘肃马街山、大兴安岭北部1.8 ~1.3 ka BP 北方寒温性针叶林南进<sup>[22]</sup>。1.8 ka BP 前后, 内蒙古岱海老虎山和若尔盖玛曲有古土壤发育, 其中, 岱海老虎山1840 ±70 a BP 的古土壤层与其下1970 ±70 a BP 的古土壤层之间夹有明显的黄土沉积, 对应1.9 ka BP 的前后存在冷期, 1.5 ka BP 前后, 内蒙古大青山、乌鞘岭、青海共和古土壤发育, 显示相对温暖阶段的存在。

1.4 ~1.15 ka BP 期间, 青海的贵南和共和、内蒙古呼伦贝尔地区鄂温克旗等地古土壤发育, 显示总体上为温暖的环境。

在1150 ~950 a BP 冷期中, 1150 ±80 a BP 以后藏东南阿扎冰川前进, 940 a BP 以前川西海螺沟冰川前进。

950 ~700 a BP 期间, 青海湖、内蒙古大青山、若尔盖玛曲等地发育古土壤, 指示温暖的环境。

650 ~50 a BP 的冷期中, 我国西部及临近地区的山地再次出现冰川活动。冰川前进最早见于650 a BP 前后。450 ~50 a BP 期间冰川前进尤其显著, 在各地均留下3 ~4次冰川活动的记录, 其时间主要集中在500 ~400 a BP、300 ~250 a BP、180 ~50 a BP (其间可进一步区分出180 ~130 a BP 和80 ~50 a BP 两个冰川前进阶段)。若尔盖玛曲220 a BP 的古土壤和青海共和110 a BP 的古土壤分别处在冰川前进的间歇期。

## 2.2 与其它自然证据序列的对比

上述冷暖阶段可以与孢粉<sup>[29-31]</sup>、石笋纹层<sup>[32]</sup>、湖泊沉积<sup>[33, 34]</sup>和树木年轮<sup>[35]</sup>等分辨率较高的自然证据序列对比, 但显著程度随序列和时段的不同而有差异, 在只考虑波动过程、忽略变化趋势差别的情况下与古里雅冰芯记录<sup>[36]</sup>也是可以对比的(图1)。

2 ka BP 以前可对比的序列主要是麦里的孢粉

序列<sup>[30]</sup>和台湾的湖泊序列<sup>[33]</sup>,这两个序列显示,3.1~2.7 ka BP的冷期是开始于3.3~3.25 ka BP的冷期的延续,3.3~2.7 ka BP期间存在3 ka BP和2.8 ka BP 2个相对温暖事件把冷期分为3段,2.7~2.5 ka BP的暖期中在2.6 ka BP前后偏冷,2.5~2.3 ka BP的冷期中在2.37 ka BP前后存在相对暖期,2.3~1.95 ka BP的暖期在两个序列中都很明显,在台湾的湖泊序列中该暖期是最显著的,期间至少存在3次寒冷事件,分别在2.26 ka BP、2.2 ka BP和2.1 ka BP。

2~1 ka BP 对对比的序列为黑龙江密山和内蒙古科尔沁麦里的孢粉序列<sup>[29,30]</sup>、台湾的高山湖泊沉积序列<sup>[33]</sup>和古里雅冰芯序列<sup>[36]</sup>。1.95~1.4 ka BP的冷期在上述4个序列中均有表现<sup>[29,30,33,36]</sup>,除古里雅冰芯在时间上对应较好外,其它序列的对应关系不如其他时段好。其中1.8 ka BP前后的温暖事件在4个序列中均有表现,1.5 ka BP的温暖事件在台湾湖泊序列中表现显著,在内蒙古科尔沁麦里的孢粉序列中也有表现。1.4~1.15 ka BP的暖期中,4个序列均显示1.3 ka BP存在相对变冷事件<sup>[29,30,33,36]</sup>,将此暖期分为两个偏暖阶段,前一个阶段在黑龙江密山孢粉序列表现明显<sup>[29]</sup>,后一个暖期在内蒙古科尔沁麦里的孢粉序列<sup>[30]</sup>和台湾的高山湖泊沉积序列<sup>[33]</sup>中表现明显。1150~950 ka BP的冷期在4个序列中都存在,并且可以看出在1

ka BP附近有一个变暖事件。

1 ka BP以来,黑龙江密山、科尔沁和秦岭太白山的孢粉<sup>[29-31]</sup>、北京的石笋纹层<sup>[32]</sup>、内蒙古岱海和台湾的湖泊沉积<sup>[33,34]</sup>等各序列都显示存在中世纪暖期,且总体上暖于过去2 ka中的其它时段,中世纪暖期开始的时间一般在1000~900 a BP,结束的时间在650~550 a BP,中世纪暖期中可识别出在880 a BP、820 a BP和750 a BP附近存在3次寒冷事件。

650~50 a BP的冷期在各序列中都很明显,并对期间的波动有更为精确细致的记载,550 a BP以来的3个冰川前进阶段分别与580~430 a BP(包括580~530 a BP和500~430 a BP两个冷谷)、380~230 a BP(包含380~330 a BP和300~230 a BP两个冷谷)、180~50 a BP(包含180~130 a BP和100~50 a BP两个冷谷)的显著偏冷的时段相对应。

### 3 结 论

第一,按表2所列方式对过去3 ka的冷暖阶段进行归纳,结果显示过去3 ka的冷暖变化呈1.3~1.35 ka的重现周期,期间包括4个相继出现的冷暖阶段:暖期( ) ,持续300~350 a;冷期( ) ,持续550~600 a;暖期( ) ,持续200~250 a;冷期( ) ,持续200 a左右。

第二,根据冰川/冰缘活动强度、古土壤发育程

表2 过去3 ka我国冷暖阶段的划分

Table 2 The warm and cold stages during the past 3 ka in China

性质	时	期	时间间隔
暖期( )	主要冷事件	2.3~1.95 ka BP	950~650 a BP
		2.26 ka BP	880 a BP
		2.2 ka BP	820 a BP
		2.1 ka BP	750 a BP
冷期( )	3.3~2.7 ka BP	1.95~1.4 ka BP	650~50 a BP
暖期( )	主要暖事件	3 ka BP	500 a BP
		1.8 ka BP	350 a BP
		2.8 ka BP	200 a BP
暖期( )	主要冷事件	2.7~2.5 ka BP	1.4~1.15 ka BP
		2.6 ka BP	1.3 ka BP
冷期( )	主要暖事件	2.5~2.3 ka BP	1.15~950 a BP
		2.37 ka BP	1 ka BP

度,以及各序列指标值的相对变化幅度推断,在冷暖变化幅度上,300~350 a的暖期( )较200~250 a的暖期( )显著,550~600 a的冷期( )较200 a左右( )的冷期显著。

第三,每个冷暖期中包含若干个相对冷暖事件。在每个300~350 a的暖期( )中可区分出3个显著的寒冷事件,在每个550~600 a的冷期( )中至少包括2个较为显著的温暖事件,在资料较为详

细的 1300 ~1900 AD, 可以识别出 5 次以冰川前进为标志的极端寒冷事件, 在 200 ~250 a 的暖期( ) 中可识别出 1 个主要寒冷事件; 而在 200 a 左右的冷期( ) 中可识别出 1 个温暖事件。1.3 ~1.35 ka 周期在冷暖事件发生的时间上也有体现。上述变化表明过去 3 ka 的冷暖变化具有可公度性的特点。

第四, 依上述特点上溯至 4 ka BP, 可以发现 4 ka BP 和 3.5 ka BP (<sup>14</sup>C 年代, 树轮校正年代约为 4.5 ka BP 和 3.8 ka BP) 前后的冰川前进<sup>[8,9]</sup> 分别落入长度为 550 ~600 a 的冷期( ) 和 200 a 左右的冷期( ) 之中, 高暖期与 2.3 ~1.95 ka BP 和 950 ~650 a BP 的长度为 300 ~350 a 的暖期( ) 相似。

第五, 目前所处的暖期开始于 20 世纪初, 属长度为 200 ~250 a 的暖期( ), 其特点可以与 2.7 ~2.5 kaBP 和 1.4 ~1.15 kaBP 的暖期相类比。

#### 参考文献(References):

- [1] Moore . Meeting tomorrow's challenges[J]. IGBP Newsletter, 1999, 38.
- [2] Chen Yiyu. The trends of global change research in China[J]. Advance in Earth Science, 1999, 14(4): 319-323. [陈宜瑜. 中国全球变化的研究方向[J]. 地球科学进展, 1999, 14(4): 319-323.]
- [3] Eddy J A . Past Global Changes Project: Proposed Implementation Plans for Research Activities[A]. Global Change Report No. 19, International Geosphere-Biosphere Programme [C]. Stockholm, Sweden, 1992.
- [4] Stocker T F, Mysak L A . Climatic fluctuations on the century time scale: a Review of high-resolution proxy data and possible mechanisms[J]. Climatic Change, 1992, 20: 227-250
- [5] Wu Xiangding, et al. Tree-rings and Climate Change[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1990. [吴祥定等. 树木年轮与气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 1990.]
- [6] Wang Ninglian, Zhang Xiangsong. Mountain glacier fluctuations and climatic change during the last 100 years[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1992, 14(3): 242-250. [王宁练, 张祥松. 近百年来山地冰川波动与气候变化[J]. 冰川冻土, 1992, 14(3): 242-250.]
- [7] Li Shijie, Li Shude. Quaternary glacial and environmental changes in the region of Hoh Xil, Qinghai province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1992, 14(4): 316-324. [李世杰, 李树德. 青海可可西里地区第四纪冰川与环境演化[J]. 冰川冻土, 1992, 14(4): 316-324.]
- [8] Li Shijie, Jiao Keqin. Polygon-veins and their environmental significances[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1990, 12(4): 311-318. [李世杰, 焦克勤. 3 万年来自西昆仑山南坡的冰川变化[J]. 冰川冻土, 1990, 12(4): 311-318.]
- [9] Chen Jiyang. The division of the Holocene moraine strata and their chronology in western mountainous area of China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1987, 19(4): 319-328. [陈吉阳. 中国西部山区全新世冰碛地层的划分及地层年表[J]. 冰川冻土, 1987, 19(4): 319-328.]
- [10] Zheng Benxing. Fluctuation of glaciers during Neoglaciation in Bogda and the Urumqi river head, Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1983, 5(3): 133-142. [郑本兴. 天山博格达峰地区和乌鲁木齐河源新冰期的冰川变化[J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 133-142.]
- [11] Shi Yafeng. Glaciers and Their Environments in China[M]. Beijing: Science Press, 2000. [施雅风. 中国冰川与环境[M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [12] Zhou Youwu, Guo Dongxin, Qiu Guoqing, et al. Geocryology in China[M]. Beijing: Science Press, 2000. [周幼吾, 郭东信, 邱国庆, 等. 中国冻土[M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [13] Qiu Guoqing, Cheng Guodong. Permafrost in China: Past and present[J]. Quaternary Sciences, 1995, (1): 13-22. [邱国庆, 程国栋. 中国的多年冻土[J]. 第四纪研究, 1995, (1): 13-22.]
- [14] Li Rongquan. Periglacial stages and the division in north China [J]. Quaternary Sciences, 1990, (2): 135-136 [李容全. 中国北方冰缘与分期[J]. 第四纪研究, 1990, (2): 135-136.]
- [15] Hu Shuangxi, Xu Qizhi, Zhang W eixiang, et al. Historic evolution of chestnut soil in the northeastern marginal area of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Pedologica Sinica, 1991, 28(2): 202-210. [胡双熙, 徐齐治, 张维祥, 等. 青藏高原东北边缘栗钙土的历史演变[J]. 土壤学报, 1991, 28(2): 202-210.]
- [16] Zhou Xueyong, Wang Guiyong. A Study on desertification since late Holocene in Maqu area, upstream of Huanghe river [J]. Journal of Desert Research, 1995, 15(1): 65-70. [邹学勇, 王桂勇. 黄河上游玛曲地区晚全新世沙漠化[J]. 中国沙漠, 1995, 15(1): 65-70.]
- [17] Cui Zhijiu, Song Changqing. Holocene periglacial processes and environmental changes in the Daqingshan mountains, inner Mongolia, China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1992, 14(4): 325-331. [崔之久, 宋长青. 大青山全新世冰缘现象及环境演变[J]. 冰川冻土, 1992, 14(4): 325-331.]
- [18] Zhang Lansheng, Fang Xiuqi, Shi Peijun, et al. Holocene Environment change in the agricultural-pastoral transitional zone of northern China [A]. In: Fu Congbin, Yan Zhongwei, eds. Global Change and the Future Trend of Ecological Environment Evolution in China [C]. Beijing: China Meteorological Press, 1996. 7-16. [张兰生, 方修琦, 史培军, 等. 我国北方农牧交错带全新世环境演变[A]. 见: 符淦斌, 严中伟主编. 全球变化与我国未来的生存环境 [C]. 北京: 气象出版社, 1996. 7-16.]
- [19] Li Jijun, Feng Zhaodong. Quaternary glacial relics in the Hengduan mountains [J]. Journal of Lanzhou University. 1984(sup.), 61-72. [李吉均, 冯兆东. 横断山脉的第四纪冰川遗迹[J]. 兰州大学学报, 1984 (增刊): 61-72.]
- [20] CAS. Physical Geography and Natural Resources in the Mount Nanjiabawa Region [M]. Beijing: Science Press, 1996. [中国

- 科学院登山科学考察队·南伽巴瓦峰地区自然地理与自然资源[M].北京:科学出版社,1996.]
- [21] Zheng Benxing. The glacier, environment and its changes since the last glaciation in west China [J]. *Quaternary Sciences*, 1990, (2): 1-110. [郑本兴·中国西部末次冰期以来冰川、环境及其变化[J].第四纪研究,1990,(2):1-110.]
- [22] Xia Yumei. Study on record of spore-pollen in high moor peat and development and successive process of peat in Da and Xiao Hinggan mountains [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1996, 16(4): 337-344. [夏玉梅·大小兴安岭高位泥炭孢粉记录及泥炭发育和演替过程研究[J].地理科学,1996,16(4):337-344.]
- [23] Cui Haiting, Wu Wanli, Song Changqing. Study of reconstruction for Holocene environment of Daqingshan mountain region, inner Mongolia [A]. In: Zhang Lansheng, ed. *Research on the Past Life-Supporting Environment Change of China (1)* [C]. Beijing: China Ocean Press, 1993. 285-295. [崔海亭, 吴万里, 宋长青·内蒙古大青山地区全新世环境的重建[A].见:张兰生主编·中国生存环境历史演变规律研究(一)[C].北京:海洋出版社,1993.285-295.]
- [24] Gao Shangyu, Jin Heling, Chen Weinan, et al. The desert of Holocene megathermal in China [A]. In Shi Yaofeng, ed. *The Climates and Environments of Holocene Megathermal in China* [C]. China Ocean Press, 1992. 161-167. [高尚玉, 靳鹤龄, 陈渭南等·全新世大暖期的中国沙漠[A].见:施雅风主编·中国全新世大暖期气候与环境[C].海洋出版社,1992.161-167.]
- [25] Xia Yumei. The Preliminary Research of the spore-pollen features at paleocol and environment of the megathermal in Hulun Buir sandy land [A]. In: Zhang Lansheng, ed. *Research on the Past Life-Supporting Environment Change of China (1)* [C]. Beijing: China Ocean Press, 1993. 44-53. [夏玉梅·呼伦贝尔沙地古土壤孢粉特征与大暖期环境的初步研究[A].见:张兰生主编·中国生存环境历史演变规律研究(一)[C].北京:海洋出版社,1993.44-53.]
- [26] Li Jijun, Xu Shuying. Studies on the landform development and quaternary glaciations in north Pakistan [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 11-24. [李吉均, 徐叔鹰·巴基斯坦北部的地貌发育与第四纪冰期问题[J].地理学报,1983,38(1):11-24.]
- [27] Wang Zongtai. The Glacier and Environment in the middle sector of Tianshan and the eastern sector of Qilianshan since the little ice age [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 46(2): 160-168. [王宗太·天山中段及祁连山东段小冰期以来的冰川与环境[J].地理学报,1991,46(2):160-168.]
- [28] Grove. *The Little Ice Age* [M]. New York: Methuen, 1988.
- [29] Xia Yumei, Wang Peifang. Peat record of climate change since 3000 years in Yangmu, Mishan region [J]. *Geographical Research*, 2000, 19(1): 53-59. [夏玉梅, 汪佩芳·密山杨木3000多年来气候变化的泥炭记录[J].地理研究,2000,19(1):53-59.]
- [30] Ren Gaoyu, Zhang Lansheng. Late Holocene vegetation in Muli region, northeast China, as inferred from a high-resolution pollen record [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39(4): 353-362. [任国玉, 张兰生·科尔沁沙地麦里地区晚全新世植被变化[J].植物学报,1997,39(4):353-362.]
- [31] Tong Guobang, Zhang Junpai, Fan Shuxian, et al. Environment change at the top of Taibai mountain, Qinling since 1ka Ago [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, 16(4): 95-104. [童国榜, 张俊牌, 范淑贤等·秦岭太白山顶近千年来的环境变化[J].海洋地质与第四纪地质,1996,16(4):95-104.]
- [32] Qin Xiaoguang, Tan Ming, Liu Dongsheng, et al. Characteristics of annual laminae gray level variations in a stalagmite from Shihua Cave, Beijing and its climatic significance (I) [J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 43(5): 521-533. [秦小光, 刘东生, 谭明等·北京石花洞石笋微层灰度变化特征及其气候意义——灰度的年际变化[J].中国科学(D),2000,30(3):239-249.]
- [33] Luo Jianyuh, Chen Chenung. Paleoclimatological and paleoenvironmental records since 4000 a BP in sediments of alpine lakes in Taiwan [J]. *Science in China (Series D)*, 1997, 40(4): 424-431. [罗建育, 陈镇东·台湾高山湖泊沉积记录指示的近4000年气候与环境变化[J].中国科学(D),1997,27(4):366-372.]
- [34] Cao Jianting, Wang Sumin, Shen Ji. The primary study of paleoclimate changes during the past millennium in Daihailake, inner Mongolia [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20(2): 15-20. [曹建廷, 王苏民, 沈吉·内蒙古岱海地区近千年气候环境演变的初步研究[J].海洋地质与第四纪地质,2000,20(2):15-20.]
- [35] Liu Hongbin, Shao Xuemei. Reconstruction of early spring temperature at Zhenan from 1755 using tree ring chronology [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, 58(2): 223-234. [刘洪滨, 邵雪梅·采用秦岭冷杉年轮宽度重建陕西镇安1755年以来的初春温度[J].气象学报,2000,58(2):223-234.]
- [36] Yao Tandong. Climatic and environmental record in the past about 2000 years from the Guliya ice core [J]. *Quaternary Sciences*, 1997, (1): 52-61. [姚檀栋·古里雅冰芯近2000年来气候环境变化记录[J].第四纪研究,1997,(1):52-61.]

WARM-COLD CHANGE IN MILLENNARIAN CYCLE  
DERIVED FROM NATURAL PROXY DATA IN CHINA  
DURING THE PAST 3000 YEARS

GE Quan-sheng<sup>1</sup>, FANG Xiu-qi<sup>1,2</sup>, ZHENG Jing-yun<sup>1</sup>

(1. Institute for Geography and Natural Resources, CAS, Beijing 100101, China;

2. Department of Resources Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** The concept of the IGBP synthesis is used to analysis the natural proxy data indicated past 3000 years warm-cold changes in China. The proxy data used in this paper are collected from the articles published in recent 20 years which are able to clearly indicate cold/warm changes, fairly dating, and less effected by human activities. The warm-cold change during the past 3000 years is reconstructed following steps. First, to identify the major cold stages preliminarily based the advances of glaciers in western China and the periglacial phenomenon in northern China. Second, to divide the warm-cold stages in additional evidence of paleosol from the regions sensitive to temperature change. Third, to accurate the division of warm-cold stages and to identify the warm or cold events in each stage based on the series of pollen, ice core, annual laminae gray level variations of stalagmite, tree-ring, limnological records.

It is found that, the warm-cold change reoccurs in a 1.3~1.35 ka period; Each period includes 4 stages: 300~350 a warm stage, 550~600 a cold stage, 200~250 a warm stage, and about 200 a cold stage. cold or warm events in each stage reoccurred in the 1.3~1.35 ka period too. The warm in the 300~350 a length warm stages is more sensitive than that in the 200~250 a length warm stages; the cold in the 550~600 a length cold stages is more sensitive than that in the about 200 a length cold stages. Now is in a 200~250 a length warm stage started from the beginning of the 20th Century. The warm stages of 2.7~2.5 ka BP and 1.4~1.15 ka BP many be its historical analogies.

**Key words:** China; Proxy data; Warm-cold change; Millenarian cycle.

## 樣

### 《地球科学进展》2000年最新排名

据中国科学技术信息研究所于2001年11月出版的《中国科技期刊引证报告(2001年版)》公布,在1406种中国科技论文统计源期刊中,《地球科学进展》(双月刊)的影响因子为0.526,排序为127位,总被引频次247,排序为314位,即年指标为0.041,他引率为0.899,被引半衰期为3.63,来源文献量122篇,参考文献量3261篇,平均引文率26.73,平均作者数2.56人,地区分布数19,机构数63,国际论文比0.06,基金论文比0.66,发表时滞为3.46个月。